

**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at

SEEDRUCKLEITUNGEN

RISIKOBEWERTUNG VON DRUCKLEITUNGEN DER SIEDLUNGSWASSER- WIRTSCHAFT IN ÖSTERREICHISCHEN SEEN

Studie



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wasser-Atmosphäre-
Umwelt



Institut für Sicherheits-
und Risikowissenschaften

IMPRESSUM



Medieninhaber und Herausgeber:
BUNDESMINISTERIUM
FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT
Stubenring 1, 1010 Wien

Umschlagfoto: Faakersee

Text und Redaktion: Alexander Pressl (SIG), Hanns Plihal (SIG), Thomas Ertl (SIG), Nikolaus Müllner (ISR), Steven Sholly (ISR),
Wolfgang Liebert (ISR)

Bildnachweis: Alexander Pressl (sofern nicht anders angegeben)

Konzept und Gestaltung: Alexander Pressl

Lektorat: Wolfgang Liebert

Druck: Zentrale Kopierstelle des BMLFUW, UW-Nr. 907.

Gedruckt nach der Richtlinie „Druckerzeugnisse“ des Österreichischen Umweltzeichens.

Alle Rechte vorbehalten.

Wien, Oktober 2015



Die Studie wurde erstellt im Auftrag und durch finanzielle Unterstützung von:



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH



Projektentwicklung durch:



Bearbeitung:



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wasser-Atmosphäre-
Umwelt



Institut für Siedlungswasserbau,
Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz



Institut für Sicherheits-
und Risikowissenschaften

Projektteam

Alexander Pressl
Hanns Plihal
Thomas Ertl

Nikolaus Müllner
Steven Sholly
Wolfgang Liebert

Zitiervorschlag

Pressl, A., Müllner, N., Plihal, H., Sholly, S., Liebert, W., Ertl, T. (2015) Risikobewertung von Druckleitungen der Siedlungswasserwirtschaft in Österreichischen Seen, Studie im Auftrag des BMLFUW sowie Land Oberösterreich, Land Kärnten und Land Salzburg, Hrsg.: BMLFUW, 155 Seiten

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	Inhalt IV
Tabellenverzeichnis	Inhalt VII
Kurzzusammenfassung	1
Short Summary	3
1. Motivation	5
2. Projektziele	7
3. Ökologischer und volkswirtschaftlicher Nutzen	7
4. Definition des Begriffs Seedruckleitung in dieser Studie	8
5. Methodik und Projektstruktur	9
6. Grundlagen zu den Erhebungen	10
7. Sicherheits- und Risikoanalyse mit Fokus zur Studie	16
7.1. Probabilistische Sicherheits- und Risikoanalyse	16
7.2. Deterministische Sicherheits- und Risikoanalyse	16
7.3. Risikoabschätzung für einen als Badegewässer genutzten See	17
8. Stand der Technik unter Mitbetrachtung der Erhebungen	19
8.1. Seedruckleitungen	19
8.1.1. Verwendete Materialien	19
8.1.2. Rohrverbindungen	20
8.1.3. Beschwerungsgewichte aus Beton/Eisen.....	23
8.1.4. Herstellung der Rohrstränge und Verlegung	26
8.1.4.1. Gusseisen.....	26
8.1.4.2. Polyethylen	26
8.1.4.3. Verlegung einer Seedruckleitung aus Polyethylen	28
8.2. Technische Nutzungsdauer und Schadensursachen von Seedruckleitungen	31
8.2.1. Werkstoff Polyethylen	31
8.2.1.1. Schadensarten von Polyethylen-Druckrohren	31
8.2.1.2. Zeitstandverhalten der Polyethylenrohre	32
8.2.2. Werkstoff Gusseisen	34
8.3. Pumpstationen	35
8.3.1. Arten des Abwassertransports.....	35
8.3.2. Betrieb	36
8.3.3. Prozesse während des Abwassertransports in Druckleitungen.....	37
8.4. Auslaufbauwerk.....	38
9. Überblick der in dieser Studie erhobenen Seen mit Druckleitungen	39
10. Bestandserhebung – Druckleitungen	41
11. Ausgangslage der betroffenen Seen	45
11.1. Chemischer und ökologischer Zustand.....	45
11.2. Anthropogene Einwirkungen auf die Gewässer	48

11.3. Jahreszeitliche Schichtungen und Zirkulationen	50
12. Mikrobielle Verunreinigung von Oberflächengewässern.....	52
12.1. Grundlagen	52
12.2. Hygienische Bewertung einer Abwassereinleitung in einen See	53
13. Nährstoffe in der aquatischen Umwelt.....	55
13.1. Situation in den hier behandelten Oberflächengewässern.....	55
13.1.1. Damalige Ausgangslage.....	55
13.1.2. Qualitätsziele der Seen	56
13.2. Potentielle Belastung durch Abwassereinleitungen	59
13.3. Bewertung der kritischen Phosphormenge im See	60
13.4. Berücksichtigung der Stickstoff-Fracht.....	65
14. Zustandserfassung	66
14.1. Pumpendatenauswertung	66
14.2. Lagemäßige Zustandserfassung.....	68
14.2.1. Sichtprüfung mit U-Boot / Tauchroboter	69
14.2.2. Bathymetrie (3D-Scan)	70
14.2.3. Inspektionsmolche	71
14.3. Elektronische Druckmessung.....	73
14.4. Druckprüfung	75
14.4.1. Normen und Regelwerke	75
14.4.2. Stand der Praxis	76
14.5. Durchflussmessung.....	77
14.6. Optische Zustandserfassung	79
14.6.1. Axialkamera mit Saugschirm	79
14.6.2. Inspektionsmolch	80
14.6.3. Beurteilung der Ergebnisse der optischen Inspektionsmöglichkeiten.....	82
14.6.4. Allgemeine Anforderungen an die optische Zustandserfassung	84
15. Risikoanalyse und Risikobewertung.....	86
15.1. Einführung.....	86
15.2. Lage der Leitung: Uferbereich – Zentralbereich / Reparaturbereich.....	86
15.3. Risikoziel: Fiktiver Schaden einer Seedruckleitung mit Freisetzung von Abwasser in den See.....	87
15.4. Auslösende Ereignisse für ungewollte Abwassereinspeisungen in Badeseen	89
15.4.1. Ermitteln der Häufigkeit des auslösenden Ereignisses.....	91
15.4.2. Eigenschaften des Sees bzw. der Leitungstrasse	94
15.4.3. Eigenschaften der Leitung	95
15.4.4. Betriebsparameter	96
15.4.5. Aufschwimmen der Leitungen	98
15.4.6. Kleine und große Lecks	98
15.5. Verhinderung eines schwerwiegenden Ereignisses nach einem Leitungsbruch	99
15.5.1. Detektion eines Lecks.....	99
15.5.2. Behandlung der Detektion von Lecks in der Analyse	100
15.5.3. Notfallmaßnahme: Redundanter Abwassertransport.....	101

15.5.4. Notfallmaßnahme: Reparaturmöglichkeit und Ersatz	101
15.6. Ereignisbaum	101
16. Istzustand aus der Risikoanalyse.....	103
17. Ansatz einer multikriteriellen Bewertung bezüglich Sanierung oder Neuerrichtung	107
17.1. Kostenschätzung Sanierung	107
17.2. Kostenschätzung der Neuerrichtung einer Seedruckleitung aus PE 100	107
17.3. Kostenvergleich landseitig/seeseitig verlegter Druckleitungen	109
18. Verbesserungen zur Minimierung des bestehenden Risikos	112
18.1. Betrieb und Überwachung.....	112
18.2. Stufenplan zur Überwachung der Seedruckleitungen.....	114
18.2.1. Grundlagen	114
18.2.2. Überwachungsstrategien	114
18.3. Beispiele für Handlungsempfehlungen aus der Risikoanalyse	117
18.3.1. Beispiel Attersee, Leitungs ID: RV_A-ID 3	117
18.3.2. Beispiel Wallersee, Leitungs ID: RHV_WS-ID 1.....	118
18.3.3. Beispiel Pressegger See, Leitungs ID: AWV_KR-ID 1	119
18.3.4. Beispiel Wörthersee, Leitungs ID: WV_WO-ID 12.....	119
18.3.5. Zusammenfassung der Beispiele für Handlungsempfehlungen	121
18.4. Gebrechen an einer Seedruckleitung - Szenarien	122
18.5. Detektierter Schaden - Was ist zu tun?.....	123
18.5.1. Möglichkeiten der Sanierung	123
18.5.2. Ablaufprozedere bei vermuteter Leckage oder Totalbruch.....	125
19. Prioritätenreihung anhand der Ergebnisse der Risikoanalyse.....	128
20. Zukünftiger Finanzierungsbedarf	130
20.1. Grundlagen	130
20.2. Maßnahmen zur Reduzierung des ursprünglichen Risikos.....	130
20.3. Voraussichtlicher zukünftiger Finanzierungsbedarf	134
21. Diskussion und Ausblick	136
21.1. Risikoanalyse	136
21.2. Reinigung der Rohre mit Hilfe löslicher Molche	137
21.3. Einsatz neuartiger Entwicklungen am Rohrsektor	137
21.4. Leckage-Ortung mit Hilfe der faseroptischen Temperaturmessung.....	138
21.5. Überlegungen für eine zukünftige Verlegung von Druckleitungen in Seen.....	140
22. Zusammenfassung	144
23. Schlussempfehlungen.....	149
24. Danksagung	150
25. Literaturverzeichnis	151

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die geförderten Investitionen (indexangepasst) zwischen 1959 und 2014 (Quelle: BMLFUW/KPC, 2015; zitiert in BMLFUW, 2015).....	5
Abbildung 2: Definition des Begriffs Seedruckleitung im Zuge dieser Studie (hier: Abwasser-Seedruckleitung).	8
Abbildung 3: Erster Befragungsbogen zu den Seedruckleitungen.	10
Abbildung 4: Zusammenhänge und Überlappungen der in dieser Studie berücksichtigten thematischen Gebiete.....	11
Abbildung 5: Beispiel eines Datenblattes für eine Seedruckleitung (ID X) zur Berechnung des Risikos einer möglichen Freisetzung von Abwasser.	15
Abbildung 6: Ein generischer Ereignisbaum zur Risikoabschätzung aus der Methode „Probabilistic Risk Assessment“ (PRA).	17
Abbildung 7: Mit Hilfe einer Metallkonstruktion biegesteif gesicherte Verbindung (Bildquelle: Links: Flanschverbindung beim Attersee, Rechts: Spiegelschweißung beim Ossiacher See).....	20
Abbildung 8: Stumpf-/Spiegel-Schweißung; Rechts: Querschnitt durch die Schweißnaht (Bruckner, 2015).....	21
Abbildung 9: Herstellung einer Stumpf-/Spiegel-Schweißung (Jansen, 2014).	21
Abbildung 10: Elektromuffen-Schweißung; Rechts: Querschnitt durch die Schweißnaht (Bruckner, 2015).	22
Abbildung 11: Längskraftschlüssige VRS®-TIROFLEX®-Verbindung (Quelle: Tiroler Rohre GmbH).	23
Abbildung 12: Bauformen unterschiedlicher Beschwerungsgewichte für SDL aus PE (Bildquelle: Brömstrup, 2001).	24
Abbildung 13: Alternative Beschwerungsgewichte für SDL mit kleineren Durchmessern. Links: Schelle auf Beton/Stahl (Bildquelle: AWWA Manual M55, 2006), Rechts: mit einem Stahlseil spiralförmig umwickeltes PE-Rohr (Bildquelle: Ortsbegehung Millstätter See).	24
Abbildung 14: Links: Positionierungsgewichte (Bildquelle: WV Ossiacher See); Rechts: Montage der Beschwerungsgewichte Mai 1975 (Bildquelle: RHV Attersee).	24
Abbildung 15: Montage der Beschwerungsgewichte; Links: Gummieinlagen in den Betonhalbschalen und Befestigung mit verzinkten Schrauben (Bildquelle: WV Ossiacher See); Rechts: Metallbänder um runde Betonhalbschalen (Bildquelle: Ortsbegehung Faaker See).....	25
Abbildung 16: Herstellung der Seedruckleitung aus Gussrohren (Bildquelle: AWW Völkermarkt-Jaunfeld). Links: Montage der Einzelrohre mit nur kleinen Beschwerungsgewichten an der Unterseite, Rechts: Schwimmende Rohrstränge vor dem Absenkvorgang.....	26
Abbildung 17: Produktion der „Endlosrohre“ in den 1970er-Jahren mit Hilfe mobiler Anlagen und Lagerung der Rohrstränge im See (Bildquelle: RV Attersee).	27
Abbildung 18: Notwendige zusätzliche Infrastruktur bei der Verlegung eine SDL. Hier ein Beispiel von der Verlegungsplanung im Attersee (Flögl und Hoyer, 2001).	28
Abbildung 19: Darstellung der Absenklinie während der Verlegung (Flögl und Hoyer, 2001).	29
Abbildung 20: Verschiedene Möglichkeiten für die Entsorgung von nebeneinanderliegenden Einzugsgebieten.	30
Abbildung 21: Deformation (> 50%) wegen Beschädigung durch Dritte (Bildquelle: WV Wörthersee Ost, 2015).	31
Abbildung 22: Querriss ohne Versatz (Bildquelle: Marktgemeinde Altmünster, 2014).	31
Abbildung 23: Gewundener Riss (Bildquelle: WV Wörthersee Ost, 2015).	32
Abbildung 24: Schematische Darstellung des Zustandsverhaltens von PE-Rohren (Hessel, 2007).	32
Abbildung 25: Polyethylenrohr: Prinzip eines Zeitstanddiagramms und der Arrhenius-Auswertung (1 MPa = 10 bar = 1 N/mm ²) (Meijering et al., 2014).	34
Abbildung 26: Pumpengestützter Abwassertransport durch die SDL.....	35
Abbildung 27: Abwassertransport durch die SDL in Freigefälledruckleitungen (optional mit kleiner Pumpenstation zum befüllen des Hochbehälters).	36
Abbildung 28: Einmündung der Druckleitung direkt in einen Freispiegelkanal (Links) oder bei größeren Pumpmengen über ein Auslaufbauwerk (Rechts), (Bildquelle: Ortsbegehung Wörthersee).	38
Abbildung 29: Lageübersicht der im Zuge der Studie erhobenen Österreichischen Seen mit Druckleitungen.....	39
Abbildung 30: Zuordnung der in den 17 Seen verlegten Leitungslängen von AW-SDL in absoluten Längen (links) und als Verhältnisangabe in Prozent (rechts).	42

Abbildung 31: Aufsteigende Reihung der 98 Abwasser-Seedruckleitungen. Links: nach den Betriebsjahren (Bezugsjahr 2015); Mitte: nach dem Innendurchmesser in [mm]; Rechts: nach der maximalen Absenktiefe in [m].	43
Abbildung 32: Trinkwasserleitung (AZ 400) durch den Neusiedlersee von Seewinkel bis Illmitz während des Verlegens (Bildquelle: WLV Nördliches Burgenland).	44
Abbildung 33: Belastungen der betroffenen Seen in Oberösterreich und Salzburg durch Punktquellen im Einzugsgebiet (Quelle: WISA - Fachinformationen zum Entwurf des 2. NGP [15.06.2015]; modifiziert). <i>Hinweis: PRTR steht für Pollutant Release and Transfer Register (Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister).</i>	47
Abbildung 34: Belastungen der betroffenen Seen in Kärnten durch Punktquellen im Einzugsgebiet (Quelle: WISA - Fachinformationen zum Entwurf des 2. NGP [15.06.2015]; modifiziert). <i>Hinweis: PRTR steht für Pollutant Release and Transfer Register (Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister).</i>	47
Abbildung 35: Diffuse Belastungen anhand modellierter Konzentration in den Einzugsgebieten der in Oberösterreichischen und Salzburger Seen - Natürliche sowie künstliche und erheblich veränderte Wasserkörper (Quelle: WISA - Fachinformationen zum Entwurf des 2. NGP [15.06.2015]; modifiziert).	48
Abbildung 36: Darstellung der Auswirkungen von kurzzeitigen und länger andauernden Einwirkungen (Nährstoffbelastung) auf die Trophie eines Seenwasserkörpers.	49
Abbildung 37: Erklärung der unterschiedlichen Seentypen in Österreich.	50
Abbildung 38: Experimentelle Beobachtungen der Absterberaten von <i>E. coli</i> im Bodenseewasser und im Sediment in der gleichen Lokalität (Güde et al., 2001; zitiert in Krejci et al., 2004).	52
Abbildung 39: Veränderung der Sichttiefen im Zusammenhang mit der Errichtung der Seedruckleitungen im Ossiacher See und Wörthersee (Mittelwerte; Minima; Maxima) von 1931 bis 2000 (Traer, 2011).	55
Abbildung 40: Berechnete Umweltqualitätsnorm für Ammonium in Abhängigkeit der Wassertemperatur und des pH-Werts nach QZV Chemie OG (BGBl. 96/2006 idGF).	56
Abbildung 41: Errechnete Phosphor-Konzentrationen in Abhängigkeit des spezifischen Abwasseranfalls bei einer spezifischen P_{ges} -Fracht von 1,90 g/(EW.d).	59
Abbildung 42: Theoretische Abwasser-Menge in m^3 (bei 10,5 mg/L TP) bis es zu einer TP-Erhöhung um max. 1,0 $\mu\text{g/L}$ im See kommt (Ausnahme: Ossiacher See und Wörthersee). <i>Hinweis: Hier wird der gesamte durchmischte Seeinhalt (d.h. excl. Monimolimnion) betrachtet. Werte gerundet auf $10 m^3$.</i>	63
Abbildung 43: Theoretische Anzahl an Tagen pro Seedruckleitung ID_X welche ausreicht, um die Konzentration des Gesamtphosphors im See um max. 1,0 $\mu\text{g/L}$ zu erhöhen. (Annahme: Querriss der SDL, Seeinhalt durchmischt). Links: Ossiacher See +0,3 $\mu\text{g/L}$ TP, Rechts: Wörthersee +0,7 $\mu\text{g/L}$ TP.	64
Abbildung 44: Theoretische Anzahl an Tagen pro Seedruckleitung ID_X welche ausreicht, um die Konzentration des Gesamtphosphors im See um max. 1,0 $\mu\text{g/L}$ zu erhöhen. (Annahme: Attersee, Seeinhalt durchmischt.). Links: Querriss der SDL; Rechts: Annahme einer Leckage mit Verlust von 10% des täglich gepumpten Abwassers. <i>Hinweis: die Seedruckleitung RV_A ID 14 liegt im Mondsee und wurde bei der Darstellung nicht berücksichtigt.</i>	64
Abbildung 45: Beispiel unterschiedliche Pumpenlaufzeiten (KAN, 2010).	67
Abbildung 46: Beispiel 1 - selbstentleerender Pumpensumpf (KAN, 2010).	68
Abbildung 47: Beispiel 2 – selbstentleerender Pumpensumpf (KAN, 2010).	68
Abbildung 48: U-Boot für eine z.B. äußere Sichtprüfung der Seedruckleitung (Lehnberg, 2012).	69
Abbildung 49: Identifizierte Druckleitung am Seegrund (Lehnberg, 2012).	69
Abbildung 50: Links: Funktionsschema des Fächerecholotes. Rechts: Das Kongsberg EM 2040 Fächerecholot montiert am Bug eines Forschungsschiffes (Anselmetti, 2015).	70
Abbildung 51: Beispiel einer bildliche Darstellungen mit Hilfe der Bathymetrie; Hier: Auslaufleitung in einen See mit flankierenden Bewegungen des Seeuntergrunds (Anselmetti, 2015).	71
Abbildung 52: Schirmmolch vor dem Einsatz.	72
Abbildung 53: Lageplan der Testinspektion bei der 800 m langen Seedruckleitung „WV_WO -ID 4“ beim Pumpwerk Maiernigg (Bildquelle: WV Wörthersee Ost, 2015).	73
Abbildung 54: Aufbau eines Druckmessgeräts (Gaßmann und Gries, 2009).	74
Abbildung 55: Messabweichung von Drucksensoren (Gaßmann und Gries, 2009).	74
Abbildung 56: Beispiel eines Druckverlaufs beim Kontraktionsverfahren (URL: www.weitbrecht-rohrleitungsbau.de [15.04.2015]).	76
Abbildung 57: Messprinzip des magnetisch induktiven Durchflussmessers (Hofman, 2003).	78
Abbildung 58: Einschwemmverfahren (Unterdechler, 2014).	79

Abbildung 59: Einschwemmverfahren / Einziehen des Stahlseils.	80
Abbildung 60: Axialkamera vor ihrem Einsatz, verbunden mit dem Stahlseil.	80
Abbildung 61: Pipe-Inspector® (Fa. MTA GmbH).	81
Abbildung 62: Inspektionsbild der Axialkamera mit Saugschirm.	82
Abbildung 63: Inspektionsbild des Pipe-Inspectors®.	83
Abbildung 64: Für die Reinigung verwendeter Schaumstoffmolch.	85
Abbildung 65: Erklärung der betrachteten Leitungsabschnitte und Bereiche im See.	87
Abbildung 66: Badewannenkurve aus Grams (2001; modifiziert): Die gesamte Ausfallrate (dunkle Kurve) setzt sich aus frühen Ausfällen, einer konstanten Ausfallrate und Altersausfällen zusammen. (<i>Hinweis: Die helle Doppelkurve entspricht der zugehörigen Überlebenswahrscheinlichkeit.</i>)	90
Abbildung 67: Musterereignisbaum für die probabilistische Risikoanalyse bei Seedruckleitungen.	102
Abbildung 68: Vergleich der indexangepassten Investitionskosten einer Seedruckleitung (<i>See-DL</i>) (Rohrkosten + Kosten der Beschwerungsgewichte) mit Rohrkosten verschiedener Produzenten (<i>DL-Firma</i>) aus den Bruttopreislisten von 2014.	108
Abbildung 69: Kostenvergleich von Seeleitungen und Uferkanäle in ATS/m; Preisstand 1978 (Flögl und Hoyer, 2001).	110
Abbildung 70: Spezifischen Errichtungskosten (indexangepasst) im Kanalbau anhand vier ausgewerteter Perioden von 2002 bis 2013 (Datengrundlage: BMLFUW 2005, 2008, 2011a, 2014a). <i>Indexanpassung: BPI Sonstiger Tiefbau Gesamt 2000, Jahresdurchschnitt</i> (http://www.statistik.at).	111
Abbildung 71: Anbringen der Betonklötze am Rohr. Hier ein Ausstellungsstück des RV Attersee aus den 1970er Jahren (Bildquelle: Ortsbegehung Attersee).	113
Abbildung 72: Beispiele kommerziell verfügbarer Schellen zur Abdichtung von Leckagen → keine zugfeste Verbindung (URL: http://www.plasson.de ; http://www.pipelinecoupling.com [12.04.2015]).	124
Abbildung 73: Beispiele kommerziell verfügbarer Spezialflansche mit Einsatzrohren zur Reparatur von Querrissen (URL: http://www.hawle.at ; http://www.electrosteelcastings.com [12.04.2015]).	124
Abbildung 74: Zubehör bei der Montage von Spezialflanschen: Stützbuchsen (URL: http://www.hawle.at ; http://www.electrosteelcastings.com [12.04.2015]).	124
Abbildung 75: Ablaufschema „Handlungsanweisung“, angepasst an die Überwachungsstrategie und das Ablaufprozedere bei vermuteter Leckage oder Bruch.	127
Abbildung 76: Reihung der Leitungen nach der Risikomaßzahl.	128
Abbildung 77: Zusammenhang zwischen der Risiko-Maßzahl und der täglich gepumpten Abwassermenge jeder einzelnen SDL. Die Linien sind als Beispiele für die Grenzen „75 Jahre“ und „100 m³/d“ dargestellt.	131
Abbildung 78: Polyethylenrohre (PE 80, PE 100) mit coextrudierten Schichten auf der Innenseite (hellgrau) und/oder Außenseite (braun) des Rohres (URL: http://www.simona.de [02.07.2015]).	138
Abbildung 79: Beispiele jahreszeitlicher Temperaturentwicklungen im März und Anfang Juni im Hallstättersee (links; Datenquelle: LandOÖ, 2014a) und Ossiacher See (rechts; KIS, 2009).	139
Abbildung 80: Detektion der Leckage: Integral der Temperaturdifferenzen [°C] nach Öffnen des idealisierten Lecks mit 6 mm Durchmesser (IWHW/SIG, 2015).	139
Abbildung 81: Optimaler DTS-Messaufbau für die Leckage-Ortung in Seedruckleitungen. Hier als Beispiel eine Anwendung im Technikum des SIG (Zeichnung: IWHW/SIG, 2015; modifiziert).	140
Abbildung 82: Endmontage und Lagerung der 2,6 km langen Trinkwasserleitung im Attersee im Jahr 2009 (URL: http://www.energieag.at/ [20.07.2015]).	142
Abbildung 83: Produktion und Lagerung der 6,5 km langen Trinkwasserleitung im Traunsee im Jahr 1998 (Bildquelle: AGRU Kunststofftechnik GmbH).	143
Abbildung 84: Auszug aus den Beispielen von Seedruckleitungen aus anderen Ländern (Quelle: Pipelife Norge AS, Stathelle, Norway; http://www.pipelife.com [14.04.2015]).	143

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schadenssignifikanz an TW-Leitungen aus Gusseisen (Sorge, 2007; modifiziert).....	34
Tabelle 2: Instandhaltungsstrategien (adaptiert nach Wenkenbach, 2010).....	36
Tabelle 3: Morphometrische und hydrographische Parameter der erhobenen Seen mit Abwasser-Druckleitungen (Quelle: http://www.kis.ktn.gv.at ; BAW, 2008; ergänzt durch eigene Recherchen).	40
Tabelle 4: Übersicht über die Seen mit Anzahl von aktiven Abwasserdruckleitungen, sowie die für den Erhalt zuständigen Verbände bzw. Gemeinden.....	42
Tabelle 5: Übersicht über die Seen mit Trinkwasserleitungen sowie die für den Erhalt zuständigen Verbände bzw. Gemeinden.....	43
Tabelle 6: Seen - chemischer und ökologischer Zustand bzw. ökologisches Potential der Wasserkörper, inklusive Teilständen und Bewertungstyp der Zustandsbewertung (BMLFUW, 2015a; modifiziert).....	46
Tabelle 7: Konzentrationen von <i>E.coli</i> im Abwasser (Güde et al. 2001, Kreikenbaum et al. 2004b; zitiert in Krejci et al., 2004).	53
Tabelle 8: Qualitätsanforderungen an Badegewässer hinsichtlich der hygienischen Belastung (Richtlinie 2006/7/EG).	53
Tabelle 9: Zuordnung der Trophieklassen nach der Gesamtphosphor-Konzentration (Total Phosphorus = TP) [µg/L] der Bundesländer Salzburg, Kärnten und Oberösterreich.	57
Tabelle 10: Referenzwerte und Klassengrenzen der Gesamtphosphor-Konzentration (Total Phosphorus = TP) [µg/L] im volumengewichteten Jahresmittel für natürliche Seen >50 ha. Klassengrenzen: sehr gut = H ; gut = G ; mäßig = M (Datenquelle: BGBl. 99/2010, Tabelle modifiziert), ergänzt mit aktuellen Werten.	58
Tabelle 11: Berechnung der kritischen Phosphor-Menge für eine TP-Erhöhung um max. 1,0 µg/L vs. Referenzzustand.	62
Tabelle 12: Übersicht über die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik eines Pumpwerkes (Weissmann und Gutzeit, 2006).	66
Tabelle 13: Vergleich verschiedener Sensoren (Gaßmann und Gries, 2009).	73
Tabelle 14: Übersicht der gängigsten Messverfahren für die Durchflussmessung (stationär und mobil) bei Abwasserreinigungsanlagen (ÖWAV, 2007).	77
Tabelle 15: Zusammenfassung der Eigenschaften der hier beschriebenen optischen Inspektionsmethoden.	84
Tabelle 16: Matrix für die Bewertung der fiktiven Exposition von Abwasser (durch einen Schaden an der SDL) in Abhängigkeit der Örtlichkeit und Zeitpunkt des Auftretens.	88
Tabelle 17: Vergleich von Fehlerraten für Kunststoffleitungen aus der Literatur und gegenständlichen Studie.....	91
Tabelle 18: Bisher aufgetretene Versagen an Seedruckleitungen in Österreich.	92
Tabelle 19: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss des Seeuntergrunds auf die Schadenshäufigkeit.....	94
Tabelle 20: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss der Neigung des Seeuntergrunds auf die Schadenshäufigkeit.....	95
Tabelle 21: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss der maximalen Absenktiefe auf die Schadenshäufigkeit.	95
Tabelle 22: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss der Herstellungsart der Leitung (Endlosrohr e oder Spiegelgeschweiß g) auf die Schadenshäufigkeit.	96
Tabelle 23: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss des Rohrdurchmesser (DN) der Leitung.....	96
Tabelle 24: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss des Betriebsalters der Leitung.....	97
Tabelle 25: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss des gepumpten mittleren Tagesvolumens der Leitung.....	97
Tabelle 26: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss der Anzahl der Pumpzyklen pro Tag der Leitung.	97
Tabelle 27: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss des Betriebsdrucks der Leitung.....	97
Tabelle 28: Ergebnis der Chi ² -Analyse. Einfluss der Art des Pumpenanlaufs auf die Schadenshäufigkeit.....	98
Tabelle 29: Auswertung des Risikos, bezogen auf die in den Salzburger Seen verlegten Abwasser-Druckleitungen (Anm.: Da der Wolfgangsee überwiegend im Bundesland Salzburg liegt, wurde er hier angeführt).	104
Tabelle 30: Auswertung des Risikos bezogen auf die in den Kärntner Seen verlegten Abwasser-Druckleitungen.....	105
Tabelle 31: Auswertung des Risikos bezogen auf die in den Oberösterreichischen Seen verlegten Abwasser- Druckleitungen.	106

Tabelle 32: Berechnung der Investitionskosten (Brutto) und Pachtkosten einer fertig verlegten Seedruckleitung aus PE 100 (Preise indexangepasst).....	108
Tabelle 33: Stufenplan zur Überwachungsstrategie für Abwasser-Seedruckleitungen.....	117
Tabelle 34: Zusammenfassung der im Detail untersuchten Abwasser-Seedruckleitungen hinsichtlich ihres Risikoverhaltens bezüglich des „schwerwiegenden Ereignisses alle # Jahre“ wenn angemessene Maßnahmen durchgeführt werden.....	121
Tabelle 35: Reihung des Risikos der in den betroffenen österreichischen Seen verlegten Abwasser-Druckleitungen bezüglich der Risiko-Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“.....	129
Tabelle 36: Zugrundeliegende Investitionskosten (vgl. dazu auch Tabelle 33 und Abbildung 68).	130
Tabelle 37: Anwendung der Kriterien für jede einzelne SDL zur Minimierung des Risikos laut Kapitel 18.2.2. (Hinweis: Grundlage sind die Risiko-Maßzahlen von Tabelle 35.)	132
Tabelle 38: Anwendung der Kriterien für jede Leitungsführung zur Minimierung des Risikos laut Kapitel 18.2.2. Definition der „Leitungsführung“ = 1 Einzelleitung oder 2 parallel verlegte Einzelleitungen. (Hinweis: Grundlage sind die Risiko-Maßzahlen von Tabelle 35.).....	133
Tabelle 39: Anwendung der Überwachungsstrategien zur Minimierung des Risikos mit dem dadurch anfallenden Finanzierungsbedarfes der Salzburger Seen (Anm.: Da der Wolfgangsee überwiegend im Bundesland Salzburg liegt, wurde er hier angeführt). Anm.: der Bestand an Überwachungsgeräten wurde hier berücksichtigt.	134
Tabelle 40: Anwendung der Überwachungsstrategien zur Minimierung des Risikos mit dem dadurch anfallenden Finanzierungsbedarfes der Kärntner Seen. Anm.: der Bestand an Überwachungsgeräten wurde hier berücksichtigt.	135
Tabelle 41: Anwendung der Überwachungsstrategien zur Minimierung des Risikos mit dem dadurch anfallenden Finanzierungsbedarfes der Oberösterreichischen Seen. Anm.: der Bestand an Überwachungsgeräten wurde hier berücksichtigt.	135

Kurzzusammenfassung

Seedruckleitungen wurden ab Beginn der 1970er Jahre an mehreren Seen in Österreich im Zuge der Errichtung der Abwasserentsorgung der jeweiligen See-Anrainergemeinden errichtet. Viele dieser Leitungen wurden nur in einfacher Ausführung (d.h. ein Strang) ausgeführt. Eine nachträgliche Parallelführung der Abwasser-Druckleitungen wurde auch zu einem späteren Zeitpunkt nur selten durchgeführt. Da die verwendeten Leitungen ihre damals kalkulierte Lebensdauer von 50 Jahren in naher Zukunft erreichen, stellte sich nun die Frage nach dem von ihnen ausgehenden Risiko, insbesondere in Verbindung mit der starken touristischen Nutzung der betroffenen Seen.

Eine zentrale Aufgabe innerhalb dieser Studie war die Erhebung des Zustandes der in Österreich verlegten Seedruckleitungen. Neben den Abwasserdruckleitungen wurden auch die Trinkwasserdruckleitungen in den betroffenen Seen erhoben. Die damals verwendeten Rohrmaterialien waren hauptsächlich Polyethylen, nur in Ausnahmefällen Gusseisen. Es wurden im Zuge dieser Studie 17 Seen mit Abwasser-Seedruckleitungen und 8 Seen mit Trinkwasserleitungen identifiziert, wobei in 7 Seen sowohl Trink- als auch Abwasser-Seedruckleitungen verlegt sind. In Summe wurden rund 190 km seeverlegte Einzel- und Parallelleitungen erhoben (Abwasserentsorgung ca. 160 km, Trinkwasserversorgung ca. 30 km).

Bei der Erfassung des aktuellen Zustandes von Seedruckleitungen werden mehrere Methoden betrachtet, wie z.B. die (i) Pumpendatenauswertung, (ii) lagemäßige Erfassung der am Seegrund liegenden Seedruckleitung, (iii) optische Innenrohrinspektion und (iv) Druckprüfung, sowie die Vertreter der permanenten Messmethoden wie die (v) elektronische Druckmessung und (vi) Durchflussmessung.

Für die Ermittlung des Risikos der jeweiligen Abwasser-Seedruckleitung wurde ein Risikoziel definiert. Dieses Risikoziel entspricht einem fiktiven Schaden einer Seedruckleitung mit der ungewollten Freisetzung von Abwasser in den See. Es kommen zwei Arten der Betrachtung bezüglich der Auswirkung auf den See und die Menschen zur Anwendung: Außerhalb der Badesaison liegt die Auswirkung auf den Nährstoffhaushalt des Sees im Fokus der Betrachtung, innerhalb der Badesaison erfolgt die Abschätzung der Auswirkung auf die Badenden mit dem Indikatorkeim *E.coli*.

Eine Form der probabilistischen Risikoanalyse wurde so modifiziert, dass die Risikoanalyse von Seedruckleitungen unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Faktoren, die auf das Gesamtrisiko Einfluss haben können, vorgenommen werden konnte. Die bisher bekannt gewordenen Schadensfälle der Leitungen wurden erhoben, zusammengefasst und für die Analyse statistisch ausgewertet. Jede einzelne Leitung wurde anhand der Daten, die vom jeweiligen Betreiber zur Verfügung gestellt wurden, nach der erarbeiteten Methode bewertet. Danach konnte eine Reihung der Leitungen anhand der resultierenden Risiko-Maßzahl abgeleitet werden. Die Risikoanalyse benennt die relevanten Beiträge, die durch Schwachstellen des Seedruckleitungssystems bestimmt sind, zum jeweiligen Gesamtrisiko.

Eine Identifikation von generischen risikominimierenden Maßnahmen, wie zum Beispiel Überwachungsstrategien, wurde ebenfalls durchgeführt. In Bezug auf die Handlungsempfehlungen wurden Verbesserungen zur Minimierung des bestehenden Risikos während des Betriebs und der Überwachung angeführt. Diese sind unter anderen betrieblichen Vorschriften (inklusive der Überwachungsstrategien), Erprobung von Handlungsabläufen wie Taucheinsätze oder

Reparaturen sowie angemessene Maßnahmen der Behörden mit Fokus auf die EU Badegewässer-Richtlinie.

Die Überlegungen zu einer Grobkostenschätzung für den voraussichtlichen zukünftigen Finanzierungsbedarf waren geprägt von der Minimierung des Risikos einer ungewollten Abwassereinleitung in den betroffenen See durch entsprechende Maßnahmen. Dazu wurden je Maßnahme zwei Hauptkriterien mit unterschiedlichen Grenzen definiert. Daraus konnte ein überschlägiger Finanzierungsbedarf jedes betroffenen Sees ermittelt werden.

Bezüglich der auf die Betreiber zukommenden Investitionen, im Falle eines Neubaus einer Seedruckleitung aus dem bisher meistverwendeten Material Polyethylen, wurde eine Kostenschätzung sowie im Ansatz ein Kostenvergleich für landseitig/seeseitig verlegte Seedruckleitungen durchgeführt. Der überschlägige Finanzbedarf ergibt bei Berücksichtigung aller Maßnahmen eine Summe von rund € 15,9 Mio., wobei hier als maßgebender Kostenfaktor der Bau neuer Seedruckleitungen zu nennen ist.

Als ein Aspekt einer betrieblichen Vorschrift wurde ein Stufenplan zur Überwachung der Seedruckleitungen entwickelt, der aktuell aus fünf Methoden in Anlehnung an die Überwachungsstrategie für Abwasser-Seedruckleitungen besteht.

Beim Ausblick wurde auf innovative Lösungen bezüglich des Problems der Molchung bei nur einer vorhandenen Seedruckleitung, sowie der Leckage-Ortung in Seedruckleitungen mit Hilfe der faseroptischen Temperaturmessung eingegangen. Bei ausgewählten Seedruckleitungssystemen wurden Maßnahmenvarianten auf ihren risikominimierenden Beitrag hin im Vergleich untersucht. Das Potential der Methodik liegt also darin, den risikominimierenden Beitrag verschiedener Verbesserungsmaßnahmen in Relation zum Aufwand ihrer Implementierung setzen zu können. Zuletzt wurden objektive Überlegungen für eine zukünftige Verlegung von neuen Druckleitungen in Seen angestellt.

Hinweis: Der im folgenden Text öfters erwähnte → **Ergänzungsband zu dieser Studie** wurde zur Förderung der besseren Übersichtlichkeit der Inhalte in dieser Studie erstellt. Da er auch sensible Daten der Betreiber von Seedruckleitungen enthält, wird er aus Datenschutzgründen nicht öffentlich zugänglich gemacht.

Short Summary

Pressure lines for sewage transport were installed from the early 1970s in several lakes in Austria. The reason was the quick and simple crossing of lakes to reach the opposite bank. Most of these transport lines for sewage have been carried out as a single line. A parallel structure to reduce the risk (if one line cannot be used) was rarely installed. Since the used pipes achieve their formerly calculated life time of 50 years in the near future, the emerging question is the risk of a leakage, particularly in connection to the strong tourist use of the concerned lakes.

One central task within this study was to survey the state of the pressure lines located in the lakes. This was done for pressure lines transporting wastewater and drinking water. The used pipe material was mainly polyethylene, once cast iron. There were identified during this study in total 17 lakes with sewage lines and 8 lakes with drinking water lines. In total information of 190 km pressure lines were collected (about 160 km for wastewater, about 30 km for drinking water).

The current state of the identified sewage pressure lines can be described by several methods, such as (i) Pump data analysis, (ii) positional detection of the lines, (iii) optical inspection and (iv) pressure test, as well as online methods such as (v) pressure and (vi) flow measurements.

To determine the risk of the pressure lines for sewage transport, a risk target has been defined. This risk target corresponds to an unexpected discharge of sewage into the lake. There were identified two types of influence. Outside the bathing season the impact on the nutrient balance of the lake is predominant, and within the bathing season the impact to human health is predominant.

Another central task was the risk analysis. One form of the probabilistic risk analysis has been modified so that the risk analysis of sewage pressure lines can taking into account a variety of factors that may affect the overall risk. All known cases of pipe damages were collected, compiled and statistically analysed. Every single line was assessed on the basis of the data provided by their operators, according to the developed method. A ranking list of all lines derived from their risk could be realised.

An identification of risk-minimizing measures (monitoring strategies) was also performed. With regard to minimize the risk during operation an operational procedure is presented. These are among other operational requirements (including monitoring strategies), internal action plans and appropriate measures by the authorities in focus on the EU Bathing Water Directive.

After the risk analysis a rough cost estimation for the expected financing requirements in future was done. All cost relevant measures had the aim to minimize the risk of an unexpected discharge of wastewater into the lake. To be able to achieve that, each measure were divided into two main criteria which were provided with different boundaries. This resulted in a financing requirement of each line of the lakes involved. The cost estimation is in total € 15,9 million for all lakes, mainly due to the construction of new pressure lines.

As one aspect of the applied measures, a step by step plan for monitoring the pressure pipes has been developed which currently consists of five methods on the basis of the monitoring strategies for sewage pressure lines.

The outlook is focused on innovative solutions for the problem of pipe pigging if there is installed only one pressure line, as well as the leak-location in pressure lines under water using the fiber optic temperature measurement. Finally impartial considerations for new installations of new pressure lines in lakes in the near future were discussed.

1. Motivation

Seenreinhaltung – Verschlechterungsverbot

Ende der 1950er Jahre boomte an vielen Österreichischen Seen der Tourismus. Die ungenügende Abwasserentsorgung bzw. –reinigung führte jedoch aufgrund der unkontrollierten Einleitung der Schmutzwässer in die vorhandenen Oberflächengewässer zu einer dermaßen schlechten Wasserqualität, dass schließlich sogar die Touristen ausblieben (z.B. Schulz und Schulz, 1977; Deisinger, 1987; Hindak und Deisinger, 1989). Dies bescherte der eben erst aufgekommenen Tourismusbranche in diesen Regionen große finanzielle Verluste und Imageschäden. Daraufhin wurden intensive Anstrengungen unternommen, diese Situation wieder zu verbessern. Diese Maßnahmen waren geprägt einerseits von den technischen Herausforderungen und andererseits durch den erheblichen Finanzierungsbedarf für ihre Umsetzung.

Das Verschlechterungsverbot des aktuellen Zustands basiert aktuell auf der Umsetzung der EU-WRRL (2000/60/EG), wobei dieses Verbot in Österreich auch schon vorher in ähnlicher Form im Österreichischen Wasserrechtsgesetz 1959 (StF.: BGBl. Nr. 215/1959) festgeschrieben war. Die nationale Umsetzung der EU-WRRL laut dem NGP 2009 (BMLFUW, 2010) verfolgt prinzipiell eine stufenweise Zielerreichung bis zum Jahre 2027. Dies bedeutet, dass bis dahin alle Oberflächengewässer einen *guten Zustand* erreichen sollen und eine Verschlechterung des aktuellen Zustands verhindert werden soll. Dazu muss angemerkt werden, dass laut dem Anhang zum NGP 2009 (vgl. Wasserkörpertabellen Seen; BMLFUW, 2010a) alle natürlichen Seen diesen Zustand bereits 2015 erreichen sollten.

Zukünftiger Finanzierungsbedarf

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, wurden ab Mitte der 1960er Jahre umfangreiche Maßnahmen zur Gewässerreinigung in Österreich gesetzt. Finanziert wurde der steigende Bedarf vor allem aus Bundes- und Landesmitteln.

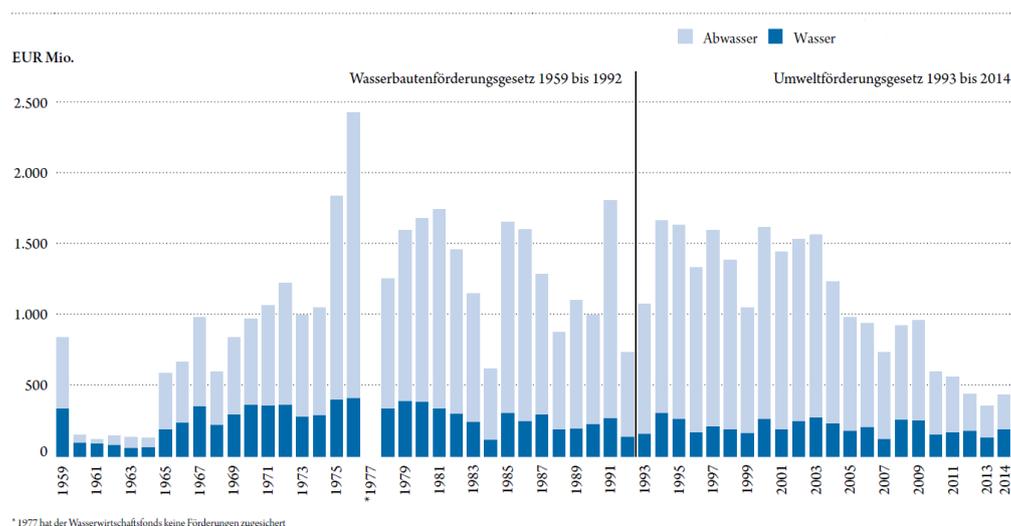


Abbildung 1: Übersicht über die geförderten Investitionen (indexangepasst) zwischen 1959 und 2014 (Quelle: BMLFUW/KPC, 2015; zitiert in BMLFUW, 2015).

In diese Zeit fallen auch die großen Investitionen bezüglich der Seedruckleitungen (z.B. Wörthersee, Ossiacher See, Attersee). Diese wurden ab Anfang der 1970er Jahre an mehreren Seen in Österreich im Zuge der Errichtung der Abwasserentsorgung der jeweiligen See-Anrainergemeinden errichtet.

Da die überwiegend verwendeten Polyethylen-Rohre ihre damals kalkulierte Lebensdauer von 50 Jahren in naher Zukunft erreichen und sich die beobachteten Schadensfälle scheinbar häufen, stellt sich nun die Frage nach einer höchstmöglichen Sicherheit bei gleichzeitig vertretbarem finanziellen und personellen Aufwand durch allfällige Sanierungen. Es besteht Unsicherheit über die tatsächliche Lebensdauer der verlegten Druckleitungen bei gleichzeitiger Sorge, dass der zukünftige Sanierungsaufwand und die Sanierungsdauer erheblich sein könnte.

Eine Tendenz ist zu beobachten, dass sich einige Betreiber vom ursprünglichen Konzept des Abwassertransports über den See abwenden und auf die klassische Verlegung über den Landweg zurückgreifen. Dies mag bei vorteilhaften Gegebenheiten (z.B. den Neubau eines Radweges) durchaus seine Berechtigung haben, doch bietet sich diese Verlegungsoption nicht immer als Alternative an. Stets muss die konkrete Situation vor Ort berücksichtigt werden.

Risikobewertung der bestehenden Abwasserleitungen

Die besondere Art der Verlegung von Abwasserleitungen im Seebereich erfordert nach den gemeinschaftlichen Regelwerken der EU besondere Aufmerksamkeit. Hierbei ist vor allem die EU Badegewässer-Richtlinie (RL 2006/7/EG) zu nennen.

„Diese Richtlinie gilt für jeden Abschnitt eines Oberflächengewässers, bei dem die zuständige Behörde mit einer großen Zahl von Badenden rechnet und für den sie kein dauerhaftes Badeverbot erlassen hat oder nicht auf Dauer vom Baden abrät (nachstehend „Badegewässer“ genannt).“ (RL 2006/7/EG)

Die Definition einer **kurzzeitigen Verschmutzung** laut Richtlinie 2006/7/EG ist eine *„mikrobiologische Verunreinigung mit Intestinalen Enterokokken oder Escherichia coli, die eindeutig feststellbare Ursachen hat, bei der normalerweise nicht damit gerechnet wird, dass sie die Qualität der Badegewässer mehr als ungefähr 72 Stunden ab Beginn der Beeinträchtigung der Qualität der Badegewässer beeinträchtigt, und für die die zuständige Behörde, wie in Anhang II (Anm.: Bewertung und Einstufung von Badegewässern) dargelegt, Verfahren zur Vorhersage und entsprechende Abhilfemaßnahmen festgelegt hat.“*

Es wird hier davon ausgegangen, dass ein aufgetretenes Problem innerhalb von 3 Tagen nicht mehr als solches erkennbar ist. Weiters wird gefordert, dass die zuständigen Behörden Maßnahmen zur Detektion und Reparatur bereits im Vorfeld treffen müssen.

Handlungsempfehlungen für Maßnahmen

Wenn das ausgewiesene Badegewässer für kurzzeitige Verschmutzungen anfällig ist, müssen laut Richtlinie 2006/7/EG wesentliche Schritte bereits im Vorfeld unternommen werden. Im Fall der seeverlegten Abwasserdruckleitungen ist davon auszugehen, dass diese im Schadensfall eine kurzzeitige Verschmutzung der Badegewässer bewirken.

Dies betrifft im Fall einer Verschmutzung, die sich auf die Gesundheit der Badenden auswirken kann, angemessene Maßnahmen

- zur Warnung der Badenden bis hin zum Aussprechen eines Badeverbots im Fall einer Verschmutzung (Beobachtungsmaßnahmen, Frühwarnsysteme und Überwachung).
- zur Vermeidung, Verringerung und Beseitigung der Verschmutzung.
- der zuständigen Behörden, falls diese von einer Verschmutzung in Kenntnis gesetzt werden oder wenn bereits im Vorfeld nach vernünftiger Einschätzung mit einer Verschmutzung zu rechnen ist.

2. Projektziele

Die Hauptziele dieses Projektes lagen darin,

- ✓ eine Methodik für die ökologische und ökonomische Risikobewertung der Seedruckleitungen in Österreich zu erstellen, und
- ✓ mit dieser Methodik die bestehenden Leitungen zu analysieren, eine Prioritätenliste zu erstellen, den Handlungsbedarf abzuschätzen sowie die Auswirkungen von risikomindernden Maßnahmen zu bewerten.

Eine Aufgabe dabei war die Erhebung des Zustandes der in Österreich verlegten Seedruckleitungen aus (vorwiegend) Polyethylen. Neben den Abwasserdruckleitungen sollten die ebenfalls in den Seen verlaufenden Trinkwasserdruckleitungen miterhoben werden. Letzteres nicht wegen möglicher Auswirkungen auf die Gesundheit oder die Umwelt bei einem Schaden, sondern hinsichtlich der Bestandserhebung und des potenziellen Sanierungsaufwandes.

Eine schadhafte Abwasserdruckleitung in einem touristisch erschlossenen Badesee während der Sommersaison will man sich nicht vorstellen. Inwieweit dieses worst-case-Szenario bei den zuständigen Behörden und betroffenen Abwasserverbänden eine angemessene „Feuerwehrstrategie“ auslöst, galt es genauso zu erheben, wie die mögliche Konsequenz für die dadurch betroffenen Einwohner.

Ob die in (naher) Zukunft geplanten Neubau- bzw. Sanierungsprojekte für die Polyethylen-Rohre wirklich mit ihrer Lebensdauer zu begründen sind oder andere Faktoren eine Rolle spielen, war ebenfalls ein Thema während der Untersuchungen.

Ein weiteres Ziel wäre die Erhebung zur Frage, ob es auch für zukünftige Generationen einen Sinn macht, diese Art der Leitungsführung beizubehalten, oder komplett auf eine z.B. alternativ landverlegte Leitungsführung umzusteigen.

3. Ökologischer und volkswirtschaftlicher Nutzen

Die Entwicklung des Fremdenverkehrs, die zunehmende Verbauung der Seeufer und die damit verbundene Zunahme der häuslichen Abwässer sowie die intensiviertere Verwendung von Mineraldünger im landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet führte in den 1950er und 1960er Jahren zum Umdenken. Nachdem es immer öfter zu Problemen hinsichtlich der Reinheit der Seen kam, wurden massive Anstrengungen und hohe kommunale Investitionen unternommen, um diese Situation zu verbessern. Auf der einen Seite wurde die Kanalisation um die Seen ausgebaut, auf der anderen Seite wurden Kläranlagen entweder neu errichtet oder adaptiert. Diesbezüglich wurde auf Jahrzehnte hinaus eine tragfähige Struktur zum Schutz der Oberflächengewässer gegenüber Verunreinigungen geschaffen, auf der letztendlich auch die Tourismuswirtschaft aufbaut.

Die Auswirkungen von undichten Abwasserleitungen in den österreichischen Seen sind je nach Schadensumfang mannigfaltig. Die ökologische Komponente ist von großer Bedeutung. Hier gilt, dass – je nach Austrittsmenge pro Zeiteinheit – in Abhängigkeit der aktuell vorhandenen klimatischen Gegebenheiten und Trophie zwar eine gewisse Stoffumsetzung vorausgesetzt werden kann, doch ist diese Selbstreinigungskapazität nur unscharf definiert und daher nicht eindeutig bewertbar. Das Szenario einer Verschmutzung aus Abwasser-Seedruckleitungen ist insofern als fatal einzustufen, da es vom zuständigen Betreiber lange Zeit unbemerkt ablaufen

kann. Die ökologischen Veränderungen sind möglicherweise erst nach langer Zeit bemerkbar und vielleicht nicht unmittelbar auf die angenommene Ursache zurückzuführen. Es werden möglicherweise falsche Schlüsse gezogen und damit auch falsche Maßnahmen gesetzt, die eigentlich eine Kompensation für negative Veränderungen erbringen sollen.

Falls es zu einem Totalversagen kommt (Bruch der Leitung), macht sich dieser Umstand wahrscheinlich kurzfristig bemerkbar. Der Schaden kann jedoch trotzdem enorm sein. Es müssten bezüglich dieses worst-case-Szenarios Sofortmaßnahmen gesetzt werden, die sofort und „um jeden Preis“ (damit möglicherweise auch extrem teuer) umgesetzt werden müssten.

Die Verluste aus dem Sommertourismus sind nicht nur monetärer Art, auch eine kurzzeitige Bewertung „Für Badezwecke nicht geeignet“ wäre ein extrem schlechtes Image für ein Fremdenverkehrsgebiet, welches seit Jahrzehnten mit der Reinheit seiner Seen Werbung macht.

4. Definition des Begriffs Seedruckleitung in dieser Studie

Ein Druckleitungssystem besteht aus den eigentlichen Druckrohren mit den Rohrverbindungen (bei Flanschen gegebenenfalls mit Dichtmaterial), den Armaturen wie z.B. Schiebern, Be- und Entlüftungseinrichtungen sowie den Druckstoßsicherungen und Kontrolleinrichtungen (ATV, 1994). Diese Systeme sollten entsprechend gut aufeinander abgestimmt werden, um im laufenden Betrieb keine Störungen zu verursachen bzw. die Schadensanfälligkeit zu vermindern.

Definition des Begriffs Seedruckleitung in dieser Studie (Abbildung 2):

- ✓ Seedruckleitungen dienen zum Transport von Abwasser oder Trinkwasser.
- ✓ Alle Druckleitungen, welche sich unterhalb der Wasseroberfläche befinden (d.h. auch ufernahe bzw. teilweise vergrabene Druckleitungen).
- ✓ Die gesamte Länge der Seedruckleitung reicht von der Pumpstation bis zum Auslauf(bauwerk).
- ✓ Die Druckleitung muss in Verwendung sein (auch zeitweilig verwendete Druckleitungen).
- ✓ Spülleitungen aus dem See bzw. in den See (sie sind genaugenommen per Definition eigentlich keine Druckleitungen).
- ✓ Ausleitungen in den See. Sie haben denselben Charakter wie Spülleitungen, werden aber vollständigshalber hier mitberücksichtigt.
- ✓ Dükerleitungen durch den See werden hier ebenfalls als Seedruckleitungen angesehen.

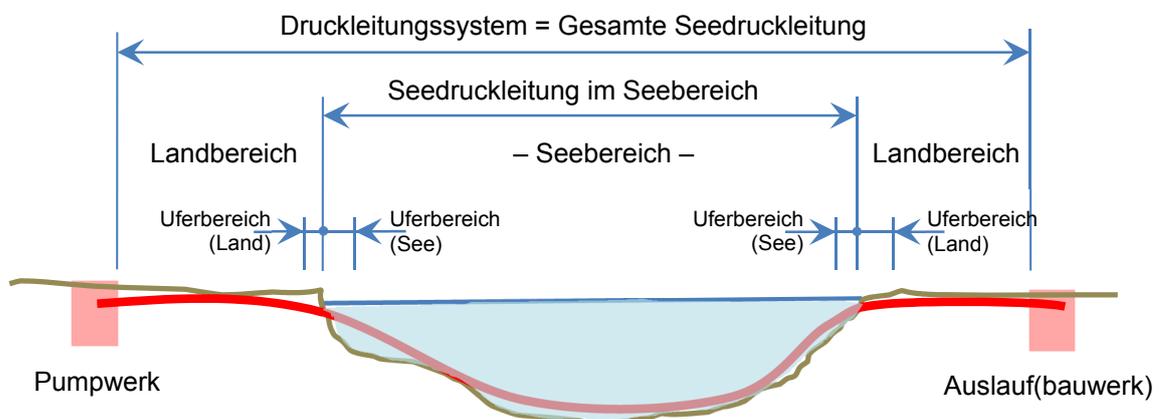


Abbildung 2: Definition des Begriffs Seedruckleitung im Zuge dieser Studie (hier: Abwasser-Seedruckleitung).

Man braucht für die Aufrechterhaltung der Abwasserentsorgungssicherheit zwar das gesamte Druckleitungssystem, doch sind hauptsächlich die im Seebereich verlegten Druckleitungsabschnitte von besonderem Interesse. Dies deshalb, weil man aktuell noch nicht abschätzen kann, wie sich ein potenzieller Schaden im Seebereich auswirkt, und andererseits ist die Zustandserfassung dieser Abschnitte eine besondere Herausforderung.

Eine weitere Besonderheit sind die Einbaubedingungen im See, welche - bezüglich Zugänglichkeit im Schadensfall und Auftriebskraft eines Polyethylenrohres (Anm.: Dichte $<1,0 \text{ g/cm}^3$) - in keiner Weise mit klassischen Landdruckleitungen zu vergleichen sind.

Die Abschnitte der Seedruckleitungen welche im Landbereich verlegt wurden, können andere Materialien aufweisen als die eigentlichen Seedruckleitungen im Seebereich.

Als Vereinfachung wird der Begriff „Seedruckleitung“ in den folgenden Abschnitten teilweise auch mit „SDL“ abgekürzt.

5. Methodik und Projektstruktur

Die Studie wurde an der Universität für Bodenkultur Wien durchgeführt. Daran beteiligt waren zwei Institute des Departments für Wasser-Atmosphäre-Umwelt:

- Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG)
- Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften (ISR)

Im Zuge der Studie wurden zwei Workshops mit den Betreibern von Seedruckleitungen als auch mit den Auftraggebern durchgeführt. Der erste im Dezember 2014, der zweite im Juni 2015. Nachfolgend sind die in dieser Studie bearbeiteten Arbeitspakete angeführt.

Arbeitspaket 1 Methoden zur Risikobewertung

Die Vorgehensweise zur Risikobewertung wird unter Berücksichtigung der Datenlage festgelegt.

Arbeitspaket 2 Bestandserhebung

Alle verfügbaren Informationen über die Druckleitungen in österreichischen Seen werden gesammelt.

Arbeitspaket 3 Methoden der Zustandserfassung und Sanierung

Eine Handlungsempfehlung hinsichtlich Inspektion und Zustandserfassung von Seedruckleitungen wird erarbeitet.

Arbeitspaket 4 Risikobewertung und Handlungsempfehlungen

Eine Risikobewertung mit Handlungsempfehlungen wird erarbeitet.

Arbeitspaket 5 Prioritätenreihung

Eine Prioritätenliste der Seedruckleitungen wird erstellt und eine Kostenschätzung liegt vor.

6. Grundlagen zu den Erhebungen

Das Arbeitspaket 2 umfasst die Bestandserhebung aller Abwasser- und Trinkwasserdruckleitungen in den betroffenen österreichischen Seen, sowie die Erhebung anderer relevanter Themengebiete wie z.B. die gewässerökologische Situation der Seen selbst. Dazu wurden neben einer umfangreichen Literaturrecherche zwei Workshops, drei email-Aussendungen und persönliche Besuche bei den Betreibern von Seedruckleitungen vor Ort durchgeführt.

Die von dieser Studie betroffenen Seen wurden einerseits durch die damit beauftragten Stellen der jeweiligen Landesregierung (Salzburg, Oberösterreich und Kärnten) als auch durch eigene Recherchen identifiziert.

Um eine Übersicht über das Thema zu erhalten, wurde ein **erster einfacher Befragungsbogen** per email ausgesandt (siehe Beispiel in Abbildung 3) und anschließend ausgewertet.

Das Ziel war einerseits eine Information der Betreiber hinsichtlich der durchzuführenden Studie und andererseits einen ersten Eindruck über den Zustand der Seedruckleitungen zu erhalten.

Abbildung 3: Erster Befragungsbogen zu den Seedruckleitungen.

Nachdem die erste Befragung ausgewertet war, wurde Mitte Dezember 2014 in Bad Goisern/Oberösterreich ein **erster Workshop** zu diesem Thema abgehalten. Das Ziel des ersten Workshops war es einerseits, das Projekt in seiner gesamten Struktur vorzustellen, und andererseits die Akzeptanz für den Aufwand der Datenerhebung bei den Betreibern zu fördern. Um die zu behandelnde Problematik auch in der Praxis zu erfassen und einen detaillierten Einblick in die Thematik zu erlangen, wurden persönliche Besuche bei den Betreibern von Seedruckleitungen angekündigt.

Nach diesem Workshop wurde ein **zweiter umfangreicher Befragungsbogen** auf Grundlage der bisherigen Erfahrungen wiederum an die Betreiber versendet. Darin wurden Fragen zu mehreren Themengebieten gestellt (siehe dazu auch Abbildung 4):

- ✓ Seedruckleitung(en) für Abwasser (AW-SDL)
- ✓ Pumpstation und Übergabeschacht
- ✓ Einzugsgebiet(e) für die Abwasser-Seedruckleitung
- ✓ Seedruckleitung(en) für Trinkwasser (TW-SDL)
- ✓ See / Nutzung
- ✓ Abwasserreinigungsanlage (ARA) / Verband / Gemeinde

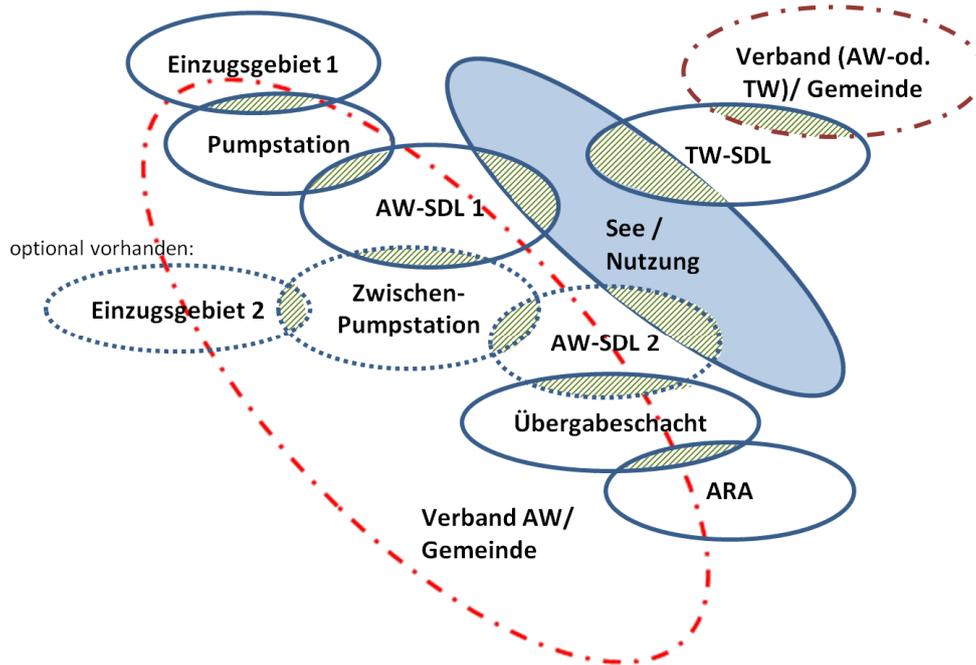


Abbildung 4: Zusammenhänge und Überlappungen der in dieser Studie berücksichtigten thematischen Gebiete.

Von besonderer Wichtigkeit war die Dokumentation aller bereits stattgefundenen Fälle von **Leitungsversagen**. Im Besonderen interessierten folgende Punkte:

- War es ein Leck oder Bruch?
- Wann trat das Versagen auf?
- Wo trat das Versagen auf? (Uferbereich, Zentralbereich oder ...)
- Wie wurde man auf den Schaden aufmerksam?
- Schaden an gerader freier Leitung oder bei Schweißnaht bzw. Knick durch ungünstigen Untergrund?
- Welche Umweltbelastung erfolgte auf Grund des Auftretens des Lecks/Bruchs bzw. wird erst erwartet?
- Welche Maßnahmen wurden damals/werden in Zukunft ergriffen?
- Sind alle Fälle dokumentiert/bekannt?

Weiters waren eventuell vorhandene **Notfallplanungen** von besonderem Interesse. Dies sollte das Bewusstsein über die Problematik abfragen:

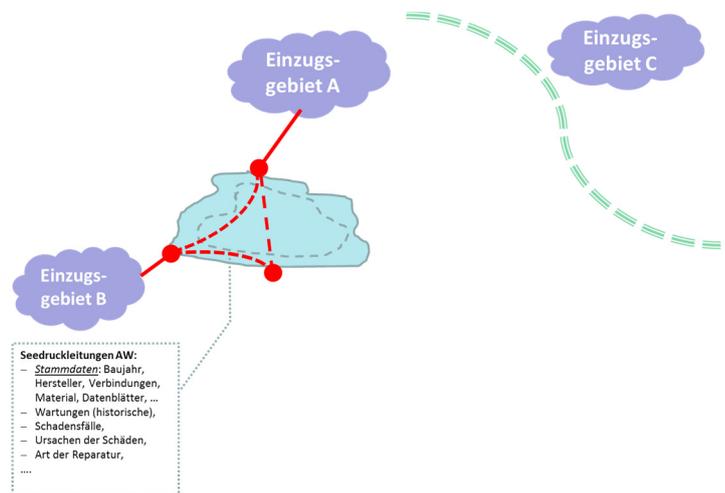
- Welche Schadensüberlegungen liegen den Notfallplanungen zugrunde?
- Beschreibung der Notfallpläne.
- Beschreibung der relevanten Örtlichkeiten.
- Beschreibung der Kommandostruktur.
- Beschreibung der vorhandenen Ausrüstung und Geräte.
- Gegebenenfalls der Zeitbedarf für die Errichtung von Notfalllösungen.
- Gibt es Praxisübungen und/oder Schlussfolgerungen daraus?

Im Folgenden werden die benötigten Unterlagen für die in Abbildung 4 benannten Themengebiete im Detail beschrieben. Wie zu erwarten, konnten trotz hohem Engagement nicht alle Fragen von jedem Betreiber beantwortet werden.

Themengebiet: Seedruckleitung(en) für Abwasser

Benötigte Unterlagen:

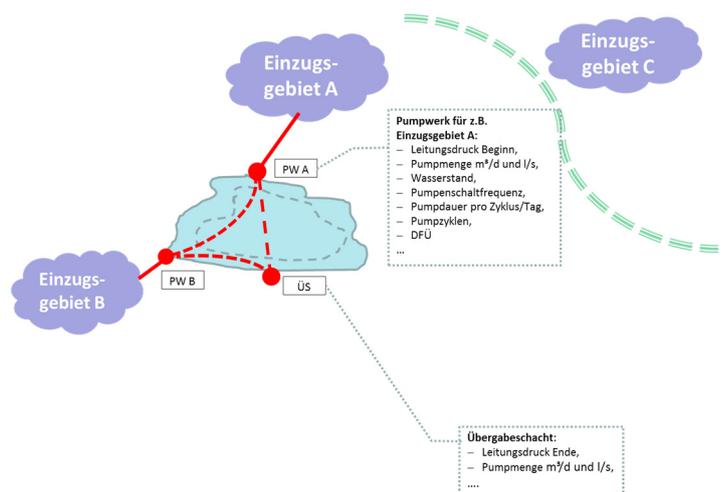
- (1) Pläne (als Übersicht, sowie detaillierte Pläne für die Lage der Schieber und der Pumpen)
- (2) „Stammdaten“ der Leitungen:
 - a. Baujahr
 - b. Material
 - c. Hersteller, Herstellungsart
 - d. Vorhandene damalige Unterlagen bzgl. der Herstellung bzw. über das verwendete Material
- (3) Lage am Seegrund (falls bekannt)
- (4) Bereits aufgetretene Schäden, wiederkehrende Probleme, Begutachtung defekter Rohrstücke bei Ortstermin möglich
- (5) Strategien zur Behebung von Schäden (vergangene bzw. in Zukunft auftretende)
- (6) Zukunftsszenarien (geplante Stilllegung einer SDL, etc.)
- (7) Durchgeführte Inspektionen (Wie?, Erkenntnis daraus?)



Themengebiet: Pumpstation und Übergabeschacht

Benötigte Unterlagen

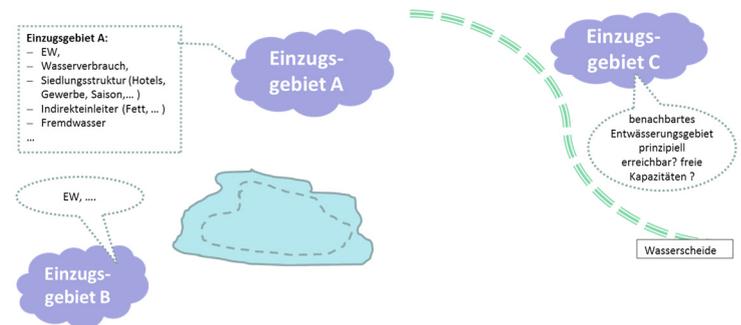
- (1) Pläne (als Übersicht, sowie detaillierte Pläne für die Lage der Schieber und der Pumpen)
- (2) Stammdaten: Baujahr, Pumpentype, Hersteller, Leistung, Pumpentausch, Zwischenspeichergröße, ...
- (3) Wartungsprotokolle jeder Pumpe, bzw. jedes Schiebers
- (4) Messungen (falls vorhanden):
 - a. Pumpmenge Beginn - Ende [m^3/d] und [L/s]
 - b. Leitungsdruck Beginn – Ende [bar]
 - c. Wasserstand
 - d. Pumpzyklen pro Tag, Pumpdauer pro Zyklus,
 - e. Datenfernübertragung. Wie?
 - f. Wie werden Daten im laufenden Überwachungsprozess verwendet (in Hinblick auf Rückschlüsse auf Schäden)
 - g. Weitere relevante Messparameter falls vorhanden



Themengebiet: Einzugsgebiet(e) für Abwasser-SDL

Benötigte Unterlagen

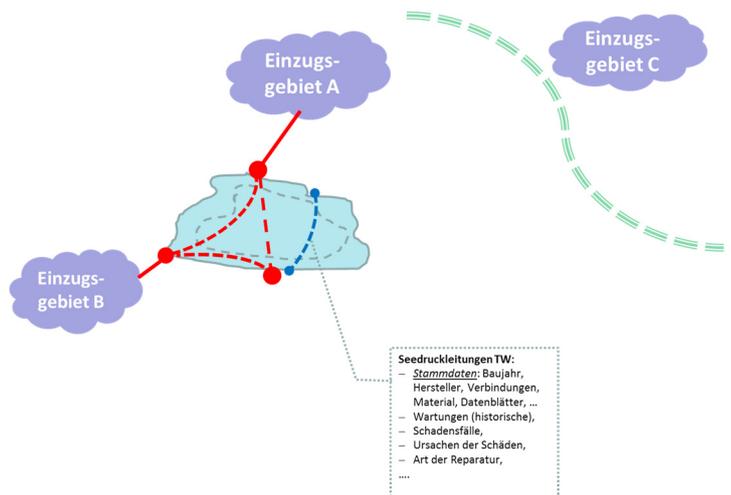
- (1) Größe des angeschlossenen Einzugsgebietes EZG (falls flächenmäßig relevant)
- (2) EW (EW = E + EGW)
- (3) Haupt- und Zweitwohnsitze, Tourismusanteil (Camping, Hotel, Pension)
- (4) Wasserverbrauch (falls dem EZG eindeutig zuordenbar)
- (5) Unterschied TW-Verbrauch und AW-Menge Sommer / Winter ?
- (6) Fremdwasseranteil geschätzt (Anm.: im Zuge der 1. Erhebung wurden alle EZG als Trennsystem angeführt)
- (7) Zukunftsszenarien im Einzugsgebiet (Entwicklungen im Einzugsgebiet, Bevölkerung, Gewerbe, Tourismus, etc.)
- (8) Lage „benachbarter Einzugsgebiete“ (z.B. eines anderen Verbandes)



Themengebiet: Seedruckleitung(en) für Trinkwasser

Benötigte Unterlagen

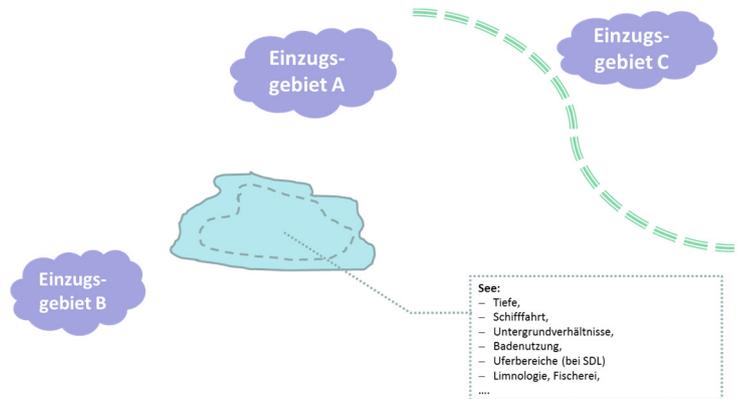
- (1) Pläne (als Übersicht)
- (2) Stammdaten der Leitungen:
 - a. Baujahr
 - b. Material
 - c. Hersteller, Herstellungsart
 - d. Alte Unterlagen bzgl. der Herstellung bzw. verwendetes Material
- (3) Lage am Seegrund (falls bekannt)
- (4) Bereits aufgetretene Schäden, wiederkehrende Probleme, defekte Rohrstücke nach Sanierung
- (5) Strategien zur Behebung von Schäden
- (6) Zukunftsszenarien (geplante Stilllegung einer SDL, etc.)
- (7) Durchgeführte Inspektionen



Themengebiet: See / Nutzung

Benötigte Unterlagen

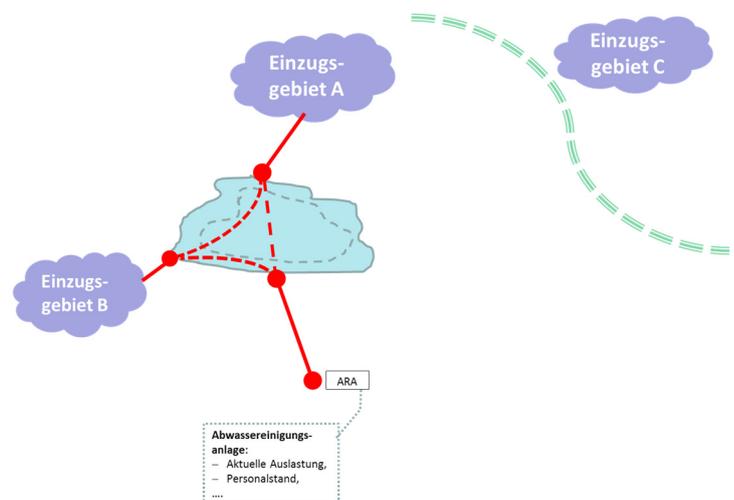
- (1) Stammdaten (Größe, Volumen, Tiefenverhältnisse)
- (2) Verhältnisse am Seeuntergrund (falls vorhanden)
- (3) Ausbildung der Uferbereiche (v.a. bei SDL)
- (4) Schifffahrt
- (5) Fischerei
- (6) Tourismus, Badenutzung
- (7) Unterschiede Sommer / Winter
- (8) Limnologie (z.B. ökologisch relevante Eigenschaften des Wassers, Stoffabbau und Stoffkreisläufe, Trophie und Saprobie)



Themengebiet: ARA / Verband / Gemeinde

Benötigte Unterlagen

- (1) Aktuelle durchschnittliche monatliche EW-Belastung der ARA (stofflich, hydraulisch)
- (2) Ausbaugröße der ARA
- (3) Personalstand
- (4) Art des Leitsystem (PW und ÜS), Ausfallssicherheit
- (5) Art der Datenfernübertragung (DFÜ), Ausfallssicherheit
- (6) Alarmierung bei Notfall für Pumpstationen und Seedruckleitungen
- (7) Störungsdienst für Pumpstationen und Seedruckleitungen
- (8) Notfallplan – was passiert im Notfall (Bruch der Seedruckleitung, Pumpen defekt, ...)
- (9) Zukunftsstrategien im Verbandsgebiet (z.B. für Kostenüberlegungen für durchzuführende Maßnahmen an den Seedruckleitungen)



Die **Besuche vor Ort bei den Betreibern der Seedruckleitungen** fanden im März 2015 statt. Dabei wurden alle 18 Betreiber persönlich in den jeweiligen Betriebsgebäuden besucht. Das Ziel war das Kennenlernen der Überwachungsmethoden der Seedruckleitungen im ARA-Leitsystem und der Besuch von jeweils mindestens einem Pumpwerk. Dieses sollte die standardmäßige Ausstattung eines Pumpwerks für Seedruckleitungen vom Verband bzw. von der Gemeinde aufweisen.

Die Informationen, welche vor Ort gesammelt wurden, waren für die Aussagen in dieser Studie von substantieller Bedeutung und verhalfen den Studienautoren zu wichtigen Erkenntnissen.

Der **zweite Workshop**, Mitte Juni 2015 in St. Veit an der Glan/Kärnten, wurde nach den Arbeitspaketen zu den Methoden der Risikobewertung, der Bestandserhebung sowie den ersten Erfahrungen mit den Methoden der Zustandserfassung durchgeführt. Das Ziel war eine offene Diskussion aller Beteiligten über die vorgeschlagenen Methoden und die nachfolgende Bewertung und Handlungsempfehlungen.

Während dieses Workshops wurde von den Betreibern die Übermittlung der Grundlegendaten zu der Risikobewertung angeregt. Zur Abklärung etwaiger Ungereimtheiten und Aktualisierungen wurden die **Grundlegendaten als Datenblätter der erfassten Seedruckleitungen** Mitte Juli 2015 den Betreibern per email zugesandt. Abbildung 5 zeigt als Beispiel ein solches Datenblatt. Die Grundlagen zu den darin enthaltenen Informationen werden in den folgenden Kapiteln behandelt.

Die Datenblätter für alle untersuchten Seedruckleitungen sind dem → Ergänzungsband zu dieser Studie zu entnehmen.

Name des Sees:	See
ID der Leitung:	ID 1

Risikoziel-Freisetzung (m³)		
	Ufer	Zentral
Badesaison	1	100
Außerhalb Badesaison	50000	50000

Daten zur Erhebung der Bruchhäufigkeit	
Seedruckleitung	
Schweißnähte	endlos extrudiert
Innendurchmesser	250 mm
Betriebsdruck	1 bar
Tiefster Verlegungspunkt	100 m
Betriebsalter	32 a
Aufschwimmen durch nachträgliche bauliche Maßnahmen verhindert?	nein
Schiffahrt am See vorhanden?	ja
Uferbereich	
Bodenneigung (1)	steil
Bodenbeschaffenheit (2)	sandig
Leitungslänge	100 m
Zentralbereich	
Bodenneigung (1)	steil
Bodenbeschaffenheit (2)	sandig
Leitungslänge	1000 m
Pumpenstation	
Volumen/Tag im Jahresmittel	32 m³
Pumpenzyklen/Tag	45
Schnell/Langsam anfahrende Pumpe	langsam

Notfallplanung	
Art	
Zweite Leitung die zu jeder Jahreszeit redundant zur ersten Leitung betrieben werden kann?	nein
Abtransport mit Saugwägen über längere Zeit möglich?	nein
Reparaturbereich im Uferbereich (Definition siehe Beiblatt)	100 m
Reparaturzeit im Uferbereich in Tagen (Schätzung oder Erfahrungswert)	28 d
Reparaturbereich im Zentralbereich (Definition siehe Beiblatt)	300 m
Reparaturzeit im Zentralbereich in Tagen (Schätzung oder Erfahrungswert)	28 d

Detektion eines Lecks	
Technische Maßnahmen	
Direkte Messung	
Durchflussmesser (MID) vorhanden	nein
Position des MID (3)	-
Genauigkeit des MID im Betrieb	- %
Druckfühler in der Leitung vorhanden	nein
Position des Druckfühlers (3)	-
andere Methode zur Leckdetektion vorhanden	nein
Indirekte Messung	
Wird die elektrische Stromstärke der Pumpe gemessen und aufgezeichnet?	ja
Wird die Laufzeit der Pumpe aufgezeichnet?	nein
Betriebliche Maßnahmen	
Benachrichtigung des zuständigen Betriebspersonals (z.B. Fernmeldung an den Wart, an die Leitstelle, oder Ablesen an der Pumpstation nötig)	ja
Zeit zwischen zwei (Pumpen)datenauswertungen durch das zuständige Betriebspersonal, Null für "Daten werden nicht erhoben bzw nicht ausgewertet"	0 d
Zeit zwischen zwei Druckproben, Null für "es werden keine Druckproben durchgeführt"	5 a

Abbildung 5: Beispiel eines Datenblattes für eine Seedruckleitung (ID X) zur Berechnung des Risikos einer möglichen Freisetzung von Abwasser.

7. Sicherheits- und Risikoanalyse mit Fokus zur Studie

In einer Vorstudie wurden zwei mögliche Methoden zur Risikoerhebung und Bewertung der Seedruckleitungen im Rahmen des gegenständlichen Projekts in die nähere Auswahl gezogen: die Probabilistische Risikoanalyse (englisch: Probabilistic Safety Analysis oder Probabilistic Risk Assessment; USNRC, 1981), und die Deterministische Risikoanalyse (englisch: Deterministic Risk Assessment; IAEA, 2010).

7.1. Probabilistische Sicherheits- und Risikoanalyse

Mögliche Störfälle werden auf möglichst breiter Basis betrachtet, wobei jeweilige Folgeereignisketten und Kombinationsereignisse, soweit bekannt oder vorstellbar, mitgenommen werden. Daraus werden Ereignisbäume (mit Verzweigungen) erstellt. Am Ende soll dann letztlich die Schadenshäufigkeit abschätzbar und an die Spitzen der Äste anheftbar werden. Ebenso sollen die Wahrscheinlichkeiten an allen Knoten/Verzweigungen bezifferbar werden, so dass schließlich an den Astenden errechnete Gesamthäufigkeiten angeheftet werden können.

In einer ausführlichen probabilistischen Risikoanalyse werden die Wahrscheinlichkeiten der Verzweigungen des Ereignisbaumes mit einer Fehlerbaumanalyse ermittelt. Dabei wird untersucht, wie sich die Wahrscheinlichkeit, dass Teilkomponenten eines zusammengesetzten Sicherheitssystems bei dessen Inanspruchnahme versagen, auf die gesamte Versagenswahrscheinlichkeit dieses Systems auswirken. Dies muss im Grunde für jeden Verzweigungspunkt im Ereignisbaum durchgeführt werden. Auf dieser Basis sind die notwendigen wahrscheinlichkeitsbasierten Quantifizierungen für den Ereignisbaum eruierbar, soweit sinnvoll möglich.

Auf einer grundsätzlichen Ebene ist zu definieren, wann Störfallereignisse zu unerwünschter Schadenswirkung führen, womit das eigentliche Ziel der Risikoanalyse festgelegt wird. Am Beispielfall würde das bedeuten, mögliche Freisetzungen in den See zu betrachten und zu bewerten. Dazu sind die ökologischen und sonstigen Wirkungen hineinzunehmen.

Auf einer weiteren Ebene könnten dann Schutz- und Vorbeugemaßnahmen diskutiert werden.

7.2. Deterministische Sicherheits- und Risikoanalyse

Was an "Störfällen" möglich erscheint, aufgrund bereits gemachter Erfahrungen und aufgrund einer technischen Analyse der verwendeten Systeme, wird genauer betrachtet (z.B. Leitungsbruch aufgrund von Materialermüdung, Erdbeben, Seeströmungen, Rohrverbindungsstücke, Druckstöße, etc.). Hier spielen Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen mithinein. Diese "Störfälle" können dann geeignet in Klassen gebündelt werden.

Es werden Schadensklassen definiert und eingeteilt in noch zulässige oder nicht mehr zulässige Bereiche. Dabei wären ökologische Grenzen aber auch Grenzen, die durch die touristische Nutzung oder das geforderte Maß an Lebensqualität für die Anrainer bedingt sind, zu berücksichtigen bzw. zu unterscheiden. Es könnte ein GAU (größter anzunehmender Unfall) definiert werden (z.B. über das Gesamtvolumen der im See verlegten Rohre) und auch überschreitende Unfälle (z.B. wenn die Eingangs-Ventile versagen).

Es muss gezeigt werden, dass die jeweiligen Klassen von Störfällen/Leckagen zulässige Grenzen der Auswirkungen/Schädigungen nicht überschreiten (Ampelsystem). Daraus können diejenigen Ereignisklassen, die als problematisch gelten können, abgeleitet werden. Dabei können auch geeignete Maßnahmen betrachtet werden, die eventuelle grenzüberschreitende Ereignisse verhüten können (zusätzliche Sicherungsmechanismen, Leckage-Indikatoren, rechtzeitige passende Wartungsarbeiten oder dergl.)

Aus der Betrachtung der Ereignisklassen mit grenzüberschreitender Schadenswirkung könnten Überlegungen für Alternativen folgen. Dazu zählen Redundanz (z.B. eine zweite parallele Leitung) und Diversität (z.B. unterschiedliche Pumpentypen) von verwendeten Systemen oder auch ein Systemwechsel (z.B. das Ende der „Seeleitungspraxis“).

7.3. Risikoabschätzung für einen als Badegewässer genutzten See

Auf den ersten Blick erscheint eine deterministische Analyse vom Aufwand her einfacher durchführbar zu sein als eine probabilistische. Die deterministische Analyse erlaubt es, den gegenwärtigen Zustand eines Systems in der gegebenen Auslegung im Hinblick auf wohldefinierte Schutzziele zu bewerten. Welchen Beitrag Teilsysteme oder Schutzmaßnahmen auf das Gesamtrisiko eines Versagens haben, ist dabei schwer erkennbar. Daher bieten sich eher probabilistische Methoden zur Risikoanalyse an, sofern die Datenlage ihre Durchführung erlaubt.

Die Analyse der erhobenen Daten (siehe Kapitel 10) hat gezeigt, dass eine vollständige probabilistische Analyse nicht durchgeführt werden kann. Der ganz erhebliche Bedarf für die Datenerhebung, -erfassung und -auswertung würde den Rahmen dieses Projekts sprengen. In diesem Projekt wird daher eine reduzierte und auf das behandelte Problem der Seedruckleitungen angepasste probabilistische Risikoanalyse (PRA) entwickelt (vergleiche dazu Kapitel 15).

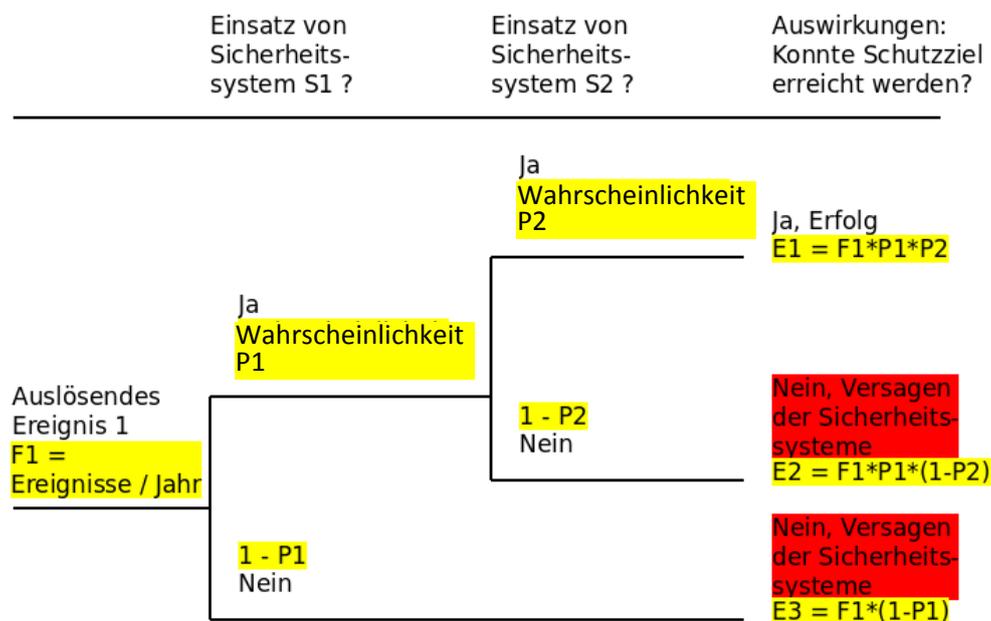


Abbildung 6: Ein generischer Ereignisbaum zur Risikoabschätzung aus der Methode „Probabilistic Risk Assessment“ (PRA).

Diese Methode erlaubt es, eine vergleichende Risikoabschätzung für Seedruckleitungen durchzuführen. Die PRA Methodik ist so angelegt, dass auf eine Analyse von Schwachstellen des Systems fokussiert werden kann. Auf dieser Basis ist dann eine Priorisierung von Maßnahmen zur

Minimierung des Risikos möglich. Der reduzierte und vereinfachte PRA-Zugang ist daher durchaus sinnvoll und dienlich für die Erreichung der Projektziele. Überdies wird die Überprüfbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse grundsätzlich durch die Verwendung der PRA-Methodik erleichtert.

Die dem Problem angepasste Risikoanalyse orientiert sich an dem aus der vollen probabilistischen Analyse übernommenen Ereignisbaum (siehe Abbildung 6). Die Analyse besteht aus folgenden Komponenten:

- ✓ Das Ziel der Risikoanalyse muss definiert werden. Welches Risiko wird untersucht?
Dies kann bei einem Flugzeug der Absturz sein, bei einem Kernkraftwerk eine Kernschmelze und bei Seedruckleitungen eine ungewollte Einleitung von Abwässern in einen See.
- ✓ „Auslösende Ereignisse“ müssen definiert und ihre Häufigkeit festgestellt werden. Sie stehen am Anfang des Ereignisbaums. Unter „Auslösenden Ereignissen“ versteht man Abweichungen vom Normalzustand des zu betrachtenden Systems, die unter Umständen dazu führen könnten, dass der Fall, den man als Ziel der Risikoanalyse gesetzt hat, eintritt.
Im Bereich der Kernkraft sind das Ereignisse, die zu einer Kernschmelze führen könnten – Leitungsbrüche, Versagen von Ventilen oder Fehlfunktionen von Pumpen. Bei Seedruckleitungen werden kleine und große Lecks der Leitung eine wesentliche Rolle spielen.
- ✓ Der Einsatz von Sicherheitssystemen (Verzweigungen des Ereignisbaumes) kann trotz eines eingetretenen auslösenden Ereignisses unerwünschte massivere Konsequenzen verhindern.
Bei Kernkraftwerken kann ein funktionierendes Notkühlsystem trotz Leitungsbruches und Kühlmittelverlusts eine Kernschmelze verhindern. Wird ein Bruch bei Seedruckleitungen rechtzeitig erkannt und der Abtransport der Abwässer bis zur Reparatur der Leitung mit alternativen Mitteln bewerkstelligt, können negative Konsequenzen für den See ausgeschlossen werden. Mithilfe der bedingten Wahrscheinlichkeit¹, dass das betreffende Sicherheitssystem bei eingetretenem auslösendem Ereignis seine Funktion erfüllen kann oder nicht, werden Verzweigungen am Ereignisbaum erstellt und quantifiziert.
- ✓ Zur Ermittlung des Gesamtrisikos werden am Ende der Analyse die Ereignisverläufe (Äste) des Ereignisbaums betrachtet und bewertet.
Meist lassen sich die Ereignisverläufe in zwei Gruppen teilen. In der einen Gruppe von Ereignisverläufen kann das „auslösende Ereignis“ durch nachgeschaltete Sicherheitssysteme unter Kontrolle gebracht werden. Die andere Gruppe fasst Ereignisverläufe zusammen, in denen die Sicherheitssysteme versagen und die Schutzziele nicht erreicht werden konnten (also Kernschmelze tritt ein, Flugzeug stürzt ab, größere Mengen an Abwässern gelangen in den See).
Die ermittelten Häufigkeiten der Ereignisverläufe der zweiten Gruppe werden für alle auslösenden Ereignisse summiert und geben an, mit welcher Häufigkeit ein Eintritt des Analyseziels erwartet werden kann.

¹Jeder „Ast“ im Ereignisbaum weist Verzweigungen auf. An jeder Verzweigung wird eine Wahrscheinlichkeit angegeben, dass das Ereignis den einen oder anderen Verlauf nimmt. Dabei wird vorausgesetzt, dass das Ereignis bis zur Verzweigung bereits eingetreten ist. Angegeben wird also die „bedingte Wahrscheinlichkeit“ dieser Verzweigung, nicht die Gesamtwahrscheinlichkeit, für welche auch früherliegende Ereignisse berücksichtigt werden sollten. Die Wahrscheinlichkeiten der Ereignisbaumverzweigungen werden mit einer Fehlerbaumanalyse ermittelt.

8. Stand der Technik unter Mitbetrachtung der Erhebungen

8.1. Seedruckleitungen

8.1.1. Verwendete Materialien

Gusseisen

Verwendet wurden duktile Druckrohre mit einer Standardlänge von 5 oder 6 Meter. Das für Kanalrohre seit Mitte der 1960er Jahre verwendete duktile Gusseisen benötigte für dessen Korrosionsstabilität verschiedene Beschichtungssysteme. Eingesetzt wurden Zinküberzüge mit bituminöser oder Epoxidharz Deckbeschichtung, später Zementmörtel-Umhüllung und Zementmörtel-Auskleidung. Die Zementmörtel-Umhüllung garantiert eine zu erwartende technische Nutzungsdauer von bis zu 140 Jahren.

Gusseisen hat gewisse Vorteile gegenüber anderen Rohrmaterialien:

- hohe Scheiteldruckfestigkeit
- hohe statische Belastbarkeit
- Abriebfestigkeit
- hohe Beständigkeit gegenüber Chemikalien
- hohe Sicherheitsreserven (bei Druckschwankungen, statischen Überlastungen, gegen Fremdeinwirkungen)

Durch die Entwicklung von längskraftschlüssigen Steckmuffenverbindungen in den 1970er Jahren konnten auch grabenlose Einbauten umgesetzt werden. Darunter fallen auch die Einsatzgebiete für Düker und Seedruckleitungen. Ab DN 250 ist der Auftrieb eines Gussrohres (Anm.: verschlossen) so groß, dass es ohne weiteren Auftriebskörper schwimmen kann (DUKTUS, 2013). Bei kleineren Durchmessern wären am fertig montierten Rohr bis zum Absenkvorgang zusätzliche Auftriebskörper erforderlich. Dies erlaubt im Prinzip dieselbe Vorgehensweise wie bei PE-Rohrsträngen, nur dass letztendlich die Anzahl der Beschwerungsgewichte wegen dem höheren Eigengewicht geringer ist. Die Dichte von Gusseisen ist etwa 7,2 g/cm³.

Da die Steckmuffen-Verbindung je nach Nennweite und Verbindungsart bis zu maximal 5° abwinkelbar ist (DUKTUS, 2013), können trotz der steifen 5 bis 6 m langen Rohre auch Bögen realisiert werden.

Polyethylen

Polyethylen (PE) ist ein durch Polymerisation von Ethen hergestellter thermoplastischer Kunststoff. Aufgrund des Kristallinitätsgrades wird PE zu den teilkristallinen Thermoplasten gezählt. Die hauptsächlich eingesetzten Typen PE-HD sowie die Polyethylene mit niedriger Dichte (PE-LD) unterscheiden sich in ihrem Molekulargewicht bzw. den Verzweigungen der Molekülketten.

Die Bezeichnung der für die Rohrleitungen verwendeten Werkstoffe leitete sich von den Herstellungsverfahren ab. Demgemäß wurde das im Hochdruck-(Natta)-Verfahren hergestellte Weich-Polyethylen PE-HD genannt, das im Niederdruck-(Ziegler)-Verfahren hergestellte Hart-Polyethylen dagegen PE-LD.

Polyethylen bietet folgende Vorteile gegenüber anderen Rohrmaterialien:

- hohe Flexibilität
- Spannungsrisssbeständigkeit
- hohe Beständigkeit gegenüber Chemikalien
- geringe Wandreibungsverluste bei Wasserströmung
- sehr geringe Ablagerungsneigung
- widerstandsfähig gegen Druckstöße und andere äußere Einwirkungen

PE-HD hat eine Dichte von $0,940-0,965 \text{ g/cm}^3$ und besitzt eine helle Färbung. Die Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber Alterung aufgrund von Sonnenlicht wird durch den Zusatz von Additiven erhöht. Die Additive wandeln die UV-Strahlung in Wärme um und verhindern so die Aufspaltung von chemischen Verbindungen und die darauf folgende Versprödung des Materials. Im Fall von PE wird durch die Beimischung von 2,0-2,5 % Ruß eine dauerhafte UV Beständigkeit garantiert. Durch diese Zugabe erhöht sich die Dichte um ca. $0,010 \text{ g/cm}^3$.

8.1.2.Rohrverbindungen

Die in den Seen verlegten Rohre bzw. Rohrstränge wurden vorwiegend durch drei Verbindungsarten zusammengefügt:

- Flanschverbindungen (Polyethylenrohre)
- Schweißverbindungen (Polyethylenrohre)
- Steckverbindungen (Gussrohre)

Verbindungen an den „Endlosrohren“ mit max. 1000 m Länge

Die Rohrverbindungen müssen prinzipiell alle zugfest sein. Sie können jedoch bei der Anwendung von Flanschverbindungen lösbar sein. Eine Flanschverbindung hat immer einen Vorschweißbund, der mit Hilfe einer Spiegelschweißung an das Rohrende angebracht werden muss. Damit diese drei Verbindungsstellen auf sehr kurzer Länge ausreichend gesichert sind, ist die Anbringung einer Metallkonstruktion mit etwas längeren Rohrhülsen anzuraten (Abbildung 7, links). Wie in Abbildung 7 (rechts) gezeigt wird, wurden solche biegesteif gesicherten Verbindungen während des Verlegens jedoch auch bei Spiegelschweißungen angewendet. Hier ist im Gegensatz zur Flanschverbindung die Formschlüssigkeit jedoch nicht mehr gesichert gegeben. Die notwendige Kraftübertragung soll durch einen entsprechenden Anpressdruck der Hülse auf das Rohr mit Hilfe von mehreren Schrauben gewährleistet werden.

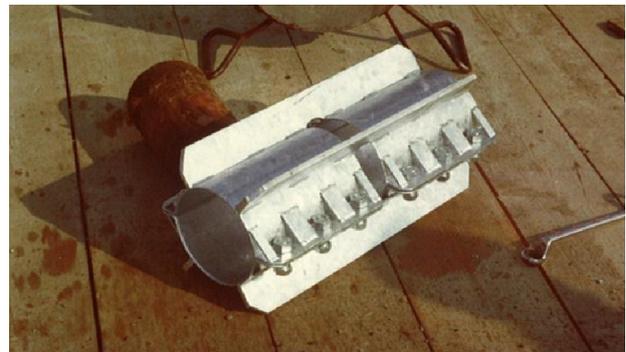
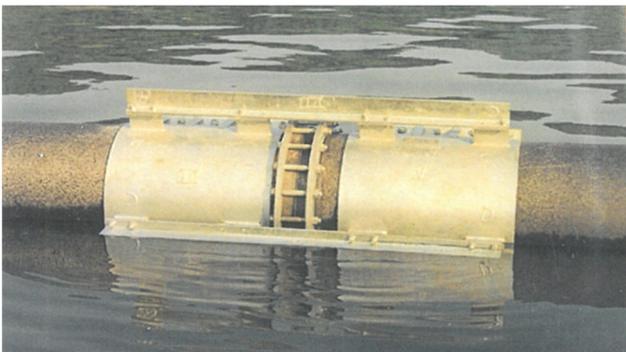


Abbildung 7: Mit Hilfe einer Metallkonstruktion biegesteif gesicherte Verbindung (Bildquelle: Links: Flanschverbindung beim Attersee, Rechts: Spiegelschweißung beim Ossiacher See).

Verbindungen der Polyethylen-Stangen (z.B. 12 m Länge)

Schweißverbindungen können mit Hilfe der Heizelement-Stumpfschweißung (Spiegelschweißung) oder der Elektromuffenschweißung (bis DN/OD 355) durchgeführt werden. Dabei wird bei der Herstellung großer Rohrlängen überwiegend die Spiegelschweißung eingesetzt. Die Elektromuffenschweißung wird aufgrund der Kosten der Elektromuffe vorwiegend bei der Behebung von Schäden verwendet.

Bei der Herstellung von Schweißverbindungen sollte immer ein erfahrener bzw. ÖVGW-geprüfter Schweißer herangezogen werden. Ebenso sollten die verwendeten PE-Rohre immer ÖVGW- und / oder GRIS-geprüft sein.

Stumpf-/Spiegel-Schweißung

Folgende Eigenschaften lassen sich bei der Stumpf-/Spiegel-Schweißung zusammenfassen:

- Die Verbindung der beiden Rohre erfolgt nur mit dem Rohrmaterial (PE)
→ erhöhte Korrosionsbeständigkeit (siehe Abbildung 8).
- Das Equipment für die Schweißverbindung ist umfangreich und groß bzw. sperrig
→ aufwendige Herstellung vor Ort (siehe Abbildung 9).
- Bei der Verbindungsherstellung ergibt sich ein Schweißwulst an der Rohrinneenseite
→ gegebenenfalls entfernen, um betriebliche Hindernisse vorzubeugen.
- Die Qualität der Schweißverbindung ist witterungsabhängig
→ Feuchtigkeit und Kälte können sich negativ auf die Schweißverbindung auswirken.
- Für die Herstellung der Schweißverbindung ist Strom erforderlich.

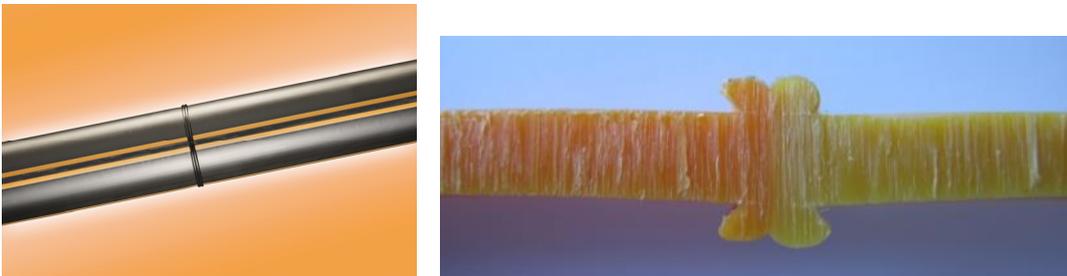


Abbildung 8: Stumpf-/Spiegel-Schweißung; Rechts: Querschnitt durch die Schweißnaht (Bruckner, 2015).



Abbildung 9: Herstellung einer Stumpf-/Spiegel-Schweißung (Jansen, 2014).

Wenn man alle Spiegelschweißungen der bestehenden Abwasser-Seedruckleitungen zusammenzählt, so kommt man auf rund 3000 Schweißstellen. Bis jetzt liegen aber erst zwei dokumentierte Schäden im Seebereich während des laufenden Betriebs vor. Es können heute keine gesicherten Aussagen mehr gemacht werden, wie die Schadensquote während des Zusammenfügens oder kurz nach der Verlegung war, da diese Schäden sofort ausgebessert wurden. Nach den Erzählungen mancher Betreiber traten kurz nach der Verlegung zu Beginn des Betriebs immer wieder Probleme auf, die jedoch aufgrund der Gewährleistung anstandslos repariert wurden.

Die richtige Vorbehandlung der Schweißflächen sowie die richtigen Schweißparameter (Temperatur, Druck, Zeiten für Vorwärmen-Pressen-Abkühlen) sind für eine dauerhafte Verbindung von essenzieller Bedeutung und müssen entsprechend dokumentiert werden.

Elektromuffen-Schweißung

Folgende Eigenschaften lassen sich bei der Elektromuffen-Schweißung zusammenfassen:

- Die Verbindung der beiden Rohre erfolgt nur mit einem Material (PE) → erhöhte Korrosionsbeständigkeit.
- Die Verbindungsherstellung ist aufgrund des automatisierten Ablaufs „einfacher“ durchführbar als bei der Spiegel-/Stumpf-Schweißung.
- Leihgeräte für die Herstellung von Elektromuffen-Schweißungen sind bei den Herstellern meistens vorhanden.
- Bei der Verbindungsherstellung ergibt sich kein Schweißwulst an der Rohrinneenseite wie bei der Stumpf-/Spiegel-Schweißung.
- Die Qualität der Schweißverbindung ist witterungsabhängig → Feuchtigkeit und Kälte beeinflussen negativ die Schweißverbindung.
- Für die Herstellung der Schweißverbindung ist Strom erforderlich.



Abbildung 10: Elektromuffen-Schweißung; Rechts: Querschnitt durch die Schweißnaht (Bruckner, 2015).

Nähere Details zum PE-Rohrleitungssystem siehe EN 12201 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen — Polyethylen (PE)“. Die Norm ist nach den folgenden 5 Teilen aufgliedert:

- Teil 1: Allgemeines
- Teil 2: Rohre
- Teil 3: Formstücke
- Teil 4: Armaturen
- Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems

Weitere Hinweise und Verlegevorschriften zu PE-Rohren sind in der GRIS-Gütevorschrift GV 20 und in der ÖVGW / GRIS Prüfrichtlinie PW 405/1 nachzulesen. Beide Dokumente sind im Internet frei downloadbar:

- GRIS-Gütevorschrift GV 20 „Spezielle Gütevorschrift für Kanal-Druckrohre und Formstücke aus Polyethylen PE 100-RC für nicht konventionelle Verletechniken im Siedlungswasserbau“
- ÖVGW / GRIS Prüfrichtlinie PW 405/1 „Rohrleitungssysteme aus Polyethylen PE 100-RC für nicht konventionelle Verletechniken in der Trinkwasserversorgung“ nachzulesen.

Verbindungen der Gusseisenrohre (z.B. 6 m Länge)

Die in dieser Studie betrachtete einzige Gussleitung im Völkermarkter Stausee wurde mit Hilfe der längskraftschlüssigen TIROFLEX®-Verbindung (Tiroler Rohre GmbH) hergestellt. Die Formschlüssigkeit der glatten Druckrohrenden wird durch Schweißwülste hergestellt, die die Dichtung am Herausrutschen hindern. Die Schubsicherung wurde entweder mittels VRS-T-Verbindung (DN 80 – 500) bzw. mit der BLS-Verbindung (DN 600 – 1000) hergestellt.

Bei der VRS-T-Verbindung erfolgt die Verriegelung in Abhängigkeit vom Durchmesser mit 2 bis 4 Riegeln (Abbildung 11, links). Sie zeichnet sich vor allem zum einen durch eine einfache und schnelle Montage aus und zum anderen durch die Gewährleistung hoher zulässiger Betriebsdrücke und Zugkräfte. Rohre mit VRS®-T-Verbindung gibt es in Baulängen von 5 m und 6 m. Alternativ kann die Schubsicherung auch mittels BLS-Sicherungsklammer (Abbildung 11, rechts) bewerkstelligt werden. Rohre mit BLS®-Verbindung gibt es in einer Baulänge von 6 m.

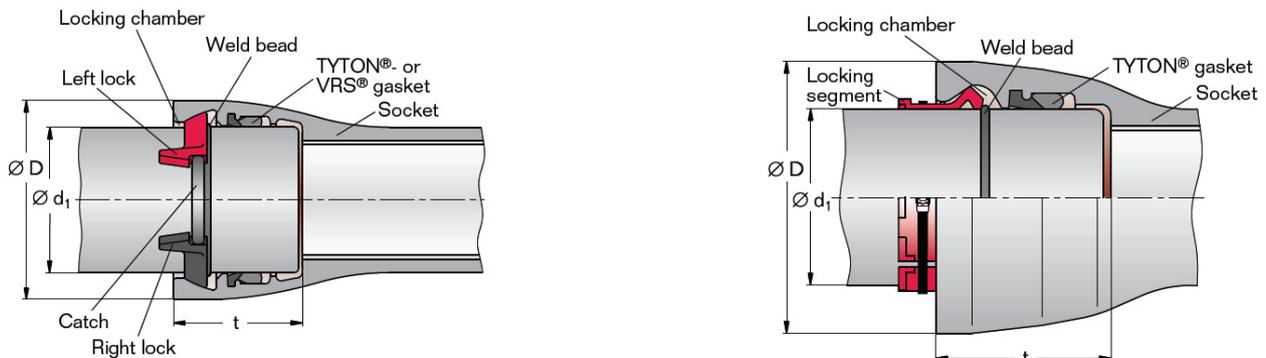


Abbildung 11: Längskraftschlüssige VRS®-TIROFLEX®-Verbindung (Quelle: Tiroler Rohre GmbH).

8.1.3. Beschwerungsgewichte aus Beton/Eisen

Die Beschwerungsgewichte stellen ein sehr wichtiges Element bei dem hier beschriebenen Druckleitungssystem „Seedruckleitung“ dar. Einerseits muss mit ihnen dauerhaft der Auftrieb (Anm.: nur bei teilweise luftgefüllten Rohren) unterbunden werden, andererseits müssen sie die Lage des abgesenkten Rohres am Seegrund stabilisieren.

Formen

Verwendet werden hauptsächlich mit stahl armierte Betongewichte nach Abbildung 12. Es wurden aber auch alternative Lösungen dafür gefunden (Abbildung 13). Eine Ursache dafür sind sicherlich die dafür anfallenden Kosten, die ungefähr die Hälfte der SDL-Kosten betragen (Kapitel 17.2).

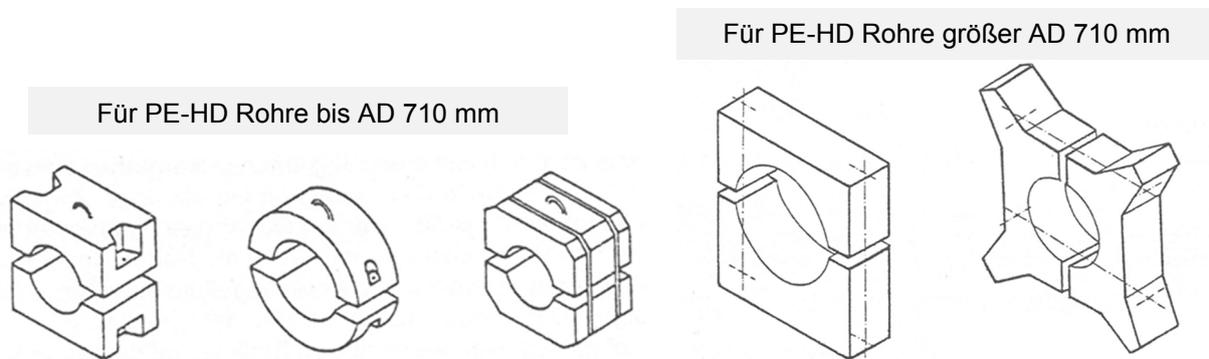


Abbildung 12: Bauformen unterschiedlicher Beschwerungsgewichte für SDL aus PE (Bildquelle: Brömstrup, 2001).

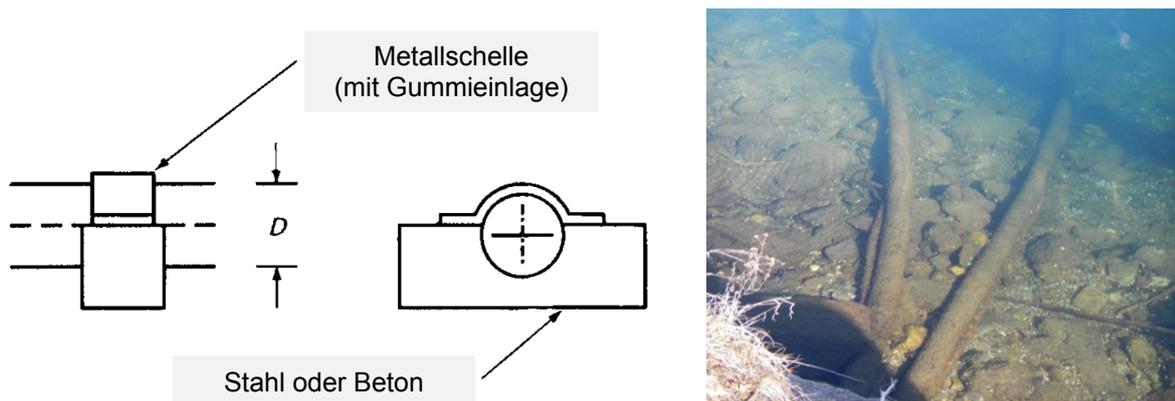


Abbildung 13: Alternative Beschwerungsgewichte für SDL mit kleineren Durchmessern. Links: Schelle auf Beton/Stahl (Bildquelle: AWWA Manual M55, 2006), Rechts: mit einem Stahlseil spiralförmig umwickeltes PE-Rohr (Bildquelle: Ortsbegehung Millstätter See).

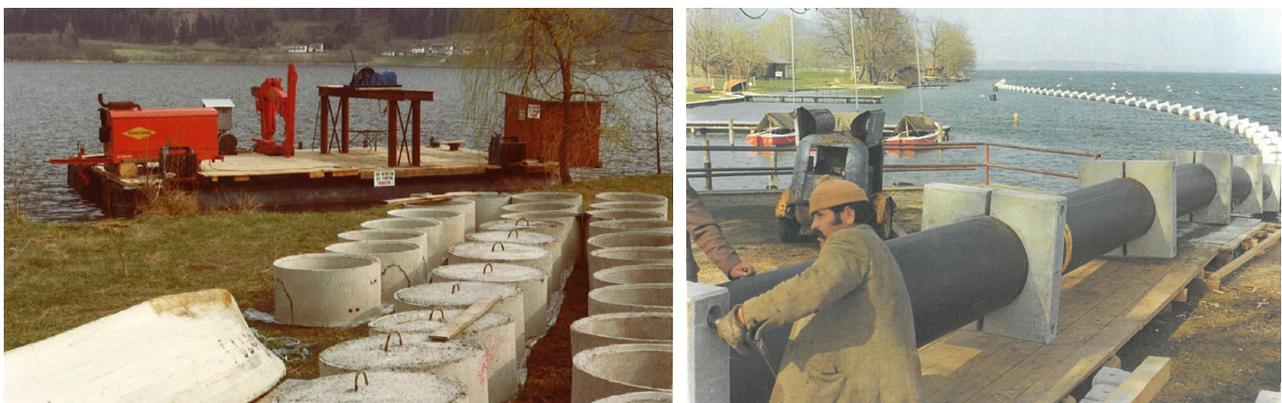


Abbildung 14: Links: Positionierungsgewichte (Bildquelle: WV Ossiacher See); Rechts: Montage der Beschwerungsgewichte Mai 1975 (Bildquelle: RHV Attersee).

Montage

Die Montage erfolgte mit Hilfe von Metall- oder Kunststoffbändern oder durch verzinkte Schrauben (Abbildung 15). Die Schrauben mussten während der Montage mit einem gewissen Drehmoment angezogen werden, um ein nachträgliches Verrutschen der Gewichte zu verhindern, wobei aber eine maximal zulässige Einschnürung des Rohres nicht überschritten werden durfte. Die Sicherheit gegen Verrutschen wurde durch eine Gummieinlage verstärkt. Durch spätere Betauchungen verlegter SDL konnten trotzdem etliche verrutschte Betongewichte festgestellt werden.

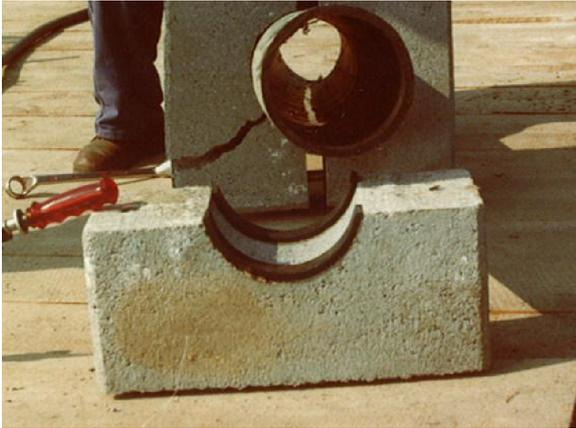


Abbildung 15: Montage der Beschwerungsgewichte; Links: Gummieinlagen in den Betonhalbschalen und Befestigung mit verzinkten Schrauben (Bildquelle: WV Ossiacher See); Rechts: Metallbänder um runde Betonhalbschalen (Bildquelle: Ortsbegehung Faaker See)

Betriebsprobleme

Im Lauf der Zeit traten einige Betriebsprobleme auf, die entweder aufgrund mangelhafter oder unzulässiger Befestigung am Rohrstrang (z.B. Kunststoffbänder wurden spröde) oder auch auf eine zu geringe Beschwerung der Rohrstränge zurückzuführen sind.

Die Probleme durch eine zu geringe Anzahl von Gewichten pro Laufmeter traten relativ kurz nach der Baufertigstellung auf. Die Gründe waren entweder das Eintragen von Fremdluft von außen durch fehlerhafte Pumpenschaltungen bzw. Schiebersteuerung oder durch die Bildung von biogenen Gasprodukten in flach verlegten Rohren im Sommer. Beide Ursachen konnten durch das zusätzliche Anbringen von Beschwerungsgewichten einfach behoben werden.

Diese Betriebsprobleme sind zwar nicht ursächlich als Schäden zu beurteilen, doch können sie durch das resultierende Aufschwimmen zum Problem werden bzw. einen effektiven Schaden herbeiführen. Man denke nur an ein Passagierschiff, welches mit seiner Schiffsschraube das an der Seeoberfläche schwimmende Rohr bei einer Kollision zerstören oder dabei sogar selbst Schaden nehmen kann. Weiters kann die Rohrleitung beim Aufschwimmen abknicken.

8.1.4. Herstellung der Rohrstränge und Verlegung

8.1.4.1. Gusseisen

Die Rohrstränge sind nach Montage der längskraftschlüssigen Steckmuffen-Verbindung sofort mit den zulässigen Zugkräften voll belastbar.

Nachdem der Rohrstrang in Position gebracht wurde, konnte mit dem Absenkvorgang begonnen werden (Abbildung 16, rechts). Hierfür werden bis DN 200 die Schwimmkörper kontrolliert geflutet bzw. nacheinander entfernt. Ab DN 250 ist der Gussrohrstrang durch gezieltes Entlüften abzusenken (DUKTUS, 2013).

Ob nach dem Absenkvorgang eine lagemäßige Sicherung der Leitung erforderlich ist, hängt von den örtlichen Gegebenheiten und den Strömungsverhältnissen ab. Alternativ zum Verankern der Leitung kann die Leitung auch mit einem Damm oder in einem vorher gebaggerten Graben überschüttet werden

Besteht die Wahrscheinlichkeit, dass die verlegte Rohrleitung in Zukunft komplett geleert wird, sollte der abgesenkte Rohrstrang unbedingt gegen Aufschwimmen gesichert werden: neben dem Überschütten kann Beschwerung z.B. mit Betongewichten erfolgen (Abbildung 16, links).

Neben den Kräften, denen das Rohr in der Schwimmphase ausgesetzt ist, kann auch der Absenkvorgang selbst erhebliche Kräfte erzeugen. Diese Problematik wird in Kapitel 8.1.4.3 für eine PE-Leitung beschrieben.



Abbildung 16: Herstellung der Seedruckleitung aus Gussrohren (Bildquelle: AWV Völkermarkt-Jaunfeld).
Links: Montage der Einzelrohre mit nur kleinen Beschwerungsgewichten an der Unterseite,
Rechts: Schwimmende Rohrstränge vor dem Absenkvorgang.

8.1.4.2. Polyethylen

Der Parameter „Standard Dimension Ratio (SDR)“ ist eine zur Klassifizierung von Kunststoffrohren gebräuchliche Kennzahl, die das Verhältnis zwischen Außendurchmesser und Wanddicke eines Rohres wiedergibt. Ein Rohr mit der Spezifikation SDR 17 hat daher bei einem Außendurchmesser von 400 mm eine Wandstärke von 23,5 mm.

Rohre aus Polyethylen können bei Temperaturdifferenzen ihre Länge ändern. Der thermische Ausdehnungskoeffizient beträgt bei PE etwa $1,5$ bis $2,0 \times 10^{-4}$ pro °C Temperaturdifferenz. Als Beispiel hat eine flach verlegte SDL mit einer Länge von 100 m und einer Temperaturdifferenz

zwischen Sommer/Winter in der Höhe von ΔT 20°C eine Längendifferenz um bis zu 40 cm. Dies entspricht 0,4% der gesamten Länge.

Vor Ort: „Endlosrohre“ mit max. 1000 m Länge

Ein Einzelstrang besteht üblicherweise aus mehreren Abschnitten, welche direkt am Seeufer mittels eines mobilen Extruders auf die benötigte Länge produziert und im See schwimmend zwischengelagert wurden. Nach Fertigstellung der Teilstücke wurden diese mittels Flanschverbindungen zu Einzelsträngen verbunden und schließlich auf den Grund des Sees abgesenkt.

Diese Art der Produktion rechnet sich heutzutage nur mehr ab einer gewissen Menge des verarbeiteten Materials (PE-Pellets). Ansonsten wird bei kleineren Dimensionen vorwiegend der → Ringbund/Trommel und bei größeren Dimensionen ausschließlich → Stangenware verwendet.

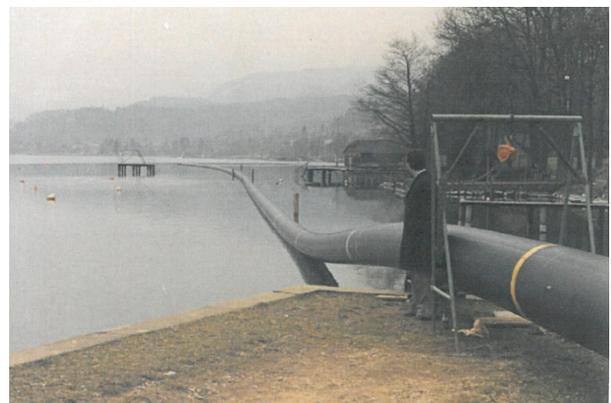


Abbildung 17: Produktion der „Endlosrohre“ in den 1970er-Jahren mit Hilfe mobiler Anlagen und Lagerung der Rohrstränge im See (Bildquelle: RV Attersee).

Ringbund/Trommel: max. DN/OD 160, max. 100 m Länge

Diese Technik hat den Vorteil, dass ebenfalls sehr rasch eine große Leitungslänge hergestellt werden kann, die nur mit wenigen Verbindungen auskommt. Der Nachteil der Rohrtrommeln oder Ringbunde ist der begrenzte Rohrdurchmesser, der durch den maximal zulässigen Biegeradius der jeweiligen Rohrdimension bestimmt wird. Ein weiterer Aspekt ist die ovale Form des Rohrquerschnitts nach dem Abrollen, die jedoch je nach den äußeren Bedingungen nach einer gewissen Zeit wieder in die ursprüngliche Kreisform übergeht. Dies ist v.a. beim Anbringen der Betongewichte zu bedenken.

Stangenware: Standardlänge 12 m

Die Herstellung der Leitung mit Stangenware wird heutzutage üblicherweise bei größeren Rohrquerschnitten angewendet. Ein Vorteil sind die standardisierten Abläufe beim Zusammenfügen der Stangen üblicherweise mittel Stumpfschweißung. Diese Routine birgt jedoch auch die Gefahr von schadhafte Schweißverbindungen mit der hohen Wahrscheinlichkeit für einen späteren Bruch.

8.1.4.3. Verlegung einer Seedruckleitung aus Polyethylen

Die Verlegung eines fertig montierten Rohrstranges war eine große Herausforderung, bei der mehrere Disziplinen gut zusammenarbeiten mussten. Ein Beispiel ist in Abbildung 18 dargestellt. Hier sind die notwendigen Betriebsmittel wie Zugfahrzeug oder Seilwinde im Landbereich und mehrere ausreichend leistungsstarke Boote im Seebereich notwendig (Flögl und Hoyer, 2001). Die Positionierung erfolgte zusätzlich mit schweren Betongewichten, durch deren Hilfe die zuvor festgelegte Lage am Seeuntergrund auch tatsächlich erreicht werden sollte. Dazu war eine umfangreiche Erkundung des Seeuntergrundes im Bereich der zukünftigen Rohrtrasse notwendig.

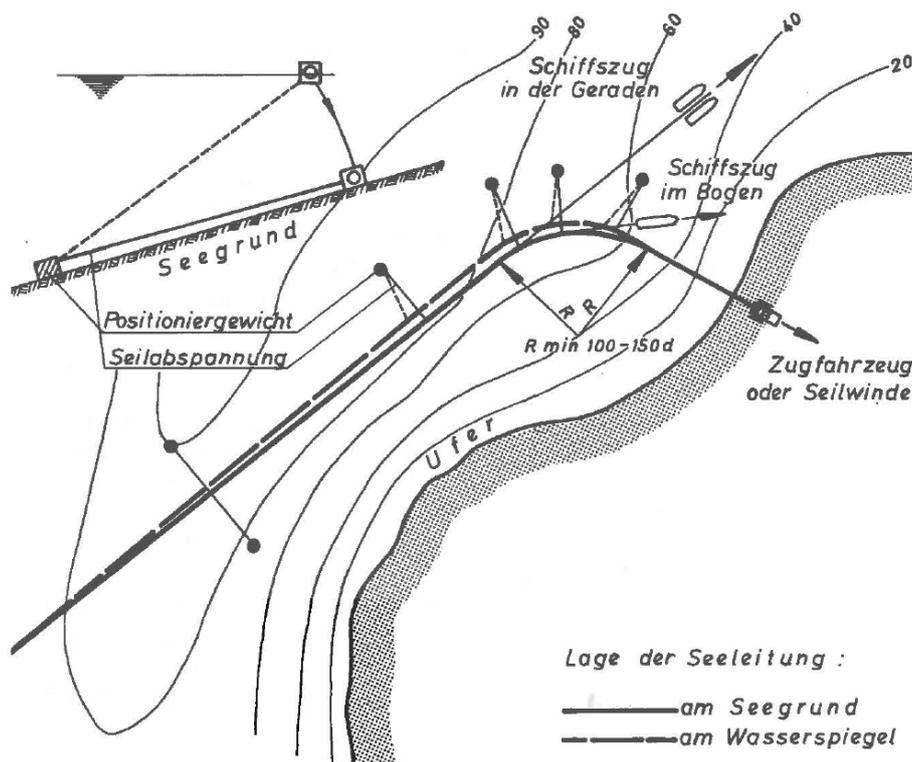


Abbildung 18: Notwendige zusätzliche Infrastruktur bei der Verlegung eine SDL. Hier ein Beispiel von der Verlegungsplanung im Attersee (Flögl und Hoyer, 2001).

Bei der Verlegung selbst sind einige Randbedingungen zu berücksichtigen. Ein kritischer Prozess während der Verlegung war die Absenkgeschwindigkeit wegen der großen Beanspruchung des Rohres im Krümmungsbereich beim Auftauchpunkt (vgl. Abbildung 19). Diese Beanspruchungen führen sogar zu einer kurzzeitigen Ovalität des Rohres. Hier geben Flögl und Hoyer (2001) einen Ratschlag: „... *Notwendigkeit, die Verlegungsschnelligkeit mit 0,5 bis 1 m/s klein zu halten und die*

Horizontalkraft so zu wählen, dass der kleinste Krümmungsradius 30 bis 40 D, bei kleinen Querschnitten 50 D tunlichst nicht unterschreitet.“

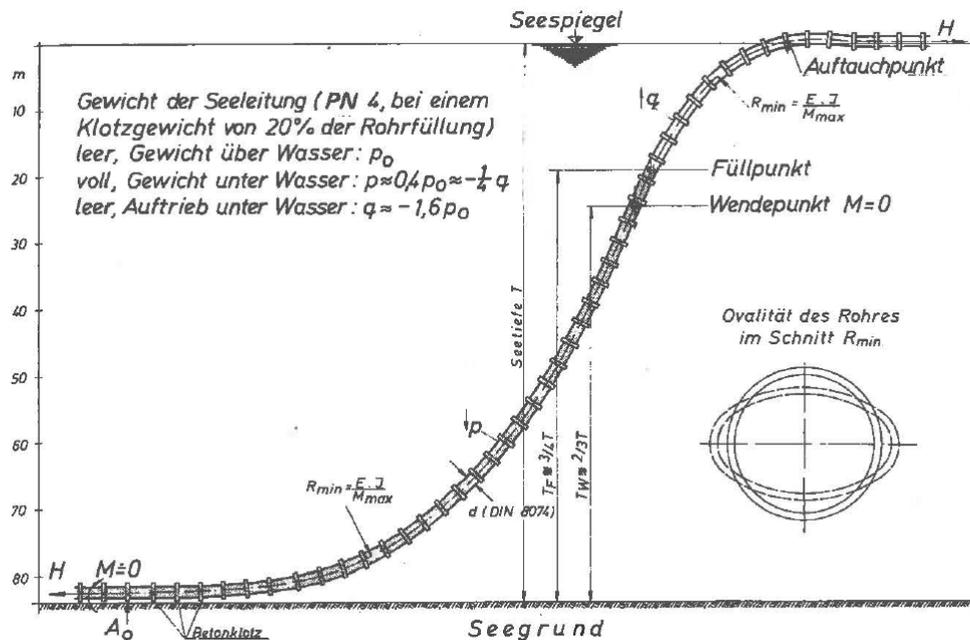


Abbildung 19: Darstellung der Absenklinie während der Verlegung (Flögl und Hoyer, 2001).

Die SDL wurden oft im Uferbereich des Sees bis zu einer Wassertiefe von ca. 3 Meter in den Untergrund eingegraben. Der Grund war einerseits die Vermeidung von Beschädigungen durch Boote und Wellen, aber dies geschah auch, um die Leitung vor den Blicken der Bevölkerung zu verstecken v.a. wenn sie in stark frequentierten Badebereichen zu liegen kam. Dort wo kein Schiffsverkehr oder Badebereich vorhanden war konnte das Eingraben entfallen.

Das Eingraben wurde jedoch offensichtlich nach mehreren Jahrzehnten zum Problem für die Schadensanfälligkeit der SDL, weil die beobachteten Schäden vermehrt entweder im Landbereich oder im überdeckten See-Uferbereich auftreten. Ein maßgeblicher Grund dürfte die Verwendung des Aushubmaterials als Bettungsmaterial für die SDL darstellen. Dabei wurde anscheinend das Verhalten des Bettungsmaterials im wassergesättigten Seeuntergrund durch den intervall-Pumpbetrieb über lange Zeitspannen unterschätzt, wie es eigentlich im Landbereich nur in Ausnahmefällen (z.B. Grundwasserbereich) vorkommt.

Leitungsführung

Die Hauptstränge wurden wegen der ansonsten zu großen notwendigen Drücken und der nicht mehr beherrschbaren Leitungsführung auf dem unregelmäßigen Seeuntergrund auf eine Maximallänge beschränkt. Die längste Leitung wurde im Attersee mit 5,4 km (DA 630 mm) verlegt. Die Entlüftung war und ist ein großes Thema. Bei günstiger Topographie des Seeuntergrunds wurde versucht, Hochpunkte stets an Land zu planen, wobei tiefe Seen dabei einen gewissen Vorteil besitzen. Die gemeldeten Betriebsprobleme mit aufgeschwommenen SDL v.a. bei flachen Seen zeigt die Schwierigkeit dieses Planungsschrittes.

Wie in Abbildung 20 gezeigt, gibt es mehrere Möglichkeiten nebeneinanderliegende Einzugsgebiete über Druckleitungen zu entsorgen. All diese Varianten wurden in den erhobenen Seen eingesetzt. Warum welche Variante damals zur Anwendung kam, kann heute nicht immer nachvollzogen werden.

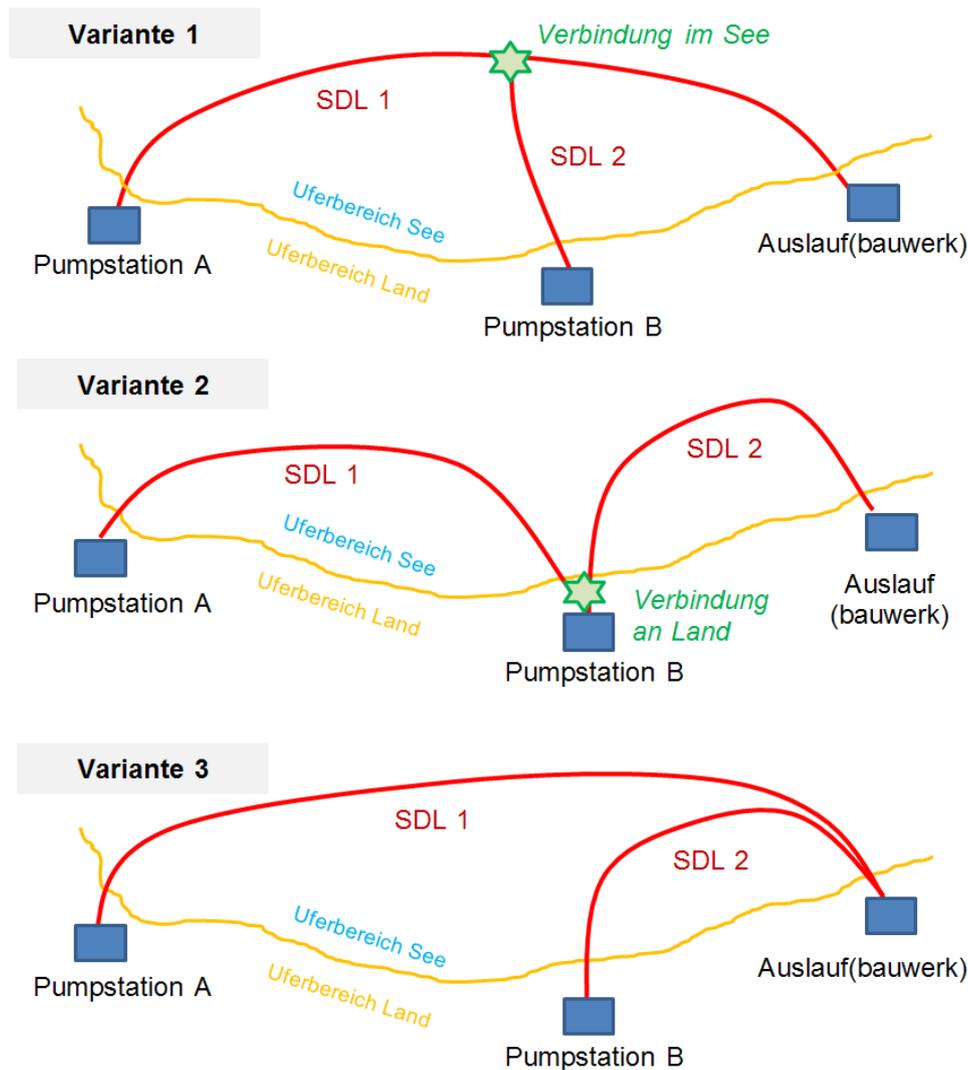


Abbildung 20: Verschiedene Möglichkeiten für die Entsorgung von nebeneinanderliegenden Einzugsgebieten.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass die **Variante 1** mit der Verbindung im See eher die Ausnahme ist. Ein Grund dürfte die schon damals undefinierte Linienführung beider SDL sowie der nicht kontrollierbare Anschluss im See sein. Eine Molchung hier wäre jedenfalls mit Risiken verbunden.

Sehr häufig, je nach Topographie und Leitungslängen, wurden die Varianten 2 und 3 gewählt. Zur **Variante 2** mit der Verbindung an Land muss erklärt werden, dass üblicherweise die Abwassermenge vom Pumpwerk A mit Hilfe der SDL1 nicht in das Pumpwerk B und dann gemeinsam mit der Abwassermenge vom Pumpwerk B über die SDL2 in das Auslauf(bauwerk) weitergefördert wird. Vielmehr pumpt das Pumpwerk A seine Abwassermenge direkt über die SDL1 und SDL2 in das Auslauf(bauwerk). Pumpwerk B pumpt wiederum in einer Pumpenpause seine Abwassermenge über die SDL2 in das Auslauf(bauwerk). Gesteuert wird alles, je nach den vorhandenen Druckhöhen, über Schieber und Rückschlagventile. Die Variante des Einpumpens der Abwassermenge von der Pumpstation A in den Pumpensumpf der Pumpstation B ist nur bei einer geringen Abwassermenge von der Pumpstation A möglich.

Variante 3 entspricht der klassischen Methode, da jedes Pumpwerk seine eigene Druckleitung zum Auslauf(bauwerk) besitzt.

8.2. Technische Nutzungsdauer und Schadensursachen von Seedruckleitungen

8.2.1. Werkstoff Polyethylen

8.2.1.1. Schadensarten von Polyethylen-Druckrohren

Wie in Untersuchungen festgestellt wurde, treten bei Rohrleitungen, die punkt- oder linienförmigen Lasten ausgesetzt sind, wie sie etwa durch Auflage auf spitzen Steinen oder Balken entstehen, vorzeitig Schäden durch Sprödbbruch auf (DVGW, 2008). PE-Rohrleitungen weisen nach dem Einbau während eines ordnungsgemäß durchgeführten und gleichmäßigen Betriebs so gut wie keine Schäden auf. Die einzigen wesentlichen Einflussfaktoren während des Betriebs ist die Beanspruchung mit Druck und Temperatur.

Folgende Schadensarten bzw. Auffälligkeiten sind bei PE-Druckrohrleitungen aus den Untersuchungen vom IKT (2011) festgestellt worden:

- Undichte Rohrverbindungen,
- Längsrisse,
- Deformationen bzw. Spannungsrisskorrosion (siehe Abbildung 21),
- Querrisse ohne Versatz (siehe Abbildung 22),
- Sprödbbruch,
- Leckagen (als Folgeschaden),
- Beschädigung durch Dritte.



Abbildung 21: Deformation (> 50%) wegen Beschädigung durch Dritte (Bildquelle: WV Wörthersee Ost, 2015).



Abbildung 22: Querriss ohne Versatz (Bildquelle: Marktgemeinde Altmünster, 2014).



Abbildung 23: Gewundener Riss (Bildquelle: WV Wörthersee Ost, 2015).

Die vorgefundenen Schäden an PE-Rohren der untersuchten Seedruckleitungen (IKT, 2011) sind meistens durch Fehler bei der Produktion, dem Transport, der Lagerung sowie bei der Verlegung und Montage zustande gekommen. Bei Ausschluss all dieser Ursachen, z.B. durch entsprechende Qualitätskontrollen bei Produktion und Verlegung durch qualifizierte Mitarbeiter bleibt die Alterung als alleinige Schadensursache über. Alterungsschäden sind u.a. Wärmezufuhr, Strahlung, mechanische Beanspruchung, chemische Einflüsse und diverse innere Ursachen. Diese Schäden wurden bei den untersuchten Seedruckleitungen nicht vorgefunden.

8.2.1.2. Zeitstandverhalten der Polyethylenrohre

Die ersten PE Rohre wurden in den 1950er Jahren hergestellt. Damals ging man von einer technischen Nutzungsdauer von 50 Jahren aus. Das Zustandsverhalten von PE-Rohren lässt sich nach dem Schema von Abbildung 24 darstellen. Dabei wird die technische Nutzungsdauer in drei Bereiche (**Bereich I**: Verformungsbrüche; **Bereich II**: Spannungsrisse; **Bereich III**: Wärmealterung) eingeteilt. Heutzutage wird, aufgrund der Erfahrungen und Untersuchungen an älteren PE-Rohren, von einer wesentlich längeren Nutzungsdauer ausgegangen.

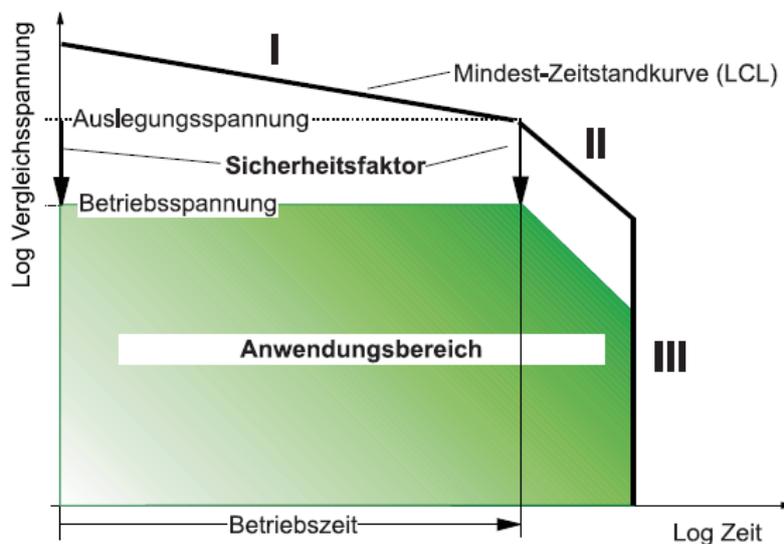


Abbildung 24: Schematische Darstellung des Zustandsverhaltens von PE-Rohren (Hessel, 2007).

Abbildung 24 zeigt, dass je höher die Beanspruchung (Druck, Temperatur) auf eine Rohrwand ist, desto schneller altert die Rohrleitung und desto eher versagt sie auch (Hüttenrauch, 2007). Diese Eigenschaft ist für Seeleitungen am Seegrund mit einer Umgebungstemperatur im Hypolimnion oder Monimolimnion von 4°C bis 5°C ein Vorteil, da dort die Temperaturschwankungen übers Jahr gesehen klein sind und die Temperatur daher stets niedrig bleibt.

Die Rohre der ersten Generation aus Niederdruckpolyethylen bzw. Polyethylen hoher Dichte entsprachen, umgerechnet auf heutige Standards, der Güte PE 32 oder PE 40 (LDPE oder NDPE) bzw. PE 63 (HDPE). Durch die technologische Weiterentwicklung wurden später erhebliche Verbesserungen der Eigenschaften erreicht. Ende der 1980er Jahre wurde schließlich der Werkstoff PE 100 eingeführt (DVGW, 2008).

Für Rohrleitungen wurde und wird von den Kommunen und Versorgungsunternehmen herkömmlicherweise eine Betriebszeit der verwendeten Rohre von mindestens 50 Jahren verlangt, da die jährliche Abschreibung solcher Anlagen 2,0 % beträgt. Beim Vergleich des Zeitstandverhaltens mit den Kenngrößen der SDL (Temperatur und Druck) ist dieser Zeitraum (Anm.: 50 Jahre) unabhängig von der tatsächlichen Lebensdauer der Rohre, die bei einigen 100 Jahren liegt (Koch, 2001). Zu ähnlichen Ergebnissen bzgl. der Lebensdauer von mindestens 100 Jahren kommen auch Hessel (2006) sowie Frank et al. (2009) anhand von Untersuchungen an 30 Jahren alten PE-Leitungen und Frank et al. (2012) bei Rohrleitungen der neueren Generation (PE 80 und PE 100). Bredács et al (2014) ermittelte bei 50 Jahre alten Rohren aus PE für die Hausinstallation bei Einsatzbedingungen von 15°C sogar wesentlich längere Lebenszeiten.

Der **Bereich I** in Abbildung 25 hinsichtlich Verformungsbrüche kommt erst nach einer sehr langen Zeit zum Tragen und beeinflusst bei niedrigen Temperaturen die Lebensdauer nur gering.

Die maximale theoretische Einsatzdauer von Polyethylen wird durch die Wärmealterung (**Bereich III** in Abbildung 25) begrenzt. Mit Beginn der Wärmealterung versprödet das Polyethylen und kann keine Zugbelastungen mehr ertragen. In PE-Abwasserleitungen (Freispiegelkanal) konnte durch Untersuchungen festgestellt werden, dass der Widerstand gegen den thermooxidativen Abbau der verwendeten Materialien bei 25°C ausreichend ist, um eine End-Lebensdauer von mindestens 100 Jahre zu gewährleisten (Meijering et al., 2014). Je kühler die Umgebungsbedingungen und das transportierte Medium sind, desto weniger ist dieses Schadensbild dominant.

Es bleibt als begrenzender Faktor der praktischen Einsatzdauer daher nur der **Bereich II** in Abbildung 25 über. Diese Schadensursache betrifft das Risswachstum bei vorhandenen Spannungsrissen. Der Widerstand gegen das Risswachstum bei einer angenommenen Lebensdauer von 100 Jahren ist nur dann erreichbar, wenn die langfristigen Belastungen unterhalb der berechneten maximalen zulässigen Spannungen bleiben. Die maximal zulässige Belastungen bei einer angenommenen Lebensdauer von 100 Jahren, wurden nach Meijering et al. (2014) von den angegebenen Referenzlinien in EN ISO 15494 berechnet und betragen bei 23°C rund 7,4 MPa (74 bar). Dieses Ergebnis ist daher wesentlich höher als die üblichen Betriebsdrücke der untersuchten Abwasser-Seedruckleitungen von 1,0 bis 3,0 bar.

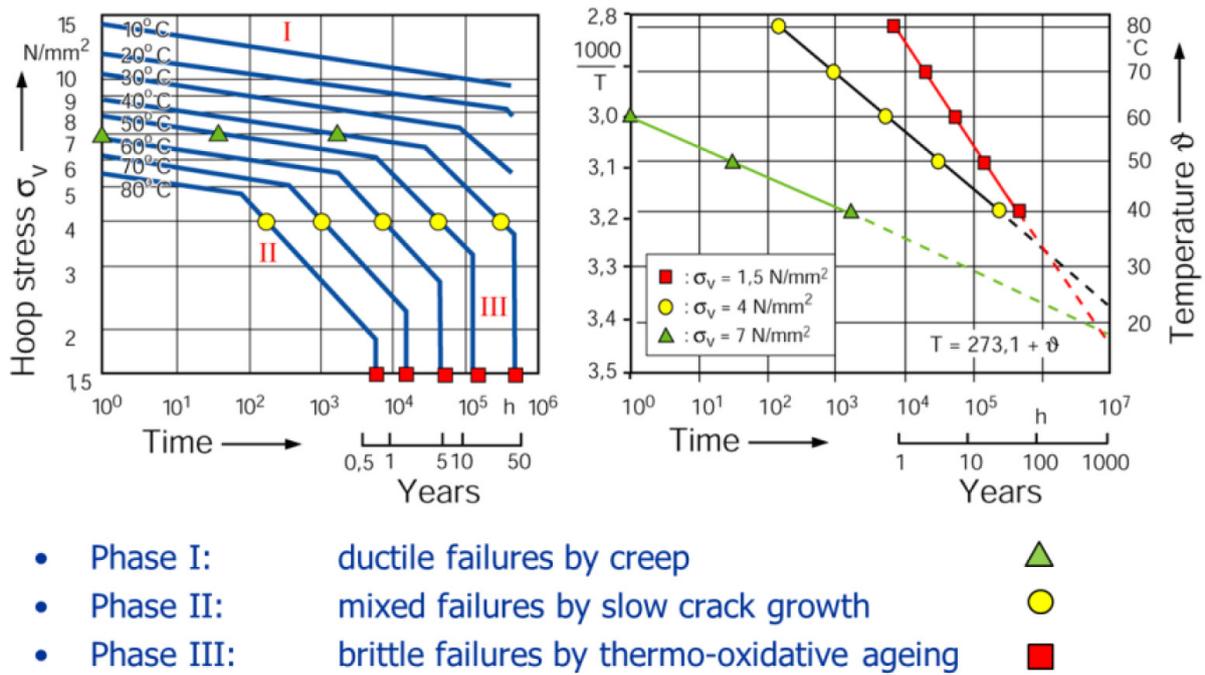


Abbildung 25: Polyethylenrohr: Prinzip eines Zeitstanddiagramms und der Arrhenius-Auswertung (1 MPa = 10 bar = 1 N/mm²) (Meijering et al., 2014).

Im Jahr 2007 wurde ein vom DVGW gefördertes Forschungsprojekt zum Alterungsverhalten von Rohren der ersten PE-Generation (PE 63) gestartet (DVGW, 2008). Das Forschungsvorhaben hat sich mit den im Zeitraum von 1960 bis 1976/77 als Hausanschluss- und Versorgungsleitungen verlegten Gas- und Wasserrohren befasst. Im Mittelpunkt stand dabei die Fragestellung, inwiefern die zum damaligen Zeitpunkt vorhergesagte Nutzungsdauer von 50 Jahren bestätigt werden kann und ob die Leitungen gegebenenfalls auch länger betrieben werden können (Scholten et al., 2010). Dazu wurde eine Vielzahl von Messungen durchgeführt. Sowohl die mechanischen Tests als auch die chemischen Analysen lassen auf eine längere Betriebszeit als die damals prognostizierten 50 Jahre schließen.

8.2.2. Werkstoff Gusseisen

Beim Werkstoff Gusseisen wird vielfach von einer technischen Nutzungsdauer von über 100 Jahren ausgegangen (siehe u.a. auch Päßler, 2012). In Tabelle 1 sind nach Sorge (2007) folgende Schadensarten an Gussrohren festgestellt worden.

Tabelle 1: Schadenssignifikanz an TW-Leitungen aus Gusseisen (Sorge, 2007; modifiziert).

Schadensart	Grauguss	Duktilguss
Querbruch	typisch	nicht möglich
Schalenbruch	ab ca. DN 500	nicht möglich
Rundriss	nicht möglich	selten
Längsriss	selten	möglich ab ca. DN 400
Korrosion	typisch	typisch
Graphitierung (Form der Korrosion)	typisch	typisch
Undichte Verbindungen	typisch	typisch
Übermäßige Verformung	nicht möglich	selten

8.3. Pumpstationen

8.3.1. Arten des Abwassertransports

Die Seedruckleitungen werden per Definition im Wesentlichen nur nach dem Prinzip des „Hydraulisch unterstützten Abwassertransports“ betrieben, was in den gegenständlichen Fällen einem pumpengestützten Abwassertransport entspricht. Diese Bauart unterteilt sich in Pumpwerke mit trocken aufgestellten Pumpen und Schachtpumpwerken mit Tauchpumpen. Nur drei Seedruckleitungen verwenden alleinig das Förderprinzip des „Hydraulischen Transports in Gefälledruckleitungen“. Nachfolgend sind kurze Erläuterungen der beiden Förderprinzipien angeführt.

Pumpengestützter Abwassertransport

Die Abwasserförderung erfolgt auf mechanisch unterstützter Grundlage mit dem Ziel, mittels eines höheren Drucks das Abwasser zum Auslaufbauwerk zu befördern (Abbildung 26). Die Druckerhöhung wird mittels einer oder mehreren Pumpen bewerkstelligt. Dies ist die überwiegende Art des Abwassertransports, welche bei den SDL angewendet wird. Dabei können die Pumpen trocken (Förderaggregat wird nicht mit dem Fördermedium umspült) oder nass (Förderaggregat wird vom Abwasser direkt umspült) aufgestellt sein. Eine Ex-Ausführung der Abwasserpumpe ist im letzteren Fall zwingend erforderlich.



Abbildung 26: Pumpengestützter Abwassertransport durch die SDL.

Abwassertransport in Freigefälledruckleitungen

Beim Gefälledruckverfahren (Abbildung 27) wird das Abwasser im freien Gefälle zum Auslaufbauwerk gefördert. Das erforderliche Druckniveau, um das Abwasser bis zum Auslaufbauwerk transportieren zu können, wird aufgrund des vorliegenden Höhenunterschieds zwischen Einlauf- und Auslaufbauwerk erreicht. Es wurden während der Studie nur drei SDL mit dieser Art des Abwassertransports identifiziert.

Im **ersten Fall** wird ein Hochbehälter benutzt, der über den Grundablass und einem auf Seenniveau befindlichen Schieber periodisch entleert wird. Diese Anwendung kann bei einem höher gelegenen Entsorgungsgebiet von Vorteil sein, wenn die geodätische Druckhöhe ausreichend ist. Aber auch wenn keine ausreichend großen Ufergrundstücke verfügbar sind, oder andere Gründe dafür sprechen (z.B. verfügbarer Platz für einen Hochbehälter), kann mit Hilfe eines kleinen Pumpwerks der Hochbehälter befüllt werden. Der Vorteil dabei liegt bei der Dimensionierung des Pumpwerks, welches nicht auf den Abwassertransport durch die SDL ausgelegt werden muss.

Beim **zweiten Fall** wird ein höher gelegenes Entsorgungsgebiet ähnlich wie im ersten Fall periodisch über die SDL entsorgt, nur mit dem einen Unterschied, dass zusätzlich eine konventioneller Pumpenstation auf Seespiegelniveau ebenfalls in die gleiche SDL fördern kann.

Der **dritte Fall** war die Anwendung als Ablauf-Dückerleitung einer Kläranlage durch einen See, der nicht periodisch, sondern kontinuierlich mit (gereinigtem) Abwasser beschickt wird.

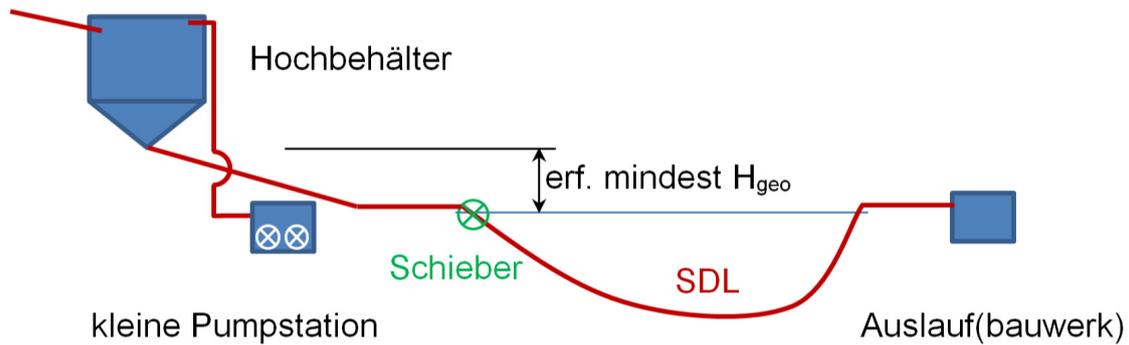


Abbildung 27: Abwassertransport durch die SDL in Freigefälledruckleitungen (optional mit kleiner Pumpstation zum befüllen des Hochbehälters).

8.3.2. Betrieb

Die Kontrolle und Wartung ist ein wesentlicher Bestandteil der erforderlichen Tätigkeiten bei der Instandhaltung von Pumpstationen. Je nach Instandhaltungsstrategie des Betreibers wird zwischen kurativer Strategie (auf Störung reagierende Instandhaltung), präventiver Strategie (vorbeugende turnusmäßige Instandhaltung) und selektiver Strategie (vorbeugende zustandsabhängige Instandhaltung) unterschieden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Instandhaltungsstrategien (adaptiert nach Wenkenbach, 2010)

Strategie	Vorteile	Nachteile
Kurative Strategie Auf Störung reagierende Instandhaltung	+ optimale Ausnutzung der Pumpenteile	- Hohe Folgeschäden - Hoher Ersatzteilbestand - Lange ungeplante Stillstände
Präventive Strategie Vorbeugende turnusmäßige Instandhaltung	+ weniger Folgeschäden + geplante Stillstände	- Technische Nutzungsdauer nicht optimal genutzt - Hohe Kosten für Instandhaltung
Selektive Strategie Vorbeugende zustandsabhängige Instandhaltung	+ optimale Ausnutzung der technischen Nutzungsdauer der Pumpenteile + Wartung/Reparatur nach Zustand + weniger Folgeschäden + Geplante Stillstände + Prozessoptimierung	- Aufwand für Zustandsüberwachung

Eine Zustandsüberwachung (wie es für die selektive Strategie erforderlich ist) wird in vielen Fällen mittels einer Funk- bzw. GSM-Anlage realisiert. Die Notwendigkeit einer permanenten Zustandsüberwachung kann nach Wenkenbach (2010) in den folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- „Kostendruck veranlasst die Pumpenbetreiber dazu, die Lebenszykluskosten der Pumpen zu minimieren, z.B. durch
 - Vermeidung bzw. Verringerung ungeplanter Maschinenausfälle
 - optimale Ausnutzung der Maschinen- und Anlagenlebensdauer

- *Prozessoptimierung*
- *Senkung der Instandhaltungskosten*
- *Weniger Personal für die Überwachung und Instandhaltung von Pumpen*
- *Zustandsabhängige Instandhaltung ermöglicht eine Wartung/Reparatur zum richtigen Zeitpunkt, in der richtigen Intensität und zum günstigsten Preis.“*

Der Vorteil einer zustands- bzw. bedarfsorientierten Strategie ist es, dass zu jedem Zeitpunkt die Kenntnis des Zustandes der Leitungssysteme als auch der Pumpstation in baulicher, betrieblicher und umweltrelevanten Hinsicht erfasst werden kann.

Für weitere Informationen zum Betrieb und Optimierung von Pumpstationen wird sowohl auf den Endbericht „Optimierte Strategien der Instandhaltung von dezentralen Pumpstationen“ (KAN, 2010) als auch auf Kienböck und Pöchhacker (2014) verwiesen.

8.3.3. Prozesse während des Abwassertransports in Druckleitungen

Die maßgebenden Prozesse während des Abwassertransports sind Sedimentation und biologische Prozesse.

Obwohl die meisten Einzugsgebiete von SDL in Trennkanalisation ausgebaut sind, kann es im Abwasser wegen Fehlanschlüssen zu erhöhten Anteilen von Sinkstoffen kommen. Falls eine Mischkanalisation angeschlossen ist, ist eine entsprechende Vorbehandlung unumgänglich. Die Sedimentation in der SDL hängt einerseits ab von der Strömungsgeschwindigkeit im Rohr (nach Flögl und Hoyer (2001) mind. 0,8 m/s im Betrieb und 1,1 bis 1,5 m/s während der Spülung) und andererseits von einer funktionierenden Trennwirkung im Pumpensumpf.

Falls es zu einer Ansammlung von Sedimenten in der SDL kommt, können diese zu einer Verengung führen, und im schlimmsten Fall zu einer Verstopfung der SDL. Das weitaus größte Problem ist während einer geplanten Molchung jedoch die Gefahr des Verkeilens eines Molches an dieser Engstelle.

Ebenfalls kritisch zu betrachten sind lange Aufenthaltszeiten des Abwassers in den Abwasserdruckleitungen, vornehmlich während lang anhaltender Trockenwetterperioden. Dies kann in Verbindung mit erhöhten Temperaturen in flach verlegten SDL während der Sommermonate zu Problemen durch aufschwimmen (biogene Gasbildung) führen.

Unter Luftabschluss transportiertes oder auch stehendes Abwasser unterliegt biologischen Vorgängen bei denen der verfügbare freie Sauerstoff von den vorhandenen Mikroorganismen rasch aufgezehrt wird. Anschließend wird auch der chemisch gebundene Sauerstoff veratmet, wobei insbesondere Schwefelverbindungen reduziert werden (bakterielle Sulfatreduktion oder Desulfurikation).

Die Löslichkeit von Schwefelwasserstoff in Wasser ist 3,7 g H₂S/L oder 2,6 L H₂S/L H₂O (bei 20°C). Da diese Sättigungskonzentration unter normalen Bedingungen nie erreicht wird, bleibt das gesamte gebildete H₂S-Gas im Bereich der Druckleitung in Lösung. Durch Entspannung des Abwassers an den Auslauf(bauwerken) gasen die darin gelösten Bestandteile aus. Dies resultiert in den bekannten Problemen der unangenehmen Geruchsentwicklung und des chemischen Angriffs auf Materialoberflächen. Da die chemische Stabilität von Polyethylen selbst sehr groß ist, kann es hauptsächlich an den Rohrverbindungen, Ausleitungspunkten, Freispiegelkanälen, angeschlossenen Pumpwerken oder an der Kläranlage selbst zu Korrosionserscheinungen kommen.

8.4. Auslaufbauwerk

Als Auslaufstelle dient entweder ein eigener Endschacht oder in den überwiegenden Fällen einfach ein Freispiegelkanal.

Eine eindeutige Zuordnung der Abwassermenge von der SDL ist im Fall der Einmündung in den Freispiegelkanal nicht möglich.

Falls die SDL in einen Endschacht mündet, in dem zwar eine Höhenstandmessung installiert ist, aber in dem auch andere Leitungen einmünden ist es ebenfalls sehr schwierig bis unmöglich die gepumpte Menge einzeln zu erfassen.



Abbildung 28: Einmündung der Druckleitung direkt in einen Freispiegelkanal (Links) oder bei größeren Pumpmengen über ein Auslaufbauwerk (Rechts), (Bildquelle: Ortsbegehung Wörthersee).

Bezüglich der periodisch durchzuführenden Druckprüfung sowie der Messung von Abwassermenge oder Druck beim Auslauf kommt dem Auslaufbauwerk eine neue Aufgabe zu. Falls der Auslauf direkt in einen Freispiegelkanal mündet, müsste man, um diese Aufgaben zu erfüllen, einen eigenen Messschacht errichten. Wie in Abbildung 28 (links) zu sehen, konnten an den Rohrenden der Seedruckleitungen zumindest Flansche für die periodisch durchzuführende Drucküberprüfung angebracht werden.

9. Überblick der in dieser Studie erhobenen Seen mit Druckleitungen

Die in dieser Studie erhobenen Seen wurden von den Ländervertretern aus Kärnten, Salzburg und Oberösterreich genannt sowie durch eigene Recherchen ergänzt. Dabei handelt es sich ausschließlich um größere Seen, wo seit langem Seedruckleitungen Verwendung finden. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass noch weitere Seedruckleitungen (laut Definition in dieser Studie; vgl. dazu auch Kapitel 4) in Österreich verbaut sind. Dazu zählen vor allem künstlich geschaffene Teiche aber auch natürlich entstandene Seen im Privatbesitz. Diese Leitungen dürften jedoch hauptsächlich mit privaten Mitteln errichtet worden sein.

Eine Übersicht der geographischen Verteilung der erhobenen Seen ist in Abbildung 29 zu sehen.

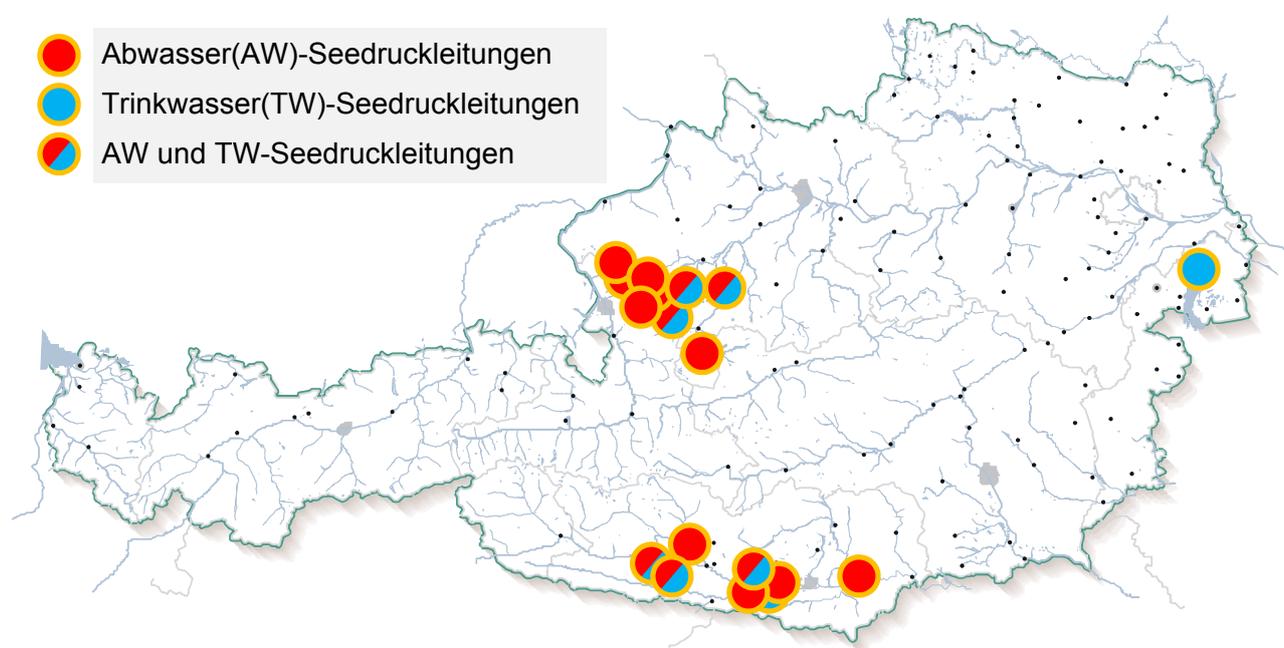


Abbildung 29: Lageübersicht der im Zuge der Studie erhobenen Österreichischen Seen mit Druckleitungen.

Zusätzliche Informationen zu den Betreibern von Seedruckleitungen in den jeweiligen See bzw. dem See selbst können dem → Ergänzungsband zu dieser Studie entnommen werden.

In Tabelle 4 sind die in dieser Studie berücksichtigten Seen mit Abwasserdruckleitungen in alphabetischer Reihenfolge angeführt. Es sind hier nur diejenigen betroffenen natürlichen Seen (+ 1 Stausee) angeführt, welche mit dem Ministerium sowie den zuständigen Ländern abgesprochen wurden.

Tabelle 3: Morphometrische und hydrographische Parameter der erhobenen Seen mit Abwasser-Druckleitungen (Quelle: <http://www.kis.ktn.gv.at>; BAW, 2008; ergänzt durch eigene Recherchen).

See (17)	Bundesland	hydr. Gesamt-einzugsgebiet	Wassereinhalt	Oberfläche	Lage (Seehöhe)	maximale Tiefe	mittlere Tiefe	Mittelwasserabfluss MQ	Wassererneuerungszeit berechnet ¹⁾	Art der Zirkulation ²⁾
		km ²	Mio m ³	km ²	müA	m	m	m ³ /s	a	
Attersee	OÖ	459,5	3.944	46,0	469	169	84	17,5	7,1	holomiktisch, monomiktisch
Faakersee	K	37,1	35,2	2,2	553	29,5	16,1	0,62	1,8	holomiktisch, dimiktisch
Fuschlsee	S	27,7	98,0	2,7	663	66,9	37	1,1	2,8	holomiktisch, dimiktisch
Grabensee	S	6,9	12,0	1,3	503	14	9	1,5	0,3	holomiktisch, dimiktisch
Hallstättersee	OÖ	631,0	557,0	8,5	508	125	65	35	0,5	meromiktisch
Irrsee	OÖ	27,5	53,0	3,6	553	32	15	1,3	1,3	holomiktisch, dimiktisch
Keutschacher See	K	29,2	13,6	1,3	505	15,6	10,3	0,5	0,9	holomiktisch, dimiktisch
Millstätter See	K	285,6	1.204	13,3	587	141	88,6	4,77	8,0	meromiktisch, dimiktisch
Mondsee	OÖ	246,0	510,0	13,8	481	68	36	9,0	1,8	holomiktisch, dimiktisch
Ossiacher See	K	160,4	206,3	10,8	502	53	19,6	2,9	2,2	holomiktisch, dimiktisch
Pressegger See	K	28,5	1,9	0,6	560	13,7	3,4	1,2	0,05	holomiktisch polymiktisch
Traunsee	OÖ	1.422	2.302	24,4	422	191	92	17	4,3	meromiktisch
Völkermarkter Stausee	K	10.667	83,0	10,5	391	26	5	270	0,01	Anm.: durchflossen von der Drau in 3,6 Tagen
Wallersee	S	110,0	76,3	5,9	506	23,3	13,3	3,07	0,8	holomiktisch, dimiktisch
Weissensee	K	49,6	226,1	6,5	929	99	35	0,79	9,1	meromiktisch, dimiktisch
Wolfgangsee	OÖ/S	126,3	619,0	13,0	538	114	50	5,32	3,7	holomiktisch, dimiktisch
Wörthersee	K	132,9	816,4	19,4	441	85	42	2,5	10,4	meromiktisch, dimiktisch

¹⁾ Wassererneuerungszeit berechnet mit Abflussdaten des Hydrographischen Jahrbuchs (BMLFUW, 2014)

²⁾ nach BAW (2008) ergänzt durch KIS (2005), KIS (2005a), KIS (2007) und LandOÖ (2010), LandOÖ (2014a)

Die Art der Zirkulation wurde aus BAW (2008) entnommen und durch aktuelle Recherchen aktualisiert. Dies ist auch der Grund, warum der Hallstättersee und Traunsee nicht mehr holomiktisch/dimiktisch (BAW, 2008) sondern aktuell als meromiktische Seen (z.B. LandOÖ, 2010) eingestuft sind. Detailliertere Informationen zu den Zirkulationstypen können dem → Ergänzungsband zu dieser Studie entnommen werden

10. Bestandserhebung – Druckleitungen

Die Informationen in diesem Kapitel wurden durch die drei durchgeführten Erhebungen, den beiden Workshops sowie anhand der persönlichen Besuche bei den Betreibern von SDL erhoben. Details dazu sind dem Kapitel 6 zu entnehmen.

Da die in Österreich verbauten SDL bereits eine lange Geschichte aufweisen und in dieser Dichte einzigartig sind, wurden auch schon zu früheren Zeiten Erhebungen durchgeführt. Diese beschränkten sich jedoch eher auf Landesebene. Auf das Risiko bezüglich der in den Seen verbauten potentiellen Verschmutzungsgefahr wurde man erst in jüngster Zeit mit der im Jahr 2006 erlassenen Badegewässerrichtlinie (RL 2006/7/EG) aufmerksam. Dies ist sicherlich auch auf das verwendete Rohrmaterial PE zurückzuführen, das bei entsprechend guten Einbau- und Betriebsbedingungen langlebig und betriebssicher ist. Nur mancher Betreiber mit wiederkehrenden Problemen bei seinen SDL oder aufgrund anderer Umstände auf das Risiko aufmerksam geworden, nahm sich der Sache an und fragte nach der möglichen Gefahr, die von den SDL ausgehen kann. Als Ergebnis dieser Überlegungen können beispielhaft untenstehende Punkte angeführt werden:

- (1) In den Salzburger Trumerseen wurden bereits 1998 die erst 25 Jahre alten Seedruckleitungen (9,0 km) zur Anpassung an die neuen Belastungswerte und zur Verbesserung der Betriebssicherheit durch neue Landleitungen ersetzt (Quelle: RHV Trumerseen). Ebenso wurde bekanntgegeben, dass die letzte SDL des RHV Trumerseen am Grabensee (DN 200, ein Strang) mit einer Gesamtlänge von 1,6 km im Jahr 2015/16 im Zuge der Errichtung eines Radweges als Landleitung neu verlegt wird.
- (2) Trotz der teilweise doppelt verlegten Seedruckleitungen wurde 2013 die Erneuerung der Zwillingsdruckleitung für die Abwasserentsorgung vom Kanalpumpwerk Warchalowsky bis zur Traunbrücke in Gmunden beschlossen (Quelle: Gemeinderats Niederschrift Nr.22 vom 12.02.2013, Gemeinde Traunkirchen). Der Grund sind die immer häufiger zu beobachtenden Rohrbrüche der PE-Rohre, welche mit der damals angenommenen Lebensdauer von 50 Jahren in Verbindung gebracht wird. Aktuelle Überlegungen gehen eher von einer mangelhaften Bauausführung bzw. betrieblichen Problemen aus.
- (3) Der WV Ossiacher See hat eine behördlich vorgeschriebene Überwachung jeder einzelnen SDL mit einem Mengemesser zu Beginn und am Ende des Rohrstranges vorzunehmen.

Als erster Schritt hinsichtlich einer Risikoabschätzung wurden die verlegten SDL erhoben. Eine Übersicht über die Seen mit Abwasser- und Trinkwasserdruckleitungen sowie die für den Erhalt zuständigen Verbände bzw. Gemeinden zeigt Tabelle 4 und Tabelle 5.

Wie in Tabelle 4 angeführt, wurden insgesamt 98 **Abwasser-Seedruckleitungen (AW-SDL)** mit einer Gesamtlänge von 158,2 km, eine ARA-Ablauf-SDL durch den See mit 3,1 km (nur Länge im Seebereich, RHV Wallersee Nord), sowie eine ARA-Auslaufleitung in den See mit 1,0 km (RHV Mondsee-Irrsee) erhoben. Von den insgesamt 98 Stück SDL sind 36 Stück (41%) mit einer Gesamtlänge von 65,8 km in paralleler Bauweise ausgeführt. Zwei AW-SDL sind aktuell nicht in Betrieb. Abbildung 30 gibt einen Überblick über die pro See verlegten Leitungslängen.

Von diesen 158,2 km verlegten SDL sind nur 3,4 km als Gussleitungen ausgeführt, der Rest sind Polyethylenrohre. Dieses Rohrmaterial wurde v.a. wegen der Einbausituation im Völkermarkter Stausee mit seinem hohen Potenzial für Geschiebeumlagerungen gewählt.

Tabelle 4: Übersicht über die Seen mit Anzahl von aktiven Abwasserdruckleitungen, sowie die für den Erhalt zuständigen Verbände bzw. Gemeinden.

See (17)	Land	Anzahl der Seeleitungen*	Verband/Gemeinde (19)
Attersee	OÖ	13	RV Attersee (eine Verbandsleitung liegt im Mondsee)
Faakersee	K	2	AWV Faakersee
Fuschlsee	Sbg	2	RHV Fuschlsee-Thalgau
Grabensee	Sbg	1	RHV Trumerseen
Hallstättersee	OÖ	4	RHV Hallstättersee
Irrsee	OÖ	8 (2)	RHV Mondsee-Irrsee (zwei Leitungen aktuell nicht in Betrieb)
Keutschacher See	K	1	AWV Karnische Region
Millstätter See	K	5	WV Millstätter See
Mondsee	OÖ	6	RHV Mondsee-Irrsee (eine Verbandsleitung vom RV Attersee)
Ossiachersee	K	16	WV Ossiacher See
Pressegger See	K	2	Gemeinde Keutschach
Traunsee	OÖ	2	Gemeinde Altmünster
Völkermarkter Stausee	K	2	AWV Völkermarkt-Jaunfeld
Wallersee	Sbg	2 [1]	RHV Wallersee Süd / [RHV Wallersee Nord – ARA-Ablauf]
Weissensee	K	4	Gemeinde Weissensee
Wolfgangsee	OÖ/Sbg	9	RHV Wolfgangsee-Ischl
Wörthersee	K	16	WV Wörthersee Ost / AWV Wörthersee West

* ... Anzahl der aktiven Seedruckleitungen für den Transport von Abwasser im jeweiligen See.

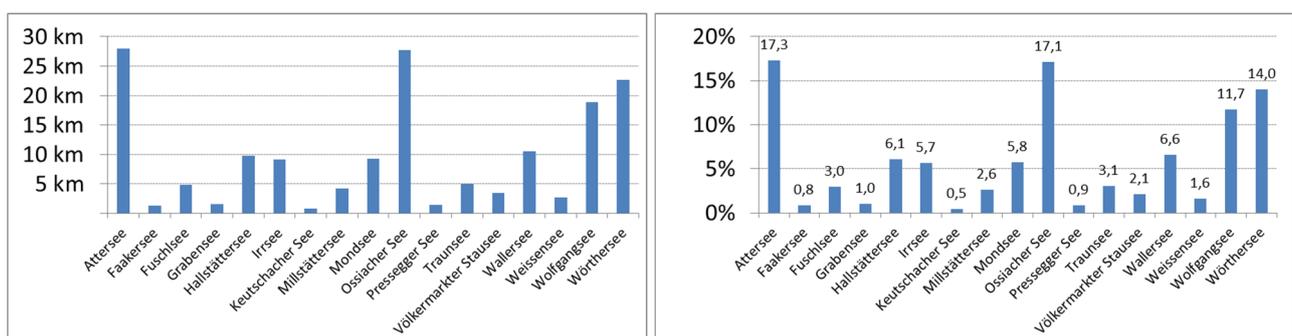


Abbildung 30: Zuordnung der in den 17 Seen verlegten Leitungslängen von AW-SDL in absoluten Längen (links) und als Verhältnisangabe in Prozent (rechts).

Abbildung 31 (links) zeigt das aktuelle Alter aller verlegten AW-SDL mit Bezugsjahr 2015. Die jüngste AW-SDL ist 14 Jahre, die älteste bereits 45 Jahre. Das mittlere Diagramm in Abbildung 31 zeigt die verlegten Rohrdimensionen in aufsteigender Reihenfolge. Die kleinste verlegte Rohrdimension hat einen Außendurchmesser von 90 mm. Das Rohr mit der größten Dimension von 630 mm Außendurchmesser repräsentiert gleichzeitig das längste Rohr mit 5,4 km Länge im

Attersee. Das rechte Diagramm in Abbildung 31 ist nach der maximalen Absenktiefe der verlegten Seedruckleitungen gereiht. Die flachste Seedruckleitung mit nur 6 m ist im Weissensee, die tiefste AW-SDL mit 144 m ist im Attersee verlegt. Dazu muss angemerkt werden, dass die definitiv tiefste PE-Leitung eine Trinkwasserleitung darstellt, welche mit einer maximalen Tiefe von 160 m im Traunsee verlegt wurde.

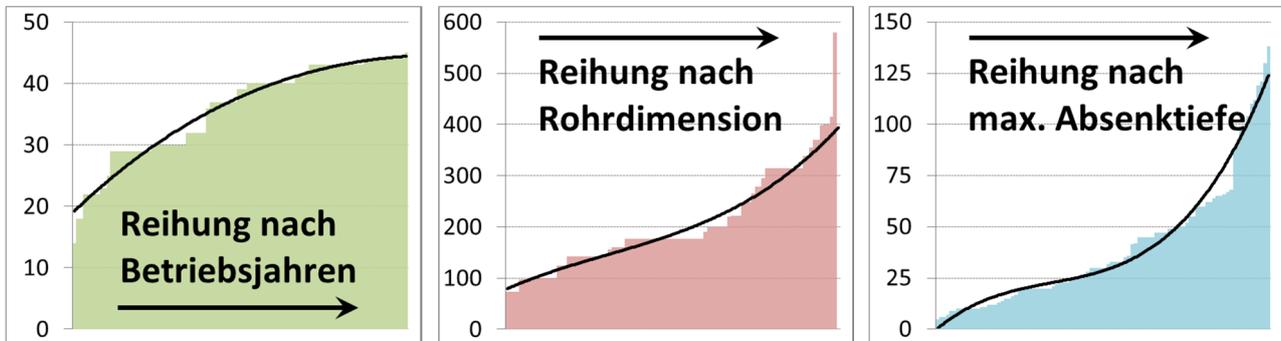


Abbildung 31: Aufsteigende Reihung der 98 Abwasser-Seedruckleitungen. Links: nach den Betriebsjahren (Bezugsjahr 2015); Mitte: nach dem Innendurchmesser in [mm]; Rechts: nach der maximalen Absenktiefe in [m].

Zusätzlich sind anhand der durchgeführten Erhebungen nachweisbar in mindestens 6 Seen **Trinkwasserleitungen (TW-SDL)** mit einer Gesamtlänge von 26,7 km verlegt (Tabelle 5).

In dieser Summe nicht enthalten sind von Privatpersonen verlegte Trinkwasser-Leitungen in mindestens zwei Seen, welche auch privat finanziert wurden. Es ist daher anzunehmen, dass es wesentlich mehr Leitungen gibt, die aufgrund privater Initiativen errichtet wurden.

Als Rohrmaterial wurden wie bei den Seedruckleitungen für Abwasser hauptsächlich PE verwendet, nur im Neusiedlersee kam aufgrund der flachen Trassierung ein Asbestzementrohr mit 400 mm Innendurchmesser zum Einsatz (Abbildung 32).

Tabelle 5: Übersicht über die Seen mit Trinkwasserleitungen sowie die für den Erhalt zuständigen Verbände bzw. Gemeinden.

See (6+2)	Land	Anzahl der Seeleitungen	Verband/Gemeinde/Privat
Attersee	OÖ	1	Wasserleitungsverband Vöckla-Ager
Faakersee	K	1	Privat verlegte Leitungen
Neusiedler See	B	1	Wasserleitungsverband Nördliches Burgenland
Ossiachersee	K	1	WV Ossiacher See
Pressegger See	K	?	Privat verlegte Leitungen
Traunsee	OÖ	1	Stadtgemeinde Gmunden
Weissensee	K	4	Gemeinde Weissensee
Wolfgangsee	Sbg/OÖ	3	Gemeinde St. Gilgen

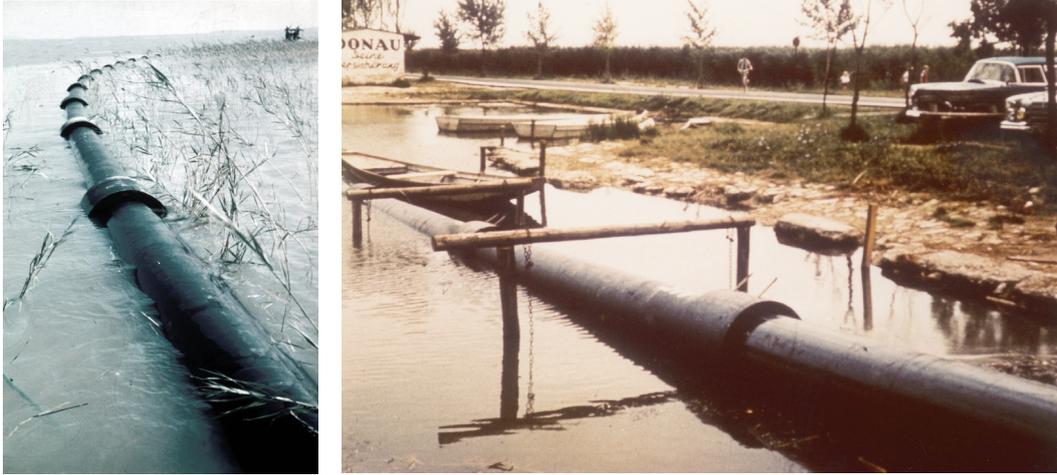


Abbildung 32: Trinkwasserleitung (AZ 400) durch den Neusiedlersee von Seewinkel bis Illmitz während des Verlegens (Bildquelle: WLW Nördliches Burgenland).

Die für den Erhalt und die Wartung zuständigen Verbände bzw. Gemeinden sind ebenfalls in den beiden oben stehenden Tabellen (Tabelle 4 und Tabelle 5) aufgelistet. Eine detaillierte Beschreibung der erhobenen Leitungen ist im → Ergänzungsband zu dieser Studie zu finden.

Zusammenfassung der Verbands- bzw. Gemeindeleitungen in den betroffenen österreichischen Seen:

98 Seedruckleitungen für den Transport von Abwasser (AW-SDL, incl. 41% parallel verlegte-Leitungen): **158,2 km**

2 Leitungen für den Ablauf einer kommunalen ARA im Seebereich (1 x Düker, 1 x Seeauslauf): **4,1 km**

11 Seeleitungen für den Transport von Trinkwasser (TW-SDL): **26,7 km**

Für die Aufrechterhaltung des Status quo der Abwasserentsorgung sowie der Trinkwasserversorgung sind daher in Summe rund 190 km seeverlegter Leitungen erforderlich.

In dieser Summe nicht enthalten sind Leitungen für den Transport von Abwasser, welche privat finanziert wurden. Ebenfalls nicht enthalten sind die in Summe ca. 8 km langen Ausleitungen und Spülleitungen bei den SDL-Pumpwerken, sowie die rund 13 km bereits aufgelassenen SDL in den beiden Trumerseen, Mondsee und Irrsee.

11. Ausgangslage der betroffenen Seen

11.1. Chemischer und ökologischer Zustand

Die limnologischen Verhältnisse als Grundlage des Stoffhaushalts stehender Gewässer werden im Wesentlichen bestimmt durch (Maniak, 1997; Schwoerbel und Brendelberger, 2013):

- ✓ Größe und Nutzung des Einzugsgebiets
- ✓ morphometrische Kenndaten des gestauten Wasserkörpers (Seehöhe, Fläche, Volumen, Einzugsgebiet, Tiefe, Wassererneuerungszeit)
- ✓ Erneuerungszeit des gestauten Wassers, jährliche Zuflussverteilung
- ✓ Energiehaushalt einschließlich Wind und schützende Geländeformen, Strömungen und Schichtungen
- ✓ Nährstoffhaushalt

Diese Prozesse greifen ineinander und sind daher auch voneinander abhängig. Aus diesem Grund ist es daher nicht möglich alle Zusammenhänge im Detail zu erfassen oder gar zu mit einer hohen Genauigkeit zu modellieren. Vielmehr ist man für konkrete Entscheidungen bzgl. Sanierungsmaßnahmen auf konkrete Messungen angewiesen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden von den entsprechenden Stellen laufend aktualisiert und veröffentlicht.

Im Entwurf zum Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan NGP 2015 (BMLFUW, 2015a) sind der Mondsee und der Ossiacher See in der Kategorie „Allg. physikalische und chemische Parameter“ als Seen mit einem „sicheren Risiko der Zielverfehlung“ ausgewiesen (vgl. auch Tabelle 6). Im Besonderen geht es beim Mondsee und beim Ossiacher See um die Nährstoffe und organischen Belastungen. Der Traunsee erhält wegen der hydromorphologischen Komponente den Gesamtzustand „mäßiger Zustand“. Dies entspricht bei allen drei Seen eine Verschlechterung der Zustandsbewertung gegenüber dem NGP 2009 (BMLFUW, 2010a), da zu diesem Zeitpunkt noch keine Messungen als Grundlage für die vorläufige Bewertung vorlagen.

Es sollen daher bis 2021 Maßnahmen gesetzt werden, um die stofflichen Belastungen aus Punktquellen zu minimieren (siehe dazu auch Abbildung 33 und Abbildung 34). Hinsichtlich dieser stofflichen Belastungen ist anzumerken, dass beim Mondsee eine Einleitung von gereinigten Abwässern direkt in den See erfolgt.

Als eine angenäherte Klassifizierung hinsichtlich der diffusen Nährstoffeinträge wird in den Fachinformationen zum Entwurf des 2. NGP das Verhältnis der modellierten Konzentration (BMLFUW, 2011) zum typspezifischen Richtwert für die Zustandsgrenze *gut/mäßig* am Einzugsgebietsauslass angegeben. Die Einzugsgebiete der Trumerseen und des Wallersees befinden sich laut Abbildung 35 im Bereich des Verhältnisses für die berechneten $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen von $> 1,2$. Dies deutet auf eine eindeutige Richtwertüberschreitung für Nitrat bzw. Orthophosphat hin. Alle anderen Einzugsgebiete für die Seedruckleitungen haben ein Verhältnis von $< 0,8$, was auf keine Überschreitung des typspezifischen Richtwerts laut der Qualitätszielverordnung Ökologie (BGBl. 99/2010) hindeutet. Erklärungen zu den Verhältniswerten können in Schilling et al. (2011) nachgelesen werden.

Das Vorliegen von diffusen Nährstoffeinträgen, die eine Eutrophierungsgefahr darstellen, war auf Basis von immissionsseitigen Überwachungsdaten (= konkrete Messungen) nur beim Mondsee und Ossiacher See anzunehmen.

Beim Mondsee wurden bereits Maßnahmen bei den beiden Punktquellen im Einzugsgebiet (z.B. weitere Phosphorelimination auf 0,35 mg/l im Jahresmittel bei der Kläranlage Mondsee) sowie zur Verminderung von stofflichen Einträgen aus diffusen Quellen gesetzt. Für den Ossiacher See wurde ebenfalls bereits ein Sanierungsprojekt „Ossiacher See – Bleistätter Moor“ erarbeitet und auch schon teilweise umgesetzt.

Tabelle 6: Seen - chemischer und ökologischer Zustand bzw. ökologisches Potential der Wasserkörper, inklusive Teilzuständen und Bewertungstyp der Zustandsbewertung (BMLFUW, 2015a; modifiziert)

See	Bundesland	Chemischer Zustand	Bewertungstyp für Chemischen Zustand	Bewertungstyp für ubiquitäre Schadstoffe	Ubiquitäre Schadstoffe	National geregelte Schadstoffe	Bewertungstyp für National geregelte Schadstoffe	stoffliche Komponente des ökologischen Zustands	Bewertungstyp für stoffliche Komponente	hydromorph. Komponente des ökologischen Zustands	Bewertungstyp für hydromorph. Komponente	Ökologischer Zustand / Potential	Bewertungstyp für Ökol. Zustand/ Potential	GESAMTZUSTAND	Bewertungstyp für GESAMTZUST
Attersee	OÖ	1	B	3	C	1	B	1	A	1	A	1	A	1	A
FaakerSee	K	1	B	3	C	1	B	1	A	2	A	2	A	2	A
Fuschlsee	S	1	B	3	C	1	B	1	A	2	B	2	B	2	B
Grabensee	S	1	B	3	C	1	B	2	A	2	A	2	A	2	A
Hallstätter See	OÖ	1	B	3	C	1	B	2	A	2	A	2	A	2	A
Irrsee (Zeller See)	OÖ	1	B	3	C	1	B	1	A	1	A	1	A	1	A
Keutschacher See	K	1	B	3	C	1	B	1	A	1	A	1	A	1	A
Millstätter See	K	1	B	3	C	1	B	2	A	2	A	2	A	2	A
Mondsee	OÖ	1	B	3	C	1	B	3	A	2	A	3	A	3	A
Ossiacher See	K	1	B	3	C	1	B	4	A	2	A	4	A	4	A
Pressegger See	K	1	B	3	C	1	B	1	A	1	A	1	A	1	A
Traunsee	OÖ	1	B	3	C	1	B	2	A	3	A	3	A	3	A
Völkermarkter Stausee*	K	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Wallersee	S	1	B	3	C	1	B	2	A	2	A	2	A	2	A
Weissensee	K	1	B	3	C	1	B	1	A	1	A	1	A	1	A
Wolfgangsee	S/OÖ	1	B	3	C	1	B	1	A	2	B	2	B	2	B
Wörthersee	K	1	B	3	C	1	B	2	A	2	A	2	A	2	A

1...*Sehr guter Zustand*
 2...*Guter Zustand*
 3...*Mäßiger Zustand*

4...*Unbefriedigender Zustand*
 5...*Schlechter Zustand*
 * ...keine Bewertung angeführt

A...*Bewertung anhand von Messungen*
 B...*Bewertung anhand von Gruppierung*
 C...*Bewertung anhand von Belastungsanalyse*

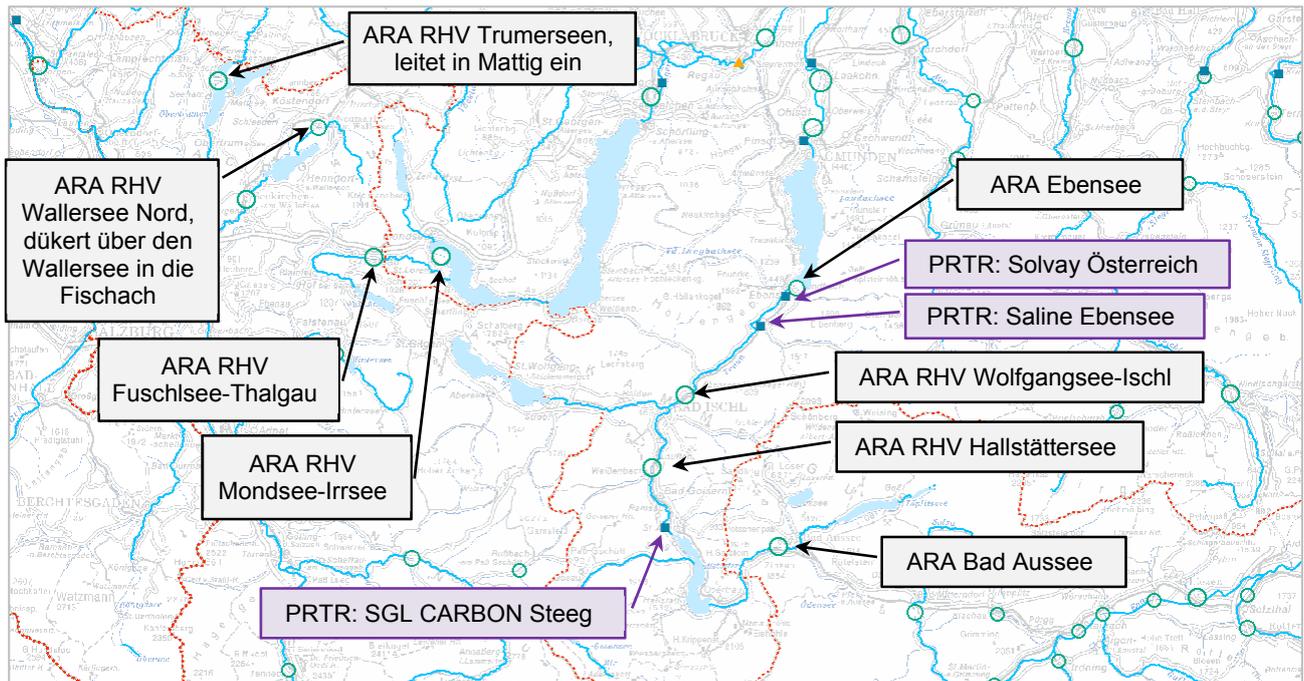


Abbildung 33: Belastungen der betroffenen Seen in Oberösterreich und Salzburg durch Punktquellen im Einzugsgebiet (Quelle: WISA - Fachinformationen zum Entwurf des 2. NGP [15.06.2015]; modifiziert). Hinweis: PRTR steht für Pollutant Release and Transfer Register (Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister).

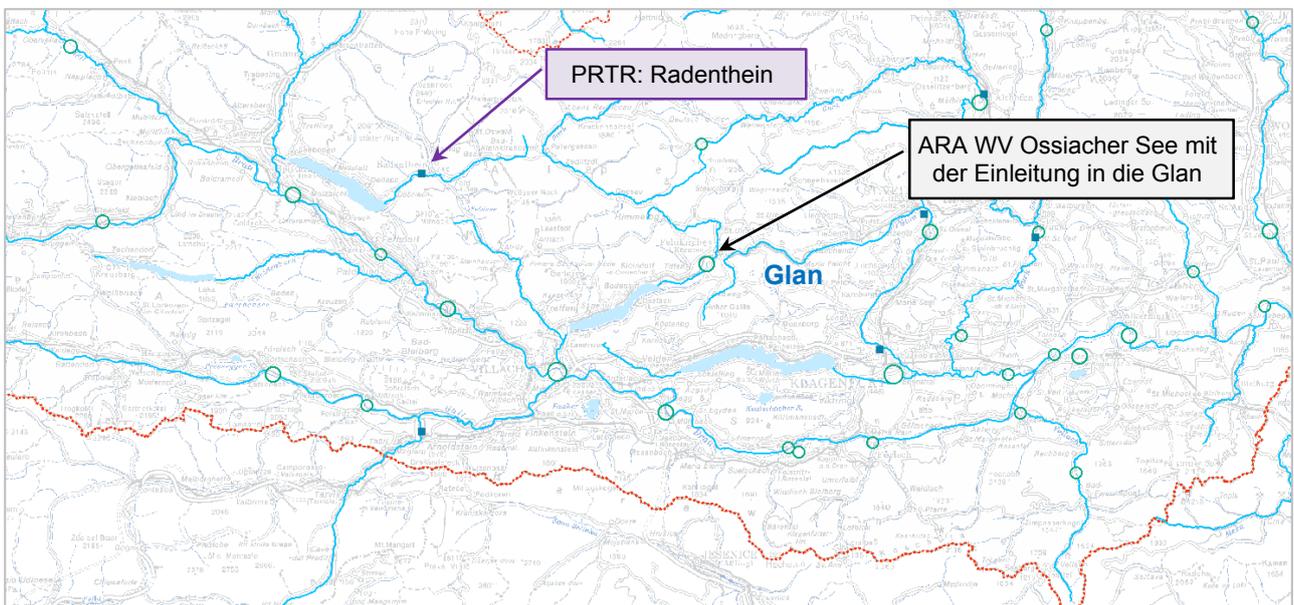


Abbildung 34: Belastungen der betroffenen Seen in Kärnten durch Punktquellen im Einzugsgebiet (Quelle: WISA - Fachinformationen zum Entwurf des 2. NGP [15.06.2015]; modifiziert). Hinweis: PRTR steht für Pollutant Release and Transfer Register (Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister).

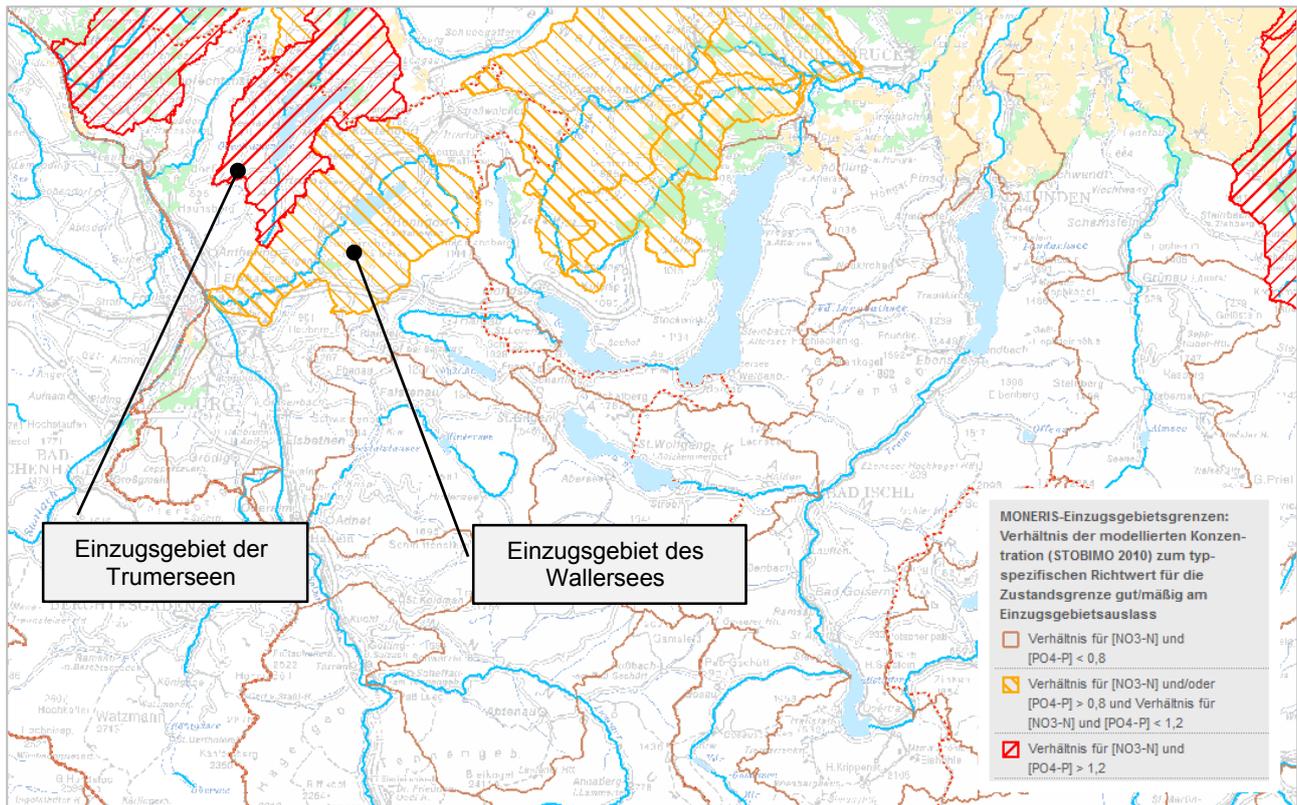


Abbildung 35: Diffuse Belastungen anhand modellierter Konzentration in den Einzugsgebieten der in Oberösterreichischen und Salzburger Seen - Natürliche sowie künstliche und erheblich veränderte Wasserkörper (Quelle: WISA - Fachinformationen zum Entwurf des 2. NGP [15.06.2015]; modifiziert).

11.2. Anthropogene Einwirkungen auf die Gewässer

Direkte Abwassereinleitungen stammen entweder aus **Punktquellen** oder von **Abflüssen von versiegelten Flächen**. Diese Einleitungen sind in der Regel definiert und gesteuert (z.B. Einleitungen von gereinigtem Abwasser aus Kläranlagen), nur in geringen Maßen gesteuert (z.B. Mischwasserüberläufe) oder vielfach ungesteuert (z.B. die meisten Straßenabläufe).

Diese direkten Abwassereinleitungen machen nur ca. 20% der gesamten Stickstoffemissionen und 26% der gesamten Phosphoremissionen in österreichische Oberflächengewässer aus (BMLFUW, 2014b).

Nach Krejci et al. (2004) beeinträchtigen Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter über Mischwasserüberläufe vor allem die Wasserqualität durch eine Erhöhung der Konzentrationen von chemischen Substanzen aber auch durch Bakterien und pathogenen Keimen (Krankheitserreger). Die Veränderung des ästhetischen Zustandes ist zwar nur von lokaler Bedeutung, kann jedoch auch nach dem Abklingen der Verschmutzung in Badebereichen störend wirken. Falls ein Pumpwerk einer SDL mit der Möglichkeit ausgestattet ist, Mischwasser in den See abzuleiten, ist daher unbedingt ein Rechen zu installieren. Die wasserrechtliche Genehmigung wird hierbei vorausgesetzt.

Die Selbstreinigungskraft der Oberflächengewässer ist bei der Einleitung von Mischwasser in Fließgewässer über entsprechend dimensionierte Überlaufbauwerke von großer Bedeutung. Dabei

spielen die Verdünnungseffekte aber auch die vorhergehende Konditionierung des Gewässers eine große Rolle.

Im nährstoffarmen Gewässer herrschen meist nur Kieselalgen vor. Je höher die Trophiestufe desto „besser“ kann ein Ökosystem mit anthropogenen Einwirkungen umgehen.

Kurzzeitige Einwirkungen können unter diesem Aspekt auch durch die Selbstreinigungskräfte innerhalb eines Sees gut abgepuffert werden (Abbildung 36). Andererseits führen langandauernde oder wiederholende Einwirkungen durch den Menschen dabei zu den bekannten Auswirkungen, die im Fall einer Nährstoffzugabe als Eutrophierung bezeichnet wird.

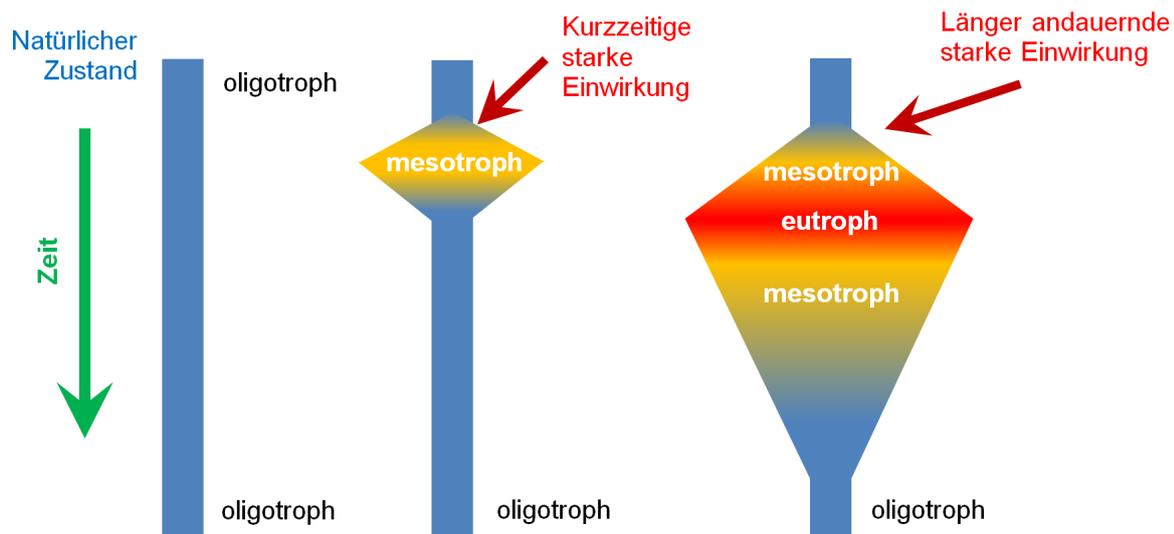


Abbildung 36: Darstellung der Auswirkungen von kurzzeitigen und länger andauernden Einwirkungen (Nährstoffbelastung) auf die Trophie eines Seenkörpers.

Schwieriger wird es bei der Betrachtung von **diffusen Einträgen** in die Oberflächengewässer. Diffuse Quellen können den Zustand von Oberflächengewässern einerseits durch den Eintrag chemischer Schadstoffe, organischer Substanzen oder von Nährstoffen (BMLFUW, 2014b) beeinträchtigen, oder nach Kistemann et al. (2009) auch mikrobiologisch relevante Auswirkungen haben.

Die Zahlen im österreichischen Bericht über die IST-Bestandsaufnahme der EU-Wasserrahmenrichtlinie 2013 (BMLFUW, 2014b) zeigt deutlich den hohen Anteil von Stickstoff (75%) und Phosphor (70%) aus diffusen Eintragspfaden sowie der Hintergrundbelastung.

In der langen Liste von diffusen Quellen wurde als bedeutendster Beitrag die land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung identifiziert.

Bezüglich den *E.coli*-Belastungen wurde nach Kistemann et al. (2009) die höchste Belastung mit 10^2 - 10^3 cfu/(100 ml) ebenfalls im Oberflächenwasserabfluss eines Ackers gefunden, gefolgt von Sonderkultur (z.B. Obst) und Wald.

Durch Einsele (1936 und 1941, zitiert in Schwoerbel und Brendelberger, 2013) wurde wiederholt nachgewiesen, dass bei einer einmaligen hohen Phosphatzugabe in einem See, diese Fracht in kürzester Zeit organisch gebunden und am Seeboden abgelagert wird. Es wurde nur zu Beginn

eine Art Initialzündung beobachtet, welche jedoch durch die folgende gesteigerte Selbstreinigungskraft rasch abklang.

Erst durch eine lang andauernde Phosphatzugabe kann sich das aktuelle Trophiesystem nachhaltig verändern. Wenn es sich um einen stabilen meromiktischen See handelt, kann man jedoch auch langfristig davon ausgehen, dass das sedimentierte Phosphat nicht wieder zur Rücklösung gelangt. Problematisch wird es nur dann, wenn eine jahre- oder jahrzehntelang stabile Schichtung plötzlich umgelagert wird und das gesamte Phosphat plötzlich im Epilimnion zur Verfügung steht. Solche Prozesse spielen sich, durch Messungen gestützt, immer wieder im Hallstättersee (LandOÖ, 2010), Millstätter See (KIS, 2005a), Traunsee (LandOÖ, 2010), Weissensee (KIS, 2007) und Wörthersee (KIS, 2005) ab.

Bewertet werden diese Einwirkungen mit Hilfe von Bioindikatoren. Das Prinzip dahinter ist der Anspruch jeder einzelnen Art an seine Lebensumwelt. Wenn diese seinen Ansprüchen genügt, kann sich die Art schließlich auch fortpflanzen und damit weiterbestehen. Wenn jedoch gewisse Lebensumstände auf ihren Lebenszyklus Einfluss nehmen, wird sie in ihrer Entwicklung gestört, und überlässt ihren Platz besser angepassten Arten. Durch das Fehlen oder Vorkommen einer speziellen Art (Indikatororganismus) kann daher auf die langfristigen Umweltbedingungen geschlossen werden.

11.3. Jahreszeitliche Schichtungen und Zirkulationen

Die treibende Kraft für die Schichtung bzw. Stagnation in Seewasserkörpern ist grundsätzlich die Wassertemperatur bzw. der daraus resultierende Dichteunterschied. Dabei unterscheidet man holomiktische bzw. meromiktische Zirkulationstypen (Abbildung 37).

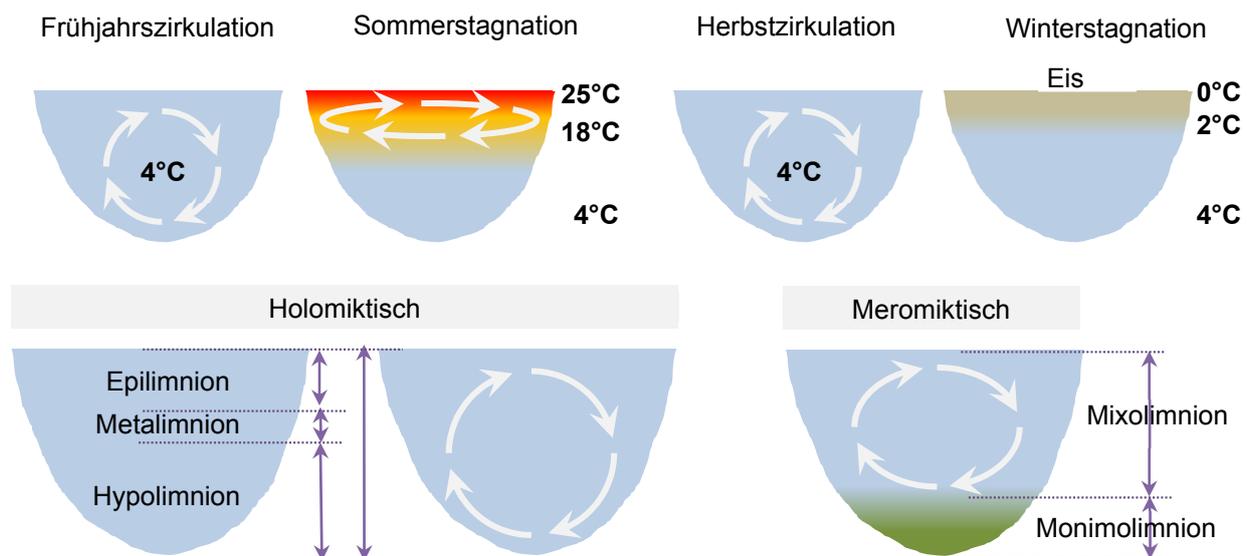


Abbildung 37: Erklärung der unterschiedlichen Seentypen in Österreich.

Die holomiktischen Seentypen können unterteilt werden in mono-, di- und polymiktische Untertypen. Wie die Bezeichnung schon erahnen lässt, handelt es sich dabei um die Anzahl der Umschichtung pro Jahr. Im gemäßigten Klima findet die Zirkulation üblicherweise im Frühjahr und Herbst statt (dimiktische Seen; Abbildung 37 oben). Polymiktische Seen sind in Österreich hauptsächlich flachere Seen, die keine ausgeprägte Schichtung aufweisen, da sie durch den Wind permanent umgewälzt werden. Ansonsten bilden sich während der Sommerstagnation ausgeprägte Schichten (Epilimnion, Metalimnion und Hypolimnion) aus, die üblicherweise auch in meromiktischen Seen im Mixolimnion auftreten. Die jeweiligen Schichten haben ihre eigene Charakteristik bezüglich den beobachteten Parametern, wie z.B. Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Nährstoffgehalt (im Besonderen der Phosphatgehalt).

Das Metalimnion wird auch Sprungschicht genannt. Diese darf aber nicht mit der Schicht zwischen dem Monolimnion und dem Mixolimnion in meromiktischen Seen verwechselt werden, da sich die Sprungschicht während der holomiktischen Phase verliert.

Meromiktische Seen besitzen einen stagnierenden Tiefenwasserkörper (Monolimnion). Diese Eigenheit resultiert üblicherweise aus der Beckenform (tiefe Seen) und den zu geringen Windeinfluss. Bei meromiktischen Seen kann die Ausbildung des Monolimnions auch durch die resultierenden Dichteunterschiede durch die Akkumulation von Salzen in der Tiefenzone stammen. In der Regel ist das Monolimnion frei von Sauerstoff und angereichert mit reduzierten, meist salzförmigen Abbauprodukten der Biomasse.

12. Mikrobielle Verunreinigung von Oberflächengewässern

12.1. Grundlagen

Eine Verunreinigung von Oberflächengewässern durch Bakterien und Viren kann einerseits über den Menschen und andererseits über Tiere passieren. Maßgebend dabei ist primär, wie stark die Konzentration der Erholungssuchenden an den offiziellen Badestellen ist (z.B. die Messstellen nach AGES, 2015).

Der menschliche Einfluss über die kommunale Abwasserreinigung bzw. Mischwassereinleitungen kann durch geeignete Maßnahmen, wie eine entsprechende Reinigung in den Abwasserbehandlungsanlagen sowie die Einleitung des geklärten Abwassers in Fließgewässer mit ausreichender Fließstrecke zur Ausnutzung der Selbstreinigungskraft, wesentlich verringert werden. Bei einer Gesamtbetrachtung dürfen jedoch die möglichen Abschwemmungen aus diffusen Quellen nicht vernachlässigt werden.

Die Situation an den offiziell ausgewiesenen Badestellen sieht dabei schon anders aus. Hier können neben der Verunreinigung durch mangelnde Hygiene der Badenden auch Tiere wie Hunde oder Wasservögel ihren Beitrag leisten. Kritisch zu betrachten sind die nicht als offizielle Badestellen ausgewiesenen Bereiche sowie diejenigen Bereiche der Zentralzone (vgl. Kapitel 15.2), welche ebenfalls zum Baden genutzt werden. Diese werden mit keinem Standard-Untersuchungsprogramm abgedeckt.

Die Lebensbedingungen für die Darmbakterien in Gewässern sind weit von ihrem Optimum entfernt. Fäkalkeime sind nach Güde et al. (2001; zitiert in Krejci et al., 2004) deshalb in Gewässern nur kurzfristig zur Zellteilung fähig. Wie in Abbildung 38 dargestellt, kann über mehrere Stunden und Tage eine rasche Abnahme der Keime beobachtet werden.

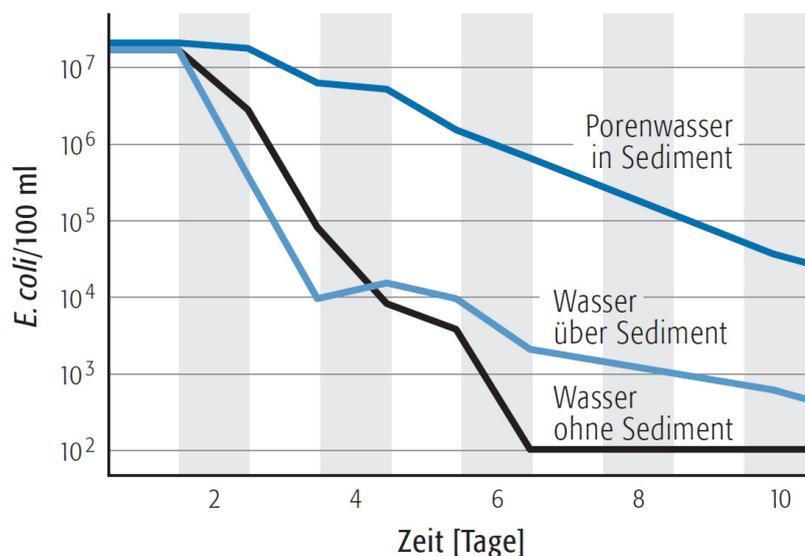


Abbildung 38: Experimentelle Beobachtungen der Absterberaten von *E. coli* im Bodenseewasser und im Sediment in der gleichen Lokalität (Güde et al., 2001; zitiert in Krejci et al., 2004)

Die Überlebensdauer von Darmbakterien in natürlichen Gewässern wird durch viele Faktoren beeinflusst, insbesondere von Temperatur, Sonnenlicht, Verdünnungsgrad, Nahrungsangebot sowie Fressfeinde (Zoo-Plankton). Für das Überleben von *E.coli* wurde eine Wassertemperatur von 20°C als günstigste Lebensbedingung mit einer Lebensdauer von 7,9 Tagen ermittelt (Kistemann et al., 2009). Die Dauer dieser Erhaltungsphase verkürzt sich bei 4°C Wassertemperatur auf ca. 2,5 Tage.

Zur Identifikation von hygienischen Beeinträchtigungen durch pathogene Keime im Gewässer werden in der Praxis Indikatoren verwendet. Wichtige Indikatoren hygienischer Beeinträchtigung durch die Siedlungsentwässerung sind z.B. *E.coli* und *Enterokokken*.

Escherichia coli (*E.coli*) ist ein relativ ungefährliches Bakterium, das in großer Zahl in Fäkalien vorkommt. Fäkalstreptokokken sterben langsamer ab als *E.coli*. In menschlichen Ausscheidungen sind sie in deutlich geringerer Konzentration als *E.coli* enthalten, bei tierischen Ausscheidungen kann dies umgekehrt sein (Kistemann et al., 2009).

Tabelle 7: Konzentrationen von *E.coli* im Abwasser (Güde et al. 2001, Kreikenbaum et al. 2004b; zitiert in Krejci et al., 2004).

Konzentrationen von <i>E.coli</i> im Abwasser			
Abwasserart	Bereich	Median	Anzahl der Proben
	<i>E.coli</i> /100 ml	<i>E.coli</i> /100 ml	--
Zulauf in kommunale Kläranlagen	10 ⁶ –10 ⁸	2,8x10 ⁷	73
Ablauf mechanisch-biologische ARA	10 ³ –10 ⁴	1,3x10 ⁴	284
Ablauf Kleinkläranlagen	<10 ¹ –10 ²	1,2x10 ¹	14
Regenüberläufe der Mischkanalisation	10 ⁴ –10 ⁷	8,3x10 ⁵	88

12.2. Hygienische Bewertung einer Abwassereinleitung in einen See

Im Zuge dieser Studie wurden die Grenzwerte nach der Badegewässer-Richtlinie der EU (RL 2006/7/EG) herangezogen. Die Werte in Tabelle 8 gelten für Badegewässer im Binnenbereich und müssen kurz vor der Badesaison und an mindestens vier Probenahmetagen während der gesamten Badesaison eingehalten werden. Bei einer kurzzeitigen Verschmutzung muss laut EU-RL 2006/7/EG eine zusätzliche Probenahme vorgenommen werden, um die Beendigung des Verschmutzungsereignisses zu dokumentieren.

Tabelle 8: Qualitätsanforderungen an Badegewässer hinsichtlich der hygienischen Belastung (Richtlinie 2006/7/EG).

Qualitätsanforderungen an Badegewässer hinsichtlich der hygienischen Belastung			
Abwasserart	Ausgezeichnete Qualität (95%-Perz.)	Gute Qualität (95%-Perz.)	Ausreichende Qualität (90%-Perz.)
Intestinale <i>Enterokokken</i> [cfu/100 ml]	200	400	330
<i>Escherichia coli</i> [cfu/100 ml]	500	1000	900

Anm.: cfu ... colony forming units (Englisch); entspricht in Deutsch der KBE (koloniebildende Einheit)

Für die hygienische Bewertung einer ungewollten Abwassereinleitung in den See wird daher die Grenze von 400 cfu/(100 ml) Intestinale *Enterokokken* und 1000 cfu/(100 ml) *E.Coli* herangezogen. Diese Grenze wird auch von allen zuständigen Stellen der jeweiligen Landesregierungen verwendet.

Die Grundbelastung der Seen mit *E.coli* bzw. *Enterokokken* liegt an den überwachten Stellen mit wenigen Ausnahmen üblicherweise weit unter 100 cfu/(100 ml) (Quelle: Badegewässerdatenbank der AGES, <http://www.ages.at> [02.07.2015]).

Wenn man den *E.coli*-Wert für Abwasser aus Tabelle 7 mit $10^7/(100 \text{ ml})$ annimmt, so befinden sich in einem Kubikmeter Abwasser rund 10^{11} *E.coli*. Dies reicht aus, um rechnerisch rund 10.000 m^3 Seewasser mit einer Konzentration von 1000 cfu/(100 ml) *E.coli* zu kontaminieren, d.h. dem Grenzwert für eine gute Badewasserqualität. Diese Menge kontaminiertes Seewasser entspricht umgerechnet dem Inhalt von vier Olympischen Schwimmbecken.

13. Nährstoffe in der aquatischen Umwelt

13.1. Situation in den hier behandelten Oberflächengewässern

13.1.1. Damalige Ausgangslage

Der natürliche Phosphorgehalt eines Oberflächengewässers schwankt üblicherweise im jahreszeitlichen Verlauf durch Adsorption/Desorption, Aufbau/Abbau von Organismen sowie durch den Eintrag abgestorbener Pflanzenteile im Herbst. Besonders aber wenn landwirtschaftlich intensiv genutzte Perioden (Aufbringen von Jauche, Dünger, etc.) mit hydrologisch ungünstigen Perioden (Dauerregen, Starkregen) zusammentreffen, kann die Phosphorfracht in den Oberflächengewässern extrem zunehmen. Aber auch andere anthropogene Einflüsse (z.B. Drainagen, gewollte oder ungewollte Abwassereinleitungen, Schäden an kommunalen Abwassereinrichtungen) können zu einem Austrag von Phosphor in die Umwelt führen.

Ein andauernd überhöhter Phosphorgehalt in Oberflächengewässern führt zu erhöhter Algenproduktion und bei entsprechenden Umweltbedingungen schließlich zur Eutrophierung.

Nach dem fertigen Ausbau der Kanalisation im Einzugsgebiet der Seen konnte bereits indirekt die stetige Verbesserung der Gewässergüte beobachtet werden (Schulz und Schulz, 1977; KIS, 2009; KIS, 2005). Vor allem der kontinuierliche Rückgang der Phosphorkonzentrationen in den sanierten Seen führte rasch zur Reduktion der Phytoplanktonentwicklung und damit auch zu visuellen Verbesserungen (Abbildung 39).

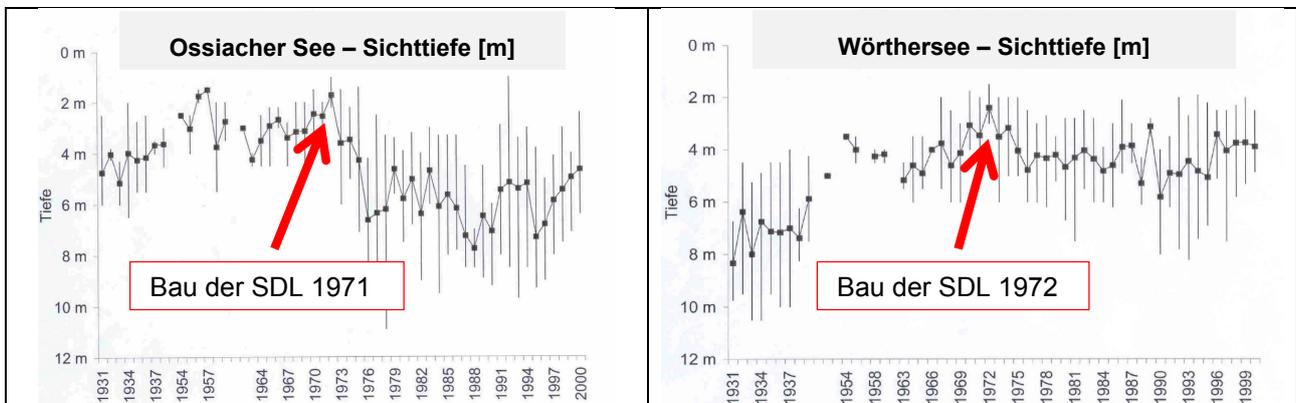


Abbildung 39: Veränderung der Sichttiefen im Zusammenhang mit der Errichtung der Seedruckleitungen im Ossiacher See und Wörthersee (Mittelwerte; Minima; Maxima) von 1931 bis 2000 (Traer, 2011).

Auch Hindak und Deisinger (1989) stellten bei ihren Untersuchungen fest, dass der Keutschacher See nach dem Ende der Sanierungsmaßnahmen im Jahr 1978 sehr rasch reagierte. Von Ende der 1970er bis 1986 kam es zu einer Abnahme des Gesamtphosphors im Epilimnion von 10 µg/L auf 6 µg/L, einer Reduktion der Algenmenge um mehr als 50% und einer Zunahme der Sichttiefe auf fast das Doppelte. Teilweise wurden später auch noch zusätzliche Maßnahmen im Einzugsgebiet gesetzt, die die Herbeiführung des *guten ökologischen Zustandes* (siehe anschließendes Kapitel) beschleunigen sollten.

Die Reduktion des Phosphatgehalts in einem See erfolgt nur über die Pfade des Austrags beim Seeauslauf, oder durch Sedimentation auf den Seeuntergrund. Solange genügend Sauerstoff im Wasser gelöst ist, bleibt der bereits fixierte Phosphor unbeeinträchtigt. Wird jedoch während der

Stagnationsphase im Hypolimnion der gesamte Sauerstoff verbraucht, kann der Phosphor wieder in Lösung gehen und während der anschließenden Zirkulationsphase ins Epilimnion verfrachtet werden. Dort verschärft er mit seiner zusätzlichen Fracht vor allem im Frühjahr die daraus folgende Phytoplanktonentwicklung.

13.1.2. Qualitätsziele der Seen

Bei natürlichen Oberflächengewässern ist die Herstellung des „guten Zustands“ die Zielvorgabe nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL 2000/60/EG), dessen Ziele durch die Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) und schließlich den Qualitätszielverordnungen (QZV) in österreichisches Recht übergeführt wurden. Der *gute Zustand* eines Oberflächengewässers setzt sich aus einem zumindest **guten ökologischen** und **guten chemischen Zustand** zusammen.

Der *gute chemische Zustand* wird in der QZV Chemie OG (BGBl. 96/2006 idgF) definiert, und beinhaltet neben den synthetischen und nicht-synthetischen Schadstoffen auch den Parameter Ammonium, dessen Umweltqualitätsnorm von der Wassertemperatur und dem pH-Wert abhängt.

Die pH-Werte der natürlichen Seen liegen in einer Spannweite von 7,9 bis 8,4 mit teilweise kurzfristigen Über- bzw. Unterschreitungen. Die Wassertemperaturen liegen im Winter bei 4°C bis teilweise über 25°C während der heißen Sommermonate. Nach Berechnung der Umweltqualitätsnorm (UQN) für NH₄-N nach BGBl. 96/2006 (idgF) ergibt dies einen Zusammenhang nach Abbildung 40. Ein höherer pH-Wert resultiert in einer niedrigeren UQN_{NH₄-N} Konzentration, die ab 15°C noch zusätzlich durch die Wassertemperatur reduziert wird.

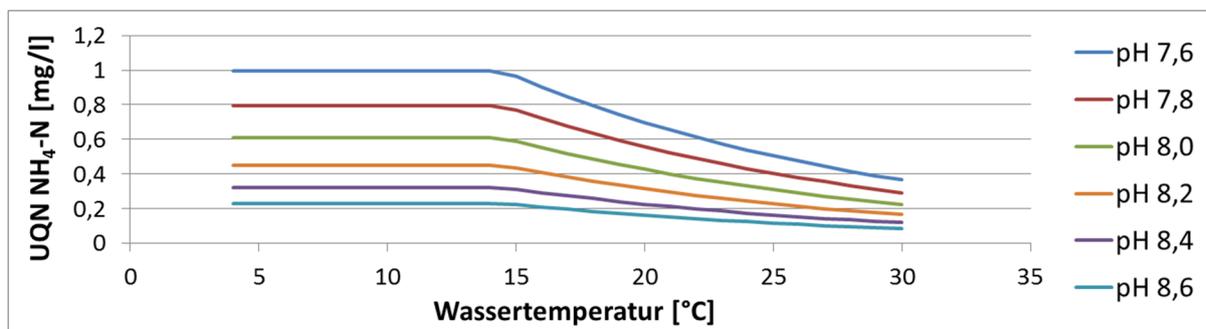


Abbildung 40: Berechnete Umweltqualitätsnorm für Ammonium in Abhängigkeit der Wassertemperatur und des pH-Werts nach QZV Chemie OG (BGBl. 96/2006 idgF).

Die Qualitätsziele für die allgemeinen Bedingungen der physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten zur Erreichung des guten ökologischen Zustands werden im 3. Hauptstück der QZV Ökologie OG (BGBl. 99/2010 idgF) definiert. Darunter sind neben der Wassertemperatur, dem pH-Wert, der Sichttiefe und der Sauerstoffsättigung auch die Parameter Gesamtphosphor sowie Chlorophyll-a großenteils festgelegt.

Die Trophie in einem See entspricht der Intensität der organischen photo-autotrophen Produktion. Die Einstufung erfolgt in fünf „Trophieklassen“ (oligotroph, schwach mesotroph, mesotroph, schwach eutroph, eutroph).

Die Trophiebewertung in Österreich wird in Anlehnung an die ÖNORM M 6231 (2001) durchgeführt. Dabei werden je nach Bundesland unterschiedliche Grenzen der Trophieklassen angewendet (Tabelle 9).

Parameter für die Bewertung nach ÖNORM M 6231:

- Nährstoff-Konzentration (Gesamtphosphor)
- Sauerstoff-Konzentration über Grund
- Algenmenge (Phytoplankton-Biomasse)

Der Gesamtphosphorgehalt (P_{ges} ; *engl.*: Total Phosphorus - TP) setzt sich dabei aus gelöstem Orthophosphat sowie gelöstem und partikulär organisch gebundenen Phosphat zusammen.

Tabelle 9: Zuordnung der Trophieklassen nach der Gesamtphosphor-Konzentration (Total Phosphorus = TP) [$\mu\text{g/L}$] der Bundesländer Salzburg, Kärnten und Oberösterreich.

	ultra-oligotroph	oligotroph	Ktn: schwach mesotroph Sbg: mesotroph OÖ: oligo-mesotroph	Ktn: mesotroph Sbg: schwach eutroph OÖ: meso-schwach eutroph
	TP [$\mu\text{g/L}$]	TP [$\mu\text{g/L}$]	TP [$\mu\text{g/L}$]	TP [$\mu\text{g/L}$]
Ktn (Epilimnion)	--	<10	10-15	15-30
Ktn (Mixolimnion)	--	<10	10-20	20-40
Sbg (Mixolimnion)	--	<10	10-20	20-40
OÖ (Mixolimnion)	<5	5-8	8-15	15-30

Anm.: Epilimnion: bis in eine Tiefe von 0 – 6 m (Sommer); Mixolimnion: durchmischter Wasserkörper 0-30 m.

Die Referenzwerte und Klassengrenzen der Gesamtphosphorkonzentration für Seen >50 ha in Österreich zur Erreichung des jeweiligen ökologischen Zustands bezüglich des Parameters Gesamtphosphor sind in Tabelle 10 angeführt. Die Klassengrenzen des ökologischen Zustands „sehr gut“/„gut“ (**H/G**) und „gut“/„mäßig“ (**G/M**) sind je nach See in $\mu\text{g/L}$ angegeben.

Der Referenzzustand entspricht derjenigen Situation, die unter natürlichen/naturnahen Bedingungen vorliegen würde. Er entspricht einem unbelasteten Zustand eines Gewässers, der seinen naturräumlichen (geologischen, geographischen und klimatischen) Randbedingungen entspricht. Mit diesem Zustand wird die aktuelle trophische Situation verglichen.

In Tabelle 10 ist der Mittelwert der Gesamtphosphorkonzentration im gesamten See sowie dessen Einstufung in die entsprechende Klasse angeführt (Spalte „Aktueller Gehalt an TP“ und Spalte „Klassenzuordnung“). Die Grundlagen dazu wurden aus den publizierten Seezustandsberichten der Länder entnommen (KIS, 2015; LandOÖ, 2014; LandSbg, 2015). Falls keine volumengewichteten Jahresmittel zur Verfügung standen, wurden grundsätzlich die Phosphorwerte des Mixolimnions herangezogen. Bei meromiktischen Seen blieben die Gesamtphosphorwerte im Monimolimnion (nicht durchmischte Tiefenzone) unberücksichtigt.

Der Völkermarkter Stausee nimmt hier eine Sonderstellung ein, da sein Referenzzustand eher anhand der Kriterien für ein Fließgewässer zu bestimmen wäre. Das Qualitätsziel nach der QZV Ökologie OG (BGBl. 99/2010) hinsichtlich Phosphor wird dabei jedoch anhand der

Konzentration von Orthophosphat (PO₄-P) bestimmt und liegt bei 0,070 mg/l (*sehr gut*) bis 0,15 mg/l (*gut*).

Tabelle 10: Referenzwerte und Klassengrenzen der Gesamtphosphor-Konzentration (Total Phosphorus = TP) [µg/L] im volumengewichteten Jahresmittel für natürliche Seen >50 ha. Klassengrenzen: sehr gut = **H**; gut = **G**; mäßig = **M** (Datenquelle: BGBl. 99/2010, Tabelle modifiziert), ergänzt mit aktuellen Werten.

See	Bundesland	QZV Ökologie OG			Art der Zirkulation ⁵⁾	AKTUELL	
		TP Referenzwert	TP Klassen- grenze für H/G	TP Klassen- grenze für G/M		Gehalt an TP im durchschnittlichen Tiefenbereich	Klassen- zuordnung
		µg/L	µg/L	µg/L			
Attersee	OÖ	4	6	10	holomiktisch, monomiktisch	2,6 ²⁾	H
Faakersee	K	6	10	14	holomiktisch, dimiktisch	6,1 ¹⁾	H
Fuschlsee	S	5	8	12	holomiktisch, dimiktisch	5,1 ³⁾	H
Grabensee	S	10	16	24	holomiktisch, dimiktisch	18,9 ³⁾	G
Hallstättersee	OÖ	5	8	12	meromiktisch (100 m)	6,7 ²⁾	H
Irrsee	OÖ	9	14	21	holomiktisch, dimiktisch	7 ²⁾	H
Keutschacher See	K	8	12	19	holomiktisch, dimiktisch	9,6 ¹⁾	H
Millstätter See	K	6	10	14	meromiktisch, dimiktisch (50-60m)	6,8 ¹⁾	H
Mondsee	OÖ	5	8	12	holomiktisch, dimiktisch	6,6 ²⁾	H
Ossiachersee	K	5	8	12	holomiktisch, dimiktisch	11,7 ¹⁾	G
Pressegger See	K	6	10	14	holomiktisch polymiktisch	5,9 ¹⁾	H
Traunsee	OÖ	5	8	12	meromiktisch (120 m)	5,2 ²⁾	H
Völkermarkter Stausee ⁶⁾	K	--	--	--	durchflossen in 3,6 Tagen	--	--
Wallersee	S	9	14	21	holomiktisch, dimiktisch	15 ³⁾	G
Weissensee	K	5	8	12	meromiktisch, dimiktisch (60m)	6,2 ¹⁾	H
Wolfgangsee	OÖ/S	4	6	10	holomiktisch, dimiktisch	4 ³⁾	H
Wörthersee	K	6	10	14	meromiktisch, dimiktisch (50-60m)	13,3 ¹⁾	G

¹⁾ K: Mittelwert aus drei 3-Jahresmittelwerte (2009-2011, 2010-2012; 2011-2013);Quelle: KIS (2015)

²⁾ OÖ: Mittelwert aus drei 3-Jahresmittelwerte (2008-2010, 2009-2011, 2010-2012); Quelle: LandOÖ (2014)

³⁾ S: Mittelwert aus 2012, 2013 und 2014; Quelle: LandSbg (2015)

⁴⁾ Erhöhung nur um 0,3 bzw. 0,7 µg/L

⁵⁾ nach BAW (2008) ergänzt durch KIS (2005), KIS (2005a), KIS (2007) und LandOÖ (2010), LandOÖ (2014a)

⁶⁾ der Stausee wäre nach BGBl. 99/2010 anhand der PO₄-P Konzentration zu bewerten.

Wie im vorigen Kapitel angemerkt, kann ein Austrag von Phosphor aus dem Wasserkörper eines Sees nur durch zwei Arten (Ausschwemmen und Sedimentieren) erfolgen. Das großflächige Entfernen von Makrophyten wird hierbei nicht berücksichtigt, da dies nur in Ausnahmefällen in Badebereichen oder bei See-Sanierungsplänen eingesetzt wird. Ebenso bleibt der Anteil der Fischereientnahmen unberücksichtigt.

Der Mondsee hat nach dem aktuellen Seenbericht (LandOÖ, 2014) eine sehr geringe Tendenz zur Verschlechterung. Diese Tendenz zeigt sich durch die aktuelle Bewertung seines ökologischen Zustands aufgrund der biologischen Qualitätselemente (Phytoplankton), wo er als einziger (der in dieser Studie betrachteten Oberösterreichischen Seen) mit „mäßig“ bewertet wurde. Diese Tendenz ist bei Betrachtung des gemittelten Phosphorgehalts naturgemäß nicht nachvollziehbar.

13.2. Potentielle Belastung durch Abwassereinleitungen

Es musste eine Kennzahl gefunden werden, um die Phosphorbelastung der Seen durch unkontrollierte Einleitungen von Abwasser abzuschätzen. Alle Kläranlagen >2.000 EW im Einzugsgebiet der betrachteten Seen mit potenziellen Einfluss auf die Wasserqualität sind in Abbildung 33 und Abbildung 34 in Kapitel 11.1 dargestellt.

Ein deutscher Leistungsvergleich von rund 5.200 Kläranlagen im Jahr 2009 und 2013 (DWA, 2010; DWA, 2014) zeigte je nach Größenklasse der Kläranlagen für spezifische P_{ges} -Frachten 1,64 bis 2,05 g/(EW.d), die Medianwerte lagen dabei um 1,80 g/(EW.d). Dabei muss festgestellt werden, dass diese Kennwerte über alle Kläranlagen gemittelt wurden. Für die deutschen Größenklassen 3 und 4 (5.001 bis 100.000 EW), welche in etwa der österreichischen Größenklasse III (5.001 bis 50.000) entspricht, wurde ein Wert von 1,82 bis 1,93 g/(EW.d) ermittelt. Die Kurve in Abbildung 41 wurde daher mit 1,90 g/(EW.d) berechnet.

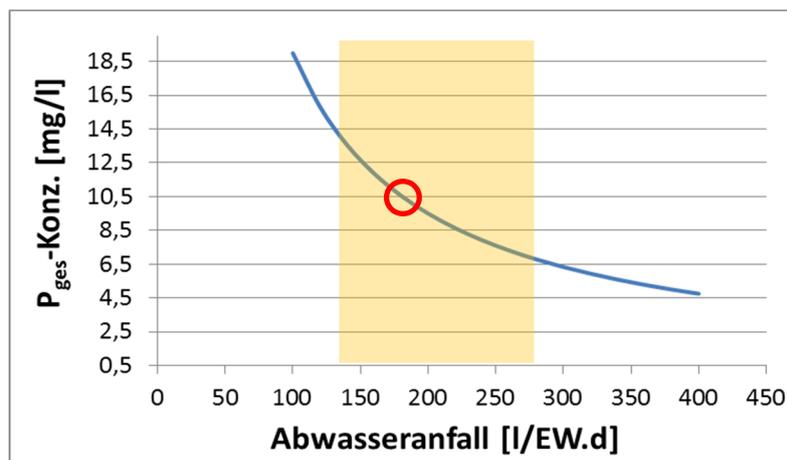


Abbildung 41: Errechnete Phosphor-Konzentrationen in Abhängigkeit des spezifischen Abwasseranfalls bei einer spezifischen P_{ges} -Fracht von 1,90 g/(EW.d).

Eine Auswertung der spezifischen Tages-Abwassermenge pro Einwohner verschiedener - bei dieser Studie mitbetrachteten - Kläranlagen erbrachte eine Bandbreite von 140 bis weit über 300 L/(EW.d). In Deutschland lagen nach DWA (2010) rund 45% aller Anlagen in einem Bereich von 140 bis 280 L/(EW.d), nur 13% lagen unter 140 L/(EW.d).

Wenn man nun davon ausgeht, dass laut den Befragungen der SDL-Betreiber fast alle entsorgten Siedlungsgebiete mit einer Trennkanalisation ausgestattet sind, müsste man theoretisch durch den Trinkwasserverbrauch auf den Abwasseranfall schließen können. Bei einem Trinkwasserverbrauch pro Einwohner (ÖVGW) in Österreich mit 130 L/(EW.d) befindet man sich bei der linken Grenze des farblich markierten Bereichs in Abbildung 41. Nach Auswertung einiger Kläranlagendaten, welche ihr Entsorgungsgebiet hauptsächlich mit Hilfe von Seedruckleitungen entwässern, liegt die Bandbreite des spezifischen täglichen Abwasseranfalls jedoch bei 140 bis 300 L/(EW.d).

Nach Berücksichtigung der beiden genannten Kriterien und der Situation in den Einzugsgebieten der SDL befindet man sich eher im linken Bereich der farblich markierten Bandbreite in Abbildung 41.

- ✓ Es wurde daher für die weitere Betrachtung in dieser Studie im Abwasser eine **P_{ges} -Konzentration** (engl.: TP) **von 10,5 mg/l** (Abbildung 41) bei einem spez. **Abwasseranfall von 180 L/(EW.d)** angenommen. Anm.: Im Spezialfall des RHV Wallersee Nord, der eine Dükerleitung des ARA-Ablaufs (15.000 EW) im Wallersee betreibt, wurde die P_{ges} -Ablaufkonzentration mit 1,0 mg/l angenommen.

13.3. Bewertung der kritischen Phosphormenge im See

Es ist belegt, dass der Phosphorgehalt mit dem Chlorophyll-Gehalt korreliert (BMBF, 2013; Smith und Shapiro, 1981; Nicholls und Dillon, 1978). Eine unkontrollierte Anreicherung mit Algen, ohne dass gleichzeitig auch der Phosphorgehalt steigt, wird daher ausgeschlossen. Es wurde daher kein weiterer Nährstoff-Parameter als der Phosphor für die Beurteilung der ungewollten Abwassereinleitungen herangezogen (vgl. dazu auch die Aussagen zum Stickstoff in anschließenden Kapitel 13.4).

Für Seen, deren Trophie hauptsächlich von der externen Phosphorzufuhr abhängt, kann der kritische Phosphor-Import nach Maniak (1997) abgeschätzt werden. Es ist diejenige Menge, die maximal von außen dem See zugeführt werden darf, um den See in einer gewünschten Trophiestufe zu erhalten. Durch die Anwendung dieser vereinfachten Betrachtung sind zwar wesentliche Parameter für die Trophieeinteilung nach ÖNORM M 6231 ausgeschlossen, es wird jedoch trotzdem die Abhängigkeit des jeweiligen Sees aufgrund der morphometrischen Verhältnisse und der Zustandsbewertung aufgrund des Gesamtphosphor(TP)-Gehalts deutlich.

Mit Hilfe der folgenden Formel kann man die kritische mittlere Gesamtphosphor-Konzentration aller Seezuflüsse abschätzen um den Trophie-Referenzwert zu erreichen bzw. die aktuelle Trophie-Klasse zu halten.

$$[P]_{i,c} = (0,645 \times [P]_{\lambda,c})^{1,22} \times (1 + \sqrt{\tau}) \quad (\text{Maniak, 1997})$$

$[P]_{i,c}, [P]_{\lambda,c}$: kritische mittlere Gesamtphosphor-Konzentration (*engl.*: TP) aller Seezuflüsse bzw. im See in $[\text{mg}/\text{m}^3]$

τ : Erneuerungszeit (Mittlere Aufenthaltszeit) in $[\text{a}]$; $\tau = V/Q$

Q : Jahreszufluss in $[\text{Mio m}^3]$

V : Seevolumen in $[\text{Mio m}^3]$

→ Um die Auswirkungen einer ungewollten Abwassereinleitung in dem See abschätzen zu können, wurde die Annahme getroffen, den aktuell vorherrschenden Phosphorgehalt jeweils um max. 1,0 $\mu\text{g}/\text{L}$ zu erhöhen (Spalte „Verschlechterung um max. 1,0 $\mu\text{g}/\text{L}$ auf TP_v“ in Tabelle 11).

Die Zusammenfassung der Grundlagen zu den Berechnungen sowie die Ergebnisse dieser Annahme sind in Tabelle 11 angeführt. Weitergehende Informationen können der Tabelle 10 entnommen werden.

Es wurde daher bei fast allen Seen die Wirkung einer Erhöhung um max. 1,0 $\mu\text{g}/\text{L}$ berechnet und bewertet. Um die aktuelle Klasse des *guten Zustands* im Ossiacher See und im Wörthersee nicht zu verlassen, durfte die Erhöhung der Phosphorkonzentration jedoch nur 0,3 bzw. 0,7 $\mu\text{g}/\text{L}$ betragen. Dadurch hat keiner der Seen seine Bandbreite des aktuellen (vgl. Tabelle 10) *sehr guten* (H) bzw. *guten* (G) Zustands geändert. Die Annahme geht von einer Volldurchmischung des Seeinhalts entsprechend der Angaben in Tabelle 10 von zumindest 2-mal pro Jahr aus.

Einschränkung des 1,0 $\mu\text{g}/\text{L}$ -Kriteriums: Falls man jeden einzelnen See im Detail betrachten würde und alle punktuellen sowie diffusen Einträge sowie die Austräge aus dem Seewasserkörper über das Jahr kalkuliert bzw. modelliert, würden die Ergebnisse bei dem einen oder anderen See möglicherweise abweichen. Der dazu notwendige Aufwand konnte jedoch innerhalb dieser Studie nicht geleistet werden. Man darf jedoch annehmen, dass die Mehrzahl der hier betrachteten Seen ähnliche Ergebnisse zeigen werden, zumindest was die Überlegung zur theoretischen Erhöhung um max. 1,0 $\mu\text{g}/\text{L}$ angeht, da diese unabhängig von den Ein- bzw. Austrägen von Phosphor sind.

Das Prinzip dieser Betrachtung soll nachfolgend am Beispiel des Ossiacher Sees und Hallstättersees erläutert werden:

Beispiel Ossiacher See: Das zu erreichende theoretische Ziel wäre der Referenzwert von 5,0 µg/L TP:

$$[P]_{i,c} = (0,645 \times 5)^{1,22} \times (1 + \sqrt{2,2})$$

Die errechnete Menge des maximal von außen dem See zugeführten TP-Konzentration beträgt dabei nur 10,0 µg/L und liegt unter der aktuell vorhandenen See-Konzentration von 11,7 µg/L. Dies würde bedeuten, dass der Ossiacher See seinen Referenzzustand unter den aktuellen Gegebenheiten nie erreichen wird. Nur durch massive Sanierungsmaßnahmen im Einzugsgebiet könnte dieser Zustand erreicht werden. Der Ossiacher See ist jedoch dem guten Zustand zugeordnet, dessen TP-Klassengrenze bis 12 µg/L reicht. Es können daher theoretisch noch 0,3 µg/L vom See aufgenommen werden.

Beispiel Ossiacher See: Beibehaltung der aktuellen Trophiestufe hinsichtlich des TP-Gehalts von 12 µg/L als Grenzwert für den guten Zustand:

$$[P]_{i,c} = (0,645 \times 12)^{1,22} \times (1 + \sqrt{2,2})$$

Die errechnete Menge des maximal von außen dem See zugeführten TP-Konzentration beträgt nun 30 µg/L und liegt damit deutlich über der aktuell vorhandenen Konzentration von 11,7 µg/L. Dies bedeutet, dass noch eine geringe Pufferkapazität im Ossiacher See vorhanden ist, um seine aktuelle Klassengrenze des guten Zustands unter den aktuellen Gegebenheiten beizubehalten.

Beispiel Hallstättersee: Ähnlich, aber auf einem anderen Niveau sieht es beim Hallstättersee aus (die Meromixis wurde dabei berücksichtigt). Hier beträgt die errechnete Menge des maximal von außen dem See zugeführten TP-Konzentration zur Erreichung des Referenzwerts rund 7,0 µg/L. Dieser Wert entspricht in etwa der aktuell vorhandenen Konzentration von 6,7 µg/L. Die errechnete Menge des maximal von außen dem See zugeführten TP-Konzentration zur Beibehaltung der aktuellen Trophiestufe hinsichtlich des TP-Gehalts beträgt nur 13 µg/L. Dies ist nur unwesentlich mehr als vorher, und resultiert aus der kurzen Wassererneuerungszeit von nur 0,5 Jahren.

Hinweis zur Spalte „Frachterhöhung des Seeinhalts“: Bei *meromiktischen Seen* wurde das nicht zur Zirkulation des Sees beitragende Monimolimnion berücksichtigt (Definition siehe Kapitel 11.3). Da sich die Grenzschicht (Thermokline oder Chemokline) jedoch nicht jedes Jahr in der gleichen Tiefe befindet, wurden bei diesen Seen mindestens 20% des Seeinhalts als stagnierender Wasserkörper abgezogen.

Weiters ist es theoretisch möglich, dass ein Abwasseraustritt in meromiktischen Seen unterhalb des Mixolimnions auftritt, und die dabei austretende Abwassermenge daher ebenfalls nicht über die Zirkulation in das Mixolimnion eingetragen wird. Diese Möglichkeit wurde innerhalb dieser Studie jedoch nicht weiter berücksichtigt.

Tabelle 11: Berechnung der kritischen Phosphor-Menge für eine TP-Erhöhung um max. 1,0 µg/L vs. Referenzzustand.

See	Bundesland	AKTUELL			ERHÖHUNG				kritische mittlere jährliche Gesamt-P-Konz. aller Seezufüsse um Trophie-Referenzwert zu erreichen	kritische mittlere jährliche Gesamt-P-Konz. aller Seezufüsse um aktuelle Trophie-Klasse zu halten
		Wassererneuerungszeit (WEZ) gerechnet	Referenzwert bzgl. TP	Aktueller Gehalt an TP _a	Verschlechterung um max. +1,0 µg/L auf TP _v	Klassenzuordnung nach der Erhöhung	TP Grenzwert der aktuellen Klasse	Frachterhöhung des Seeinhalts ⁶⁾		
		a	µg/L	µg/L	µg/L	-	µg/L	kg	µg/L	µg/L
Attersee	OÖ	7,1	4	2,6 ²⁾	3,6	H	6	3944	12	19
Faakersee	K	1,8	6	6,1 ¹⁾	7,1	H	10	35	12	23
Fuschlsee	S	2,8	5	5,1 ³⁾	6,1	H	8	98	11	20
Grabensee	S	0,3	10	18,9 ³⁾	19,9	G	24 ⁵⁾	12	15	43
Hallstättersee	OÖ	0,5	5	6,7 ²⁾	7,7	H	8	446	7	13
Irrsee	OÖ	1,3	9	7 ²⁾	8	H	14	53	18	31
Keutschacher See	K	0,9	8	9,6 ¹⁾	10,6	H	12	14	14	23
Millstätter See	K	8,0	6	6,8 ¹⁾	7,8	H	10	512	20	37
Mondsee	OÖ	1,8	5	6,6 ²⁾	7,6	H	8	510	10	17
Ossiachersee	K	2,2	5	11,7 ¹⁾	12,0 ⁴⁾	G	12 ⁵⁾	62	10	30
Pressegger See	K	0,05	6	5,9 ¹⁾	6,9	H	10	2	6	12
Traunsee	OÖ	4,3	5	5,2 ²⁾	6,2	H	8	1446	13	23
Völkermarkter Stausee	K	0,01	--	--	--	--	--	--	--	--
Wallersee	S	0,8	9	15 ³⁾	16	G	21 ⁵⁾	76	16	45
Weissensee	K	9,1	5	6,2 ¹⁾	7,2	H	8	137	17	30
Wolfgangsee	OÖ/S	3,7	4	4 ³⁾	5	H	6	619	9	15
Wörthersee	K	10,4	6	13,3 ¹⁾	14,0 ⁴⁾	G	14 ⁵⁾	403	22	62

¹⁾ K: Mittelwert aus drei 3-Jahresmittelwerte (2009-2011, 2010-2012; 2011-2013);Quelle: KIS (2015)

²⁾ OÖ: Mittelwert aus drei 3-Jahresmittelwerte (2008-2010, 2009-2011, 2010-2012); Quelle: LandOÖ (2014)

³⁾ S: Mittelwert aus 2012, 2013 und 2014; Quelle: LandSbg (2015)

⁴⁾ Erhöhung nur um 0,3 bzw. 0,7 µg/L

⁵⁾ die Klassengrenze entspricht hier nur dem *guter ökologischer Zustand* nach BGBl. 99/2010

⁶⁾ Hier wurde nur der durchmische Teil des Sees berücksichtigt

Wenn man das Beispiel des Ossiacher Sees von vorher genauer betrachtet, so darf bei einer ungewollten Abwassereinleitung nur eine maximale Zufuhr von 62 kg Phosphor in den gesamten Seewasserkörper erfolgen, damit er eine Konzentrationserhöhung von 11,7 auf 12,0 µg/L erfährt. Anders beim Hallstättersee, wo die „erlaubte“ TP-Erhöhung 1,0 µg/L ist. Dort dürfen rund 446 kg Phosphor zugeführt werden bis die Erhöhung erreicht ist.

In der folgenden Abbildung 42 wurde überlegt, wie stark der Einfluss eines Gebrechens in einer Seedruckleitung spezifisch für einen der betrachteten Seen sein könnte. Dazu wurde wiederum das „max. 1,0 µg/L Kriterium“ verwendet und berechnet, wie viel Abwassermenge der jeweilige See verträgt, bis das Kriterium verletzt ist.

Anders formuliert: In Abbildung 42 ist die theoretische Abwassermenge in m³ (bei 10,5 mg/L TP im Abwasser) pro See angeführt, bis es zu einer TP-Erhöhung um max. 1 µg/L im See kommt. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass dabei der gesamte Seeinhalt (excl. Monimolimnion) betrachtet wird.

Der Völkermarkter Stausee nimmt hier eine Sonderstellung ein, da sein Inhalt theoretisch nach ca. 3,6 Tagen vollkommen ausgetauscht wird. Da zusätzlich auch noch die Drauf von der Stauwurzel nachdrückt, die beiden Seedruckleitungen aber in der Nähe der Wehrmauer am Grund verlegt wurden, kann es nie zu einer vollkommenen Durchmischung des Stausees kommen. Aus diesem Grund ist in Abbildung 42 beim Völkermarkter Stausee keine theoretische Abwassermenge in m³ angeführt. Um jedoch trotzdem eine Risikoeinschätzung vorzunehmen wurde unabhängig von dem 1,0 µg/L-Kriterium konservativ eine Abwassermenge von 50.000 m³ angenommen. Dies entspricht einer Pumpdauer von ca. 19 Tagen.

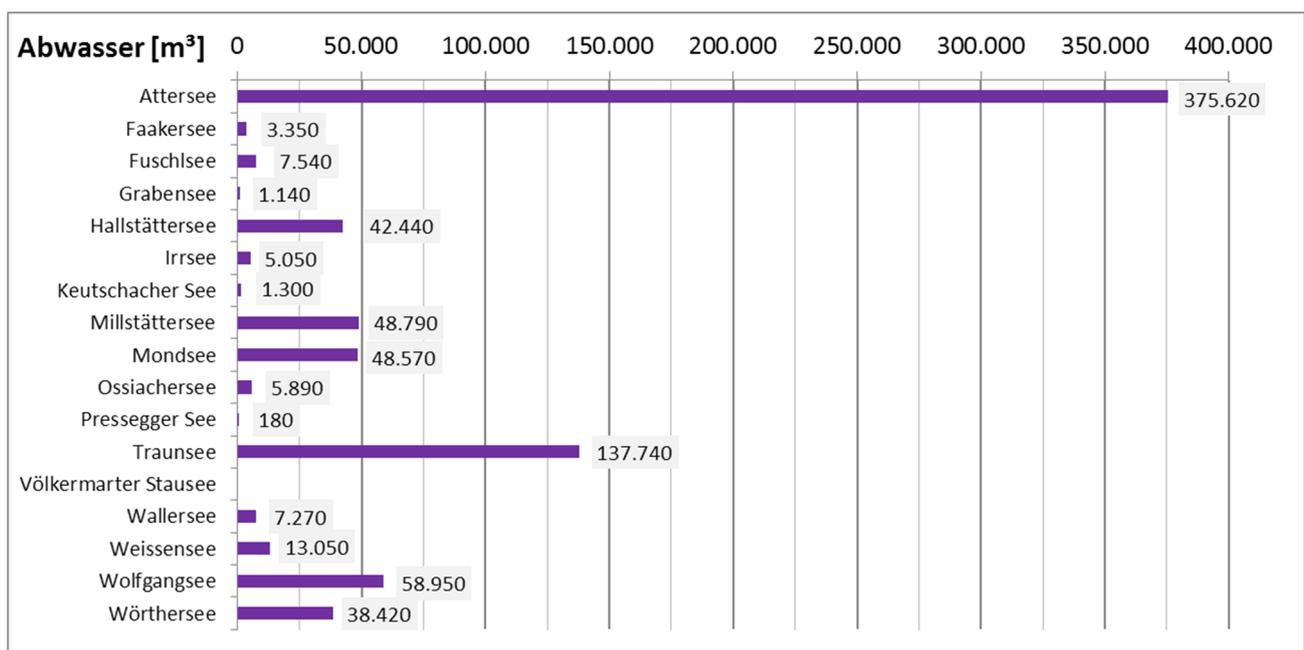


Abbildung 42: Theoretische Abwasser-Menge in m³ (bei 10,5 mg/L TP) bis es zu einer TP-Erhöhung um max. 1,0 µg/L im See kommt (Ausnahme: Ossiacher See und Wörthersee). Hinweis: Hier wird der gesamte durchmischte Seeinhalt (d.h. excl. Monimolimnion) betrachtet. Werte gerundet auf 10 m³.

Als Gedankenexperiment kann man die in Abbildung 42 dargestellten Werte des jeweiligen Sees auf die dort verlegten einzelnen Seedruckleitungen umrechnen. Die Grafiken in Abbildung 43 und Abbildung 44 sind entsprechend folgender Annahme zu interpretieren: Man erhält dabei die fiktiven Tage (falls das Abwasser direkt in den See eingeleitet würde), in denen der gesamte täglich gepumpte Inhalt der jeweiligen Seedruckleitung (ID_X), zu der jeweiligen kritischen Erhöhung der Phosphor-Gesamtfracht des Seeinhalts führt.

Als Schaden wird in Abbildung 43 beim Ossiacher See und Wörthersee ein Querriss (100%iger Bruch) der AW-SDL ID_X angenommen. Ein entsprechender Schaden als Leckage würde die dargestellten Zeitspannen entsprechend erhöhen. In Abbildung 44 wurde im Attersee daher zusätzlich zum Totalbruch (links) eine Leckage mit einem Verlust von 10% des täglich gepumpten Abwassers (rechts) angenommen. Die Zeit, um die TP-Konzentration des Sees um 1,0 µg/L zu erhöhen, beträgt beim Totalbruch bei Leitung ID 1 ca. 1,5 Jahre, bei einem nur 10%-igen

Abwasseraustritt dagegen fast 15 Jahre. Die Annahme stimmt jedoch aufgrund des hier nicht berücksichtigten permanent vorhandenen Seeausrinns nur wenn $TP_{Zulauf} = TP_{Ablauf}$ ist, was grundsätzlich auch der Fall sein dürfte, sonst würde sich die Trophie permanent verschlechtern.

Diese Überlegung kann im Extremfall soweit gehen, dass eine nur schwer identifizierbare kleine Leckage vielleicht nie entdeckt wird, dies aber einen kontinuierlichen Einfluss auf die Seewasserqualität haben kann.

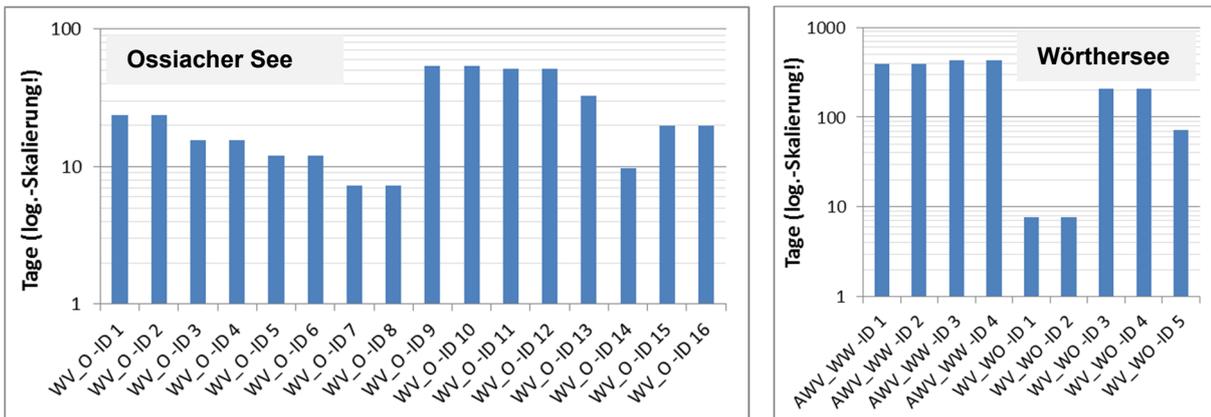


Abbildung 43: Theoretische Anzahl an Tagen pro Seedruckleitung ID_X welche ausreicht, um die Konzentration des Gesamtphosphors im See um max. 1,0 µg/L zu erhöhen. (Annahme: Querriss der SDL, Seeinhalt durchmischt). Links: Ossiacher See +0,3 µg/L TP, Rechts: Wörthersee +0,7 µg/L TP.

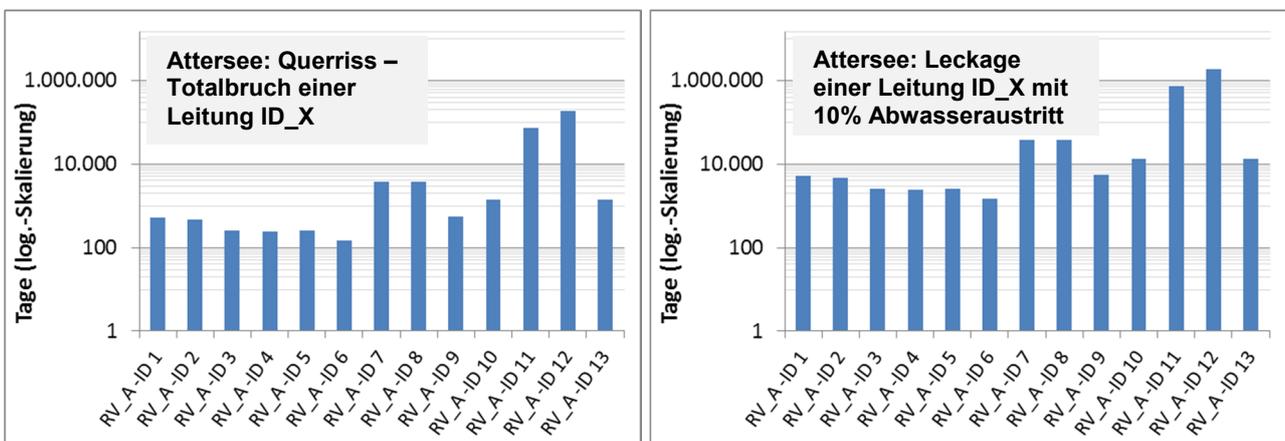


Abbildung 44: Theoretische Anzahl an Tagen pro Seedruckleitung ID_X welche ausreicht, um die Konzentration des Gesamtphosphors im See um max. 1,0 µg/L zu erhöhen. (Annahme: Attersee, Seeinhalt durchmischt,). Links: Querriss der SDL; Rechts: Annahme einer Leckage mit Verlust von 10% des täglich gepumpten Abwassers.
Hinweis: die Seedruckleitung RV_A ID 14 liegt im Mondsee und wurde bei der Darstellung nicht berücksichtigt.

13.4. Berücksichtigung der Stickstoff-Fracht

Die Konzentration von Nitrat wird in Abwasserdruckleitungen sehr gering sein. Die gesamte Stickstofffracht teilt sich daher hauptsächlich auf den organischen Stickstoff (ca. 20-30 mg/l N_{org}) und Ammonium (20-40 mg/l NH₄-N) auf. Diese beiden Stickstoff-Komponenten werden auch unter dem Parameter TKN subsummiert.

Die Seen haben üblicherweise eine gemessene NH₄-N Konzentration von <0,01 bis 0,3 mg/l, welche in Ausnahmefällen kurzfristig bei max. 0,5 mg/l liegt. Bei NO₃-N liegt die gemessene Konzentration üblicherweise bei maximal 0,6-0,8 mg/l.

Die Umweltqualitätsnorm (UQN) hinsichtlich NO₃-N nach der QZV Ökologie OG (BGBl. 99/2010) könnte nur beim Völkermarkter Stausee, bzw. beim zugehörigen Fließgewässer der Drau herangezogen werden und liegt bei 2,0 (*sehr gut*) bis 5,5 mg/l (*gut*).

Eine Berechnung der Zufuhr einer Ammoniumfracht, nach demselben Schema wie bei der Berechnung der kritischen Phosphormenge bei einem Bruch der Leitung, erbrachte keine strengeren Kriterien als bei Berücksichtigung der Phosphorfracht. Die Gefahr einer Grenzwertüberschreitung beim Parameter Ammonium durch eine Abwassereinleitung in den See hinsichtlich der UQN für NH₄-N (0,3 mg/l, siehe auch Abbildung 40; nach BGBl. 96/2006 idgF) ist daher wesentlich geringer einzuschätzen.

Die Stickstoffkomponenten im Abwasser und im See blieben bei Betrachtung der kritischen Frachten durch einen ungewollten Abwassereintrag daher unberücksichtigt, weil sowohl ein See und noch besser ein Fließgewässer durch die Selbstreinigungskapazität in der Lage sind, durch die bekannten Vorgänge der Nitrifikation und Denitrifikation Stickstoff aus dem Wasserkörper auszuscheiden.

Zum gleichen Ergebnis kommen auch Wolfram und Donabaum (2010), die eine Einbindung der Stickstoffverbindungen in das Bewertungsverfahren österreichischer Seen anhand physikalisch-chemischer Parameter als schwierig bezeichnen. Es wurden daher bei der typspezifischen Bewertung der Seen keine Stickstoffwerte gemäß EU-WRRL für die Nährstoffverhältnisse angegeben, da nach Wolfram und Donabaum (2010) die trophische Belastung wesentlich besser über den Phosphor nachzuvollziehen ist.

14. Zustandserfassung

14.1. Pumpendatenauswertung

Nach Weissmann und Gutzeit (2006) sind für den Betrieb und der automatisierten Betriebsführung von kommunalen Abwasserpumpwerken grundsätzlich folgende Teile der Schalt-, Steuer- und Automatisierungstechnik wie Einspeisung, Leistungsteil für die Gebäude- und Pumpentechnik sowie die Steuerung der Pumpentechnik erforderlich.

Diese sind entweder einzeln oder zusammen in einem Schaltschrank angeordnet. Je nach Erfordernis ist eine Erweiterung von Hausanschluss- und Zählerteil, Fernüberwachung, Fernwirk- bzw. Fernwartungsteil möglich. Der Umfang des Ausbaugrades hängt im Wesentlichen von den Anforderungen des Betreibers und der Anlagentechnik ab. Tabelle 12 zeigt eine Übersicht der Schalt-, Steuer und Automatisierungstechnik einer Abwasserpumpstation sowie der Betriebsdaten, die erfasst werden können.

Tabelle 12: Übersicht über die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik eines Pumpwerkes (Weissmann und Gutzeit, 2006).

Schalt-, Steuer- und Automatisierungstechnik Die EMSR – Technik ist das „Herz“ eines jeden PW. Eine intelligente Steuerung kann MTA – technische Problemstellungen kaschieren und enorm vermindern, aber auch enorm verstärken			
Leistungstechnik	Steuertechnik	Messtechnik und Signalisierungstechnik	Fernwirktechnik
<ul style="list-style-type: none"> - Hausanschluss-/ Zählleinrichtung - Hauptschalter - Absicherungen - Leistungsschütze - Motorschutzgeräte - Schalter - Verriegelungseinrichtungen (kann auch in Steuertechnik sein) 	Die Steuerung kann konventionell oder per Mikroprozessor aufgebaut werden! <ul style="list-style-type: none"> - Schütze - Relais (mechan./ pneum.) - SPS modular oder kompakt oder 19" - Koppelrelais - Trennverstärker - Potentialfreie Klemmen 	<ul style="list-style-type: none"> - Niveaumessung - Druckmessung - Durchflussmessung - Leistungsmessung - Messung der Stromaufnahme - Optische und akustische Signalgeber 	<ul style="list-style-type: none"> - SPS – Anbindeteile (BUS – Module, Übertragungsprozessoren) - Separate Fernwirkeinrichtungen – komplette Stationen - Telefonsignaleinrichtungen - Funkeinrichtungen
<ul style="list-style-type: none"> - Anzeigeeinstrumente - Zählinstrumente - Steckdosen - Zusatzausrüstungen 	Für die Steuer-, mess- und Signalisierungstechnik, sowie die Fernwirktechnik ist eine unterbrechungsfreie Stromversorgung zu gewährleisten !!! Varianten: <ul style="list-style-type: none"> - dezentrale Kurzzeit – USV bis ca. 30 sec. Mit Kondensatoren - dezentrale Langzeit – USV Zeitlänge je nach Auslegung - Zentrale Langzeit – USV Zeitlänge je nach Auslegung 		
<ul style="list-style-type: none"> - Netzersatzeinspeisung - Netzersatzanlage 	Schaltschränke für Innen- und Außenaufstellung in erforderlichem Schutzgrad (IP XX) Wartungs- und Notschalter Verkabelung Gebäudetechnik Potentialausgleich		

Das ÖWAV RB 22 (2015) empfiehlt für Pumpwerke mit überörtlicher Bedeutung (wie z.B. für Pumpstationen für Seedruckleitungen) die Installation einer Fernwirkanlage. Diese sollen zum einen nicht nur Störungen und Alarme, sondern zum anderen alle Betriebszustände (Betrieb der Pumpen, Schaltzeitpunkte, Niveaus) aufzeichnen. Dabei sind die aufgezeichneten IST-Werte mit den Referenzwert-Werten zu vergleichen.

Eine wesentliche Hilfestellung bei Fernwirkanlagen bieten die Ganglinien. Die nachfolgenden Beispiele zeigen Ganglinienauswertungen einer Funk-Fernwirkanlage. Zu erkennen sind dabei folgende Punkte:

- Bezeichnung der Abwasserpumpstation
- Farbuordnung der Ganglinien
- Wasserstandhöhe im Pumpensumpf
- Verlauf der Wasserstandganglinie
- gerechnete Fördermenge (Pumpe 1 und Pumpe 2)
- Ein- und Ausschaltzeitpunkte Pumpe 1 / Pumpe 2
- Uhrzeit der Datenaufzeichnung

Das Beispiel der Abbildung 45 zeigt das unterschiedliche Entleerungsverhalten eines Pumpensumpfes von zwei installierten Pumpen. Pumpe 1 benötigt ein Vielfaches an Zeit um den Pumpensumpf zu entleeren im Vergleich zu Pumpe 2. Als mögliche Ursache sind hohe Verschleißerscheinungen am Laufrad der Pumpe 1 zu nennen.

Die beiden Beispiele der Abbildung 46 und Abbildung 47 zeigen einen Pumpensumpf, der sich selbstständig entleert, d.h. die Pumpe war nicht eingeschaltet.

Die Beispiele sollen einen groben Überblick geben, welche Informationen aus den Ganglinien herausgelesen werden können. Weitere Beispiele sind im BOKU Forschungsbericht „Optimierte Strategien der Instandhaltung von dezentralen Pumpstationen“ (KAN, 2010) nachzulesen.

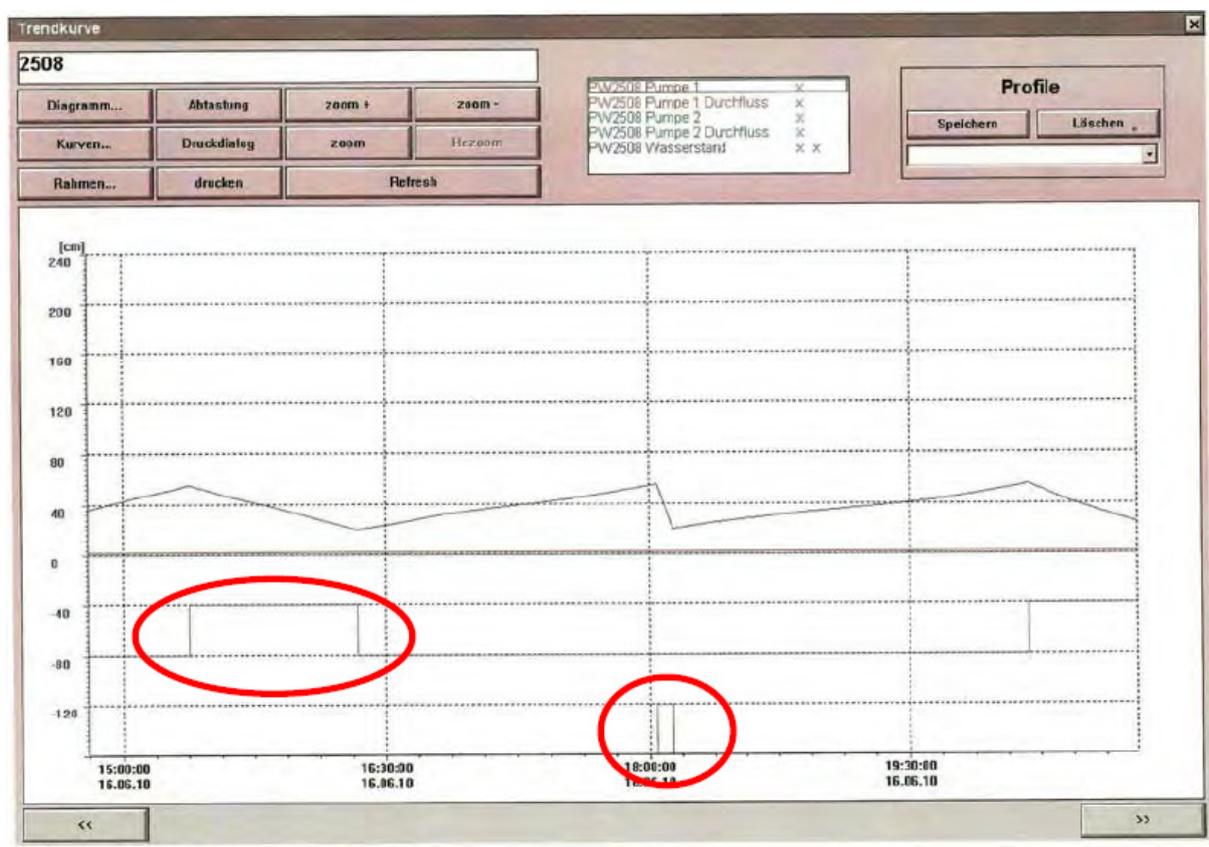


Abbildung 45: Beispiel unterschiedliche Pumpenlaufzeiten (KAN, 2010).

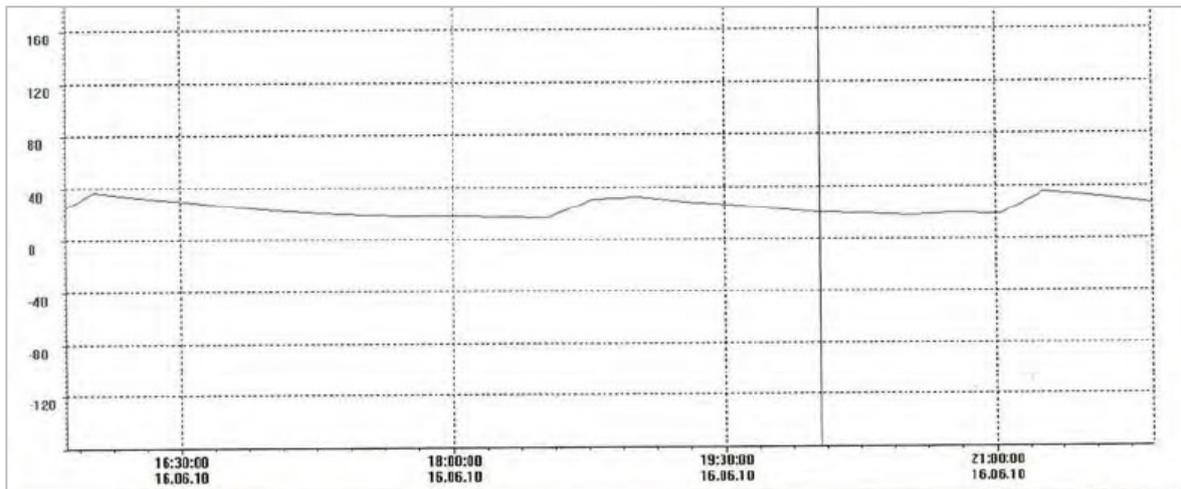


Abbildung 46: Beispiel 1 - selbstentleerender Pumpensumpf (KAN, 2010).

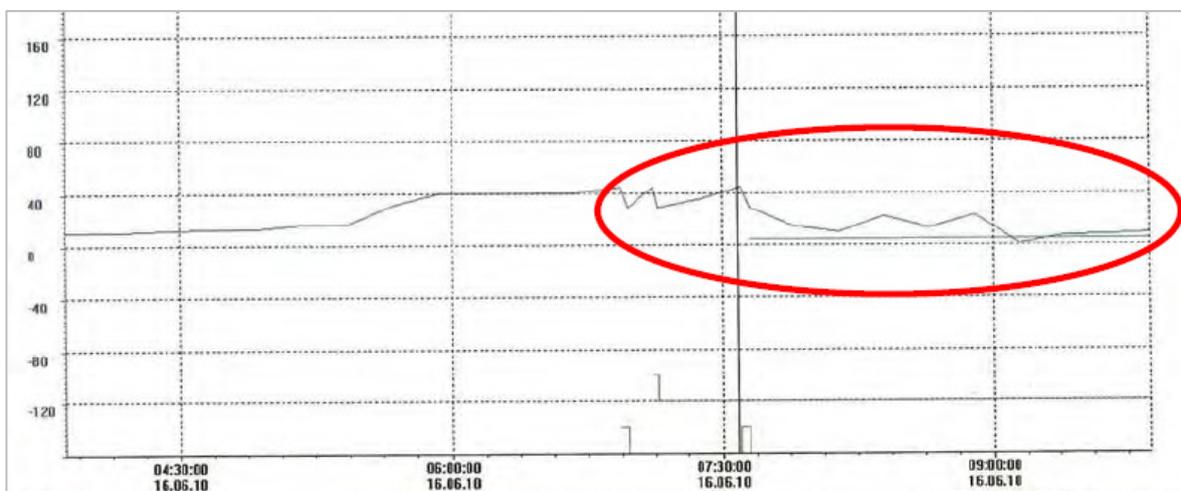


Abbildung 47: Beispiel 2 – selbstentleerender Pumpensumpf (KAN, 2010).

14.2. Lagemäßige Zustandserfassung

Am Institut für Unterirdische Infrastruktur (IKT, 2011) wurde dazu ein Projekt durchgeführt. Dabei wurden die Möglichkeiten und Grenzen der lagemäßigen Zustandserfassung mit Hilfe von Vermessungsmolchen getestet.

„Zur Bestimmung des Leitungsverlaufes werden sogenannte Inertial- oder geodätische Vermessungsmolche mit Beschleunigungssensoren, Gyroskopen bzw. Kreiselkompassen und Hodometern eingesetzt. Mit Hilfe der Messtechnik werden Translations- und Rotationsbewegungen des Molchs aufgenommen, d.h. die Ausrichtung bzw. Drehlage und die zurückgelegte Wegstrecke des Molches. Mit Hilfe der Daten wird die Lage der Leitung mit x, y und z-Koordinaten bestimmt, die sich anschließend in andere Koordinatensysteme transformieren lassen. Die Messtechnik bei den Inertial-Molchen ist grundsätzlich unabhängig vom Leitungsmaterial funktionsfähig, sodass sie auch bei allen Materialien der Abwasserdruckleitungen eingesetzt werden könnte. Allerdings muss die Leitung für den Molch durchgängig sein.“

14.2.1. Sichtprüfung mit U-Boot / Tauchroboter

Eine Möglichkeit zur äußeren Sichtprüfung der Seedruckleitung kann mittels U-Boot-Inspektion durchgeführt werden. Am Starnberger See in Bayern/Deutschland erfolgte im Oktober 2011 eine solche Inspektion zur Zustandserfassung und lagemäßigen Erfassung der Seedruckleitung.

Das dazu verwendete U-Boot (siehe Abbildung 48) misst 6,20 m in der Länge, 2,75 m in der Höhe und ist 2,35 m breit. Das fünf Tonnen schwere U-Boot hat Platz für zwei Personen. Die Inspektion für ca. 3 km Seedruckleitung dauerte ca. 3 Stunden und kostete ca. € 10.000,-. Der tiefste Punkt der Seedruckleitung befand sich auf 42 m Tiefe. Mit dieser Inspektion war es möglich, eine genaue Lagefeststellung der Leitung (siehe Abbildung 49) durchzuführen. Bezüglich Materialzustand oder mögliche Schäden gab diese Inspektion keinen Aufschluss.



Abbildung 48: U-Boot für eine z.B. äußere Sichtprüfung der Seedruckleitung (Lehnberg, 2012).

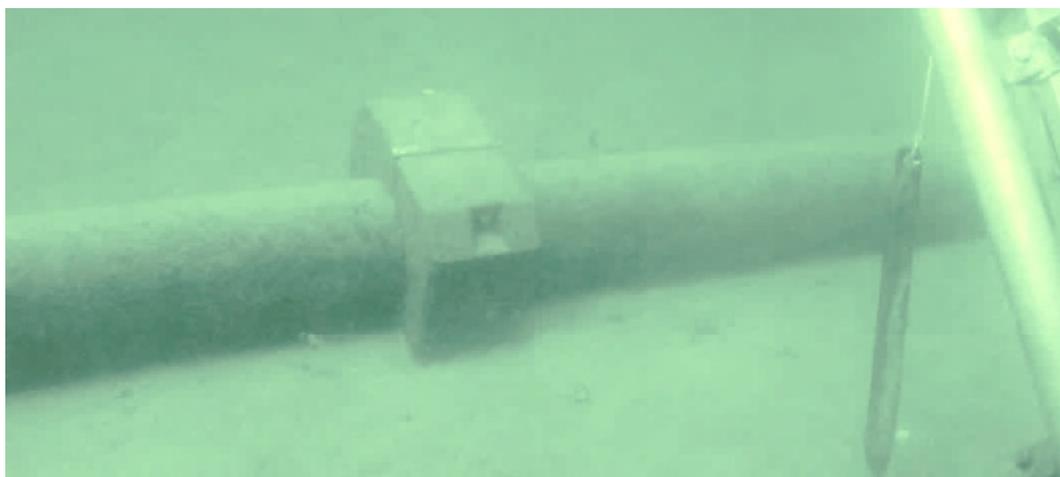


Abbildung 49: Identifizierte Druckleitung am Seegrund (Lehnberg, 2012).

14.2.2. Bathymetrie (3D-Scan)

Für eine detaillierte Kartierung der Topografie des Seebodens (Bathymetrie) wird ein Fächerecholot verwendet. Dieses sendet einen akustischen Fächer mit bis zu 400 Strahlen aus und vermisst so einen breiten Streifen unter der Fahrspur des Schiffes (Abbildung 50, links). Dabei muss die Bewegung, Position und Lage des Schiffes online mit verschiedenen Sensoren, wie differenzielles GPS, Bewegungssensor, digitaler Kompass etc. berücksichtigt werden. Der See wird mit einem dichten Netz abgefahren, sodass am Schluss eine hoch aufgelöste Karte (1 m Gitterabstand) des gesamten Seebodens vorhanden ist (digitales Höhenmodell). Diese Untersuchungen können von der tiefsten Stelle des Sees bis in eine minimale Wassertiefe von 2 bis 5 Metern durchgeführt werden.

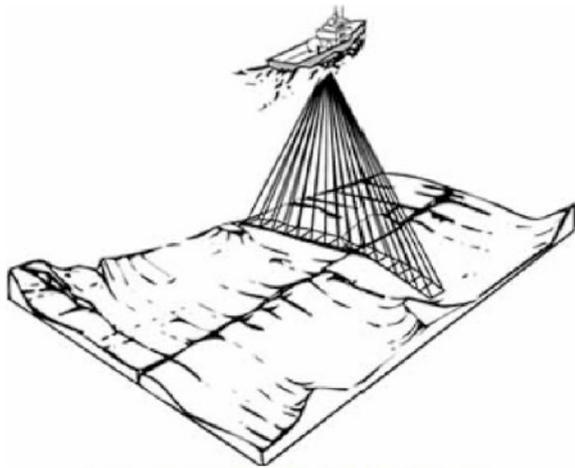


Abbildung 50: Links: Funktionsschema des Fächerecholotes. Rechts: Das Kongsberg EM 2040 Fächerecholot montiert am Bug eines Forschungsschiffes (Anselmetti, 2015).

Mit den bathymetrischen Daten erhält man hoch aufgelöste digitale Tiefendaten (laterale Auflösung ca. 0,5 m, vertikale Auflösung ca. 0,1 m), die den Seeboden wie „ohne Wasser“ erscheinen lassen. Die Qualität der topografischen Daten erreicht oder übertrifft diejenige der Laserscan-Methode an Land (Lidar). Somit kann der Seeboden in hoher Qualität visualisiert werden, womit zahlreiche neue Strukturen und Elemente erkannt werden können, wie z.B.:

- Bergstürze, Felsstürze
- Massenbewegungen, Uferabrutschungen
- Deltakanäle
- Glaziale Moränen
- Versätze entlang aktiven Bruchflächen
- Pipelines
- sowie sonstige Artefakte wie Schiffswracks, Deponien, Ankerspuren, etc.

Alle diese Daten können beispielsweise im Hinblick auf damit zusammenhängende Naturgefahren interpretiert werden womit z.B. historische und prähistorische Erdbeben, Flutereignisse, Murgänge oder Tsunamiwellen rekonstruiert werden können. Im Weiteren können die Daten für Schiffbarkeit des Sees, die Bestimmung der Ausdehnung der Salzlauge am Boden des Hallstättersees, Tauchsportaktivitäten und weitere Freizeitvergnügen nützlich sein. Zudem können Maßnahmen wie Uferverbauungen besser geplant werden. Wird die Messung in einigen Jahren wiederholt,

können Veränderungen des Seebodens dokumentiert und quantifiziert werden, beispielsweise in Fluss-Deltabereichen, wo viel Schlamm sedimentiert oder erodiert wird.

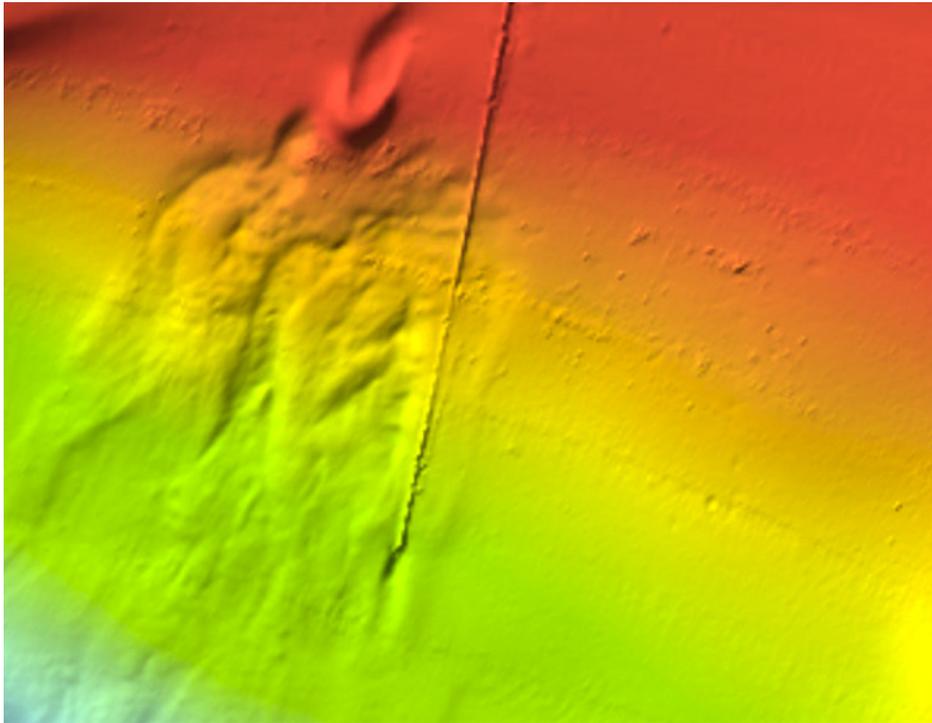


Abbildung 51: Beispiel einer bildliche Darstellungen mit Hilfe der Bathymetrie;
Hier: Auslaufleitung in einen See mit flankierenden Bewegungen
des Seeuntergrunds (Anselmetti, 2015).

14.2.3. Inspektionsmolche

Inspektionsmolche setzen sich aus einer Trägereinheit, meist bestehend aus Kunststoff- und/oder Stahlelementen und der eigentlichen Inspektionstechnik (siehe Abbildung 52) zusammen, die abhängig von der Zielstellung der Untersuchung eingesetzt wird (Schneider et al., 2003; Skerra, 2000):

- „Ultraschalltechniken zur quantitativen Wanddickenmessung sowie zur Detektion und Vermessung von Korrosion, Rissen und Diskontinuitäten der Rohrwand,
- Magnetstreufusstechniken zur qualitativen Bestimmung von Wandstärkenänderungen bzw. Materialverlusten und zur Detektion von Korrosion sowie zur Rissprüfung,
- Wirbelstromtechniken zur Geometriemessung (Beulen, Ovalitäten, Falten etc.), qualitativen Bestimmung von Wandstärkenänderungen bzw. Materialverlusten und zur Detektion von Korrosion sowie zur Rissprüfung,
- Mechanische Tastarme zur Geometriemessung (Beulen, Ovalitäten, Falten etc.),
- Akustische Schallaufnehmer sowie Druckdifferenzmessungen zur Leckageortung,
- Ortungssender zur Lageortung sowie Beschleunigungssensoren und Gyroskope Kreiselkompass zur Lagevermessung,
- Kameras zur optischen Inspektion.“ (IKT, 2011)

Aufgrund der relativ neuen Untersuchungsmethode sind die Anwendungsgrenzen (z.B. minimal erforderlicher Wasserdruck und –menge für den Transport des Molches, Einschränkungen der

Untersuchungsmethode bei nicht dokumentierten Einbauten, max. Steigung der Leitung) noch nicht ausgetestet und dokumentiert. Die Leistungsangaben des Inspektionsmolches der Inspektionsfirmen referenzieren zumeist bereits durchgeführte Untersuchungen. Daher empfiehlt es sich vor jeder Untersuchung die Bestandsaufnahme der vorhandenen Einbauten sowie Leitungsverlegung aus alten Plänen, Fotos, etc. so gut als möglich durchzuführen, um das Risiko einer Fehlinspektion zu minimieren.



Abbildung 52: Schirmmolch vor dem Einsatz.

Testinspektion beim Pumpwerk Maiernigg (Betreiber: WV Wörthersee Ost) im Jahr 2015

Es handelte sich um eine parallel verlegte 800 m langen Seedruckleitung vom Pumpwerk Maiernigg nach Maria-Loretto.

Sowohl die Trägereinheit als auch die Inspektionstechnik wird in die zu inspizierende Druckleitung beim Pumpwerk eingebracht. Durch Einschalten der Pumpen wird die Trägereinheit sowie die Inspektionstechnik bis zum Auslaufbauwerk mit dem Wasserstrom befördert. Alternativ kann auch ein in der Nähe befindlicher Hydrant in Kombination mit einer druckfesten Schleuse für den Transport verwendet werden. Anschließend wird das eingezogene Stahlseil, angeschlossen an einem Sender, mit elektrischem Strom induziert.

Mit einem darauf abgestimmten Suchgerät (z.B. Easyloc von Sebakmt) kann der Leitungsverlauf bis zu einer Tiefe von ca. 20 m Tiefe identifiziert werden. Für die Detektion am See ist zusätzlich noch ein Elektroboot als Transportmittel erforderlich.

Um die Vermessung sowie die Testinspektion beginnen zu können, mussten die Pumpe sowie für die Tests unnötige Armaturen demontiert werden. Generell gilt, dass bei genügend Platzangebot und nicht korrodierten Leitungsteilen, die Vorbereitungen relativ schnell gehen können.

Das Ergebnis der lagemäßigen Vermessung der Seedruckleitung kann in einem kommunalen Informationssystem verwaltet werden (siehe Abbildung 53).

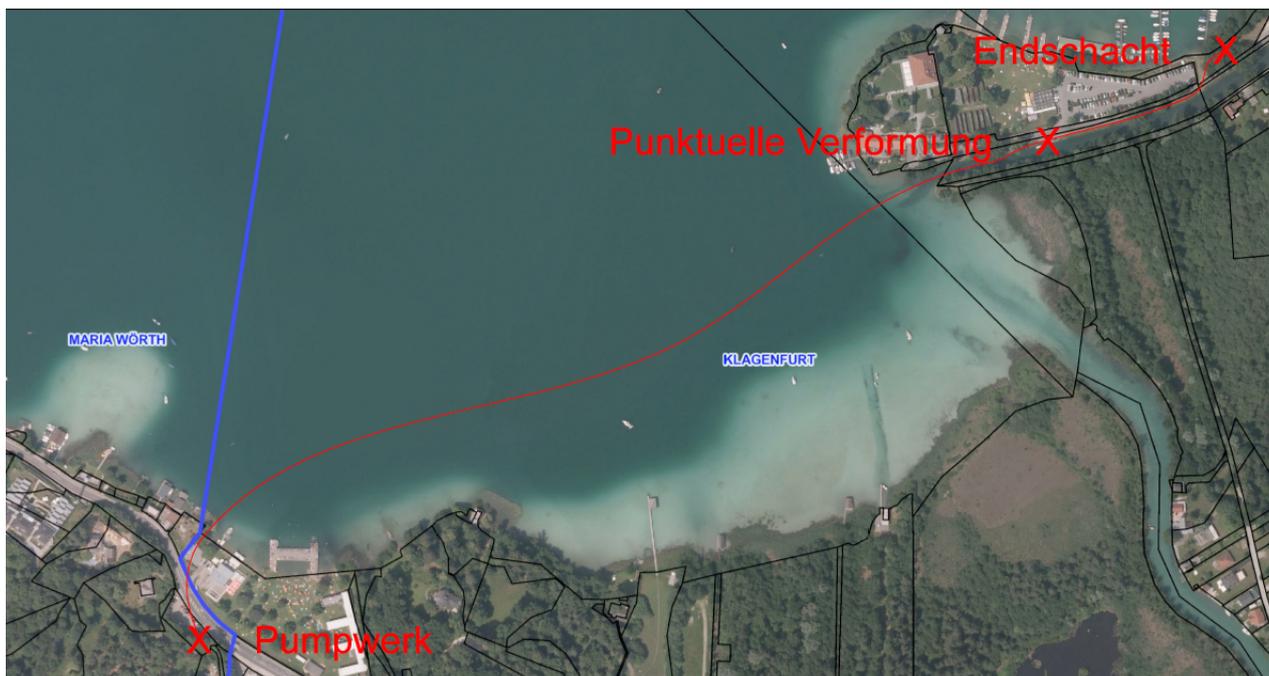


Abbildung 53: Lageplan der Testinspektion bei der 800 m langen Seedruckleitung „WV_WO -ID 4“ beim Pumpwerk Maiernigg (Bildquelle: WV Wörthersee Ost, 2015).

14.3. Elektronische Druckmessung

Für die elektronische Druckmessung ist ein Sensor erforderlich, der den zu messenden Druck oder auch die Druckänderung aufnimmt und in ein elektrisches Signal umwandelt. Das elektrische Signal ist dann ein Maß für den einwirkenden Druck oder auch die Druckänderung und wird von einem Drucksensor aufgenommen (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Vergleich verschiedener Sensoren (Gaßmann und Gries, 2009).

Anforderung	Sensorprinzip		
	Metall-Dünnschicht-Sensor	Keramik-Dickschicht-Sensor	Piezoresistiver Sensor
Messung des Absolutdrucks	○	⊙	●
Bereiche sehr niedriger Drücke	○	○	●
Bereiche sehr hoher Drücke	●	○	○
Schock- und Vibrationsfestigkeit	●	⊙	⊙
Langzeitstabilität	●	⊙	●
● Anforderung erfüllt ⊙ Anforderung bedingt erfüllt ○ Anforderung nicht erfüllt			

Prinzipiell bestehen diese elektronischen Druckmessgeräte aus einem Druckanschluss, der Drucksensorik, einer Elektronik, einem elektrischen Anschluss und dem Gehäuse (siehe Abbildung 54).

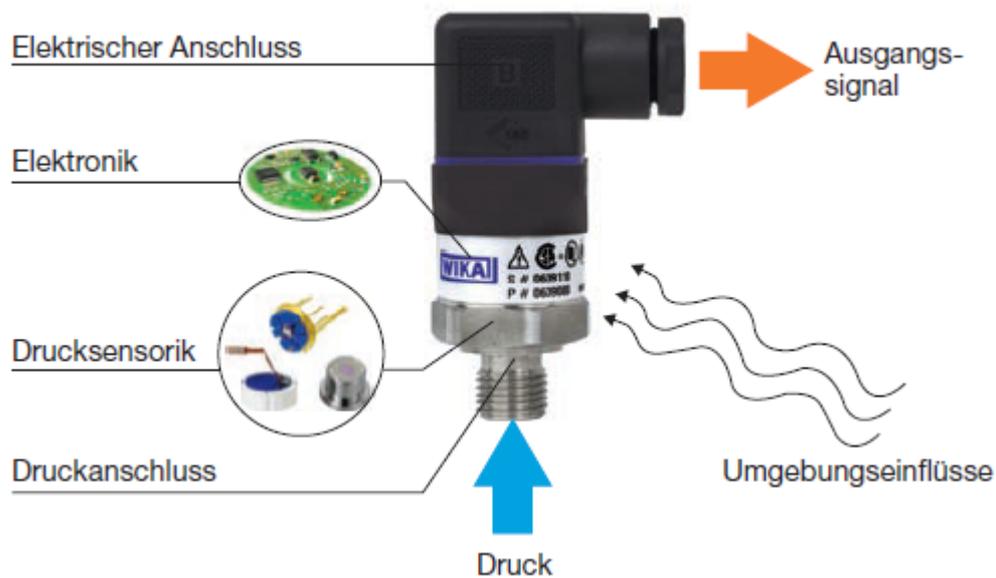


Abbildung 54: Aufbau eines Druckmessgeräts (Gaßmann und Gries, 2009).

Die Genauigkeit der Aufzeichnungen von Drucksensoren hängt von unterschiedlichen Rahmenbedingungen ab. Besondere Vorsicht ist bei Druckspitzen geboten, die ein Vielfaches des Betriebsdruckes betragen können. Die hohen Belastungen führen nicht selten zur Überlastung der Sensoren. Abbildung 55 zeigt den Vergleich der realen Messabweichung zur idealen Kennlinie.

„Die Kennlinie eines Druckmessgeräts ist prinzipbedingt nicht über die gesamte Lebensdauer konstant, sondern kann sich durch mechanische (Druckwechsel) und vor allem durch thermische Einflüsse mit der Zeit geringfügig verändern. Diese schleichende Veränderung wird als Langzeitstabilität oder auch Langzeitdrift bezeichnet. In der Regel wird die Langzeitstabilität durch Labortests ermittelt. Weil sich die Testabläufe verschiedener Hersteller deutlich unterscheiden, lassen sich Angaben zur Langzeitstabilität allerdings kaum miteinander vergleichen.“ (Gaßmann und Gries, 2009).

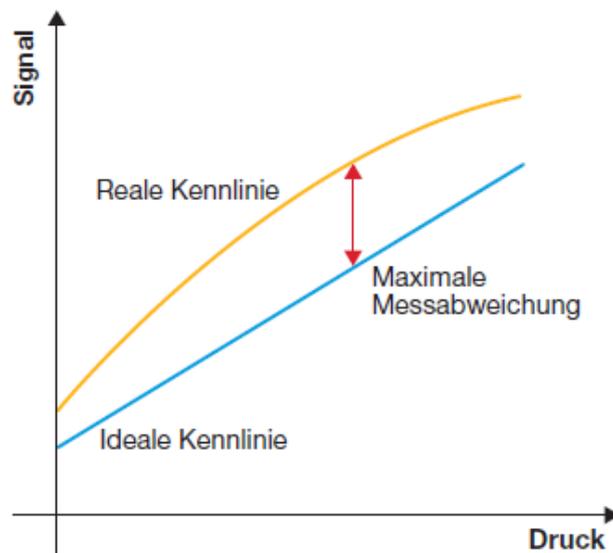


Abbildung 55: Messabweichung von Drucksensoren (Gaßmann und Gries, 2009).

14.4. Druckprüfung

14.4.1. Normen und Regelwerke

Die Wasserdruckprüfung ist in der ÖNORM EN 805 (und Ergänz. ÖNORM B 2538) geregelt, als auch in der ÖVGW-Mitteilung W 101 beschrieben. Eine Druckprüfung erfolgt prinzipiell immer nach der Baufertigstellung in der Höhe des zulässigen Drucks des verlegten Rohrstrangs. Dieser Druck wird sich voraussichtlich im laufenden Betrieb nicht wiederholen, da die Seedruckleitungen in der Regel mit 1,0 bis 1,5 bar (max. 3,5 bar) betrieben werden. Weiters gibt die EN 805 keine Intervalle für Wiederholungsprüfungen vor.

Die Wasserdruckprüfung laut ÖNORM EN 805 darf in bis zu drei Schritten ausgeführt werden:

- Vorprüfung: Stabilisierung des Prüfabschnitts um Volumenzunahmen flexibler Rohre vor der Hauptprüfung vorwegzunehmen. Der Druck während der Vorprüfung sollte mindestens dem Betriebsdruck entsprechen und den Systemprüfdruck nicht überschreiten
- Druckabfallprüfung: Hierbei wird die Leitung auf restliche Lufteinschlüsse überprüft, da Lufteinschlüsse scheinbare Undichtigkeiten anzeigen sowie kleine Undichtigkeiten überdecken können und die Genauigkeit des Prüfverfahrens vermindern. Bei dieser Prüfung wird der Leitung eine Wassermenge ΔV entnommen und der entstehende Druckabfall gemessen.
- Hauptdruckprüfung: „Wasserverlustverfahren“ oder „Druckverlustverfahren“.

Für viskoelastische Rohrwerkstoffe (PE) kann entweder sofort ein spezielles Verfahren angewendet (Kontraktionsverfahren), oder wenn diese PE-Rohre, in einer angemessenen Prüfzeit die Prüfkriterien nicht erfüllen, sind diese ebenfalls mit dem Kontraktionsverfahren nochmals zu prüfen.

Dies umfasst eine Vorprüfung mit entsprechend langen Ruhephasen, eine „integrierte Druckabfallprüfung“ und die Hauptprüfung, die direkt an die Druckabfallprüfung anschließt. Durch die Druckabfallprüfung mit schneller Absenkung des Drucks ist zunächst sicherzustellen, dass die Leitung ausreichend luftfrei ist. Die Druckabsenkung führt zu einer Kontraktion der Rohrleitung, die wiederum zu einem Druckanstieg in der Rohrleitung führt, der über einen Zeitraum von 30 min während der Hauptprüfung aufgezeichnet wird. Zeigt die Drucklinie eine fallende Tendenz, deutet dies auf Undichtigkeiten des Prüfabschnitts hin. Bei steigender oder gleichbleibender Tendenz gilt die Leitung als dicht. Im Zweifelsfall ist die Prüfdauer auf 90 min zu erhöhen, wobei der Druckabfall vom Höchstwert innerhalb der Kontraktionsphase $\leq 0,25$ bar sein muss.

Systemprüfdruck

Vorgabe (*Hinweis: ohne Berechnung des Druckstoßes werden 2 bar addiert*):

$$\checkmark \text{ Systemprüfdruck} = (\text{Systembetriebsdruck} + \text{mind. } 2 \text{ bar}) \times 1,5$$

oder

$$\checkmark \text{ Systemprüfdruck} = (\text{Systembetriebsdruck} + \text{mind. } 2 \text{ bar}) + 5 \text{ bar}$$

Es gilt der niedrigere Wert, und die im höchsten Systembetriebsdruck enthaltenen Druckstöße dürfen nicht weniger als 2 bar betragen. Ein Beispiel eines Druckverlaufs beim Kontraktionsverfahren zeigt Abbildung 56.

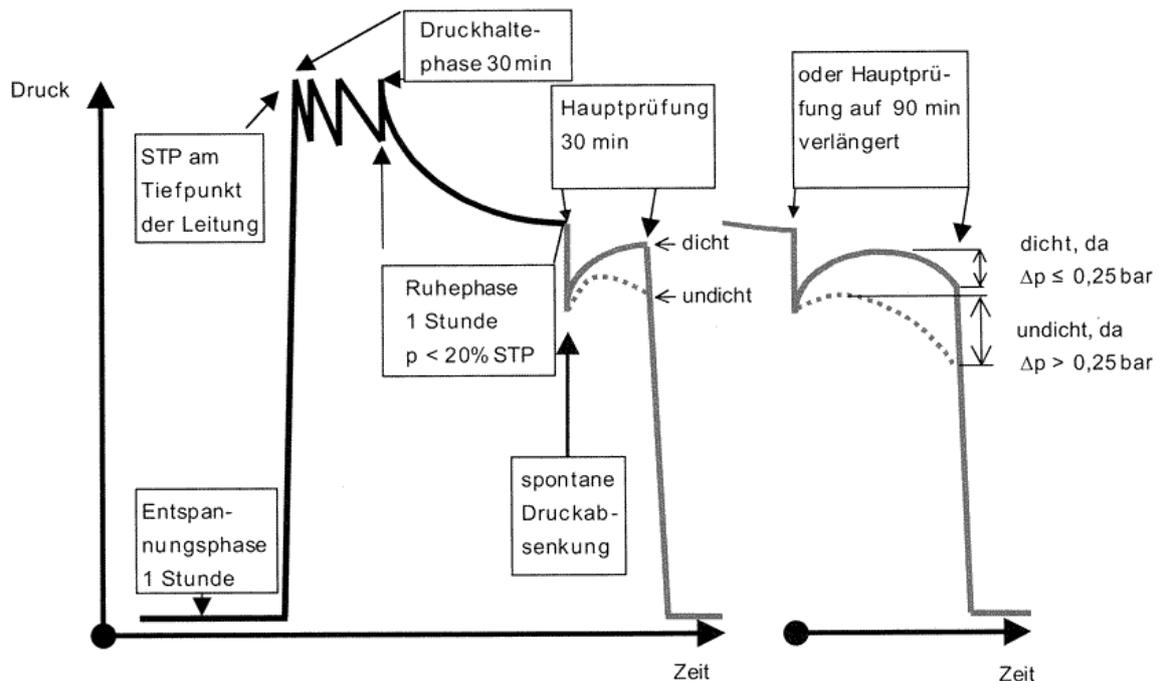


Abbildung 56: Beispiel eines Druckverlaufs beim Kontraktionsverfahren (URL: www.weitbrechrohrleitungsbau.de [15.04.2015]).

14.4.2. Stand der Praxis

Nach Rückfragen bei den Betreibern zur vorliegenden Studie bestehen unterschiedliche Ansichten zur Durchführung einer Druckprüfung. Zum Teil liegt dies an der nicht immer einwandfreien Ausformulierung behördlicher Vorschriften zur periodisch durchzuführenden Drucküberprüfung nach der ersten Abnahme-Druckprüfung. Im ÖWAV RB 22 (2015) Tabelle 3 „Regelintervalle für die Überwachung und Wartung von Druckleitungen“ wurde vermerkt, dass diese jährlich oder bedarfsorientiert durchzuführen sind. Auch sind seitens der Betreiber Bedenken hinsichtlich der Überbelastung der Seedruckleitungen vorhanden, so dass diese entweder gar nicht, oder nach eigenem Ermessen durchgeführt werden. Dieses spiegelt sich sowohl in der Wahl des Prüfdrucks als auch im Zeitabstand der Prüfungen wider. Einwandfrei durch behördliche Auflagen geregelt, bezüglich des Prüfdrucks und Prüfintervalls, sind hauptsächlich Seedruckleitungen neueren Ursprungs.

Bei den Betreibern der SDL werden aktuell folgende Kennzahlen verwendet:

- Betriebsdruck
- Betriebsdruck x 1,1 (oder 1,5)
- Pumpen-Anfahr-Druck
- ... und andere

Das Intervall für die Wiederholungsprüfung beträgt aktuell bis zu 10 Jahren.

Aus fachlicher Sicht ist eine Druckprüfung mit 1,5 mal dem Betriebsdruck zu verantworten. Der Abstand der Prüfungen sollte 2 Jahre nicht unterschreiten, kann jedoch aufgrund innerbetrieblicher Maßnahmen oder wirtschaftlicher Unverhältnismäßigkeit auf 5 Jahre erhöht werden.

14.5. Durchflussmessung

Als wesentlicher Parameter bei der Anlagenüberwachung und Betriebsführung gilt der Durchfluss (= Volumen / Zeit). Mit seiner korrekten Erfassung ist es möglich, den tatsächlichen Volumenstrom zu ermitteln und mit den Referenzwert-Daten zu überprüfen.

Nach ATV-DVWK-A 134 (2000) sollten fix eingebaute Durchflussmeseinrichtungen dann eingesetzt werden, wenn eine fortlaufende Messung des Förderstromes für eine genaue Ermittlung der Förderleistung der Pumpstation notwendig ist. Eine Übersicht der gängigsten Durchflussmessungen zeigt Tabelle 14.

Tabelle 14: Übersicht der gängigsten Messverfahren für die Durchflussmessung (stationär und mobil) bei Abwasserreinigungsanlagen (ÖWAV, 2007).

Messverfahren	Messwert-aufnehmer	Messwertaufnehmer mit Medienkontakt	Partikelführung erforderlich	Mindestleitfähigkeit erforderlich	Fehlmessung bei Rückstau bzw. Fließrichtungsumkehr	Mindestwassertiefe erforderlich
Messstrecken, Messrinnen, Messwehre (scharfkantiger bzw. vollkommener Überfall) [hydraulische Verfahren]	Echolot	nein	nein	nein	ja	nein
	Drucksensor	ja	nein	nein	ja	ja
	Lufteinperlung	nein	nein	nein	ja	ja
Geschwindigkeitsmessung magnetisch-induktiv	Elektroden	ja	nein	ja	nein*	**
Geschwindigkeitsmessung magnetisch-induktiv, punktförmig	kombin. mit Höhe	ja	nein	ja	***	ja
Geschwindigkeitsmessung Ultraschall-Doppler	kombin. mit Höhe	ja	ja	nein	nein	ja
Geschwindigkeitsmessung Ultraschall-Laufzeit		nein	nein	nein	nein	**
Geschwindigkeitsmessung Ultraschall-Kreuzkorrelation	kombin. mit Höhe	ja	ja	nein	nein	ja
Geschwindigkeitsmessung Radar	kombin. mit Höhe	nein	nein	nein	ja	nein

* Einbaurichtung beachten, ** Rohrvorfüllung erforderlich, *** Fließrichtungswechsel wird erkannt, aber ungenauer

Bei einigen Hauptpumpstationen wird eine Mengenmessung der abgepumpten und der ankommenden Abwassermengen mittels eines magnetisch induktiven Durchflussmessers (MID) bereits durchgeführt. Ebenso kann nach jedem Pumpensatz ein Manometer an der Druckleitung installiert werden. Dadurch kann eine etwaige Veränderung in der Anlagenkennlinie, bzw. im Fall, dass bereits eine Seeleitung durch einen anderen Pumpvorgang belegt wird, erkannt werden und somit ein effizienteres Leitungsmanagement betrieben werden.

Das Messprinzip des magnetisch induktiven Durchflussmessers

Grundlage ist das faradaysche Induktionsgesetz. Der magnetisch induktive Durchflussmesser (MID) nach Abbildung 57 besteht aus einem nicht-ferromagnetischen Messrohr mit einer innen elektrisch isolierender Oberfläche. Gegenüberliegend sind auf dem Rohr montierte Magnetspulen und Elektroden angebracht, die in Verbindung mit dem Messmedium (Wasser) in Kontakt stehen. Die Feldspulen, welche stromdurchflossen sind, erzeugen ein Magnetfeld mit der Induktion B

senkrecht zur Rohrlängsachse. Das erzeugte Magnetfeld wird vom Messrohr und dem darin fließenden Medium durchdrungen. Da das Wasser elektrisch leitfähig ist, muss entsprechend dem Induktionsgesetz eine Spannung U_i induziert werden, die der mittleren Fließgeschwindigkeit \bar{v} des Messstoffes, der Induktion B und dem Rohr-Innendurchmesser D proportional ist.

Es gilt vereinfacht: $U_i = k * B * D * \bar{v}$

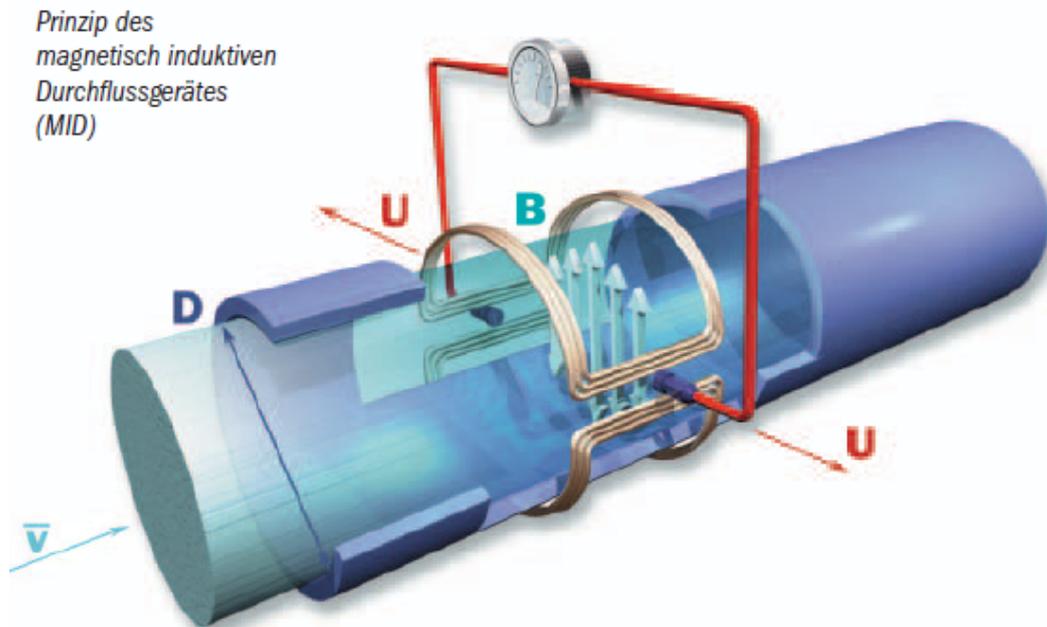


Abbildung 57: Messprinzip des magnetisch induktiven Durchflussmessers (Hofman, 2003).

Die Messwertabweichung des MID beträgt lt. Herstellerangaben $\pm 0,5\%$. Die Angaben gelten jedoch nur für homogene Medien. Bei Abwasser ist von höheren Abweichungen auszugehen.

Im ÖWAV RB 38 (ÖWAV, 2007) werden sowohl Garantie- als auch Verkehrsfehlergrenzen unterschieden, wobei die Garantiefehlergrenze je nach Verfahren bis zu 5% betragen können. Die tatsächlichen Fehlergrenzen können jedoch ein Vielfaches der Garantiefehlergrenze betragen, wobei nach ÖWAV (2007) folgende Faktoren zu berücksichtigen sind:

- **Einbaubedingungen und hydraulische Randbedingungen:**
„Mangelnde Qualität bei Planung und Ausführung der Messeinrichtungen können hohe Verkehrsfehler im Betrieb verursachen.“
- **Betrieb und Wartung der Messeinrichtung:**
„Durch mangelnde Wartung können vor allem Ablagerungen im Messquerschnitt zu hohen Verkehrsfehlern führen.“
- **Zeitliche Komponente:**
„Hohe Verkehrsfehler können bei kurzfristig schwankenden Durchflüssen auftreten und dürfen nicht auf längerfristige Messungen (Tages-, Wochen- oder Monatswerte) hochgerechnet werden.“

„Die Abweichung des installierten Messsystems zum Vergleichs-Messsystem darf für den jeweils überprüften Messbereich unter Betriebsbedingungen 10% nicht überschreiten.“ (ÖWAV, 2007)

14.6. Optische Zustandserfassung

14.6.1. Axialkamera mit Saugschirm

Die Axialkamera mit Saugschirm ist eine kabelgebundene Inspektionsmethode für Druckleitungen. Bevor die Axialkamera in die Druckleitung eingebracht werden kann, muss zuvor ein Stahlseil mit einem Saugschirm vom Anfangsschacht (zumeist der Pumpenschacht) in die Leitung eingezogen werden (siehe Abbildung 58 und Abbildung 59). Beim Endschacht (Auslaufbauwerk) wird das eingezogene Stahlseil mit der Axialkamera verbunden (siehe Abbildung 60) um diese anschließend durch die Leitung zu ziehen. Mit diesem Verfahren können laut Hersteller Seedruckleitungen bis 1,6 km inspiziert werden können. Getestet wurde dieses Verfahren im Rahmen dieser Studie bei einer 800 m langen Druckleitung (Betreiber: WV Wörthersee Ost). Für längere Seedruckleitungen gibt es derzeit noch keine Erfahrungen.

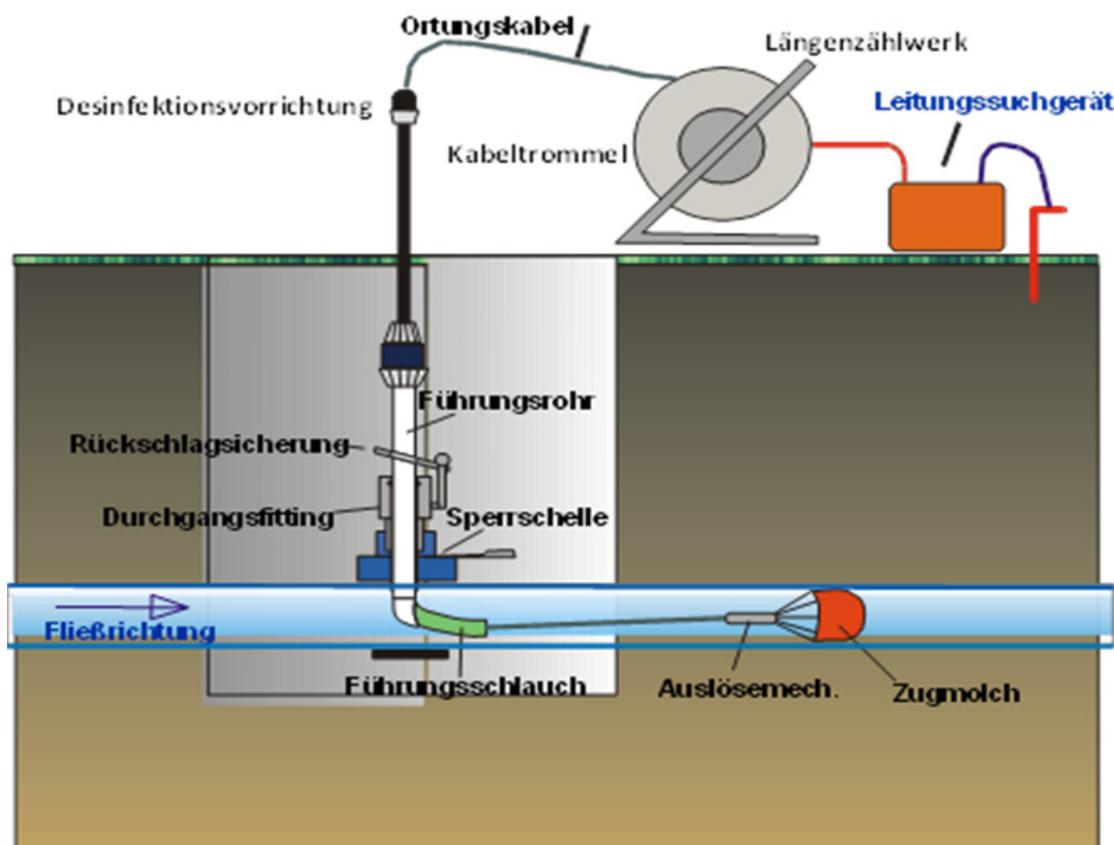


Abbildung 58: Einschwemmverfahren (Unterdechler, 2014).

Der Einsatz der Axialkamera ist unabhängig vom Rohrmaterial und Durchmesser. Die Aufzeichnung der Zustände in der Seedruckleitung erfolgt in einem Kastenwagen, wie es bei der herkömmlichen TV-Inspektion mit Fahrwagen üblich ist. Das Bild wird mittels Lichtwellenleiter zum Kastenwagen gesendet. Bildinformationen wie Stammdaten und Zustandsdaten zur inspizierten Leitung werden wie gewohnt ins Videobild eingeblendet.

Da dieses Verfahren kabelgebunden ist, kann die Kamera bei Unklarheiten gestoppt bzw. zurückgezogen werden, um den betreffenden Zustand nochmals genauer inspizieren zu können. Eine Reinigung der Leitung mit Hilfe von Molchen sollte unbedingt vorher durchgeführt werden, da in der Druckleitung vorhandene Schwebstoffe und Ablagerungen die Sicht behindern bzw. es unmöglich machen, qualitative Aussagen zum Zustand der Leitung zu machen.



Abbildung 59: Einschwemmverfahren / Einziehen des Stahlseils.



Abbildung 60: Axialkamera vor ihrem Einsatz, verbunden mit dem Stahlseil.

14.6.2. Inspektionsmolch

Der Inspektionsmolch (Pipe-Inspector®; Abbildung 61) stellt eine alternative Inspektionsmethode dar, der sowohl im Freispiegelkanal als auch in einer Druckleitung eingesetzt werden kann. Es handelt sich dabei um eine kabellose Videoinspektion inkl. Leckortung. Dieses Gerät wird wie ein Molch mit Wasser durch die zu untersuchende Leitung gespült und am Zielschacht aufgefangen. Bild, Ton und andere Signale werden auf einer integrierten SD-Karte aufgezeichnet und gespeichert. Um die Ergebnisse im Arbeitsprozess ohne Schwierigkeiten nutzen zu können, müssen die Signale mit Hilfe einer Software umgewandelt werden. Grenzen dieser

Inspektionsmethode sind noch nicht dokumentiert und ausgetestet (siehe auch die Erklärungen unter Kapitel 14.2.3).

Der Pipe-Inspector® der ersten Generation (Abbildung 61) hat folgende Spezifikationen:

- Video in Full HD 1920x1080p bei 15 oder 30 Bildern pro Sekunde
- Energieversorgung mit Lithium-Ionen Akku für ca. 3 Stunden (5 Stunden Ladezeit)
- Beleuchtung durch LED-Ring um Kameralinse
- Akustische Leckortung mit Mikrofon 70-4000 Hertz
- Temperaturmessung von 0-70 °C
- Druckmessung von 0-100 bar
- Positionsmessung mit Beschleunigungssensoren
- Ortungssignal 512 bzw. 33 Hertz
- Explosionsschutz ATEX
- Datentransfer durch USB 2.0



Abbildung 61: Pipe-Inspector® (Fa. MTA GmbH).

Die Befahrung erfolgt passiv, d.h. der Pipe-Inspector® wird mit möglichst klarem Wasser wie ein Molch mitgeschwemmt und kann danach nicht gesteuert werden. Um das Video nach der Untersuchung auswerten zu können, muss zuvor eine gründliche Reinigung der Leitung erfolgen

Für die Inspektion wäre ein konstanter Wasserfluss ideal. Die maximale Geschwindigkeit von 4 m/s sollte nicht überschritten werden, damit die Qualität der Videoaufnahme optimal ist. Auch sollte der Wasserfluss nicht zu gering sein, da ansonsten der Pipe-Inspector® nicht am Zielschacht ankommt. Der ideale Wasserfluss muss von der Firma noch ermittelt werden. Dieser ist abhängig von der Neigung, vom Durchmesser und der Länge der Leitung.

Um einen konstanten Durchfluss zu erreichen, gibt es folgende Möglichkeiten:

- Der Anschluss an einen Hydranten (optimale Lösung).
- Der Einsatz eines Spülwagens (dieser sollte zumindest das doppelte Wasserfangungsvermögen der Druckleitung besitzen).
- Das „unter Druck setzen“ der Leitung.

Bei den aktuellen Seedruckleitungen darf nicht vergessen werden, dass viele von diesen keine vorgesehene Inspektionsöffnung oder Schleuse besitzen, um den Inspektionsmolch einzusetzen. In diesem Fall muss (wie auch beim Einsatz der Axialkamera mit Saugschirm) improvisiert werden.

Der Einsatz des Inspektionsmolchs ist unabhängig vom Rohrmaterial und Durchmesser. Die Bildinformationen wie Stammdaten und Zustandsdaten zur inspizierten Leitung werden derzeit noch nicht ins Videobild eingeblendet.

Das dieses Verfahren nicht kabelgebunden und ist somit unabhängig von der Seedruckleitungslänge. Bei Unklarheiten kann aber die Kamera nicht gestoppt bzw. zurückgezogen werden. Eine Reinigung der Leitung sollte unbedingt durchgeführt werden, da in der Druckleitung vorhandene Schwebstoffe und Ablagerungen die Sicht behindern bzw. unmöglich machen um qualitative Aussagen zum Zustand der Leitung machen zu können.

14.6.3. Beurteilung der Ergebnisse der optischen Inspektionsmöglichkeiten

Im Rahmen dieses Projektes konnte eine 800 m lange Seedruckleitung im Wörthersee mit den beiden zuvor genannten Inspektionsmethoden getestet werden. Ein direkter Vergleich zwischen den zwei Varianten Axialkamera mit Saugschirm und Pipe-Inspector® ist trotz Befahrung der gleichen Druckleitung nicht möglich. Mit der Axialkamera wurde vom Auslaufbauwerk (Endschacht) begonnen. Dabei wurde die Inspektion aufgrund eines Gewitters nach ca. 400 m abgebrochen. Die Inspektion mit dem Pipe-Inspector® wurde vom Pumpwerk (Anfangsschacht) begonnen. Ab ca. 499 m Länge war aber aufgrund der Wassertrübung kaum mehr etwas von der Rohrrinnenwand zu erkennen.

Beurteilung der Inspektionsmethode Axialkamera mit Saugschirm

Die Kamera war nicht exakt zentrisch, wodurch der Rohrquerschnitt nicht zur Gänze sichtbar war. Die Position Rohrscheitel und Rohrsohle verändern sich ständig im Laufe der Aufnahmen. In Kameramitte befinden sich drei Zugseile, welche teilweise beim Analysieren der Aufnahmen stören bzw. können kleinere Schäden damit eventuell verdeckt werden. Die Sichtweite beträgt durch die vorhandene Ausleuchtung und dem Reinigungsgrad der Rohrrinnenwand etwa einen Meter. Die Durchziehgeschwindigkeit variiert stark. Dazu kommt noch, dass selbst bei geringen Geschwindigkeiten mit einem Informationsverlust zu rechnen ist. Grobe, eindeutige Zustände können jedoch erkannt werden.



Abbildung 62: Inspektionsbild der Axialkamera mit Saugschirm.

Beurteilung der Inspektionsmethode Pipe Inspector®

Die meiste Zeit ist das Bild des Pipe-Inspectors® unscharf, wahrscheinlich verursacht durch die nicht ordnungsgemäße Reinigung der Seedruckleitung. Die vorhandenen Schwebstoffe in der Druckleitung fallen allerdings weit weniger negativ auf als mit den Aufnahmen der Axialkamera mit Saugschirm.

Die Kamera befindet sich die meiste Zeit zentrisch im Rohr, wodurch nahezu der ganze Rohrquerschnitt erkennbar ist. Allerdings taucht immer wieder eine, für das Betrachten der Aufnahmen störende Pendelbewegung, sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung auf. Besonders bei Beschleunigungsphasen wirkt diese Pendelbewegung störend und es gehen dadurch Bildinformationen verloren.

Nachteilig wirkt sich auch die hohe Geschwindigkeit aus, welche nicht beeinflusst werden kann. Gerade am Beginn der Leitung wird die Aufnahme gestört durch hohe Geschwindigkeiten und Wasserverwirbelungen.



Abbildung 63: Inspektionsbild des Pipe-Inspectors®.

Fazit

Die Videoaufnahmen mit der Axialkamera mit Saugschirm oder dem Pipe-Inspector® haben nicht annähernd die Qualität der Videoaufnahmen einer herkömmlichen Freispiegel-TV-Inspektion. Des Weiteren geht durch die fehlende Kamerazentrierung vieles an Bildinformation verloren.

Viele kleine und punktuelle Zustände, welche aus der Freispiegelinspektion bekannt sind wie z.B. Risse, sind nicht oder nur kaum erkennbar. Allerdings bekommt man durch diese Inspektionen schon einen guten Eindruck über den Zustand der Leitung. Wichtige Zustände wie z.B. die Breite von Längsrissen oder Leckstellen sollten aber damit erkannt werden können. Die Größe der Schäden ist bei der Erkennbarkeit jedoch ein limitierender Faktor.

Ein weiteres Problem ist die schwarze Färbung der Innenwand. Die Leuchtkraft der mitgeführten Leuchtquellen reicht möglicherweise bei einem ideal gereinigten Rohr nicht mehr aus, einen guten Überblick über den Zustand zu gewährleisten.

Tabelle 15 zeigt eine Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften der beiden, im Zuge der Studie, angewendeten optischen Inspektionsmethoden.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Eigenschaften der hier beschriebenen optischen Inspektionsmethoden.

	Axialkamera mit Saugschirm	Pipe-Inspector®
durchführbare Inspektionslänge der Seedruckleitung	getestet wurde bis ca. 1,5 km Leitungslänge; für längere Leitungen gibt es noch keine Erfahrungen	unabhängig von der Leitungslänge
Kamerabildauflösung	Herstellerangaben nicht vorhanden, jedoch keine Full-HD Auflösung	Full-HD 1920x1080p
Stromversorgung	keine Angaben vorhanden	Akku (reicht für ca. 3 Stunden)
Positionsmessung	erfolgt über Kabeltrommel	Rückrechnung von integrierten Beschleunigungssensoren
Zustandserfassung	aktiv, Zustandserfassung erfolgt im Kastenwagen vor Ort	passiv, Zustandserfassung erfolgt nachträglich im Büro
Fortbewegung des Inspektionsgerätes	mittels eingezogenem Stahlseil	mittels konstantem Wasserfluss z.B. von einem Hydranten
Zurückholen des Inspektionsgerätes	mittels eingezogenem Stahlseil jederzeit durchführbar	mittels Zurückspülen möglich
Einblendung von Stamm- und Zustandsdaten	Erfolgt wie bei einer herkömmlichen TV-Inspektion mittels Fahrwagen	nur Positionsangabe am Videobild ersichtlich
Abschwenken und genaues Betrachten bzw. anhalten bei unklaren Zuständen	mittels Stahlseil kann die Kamera zurückgezogen werden, das Abschwenken ist nicht möglich	NEIN, genaue Betrachtung bzw. anhalten bei unklaren Zuständen ist nicht möglich

14.6.4. Allgemeine Anforderungen an die optische Zustandserfassung

Kenntnisse zum Druckleitungsbestand

- Durch das Vorhandensein einer zweiten parallelen Druckleitung entfällt die Herausforderung des Zeitmanagements bezüglich der Nichtnutzbarkeit der Leitung während den Untersuchungen. Die Untersuchungen können wesentlich „entspannter“ vorgenommen werden.
- Ein Hydrant in der Nähe der zu untersuchenden Leitung ist für die Spülung notwendig.
- Seedruckleitungen sind in seichten Gewässern bis 20 Meter Tiefe sehr einfach ort- und damit auch vermessbar.
- Für eine Pipe-Inspector®-Untersuchung empfiehlt es sich mit zwei zweier Teams zu arbeiten. Das Hin- und Herfahren kostet einiges an Zeit, besonders da bei Seedruckleitungen der Weg zwischen Pumpwerk und Endschacht nicht in Luftlinie verläuft. Dazu können einige Arbeiten parallel gemacht werden.
- Der Pipe-Inspector® benötigt für 1000 Meter zwischen ein- und eineinhalb Stunden.
- Jede alte Leitung hat ihre Besonderheiten. Bei der inspizierten Druckleitung am Wörthersee gab es eine Durchmesserengung im Seebereich.

- Das Risiko des Steckenbleibens ist hoch (dies passierte zweimal bei zwei Tests). Selbst wenn ein Schaumstoffmolch durchkommt (max. Verengung des Leitungsdurchmessers um über 50% möglich), kann der Pipe-Inspector® steckenbleiben.
- Direkt vor dem Befahren muss die Leitung mit einem Molch gesäubert werden – einfaches Spülen reicht nicht.
- Das Auffangsystem muss aus zwei Stufen bestehen: Aus einem festen Gitter und einem Kescher. Ohne Gitter ist das Risiko zu hoch, dass der Pipe-Inspector® verloren geht.
- Die einzelnen Untersuchungsprozesse sind von kurzer Dauer. Es darf dabei nicht vergessen werden, dass Vorbereitungen getroffen werden müssen. Diese Vorbereitungszeiten gilt es zu optimieren.
- Ein Ankommen des Pipe-Inspector® bedeutet nicht, dass die Befahrung erfolgreich war. Entscheidend ist die Qualität des Videos.
- Wahrscheinlich löst sich durch Intervallpumpen noch mehr Schmutz und beeinträchtigt so das Bild. Dies ist in weiteren Untersuchungen zu verifizieren.

Reinigung der Druckleitung

Die sinnvollste Methode für die Reinigung von Druckleitungen ist mit Hilfe eines Molchs (Abbildung 64). Dieser besteht aus Schaumstoff und hat die Aufgabe, beim langsamen Vorwärtsbewegen Ablagerungen von der Wand abzulösen sowie alle sedimentierten Partikel vor sich herzuschieben, um somit die Leitung zu reinigen. Beim Molchen ist auf die richtige Geschwindigkeit zu achten. Ideal ist eine Geschwindigkeit von 0,1 bis 0,2 m/s. Bei einer Geschwindigkeit von ≥ 1 m/s wird das Reinigungsergebnis schlechter – der Molch schiebt dann die Ablagerungen nicht mehr vor sich her, sondern „rutscht“ an ihnen vorbei. Sein Durchmesser sollte 10% größer sein als der Durchmesser der zu reinigenden Leitung.

Die Leitung sollte mehrere Male mit Trinkwasser gemolcht werden. Wird die Leitung zu wenig gereinigt, bleiben Reste des Biofilms an der Rohrwand haften. Des Weiteren bleibt das Wasser trübe bzw. ist mit vielen Schwebstoffpartikeln durchsetzt. Dadurch leidet die Bildqualität der nachfolgenden Inspektion.

Ein ideales Molchergebnis kann aufgrund der schwarzen Innenwandung bei Polyethylenrohren jedoch einen Einfluss auf die Ausleuchtung während der Inspektion haben.



Abbildung 64: Für die Reinigung verwendeter Schaumstoffmolch.

15. Risikoanalyse und Risikobewertung

15.1. Einführung

Wie in Kapitel 7 dargestellt, beinhaltet die probabilistische Risikoanalyse folgende Elemente:

- Definition des Ziels der Analyse – Welches Risiko wird erhoben?
- Definition und Häufigkeit von „auslösenden Ereignissen“.
- Entwicklung eines Schadenfalls – Bedeutung von Sicherheitssystemen.
- Abbilden der Schadenfallszenarien und Schadenswirkungen in Ereignisbäumen.

Im vorliegenden Kapitel wird eine dem Problem angepasste probabilistische Risikoanalyse (PRA) entwickelt. Dafür werden zuerst einige Begriffe definiert, die im Kapitel 15.2 Verwendung finden. Danach wird, wie oben beschrieben, das Ziel der Analyse festgelegt (Kapitel 15.3), mögliche „auslösende Ereignisse“ für Seedruckleitungen werden gesucht und benannt (Kapitel 15.4), ebenso wie nachgelagerte Sicherheitssysteme (Kapitel 15.5). Schließlich wird in Kapitel 15.6 beschrieben, wie die Ergebnisse der Analyse für das System „Seedruckleitung“ zweckmäßig dargestellt werden können.

15.2. Lage der Leitung: Uferbereich – Zentralbereich / Reparaturbereich

Um eine Einteilung der im See verlegten Rohrabschnitte hinsichtlich deren Lage und Reparaturmöglichkeiten besser abschätzen zu können, wurden drei verschiedene Bereiche definiert. Diese sind zum besseren Verständnis in Abbildung 65 graphisch dargestellt.

Uferbereich (UB)

Der Uferbereich im See (vgl. dazu auch Abbildung 2) ist definiert als diejenige Fläche innerhalb einer fiktiven Linie im Abstand von 50 m zur Uferlinie, in der sich gewöhnlich die Badenden aufhalten.

Zentralbereich (ZB)

Der Rest der Seeoberfläche wird als Zentralbereich angesehen, wobei auch hier vereinzelt Badende anzutreffen sind.

Reparaturbereich (RB)

Der Reparaturbereich entspricht der Annahme, dass entsprechend ausgebildete Taucher bis zu einer Tiefe von 20 m ohne größere Probleme tauchen können um z.B. eine Reparaturschelle anzubringen.

Zusätzliche Informationen bezüglich der Zuordnung der Seedruckleitungslängen zum Ufer- oder Zentralbereich können dem → Ergänzungsband zu dieser Studie entnommen werden.

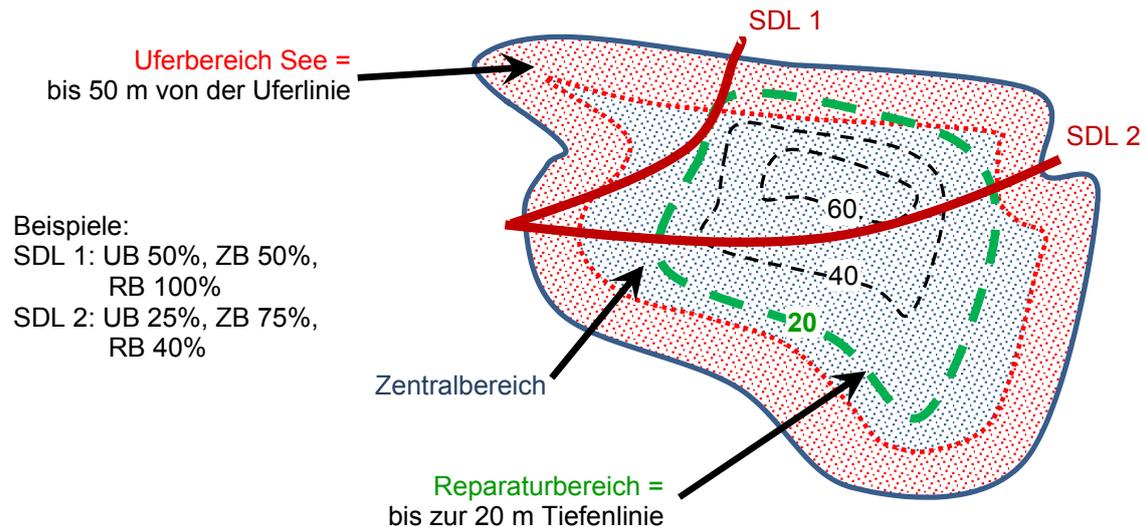


Abbildung 65: Erklärung der betrachteten Leitungsabschnitte und Bereiche im See.

15.3. Risikoziel: Fiktiver Schaden einer Seedruckleitung mit Freisetzung von Abwasser in den See

Die organischen Anteile der vorwiegend häuslichen Abwässer aus der Kanalisation sind, von manchen synthetischen Anteilen abgesehen, als sogenannte Nährstoffe biologisch gut abbaubar. Ein Problem mit den Nährstoffen Stickstoff und Phosphor und im Besonderen mit pathogenen Keimen tritt aber jedenfalls dann auf, wenn größere Mengen von Abwässern ungewollt in die Seen eingeleitet würden. Zu beachten ist dabei, dass es in der Regel weitere schwer kontrollierbare Einleitungen in die Seen gibt. Dies betrifft unter der Kategorie diffuse Einleitungen insbesondere die landwirtschaftliche Nutzung (vgl. Kapitel 11.2).

Es gilt eine geeignete „zulässige Abwassermenge“ für jeden See zu definieren. Größen, die dabei berücksichtigt werden müssen, sind insbesondere die derzeitige durchschnittliche Nährstoffkonzentration, die Wassermenge des Sees und die Zeitdauer, bis die Wassermenge des Sees durch Zufluss und Abfluss getauscht wird (Wassererneuerungszeit nach Kapitel 9).

Es muss unterschieden werden, zu welcher Jahreszeit ein Leck auftritt. Während ein Leck im Winter hygienisch betrachtet weniger belastend ausfallen kann, können Lecks während der Badesaison im Sommer Gesundheitsrisiken für Badende darstellen oder empfindliche Imagarisiken für die betroffene Ferienregionen erzeugen. Die Risikoanalyse wird daher für die Badesaison und die übrige Jahreszeit getrennt durchgeführt.

Ebenso relevant ist der Ort, an dem ein Leck auftritt. Die Auswirkungen eines Lecks in Ufernähe können zusätzlich zu den Nährstoffeinträgen in den See auch ein Hygieneproblem für Badende darstellen und sind daher schwerer zu werten als die eines Lecks im Zentralbereich. Die zulässige Abwassermenge, die zu betrachten ist, gliedert sich daher für jeden See nach Saison und Position des Lecks auf.

Es kommen daher zwei Arten der Betrachtung bzgl. der Auswirkung auf den See bzw. die Menschen zur Anwendung:

➤ **keine Badesaison ↔ Nährstoffhaushalt:**

Außerhalb der Badesaison ist die Auswirkung auf den Nährstoffhaushalt des Sees im Fokus der Betrachtung. Eine Erhöhung der Gesamtphosphorkonzentration (Total

Phosphor, TP) im Seewasserkörper um max. 1,0 µg/L wird als zumutbar angesehen und als Grenzkriterium gewählt (siehe Kapitel 13.3).

➤ **Badesaison ↔ Hygiene**

Innerhalb der Badesaison erfolgt die Abschätzung der hygienischen Auswirkung mit dem Indikatorkeim *E.coli* (siehe Kapitel 12).

Badesaison: Als Badesaison wird derjenige Zeitabschnitt in Jahresverlauf verstanden, der durch die besonderen Bedingungen (Lufttemperatur, Sonnenstrahlung, Wassertemperatur) zum Baden einladet. Nach der EU Badegewässerrichtlinie 2006/7/EG gilt als Badesaison derjenige Zeitraum, in dem mit einer großen Zahl von Badenden gerechnet werden kann. Laut der Badegewässerverordnung – BGewV (BGBl. II 349/2009) umfasst die Badesaison dem Zeitraum vom 15. Juni bis 31. August eines jeden Kalenderjahres.

Badebereich: In dieser Studie wird, entgegen den bei manchen Seen nur stellenweise ausgewiesenen Zonen, der gesamte Uferbereich als Badebereich angesehen. Diese Annahme entspricht jedoch auch bei den stark verbauten Seen der Realität. Bei den Seen mit ausgewiesenen Badebereichen wird davon ausgegangen, dass man durch Boote von diesen Badebereichen in die angrenzenden Bereiche gelangen kann um dort zu baden.

In Tabelle 16 ist die Grundlage der Bewertungsmatrix pro Seedruckleitung dargestellt. Dabei sind die Anforderungen während der Badesaison im seeseitigen Uferbereich am höchsten (nur max. 1 m³ Abwasseraustritt sind „erlaubt“). Im Zentralbereich (max. 100 m³ Abwasseraustritt) geht man davon aus, dass die bei einem Schaden ausgetretene Abwassermenge am Seegrund eine entsprechende Verdünnung erfährt. Wenn das am Seegrund kontaminierte Wasser (im Bereich der Zentralzone) nun nach oben steigt und in den Bereich der Uferzone gelangt, weist es bereits eine starke Verdünnung auf. Diese besitzt nun hypothetisch einen ähnlichen Verschmutzungsgrad als wenn der Schaden im Bereich des seeseitigen Uferbereichs (mit max. 1 m³ Abwasseraustritt) eingetreten wäre. Somit legt Tabelle 16 fest, was die vorliegende Studie als „schwerwiegendes Ereignis“ für die Risikoanalyse definiert.

Tabelle 16: Matrix für die Bewertung der fiktiven Exposition von Abwasser (durch einen Schaden an der SDL) in Abhängigkeit der Örtlichkeit und Zeitpunkt des Auftretens.

	Uferbereich	Zentralbereich-
Badesaison	Generell: max. 1 m³ Abwasser	Generell: max. 100 m³ Abwasser
keine Badesaison	Menge an Abwasser in [m³] um eine TP-Erhöhung von max. 1,0 µg/L zu erwirken *	Menge an Abwasser in [m³] um eine TP-Erhöhung von max. 1,0 µg/L zu erwirken *

* ... Um die Bewertung des aktuell „guten ökologischen Zustands“ im Ossiacher See und im Wörthersee nicht zu verschlechtern, dürfte die theoretische Erhöhung der Gesamtposphorkonzentration (TP) jedoch nur 0,3 (Ossiacher See) bzw. 0,7 µg/L (Wörthersee) betragen.

Zu beachten ist auch, dass nicht jede Einleitung aus sich heraus problematisch sein muss. So haben die Pumpwerke an größeren Seen in Österreich meist wasserrechtlich bewilligte Mischwasserüberläufe (für Abwässer und Regenwässer), da bei sehr großen Regenmengen die

Pumpsysteme überlastet sein können. Dies bedeutet eine kurzfristige Duldung von begrenzten Einleitungsmengen² stark verdünnten Abwassers.

Die Auswertung der Erhebungen zeigt zwei dominante Risikopfade zur Freisetzung großer Mengen von Abwässern in die Seen auf: (1) Nicht in allen Fällen sind Instrumentierung, Überwachung und Wartungszyklen des Systems Seedruckleitung so gestaltet, dass Lecks oder gar Brüche der Seedruckleitung schnell entdeckt werden können. Ein unentdeckter Bruch kann zu lang anhaltenden unbeabsichtigten Ausleitungen³ in den See führen. (2) Beim zweiten dominanten Risikopfad kann ein entdeckter Bruch oder ein entdecktes Leck an einer tief gelegenen Seedruckleitung wegen mangelnder Zugänglichkeit nicht repariert werden; stattdessen müsste die Seedruckleitung entfernt (oder stillgelegt) und eine neue Seedruckleitung verlegt werden. Bei größeren Seedruckleitungen und hohen Tagesvolumen an Abwässern ist ein Alternativbetrieb etwa durch Saugwägen nicht zu bewerkstelligen; Abwässer müssten im Extremfall bis zur Betriebsbereitschaft der neuen Leitung in den See ausgeleitet werden.

15.4. Auslösende Ereignisse für ungewollte Abwassereinspeisungen in Badeseen

Die Liste der auslösenden Ereignisse wird im Hinblick auf die Zielsetzung auf zwei Ereignisse reduziert:

- **großes Leck** der Seedruckleitung, ein versetzter Querriss oder ein ausgedehnter Längsriss mit einer Bruchfläche äquivalent zu 100% der Querschnittsfläche
- **kleines Leck** der Seedruckleitung (Äquivalentdurchmesser < 1% des Leitungsdurchmessers, was in etwa 5% der Durchflussmenge entspricht)

Ausgangspunkt der Analyse (und des Ereignisbaumes) ist die Häufigkeit, mit der Lecks zu erwarten sind – die Versagenshäufigkeit.

Kunststoffleitungen, die allgemein in verschiedenen Bereichen zum Einsatz kommen, weisen sehr unterschiedliche Versagenshäufigkeiten auf. Kunststoffleitungen verschiedenen Materials im Bereich Brandbekämpfung weisen Fehlerraten von 10^{-8} bis $5,0 \times 10^{-5}$ pro Jahr und Meter auf (siehe Lydell, 2000). Fehlerraten für Kunststoffleitungen im Nebenkühlsystem von Kernkraftwerken reichen von 10^{-8} bis $2,0 \times 10^{-4}$ / (a.m) (Lydell, 2000). Bengt (2008) empfiehlt, bei Verwendung von Kunststoffleitungen bzw. Schläuchen in Kernkraftwerken Versagensfehlerhäufigkeiten von $8,0 \times 10^{-6}$ / (a.m), für Fehlerhäufigkeiten für vollversetzte Brüche über den gesamten Umfang mit $3,0 \times 10^{-7}$ / (a.m) zu verwenden. In Blanchard (1998) werden Fehlerraten für PVC Leitungen mit $1,5 \times 10^{-3}$ / (a.m) angegeben. In DIRPA (2012) wird darauf verwiesen, dass bei PVC Leitungen die frühen Ausfälle dominieren – über 90% der Leitungsversagen treten in den ersten 40 Betriebsjahren auf. Grundsätzlich werden PVC Leitungen bei fachgerechter Planung und

² Allerdings wird die Forderung nach Trennung von Abwässern und Regenwasser zunehmend strikter, was spezifische Sanierungsmaßnahmen nach sich zieht.

³ Als Beispiel sei genannt: für etwa eine Woche gab es eine größere Einleitung in einen See, die zunächst unbemerkt blieb. Der Grund lag in einer defekten Schweißnaht zwischen zwei Seedruckleitungsrohren. Über 20 Jahre lang gab es augenscheinlich keine Probleme. Die Ursache könnte dennoch ein Produktionsfehler gewesen sein, über den während eines langen Zeitraums – solange der Schaden nur eine geringe Undichtigkeit verursachte – theoretisch geringfügige (d.h. unbemerkte) Einleitungen in das Gewässer stattfanden.

Verbauung Lebensdauern von über 100 Betriebsjahren zugeschrieben (Folkman, 2012). Die Erfahrungen, die im Bereich PVC Leitungen gemacht wurden, können mit einiger Vorsicht auf Polyethylenleitungen (PE Leitungen) übertragen werden (Walker, 2007). Nach Walker (2007) verhalten sich PE und PVC Leitungen bei Drücken unter 6,5 bar und Flussgeschwindigkeiten bis zu 1,5 m/s ähnlich, bei höheren Drücken und Flüssen zeigen PE Leitungen bessere Belastbarkeit. Diese Beziehung zwischen PE und PVC Leitungen wird qualitativ auch in (CPC, 2015) bestätigt, in der eine Statistik von PE bzw PVC Leitungsversagen europäischer Leitungen von 1995 bis 2003 veröffentlicht wurde. Demzufolge zeigen europäische PE Leitungen im Schnitt eine Fehlerrate von 4 pro 100 km und Jahr [$4,0 \times 10^{-5} / (\text{a.m})$], gegenüber 9 pro 100 km und Jahr [$9,0 \times 10^{-5} / (\text{a.m})$] für PVC Leitungen. In AfP (2015) schließlich wird die Anwendbarkeit der Badewannenkurve⁴ für PVC/PE Leitungen besprochen.

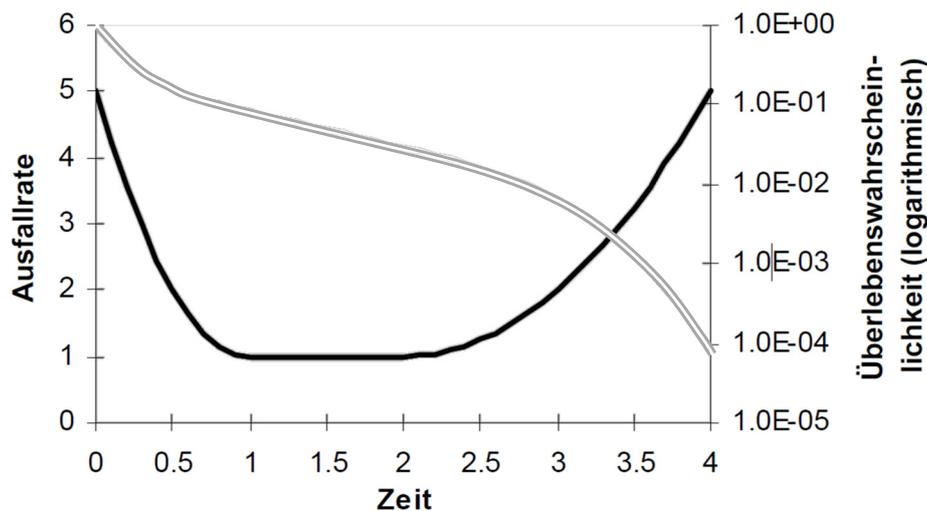


Abbildung 66: Badewannenkurve aus Grams (2001; modifiziert): Die gesamte Ausfallrate (dunkle Kurve) setzt sich aus frühen Ausfällen, einer konstanten Ausfallrate und Altersausfällen zusammen. (Hinweis: Die helle Doppel-Kurve entspricht der zugehörigen Überlebenswahrscheinlichkeit.)

Zahlen für Fehlerhäufigkeiten von PE-Leitungen (und PVC Leitungen) aus der Literatur reichen also von 10^{-8} bis hin zu $1,5 \times 10^{-3}$ pro Jahr und Meter. Eine Analyse der erhobenen Daten innerhalb dieser Studie weist darauf hin, dass sich die Druckleitungen der betroffenen österreichischen Seen am unteren Ende der Skala befinden: nur 15 Vorfälle, die nicht auf externe Ereignisse wie Beschädigungen der Leitung beim unachtsamen Bau eines Stegs zurückzuführen sind, sind aus der Betriebszeit bekannt. Es wird grundsätzlich angenommen, dass die Ausfallverteilung der Seedruckleitungen einer Badewannenkurve (Abbildung 66) folgt. Allerdings sind die beobachteten Fehler ohne Ausnahme auf Einbaufehler zurückzuführen, es wird daher angenommen, dass über einen längeren Zeitraum gesehen, nach einem kurzzeitigen Anstieg mit einem Abnehmen der Fehlerrate gerechnet werden kann, als Effekt einer sehr langen Burn-in Zeit. Allerdings sind für eine belastbare Prognose im Falle der SDL nicht ausreichend Daten vorhanden.

⁴ Die Ausfallrate eines Produktes gibt an, wie viele Ausfälle („Ausfall“ bezeichnet in diesem Zusammenhang das Ende der Funktionstüchtigkeit des Produkts) dieses Produkts pro Zeiteinheit zu erwarten sind. Die Ausfallrate ist nicht konstant sondern verändert sich im Laufe der Lebenszeit des Produkts. Typischerweise folgt der Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit der sogenannten „Badewannenkurve“. Die Badewannenkurve, siehe auch Abbildung 66, kann in drei Phasen unterteilt werden: die Phase der Frühausfälle, die durch Produktions- bzw. Einbau- oder Verlegungsfehler zustande kommen. In dieser Phase sinkt die Ausfallrate ab. Die nächste Phase ist die der Zufallsausfälle, in der fast kein Verschleiß stattfindet und die Ausfallrate nahezu konstant verläuft. In der letzten Phase, der der Alterserscheinungen, treten vermehrt Verschleißausfälle durch zunehmenden Alterungsverschleiß auf und die Ausfallrate steigt wieder an.

Tabelle 17: Vergleich von Fehlerraten für Kunststoffleitungen aus der Literatur und gegenständlichen Studie.

Einsatzbereich	Fehlerrate Min [#/(a.m)]	Fehlerrate Max [#/(a.m)]	Quelle
Brandbekämpfung	10^{-8}	5×10^{-5}	Lydell, 2000
Nebenkühlsystem Kernkraftwerke (KKW)	10^{-8}	2×10^{-4}	Lydell, 2000
Empfehlungen für KKW – Kunststoffschläuche/Leitungen	8×10^{-6}		Bengt, 2008
Empfehlungen für KKW – Kunststoffschläuche/Leitungen für versetzten Bruch (2-F)	3×10^{-7}		Bengt, 2008
Allgemein PVC Leitungen	$1,5 \times 10^{-3}$		Blanchard, 1998
PE-Leitungen in Europa, 1995-2003	4×10^{-5}		CPC, 2015
PVC Leitungen in Europa, 1995-2003	9×10^{-5}		CPC, 2015
Bisherige Fehlerhäufigkeit von PE-Seedruckleitungen in Österreich (Ursachen: großes Leck, ungünstiger Seegrund, zahlreiche Schweißnähte)	$2,62 \times 10^{-6}$		Ergebnis dieser Studie (vgl. dazu Kapitel 15.4.1)

15.4.1. Ermitteln der Häufigkeit des auslösenden Ereignisses

Grundsätzlich muss zwischen der Versagenhäufigkeit (d.h. der zu erwartenden, durchschnittlichen Versagenfälle pro Zeiteinheit) und der Wahrscheinlichkeit, dass es in einem festgelegten Zeitraum zu einem Versagen kommt, unterschieden werden. Es kann allerdings aus einer bekannten Versagenhäufigkeit die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, also die Wahrscheinlichkeit, dass das auslösende Ereignis in einem bestimmten Zeitraum eintritt (oder nicht eintritt), siehe hierzu etwa Grams (2001). Wie dort dargestellt, berechnet sich die Wahrscheinlichkeit P , dass ein System mit einer Versagenhäufigkeit h_1 über einen Zeitraum t operabel bleibt, aus der Zuverlässigkeitsfunktion $Z(t)$:

$$P(\text{kein Versagen in der Zeit } t) = Z(t) = e^{-h_1 t}$$

Damit das System „Seedruckleitung“ am Ende der Zeit t noch funktionsfähig ist, darf es weder zu einem systemischen Versagen, noch zu einem Versagen durch menschenverursachte externe Beschädigungen (z.B. durch Bauarbeiten) kommen:

$$\begin{aligned} P(\text{kein Versagen in der Zeit } t) &= \\ P(\text{kein Versagen durch systemische Einflüsse UND kein Versagen durch externe Beschädigungen}) &= \\ P(\text{kein Versagen durch systemische Einflüsse})P(\text{kein Versagen durch externe Beschädigungen}) &= \\ &= Z_1(t) \cdot Z_2(t) = e^{-f_1 t} \cdot e^{-f_2 t} = e^{-(f_1+f_2)t} \end{aligned}$$

Wobei: f_1 und f_2 sind die Versagenhäufigkeiten im Falle systemischer Ereignisse bzw. externer Beschädigungen.

Die Häufigkeiten können also addiert werden. Für die Analyse wesentlich ist allerdings die Wahrscheinlichkeit, dass es innerhalb eines Jahres zu einem Versagen kommt. Die Versagenswahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Zuverlässigkeitsfunktion wie folgt:

$$P(\text{Leitung versagt innerhalb eines Jahres}) = 1 - Z_1(1y) \cdot Z_2(1y) \approx f_1 + f_2$$

Die letzte Näherung gilt bei kleinen Versagenhäufigkeiten, wie man durch eine Taylorreihenentwicklung bei Vernachlässigung der Terme höherer als 2. Ordnung leicht sehen kann. Versagenhäufigkeiten (oder auch Fehlerraten) können also addiert werden, und

näherungsweise statt Wahrscheinlichkeiten verwendet werden. Für mehr Informationen zur Ableitung von Fehlerraten siehe z.B. Grams (2008).

Um die Versagenshäufigkeiten bzw. Fehlerraten f_1 und f_2 zu ermitteln, wurden die Schäden (Brüche), die an Österreichs Seedruckleitungen bereits aufgetreten sind, erfasst.

Die durchschnittliche Fehlerrate für eine österreichische Seedruckleitung setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: Versagen durch externe Einwirkungen (drei beobachtete Fälle), und Versagen ohne externe Einwirkungen (15 beobachtete Fälle; vgl. dazu Tabelle 18). Bei 157,7 km ausgewerteter aktiver Seedruckleitungen und einer mittleren Betriebszeit von 36 Jahren ergeben sich folgende Schadenshäufigkeiten:

Schadenshäufigkeit durch systemische Einflüsse (f_1) **$2,62 \times 10^{-6}$ # / (a.m)**
Schadenshäufigkeit durch menschliche externe Einflüsse (f_2) **$5,25 \times 10^{-7}$ # / (a.m)**

Tabelle 18: Bisher aufgetretene Versagen an Seedruckleitungen in Österreich.

See	Betriebsalter bei Versagen	Leitungsbruch mit Fremdeinwirkung	Leitungsbruch ohne Fremdeinwirkung	Leitungsbruch ohne Fremdeinwirkung an Schweißnaht
Attersee	34		1	
Attersee	26		1	
Faakersee				
Fuschlsee				
Grabensee	1		1	
Grabensee	12		1	
Grabensee	22		1	
Hallstättersee				
Irrsee				
Keutschacher See				
Millstätter See				
Mondsee	39			1
Ossiacher See	35		2	
Ossiacher See			1	
Pressegger See				
Traunsee	38		1	
Traunsee	40			1
Völkerm. Stausee				
Wallersee	18		1	
Weissensee		1		
Wolfgangsee		1		
Wörthersee	35		3	
Wörthersee		1		
Summe Versagen	--	3	13	2

Die bis jetzt aufgetretenen Brüche konnten fast immer mit einer ungünstigen Lage oder mangelhaft verarbeiteten Stellen der Leitung in Verbindung gebracht werden – etwa Lage auf einem Stein, Leitungsführung über eine Felsenkante oder Bruch einer mangelhaft ausgeführten Schweißnaht. Die Annahme scheint gerechtfertigt, dass die bisher beobachteten Ausfälle ausschließlich auf Einbaufehler, die zu erhöhter Materialbeanspruchung führen und erst Jahre nach dem Einbau zum Tragen kommen, zurückgeführt werden können. Randbedingungen der Verlegung der Leitung, die auf die Bruchhäufigkeit Einfluss haben können, werden daher in der Risikobetrachtung als Faktor berücksichtigt (dazu könnte z.B. der Untergrund der Leitung gehören).

Als Versagensgrund der Leitungen in ihrer derzeitigen Lebensphase kommt also vor allem Materialermüdung in Kombination mit Einbaufehlern in Betracht. Mittels eines Chi-Quadrat-Tests⁵ (Chi²-Test; „goodness of fit“ Test) wurde überprüft, welche der folgenden Merkmale einen (statistischen) Zusammenhang zu den beobachteten Versagensfällen aufweisen:

Eigenschaften des Sees bzw. der Leitungstrasse

- Sandiger, weicher Untergrund oder steiniger, harter Untergrund
- Flache Seen, flacher Seegrund oder steile Seen, steiler Seegrund
- Maximale Absenktiefe / tiefster Punkt der Leitung über oder unter 40 m Tiefe

Eigenschaften der Leitung

- Leitung vor Ort extrudiert (Endlosleitung) gefertigt, oder in Stücken geliefert und geschweißt
- Innendurchmesser der Leitung größer oder kleiner als 200 mm

Betriebsparameter

- Sanftanlauf bei Pumpe vorhanden oder nicht vorhanden
- Betriebsdruck über oder unter 1,5 bar
- Pumpenzyklen pro Tag über oder unter 70
- Täglich gepumptes Volumen (im Jahresdurchschnitt) unter oder über 500 m³/Tag
- Betriebsalter der Leitung über oder unter 20 Jahre

Auf Basis des Chi-Quadrat-Tests lässt sich ableiten, dass einige Merkmale mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Einfluss auf die Bruchhäufigkeit haben. Für diese werden angepasste Risikofaktoren F ermittelt, die dann in die Risikoanalyse eingehen können. Die Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests und die Ermittlung der Risikofaktoren werden im Folgenden für die betrachteten Merkmale im Einzelnen diskutiert.

⁵ Der Chi-Quadrat (Chi²) Anpassungstest ist ein statistisches Standardverfahren, bei dem überprüft wird, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Stichprobe aus einer Grundgesamtheit mit postulierter Verteilung stammen kann. In unserem Fall wird Gleichverteilung postuliert – d.h. die geprüften Merkmale haben keinen Einfluss auf die Fehlerrate der Druckleitungen. Der Parameter „Quadrate der standardisierten Residuen“ bestimmt für jede Ausprägung des geprüften Merkmals, wie weit der beobachtete Wert von der Gleichverteilung entfernt liegt (je höher, desto weiter). Die Summen der Quadrate der standardisierten Residuen bilden den Chi-Quadrat-Wert (Chi²-Wert). Ein kleiner Chi²-Wert bedeutet, dass die in der Stichprobe beobachtete Verteilung nahe der postulierten Verteilung liegt. Ein großer Chi² Wert bedeutet, dass es aufgrund der Stichprobe unwahrscheinlich ist, die postulierte Verteilung tatsächlich in der Grundgesamtheit zu finden. Liegt die dem Chi²-Wert zugeordnete Wahrscheinlichkeit unter 1% (unser festgelegtes Signifikanzniveau) wird angenommen, dass die Hypothese „Gleichverteilung“ nicht zutrifft, sondern dass doch ein Zusammenhang vorliegt. Der Chi²-Test eignet sich für kategoriell ausgeprägte Merkmale und kleine Stichprobengrößen wie im vorliegenden Fall. Für mehr Informationen zum Chi² Anpassungstest siehe z.B. Snedecor (1989).

15.4.2. Eigenschaften des Sees bzw. der Leitungstrasse

Um nun die Häufigkeit für einen Bruch einer bestimmten, vorgegebenen Leitung zu ermitteln wird die durchschnittliche Häufigkeit mit den für die Leitung spezifischen Risikofaktoren F_i , die in diesem Kapitel eingeführt werden, multipliziert:

$$h_{\text{auslösendes Ereignis}} = f_1 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 + f_2$$

Die Auswertung der Daten hat gezeigt, dass der Seegrund keinen wesentlichen Faktor für das Leck-Risiko von Seedruckleitungen darstellt. Anders verhält es sich mit der Tiefe des Sees. Schäden treten vermehrt in flachen, seichten Gewässern auf. Eine tiefer als 40m abgesunkene Leitung ist von schadhafte Umwelteinflüssen weitgehend abgeschirmt. Die statistische Analyse weist für Leitungen, deren tiefster Punkt unter 40 m liegt, ein vermindertes, Leitungen, deren tiefster Punkt über 40 m liegt, ein erhöhtes Risiko aus. Die Analyse der Seehanglage der Leitungen bestätigt dieses Ergebnis: flach verlegte Leitungen weisen ein erhöhtes Risiko, steil verlegte Leitungen ein vermindertes Bruchrisiko auf. Da ein starker Zusammenhang zwischen flacher/steiler Hanglage einerseits, und tiefstem Punkt der Leitung über/unter 40 m Tiefe andererseits gezeigt werden kann, wird allerdings nur einer der beiden Faktoren, nämlich tiefster Punkt über/unter 40m, in der Gesamtrisikoaanalyse betrachtet.

Die nachfolgenden Tabellen fassen die Ergebnisse der Chi-Quadrat (Chi²) Analyse zusammen.

Für das Merkmal sandiger bzw. steiniger Seeboden werden die Angaben in Tabelle 19 beispielhaft kurz erläutert. Die erste Spalte zeigt die Ausprägungen des untersuchten Merkmals (also z.B. sandig, steinig). Die zweite Spalte gibt an, wieviel „Betriebserfahrung“ bei Leitungen in Seen mit sandigem Seeuntergrund, und wieviel bei Leitungen in Seen mit steinigem Seeuntergrund gesammelt wurde. Betriebserfahrung ist hier einfach das Produkt aus Leitungslänge mal Betriebsjahren. Die dritte Spalte gibt an, wie viele Schadensfälle man beim sandigen bzw. steinigen Seeuntergrund beobachtet hat. Die vierte Spalte gibt an, wie viele Schadensfälle man erwarten würde, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal sandig/steinig keinen Einfluss auf die Fehlerrate hat. In diesem Fall sollten sich die Schadensfälle so auf die Merkmale verteilen wie die Betriebserfahrung in der zweiten Spalte.

Tabelle 19: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss des Seeuntergrunds auf die Schadenshäufigkeit.

Merkmal: Seegrundbeschaffenheit				
	Betriebserfahrung mit SDL auf diesem Untergrund [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
sandig	4192,6	12	11,00	0,09
steinig	1525,1	3	4,00	0,25
	5717,7	15	15,00	0,34

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zu ziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal *sandig/steinig* KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 55,90% (Chi² von 0,34 und ein Freiheitsgrad)

Um nun den Chi-Quadrat-Wert (Chi²) zu ermitteln, werden die quadrierten, standardisierten Residuen gebildet: Beobachtete Fälle Minus erwartete Fälle, quadriert, geteilt durch erwartete Fälle. Die Summe der standardisierten Residuenquadrate bildet den Chi²-Wert. Mit diesem kann durch Abgleich mit der tabellarisch erfassten Chi²-Verteilung ermittelt werden, wie wahrscheinlich die These, dass sandig/steinig keinen Einfluss auf die Fehlerrate hat, zutrifft. Im Fall von sandig/steinig errechnet sich diese Wahrscheinlichkeit zu 55%, was als hinreichend wahrscheinlich angesehen wird. Anders verhält es sich beim Merkmal Absenktiefe, also tiefster Punkt der SDL

(vgl. Tabelle 21). Hier ergibt der Chi²-Test eine Wahrscheinlichkeit von 0,02%. Es ist also anzunehmen, dass tiefe Seen geringere Fehlerraten aufweisen als flache Seen. Das Verhältnis aus beobachtetem Wert und erwartetem Wert ergibt nun den Risikofaktor, der später in der Analyse verwendet wird.

Das Verhältnis zwischen beobachteten Versagensfällen und erwarteten Versagensfällen unter Annahme von Gleichverteilung bestimmt die Risikofaktoren je nachdem, wie die Leitung verlegt ist:

F₁: Tiefster Punkt der Leitung über 40 m $F_1 = 2,15$
 Tiefster Punkt der Leitung unter 40 m $F_1 = 0,22$

Es soll erwähnt werden, dass der gesamten Leitung ein Risikofaktor zugewiesen wird (also entweder 2,15, sollte der tiefste Punkt der Leitung über 40m liegen, andernfalls 0,22). Dies stellt natürlich eine Vereinfachung da, die aber im Rahmen einer ersten Analyse angemessen scheint.

Tabelle 20: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss der Neigung des Seeuntergrunds auf die Schadenshäufigkeit.

Merkmal: Neigung des Seeuntergrunds				
	Betriebserfahrung mit SDL mit dieser Neigung [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
flach	2026,3	10	5,32	4,13
steil	3691,4	5	9,68	2,27
	5717,7	15	15,00	6,39

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zu ziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal *flach/steil* KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 1,15% - (Chi² von 6,39 und ein Freiheitsgrad)

Tabelle 21: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss der maximalen Absenktiefe auf die Schadenshäufigkeit.

Merkmal: maximale Absenktiefe – tiefster Punkt [m]				
	Betriebserfahrung mit SDL bei dieser Tiefe [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
< 40	2291,8	13	6,03	8,05
>= 40	3408,0	2	8,97	5,41
	5699,8	15	15,00	13,47

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zu ziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal *Absenktiefe – tiefster Punkt* KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 0,02% (Chi² von 13,47 und ein Freiheitsgrad)

15.4.3. Eigenschaften der Leitung

Die statistische Analyse zeigt keinen Einfluss des Durchmessers der Leitung auf die Versagenshäufigkeit. Ganz anders verhält es sich mit der Art der Herstellung, wobei hier zwei verschiedene Methoden bei den untersuchten Seedruckleitungen Verwendung fanden. Einerseits wurden Leitungen in großen Abschnitten vor Ort extrudiert und mit wenigen Verbindungsstücken zusammengefügt. Andererseits wurden die Leitungen in Rohrstangen von 10-20 m Länge geliefert und vor Ort durch Spiegelschweißung verbunden. Seedruckleitungen, die eine große Anzahl von Schweißnähten aufweisen, haben durch die höhere Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins einer fehlerhaft gefertigten Schweißnaht ein höheres Risiko für Leitungsversagen.

Berechneter Risikofaktor:

- F2** Endlosrohr $F_2 = 0,51$
 Spiegelgeschweißt $F_2 = 2,76$

Tabelle 22: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss der Herstellungsart der Leitung (Endlosrohr e oder Spiegelgeschweißt g) auf die Schadenshäufigkeit.

Merkmal: Endlosrohr „e“ oder Spiegelgeschweißt „g“				
	Betriebserfahrung mit SDL [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
e	4474,8	6	11,74	2,81
g	1242,9	9	3,26	10,10
	5717,7	15	15	12,91

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zu ziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal e/g KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 0,03% (Chi² von 12,91 und ein Freiheitsgrad)

Tabelle 23: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss des Rohrdurchmesser (DN) der Leitung.

Merkmal: Rohrdurchmesser DN [mm]				
	Betriebserfahrung mit SDL [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
< 200	2507,8	6	6,60	0,05
>= 200	3191,9	9	8,40	0,04
	5699,8	15	15	0,10

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zu ziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal DN KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 75,50% (Chi² von 0,10 und ein Freiheitsgrad)

15.4.4. Betriebsparameter

Weder der Betriebsdruck, noch die langsam anlaufende Pumpe, noch Anzahl der Pumpenzyklen, noch das gesamte pro Tag umgesetzte Volumen zeigten in der statistischen Analyse einen Einfluss auf die Versagenshäufigkeit der Leitungen. Dieses scheinbar überraschende Ergebnis wird verständlich, wenn man sich vor Augen führt, dass der Betriebsbereich, in dem eine Seedruckleitung betrieben wird, sehr niedrig und materialschonend ist. Selbst ein im Vergleich der Seen hoher Betriebsdruck liegt noch fast eine Größenordnung unter dem Versagensdruck von PE-Leitungen. Anders verhält es sich mit dem Betriebsalter der Leitungen. Ein höheres Betriebsalter bedingt statistisch eine erhöhte Schadenshäufigkeit. Allerdings lässt die Art der Fehler („Einbaufehler“ statt Materialfehler) nicht auf einen Trend schließen, der fortgesetzt werden könnte. Das Fehlerverhalten in der Zukunft ist völlig offen.

Berechneter Risikofaktor:

- F3** Betriebsalter über 20 Jahre $F_3 = 2,24$
 Betriebsalter unter 20 Jahre $F_3 = 0,31$

Tabelle 24: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss des Betriebsalters der Leitung.

Merkmal: Betriebsalter [a]				
	Betriebserfahrung mit SDL [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
< 20	4666,6	3	9,65	4,58
>= 20	2586,0	12	5,35	8,27
	7252,6	15	15,00	12,86

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zu ziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal *Betriebsalter* KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 0,03% (Chi² von 12,86 und ein Freiheitsgrad)

 Tabelle 25: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss des gepumpten mittleren Tagesvolumens der Leitung.

Merkmal: Durchsatz Tagesvolumen [m ³ /d]				
	Betriebserfahrung mit SDL [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
< 500	2771,6	9	7,41	0,34
>= 500	2842,0	6	7,59	0,33
	5613,5	15	15,00	0,68

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zu ziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal *Tagesvolumen* KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 41,04% (Chi² von 0,68 und ein Freiheitsgrad)

 Tabelle 26: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss der Anzahl der Pumpzyklen pro Tag der Leitung.

Merkmal: Pumpzyklen [d ⁻¹]				
	Betriebserfahrung mit SDL [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
< 70	2723,5	7	6,40	0,06
>= 70	1957,7	4	4,60	0,08
	4681,1	11	11,00	0,13

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zuziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal *Pumpzyklen* KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 71,37% (Chi² von 0,13 und ein Freiheitsgrad)

 Tabelle 27: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss des Betriebsdrucks der Leitung.

Merkmal: Betriebsdruck [bar]				
	Betriebserfahrung mit SDL [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
< 1,5	2338,7	7	6,38	0,06
>=1,5	3159,8	8	8,62	0,04
	5498,5	15	15,00	0,10

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zuziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal *Betriebsdruck* KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 74,61% (Chi² von 0,10 und ein Freiheitsgrad)

Tabelle 28: Ergebnis der Chi²-Analyse. Einfluss der Art des Pumpenanlaufs auf die Schadenshäufigkeit.

Merkmal: Pumpenanlauf				
	Betriebserfahrung mit SDL [km*a]	Beobachtete Schadensfälle	Erwartete Schadensfälle	Stand. Residuen ²
schnell	2227,8	6	5,85	0,00
langsam	3483,2	9	3,26	0,00
	5711,1	15	9,15	0,01

Wahrscheinlichkeit, eine solche Stichprobe zu ziehen, unter der Voraussetzung, dass das Merkmal *schnell/langsam* KEINEN Einfluss auf die Fehlerhäufigkeit hat: 93,73% (Chi² von 0,01 und ein Freiheitsgrad)

15.4.5. Aufschwimmen der Leitungen

Immer wieder kommt es vor, dass Leitungen ungewollt über weite Abschnitte teilweise oder zur Gänze mit Luft oder Gasen gefüllt werden und aufschwimmen. Dadurch werden die Leitungen einerseits mechanisch belastet, andererseits kann bei Schifffahrt auf dem See eine Leitung überfahren und zerstört werden. Manche Betreiber haben daher das Aufschwimmen der Leitungen durch bautechnische Maßnahmen unmöglich gemacht. Obwohl es noch nie zu einer Leckage in Folge eines Aufschwimmens der Leitung gekommen ist und daher ein Chi²-Test nicht durchgeführt werden kann, wird ein leicht erhöhtes Risiko angenommen, wenn ein Aufschwimmen der Leitung grundsätzlich möglich ist.

Berechneter Risikofaktor:

- F4** Aufschwimmen möglich $F_4 = 1,1$
- Aufschwimmen verhindert $F_4 = 0,9$

15.4.6. Kleine und große Lecks

Aus der Literatur ist bekannt (Lydell, 2000), dass kleine Lecks um einen Faktor von 10 bis 30 wahrscheinlicher sind, als große Lecks. Für die vorliegende Analyse wird ein Risikofaktor von 10 für kleine Lecks angenommen.

Zur Abschätzung der Häufigkeit eines Lecks wird also die Häufigkeit des Bruchs mit 10 multipliziert:

$$h_{\text{auslösendes Ereignis Bruch}} = f_1 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 + f_2$$

$$h_{\text{auslösendes Ereignis Leck}} = (f_1 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 + f_2) \cdot 10$$

15.5. Verhinderung eines schwerwiegenden Ereignisses nach einem Leitungsbruch

15.5.1. Detektion eines Lecks

Die Datenerhebung innerhalb dieser Studie ergab, dass gegenwärtig verschiedene Möglichkeiten zur Detektion eines Lecks zum Einsatz kommen. Grundsätzlich muss man zwischen kleinem und großem Leck unterscheiden. Leitungsbrüche, die große Lecks bedingen, können leichter entdeckt werden. Das ist mit größeren Ausfluss- und Einleitungsmengen assoziiert. Kleine Lecks sind demgegenüber schwer (oder möglicherweise zunächst gar nicht) erkennbar, dennoch können dadurch ggf. in Summe relevante Einleitmengen von Abwasser erfolgen.

Große Lecks

Direkte Messung: Grundsätzlich können bei Seedruckleitungen die Durchflüsse direkt durch magnetisch induktive Durchflussmesser (MID) oder Ultraschall-Durchflussmesser erfasst werden, was bei manchen Seedruckleitungen auch gängige Praxis ist. Durch Vergleich der Mengen ist es möglich Lecks zu detektieren, welche größer als die Messgenauigkeit der MID im eingebauten Zustand sind (d.h. größer 5% der Durchflussmenge). Allerdings haben nur wenige Seedruckleitungen Durchflussmesser direkt an Anfang und am Ende der Seedruckleitung installiert.

Eine oft anzutreffende Methode ist den Durchfluss an den Pumpstationen zu erfassen, ebenso wie den Zufluss zur Kläranlage (die Summe aller Abwässerströme im Einzugsgebiet). Der Leitungswart ist dann angehalten, regelmäßig durch Bilanzbildung Leckagen zu entdecken. Diese Art der Überwachung ist jedoch allenfalls geeignet um große Lecks zu detektieren.

Analyse der Pumpendaten: Bei dieser Methode wird die Stromaufnahme der Pumpe (oder die Zeit, die benötigt wird, um den Pumpensumpf vom Füllstand MAX, bei dem die Pumpe angeschaltet wird, auf MIN zu bringen, bei dem die Pumpe wieder abgeschaltet wird), betrachtet. Ein Bruch der Leitung nahe der Pumpstation würde den gepumpten Abwässern erlauben, die Seedruckleitung zu umgehen und dadurch die Last der Pumpe um den hydraulischen Widerstand der Leitung senken. Das würde die Arbeitsweise der Pumpe ändern (etwa höherer Durchsatz bei gleicher Leistungsaufnahme). Ein Leitungswart, der regelmäßig die Aufzeichnungen des Leitsystems zu Pumpenleistung, Durchsatz, Drehzahl etc. überprüft kann daher aus diesen Daten auf Lecks der Leitung schließen (sofern sie nicht zu nahe am Übergabeschacht auftreten).

Test bei Wartung: Bei manchen Seedruckleitungen wird bei der Wartung die Seedruckleitung auf (große) Leckagen überprüft. Dabei wird die Pumpstation der Seedruckleitung in Betrieb gesetzt, beim Übergabeschacht beobachtet ein Leitungswart, ob aus der entsprechenden einmündenden Leitung Abwässer gefördert werden. Für den Test sind die anderen Zuströme in den Übergabeschacht durch geeignete Schieberstellung unterbunden.

Kleine Lecks

Druckprobe: Alle unter „Große Lecks“ genannten Methoden weisen erhebliche Messunsicherheiten auf. Kleinere Leckagen (unter 5% der Durchflussmenge) können nur schwer erkannt werden. Um auch kleine Leckagen entdecken zu können, werden daher an manchen Seedruckleitungen Druckprüfungen durchgeführt. Die üblichen Intervalle zwischen den

Druckprüfungen sind allerdings mehrere Jahre, so dass eine „rechtzeitige“ Leckentdeckung fraglich ist.

15.5.2. Behandlung der Detektion von Lecks in der Analyse

Behandlung von großen Leckströmen

Es wird davon ausgegangen, dass die Leckage so groß ist, dass sie grundsätzlich von den unter „Große Lecks“ besprochenen Detektionsmethoden entdeckt werden kann. Ziel ist es, für jede der angesprochenen Methoden eine bedingte Wahrscheinlichkeit P_D anzugeben: Mit welcher Wahrscheinlichkeit kann die Methode XY das Leck detektieren, bevor die ausgetretene Abwassermenge die unter „Ziel der Risikoabschätzung“ definierte „große Abwassermenge“ $M_{\text{maxleckage}}$ überschreitet, unter der Voraussetzung, dass ein detektierbares Leck aufgetreten ist?

Die Dauer, bis die für den See definierte „große Abwassermenge“ aus einem voll versetzten Bruch (100% der Querschnittsfläche der Leitung liegt frei) in den See eingeleitet würde, wird als $T_{\text{gnadenfrist}}$ bezeichnet.

(1) Direkte Durchflussmessung (magnetisch-induktiv, Ultraschall):

- Wie lange dauert es, bis ein erkanntes Leck vom Verantwortlichen entdeckt wird $T_{\text{detektion}}$?

Falls $T_{\text{gnadenfrist}} < T_{\text{detektion}}$ ist die Wahrscheinlichkeit P_1 zu bestimmen, dass das Leck entdeckt wird, noch bevor $M_{\text{maxleckage}}$ überschritten wurde.

Die Wahrscheinlichkeit P_2 , dass die Durchflussmesser im Bedarfsfall keinen unentdeckten Defekt aufweisen, ist zu bestimmen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass die direkte Durchflussmessung ein Leck erfolgreich detektiert, wird zu $P_D = P_1 \times P_2$ bestimmt.

(2) Periodische Überprüfung der Pumpendaten und (3) Periodische Überprüfung auf Lecks bei Wartung

- Wie lange dauert es, bis ein erkanntes Leck vom Verantwortlichen entdeckt wird $T_{\text{detektion}}$?

Falls $T_{\text{gnadenfrist}} < T_{\text{detektion}}$ ist die Wahrscheinlichkeit P_D zu bestimmen, dass das Leck entdeckt wird, noch bevor $M_{\text{maxleckage}}$ überschritten wurde.

Behandlung von kleinen Leckströmen

Es wird davon ausgegangen, dass der Leckstrom gerade unter dem Wert liegt, der an der untersuchten Seedruckleitung durch die Maßnahmen, die unter „Detektion eines Lecks/große Lecks“ angeführt sind, gerade noch erkannt werden kann. Die Dauer, bis aus diesem Leck die für den See definierte „große Menge“ an Abwässern aus in den See eingeleitet würde⁶, wird als $T_{\text{gnadenfrist}}$ bezeichnet.

⁶Es ist denkbar, dass die durch ein kleines Leck eingeleitete Menge die Menge, die in einem gegebenen Zeitraum für den See kritisch werden könnte, nicht übersteigt. Das bedeutet, dass das Ökosystem See Austritte aus einem kleinen Leck unbeschadet aufnehmen könnte (z.B. weil die Menge, die unbemerkt austreten könnte, sehr gering ist). In diesem Fall wäre ein kleines Leck unproblematisch und die Analyse könnte auf das große Leck beschränkt werden.

Die Zeit $T_{\text{gnadenfrist}}$ wird mit der Zeit $T_{\text{detektion}}$, die zwischen zwei Druckproben vergeht, verglichen. Falls $T_{\text{gnadenfrist}} < T_{\text{detektion}}$ ist die Wahrscheinlichkeit P_D zu bestimmen, dass das Leck entdeckt wird, noch bevor $M_{\text{maxleakage}}$ überschritten wurde.

Sollten keine Druckproben durchgeführt werden und auch keine anderen Methoden zur Verfügung stehen, um kleine Leckagen zu entdecken, ist für ein kleines Leck $P_D = 0$ anzunehmen.

15.5.3. Notfallmaßnahme: Redundanter Abwassertransport

Für die untersuchte Seedruckleitung wird erhoben, ob ein redundanter Abwassertransport möglich wäre. Nach Auswerten der Daten dieser Studie kommen, je nach See, grundsätzlich drei mögliche Alternativen in Frage (siehe Kapitel 18.4).

Eine Wahrscheinlichkeit, dass ein Alternativbetrieb bei einem Leck erfolgreich in Anspruch genommen werden kann, ist abzuschätzen.

15.5.4. Notfallmaßnahme: Reparaturmöglichkeit und Ersatz

Seedruckleitungen bis zu Tiefen von 20 m können bei Lecks am Seegrund (etwa durch Anbringen von Reparaturmanschetten) wieder instand gesetzt werden. Leitungen in größerer Tiefe müssten ersetzt werden. Eine Detailbewertung der Situation vor Ort sollte vorgenommen werden.

15.6. Ereignisbaum

Die Fehlerhäufigkeit, zusammen mit den erhobenen Risikofaktoren F_i , wird im Ereignisbaum eingetragen. Der Ereignisbaum für die Seedruckleitungen in dieser Analyse umfasst das auslösende Ereignis (vgl. Abbildung 67), die nachfolgende Detektion des Bruchs/Lecks und die zu treffenden Notfallmaßnahmen.

Auslösendes Ereignis

Bruch: Die Fehlerrate wurde aus den erhobenen Daten bestimmt. Maßgebliche Faktoren, die die Fehlerrate beeinflussen sind: Tiefster Punkt der Leitung; Fertigungsart der Leitung; Alter der Leitung und Aufschwimmen der Leitung möglich.

Leck: Die Fehlerrate wurde aus der Fehlerrate für Leitungsbrüche abgeleitet (es wurde 10 x die Fehlerrate von Leitungsbrüchen angenommen).

Detektion des Bruchs/Lecks (vgl. dazu auch Kapitel 18.2)

Bruch-Detektion: Es wurde angenommen, dass eine 100%ige Detektion eines Bruchs nur möglich ist, wenn entweder MID's oder Druckfühler am Anfang und am Ende der Leitung installiert sind. Messinstrumente nur am Anfang der Leitung sowie Ableitungen von Brüchen aus den Daten der Pumpenüberwachung wurden mit einer Treffsicherheit von 80% berücksichtigt.

Leck-Detektion: Es wurde angenommen, dass Lecks mit 1% des Rohrquerschnitts (was in etwa 5% der Durchflussmenge entspricht) entweder mit MID's oder einer Druckmessung am Anfang und am Ende der Leitung, aber auf jeden Fall mit einer Druckprobe entdeckt werden können.

Notfallmaßnahmen (vgl. dazu auch Kapitel 18.4)

Es wurde, je nach Ergebnis aus der Erhebung, berücksichtigt, ob im Falle eines Bruchs der Leitung andere Mittel zur Verfügung stehen, um Abwässer abzutransportieren (Saugwägen oder eine parallele, redundante Leitung). Bei Unfällen im Reparaturbereich (Leitungsführung nicht tiefer als 20 m) wurde eine Reparatur in der aus dem im Datenblatt angegebenen Zeit angenommen. Andernfalls wurde eine Zeit von einem Jahr für den Ersatz der Leitung angenommen.

Auf der Basis der in diesem Kapitel dargestellten Elemente kann nun eine probabilistische Risikoanalyse für die Seedruckleitungen durchgeführt und dabei eine Risikomaßzahl abgeleitet werden. Abbildung 67 gibt eine Orientierung, wie der Ereignisbaum gebildet wird. Genauere Informationen und Zahlen zu der Berechnung für ausgewählte Leitungen sind im → Ergänzungsband zu dieser Studie zu finden.

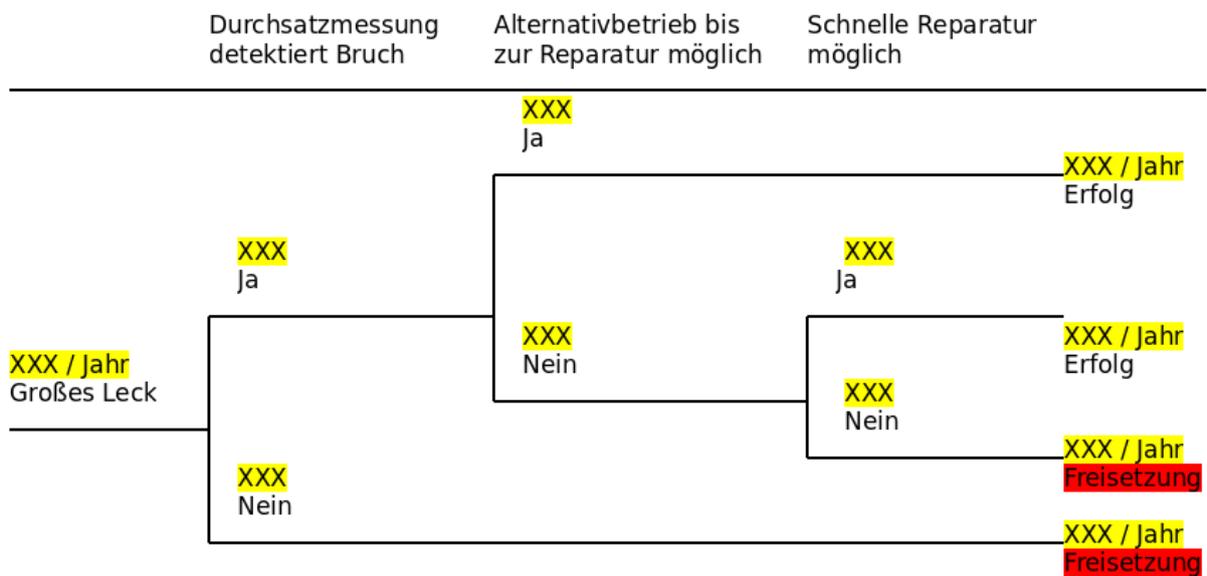


Abbildung 67: Musterereignisbaum für die probabilistische Risikoanalyse bei Seedruckleitungen.

16. Istzustand aus der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse hat ergeben, dass das Risiko der Druckleitungen erheblich variiert (siehe dazu Tabelle 29, Tabelle 30 und Tabelle 31). Bei genauerer Betrachtung wird allerdings deutlich, dass risikominimierende Maßnahmen nicht zwangsläufig bedeuten müssen, dass die Leitung ersetzt werden muss.

Wie gezeigt wurde, muss ein Leck oder sogar ein Bruch der Leitung nicht zwangsläufig unproportional teure oder schädigende Konsequenzen mit sich ziehen. Kann der Bruch oder das Leck frühzeitig entdeckt werden und ist eine Reparatur möglich, bleibt der Schaden begrenzt. Allerdings setzt dies voraus, dass ein Leck detektiert werden kann. Es können daher folgende Maßnahmen empfohlen werden:

Detektion von Leckagen

Eine kostengünstige Form der Risikominimierung ist es, die Daten der bestehenden technischen Messeinrichtungen entsprechend zu nutzen. Werden z.B. gesammelte Pumpendaten nach betrieblicher Vorschrift häufig (z.B. täglich) auf Unregelmäßigkeiten untersucht, kann ein Leck frühzeitig entdeckt werden. Dies wird genauer in Kapitel 18 gezeigt.

Grundsätzlich kann durch die Installierung von Messinstrumenten die Trefferquote hinsichtlich einer Leckdetektion deutlich erhöht werden. Bei den Seedruckleitungen kann von einem **Leck-vor-Bruch-Verhalten** ausgegangen werden. Dies bedeutet, dass es genaue Messungen (z.B. optimal gewarteter MID oder Druckmessung) erlauben, bereits kleine Lecks zu detektieren, den Schaden zu beheben und dadurch Brüche zu verhindern.

Rüsten für den Notfall

Grundsätzliche Überlegungen und Vorbereitungen, wie im Schadensfall (Leck oder Bruch) gehandelt werden soll, können im Notfall Zeit sparen und Probleme verhindern. Etwa Informationen, wer die Leitung im See wieder instand setzen könnte, und welche Zeiten dafür benötigt werden würden, helfen in der Planung. Ebenfalls wichtig sind konkrete Überlegungen, ob ein Alternativbetrieb (ohne paralleler redundanter Leitung) für die Zeit bis zur Reparatur verlässlich möglich ist.

Leitungen mit hohem Durchsatz

In der Praxis kommen auch stark belastete Einzelleitungen vor, die zwar gut instrumentiert sind, deren Ausfall aufgrund der hohen täglich gepumpten Volumen aber trotzdem kurzfristig zu Problemen führen könnte. In diesen Fällen ist das kostenintensive Verlegen von parallelen Leitungen die einzige Maßnahme, die zur Risikominimierung bleibt.

Die folgenden Tabellen (Tabelle 29, Tabelle 30 und Tabelle 31) geben das Risiko der Druckleitungen (Risiko-Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“) bezogen auf die Seen in den jeweiligen Bundesländern wieder. Die Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ ist das Resultat der in Kapitel 15 beschriebenen probabilistischen Risikoanalyse.

Wie in Kapitel 15 beschrieben umfasst diese Zahl die schwerwiegenden Ereignisse, die sich aus Lecks und Brüchen ergeben, während der Badesaison und außerhalb der Badesaison, im Ufer- und im Zentralbereich.

Diese Kennzahl darf nicht missverstanden werden als „exakte Prognose“ eines schwerwiegenden Ereignisses für den gegebenen Zeitraum. Sie ist als eine für komparative Zwecke geeignete Maßzahl zu verstehen, die unterschiedliche Systemeigenschaften, wie Lageeigenschaften, Sicherheitseinrichtungen, Notfallplanung oder betriebliche Richtlinien zusammenfasst.

Zusätzlich wird in den folgenden Tabellen (Tabelle 29 bis Tabelle 31) bei jeder Leitung angeführt, ob Verbesserungen in der Instrumentierung möglich und hilfreich wären (Frage in Spalte 4: *Ist Bruch/Leck zu detektieren?*). Leitungen, auf die aufgrund ihres hohen Durchsatzes bei der Abwasserentsorgung nicht verzichtet werden kann, werden ebenfalls ausgeführt (Frage in Spalte 5: *Abwässer alternativ zu entsorgen?*).

Beispiele hinsichtlich der Minimierung des Risikos sind für ausgewählte Leitungen in Kapitel 18.3 angeführt. Diese waren am Wallersee RHV_WS-ID 1, am Pressegger See AWW_KR-ID 1, am Attersee RV_A-ID 3 und am Wörthersee WV_WO-ID 12.

Tabelle 29: Auswertung des Risikos, bezogen auf die in den Salzburger Seen verlegten Abwasser-Druckleitungen (Anm.: Da der Wolfgangsee überwiegend im Bundesland Salzburg liegt, wurde er hier angeführt).

See	Bundesland	ID Nr. AW-SDL	Ist Bruch/Leck zu detektieren? ¹⁾ 0=nein, 1=ja	Abwässer alternativ zu entsorgen? ²⁾ 0=nein, 1=ja	Risiko 1% Leck [Jahr ⁻¹]	Risiko 100% Bruch [Jahr ⁻¹]	Risiko Gesamt [Jahr ⁻¹]	Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre
Fuschlsee	S	RHV_FT -ID 1	0	0	3,94E-02	4,92E-03	4,43E-02	22,6
Grabensee	S	RHV_T -ID 1	1	0	5,96E-01	6,29E-02	6,59E-01	1,5
Wallersee	S	RHV_WN -ID 1	1	0	2,87E-02	2,87E-03	3,16E-02	31,7
Wallersee ³⁾	S	RHV_WS -ID 1	1	1	1,30E+00	2,15E-02	1,32E+00	0,8
Wallersee	S	RHV_WS -ID 2	1	1	1,98E-01	3,27E-03	2,01E-01	5
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 1	1	0	7,58E-03	4,74E-03	1,23E-02	81,2
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 2	1	0	2,66E-03	1,66E-03	4,32E-03	231,5
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 3	0	1	2,14E-02	2,23E-03	2,36E-02	42,4
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 4	0	1	2,39E-02	2,50E-03	2,64E-02	37,8
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 5	0	0	5,37E-02	5,37E-03	5,91E-02	16,9
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 6	1	1	4,70E-02	4,70E-03	5,17E-02	19,4
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 7	0	1	1,20E-02	1,20E-03	1,32E-02	75,9
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 8	1	1	4,70E-02	4,70E-03	5,17E-02	19,4
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 9	0	1	1,03E-02	1,03E-03	1,13E-02	88,7

1) ... Frage: *Wurden Messinstrumente installiert, um einen Bruch/Leck detektieren zu können?*

2) ... Frage: *Können Abwässer alternativ entsorgt werden (z.B. Parallelleitung, Saugwägen)?*

3) ... Ein Beispiel hinsichtlich der Minimierung des Risikos ist in Kapitel 18.3 angeführt.

Tabelle 30: Auswertung des Risikos bezogen auf die in den Kärntner Seen verlegten Abwasser-Druckleitungen.

See	Bundesland	ID Nr. AW-SDL	Ist Bruch/Leck zu detektieren? ¹⁾ 0=nein, 1=ja	Abwässer alternativ zu entsorgen? ²⁾ 0=nein, 1=ja	Risiko 1% Leck [Jahr ⁻¹]	Risiko 100% Bruch [Jahr ⁻¹]	Risiko Gesamt [Jahr ⁻¹]	Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre
Faakersee	K	AWV_F -ID 1	0	1	6,33E-03	5,98E-04	6,93E-03	144,2
Faakersee	K	AWV_F -ID 2	0	1	7,45E-03	5,92E-04	8,04E-03	124,4
Keutschacher See	K	Gde_K -ID 1	0	1	2,39E-01	2,39E-02	2,63E-01	3,8
Millstätter See	K	WV_M -ID 1	1	1	3,07E-03	1,71E-04	3,24E-03	308,6
Millstätter See	K	WV_M -ID 2	0	1	2,33E-03	5,02E-03	7,34E-03	136,1
Millstätter See	K	WV_M -ID 3	1	1	1,70E-03	1,30E-04	1,83E-03	547,7
Millstätter See	K	WV_M -ID 4	0	1	2,86E-03	1,82E-03	4,68E-03	213,6
Millstätter See	K	WV_M -ID 5	0	1	4,16E-03	2,66E-03	6,83E-03	146,5
Ossiacher See	K	WV_O -ID 1	1	0	9,04E-02	5,65E-02	1,47E-01	6,8
Ossiacher See	K	WV_O -ID 2	1	0	1,84E-02	1,15E-02	2,98E-02	33,5
Ossiacher See	K	WV_O -ID 3	1	0	9,77E-02	6,10E-02	1,59E-01	6,3
Ossiacher See	K	WV_O -ID 4	1	0	1,96E-02	1,22E-02	3,18E-02	31,5
Ossiacher See	K	WV_O -ID 5	1	0	6,83E-02	4,27E-02	1,11E-01	9
Ossiacher See	K	WV_O -ID 6	1	0	1,41E-02	8,84E-03	2,30E-02	43,5
Ossiacher See	K	WV_O -ID 7	1	0	1,16E-01	1,72E-02	1,33E-01	7,5
Ossiacher See	K	WV_O -ID 8	1	0	3,33E-02	4,90E-03	3,82E-02	26,2
Ossiacher See	K	WV_O -ID 9	1	0	1,42E-02	8,33E-03	2,25E-02	44,4
Ossiacher See	K	WV_O -ID 10	1	0	4,17E-03	2,45E-03	6,62E-03	150,9
Ossiacher See	K	WV_O -ID 11	1	0	6,98E-02	2,40E-02	9,38E-02	10,7
Ossiacher See	K	WV_O -ID 12	1	0	1,39E-02	4,87E-03	1,88E-02	53,2
Ossiacher See	K	WV_O -ID 13	1	0	4,29E-02	2,35E-02	6,64E-02	15,1
Ossiacher See	K	WV_O -ID 14	1	0	1,01E-01	1,20E-02	1,13E-01	8,8
Ossiacher See	K	WV_O -ID 15	1	0	5,37E-02	3,36E-02	8,73E-02	11,5
Ossiacher See	K	WV_O -ID 16	1	0	1,05E-02	6,55E-03	1,70E-02	58,7
Pressegger See ⁴⁾	K	AWV_KR -ID 1	0	1	2,49E-01	2,49E-02	2,74E-01	3,7
Pressegger See	K	AWV_KR -ID 2	0	1	3,82E-02	3,82E-03	4,20E-02	23,8
Völkerm. Stausee ³⁾	K	AWV_VJ -ID 1	1	1	6,02E-01	1,05E-02	6,12E-01	1,6 ³⁾
Völkerm. Stausee ³⁾	K	AWV_VJ -ID 2	1	1	6,02E-01	1,05E-02	6,12E-01	1,6 ³⁾
Weissensee	K	Gde_W -ID 1	0	1	2,11E-03	1,51E-03	3,63E-03	275,8
Weissensee	K	Gde_W -ID 2	0	1	8,66E-03	5,50E-03	1,42E-02	70,6
Weissensee	K	Gde_W -ID 3	0	0	4,09E-03	1,64E-03	5,73E-03	174,4
Weissensee	K	Gde_W -ID 4	0	1	9,85E-04	7,46E-04	1,73E-03	577,7
Wörthersee	K	WV_WO -ID 1	1	1	2,75E-02	4,33E-04	2,79E-02	35,8
Wörthersee	K	WV_WO -ID 2	1	1	2,75E-02	4,33E-04	2,79E-02	35,8
Wörthersee	K	WV_WO -ID 3	1	1	6,08E-02	6,06E-04	6,14E-02	16,3
Wörthersee	K	WV_WO -ID 4	1	1	6,08E-02	6,06E-04	6,14E-02	16,3
Wörthersee	K	WV_WO -ID 5	1	1	2,00E-02	2,75E-04	2,03E-02	49,3
Wörthersee	K	WV_WO -ID 6	1	1	2,00E-02	2,75E-04	2,03E-02	49,3
Wörthersee	K	WV_WO -ID 7	1	1	1,87E-02	2,69E-04	1,90E-02	52,6
Wörthersee	K	WV_WO -ID 8	1	1	1,87E-02	2,69E-04	1,90E-02	52,6
Wörthersee	K	WV_WO -ID 9	0	0	1,79E-01	1,79E-02	1,97E-01	5,1
Wörthersee	K	WV_WO -ID 10	0	1	6,16E-02	6,16E-03	6,77E-02	14,8
Wörthersee	K	WV_WO -ID 11	0	1	1,05E-01	1,05E-02	1,15E-01	8,7
Wörthersee ⁴⁾	K	WV_WO -ID 12	1	0	6,46E-02	1,03E-03	6,57E-02	15,2
Wörthersee	K	AWV_WW -ID 1	1	1	1,97E-02	3,07E-04	2,00E-02	50
Wörthersee	K	AWV_WW -ID 2	0	1	1,97E-02	1,97E-03	2,16E-02	46,2
Wörthersee	K	AWV_WW -ID 3	1	1	1,17E-02	1,83E-04	1,19E-02	83,9
Wörthersee	K	AWV_WW -ID 4	0	1	1,17E-02	1,17E-03	1,29E-02	77,5

1) ... Frage: Wurden Messinstrumente installiert, um einen Bruch/Leck detektieren zu können?

2) ... Frage: Können Abwässer alternativ entsorgt werden (z.B. Parallelleitung, Saugwägen)?

3) ... Die Risikomaßzahl wurde anhand eines fiktiven Risikoziels auf Grundlage der PE-Leitungen bestimmt.

4) ... Ein Beispiel hinsichtlich der Minimierung des Risikos ist in Kapitel 18.3 angeführt.

Tabelle 31: Auswertung des Risikos bezogen auf die in den Oberösterreichischen Seen verlegten Abwasser-Druckleitungen.

See	Bundesland	ID Nr. AW-SDL	Ist Bruch/Leck zu detektieren? ¹⁾ 0=nein, 1=ja	Abwässer alternativ zu entsorgen? ²⁾ 0=nein, 1=ja	Risiko 1% Leck [Jahr ⁻¹]	Risiko 100% Bruch [Jahr ⁻¹]	Risiko Gesamt [Jahr ⁻¹]	Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre
Attersee	OÖ	RV_A -ID 1	0	0	2,92E-02	4,67E-04	2,96E-02	33,7
Attersee	OÖ	RV_A -ID 2	0	0	3,00E-02	4,80E-04	3,05E-02	32,8
Attersee ³⁾	OÖ	RV_A -ID 3	0	0	2,18E-01	2,09E-02	2,39E-01	4,2
Attersee	OÖ	RV_A -ID 4	0	0	1,34E-01	3,10E-03	1,37E-01	7,3
Attersee	OÖ	RV_A -ID 5	0	0	4,92E-02	4,76E-03	5,40E-02	18,5
Attersee	OÖ	RV_A -ID 6	0	0	6,75E-02	6,12E-03	7,36E-02	13,6
Attersee	OÖ	RV_A -ID 7	0	1	3,49E-02	1,60E-04	3,51E-02	28,5
Attersee	OÖ	RV_A -ID 8	0	1	3,49E-02	1,60E-04	3,51E-02	28,5
Attersee	OÖ	RV_A -ID 9	0	0	3,32E-02	5,32E-04	3,38E-02	29,6
Attersee	OÖ	RV_A -ID 10	0	0	2,21E-02	3,54E-04	2,25E-02	44,5
Attersee	OÖ	RV_A -ID 11	0	1	2,41E-02	1,68E-05	2,41E-02	41,4
Attersee	OÖ	RV_A -ID 12	0	1	1,10E-02	1,20E-05	1,10E-02	90,9
Attersee	OÖ	RV_A -ID 13	0	0	8,26E-02	1,32E-03	8,39E-02	11,9
Hallstättersee	OÖ	RHV_H -ID 1	1	0	2,53E-02	2,32E-03	2,76E-02	36,2
Hallstättersee	OÖ	RHV_H -ID 2	1	0	6,41E-02	6,25E-03	7,04E-02	14,2
Hallstättersee	OÖ	RHV_H -ID 3	1	0	2,55E-02	2,14E-03	2,77E-02	36,1
Hallstättersee	OÖ	RHV_H -ID 4	1	1	7,85E-03	1,02E-04	7,95E-03	125,8
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 4	1	0	5,74E-02	6,42E-03	6,39E-02	15,7
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 5	1	0	4,80E-02	5,17E-03	5,31E-02	18,8
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 6	1	0	8,25E-02	8,55E-03	9,11E-02	11
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 7	1	0	2,15E-01	2,18E-02	2,37E-01	4,2
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 8	1	0	5,51E-02	5,98E-03	6,11E-02	16,4
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 9	1	0	6,37E-02	6,43E-03	7,01E-02	14,3
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 10	1	1	1,23E-02	1,20E-04	1,24E-02	80,8
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 11	0	1	4,08E-03	5,96E-05	4,13E-03	241,9
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 12	0	0	Leitung	nicht	in	Betrieb
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 13	0	0	Leitung	nicht	in	Betrieb
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 14	0	1	4,67E-03	5,84E-05	4,73E-03	211,6
Mondsee	OÖ	RV_A -ID 14	0	1	7,98E-02	1,19E-04	8,00E-02	12,5
Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 1	1	0	4,74E-02	8,46E-03	5,58E-02	17,9
Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 2	1	0	2,11E-01	3,60E-02	2,47E-01	4
Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 3	1	0	3,01E-02	5,87E-03	3,59E-02	27,8
Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 15	1	0	3,96E-03	2,16E-03	6,13E-03	163,2
Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 16	1	1	1,32E-02	2,18E-04	1,34E-02	74,6
Traunsee	OÖ	Gda_A -ID 1	1	1	9,71E-01	1,47E-02	9,86E-01	1
Traunsee	OÖ	Gda_A -ID 2	1	1	9,71E-01	1,49E-02	9,86E-01	1

1) ... Frage: Wurden Messinstrumente installiert, um einen Bruch/Leck detektieren zu können?

2) ... Frage: Können Abwässer alternativ entsorgt werden (z.B. Parallelleitung, Saugwägen)?

3) ... Ein Beispiel hinsichtlich der Minimierung des Risikos ist in Kapitel 18.3 angeführt.

17. Ansatz einer multikriteriellen Bewertung bezüglich Sanierung oder Neuerrichtung

17.1. Kostenschätzung Sanierung

Bei einer Reparatur allfälliger Schäden müssen viele Kriterien berücksichtigt werden. Erstens muss der Schaden prinzipiell zugänglich sein. Dies wurde im Zuge dieser Studie bis zu einer Seetiefe von 20 Metern angenommen. Dann muss geprüft werden ob es ein Totalversagen oder nur ein Leck ist, wobei letzteres einfacher und kostengünstiger zu reparieren sein wird. Da man davon ausgeht, dass ein Schaden an einer SDL nur sehr selten auftritt, sind speziell dafür ausgebildete Taucher nur schwer in der eigenen Verbandsstruktur zu finden. Externe Firmen sind zwar verfügbar, können aber im Schadensfall teuer werden.

Diese Handlungsalternativen stellen nur einen kleinen Ausschnitt der notwendigen Überlegungen dar, die je nach Einzelfall sehr unterschiedlich sein können.

Wie kompliziert und aufwendig solch eine Entscheidungsmatrix sein kann ist z.B. in Uchs (2012) nachzulesen. Hier wird ein multikriterielles Bewertungsverfahren für die Vielzahl der zu berücksichtigenden Entscheidungskriterien bei der Sanierung von Landleitungen vorgestellt.

17.2. Kostenschätzung der Neuerrichtung einer Seedruckleitung aus PE 100

Um die Kosten einer seeverlegten im Gegensatz zu einer landverlegten Druckleitung abschätzen zu können wurden drei Seedruckleitungen ausgewertet.

Investitionskosten

In Tabelle 32 sind die Investitionskosten (Brutto) pro Laufmeter bestehender oder geplanter Seedruckleitung angeführt. Es handelt sich bei allen drei Leitungen um spiegelgeschweißte Stangenware der Güte PE 100 SDR 17. Datengrundlage waren drei verschiedene Dokumente. In den Laufmeterkosten inkludiert sind Erd- u Aufbrucharbeiten, Rohre, Beschwerungsgewichte, Fittinge und die Verlegung. Die sehr variablen Baustellengemeinkosten und Sonderbauwerke blieben dabei unberücksichtigt.

Bei Seedruckleitungen zu beachten sind die dafür notwendigen Beschwerungsgewichte. Der Kostenanteil dieser Position ist nicht unerheblich und entsprach rund 80-95% der Rohrkosten, also fast einer Verdoppelung der Gesamtkosten pro Laufmeter Seedruckleitung.

Laufende Kosten

Abgesehen von den laufenden Stromkosten der Pumpwerke fallen seit ein paar Jahren Pachtkosten für die „Seebenutzung“ durch neuerlegte Druckleitungen an. Vor allem die Bundesforste verlangen bei den in ihrem Eigentum befindlichen Seen eine jährliche Pacht. Diese beträgt nach den bisherigen Erhebungen 1,0 €/lfm (Attersee; 20 Jahre Pachtvertrag, 400 m lange Oberflächenentwässerung in den See, Quelle: Gemeindeprotokoll) bis 2,0 €/lfm (Weissensee; persönliche Auskunft). Die jährlich anfallenden Pachtkosten In Tabelle 32 wurden daher mit 1,5 €/lfm angenommen.

Tabelle 32: Berechnung der Investitionskosten (Brutto) und Pachtkosten einer fertig verlegten Seedruckleitung aus PE 100 (Preise indexangepasst).

Preisdatum	Dokument	Leitungslänge	Angaben zum Rohr	Verlegetiefe	Investkosten ¹⁾ Brutto	Jährliche Pachtkosten ²⁾
		lfm		m	€/lfm	€/a
2001	Schlussrechnung	1 x (2950+840) See und Land	PE-HD; DA 250 x14,8; SDR 17; 12 m Stangen	max. 23	130	4.425
Mär.2013	Anbot	1 x 9.500 (See)	PE 100; DA 450 x26,7; SDR 17; 13,5 m Stangen	max. 70	260	14.250
Nov.2013	Schätzung	2 x 3.000 (// See)	PE 100; DA 355 x21,1; SDR 17; 12 m Stangen	max. 15	180	4.500

1) ... angepasst mit dem Baupreisindex Tiefbau, sonstiger Tiefbau 2000 bzw. 2010

2) ... gerechnet mit 1,5 €/lfm

Abbildung 68 zeigt einen Vergleich der **Investitionskosten des Rohrstrangs einer SDL** mit den Zahlen aus Tabelle 32 (*See-DL*) mit Preisen für PE 100 Rohre aus den Bruttopreislisten des Jahres 2014 verschiedener Rohrproduzenten (*DL-Firmen*). Es werden jeweils nur Rohre der Serie PE100 SDR 17 als Stangenware miteinander verglichen.

Auffällig ist der große Unterschied zwischen den Kostenfunktionen in Abbildung 68. Einerseits unter den Rohrproduzenten selbst (*DL-Firma* 1 bis 3), und andererseits liegen die realen Investitionskosten einer fertig verlegten Seedruckleitung teilweise unter den offiziellen Rohrpreisen der Hersteller. Dabei muss zusätzlich beachtet werden, dass in den angeführten Laufmeterkosten der Investitionskosten die kostenintensiven Beschwerungsgewichte sowie die Verlegung bereits inkludiert sind. Diese großen Unterschiede zu den offiziellen Preisen laut den Preislisten der Produzenten kommen durch die nachträglich gewährten Preisnachlässe zustande.

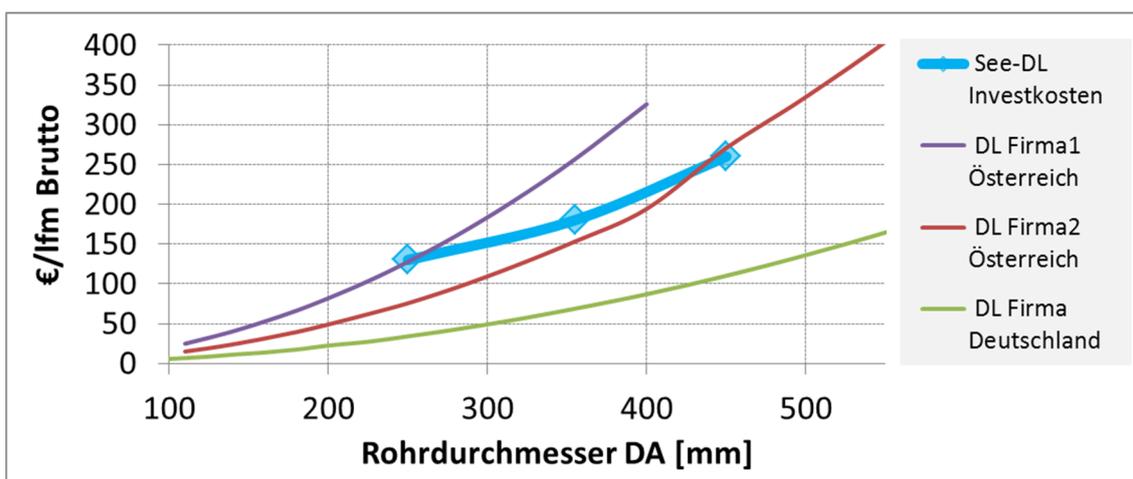


Abbildung 68: Vergleich der indexangepassten Investitionskosten einer Seedruckleitung (*See-DL*) (Rohrkosten + Kosten der Beschwerungsgewichte) mit Rohrkosten verschiedener Produzenten (*DL-Firma*) aus den Bruttopreislisten von 2014.

Da diese Preisnachlässe sehr ortsspezifisch sind, können diese daher ohne ein konkretes Vorhaben nicht reproduziert werden. Für einen Kostenvergleich geplanter Maßnahmen sind daher entsprechende Angebote über die tatsächlichen Rohrkosten incl. der Preisnachlässe unbedingt erforderlich.

Die **gesamten Errichtungskosten einer SDL** (incl. Landeinbindung, Baustellengemeinkosten, etc.) der zur Verfügung stehenden Projektabrechnungen lagen pro Laufmeter verlegtem Rohr in einer Bandbreite von 280 bis 410 €/lfm.

17.3. Kostenvergleich landseitig/seeseitig verlegter Druckleitungen

Das nicht nur der Vergleich der Investitionskosten für den zu verlegenden Rohrstrang ausreicht leuchtet spätestens dann ein, wenn man nicht mehr mit der Wahl des Rohrmaterials (Anm.: PE als erste Wahl für SDL), sondern mit der Wahl des Verlegungsortes konfrontiert ist.

Das Umweltbundesamt hat in einem Projekt im Zuge der Beurteilung und Sanierung von kontaminierten Standorten (UBA, 2010) die verschiedenen Methoden der „umweltökonomischer Bewertung“ analysiert. Darunter wird die „nachvollziehbare Darstellung bzw. Gegenüberstellung der ökonomischen und ökologischen Wirkungen von Maßnahmen und die Bewertung aller Wirkungen und Maßnahmen verstanden“.

Nachfolgend sind die wichtigsten Instrumente einer wasserwirtschaftlichen Planung nach Nachtnebel (UBA, 2010) angeführt:

Kosten-Nutzen-Analyse

„Die Kosten-Nutzen-Analyse gilt als rein monetäres Verfahren, bei der sämtliche direkten und indirekten Auswirkungen eines Projektes mit Marktpreisen bewertet werden, um monetäre Größen zu gewinnen, die schließlich auf einen Zeitpunkt zu beziehen und zu aggregieren sind.“

Nutzwertanalyse

„Die Nutzwertanalyse ist das wichtigste nicht monetäre Bewertungsverfahren. Dabei wird der Zielerfüllungsgrad jeder Alternative in Bezug auf die Erfüllung von Teilzielen ausgedrückt. An Stelle von monetären Größen treten Nutzenfunktionen und Gewichtungen, die eine Vergleichsbasis im Hinblick auf die Zielerfüllung schaffen. „

Kosten-Wirksamkeits-Analyse

„Die Kosten-Wirksamkeits-Analyse stellt die Kosten in Form monetär bewertbarer Größen den nicht monetär erfassten Wirkungen gegenüber. Damit stellt sie einen Übergang zu den rein monetären Verfahren dar. Der Wirksamkeit (= Nutzwert) der Alternativen, ausgedrückt in einem dimensionslosen Index, werden also die Kosten in Geldeinheiten gegenübergestellt.“

Mehrzielplanungsverfahren

„Neben den oben angeführten Methoden existiert eine Reihe weiterer anerkannter Verfahren, die mathematisch-methodische Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung bei komplexen, mehrdimensionalen Problemen darstellen.“

Die im Jahre 1975 durchgeführten Investitionen am Attersee würden sich nach heutigen Maßstäben auf mehr als € 10,4 Mio. belaufen. Damals wurden 28,4 km Seedruckleitungen (inkl. der Landeinbindung) mit Durchmessern von 160 bis 630 mm verlegt.

Die finanziellen Gründe für die damaligen Überlegungen zum Bau von Seedruckleitungen anstatt landseitiger Druckleitungen sind gut in Abbildung 69 nachvollziehbar. Detailinformationen dazu wurden jedoch nicht publiziert. Dort sind nach Flögl und Hoyer (2001) in Schilling pro Laufmeter (ATS/lfm oder S/m) die Gesamtkosten eines Betonmuffenrohres (als Uferkanalisation) den Gesamtkosten einer PE-Seedruckleitung gegenübergestellt. Inwieweit die damaligen Kosten der Rohrstränge mit den heutigen (vgl. Abbildung 68) zu vergleichen sind, ist trotz einer Indexanpassung zu bezweifeln, v.a. weil sich die heutigen PE-Rohrkosten im Vergleich zu den damaligen PE-Rohrkosten um 20-30% verringert haben. Dieser Effekt dürfte v.a. auf die gesunkenen Materialkosten zurückzuführen sein.

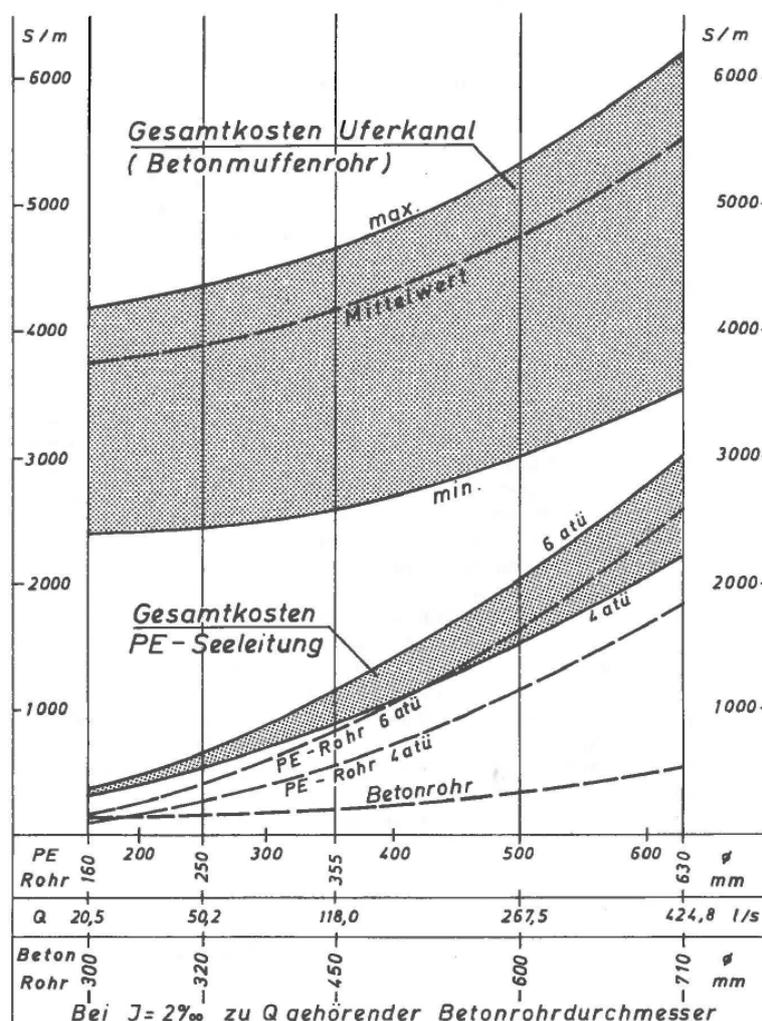


Abbildung 69: Kostenvergleich von Seeleitungen und Uferkanäle in ATS/m; Preisstand 1978 (Flögl und Hoyer, 2001).

Die Gesamtbaukosten der 8,6 km langen Trinkwasser-Seeleitung (mit 6,5 km durch den Traunsee) betragen 1998 ca. € 2,6 Mio. Eine überschlägige Schätzung der Gesamtbaukosten bei landseitiger Verlegung belief sich damals auf ca. € 5,8 Mio., sodass mehr als die Hälfte der Investitionskosten gegenüber einer landseitigen Lösung eingespart werden konnten (Quelle: AGRU Kunststofftechnik

GmbH). Die Produktion der gesamten PE100 Leitung erfolgte damals in einem Zeitraum von etwa vier Wochen.

Eine eigene statistisch abgesicherte Erhebung von Kosten landseitig verlegter Druckleitungen war innerhalb der gegenständlichen Studie aus Zeitgründen nicht möglich. Es ist aufgrund der geologischen Gegebenheiten anzunehmen, dass für die Verlegung einer Druckleitung statt durch den See über Land nicht die üblichen kostenminimierenden Verlegetechniken für Druckleitungen angewendet werden können. Aus diesem Grund können als Anhaltswerte bezüglich der zu erwartenden Kosten für den Landweg die periodisch erhobenen Kosten für den allgemeinen Kanalbau im Zuge der Evaluierung der Umweltförderung (BMLFUW 2005, 2008, 2011a, 2014a) dienen.

Wie in Abbildung 70 exemplarisch für die Bundesländer Kärnten, Oberösterreich und Salzburg dargestellt, lagen die spezifischen Errichtungskosten (indexangepasst) im Kanalbau pro Laufmeter in den Jahren 2002 bis 2010 um die 200 €/m. Zu den dabei verbauten Rohrdimensionen (DA in [mm]) wurde in den oben genannten Publikationen keine Aussage gemacht. Erst in der letzten ausgewerteten Periode (2011-2013) war eine deutliche Verteuerung der Errichtungskosten im Kanalbau feststellbar. Dieser steigende Trend war in Salzburg schon seit dem Jahr 2002 zu beobachten. Für die Indexanpassung wurde der jeweilige Baupreisindex (sonstiger Tiefbau Gesamt) der drei betroffenen Jahre gemittelt.

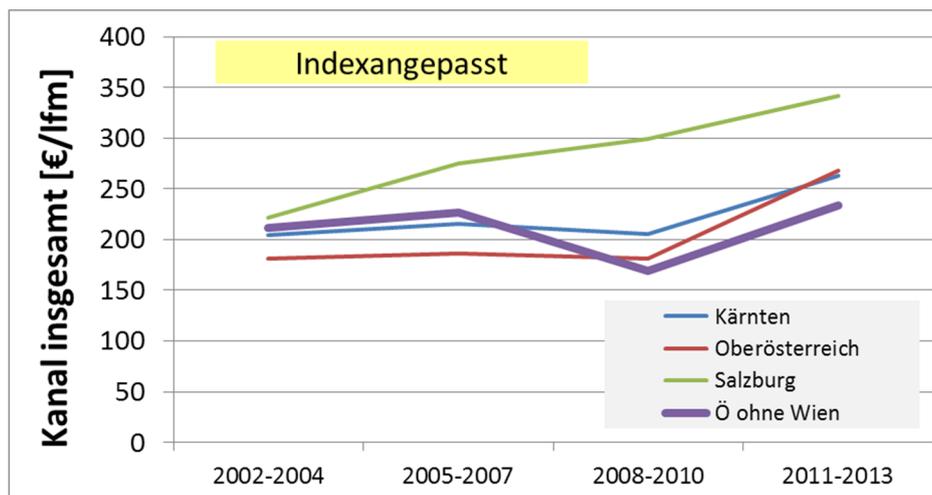


Abbildung 70: Spezifischen Errichtungskosten (indexangepasst) im Kanalbau anhand vier ausgewerteter Perioden von 2002 bis 2013 (Datengrundlage: BMLFUW 2005, 2008, 2011a, 2014a). *Indexanpassung: BPI Sonstiger Tiefbau Gesamt 2000, Jahresdurchschnitt (<http://www.statistik.at>).*

Damit liegen die spezifischen Errichtungskosten im Kanalbau mit Ausnahme des Bundeslandes Salzburg in einer ähnlichen Größenordnung wie die in Abbildung 68 ermittelten Investitionskosten einer Seedruckleitung. Wobei hier Rohrdimensionen von 350 bis 450 mm DA verlegt wurden.

18. Verbesserungen zur Minimierung des bestehenden Risikos

18.1. Betrieb und Überwachung

Es gibt eine Reihe von begleitenden Maßnahmen, die während des laufenden Betriebs durchgeführt werden können bzw. sollten. Hier im Anschluss sind nur ein paar davon angeführt.

Betriebliche Vorschriften: Dies soll gewährleisten, dass alles getan wird um das Risiko für eine ungewollte Abwasserfreisetzung zu verringern (als Beispiel müsste man jeden Tag oder jede Woche die Überwachung der Betriebsdaten mit seiner Unterschrift bestätigen). Auf die möglichen Überwachungsstrategien wird im folgenden Kapitel 18.2 im Detail eingegangen.

Molchschleusen: Gut situierte und für das Betriebspersonal leicht zu handhabende Molchschleusen tragen wesentlich dazu bei, diese Arbeiten durchzuführen. Eine optimale Abreinigung der Rohrwand trägt bei der optischen Inspektion wesentlich zur Erkennung von Unregelmäßigkeiten bei.

Taucheinsätze üben: Mit speziell ausgebildeten Tauchern sind bereits im Vorfeld entsprechende Übungen abzuhalten. Dies verringert die Zeit bis zur effektiven Umsetzung der Reparatur erheblich.

Handlungsablauf: Die Reparaturzeit würde sich vermindern, wenn Handlungsabläufe bereits im Vorfeld abgeklärt sind und geübt werden (z.B. Ablaufprozedere bei vermuteter Leckage oder Totalbruch nach Kapitel 18.5).

Angemessene Maßnahmen der Behörde: Dies betrifft im Besonderen die Handlungsempfehlungen für Maßnahmen nach der EU Badegewässer-Richtlinie (RL 2006/7/EG), wenn das ausgewiesene Badegewässer für kurzzeitige Verschmutzungen anfällig ist (z.B. Warnung der Badenden im Fall einer Verschmutzung, Einrichten von Beobachtungsmaßnahmen wie Frühwarnsysteme und Überwachungsstrategien).

Optische Zustandserfassung der Seedruckleitung als Einheit: Es sollte neben der Innenrohrinspektion nach Kapitel 14.6 auch die äußere Inspektion mit Tauchern oder Unterwasserkameras angedacht werden. Dies soll zum Ziel haben, einerseits das Rohr der SDL selbst und andererseits die daran montierten Beschwerungsgewichte zu inspizieren.

Beschwerungsgewichte: Wenn man über längere Einsatzzeiten der SDL nachdenkt, könnten mögliche zukünftige Betriebsprobleme von den Betongewichten ausgehen. Man muss berücksichtigen, dass entlang der Rohrleitung unterschiedliche Beeinflussungen von innen und außen auftreten können:

- Zu Beginn der Leitung beim Pumpwerk sind die Druckänderungen (positiv und negativ) im Leitungsinnen am größten.
- Im Epilimnion des Sees herrschen hohe Sauerstoffkonzentrationen (Korrosion), im Hypolimnion nur gelegentlich und im Monimolimnion ist das Wasser quasi sauerstofffrei (siehe dazu auch Kapitel 11.3.)
- Es gibt eine ausgeprägte Temperaturschichtung je nach Seetyp. Dies wirkt sich auf das Zeitstandsverhalten der PE-Rohre über den jeweiligen Abschnitt des Leitungsstrangs aus (siehe dazu auch Kapitel 8.2.1.2).

Ein Grund, warum man sich über mögliche zukünftige Schäden bei längeren Einsatzzeiten Gedanken machen sollte, ist die Tatsache, dass alle Komponenten der Seedruckleitungen (als Einheit) nur auf 50 Jahre Betriebsalter ausgelegt war. Dazu zählen auch die damals notwendigen Hilfskonstruktionen und unterstützenden Maßnahmen.

Es wurden daher zwei wesentliche Punkte identifiziert, welche bei den Betongewichten stichprobenartig überprüft werden sollte:

- Reibung der Betonkanten der Beschwerungsgewichte an den Rohrwänden. → Was ist die Lebenserwartung der damals verwendeten Gummieinlagen? Sind diese beim Absenkvorgang teilweise verloren gegangen?
- Durchrosten von Gewindestangen, Spannbändern, Ketten und Seilen von Beschwerungsgewichten (und Positionierungsgewichten, falls diese zur aktuellen Beschwerung beitragen). → Wie ist der aktuelle Korrosionszustand?

Als Beispiel sei auf Abbildung 71 verwiesen, wo diese Problematik im Detail gezeigt wird. Hier ist im rechten Bild zwar eine Gummieinlage zu erkennen, doch befindet sich diese hinter der Betonkante, welche offensichtlich ins Rohr drückt (Abbildung 71, links). Es konnte jedoch nicht genau festgestellt werden, ob das Ausstellungsstück ein Relikt von den damaligen Baumaßnahmen ist, oder ob es nachträglich angefertigt wurde.

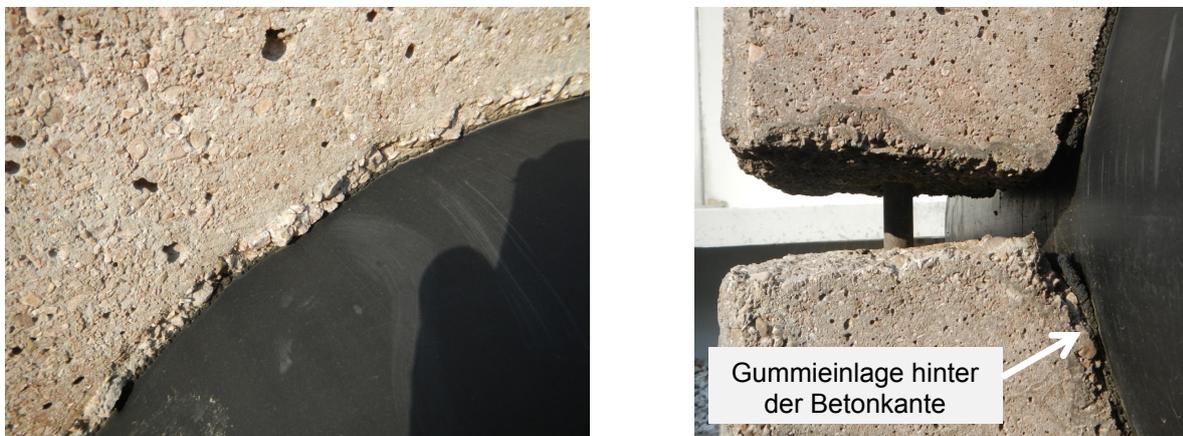


Abbildung 71: Anbringen der Betonklötze am Rohr. Hier ein Ausstellungsstück des RV Attersee aus den 1970er Jahren (Bildquelle: Ortsbegehung Attersee).

18.2. Stufenplan zur Überwachung der Seedruckleitungen

18.2.1. Grundlagen

Bezüglich der Überwachung von Seedruckleitungen ist eine Vielzahl von Aspekten zu berücksichtigen. Da aktuell nur einige Betreiber strikte Vorgaben bezüglich ihrer Überwachungsstrategie haben, befinden sich die meisten im sogenannten Graubereich. Dies sollte umgehend von Seiten der zuständigen Behörden harmonisiert werden, um klare und strukturierte Vorgaben anbieten, später aber auch einfordern zu können.

Der wichtigste Punkt, der im Vorfeld einer angeordneten Überwachungsstrategie abzuklären ist, ist die Aussagekraft der überwachten Parameter hinsichtlich der Detektion einer Leckage/eines Bruchs bzw. dem Ort des Schadens.

Ein weiterer Punkt ist die Möglichkeit der Installation von Überwachungsgeräten am Anfang und am Ende der Seedruckleitungen. Dies ist vor allem bei älteren Pumpwerken mit trocken aufgestellten Pumpen (die Installation eines Durchflussmessers war damals nicht vorgesehen) und Schachtpumpwerken mit Tauchpumpen (mit Kanaldeckel verschlossen) nur mit größeren Umbauten oder sogar Neubauten möglich.

Diese Betrachtung führt neben den technischen Herausforderungen und Möglichkeiten zur notwendigen Finanzierung dieser Bau- und Installationsmaßnahmen. Da die Pumpwerke meistens von begehrten und dadurch auch teuren Seegrundstücken umgeben sind, kann schon alleine die Suche nach einem geeigneten Platz für einen zusätzlichen Messschacht als sehr schwierig angesehen werden. Die notwendigen Investitions- und Installationskosten der Überwachungsgeräte sind dabei noch gar nicht berücksichtigt.

Bezüglich der Überwachungsstrategie ist zwischen **permanenten** und **periodischen Überwachungsgeräten** zu unterscheiden. Beispiele für permanente Überwachungsgeräte sind die Druckmessung und die Durchflussmessung. Diese können sowohl am Anfang als auch am Ende der Druckleitung eingebaut werden. Außerdem eignet sich für die permanente Überwachung auch die Auswertung der Pumpenganglinien der jeweiligen Pumpstation. Damit können schon im Vorfeld Betriebsprobleme erkannt werden. Für die periodische Überwachung bieten sich die Druckprüfung und die optische Innenrohrinspektion (mit den aufgezeigten eingeschränkten Anwendungsmöglichkeiten) an.

Es sei angemerkt, dass ein sogenanntes „**Leck-vor-Bruch-Verhalten**“ bei den verlegten Polyethylenleitungen vorausgesetzt wird. Dies bedeutet im konkreten Fall, dass ein Bruch (Querriss) immer durch eine vorhergehende Leckage angekündigt wird. Aus diesem Grund ist eine permanente Leckdetektion in Kombination mit betriebsorientiert durchgeführten Zustandsüberwachungen von hoher Priorität.

18.2.2. Überwachungsstrategien

Die erwähnten Überwachungsstrategien haben je nach Anwendung, Wartung, Genauigkeit und Auswertung der Messergebnisse unterschiedliche Aussagekraft. Als Ergebnis dieser Überlegungen wurde ein **5-Stufenplan** ausgearbeitet, der in Tabelle 33 mit Entscheidungskriterien zu einer Matrix verknüpft wurde. Eine Reihung der Maßnahmen entsprechend der Abfolge der Stufen im Stufenplan ist jedoch nicht zwingend erforderlich:

1. **Auswertung vorhandener Pumpendaten:** Diese werden vor Ort gespeichert und mit Hilfe der Daten(fern)übertragung in einen Zentralrechner eingespielt (z.B. Pumpenlaufzeit und Stromaufnahme des Motors). Es kann eine standardisierte manuelle Kontrolle der Protokolle (täglich/wöchentlich) oder eine automatisierte Berechnung verschiedener Alarmparameter erfolgen. Diese Strategie kann ohne größere Umbauten vor Ort bei den Pumpwerken eingesetzt werden. Sie kann als alleinige Maßnahme nur bei untergeordneten Pumpwerken mit geringem Risiko Anwendung finden.
2. **Elektronische Druckmessung:** Ein Vorteil ist der geringe Platzbedarf der Messsonde und der einfache Einbau in bestehende Rohrsysteme. Bei der Messung am Ende der SDL muss die Sonde unter dem freien Auslauf positioniert werden. Diese Messmethode sollte in Kombination mit der Auswertung der vorhandenen Pumpendaten zur Anwendung kommen.
 - (a) **am Anfang:** Aussage nur über die relative Änderung der Pumpen-Performance über die Zeit; Detektion eines Bruchs möglich - wenn er sich am Anfang der Leitung befindet;
 - (b) **am Ende:** Aussage über die relative Änderung der Pumpen-Performance über die Zeit; Detektion eines Bruchs möglich;
 - (c) **am Anfang und am Ende:** Es wäre zu prüfen, ob die Kombination beider Messungen eine größere Leckage detektieren kann.
3. **Durchfluss-/Mengenmessung:** Hier kann entweder die kontinuierliche Messung des Durchflusses (MID) oder die am Ende des Pumpenzyklus gepumpte Summe der Abwassermenge ermittelt bzw. aufgezeichnet werden. Die gepumpte Menge kann als Alternative auch mit Hilfe einer Höhenmessung im Pumpschacht und der Schachtgeometrie ermittelt werden. Daher ergeben sich hier mehrere Varianten zur Überwachung. Diese Messmethode sollte zumindest in Kombination mit der Auswertung der vorhandenen Pumpendaten zur Anwendung kommen. Als Grenze der Erkennung werden etwa 5% der Durchflussmenge angenommen.

Kontinuierliche Messung des Durchflusses (MID): (a) **am Anfang:** Aussage nur über die relative Änderung der Pumpen-Performance über die Zeit; Detektion einer Leckage möglich; (b) **am Ende:** Aussage über die relative Änderung der Pumpen-Performance über die Zeit; Detektion einer Leckage möglich; (c) **am Anfang und am Ende:** Durch Differenzbildung ist eine Aussage über die Leckagemenge (> Messgenauigkeit des MID) möglich.

Summe der gepumpten Abwassermenge (MID oder Höhenstand): (a) **am Anfang:** keine Aussage; (b) **am Ende:** keine Aussage; (c) **am Anfang und am Ende:** Durch Differenzbildung ist eine Aussage über die Leckagemenge (> Messgenauigkeit, d.h. bilanzierte Abwassermenge) möglich.
4. **Druckprüfung:** Die Druckprüfung soll in Anlehnung an ÖNORM EN 805 erfolgen (vgl. Kapitel 14.4). Sie ist eine Momentaufnahme des aktuellen Zustands und sollte bei Seedruckleitungen öfters erfolgen (Empfehlung 2 Jahre). Maßnahmen, um die Vorarbeiten zur Druckprüfung zu minimieren, sollten unbedingt durchgeführt werden (z.B. Flanschanschlüsse am Anfang oder am Ende sowie dichte Absperrorgane). Eine Aussage über das Leckageverhalten auch bei kleinen Lecks ist dadurch möglich.

Es herrscht bei den meisten Betreibern von Seedruckleitungen Uneinigkeit bezüglich einer korrekt durchzuführenden Druckprüfung. Ein Grund ist vor allem die teilweise fehlende behördliche Vorschrift zur laufenden Drucküberprüfung.

Innerbetriebliche „Druckprüfung“: Wenn am Anfang und am Ende der SDL automatisch betätigte Schieber installiert sind, kann eine innerbetriebliche „Druckprüfung“

durchgeführt werden. Dabei fährt die Pumpe gegen den geschlossenen Schieber am Ende der SDL um einen Überdruck aufzubringen. Anschließend schließt sich der Schieber am Anfang der SDL und der sich dabei einstellende Druck kann über einen längeren Zeitraum überwacht werden. Voraussetzung dafür sind entsprechend ausgerüstete Schieber und die Zwischenspeicherung des zwischenzeitlich anfallenden Abwassers. Diese Prüfung ist daher möglichst mit Zeiten geringen Abwasseranfalls (z.B. saisonal, nachts) zu kombinieren.

Diese Methode ersetzt nicht die Druckprüfung in Anlehnung an ÖNORM EN 805, kann aber durchaus einen Aufschluss über eine mögliche Leckage geben und würde ein Erstrecken des oben empfohlenen Wiederholungsintervalls einer Druckprüfung nach ON EN 805 von 2 Jahre auf zumindest 5 Jahre fachlich argumentieren lassen.

5. **Optische Innenrohrinspektion:** Zur Anwendung können die in Kapitel 14.6 dargestellten Methoden mit den dort beschriebenen Einschränkungen kommen. Eine vorhergehende erfolgreiche Molchung zur Abreinigung der Rohrwand mit nachträglichem Spülen der Leitung mit feststoffarmen Wasser ist zwingend erforderlich.

Überlegungen zur Anwendung der Überwachungsstrategien

Anmerkungen zu Stufe 1, Stufe 2, und Stufe 3: Eine zwingende Voraussetzung für die elektronische Überwachung der Seedruckleitungen in Stufe 1 bis 3 ist die regelmäßige Übertragung der vor Ort aufgezeichneten Daten. Es bringt die genaueste Messung vor Ort nichts, wenn bei einer kontinuierlichen Messmethode nur alle 10 Minuten ein Messwert gespeichert und einmal pro Tag übertragen wird, vor allem dann wenn die Pumpzeiten unter 10 Minuten liegen. Es geht hier um online Überwachung mit kurzen Messintervallen. Die Messintervalle der Überwachungsgeräte müssen erlauben, die geforderte Aussage über den jeweiligen überwachten Zustand machen zu können. Dies stellt auch hohe Anforderungen an die Datenfernübertragung bzw. an die Speichermöglichkeiten der Messdaten im Auswertesystem. Nicht nur in technischer Hinsicht, sondern auch bezüglich der notwendigen Infrastruktur bzw. laufenden Kosten

Wichtig erscheint außerdem die Feststellung der Tatsache, dass der Tag des Einbaus die Grundlage für den „Referenzwert“ darstellt. Vor allem bei Punkt 3. kann der Einbau nur eines Durchflussmessers keine Aussage über die Richtigkeit der gemessenen absoluten Menge geben, wenn man davon ausgeht, dass zum Zeitpunkt des Einbaus bereits ein stabiles Leck von z.B. 1% des Rohrquerschnitts in der überwachten SDL vorhanden ist. Hier müsste unbedingt vorher zumindest eine Druckprüfung in Anlehnung an ÖNORM EN 805 durchgeführt werden.

Anmerkungen zu Stufe 2 und Stufe 3: Die hier dargestellte Reihung ist keine unbedingte Vorgabe. Es kann entsprechend der Gegebenheiten vor Ort durchaus sinnvoll sein, einen Durchflussmesser zeitlich vor einer elektronischen Druckmessung zu installieren. Dies gilt insbesondere dann, wenn man sich aufgrund der aktuellen Rohrperformance (großer Durchfluss) keine allzu großen Genauigkeiten bzw. eine nur geringe Aussagekraft der elektronischen Druckmessung erwartet. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass die Messgeräte je nach den Einbaubedingungen eine entsprechende ATEX-Schutzklasse (explosionsgefährdeter Bereich) aufweisen müssen.

Anmerkungen zu Stufe 4 und Stufe 5: Die Aussagekraft dieser beiden Überwachungsprinzipien wird durch eine Rohr-Innenreinigung wesentlich gesteigert, bzw. ist generell die Voraussetzung zur Durchführung. Dies soll hauptsächlich zum Entfernen von Ablagerungen und Gaseinschlüssen dienen. Über die Problematik einer Molchung in SDL wird auch in den Kapiteln 14.6.4 sowie 21.2 eingegangen.

Tabelle 33: Stufenplan zur Überwachungsstrategie für Abwasser-Seedruckleitungen.

STUFE	1	2	3	4	5
Kategorie	Pumpendaten- auswertung	elektronische Druck- messung ²⁾	Durchfluss- /Mengen- messung ²⁾	Druckprüfung in Anlehnung an ON EN 805	optische Innenrohr- inspektion
Einbaumöglichkeit	--	einfach und platzsparend	je nach Platz- verfügbarkeit	--	--
Aussagekraft zur Identifikation einer 5% Leckage ¹⁾	nein	A: nein E: nein A&E: möglich?	A: gering E: gering A&E: hoch	hoch	gering
Aussagekraft zur Identifikation eines Bruchs (Querriss)	gering/hoch ⁴⁾	A: gering ³⁾ E: hoch A&E: hoch	A: gering ³⁾ E: hoch A&E: hoch	hoch	hoch
Häufigkeit der Überwachung	periodisch / permanent	permanent	permanent	periodisch	periodisch
Anschaffungs- kosten (netto)	je nach Art der Überwachung	ca. € 400,-	ca. € 3.000,-	--	--
Betriebs- kosten (netto)	--	--	--	ca. € 2.000,-	noch keine Marktpreise

1) ... Leckage im Ausmaß größer der Messgenauigkeit laut den Herstellerangaben (z.B. 1% des Rohrquerschnitts, was in etwa 5% der Durchflussmenge entspricht).

2) ... Lage der Messeinrichtung: A ... Leitungsanfang; E ... Leitungsende; A&E ... Leitungsanfang und –ende

3) ... Je nach Position des Schadens am Anfang oder Ende der Leitung.

4) ... Je nach Anwendungsfall bzw. überwachte Pumpenkenndaten.

18.3. Beispiele für Handlungsempfehlungen aus der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse erlaubt es, verschiedene mögliche risikominimierende Maßnahmen auf ihre zu erwartende Effektivität zu überprüfen. Im folgenden Kapitel werden vier Beispiele für Handlungsempfehlungen aus der Risikoanalyse gegeben. Diese Beispiele zeigen, dass auch vergleichsweise einfache Maßnahmen (d.h. kein Leitungsneubau), zum Teil deutlich zur Risikominimierung beitragen könnten.

18.3.1. Beispiel Attersee, Leitungs ID: RV_A-ID 3

Zustandsbeschreibung

Der Attersee ist ein großer See mit hervorragender Wasserqualität. Die Risikoziele für die „nicht Badesaison“ ergeben daher einigen Spielraum. Die Leitung liegt flach und ist über weite Strecken

zugänglich. Das im Jahresdurchschnitt täglich gepumpte Volumen von 1.450 m³ ist verhältnismäßig hoch. Die Leitung ist nicht mit MID's oder Druckfühlern instrumentiert, allerdings werden die Betriebsdaten der Pumpen aufgezeichnet und einmal täglich nach Auffälligkeiten geprüft, um Brüche zu entdecken. Aufgrund des hohen Durchsatzes ist kein Alternativbetrieb möglich.

Ergebnis der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse weist der Leitung RV_A-ID 3 mit einem risikorelevanten Vorfall alle vier Jahre ein, im Vergleich zu den anderen Leitungen, erhöhtes Risiko aus. Die Betrachtung ergibt, dass sich hauptsächlich Lecks auf das Gesamtrisiko durchschlagen, aufgrund ihrer 10-fach erhöhten Wahrscheinlichkeit zu Brüchen.

Würde nun als Maßnahme ein verbessertes Mittel zur Leckdetektion eingesetzt (in der Analyse wurde ein MID am Anfang und am Ende der Leitung angenommen), so könnten, wegen der hohen Durchsätze der Leitung, risikorelevante Vorfälle im Uferbereich trotzdem nicht verhindert werden. Ebenso wenig könnte verhindert werden, dass Brüche zu risikorelevanten Vorfällen führen. Allerdings könnte im Zentralbereich das Leck entdeckt und rechtzeitig repariert werden. Das Risiko würde sich dadurch von vier auf einen Vorfall alle 18 Jahre reduzieren. Eine weitere Reduktion einen Vorfall alle 224 Jahre würde sich nur durch Vorsorge für einen Alternativbetrieb, also etwa eine parallele Leitung, ergeben.

Zusätzliche Informationen finden sich in Kapitel 3.2 bis 3.5 des → Ergänzungsbandes zu dieser Studie.

18.3.2. Beispiel Wallersee, Leitungs ID: RHV_WS-ID 1

Zustandsbeschreibung

Der Wallersee hat aufgrund seiner Größe und Reinheit mittelstrenge Vorgaben an die Risikoziele. Die betrachtete Leitung ist spiegelgeschweißt, liegt flach und weist mit 42 Jahren ein höheres Betriebsalter auf. Es gibt eine parallelverlegte Leitung, die redundant betrieben werden kann. Ein Durchflussmesser am Anfang der Leitung ist installiert, womit täglich auf Brüche kontrolliert wird. Mit einer Pumpmenge von 1.100 m³ pro Tag liegt die Leitung im Vergleich im Vergleich mit den anderen SDL im höheren Risikobereich. Alle drei Jahre wird eine Druckprobe durchgeführt.

Ergebnis der Risikoanalyse

Für die Leitung wird durch ihre Lage, ihr Alter und ihre Fertigungsart eine höhere Fehlerrate ausgewiesen. Der große Durchsatz führt dazu, dass die Risikoziele sehr schnell erreicht werden, mit mindestens einem Vorfall pro Jahr. Die Analyse zeigt, dass hauptsächlich Lecks zu dieser hohen Rate beitragen. Lecks können nur alle vier Jahre entdeckt werden, durch den hohen Durchsatz können aber auch durch Lecks in kurzer Zeit schwerwiegende Mengen in den See eingespeist werden. Ein zweiter MID am Ende der Leitung könnte die Entdeckung von Lecks erheblich beschleunigen. Die Analyse zeigt, dass sich zwar an dem Beitrag des Bruchs zum Risiko nichts ändern würde, aber das Leck würde erheblich seltener zu einem risikorelevanten Vorfall führen – statt einmal im Jahr, einmal alle 37 Jahre. Wenn man nun keine dritte Leitung bauen will, kann dieses Risiko nur durch eine verbesserte Überwachung der Betriebsdaten, d.h. von einer einfachen visuellen Kontrolle einmal jeden Tag auf eine kontinuierliche Überwachung im Prozessleitsystem, weiter reduzieren. Wenn man zum Beispiel eine automatisierte Überwachung

der Leitungs-Betriebsdaten im Prozessleitsystem alle 6 Stunden implementieren würde, würde sich die Risikomaßzahl auf 48 Jahre erhöhen.

Detaillierte Angaben finden sich in Kapitel 3.6 und 3.9 des → Ergänzungsbandes zu dieser Studie.

18.3.3. Beispiel Pressegger See, Leitungs ID: AWV_KR-ID 1

Zustandsbeschreibung

Der Pressegger See hat durch seine geringe Größe und Wasserqualität sehr strikte Vorgaben für die definierten Risikoziele. Die Leitung ist spiegelgeschweißt, liegt flach, und weist 43 Betriebsjahre auf. Mit einem Durchfluss von 80 m³ pro Tag wird die Leitung im Vergleich mit den anderen SDL nur durchschnittlich beansprucht. Die Leitung ist nicht instrumentiert, Betriebsdaten der Pumpe werden nicht überwacht. Es werden keine Druckproben durchgeführt. Brüche oder Lecks werden nicht erkannt.

Ergebnis der Risikoanalyse

Der Leitung wird mit einem Vorfall alle vier Jahre ein hohes Risiko ausgewiesen. Die Leitung hat durch ihre Lage, ihre Fertigungsart und ihr Alter eine höhere Versagenshäufigkeit, und da nicht auf Brüche oder Lecks geprüft wird, schlägt die Versagenshäufigkeit voll auf das Risiko durch. Allerdings könnte hier, durch das relativ geringe Volumen, ein Alternativbetrieb eingerichtet werden und sogar Brüche müssten kein schwerwiegendes Ereignis im See nach sich ziehen, würden sie rechtzeitig erkannt. In einer zweiten Analyse wurde daher angenommen, dass am Anfang und am Ende der Leitung MID's eingebaut sind, welche einmal pro Tag vom zuständigen Personal auf Lecks oder Brüche überprüft werden. In Folge kann sowohl das Risiko von Brüchen als auch das Risiko von Lecks erheblich gemindert werden. Statt einem Vorfall alle vier Jahre käme es zu einem Vorfall alle 230 Jahre. Damit liegt die Leitung im Vergleich mit den anderen SDL im Bereich eines sehr geringen Risikos.

Detaillierte Angaben finden sich in Kapitel 3.10 und 3.12 des → Ergänzungsbandes zu dieser Studie.

18.3.4. Beispiel Wörthersee, Leitungs ID: WV_WO-ID 12

Zustandsbeschreibung

Auch der Wörthersee hat aufgrund seiner Größe und Reinheit mittelstrenge Vorgaben an die Risikoziele. Die betrachtete Leitung ist endlos extrudiert, liegt flach und weist mit 43 Jahren ein höheres Betriebsalter auf. Es gibt keine parallel verlegte Leitung. Ein Durchflussmesser am Anfang der Leitung ist installiert, der täglich auf Brüche kontrolliert wird. Mit einer Pumpmenge von 160 m³ pro Tag liegt die Leitung im Vergleich im Vergleich mit den anderen SDL im höheren Risikobereich. Es wird keine Druckprobe durchgeführt.

Ergebnis der Risikoanalyse (aktueller Zustand)

Für die Leitung wird durch ihre Lage, ihr Alter und ihre Fertigungsart eine höhere Fehlerrate ausgewiesen.

Risikoziele: Der Durchsatz der Leitung ist so hoch, dass die strengen Risikoziele in der Badesaison im Falle eines Leitungsbruches schnell überschritten würden. Im Falle eines kleinen

Lecks im Zentralbereich in der Badesaison ist allerdings einige Zeit gegeben. Außerhalb der Badesaison gibt es allerdings einen gewissen zeitlichen Spielraum, bevor der Eintrag von Abwässern in den See als „schwerwiegendes Ereignis“ zu werten ist.

Detektion: Die Leitung ist mit einem MID am Anfang instrumentiert. Es wird unterstellt, dass daher Brüche, sofern sie nicht am Leitungsende auftreten, erfolgreich erkannt werden können. Kleine Leckagen sind allerdings, durch die Messungenauigkeiten eines so instrumentierten Systems, nicht detektierbar.

Reparatur: Der tiefste Punkt der Leitung liegt bei 20 m, es wird daher angenommen, dass, sollte ein Leck oder Bruch einmal identifiziert sein, eine Reparatur innerhalb eines Monats möglich ist. Dieser Zeitraum ist nicht klein genug, um in der Badesaison ein aufgetretenes Leck oder Bruch rechtzeitig zu beenden. Außerhalb der Badesaison sollte diese Zeit allerdings ausreichen, ohne zu einer unbotmäßigen Belastung für den See zu führen.

Es zeigt sich, dass vor allem kleine Lecks das Risiko dominieren. Insgesamt ergibt sich eine Risikomaßzahl von $6,6 \times 10^{-2}/a$ oder einem Vorfall alle 15 Jahre.

Variante 1 – Verbesserung der Instrumentierung

In dieser Variante wird die Analyse wiederholt, allerdings wird angenommen, dass die Leitung am Anfang und am Ende mit einem Durchflussmesser ausgestattet ist. Es wird vorausgesetzt, dass dadurch alle Brüche erfolgreich detektiert werden können. Es wird ebenfalls angenommen, dass so ein System in der Lage ist, Lecks zuverlässig zu erfassen.

Immer noch dominieren kleine Leckagen das Risiko. Sie können nun zwar zuverlässig detektiert werden, allerdings reicht die Zeit in der Badesaison, in der die Risikoziele sehr streng vorgeben sind, nicht für eine Reparatur. Außerhalb der Badesaison hingegen kann die Leitung nun in hinreichender Zeit wieder instandgesetzt werden (Die Zeilen 1%-Restsaison tragen nun nicht mehr bei). Insgesamt ergibt sich nun eine etwa sechs Mal kleinere Risikomaßzahl von $1,1 \times 10^{-2}/a$ oder einem Vorfall alle 90 Jahre.

Variante 2 – Verlegen einer parallelen Leitung

Diese Variante soll unterstreichen, wie wichtig es ist, ein Leck oder einen Bruch zuverlässig erkennen zu können. In dieser Variante wird angenommen, dass zwar eine parallele Leitung gelegt, die Instrumentierung der Leitung aber nicht verbessert wurde. Kleine Lecks sind daher, wie im Referenzfall, nicht detektierbar.

Das Ergebnis zeigt, dass unter diesen Voraussetzungen eine zweite Leitung nur im Fall von Leitungsbrüchen, die zu einem großen Eintrag von Abwässern in den See führen, risikomindernd wirkt. Allerdings trägt dieser Fall, kaum zum Gesamtrisiko bei. Dies kann man verstehen, wenn man sich vor Augen hält, dass die zweite Leitung nur dann sinnvoll verwendet werden kann, wenn ein Leck erst einmal erkannt wurde. Dies ist aber bei kleinen Leckagen nicht der Fall – diese tragen daher, wie zuvor, dominant zum Risiko bei. Die Risikomaßzahl ist erneut bei $6,5 \times 10^{-2}$ oder einem Vorfall alle 15 Jahre.

Variante 3 – Verbesserung der Instrumentierung und Verlegen einer parallelen Leitung

Diese Variante folgt unmittelbar aus Variante eins. Das Risiko in Variante 1 ergibt sich, weil kleine Leckagen nun zwar detektiert werden können, in der Badesaison aber nicht genug Zeit zur Reparatur zur Verfügung steht. Gäbe es eine parallele Leitung, die in so einem Fall verwendet

werden könnte, wäre die Reparaturzeit keine kritische Größe mehr. Variante 3 nimmt daher an, dass eine zweite Leitung verlegt wurde, die zur ersten redundant betrieben werden kann. Beide Leitungen werden entsprechend instrumentiert.

Die Analyse zeigt, dass nun auch kleine Lecks in der Badesaison nicht zu einem „schwerwiegenden Ereignis“ führen, sofern sie im Zentralbereich auftreten, wo die Risikoziele etwas großzügiger als im Uferbereich definiert sind. Es kommt nun nur noch zu einer Risikomaßzahl von $5,0 \times 10^{-3}/a$ oder einem Vorfall alle 200 Jahre.

Detaillierte Angaben zu den hier dargestellten Varianten finden sich in Kapitel 3.13 und 3.17 des → Ergänzungsbandes zu dieser Studie.

18.3.5. Zusammenfassung der Beispiele für Handlungsempfehlungen

Es wurden vier Seen ausgewählt, welche ein hohes Risiko zeigten. Es ist dies in Salzburg der Wallersee mit der Leitung „RHV_WS-ID 1“, in Oberösterreich der Attersee mit der Leitung „RV_A-ID 3“ und in Kärnten der Pressegger See mit der Leitung „AWV_KR-ID 1“ sowie der Wörthersee mit der Leitung „WV_WO -ID 12“.

Im Anschluss an die standardmäßige Risikoauswertung in Tabelle 29, Tabelle 30 und Tabelle 31 wird zusammenfassend in Tabelle 34 das Risikoverhalten angeführt, wenn an diesen vier Leitungen angemessene Maßnahmen durchgeführt werden. Hier im gegenständlichen Fall waren es verbesserte Maßnahmen zur Leckdetektion sowie der Neubau einer redundanten Leitung bzw. eine verbesserte Überwachung der Betriebsdaten.

Tabelle 34: Zusammenfassung der im Detail untersuchten Abwasser-Seedruckleitungen hinsichtlich ihres Risikoverhaltens bezüglich des „schwerwiegenden Ereignisses alle # Jahre“ wenn angemessene Maßnahmen durchgeführt werden.

ID Nr. AW-SDL	Risiko 1% Leck [Jahr ⁻¹]	Risiko 100% Bruch [Jahr ⁻¹]	Risiko Gesamt [Jahr ⁻¹]	Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre
Auswertung Attersee				
RV_A-ID 3	2,18E-01	2,09E-02	2,39E-01	4,2
RV_A-ID 3 + MID AE	3,49E-02	2,09E-02	5,58E-02	17,9
RV_A-ID 3 + MID AE + Leitung	1,20E-03	3,26E-03	4,46E-03	224,3
Auswertung Wallersee Süd				
RHV_WS-ID 1	1,30E+00	2,15E-02	1,32E+00	0,8
RHV_WS-ID 1 + MID AE	6,10E-03	2,11E-02	2,72E-02	36,7
RHV_WS-ID 1 + MID AE + 6h CHECK	5,76E-03	1,50E-02	2,07E-02	48,2
Auswertung Pressegger See				
AWV_KR-ID 1	2,49E-01	2,49E-02	2,74E-01	3,7
AWV_KR-ID 1 + MID AE	3,82E-03	5,04E-04	4,33E-03	231,1
Auswertung Wörthersee				
WV_WO -ID 12	6,46E-02	1,03E-03	6,57E-02	15,2
WV_WO -ID 12 + MID AE	1,03E-02	1,03E-03	1,14E-02	87,9
WV_WO -ID 12 + Leitung	6,46E-02	7,58E-04	6,54E-02	15,3
WV_WO -ID 12 + MID AE + Leitung	4,26E-03	6,89E-04	4,95E-03	202,1

18.4. Gebrechen an einer Seedruckleitung - Szenarien

Bei einem Gebrechen muss unterschieden werden, ob der vorhandene Schaden kurzfristig behebbar ist oder eine zweite SDL gebaut werden muss. Eine parallel verlegte SDL kann nur dann als redundant angesehen werden, wenn diese in der Lage ist, auch im Regenwetterfall alle anfallenden Schmutzwässer zu entsorgen.

Es wurden während der Bearbeitung dieser Studie drei anwendbare Möglichkeiten identifiziert, die anfallende Abwassermenge aus dem Einzugsgebiet der defekten Seedruckleitung zu entsorgen:

1. **Überführung des Abwasseranfalls**
 - a. Abtransport mittels Saugwagen
 - b. Umgehung mittels (provisorischer) Landleitung
2. **Vorübergehende Einleitung in den See**
3. **Einleitung in eine provisorisch errichtete Abwasserreinigungsanlage (ARA)**

Überführung des Abwasseranfalls durch Abtransport mittels Saugwagen

Diese Methode kann prinzipiell nur bei kleineren Einzugsgebieten angewendet werden. Über längere Zeit kann eine Abfuhr mittels Saugwagen nur bis zu einem Abwasseranfall von maximal 100 m³/d erfolgen (Betreiberabhängig). Einschränkungen dabei gibt es vor allem bei der prinzipiellen Möglichkeit, das Abwasser am Pumpschacht abzupumpen. Viele der potentiellen Pumpschächte liegen entweder im touristisch erschlossenen Badebereichen, oder sind geographisch mit dem Saugwagen schlecht erreichbar. Dies macht offensichtlich, dass ein solcher Betrieb während der Sommersaison sehr problematisch ist. Eine weitere Einschränkung ist die Anwendungsdauer dieser Methode, die im Einzelfall vom Betreiber und in Abhängigkeit der Sanierungszeit entschieden werden muss.

Überführung des Abwasseranfalls durch Umgehung mittels (provisorischer) Landleitung

Mit dieser Methode soll das anfallende Abwasser in ein naheliegendes Kanalnetz bzw. einen ausreichend dimensionierten Kanalstrang gepumpt werden. Wenn man diese Möglichkeit bereits im Vorfeld betrachtet, kann es sogar möglich sein, die zu diesem Zweck vorgesehene Druckleitung bereits ohne Zeitdruck unterirdisch zu verlegen. Ansonsten müsste im Fall des Falles eine oberirdische Leitung rasch und verkehrsgerecht installiert werden.

Vorübergehende Einleitung in den See

Eine provisorische Einleitung von lediglich mechanisch gereinigtem Abwasser kann nur im Ausnahmefall genehmigt werden. Es gibt zwar auch schon jetzt genehmigte Überläufe bei bestehenden Pumpschächten, jedoch nur bei großen Seen unterhalb der Sprungschicht und vor allem nur in Extremsituationen d.h. nicht längerfristig. Dies kann insbesondere bei Extremniederschlagsereignissen durch eine hydraulische Überlastung des Systems bei gleichzeitig starker Verdünnung des Abwassers der Fall sein. Eine weitere Einschränkung ist offensichtlich die Badesaison. Diese Einschränkungen machen deutlich, dass diese Methode mit sehr vielen nicht immer einfach zu erfüllenden Auflagen verbunden ist.

Provisorisch errichtete Abwasserreinigungsanlage (ARA)

Eine provisorische Abwasserreinigungsanlage ist sicherlich die effektivste Art dieses Problem zu lösen. Es gibt hierbei jedoch einige Einschränkungen. Die nicht unerheblichen Kosten müssen

neben den technischen Schwierigkeiten bezüglich der Realisierung gerechtfertigt sein. Diese Methode kann daher nur bei einem höheren Abwasseranfall über längere Zeit eingesetzt werden. Weiters ist die Frage nach dem notwendigen Wirkungsgrad und die rasche Verfügbarkeit einer solchen Anlage zu klären. Die prinzipielle Möglichkeit dieser Methode würde jedoch auf alle Fälle bestehen. Dies zeigt auch das Beispiel vom Wörthersee. Laut KIS (2005) war im Bereich Maria Wörth eine provisorische Kläranlage von 1969 bis zur Fertigstellung der Seedruckleitung vier Jahre lang in Betrieb, welche die gereinigten Abwässer in 30 m Tiefe in den Wörthersee einleitete.

18.5. Detektierter Schaden - Was ist zu tun?

Dieser Punkt wird von den Betreibern unterschiedlich gesehen. Die Bandbreite reicht von der Annahme, einen möglichen Schaden sehr rasch zu „bemerken“, bis hin zur permanenten Überwachung der gepumpten Abwassermenge zu Beginn und am Ende der SDL. Die grundsätzlichen Maßnahmen zur Überwachung wurden bereits in Kapitel 18.2 behandelt.

Was sollen jedoch die Betreiber tun, falls sie betriebliche Unregelmäßigkeiten bei ihrer Seedruckleitung bemerken? Was ist ein optimales Ablaufprozedere um Rechtssicherheit zu erlangen? Diese Fragen sind berechtigt und veranlassen dazu, einen Notfallplan zu erarbeiten, der mit den zuständigen Behörden abgesprochen und abgestimmt werden muss. Eventuell vorhandene Notfallplanungen der Betreiber waren bei der Datenerhebung von besonderem Interesse (Kapitel 6). Die Notwendigkeit eines mit der Behörde generell abgestimmten Plans bestand derzeit noch nicht, weshalb unter anderen die gegenständliche Studie in Auftrag gegeben wurde und Anhaltspunkte hierfür geliefert werden sollen.

18.5.1. Möglichkeiten der Sanierung

Für die [Sanierung von Leckagen](#) unter Wasser (Annahme in dieser Studie: bis 20 Meter Tiefe möglich) ohne die Notwendigkeit einer zugfesten Sicherung können die in Abbildung 72 gezeigten Beispiele kommerziell verfügbarer Schellen verwendet werden. Diese haben jedoch generelle Einschränkungen, da sie für das Abdichten von Leckagen an der Luft (d.h. nach Freilegen der Leitung) entwickelt wurden. Dieser Umstand kann bei der Handhabung und Montage unter Wasser mit einem Tauchanzug und Handschuhen hinderlich sein. Eine weitere Einschränkung kann sein, dass sie zu kurz sind und nicht das gesamte Schadensausmaß abdecken. Die Notwendigkeit der sofortigen Verfügbarkeit nach einem Schaden ist ein weiterer Nachteil. Dies veranlasste manche der betroffenen Betreiber eine passende Schelle nach ihren Ansprüchen selbst herzustellen, bzw. anfertigen zu lassen.

Speziell für größere Reparaturschellen (die relativ selten verwendet werden) kann es zweckmäßig sein, eine Kombination von segmentierten Reparaturschellen zur Verfügung zu haben. Jede gewünschte Klemme (im konkreten Fall 91 bis 780 mm) kann aus den Segmenten des Reparatursatzes zusammengestellt werden (z.B. „Emergency Pipe Repair Clamp Kit“, Quelle: <http://www.pipelinecoupling.com> [12.04.2015]). Daran könnten sich auch mehrere Betreiber beteiligen (Beschaffung und Lagerung) um im Schadensfall schnell darauf zugreifen zu können.



DN 150 - DN 600

Abbildung 72: Beispiele kommerziell verfügbarer Schellen zur Abdichtung von Leckagen → keine zugfeste Verbindung (URL: <http://www.plasson.de>; <http://www.pipelinecoupling.com> [12.04.2015]).

Erfahrungen mit aufgetretenen Querrissen in der Vergangenheit haben gezeigt, dass die Rohrenden an den Bruchstellen nie rund, sondern oval sind. Dies macht das Überschieben von runden zuggesicherten Spezialflanschen nach Abbildung 73 unter Wasser besonders schwierig. Eine Lösung kann die Verwendung von Stützbüchsen (Abbildung 74) und das zusätzliche Abschrägen des Rohrendes sein. Beide Arbeitsschritte sind jedenfalls sehr schwierig unter Wasser durchzuführen.

Die Vorratshaltung und Lagerung von Reparatureilen für einen Querriss wird dadurch erschwert, dass es eine Vielzahl von Außenrohrdurchmessern gibt, die es abzudecken gilt.

Spezialflansch



Verschiedene Einsatzrohre um Längendifferenzen auszugleichen

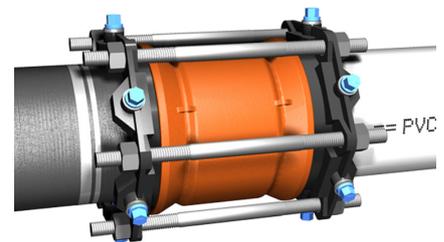


Abbildung 73: Beispiele kommerziell verfügbarer Spezialflansche mit Einsatzrohren zur Reparatur von Querrissen (URL: <http://www.hawle.at>; <http://www.electrosteelcastings.com> [12.04.2015]).

Stützbüchsen bei PE-Leitungen



Einfache Ausführung



Abbildung 74: Zubehör bei der Montage von Spezialflanschen: Stützbüchsen (URL: <http://www.hawle.at>; <http://www.electrosteelcastings.com> [12.04.2015]).

18.5.2. Ablaufprozedere bei vermuteter Leckage oder Totalbruch

Falls eine Überwachungsstrategie der ersten drei Stufen des Stufenplans laut Tabelle 33 auf eine mögliche Leckage hindeutet, ist der Pumpbetrieb sofort zu stoppen und das im Folgenden beschriebene Ablaufprozedere zu starten.

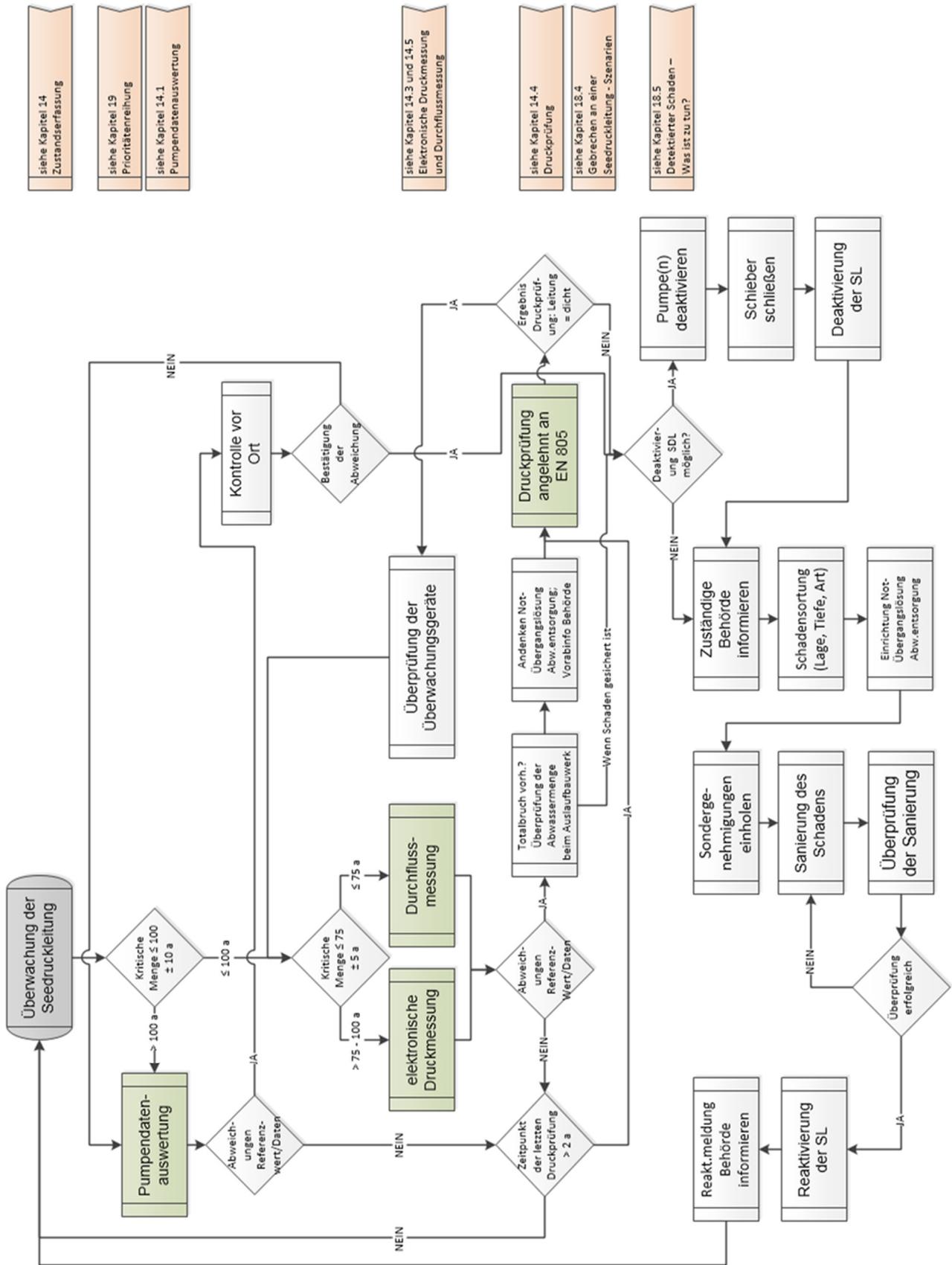
Nachfolgend wird ein Ablaufprozedere bei vermuteter Leckage oder Totalbruch vorgestellt, welches auf den Erkenntnissen dieser Studie aufbaut. Dieses müsste jedoch vor Anwendung an die jeweiligen Gegebenheiten vor Ort beim Betreiber angepasst werden und mit den zuständigen Stellen akkordiert werden. Die rechtlichen Rahmenbedingungen dieser Maßnahmen sind ebenfalls gemeinsam mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Ablaufprozedere bei vermuteter Leckage oder Bruch - aus Sicht des Betreibers

- (1) Pumpe(n) deaktivieren
- (2) Schieber schließen (ansonsten Heber-Effekt aus dem Pumpensumpf möglich)
- (3) Überprüfen der Richtigkeit des vermeintlichen Schadens
- (4) Behörden/zuständige Stellen informieren
- (5) Entsprechende Schritte zur Not-Übergangslösung für die Abwasserentsorgung sind schon in dieser Phase anzudenken. (Anm.: diese Notfallpläne sollten bei jedem Betreiber bereits schon jetzt fertig ausgearbeitet vorliegen.)
- (6) Abschätzung der Größe des Schadens (Leckage oder Totalbruch)
 - a) Detailauswertung der aufgezeichneten Daten aus Stufe 1 bis 3 des Stufenplans (vgl. Tabelle 33).
 - b) Bei vermuteter Leckage eventuell eine Druckprüfung nach Stufe 4 des Stufenplans (vgl. Tabelle 33).
- (7) Schadensortung (Lage, Tiefe, Art)
 - a) Hochaufgelöstes Druckprotokoll einer Druckprüfung könnte ein Hinweis auf die ungefähre Lage sein (Verhalten des Druckaufbaus).
 - b) Beobachtungen von Anrainern (Farbe, Abwasserinhaltsstoffe oder Luftbläschen).
 - c) Eigene Suche von Abwasserinhaltsstoffen oder Luftbläschen mit Boot oder durch Taucher.
 - d) während des Pumpvorgangs erfolgt die Zugabe von EPS-Kügelchen (expandiertes Polystyrol) verschiedener Dimensionen, diese treten beim Schaden aus dem Rohr aus und steigen an die Seeoberfläche. Dort sind sie leicht zu erkennen.
- (8) Nach dem Zusammentragen aller Informationen muss eine Abschätzung erfolgen, wann der Schaden behebbar ist.
- (9) Darüber sind die Behörden/zuständige Stellen zu informieren.
- (10) Entsprechende Übergangslösungen für die Abwasserentsorgung nach Kapitel 18.4 sind einzurichten bzw. Sondergenehmigungen einzuholen.

- (11) Alle möglichen Sanierungskonzepte sind zu prüfen.
 - a) Kurzfristig oder Übergangslösung: Eventuell kann der Schaden rasch provisorisch repariert werden.
 - b) Dauerhaft: der (provisorisch reparierte) Schaden ist professionell zu sanieren (z.B. wenn keine Badesaison ist, warten auf bessere Wetterbedingungen).
- (12) Überprüfung des Erfolgs der Sanierung (Hygieneuntersuchungen des Seebereichs laut EU Badegewässer-Richtlinie (RL 2006/7/EG), Druckprüfung, etc.).

In der folgenden Abbildung 75 wurde versucht, die Informationen aus Tabelle 33 (Anm.: *Stufenplan zur Überwachungsstrategie für Abwasser-Seedruckleitungen*) und dem oben beschriebenen *Ablaufprozedere bei einer vermuteter Leckage oder Bruch aus Sicht der Betreiber* graphisch zu kombinieren.



siehe Kapitel 14
Zustandserfassung

siehe Kapitel 19
Prioritätenreihung

siehe Kapitel 14.1
Pumpendatenauswertung

siehe Kapitel 14.3 und 14.5
Elektronische Druckmessung
und Durchflussmessung

siehe Kapitel 14.4
Druckprüfung

siehe Kapitel 18.4
Gebrechen an einer
Seedruckleitung - Szenarien

siehe Kapitel 18.5
Detektierter Schaden –
Was ist zu tun?

Abbildung 75: Ablaufschema „Handlungsanweisung“, angepasst an die Überwachungsstrategie und das Ablaufprozedere bei vermuteter Leckage oder Bruch.

19. Prioritätenreihung anhand der Ergebnisse der Risikoanalyse

Die in Abbildung 76 und Tabelle 35 dargestellte Prioritätenreihung der betrachteten Seedruckleitungen in Österreich erfolgte anhand der Ergebnisse (Istzustand) der zuvor durchgeführten Risikoanalyse in Kapitel 16.

Die Leitungen mit dem höchsten Risiko, d.h. die Jahreszahl in der Spalte „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ ist klein, haben sinngemäß den größten Handlungsbedarf.

Die in Tabelle 35 farblich markierten Zellen bei 100 Jahren und 75 Jahren entsprechen den definierten Grenzen aus dem Ablaufschema „Handlungsanweisung“ in Abbildung 75. Diese Grenzen wurden anhand der Erfahrungen innerhalb dieser Studie in Kombination mit fachlichen Diskussionen festgelegt. Falls das Risiko größer als 100 Jahre ist, wird als Überwachungsstrategie die Pumpendatenauswertung als ausreichend betrachtet. Liegt das Risiko zwischen 75 und 100 Jahren wird eine Kombination aus Pumpendatenauswertung und elektronischer Druckmessung als Überwachungsstrategie vorgeschlagen. Falls das Risiko jedoch kleiner 75 Jahre ist, sollte die Pumpendatenauswertung jedenfalls mit einer (kontinuierlichen) Durchflussmessung kombiniert werden.

Wie in Abbildung 76 dargestellt, liegen 73% der ausgewerteten SDL unterhalb der definierten Grenze von 75 Jahren (Überwachungsstrategie: Pumpendatenauswertung + Durchflussmessung) und 8% zwischen 75 von 100 Jahren. Dies bedeutet, dass der Detektion von Leckagen ein hoher Stellenwert zuerkannt wird.

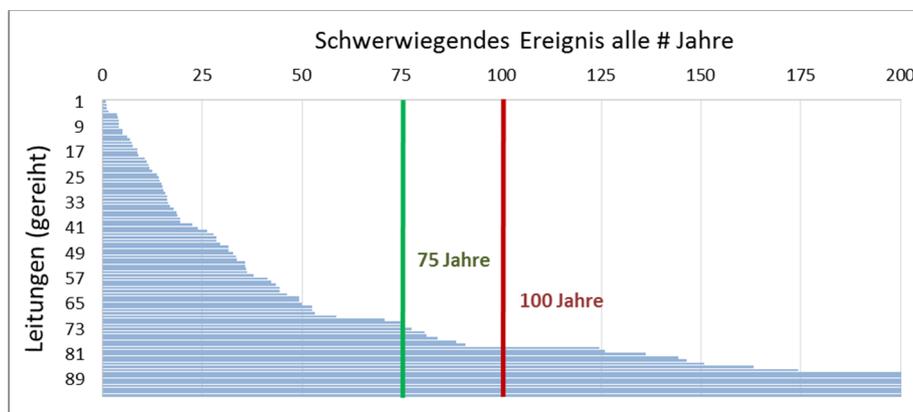


Abbildung 76: Reihung der Leitungen nach der Risikomaßzahl.

In der Tabelle 35 werden Prioritäten nur nach der Risikomaßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ wiedergegeben. Es ist aber zu unterstreichen, dass ein hohes Risiko nicht zwangsläufig bedeutet, dass die Leitung erneuert werden muss. Ein hohes Risiko kann sich z.B. auch dadurch ergeben, dass grundsätzlich Lecks oder Brüche nicht überwacht werden. Beispiele hinsichtlich der Minimierung des Risikos sind für ausgewählte Leitungen in Kapitel 18.3 angeführt. Diese waren am Wallersee RHV_WS-ID 1, am Pressegger See AWW_KR-ID 1, am Attersee RV_A-ID 3 und am Wörthersee WV_WO-ID 12.

Da diese Prioritätenreihung allein auf Grundlage der Risikoanalyse erstellt wurde, wird daher bei der Ermittlung des zukünftigen Finanzbedarfs in Kapitel 20 zusätzlich die gepumpte mittlere „tägliche Abwassermenge“ (vgl. Tabelle 37 und Tabelle 38) mitberücksichtigt.

Zusätzliche Informationen zu den hier behandelten Seedruckleitungen können dem → Ergänzungsband zu dieser Studie entnommen werden.

Tabelle 35: Reihung des Risikos der in den betroffenen österreichischen Seen verlegten Abwasser-Druckleitungen bezüglich der Risiko-Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“.

See	Bundesland	ID Nr. AW-SDL	Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre	See	Bundesland	ID Nr. AW-SDL	Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre
Wallersee¹⁾	S	RHV_WS -ID 1	0,8	Ossiacher See	K	WV_O -ID 2	33,5
Traunsee	OÖ	Gda_A -ID 1	1	Attersee	OÖ	RV_A -ID 1	33,7
Traunsee	OÖ	Gda_A -ID 2	1	Wörthersee	K	WV_WO -ID 1	35,8
Grabensee	S	RHV_T -ID 1	1,5	Wörthersee	K	WV_WO -ID 2	35,8
Pressegger See¹⁾	K	AWV_KR -ID 1	3,7	Hallstättersee	OÖ	RHV_H -ID 3	36,1
Keutschacher See	K	Gde_K -ID 1	3,8	Hallstättersee	OÖ	RHV_H -ID 1	36,2
Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 2	4	Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 4	37,8
Attersee¹⁾	OÖ	RV_A -ID 3	4,2	Attersee	OÖ	RV_A -ID 11	41,4
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 7	4,2	Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 3	42,4
Wallersee	S	RHV_WS -ID 2	5	Ossiacher See	K	WV_O -ID 6	43,5
Wörthersee	K	WV_WO -ID 9	5,1	Ossiacher See	K	WV_O -ID 9	44,4
Ossiacher See	K	WV_O -ID 3	6,3	Attersee	OÖ	RV_A -ID 10	44,5
Ossiacher See	K	WV_O -ID 1	6,8	Wörthersee	K	AWV_WW -ID 2	46,2
Attersee	OÖ	RV_A -ID 4	7,3	Wörthersee	K	WV_WO -ID 5	49,3
Ossiacher See	K	WV_O -ID 7	7,5	Wörthersee	K	WV_WO -ID 6	49,3
Wörthersee	K	WV_WO -ID 11	8,7	Wörthersee	K	AWV_WW -ID 1	50
Ossiacher See	K	WV_O -ID 14	8,8	Wörthersee	K	WV_WO -ID 7	52,6
Ossiacher See	K	WV_O -ID 5	9	Wörthersee	K	WV_WO -ID 8	52,6
Ossiacher See	K	WV_O -ID 11	10,7	Ossiacher See	K	WV_O -ID 12	53,2
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 6	11	Ossiacher See	K	WV_O -ID 16	58,7
Ossiacher See	K	WV_O -ID 15	11,5	Weissensee	K	Gde_W -ID 2	70,6
Attersee	OÖ	RV_A -ID 13	11,9	Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 16	74,6
Mondsee	OÖ	RV_A -ID 14	12,5	Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 7	75,9
Attersee	OÖ	RV_A -ID 6	13,6	Wörthersee	K	AWV_WW -ID 4	77,5
Hallstättersee	OÖ	RHV_H -ID 2	14,2	Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 10	80,8
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 9	14,3	Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 1	81,2
Wörthersee	K	WV_WO -ID 10	14,8	Wörthersee	K	AWV_WW -ID 3	83,9
Ossiacher See	K	WV_O -ID 13	15,1	Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 9	88,7
Wörthersee¹⁾	K	WV_WO -ID 12	15,2	Attersee	OÖ	RV_A -ID 12	90,9
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 4	15,7	Faakersee	K	AWV_F -ID 2	124,4
Wörthersee	K	WV_WO -ID 3	16,3	Hallstättersee	OÖ	RHV_H -ID 4	125,8
Wörthersee	K	WV_WO -ID 4	16,3	Millstaetter See	K	WV_M -ID 2	136,1
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 8	16,4	Faakersee	K	AWV_F -ID 1	144,2
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 5	16,9	Millstaetter See	K	WV_M -ID 5	146,5
Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 1	17,9	Ossiacher See	K	WV_O -ID 10	150,9
Attersee	OÖ	RV_A -ID 5	18,5	Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 15	163,2
Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 5	18,8	Weissensee	K	Gde_W -ID 3	174,4
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 6	19,4	Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 14	211,6
Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 8	19,4	Millstaetter See	K	WV_M -ID 4	213,6
Fuschlsee	S	RHV_FT -ID 1	22,6	Wolfgangsee	OÖ/S	RHV_WI -ID 2	231,5
Pressegger See	K	AWV_KR -ID 2	23,8	Irrsee	OÖ	RHV_MI -ID 11	241,9
Ossiacher See	K	WV_O -ID 8	26,2	Weissensee	K	Gde_W -ID 1	275,8
Mondsee	OÖ	RHV_MI -ID 3	27,8	Millstaetter See	K	WV_M -ID 1	308,6
Attersee	OÖ	RV_A -ID 7	28,5	Millstaetter See	K	WV_M -ID 3	547,7
Attersee	OÖ	RV_A -ID 8	28,5	Weissensee	K	Gde_W -ID 4	577,7
Attersee	OÖ	RV_A -ID 9	29,6	<i>Völkerm. Stausee</i>	K	<i>AWV_VJ -ID 1</i>	1,6 ²⁾
Ossiacher See	K	WV_O -ID 4	31,5	<i>Völkerm. Stausee</i>	K	<i>AWV_VJ -ID 2</i>	1,6 ²⁾
Wallersee	S	RHV_WN -ID 1	31,7	<i>Irrsee</i>	OÖ	<i>RHV_MI -ID 12</i>	-- ³⁾
Attersee	OÖ	RV_A -ID 2	32,8	<i>Irrsee</i>	OÖ	<i>RHV_MI -ID 13</i>	-- ³⁾

- 1) ... Diese Seedruckleitungen wurden einer weitergehenden Untersuchung in Kapitel 18.3 unterzogen.
- 2) ... Die Risikomaßzahl wurde anhand eines fiktiven Risikoziels auf Grundlage der PE-Leitungen bestimmt.
- 3) ... Seedruckleitung ist nicht in Betrieb

	<75 Überwachungsstrategie: (Pumpendatenauswertung +) Durchflussmessung
	>75 bis 100 Jahre: Überwachungsstrategie: (Pumpendatenauswertung +) elektronische Druckmessung
	>100 Überwachungsstrategie: Pumpendatenauswertung
	Stufengrenze 75 Jahre bzw. 100 Jahre

20. Zukünftiger Finanzierungsbedarf

20.1. Grundlagen

Die Abschätzung des zukünftigen Finanzierungsbedarfs wurde aufgrund der Prioritätenreihung aus Kapitel 19 in Kombination mit der täglichen Pumpmenge und den sich daraus ergebenden Strategien bezüglich einer Überwachung in Kapitel 18.2 durchgeführt. Problematisch dabei erwies sich die komplexe Entscheidungsfindung bei jeder einzelnen SDL. Da die gewählten Maßnahmen in der Praxis von zusätzlichen Faktoren abhängig sind, kann hier nur eine grobe Kostenabschätzung erfolgen. Die zugrundeliegenden Investitionskosten zum errechneten Finanzierungsbedarf (vgl. Tabelle 39 bis Tabelle 41) sind in nachfolgender Tabelle 36 angeführt.

Tabelle 36: Zugrundeliegende Investitionskosten (vgl. dazu auch Tabelle 33 und Abbildung 68).

Bauteil	Investkosten (brutto) in €
Messschacht ¹⁾	4.200,-
Magnetisch induktiver Durchflussmesser (MID)	3.600,-
Elektronische Druckmessung	480,-
Drucküberprüfung in Anlehnung an ON EN 805	2.400,-
Neubau Seedruckleitung (SDL)	Formel der Trendkurve nach Abbildung 68 („See-DL“)

¹⁾ ... Annahmen für den Messschacht: Schachtdurchmesser 1500 mm; Rohranschluss DN 250; Schachtformteile (Schachtunterteil, Schachtringe, Schachtabdeckung) oder monolithische Bauweise.

→ *Hinweise und Einschränkungen* zu den dargestellten Kosten in Tabelle 36 sowie Tabelle 39 bis Tabelle 41:

- ohne Einbaukosten für den Messschacht
- ohne Messgeräteeinbau bzw. -verkabelung
- ohne allfällige Grundstückskosten
- Voraussetzung: ausreichende Kapazitäten für die Datenübertragung sind vorhanden
- ohne Baustellengemeinkosten und Sonderbauwerke (z.B. Pumpwerk, Landeinbindung der Seedruckleitung)
- ohne Pachtkosten
- Es werden für die Kostenberechnung bei einer Neu-Errichtung einer SDL nur die bestehenden Leitungslängen im Seebereich (laut den Tabellen im → Ergänzungsband zu dieser Studie) herangezogen.
- Die Kosten für eine zukünftige Überwachungsstrategie bei einer parallelen Leitungsführung wurden nur einmal gerechnet.

20.2. Maßnahmen zur Reduzierung des ursprünglichen Risikos

Das Ziel der folgenden Überlegungen zu den geeigneten Maßnahmen war geprägt von der Minimierung des Risikos einer ungewollten Abwassereinleitung in den See. Die Anwendung der Maßnahmen in Tabelle 37 führt daher zu einer Reduzierung des ursprünglichen Risikos aus Tabelle 35. Die Ergebnisse dieser detaillierten Überlegungen wurden jedoch nur bei manchen

Leitungen exemplarisch durchgeführt (vgl. Kapitel 18.3) und werden daher nur bei der Abschätzung des zukünftigen Finanzierungsbedarfs (vgl. Kapitel 20) berücksichtigt.

Wie schon in Kapitel 18.3 angemerkt, könnte bereits die alleinige Verbesserung der Überwachung der SDL dazu führen, dass das Risiko minimiert wird⁷. Dazu ist es jedoch erforderlich nicht nur einen Bruch einwandfrei festzustellen, sondern bereits ein Leck zu detektieren. Diese Voraussetzung erfordert daher ab einer gewissen Fördermenge bzw. Risikoeinstufung eine permanente Lecküberwachung. Diese Art der Überwachung kann derzeit nur mit Hilfe einer Durchfluss-/Mengenmessung durchgeführt werden. Eine reine Überwachung mit Hilfe von elektronischen Drucksensoren kann nur bei untergeordneten SDL mit geringer Fördermenge erfolgen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese jedenfalls nicht in der Lage sind ein (kleines) Leck zu detektieren.

Als Hauptkriterien zur Bestimmung der zukünftigen Überwachungsstrategie der jeweiligen SDL wurde in Tabelle 37 und Tabelle 38 die gepumpte mittlere „tägliche Abwassermenge“ und das „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ (vgl. auch Tabelle 35) herangezogen. Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Kriterien ist in Abbildung 77 dargestellt. Man kann erkennen, dass viele Leitungen eine höhere tägliche Pumpmenge als 100 m³/d, aber nur wenige Leitungen ein geringeres Risiko (d.h. Risikomaßzahl ist groß) als 75 bzw. 100 Jahre aufweisen. Die gesetzten Grenzen dieser Kriterien wurden anhand der Erfahrungen innerhalb dieser Studie in Kombination mit fachlichen Diskussionen festgelegt. Selbstverständlich können jederzeit andere Kriterien diesen vorgezogen werden.

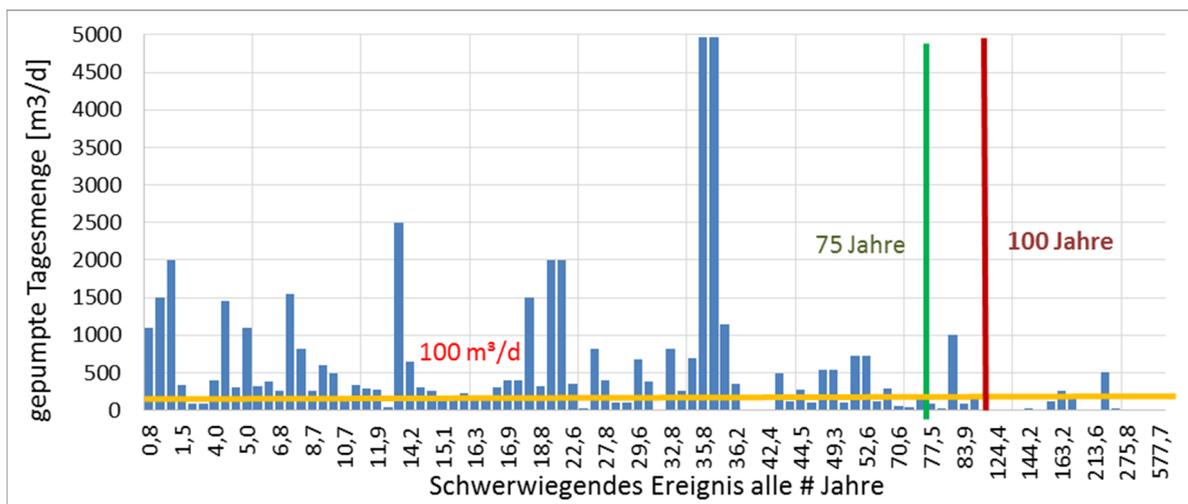


Abbildung 77: Zusammenhang zwischen der Risiko-Maßzahl und der täglich gepumpten Abwassermenge jeder einzelnen SDL. Die Linien sind als Beispiele für die Grenzen „75 Jahre“ und „100 m³/d“ dargestellt.

⁷ Als Beispiel sei die Doppelleitung „RHV_WS-ID 1/2“ am Wallersee genannt. Durch die zusätzliche Anwendung einer Durchflussmessung am Ende mit einer gleichzeitigen Überwachung der Betriebsdaten verringert sich die Wahrscheinlichkeit (Risiko), dass ein auslösendes Ereignis (Schaden) eintritt von einem Jahr auf 48 Jahre. Die Investitionskosten für die MID betragen dabei rund € 16.600,-. Falls dieses „Risiko“ weiterhin als zu hoch erachtet wird, kann durch den Bau einer dritten Seedruckleitung (mit Überwachung) das „Risiko“ weiter reduziert werden. Der Bau dieser neuen Leitung würde jedoch mit den erforderlichen Überwachungsmaßnahmen rund € 480.000,- kosten.

In der letzten Spalte in Tabelle 37 und Tabelle 38 ist zu jeder Maßnahme die Anzahl der Leitungen angeführt, die unter das jeweilige Kriterium fallen. Zusätzlich ist der Datencheck (Pumpendatenauswertung = Maßnahme I) als unterstützende Überwachung bei jeder Maßnahme (II bis III) angeführt. Die Anzahl der Leitungen in eckiger Klammer bei Kriterium Nr. „I“, „IIa“ und „IIIa“ entsprechen der Anzahl von Leitungen, wenn das Kriterium „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ in eckiger Klammer zur Anwendung kommt.

Tabelle 37: Anwendung der Kriterien für jede einzelne SDL zur Minimierung des Risikos laut Kapitel 18.2.2. (Hinweis: Grundlage sind die Risiko-Maßzahlen von Tabelle 35.)

Nr.	Maßnahmen Kriterien	Tägliche Abwassermenge	Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre	Anzahl der Leitungen; Anwendung der Maßnahme I; Anmerkung
		[m³/d]	[a]	
I	→ Pumpendatenauswertung (Check)	< 50	> 100 [75]	12 [14] ¹⁾ ; Check jeden Tag
IIa	→ elektronische Druckmessung am Anfang	empfohlen generell bei > 50	[> 100]	75 [4] ¹⁾ ; Check jeden Tag
IIb	→ elektronische Druckmessung am Ende	> 50	> 75; < 100	5 ; Check jeden Tag; Ausnahme: wenn MID bereits am Ende vorhanden ist
I/II	→ Pumpendatenauswertung (Check)+ elektronische Druckmessung am Anfang	> 50	> 75	9 ; Check jeden Tag
IIIa	→ Durchfluss-/Mengenmessung (z.B. MID) am Anfang	empfohlen generell bei > 100	[> 50; < 75]	68 [4] ¹⁾ ; Check jeden Tag; Ausnahme: wenn MID bereits am Ende vorhanden ist
IIIb	→ Durchfluss-/Mengenmessung (z.B. MID) am Ende	< 100	< 75	13 ; zusätzlicher Check alle 1 bis 3 Tage
IIIc	→ Durchfluss-/Mengenmessung (z.B. MID) am Anfang und am Ende	> 100	< 50	57 ; zusätzlicher Check mind. alle 3 Tage
IV	→ Druckprüfung in Anlehnung an ON EN 805	empfohlen alle 2 bzw. 5 Jahre in Abhängigkeit von den oben gewählten Maßnahmen		96 (alle aktiven Leitungen)

1) ... Anzahl an Leitungen bei Anwendung des Kriteriums „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ in eckiger Klammer.

Annahme bei der Bedingung „am Anfang“ der Leitung

Der Einbau der zukünftigen Überwachungsgeräte (MID oder Drucksensor) erfolgt je nach den Voraussetzungen vor Ort entweder in der bestehenden Pumpstation oder in einem neu zu errichtenden Messschacht.

Annahme bei der Bedingung „am Ende“ der Leitung

Bei dieser Bedingung werden aufgrund der üblichen Vorgangsweise (d.h. einer Einmündung in einen Freispiegelkanal) alle Überwachungsgeräte in einem neu zu errichtenden Messschacht situiert.

Die Redundanz einer Einzelleitung ist überall dort gefordert, wo trotz durchgeführter Überwachung bei einem allfälligen Schaden eine Auswirkung auf den See (vgl. ausgetretene Abwassermenge nach Kapitel 15.3) nicht verhindert werden kann. Als Grenze der täglich gepumpten Abwassermenge in Tabelle 38 wurden 100 m³/d angesetzt (diese entspricht dem Risikoziel Badesaison/Zentralbereich aus Kapitel 15.3).

Tabelle 38: Anwendung der Kriterien für jede Leitungsführung zur Minimierung des Risikos laut Kapitel 18.2.2. Definition der „Leitungsführung“ = 1 Einzelleitung oder 2 parallel verlegte Einzelleitungen. (Hinweis: Grundlage sind die Risiko-Maßzahlen von Tabelle 35.)

Nr.	Maßnahmen	Kriterien	Tägliche Abwassermenge	Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre	Anzahl der Leitungsführungen; Anwendung der Maßnahme I
			[m ³ /d]	[a]	
Va	bei Einzelleitung bzw. NICHT redundanter¹⁾ paralleler Leitung → Parallele bzw. dritte Leitung		> 100	< 75 [< 50]	37 [37 ²⁾]; zusätzlicher Check mind. alle drei Tage
Vb	bei bestehender paralleler UND redundanter Leitung → Dritte Leitung		> 1.000	< 75	4 ; zusätzlicher Check mind. alle drei Tage

1) ... NICHT redundant = die parallele Leitung ist nur im Trockenwetterfall für den notwendigen Abwassertransport redundant, bei Regenwetter nicht mehr.

2) ... Anzahl an Leitungen bei Anwendung des Kriteriums „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ in eckiger Klammer.

Unter das Kriterium Nr. „Va“ nach Tabelle 38 fallen in Summe 37 Leitungsführungen. Wenn man das Kriterium „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ von 75 Jahre auf 50 bzw. 25 Jahre reduziert, sind es 37 bzw. 29 Leitungsführungen.

Unter das Kriterium Nr. „Vb“ (d.h. Leitungen mit hohem Durchsatz) fallen vier Leitungsführungen: Wolfgangsee (RHV_WI-ID6/ID8); Wörthersee (WV_WO-ID1/ID2), Traunsee (Gda_A-ID1/ID2) und Wallersee (RHV_WS-ID1/ID2).

Hinweis: Das Risiko beim Wallersee verringerte sich anhand der Detailuntersuchung in Kapitel 18.3 von rund einem Jahr auf 48 Jahre. Dies wurde erreicht, indem ein Untersuchungsintervall der Leitungs-Betriebsdaten von 6 Stunden angenommen wurde. Bei einer permanenten Überprüfung der Betriebsdaten würde sich das Risiko noch weiter verringern. Es ist in Tabelle 38 jedoch trotzdem eine dritte Leitung ausgewiesen, weil die dieser Tabelle zugrundeliegenden Überlegungen die Risiko-Maßzahlen von Tabelle 35 (RHV_WS-ID1 = 0,8 Jahre) haben. Auch der bereits geplante Neubau der beiden Druckleitungen am Traunsee wird das Risiko entsprechend verringern und damit die aktuell „geforderte“ dritte Leitung überflüssig machen.

Genereller Hinweis

Es wird empfohlen, bei allen 96 aktiven Seedruckleitungen eine Druckprüfung in Anlehnung an ON EN 805 durchzuführen. Dazu ist es erforderlich, dass alle SDL nach demselben Schema überprüft werden, damit keine falsche Interpretation der Ergebnisse erfolgt. Erst danach kann eine generelle Aussage über die Dichtigkeit der verlegten SDL getroffen werden. Eine Druckprüfung aller SDL würde unter den gegebenen Annahmen rund € 230.000,- kosten.

Nach dieser ersten grundlegenden Untersuchung könnte schließlich die Umsetzung der hier vorgeschlagenen Maßnahmen, bzw. weitere detaillierte Planungen dazu erfolgen.

20.3. Voraussichtlicher zukünftiger Finanzierungsbedarf

Nach Anwendung der vorgeschlagenen Maßnahmen in Verbindung mit den jeweiligen Grenzen der Kriterien in Kapitel 20.2 konnte jeder Leitung ein voraussichtlicher zukünftiger Finanzierungsbedarf zugeordnet werden (*Hinweis: Es erfolgte hier keine zusätzliche generelle Detailuntersuchung⁸, Ausnahme: Die Ergebnisse zu den untersuchten Leitungen aus Kapitel 18.3 wurden hier berücksichtigt*).

Zusätzlich fanden neben den beispielhaft angeführten Handlungsempfehlungen aus der Risikoanalyse (Kapitel 18.3) bereits konkrete Planungen bezüglich einer Neuverlegung als Landleitung (Grabensee) oder ein genereller Neubau (Traunsee) Eingang in die Überlegungen zum Finanzierungsbedarf.

Dies würde einen überschlägigen Finanzierungsbedarf bei den Salzburger Seen von rund € 2,14 Mio. (siehe Tabelle 39), bei den Kärntner Seen von € 3,76 Mio. (siehe Tabelle 40) und bei den Oberösterreichischen Seen von € 9,97 Mio. (siehe Tabelle 41) ergeben. In Summe sind dies rund € 15,9 Mio., wobei hier als maßgebender Kostenfaktor der Bau neuer Seedruckleitungen ist. Deren Anzahl könnte sich bei einer detaillierten Untersuchung der betroffenen Leitungen jedoch noch reduzieren (z.B. Überwachungsstrategien nach Tabelle 37 sind ausreichend; Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung von Fremdwasser im Einzugsgebiet der NICHT redundanten Parallel-Leitungen).

Hinweis: Im → Ergänzungsband zu dieser Studie sind alle Leitungen der betroffenen Seen hinsichtlich der geplanten Maßnahmen im Detail angeführt. Zusätzlich ist der Gerätebestand bzw. die vorgeschlagene zukünftige Überwachungsstrategie dargestellt.

Tabelle 39: Anwendung der Überwachungsstrategien zur Minimierung des Risikos mit dem dadurch anfallenden Finanzierungsbedarfes der Salzburger Seen (Anm.: Da der Wolfgangsee überwiegend im Bundesland Salzburg liegt, wurde er hier angeführt). Anm.: der Bestand an Überwachungsgeräten wurde hier berücksichtigt.

See	neue Leitung (Anzahl)	Finanzierungsbedarf [€]
Fuschlsee	1	622.600
Grabensee	--	8.300 ¹⁾
Wallersee	--	16.600 ²⁾
Wolfgangsee	3	1,491.400
SUMME	4	2,138.900

1) ... Da die Planung der Landleitung bereits läuft, wurden hier keine Kosten der geforderten Parallel-Leitung berücksichtigt.

2) ... Hinweis: Berücksichtigung des Beispiels für Handlungsempfehlungen aus der Risikoanalyse (Kapitel 18.3): Durch die geplanten Maßnahmen erfolgte eine Reduzierung der Risiko-Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ bei RHV_WS-ID 1. Damit ist der geforderte Neubau einer dritten Leitung (Kosten ca. € 480.000,-) nicht mehr notwendig.

⁸ Es kann bei einer Detailuntersuchung durchaus der Fall eintreten, dass der aktuell vorgeschlagene Neubau einer parallelen oder dritten Leitung nicht mehr notwendig ist, falls sich die Risiko-Maßzahl entsprechend verändert. Siehe dazu auch die Anmerkungen in Kapitel 21.1.

Tabelle 40: Anwendung der Überwachungsstrategien zur Minimierung des Risikos mit dem dadurch anfallenden Finanzierungsbedarfes der Kärntner Seen. Anm.: der Bestand an Überwachungsgeräten wurde hier berücksichtigt.

See	neue Leitung (Anzahl)	Finanzierungsbedarf [€]
Faakersee	--	0
Keutschach	--	8.300
Millstätter See	--	0
Ossiacher See	9	2,368.100
Pressegger See	--	16.100 ¹⁾
Völkermarkter Stausee	--	16.600
Weissensee	--	16.600
Wörthersee	5	1,349.800 ²⁾
SUMME	14	3,759.900

- 1) ... Hinweis: Berücksichtigung des Beispiels für Handlungsempfehlungen aus der Risikoanalyse (Kapitel 18.3): Durch die geplanten Maßnahmen folgte eine Reduzierung der Risiko-Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ bei AWW_KR-ID 1. Damit ist der geforderte Neubau einer Parallel-Leitung (Kosten ca. € 93.000,-) nicht mehr notwendig.
- 2) ... Hinweis: Berücksichtigung des Beispiels für Handlungsempfehlungen aus der Risikoanalyse: Durch die geplanten Maßnahmen folgte eine Reduzierung der Risiko-Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ bei WV_WO –ID 12. Der Neubau einer Parallel-Leitung (Kosten ca. € 110.000,-) wird dabei jedoch als notwendig erachtet.

Tabelle 41: Anwendung der Überwachungsstrategien zur Minimierung des Risikos mit dem dadurch anfallenden Finanzierungsbedarfes der Oberösterreichischen Seen. Anm.: der Bestand an Überwachungsgeräten wurde hier berücksichtigt.

See	neue Leitung (Anzahl)	Finanzierungsbedarf [€]
Attersee	9	6,332.800 ^{2) 3)}
Hallstättersee	3	1.366.300
Irrsee	6	937.600
Mondsee	3	580.700 ²⁾
Traunsee	2	748.300 ¹⁾
SUMME	23	9,965.700

- 1) ... Der bereits beschlossene und geplante Neubau ersetzt den Bestand. Daher ist eine ursprünglich geforderte dritte Leitung nicht mehr notwendig.
- 2) ... Die RV_A-ID 14 (des RV Attersee) ist im Mondsee verlegt.
- 3) ... Hinweis: Berücksichtigung des Beispiels für Handlungsempfehlungen aus der Risikoanalyse: Durch die geplanten Maßnahmen folgte eine Reduzierung der Risiko-Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ bei RV_A-ID 3. Der Neubau einer Parallel-Leitung (Kosten ca. € 600.000,-) wird dabei jedoch als notwendig erachtet.

21. Diskussion und Ausblick

21.1. Risikoanalyse

Die Risikoanalyse konnte eine Rangreihung der Leitungen nach Risiko errechnen. Allerdings muss angemerkt werden, dass die Risikobewertung folgenden Beschränkungen unterliegt:

Die Datenlage zur Ableitung der lage- und materialbedingten Fehlerraten ist (glücklicherweise) beschränkt, was aber statistische und wahrscheinlichkeitstheoretische Analysen nur begrenzt aussagekräftig macht. Eine gut geführte Fehlerdatenbank, die nicht nur große Brüche sondern auch kleinere Materialschäden erhebt und dokumentiert, könnte in Zukunft zu genaueren Abschätzungen führen.

Es wurde, der Vorgabe der Studie gemäß, eine eingeschränkte Form der probabilistischen Risikoanalyse entwickelt, die es erlaubt, zumindest die betrachteten Leitungen untereinander zu vergleichen. Da der Betrieb und die Instrumentierung der Leitungen sehr unterschiedlich sind, konnte auf einen hohen Detailgrad bei der Analyse verzichtet werden. Dies führt dazu, dass die ermittelten Risikozahlen herangezogen werden können, um die Leitungen nach ihrem Risiko zu reihen. Allerdings muss mit Vorsicht vorgegangen werden, wenn ein Ergebnis für eine einzelne Seedruckleitung alleine stehend betrachtet wird.

Das errechnete Risiko ist relativ zu sehen: Leitungen können anhand der Skala verglichen werden. Um das Ergebnis, also die Häufigkeit eines schwerwiegenden Ereignisses in den Seen, als absolut und für sich stehend zu nehmen, müssten zusammen mit dem Wert des Risikos die Unsicherheiten des Ergebnisses berechnet werden. Im Rahmen dieser Studie konnte nicht erhoben werden, mit welchen Unsicherheiten die Ergebnisse der Risikoanalyse behaftet sind. Es ist allerdings bekannt, dass allgemein bei PSA-Ergebnissen mit erheblichen Unsicherheiten zu rechnen ist. Dies unterstreicht, dass die Ergebnisse zwar verwendet werden können, um das Risiko einzelner Leitungen miteinander zu vergleichen oder risikominierende Maßnahmen zu bewerten, aber für sich stehend mit Vorsicht verwendet werden sollten.

Die Risikoanalyse ist nicht komplett. Nicht alle Risikofaktoren konnten in der Analyse berücksichtigt werden. Beispiele für Einflüsse, die in der Analyse nicht abgebildet sind, sind Erdbeben, Hangrutsche oder Brände.

Das Potential der Risikoanalyse ist trotz dieser einschränkenden Bemerkungen sehr hoch. Beispielhaft konnte gezeigt werden, dass wesentliche Erkenntnisse geliefert werden können, um passende Vorbeugemaßnahmen für relevante Schäden ergreifen zu können.

Es war nicht möglich, dieses zukunftsweisende Potential bereits in dieser Studie voll auszuschöpfen, was folgende, kurze Überlegung zeigt. Es hat sich herausgestellt, dass einige risikobeeinflussende Parameter von besonderer Bedeutung sind:

- Durchflussmessungen (mit den Attributen: „am Ende“, „am Anfang“, „am Anfang und am Ende der Leitung“, „weder am Anfang noch am Ende der Leitung“)
- Möglichkeit zum Alternativbetrieb im Schadensfall (mit den Attributen: „unmöglich“, „durch Saugwagen“, „durch temporäre Notleitung“, „mit paralleler redundanter Leitung“)
- betriebliche Vorschriften zur Datenauswertung (stündlich, täglich, wöchentlich, aktive Benachrichtigung)
- Leitungsaustausch

Daraus ergeben sich bei einem fiktiven See mit X Leitungen bereits $4*4*4*2*X$ zu betrachtende Varianten; also bei zehn Leitungen 1280 Möglichkeiten nur für diesen See. Das übersteigt die innerhalb der Studie gegebenen Möglichkeiten. Der einzig gangbare Weg bestünde darin, in Absprache mit den Betreibern zu einer Reduktion der in Betracht zu ziehenden Möglichkeiten zu kommen, um dann für einen geeigneten Maßnahmenpool die Risikoanalyse durchzuführen.

21.2. Reinigung der Rohre mit Hilfe löslicher Molche

Falls die Anwendung von herkömmlichen Molchen nicht möglich ist, kann der Einsatz von löslichen Molchen (z.B. vor der optischen Inspektion) angedacht werden. Dies kann dann der Fall sein, wenn man z.B. mögliche Querschnittsänderungen nicht ausschließen kann, oder wenn nur ein Rohr vorhanden ist. Dadurch ist die Gefahr und die daraus resultierenden Auswirkungen einer möglichen Verstopfung nicht mehr beherrschbar.

Der Einsatz eines sogenannten „Eismolchs“ (ice pig) könnte hierbei eine Lösung sein, weil das Eis schmelzen kann und den Rohrquerschnitt bei Problemen wieder freigibt. Vor allem, wenn der ice-pig stecken bleibt, und man zu viel Druck für den Weitertransport aufbringen müsste. Dabei wird eine grobe Eis/Wasser-Mischung hergestellt, ähnlich wie man sie von den gesüßten Eisbri-Erfrischungsgetränken („Slush“) kennt, und mit einer entsprechenden Länge in das Rohr eingepumpt. Dieser molchförmige kompakte Eisbri kann nun wie ein herkömmlicher Molch mit Hilfe der Pumpe nach vorne gedrückt werden. Da er keine feste Struktur besitzt, kann sich der Molch dabei dem Rohr anpassen. Er ist vor allem für weiche Ablagerungen geeignet, es kann damit aber auch Sand aus dem Rohr entfernt werden.

Ob ein möglicher Einsatz bei den Seedruckleitungen in Frage kommt, müsste man durch Kontakt der am Markt befindlichen Firmen abklären. Derzeitige Einsatzbereiche sind Kunststoffleitungen bis DN 500. Mehr Informationen zu dieser alternativen Molchmethode können unter <http://www.ice-pigging.com/> [20.07.2015] oder <http://comprex.de/ice-pigging/> [20.07.2015] abgerufen werden.

21.3. Einsatz neuartiger Entwicklungen am Rohrsektor

Es werden seit einiger Zeit coextrudierte Rohre hergestellt, die mit Hilfe einer hellgrauen Innenschicht die Möglichkeiten zur Interpretation während der optischen Inspektion (Kamerabefahrung) wesentlich verbessern sollten. Die hellere Innenschicht würde das eingebrachte Fremdlicht gleichmäßig streuen und nicht wie bei einem schwarzen Vollwandrohr alles vollständig absorbieren.

Nach GRIS (2012) sind PE-Rohre mit coextrudierten Schichten auf der Außenseite und/oder der Innenseite des Rohres in der ÖNORM EN 12201-2 (Anhang B) festgelegt. Die Vorgaben lauten: Die coextrudierte Innenschicht muss aus dem gleichen Basismaterial wie die Hauptschicht sein, es sind jedoch andere Farben zulässig. Die Beschaffenheit, Farbe und Abmessungen sind im Rahmen der Überwachungsprüfung zu dokumentieren. Zusätzlich kann z.B. eine äußere braune Signalschicht zur schnellen Lokalisierung unzulässiger Beschädigungen während des Einbaus dienen (Abbildung 78).

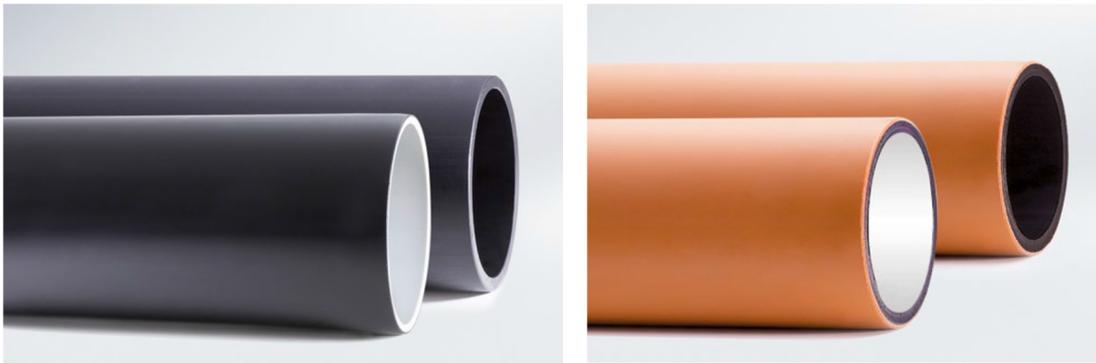


Abbildung 78: Polyethylenrohre (PE 80, PE 100) mit coextrudierten Schichten auf der Innenseite (hellgrau) und/oder Außenseite (braun) des Rohres (URL: <http://www.simona.de> [02.07.2015]).

21.4. Leckage-Ortung mit Hilfe der faseroptischen Temperaturmessung

Die faseroptische Temperaturmessung wird im englischen Sprachraum auch als „Distributed Temperature Sensing - DTS“ bezeichnet. Dabei werden optoelektronische Geräte zur Messung der Temperatur eingesetzt, wobei Glasfasern als lineare Sensoren dienen. Die Anwendbarkeit und Genauigkeit hängen von der Fragestellung und den örtlichen Gegebenheiten ab. Es kann im Idealfall eine hohe räumliche (bis zu 25 cm) und zeitliche Auflösung der Temperaturänderung (Detektion von Temperaturabweichungen bis zu 0.01°C) im Glasfaserkabel gemessen werden.

Benötigtes Zubehör:

- DTS Messbox: Emission von Lichtimpulsen (Laser), Detektion des zurückgestreuten Lichts
- Glasfaserkabel (kommerziell erhältlich): Ausbreitung der Lichtimpuls-"Energie", Streuung des Lichts

Um die ersten theoretischen Überlegungen auch praktisch umzusetzen, wurde ein idealisierter Versuchsaufbau im Technikum des Instituts für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) aufgebaut (siehe Abbildung 81). Das Ziel war die Messung bzw. die Detektierung von Leckagen in Seedruckleitungen durch Anlegen eines geringen Unterdruckes im Rohr.

In der Praxis wäre für diese Messung eine geringe Leckage Voraussetzung, welche durch einen unzulässigen Druckabfall während der periodischen Druckprüfung festgestellt wurde.

Die Idee dahinter ist, dass sich nach der Winterstagnation durch die ersten wärmeren Tage eine gerade noch stabile Übergangs-Temperaturschichtung im z.B. späteren astronomischen Frühjahr ausbildet (Abbildung 79). Dadurch liegt vor der Frühjahrszirkulation eine bereits wärmere Schicht im Epilimnion über die noch immer 4°C bis 5°C kalten Schichten des Meta- bzw. Hypolimnion (Abbildung 37). Mit dieser wärmeren Schicht wird nun die Seedruckleitung auf der gesamten Länge gespült und gleichzeitig das Glasfaserkabel eingebracht. Danach wird die SDL verschlossen und ein geringer Unterdruck aufgebracht, der das kältere Wasser des Sees durch das Leck in die mit wärmeren Wasser gefüllte Seedruckleitung einsaugt. Durch die Messung des Temperaturabfalls innerhalb des Rohres, kann das Leck auf bis zu 0,25 m genau geortet werden.

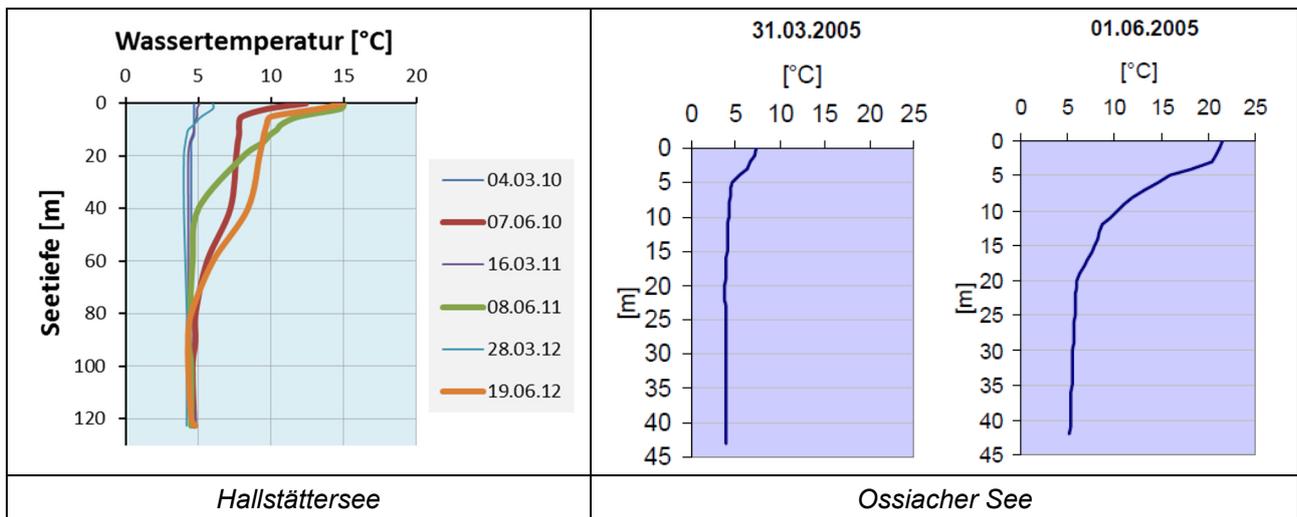


Abbildung 79: Beispiele jahreszeitlicher Temperaturentwicklungen im März und Anfang Juni im Hallstättersee (links; Datenquelle: LandOÖ, 2014a) und Ossiacher See (rechts; KIS, 2009).

Der Versuchsaufbau im Technikum ist in Abbildung 81 dargestellt. Es wurde ein 4,5 m langes U-förmiges PVC-Kanalrohr DN200 in einen 4 m³ Behälter eingehängt, dessen Endkappen zu Beginn und am Ende mit einer Kabeldurchführung versehen wurden. Für den Versuch wurde das gesamte Rohrvolumen mit 27°C „warmen“ Wasser, der Tank mit 18°C „kaltem“ Wasser gefüllt. Dadurch herrschte eine Temperaturdifferenz von 9°C was auch in der Praxis (siehe Abbildung 79) problemlos erzielbar sein dürfte. Es reichen aber schon nur wenige Grad Celsius Temperaturdifferenz aus, da die Temperaturentauflösung bei der Messung sehr gering war ($1/_{10}$ °C).

Danach wurde das Rohr verschlossen und das mit dem Glasfaserkabel bestückte Kanalrohr mit einem leichten Unterdruck von 0,05 bar versehen. Gleichzeitig wurde die idealisierte Leckage (Loch mit 6 mm Durchmesser) geöffnet um das kalte Tankwasser einströmen zu lassen. Während des Versuchs wurde die Einströmgeschwindigkeit konstant gehalten. Die Detektion erfolgte während einer Messzeit von nur wenigen Minuten (zeitliche Messauflösung 10 Sekunden).

Das Ergebnis der Messung ist in Abbildung 80 dargestellt. Die Abnahme der Temperatur bei einer Kabelstationierung von 83,8 m entsprach exakt dem Abstand des Lochs vom Kabelanfang (siehe dazu auch Abbildung 81).

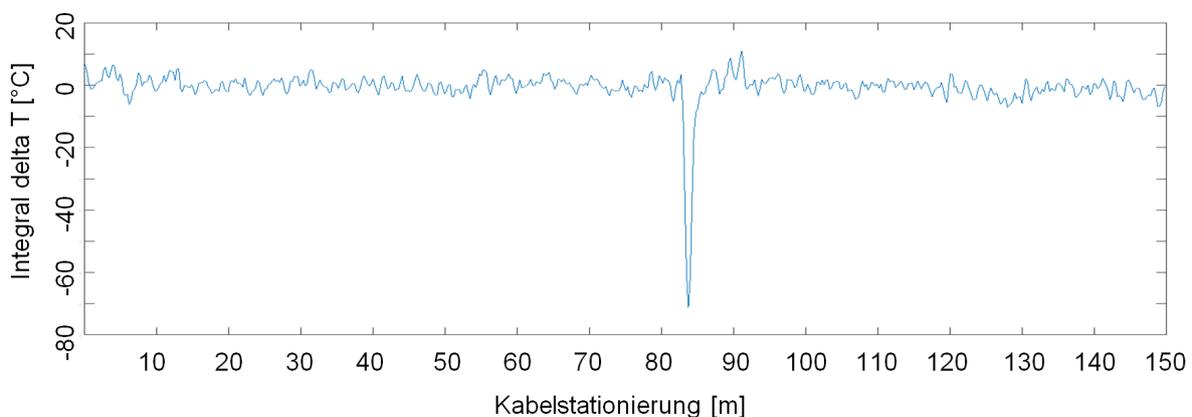


Abbildung 80: Detektion der Leckage: Integral der Temperaturdifferenzen [°C] nach Öffnen des idealisierten Lecks mit 6 mm Durchmesser (IWHW/SIG, 2015).

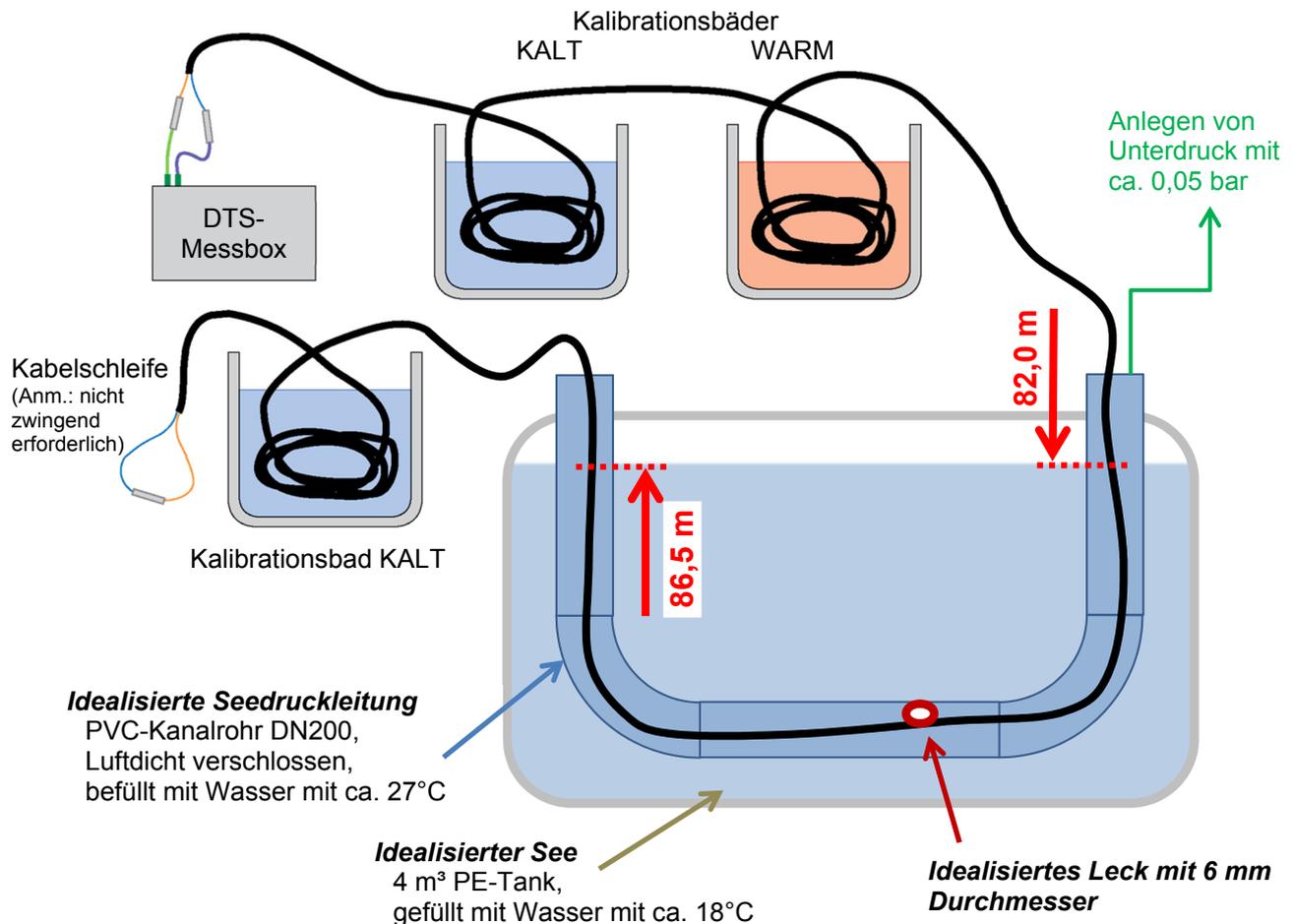


Abbildung 81: Optimaler DTS-Messaufbau für die Leckage-Ortung in Seedruckleitungen. Hier als Beispiel eine Anwendung im Technikum des SIG (Zeichnung: IWHW/SIG, 2015; modifiziert).

21.5. Überlegungen für eine zukünftige Verlegung von Druckleitungen in Seen

Die damaligen Anstrengungen bezüglich der Sanierung der eutrophierten Seen waren geprägt von einer raschen Problemlösung und der boomenden Technologie auf dem Sektor der Kunststoffindustrie. Die Idee, Druckleitungen quer durch den See zu verlegen, war innovativ und problemorientiert. Die konservative Variante der Landdruckleitungen wurde damals aufgrund des Zeitdrucks und anhand von Kostenüberlegungen nicht durchgeführt.

Die wichtigsten Vorteile von Seedruckleitungen sind:

- Rasche Verlegung bzw. kurze Errichtungszeit
- Keine Beeinträchtigung der sonst im Untergrund verlegten Infrastruktur auf dem Landweg
- Wenig Grundstücksankäufe notwendig
- Optimierte Rohrlängen quer über dem See
- Günstigere Verlegungskosten im Vergleich zu aufwendigen Geländetrassen über Land
- Das Erreichen ansonsten unzugänglicher Stellen am Seeufer

Als wichtigste Nachteile der Seedruckleitungen sind zu erwähnen:

- Das Know-How für die Verlegung haben nur wenige Firmen
- Inspektion bzw. Reparatur schwierig bis unmöglich, v.a. bei großen Verlegetiefen.

- Eventuell große Aufmerksamkeit bei einem Schadensfall (Stichwort: Badegewässer)
- Wenn der Konzeptentwurf und die Verlegung nicht optimal durchgeführt werden, entstehen kostenintensive Folgeschäden.
- Eventuell hohe Pachtkosten.

Die Entscheidung, ob vor Ort extrudierte Rohrstränge oder spiegelgeschweißte Einzelrohre für die SDL in Frage kommen, wird heutzutage wahrscheinlich eher anhand der anfallenden Kosten gefällt. Es bleibt jedoch die Frage, ob dieses Kriterium wirklich das einzige sein soll, wenn es um die Abschätzung der möglichen Risiken geht.

Die wichtigsten Vorteile der vor Ort extrudierten PE-Rohre sind wenige bzw. gar keine Schweißarbeiten am Ort der Absenkung (Flansche), einfacher Materialtransport da nur die Anlieferung von PE-Pellets erfolgen muss, keine Beschädigungen der Einzelrohre durch Transport, Manipulation und Lagerung der Stangenware.

Die Nachteile sind jedoch die geringe Anzahl von Firmen, welche diese Art der Rohrproduktion mit einem hohen Qualitätsstandard durchführen können. Weiters ist ein geeignetes Produktionsareal direkt am See notwendig bzw. die Lagerungsmöglichkeit im See bis zur endgültigen Verlegung muss gegeben sein.

Die Überlegungen, falls eine bestehende SDL ersetzt oder eine neue parallele Druckleitung gebaut werden müsste, sind mannigfaltig. Prinzipiell kann man vier Varianten unterscheiden:

- (1) **gleiche Trassenführung im See**, d.h. so wie jetzt, aber nur mit einer zumindest nach den aktuellen Baurichtlinien konformen Bauweise, falls nicht noch strengere Richtlinien eingesetzt werden sollten.
- (2) **abgeänderte Trassenführung im See**, d.h. Vermeidung von Trassen-Abschnitten mit großen Risiken jetzt und in der Zukunft.
- (3) **Landweg**, dort wo es sinnvoll erscheint, (z.B. neugebauter Radweg, unkomplizierter Untergrund).
- (4) **Kombination** aus einer Trassenführung teilweise über Land und teilweise durch den See.

Zusätzliche Ideen zu den vorangegangenen Punkten sind:

- Verwendung eines speziellen robusten Rohmaterials z.B. PE 100-RC (RC ... Resistance to crack).
- Kombination verschiedener Rohrmaterialien: Verwendung von PE 100 im Seebereich und Gussrohre im Landbereich.
- Aufbau von vergessenem Know-How bzgl. Rohrproduktion und Verlegung (z.B. müssten bei der Rohrbettung in der Seekünetten bei Verwendung des Aushubmaterials die großen Steine ausgesiebt werden – dies wurde damals anscheinend nicht durchgeführt).
- Gemeinsame Ausschreibungen könnten die Projektkosten reduzieren.

Bezüglich der Entscheidung, welche Trassenführung im Einzelfall die Beste ist, müsste man alle Einflussfaktoren für eine Land- bzw. Seeverlegung (wie z.B. Grundstückverfügbarkeit, Kosten der Grundstücke, Saisonbedingte Einschränkungen der Baumaßnahmen, geplante Fertigstellung, Rechtsgutachten, politischer Wille, u.v.m.) im Vorfeld erheben.

Beispiele von Seedruckleitungsverlegungen aus Österreich

2009: Attersee (Planer: Energie AG Oberösterreich Wasser GmbH)

Wasserleitungsverband Vöckla-Ager: Verlegt wurde eine ca. 2,6 km lange Seedruckleitung für Trinkwasser (PE 100, DA 200 mm) von Attersee bis Weyregg bis in eine Tiefe von 110 m (Quelle: <http://www.energieag.at/> [20.07.2015]).



Abbildung 82: Endmontage und Lagerung der 2,6 km langen Trinkwasserleitung im Attersee im Jahr 2009 (URL: <http://www.energieag.at/> [20.07.2015]).

2001: Wallersee (Verlegefirma: Felbermayr Holding GmbH, 4600 Wels)

RHV Wallersee Süd – Verlegung einer 3,8 km langen Parallelleitung zu der bestehenden AW-SDL (BJ 1973), geschweißte Einzelrohre (PE HD, DA 250mm), maximale Absenktiefe 23 m.

1998: Wallersee (Verlegefirma: WHT GmbH, 4320 Perg)

RHV Wallersee Nord – ARA-Ablaufleitung neu verlegt. Verlegung einer 10,1 km langen Leitung von der ARA bis zum Übergang in Freispiegel, wobei 3,1 km als Düker durch den Wallersee verlegt wurden, geschweißte Einzelrohre (PE HD, DA 450 mm), maximale Absenktiefe 12 m.

1998: Traunsee (Rohrhersteller: AGRU Kunststofftechnik GmbH; Verlegefirma: Peer Wasserbau)

Verlegt wurde eine ca. 8,6 km lange Seedruckleitung für Trinkwasser (PE 100, DA 315 mm), wobei 6,5 km im See und 2,1 km im Fluss verbaut wurden. Die bis zu 2,5 km langen Rohrstränge wurden mittels einer mobiler Rohrextrusionsanlage vor Ort am westseitigen Seeufer des Traunsees zwischen Altmünster und Traunkirchen produziert. Die Rohrstränge wurden am See mit Flanschen verbunden und bis in eine Tiefe von 160 m abgesenkt (Quelle: AGRU). Im weiteren Verlauf erfolgte die Verlegung der Trinkwasserleitung im Traunfluss im Staubereich des Kraftwerkes Gmunden. Das 300 m lange Endstück der Leitung an Land beim Hochzonenpumpwerk wurde mit konventionellen Gussrohren verlegt (Quelle: <http://www.gmunden.ooe.gv.at> [23.04.2015]).



Abbildung 83: Produktion und Lagerung der 6,5 km langen Trinkwasserleitung im Traunsee im Jahr 1998 (Bildquelle: AGRU Kunststofftechnik GmbH).

Beispiele von Seedruckleitungsverlegungen aus anderen Ländern

Heutzutage werden weltweit viele Rohre aus Polyethylen oder Guss eingesetzt. Die Anwendung reicht von Ausleitungen in Seen/Meer über Dükerleitungen bis hin zu den hier behandelten Druckleitungen.

In Norwegen produziert sogar ein Produktionsstandort der Firma Pipelife in einem Fjord endlos extrudierte Rohre direkt ins offene Wasser. Von dort werden sie als Strangbündel über den Seeweg zu dem jeweiligen Verlegungsort geschleppt (Abbildung 84).



Abbildung 84: Auszug aus den Beispielen von Seedruckleitungen aus anderen Ländern (Quelle: Pipelife Norge AS, Stathelle, Norway; <http://www.pipelife.com> [14.04.2015]).

22. Zusammenfassung

Grundlagen und Motivation

Österreich besitzt sehr saubere Seen, die in wunderbare Landschaften idyllisch eingebettet sind. Dieses Bild ist in unseren Köpfen verankert, weil man seit Jahrzehnten damit Werbung macht.

Diese Idylle wurde jedoch in den 1950er und 1960er Jahren massiv gestört. Die unkontrollierte Entwicklung des Fremdenverkehrs, die zunehmende Verbauung der Seeufer und die damit verbundene Zunahme der häuslichen Abwässer, sowie die intensivierete Verwendung von Mineräldünger auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen des Einzugsgebiets, führte zu großen Problemen bei der Wasserqualität der Seen.

Nach einem Umdenkprozess wurden massive Anstrengungen und große kommunale Investitionen unternommen, um diese Situation zu verbessern. Auf der einen Seite wurde die Kanalisation um die Seen ausgebaut, auf der anderen Seite wurden Kläranlagen entweder neu errichtet oder adaptiert. Diesbezüglich wurde auf Jahrzehnte hinaus eine tragfähige Struktur zum Schutz der Oberflächengewässer gegenüber Verunreinigungen geschaffen, auf der letztendlich auch die Tourismuswirtschaft aufbaut.

Da diese Bauvorhaben ab Anfang der 1970er Jahre durchgeführt wurden, und die damals kalkulierte Lebensdauer der verwendeten Materialien von 50 Jahren bald erreicht sein wird, wurde die Frage nach dem aktuellen Zustand der in Österreich verbauten Seedruckleitungen laut. Da diese Abwasser transportieren, können bei einem allfälligen Schaden die Badenden und nicht zuletzt die Umwelt massiv beeinträchtigt werden.

Hintergrund dieser Frage waren die Themen hinsichtlich der auf hohem Niveau betriebenen Seenreinhaltung sowie die eines Verschlechterungsverbots nach der EU Wasserrahmenrichtlinie. Abgesehen von diesen Gesichtspunkten ist die Situation der Abwasser-Druckleitungen durch Badeseen entsprechend der EU-Badegewässerrichtlinie zu bewerten und die darin geforderten Maßnahmen zu setzen. Diese Maßnahmen reichen von der Information der Öffentlichkeit bis hin zu einem zeitweiligen Badeverbot für den See bei einem Schaden, bzw. bis hin zur Einrichtung von entsprechenden Überwachungsstrategien.

Die Studie wurde an der Universität für Bodenkultur Wien durch zwei Institute des Departments für Wasser-Atmosphäre-Umwelt durchgeführt. Die Hauptziele dieses Projektes lagen darin, eine Methodik für die ökologische und ökonomische Risikobewertung der Seedruckleitungen in Österreich zu erstellen, und mit dieser Methodik die bestehenden Leitungen in einer Prioritätenliste hinsichtlich des Handlungsbedarfs zu reihen. Für die Auftraggeber von besonderem Interesse waren die Risikobewertung der bestehenden Leitungen und die Abschätzung des zukünftigen Finanzierungsbedarfs bezüglich dieser Art des Abwassertransports in Österreich.

Erhebung der aktuellen Situation

Eine zentrale Aufgabe dabei war die Erhebung des Zustandes der in den betroffenen österreichischen Seen verlegten Abwasserdruckleitungen und Trinkwasserleitungen. Die Datenverfügbarkeit hatte einen großen Einfluss auf die Methoden der Risikobetrachtung der vorhandenen Seedruckleitungen. Dadurch wurde diesem Teil viel Aufmerksamkeit geschenkt. Das entsprechende Arbeitspaket umfasste die Bestandserhebung aller Seedruckleitungen in österreichischen Seen, sowie die Erhebung anderer relevanter Themengebiete wie z.B. die

gewässerökologische Situation der Seen selbst oder die bereits stattgefundenen Fälle von Leitungsversagen sowie die bestehenden Notfallpläne. Dazu wurden neben einer umfangreichen Literaturrecherche zwei Workshops, drei Email-Aussendungen und persönliche Besuche bei den Betreibern von Seedruckleitungen vor Ort durchgeführt.

Das betrachtete System einer Seedruckleitung in dieser Studie umfasst (i) das Pumpwerk mit seinen Pumpen, Schiebern und sonstigen Einrichtungen, (ii) die Seedruckleitung selbst mit den darauf befestigten Beschwerungsgewichten, sowie (iii) die Auslaufsituation am Ende der Druckleitung.

Die damals verwendeten Rohrmaterialien waren hauptsächlich Polyethylen, und nur in Ausnahmefällen Gusseisen. Die Rohrverbindungen bei den Polyethylenrohren waren ausnahmslos Flansch- oder Schweißverbindungen, bei den Gussrohren ausnahmslos zugfeste Steckverbindungen.

Die im Zuge dieser Studie erhobenen Schäden an den verlegten Seedruckleitungen sind hauptsächlich auf Fehler während der Produktion bzw. des Verlegens zurückzuführen oder wurden durch einen anschließenden unsachgemäßen Betrieb hervorgerufen. Die damals definierte technische Nutzungsdauer der Polyethylenrohre in der Größenordnung von 50 Jahren war in diesen speziellen Einsatzgebieten nie ein Problem. Man kann davon ausgehen, dass die tatsächliche Nutzungsdauer je nach Druck und Temperatur mindestens 100 Jahre oder mehr beträgt. Dies wird auch durch eine Vielzahl von aktuellen Untersuchungen bestätigt. Beim Werkstoff Gusseisen wurde schon damals von einer technischen Nutzungsdauer von über 100 Jahren ausgegangen.

Es wurden in Summe 17 Seen mit Abwasser-Seedruckleitungen und 8 Seen mit Trinkwasserleitungen in dieser Studie erhoben, wobei in 7 Seen sowohl Trink- als auch Abwasser-Seedruckleitungen verlegt sind. Die schwer zu erhebenden privat finanzierten Leitungen sind hier nicht inkludiert.

Die nachfolgende Liste ist eine Zusammenfassung der Verbands- bzw. Gemeindeleitungen in den betroffenen österreichischen Seen:

- ✓ 98 Seedruckleitungen für den Transport von Abwasser (davon 41% parallel verlegte-Leitungen): 158,2 km
- ✓ 2 Leitungen für den Ablauf einer kommunalen ARA im Seebereich (1 x Düker, 1 x Seeauslauf): 4,1 km
- ✓ 11 Seeleitungen für den Transport von Trinkwasser: 26,7 km

Für die Aufrechterhaltung des Status quo der Abwasserentsorgung sowie der Trinkwasserversorgung sind daher in Summe rund 190 km seeverlegter Leitungen erforderlich.

Ermittlung des Risikos einer ungewollten Abwassereinleitung in den See

Für die Ermittlung des Risikos, nämlich einer ungewollten Abwassereinleitung in den See, wurde ein Risikoziel definiert. Dieses Risikoziel entspricht einem fiktiven Schaden einer Seedruckleitung mit der Freisetzung von Abwasser in den See. Es kommen zwei Arten der Betrachtung bzgl. der Auswirkung auf den See bzw. die Menschen zur Anwendung:

- ✓ **keine Badesaison:** Außerhalb der Badesaison ist die Auswirkung auf den Nährstoffhaushalt des Sees im Fokus der Betrachtung. Eine Erhöhung der Gesamtposphorkonzentration im Seewasserkörper um max. 1,0 µg/L wird als zumutbar angesehen und als Grenzkriterium gewählt.

- ✓ **Badesaison:** Innerhalb der Badesaison erfolgt die Abschätzung der Auswirkung mit dem Indikatorkeim *E.coli* auf Grundlage der EU-Badegewässer-Richtlinie.

Zur Berechnung der Größe dieser Kriterien wurden eine Analyse der Nährstoffkonzentrationen in den Seen, sowie eine hygienische Bewertung einer Abwassereinleitung in einen See durchgeführt.

Die hygienische Bewertung einer ungewollten Abwassereinleitung in den See erfolgt entsprechend der EU-Badegewässer-Richtlinie mit einer Grenze von 400 cfu/(100 ml) für Intestinale *Enterokokken* und 1000 cfu/(100 ml) für *E.Coli*.

Bei natürlichen Oberflächengewässern ist die Herstellung des „guten Zustands“ die Zielvorgabe nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL). Der *gute Zustand* eines Oberflächengewässers setzt sich aus einem zumindest *guten ökologischen* und *guten chemischen Zustand* zusammen. Um dieses Kriterium nicht zu verletzen wurde der aktuelle Phosphorgehalt als Grundlage der Bewertung herangezogen. Das Ziel war, trotz einer fiktiven ungewollten Abwassereinleitung in den See, die aktuelle Trophiestufe nicht zu verschlechtern. Es wurde daher bei allen Seen (Ausnahme: Stausee) die Wirkung einer Erhöhung der aktuellen Phosphorkonzentration um max. 1,0 µg/L berechnet und bewertet.

Grundsätzliche Erfassung des Zustands der Seedruckleitungen

Bei der Erfassung des aktuellen Zustandes von Seedruckleitungen wurde das Thema der Pumpendatenauswertung favorisiert behandelt, da diese Methode einfach zu implementieren ist. Ein weiterer Punkt war die lagemäßige Erfassung der am Seegrund liegenden Seedruckleitung entweder durch visuelle Methoden oder Untergrund-Scans sowie durch (von der Oberfläche aus detektierbare) Inspektionsmolche. Die weiteren Überprüfungsverfahren des aktuellen Zustands waren die elektronische Druckmessung, Durchfluss-/Mengenmessung, Druckprüfung sowie die optische Innenrohrinspektion.

Risikoanalyse und Risikobewertung

Den Ergebnissen der Datenerhebung folgend wurde für die Bewertung des Risikos und der Reihung der Seedruckleitungen nach ihrem Risiko eine angepasste Version der Probabilistischen Risiko- und Sicherheitsanalyse (PSA) ausgewählt. Die Analyse berücksichtigt verschiedene Faktoren, die für das Gesamtrisiko maßgebend sind, wie Größe des Sees, Wasserqualität des Sees, Bauart der Leitung, Alter der Leitung, Lage der Leitung im See, Beanspruchung der Leitung, Möglichkeit eines Notfall-Alternative zur Abwasserentsorgung, Instrumentierung der Leitung zur Leckdetektion, betriebliche Maßnahmen zur Lecküberwachung.

Aus der Analyse der erhobenen Daten konnten einige Merkmale der Seedruckleitungen identifiziert werden, die maßgeblichen Einfluss auf das Gesamtrisiko haben: Absenktiefe, Fertigung der Seedruckleitungen, Betriebsalter. Die Analysemethodik erlaubte es, eine Reihung der Leitungen anhand des Risikos zu errechnen. Das errechnete Risiko ist dabei jedoch nur relativ und nicht absolut zu interpretieren, d.h. die Leitungen können anhand der Reihung nur untereinander verglichen werden. Einschränkend gilt grundsätzlich, dass PSA-Ergebnisse mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Die Einzelergebnisse für jede Seedruckleitung, also die Angabe erwarteter Häufigkeiten eines „schwerwiegenden Ereignisses“ in den Seen, können daher nicht ohne weiteres absolut genommen werden.

Die Analysemethodik erlaubt es, risikominimierende Maßnahmen für verlegte Seedruckleitungen zu identifizieren. Dies wurde beispielhaft für drei Seedruckleitungen gezeigt. Allerdings konnte, dem Umfang der Studie geschuldet, keine Detailanalyse mit angepassten Maßnahmen für jede einzelne Leitung errechnet werden.

Handlungsempfehlungen

Bezüglich der Handlungsempfehlungen wurden Verbesserungen zur Minimierung des bestehenden Risikos während des Betriebs und der Überwachung angeführt. Diese sind unter anderen betriebliche Vorschriften (inklusive der später beschriebenen Überwachungsstrategien), die Erprobung von Handlungsabläufen wie z.B. Taucheinsätze oder Reparaturen sowie angemessene Maßnahmen der Behörden mit Fokus auf die EU Badegewässer-Richtlinie.

Es sei angemerkt, dass ein sogenanntes „Leck vor Bruch-Verhalten“ bei den verlegten Polyethylenleitungen vorausgesetzt wird. Dies bedeutet im konkreten Fall, dass ein Bruch (Querriss) immer durch eine vorhergehende Leckage angekündigt wird. Aus diesem Grund ist eine permanente Leckdetektion in Kombination mit betriebsorientiert durchgeführten Zustandsüberwachungen von hoher Priorität.

Überwachungsstrategien – Stufenplan: Entwickelt wurde ein Stufenplan zur Überwachung der Seedruckleitungen, der aktuell aus fünf Stufen besteht. Dabei beinhaltet die erste Stufe lediglich die Auswertung vorhandener Pumpendaten, und sollte deswegen nur bei einem geringen Risiko angewendet werden. Die Anwendung der nächsten beiden Stufen, der permanenten elektronischen Druckmessung bzw. der Durchfluss-/Mengemessung, ist Stand der Technik und sollte bei allen anderen Seedruckleitungen je nach der aktuellen Risikoeinschätzung zur Anwendung kommen.

Da die Auffindung von Leckagen von hoher Priorität ist, wird der Druckprüfung ein hoher Stellenwert zuerkannt. Diese kann jedoch, genauso wie die optische Innenrohrinspektion, nur periodisch durchgeführt werden.

Gebrechen an einer Seedruckleitung – Szenarien: Es wurden während der Bearbeitung dieser Studie drei anwendbare Möglichkeiten identifiziert, die anfallende Abwassermenge aus dem Einzugsgebiet der defekten Seedruckleitung zu entsorgen:

- (1) Überführung des Abwasseranfalls durch Abtransport mittels Saugwagen oder der Umgehung mittels (provisorischer) Landleitung
- (2) Vorübergehende Einleitung in den See
- (3) Einleitung in eine provisorische Abwasserreinigungsanlage

Zusätzlich wurde ein Ablaufschema entwickelt, das nach der vermuteten Erkennung eines Schadens zur Anwendung kommen kann. Dieses müsste jedoch noch an die jeweiligen Gegebenheiten vor Ort bzw. des Betreibers angepasst werden und mit den zuständigen Stellen akkordiert werden.

Für die Sanierung von Leckagen oder Brüchen unter Wasser wurde in dieser Studie die Annahme getroffen, dass diese bis 20 Meter Tiefe ohne größere Probleme möglich sind.

Ansatz einer multikriteriellen Bewertung bezüglich Sanierung oder Neuerrichtung

Es wurde eine Kostenschätzung der Neuerrichtung einer Seedruckleitung aus PE 100 sowie ein Ansatz eines Kostenvergleichs für landseitig/seeseitig verlegte Seedruckleitungen durchgeführt. Dazu sind entsprechende Analysen zu den anfallenden Kosten und der damit erzielbare Nutzen auf planerischer Seite durchzuführen. Für einen Kostenvergleich aktuell geplanter Maßnahmen sind jedoch unbedingt entsprechende Angebote über die tatsächlichen Rohrkosten incl. aller gewährten Preisnachlässe erforderlich.

Voraussichtlicher zukünftiger Finanzierungsbedarf

Die durchgeführte Grobkostenschätzung wurde auf Grundlage der Erkenntnisse dieser Studie durchgeführt. Die zugrundeliegenden Überlegungen waren geprägt von der Minimierung des Risikos einer ungewollten Abwassereinleitung in den See. Als Hauptkriterien zur Bestimmung der zukünftigen Überwachungsstrategie der jeweiligen Seedruckleitung wurde die gepumpte mittlere „tägliche Abwassermenge“ und die Risiko-Maßzahl „Schwerwiegendes Ereignis alle # Jahre“ aus der Risikoanalyse herangezogen. Nach Anwendung der vorgeschlagenen Maßnahmen in Verbindung mit den jeweiligen Grenzen der oben genannten Kriterien sowie den aktuellen Erkenntnissen bei den Betreibern der Seedruckleitungen konnte jeder betroffenen Leitung ein voraussichtlicher zukünftiger Finanzierungsbedarf zugeordnet werden.

Dies würde einen überschlägigen Finanzierungsbedarf bei den Salzburger Seen von rund € 2,14 Mio., bei den Kärntner Seen von € 3,76 Mio. und bei den Oberösterreichischen Seen von € 9,97 Mio. ergeben. In Summe sind dies rund € 15,9 Mio., wobei hier als maßgebender Kostenfaktor der Bau neuer Seedruckleitungen ist. Deren Anzahl könnte sich bei einer detaillierten Untersuchung der betroffenen Leitungen jedoch noch reduzieren (z.B. vorgeschlagene Überwachungsstrategien sind ausreichend um das vorhandene Risiko maßgebend zu senken; Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung von Fremdwasser im Einzugsgebiet bei bestehenden Parallel-Leitungen welche jedoch nicht redundant sind).

Diskussion und Ausblick

Beim Ausblick wurde auf eine mögliche Anwendung von löslichen Molchen aus Eisbasis aufmerksam gemacht, die vor allem für die einzeln verlegten Seedruckleitungen von Interesse sein kann. Die Gefahr durch eine Verstopfung wegen blockierter Schaumstoffmolche ist hier besonders hoch.

Weiters wurde innerhalb der Studie, aufgrund der ernüchternden bisherigen Erfahrungen bezüglich der genauen Leckortung, eine Methode entwickelt, deren Tauglichkeit auch durch einen praktischen Versuch im Abwassertechnikum des SIG bestätigt wurde. Es handelt sich hierbei um die Leckage-Ortung in Seedruckleitungen mit Hilfe der faseroptischen Temperaturmessung.

Die Überlegungen bezüglich der einer zukünftigen Verlegung von Druckleitungen in Seen können in Kombination mit dem Einsatz neuartiger Entwicklungen am Rohrsektor (RC-Rohre oder co-extrudierte Rohre mit hellerer Innenschicht) gesehen werden.

23. Schlussempfehlungen

Es konnte gezeigt werden, dass mit einfachen Mitteln der Leitungsüberwachung das Risiko einer ungewollten Abwassereinleitung in den See deutlich reduziert werden kann. Trotzdem sind stellenweise zusätzliche Maßnahmen erforderlich, um auch in Zukunft diese besondere Art des Abwassertransports ausreichend gesichert durchzuführen.

Betrieb und Überwachung

Es wird folgende Empfehlung ausgesprochen: Durchführung einer Druckprüfung alle 2 Jahre bzw. bei guter Instrumentierung der Leitung oder bei öfters durchgeführten „innerbetrieblichen Druckprüfungen“ alle 5 Jahre. Da es aktuell keine Vorschrift für dieses Leitungsart gibt, sollte die Druckprüfung für alle Seedruckleitungen vereinheitlicht werden (Empfehlung: in Anlehnung an ON EN 805).

Auch bei parallel verlegten Leitungen, welche jeweils als redundant gelten, muss eine Überwachung an beiden Seedruckleitungen implementiert werden.

Es wird von einem „Leck-vor-Bruch-Verhalten“ ausgegangen, daher ist der Durchfluss-/Mengenmessung am Anfang und am Ende der Seedruckleitung nach einem Pumpvorgang besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Überprüfung der Betriebskennzahlen sollten je nach Risiko-Maßzahl manuell (visuell) oder automatisiert erfolgen.

Die Messgeräte zur Messung des Leitungsdrucks und -durchflusses an den Seedruckleitungen sind entsprechend der Herstellerangaben zu warten und zu kalibrieren. Bei unerklärlichen Unregelmäßigkeiten der üblichen Betriebskennzahlen sind sofortige Maßnahmen zu ergreifen.

Handlungsempfehlungen

Falls die Seedruckleitung im seeseitigen Uferbereich eingegraben (eingespült) wurde, ist der Untergrund auf die Verteilung der Korngrößen zu untersuchen. Das Vorhandensein einzelner größerer Steine in einer Matrix aus feinerem Material ist als problematisch einzustufen.

Um zukünftige Verstopfungen durch Ablagerungen zu vermeiden, soll je nach Möglichkeit eine Molchung der Druckleitung in Erwägung gezogen werden.

Um ein unkontrolliertes Aufschwimmen zu verhindern sind nach Möglichkeit die Beschwerungsgewichte auf deren Funktion zu überprüfen.

Aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten entstehen durch das Beenden des Pumpvorgangs am Anfang und am Ende der Seedruckleitungen erhöhte Belastungen (Unter- bzw. Überdruck) in der Leitung. Die daraus entstehenden Kräfte sind zu ermitteln und bei Bedarf entweder baulich oder technisch so gut wie möglich zu reduzieren.

Zumindest im Uferbereich ist die Lage der Seedruckleitungen lagerichtig zu bestimmen und GIS-mäßig zu erfassen. Dies kann helfen, Schäden durch Baumaßnahmen im Uferbereich zu reduzieren.

Es sind betriebliche Vorschriften zur Überwachung der Seedruckleitungen zu definieren. Diese definierten Handlungsabläufe sowie Taucheinsätze sind durch wiederholte Übungen zu optimieren.

Es wird der Aufbau einer Schaden-Datenbank bei den zuständigen Behörden angeregt. Darin sollen alle relevanten Betriebsdaten der Seedruckleitungen sowie der zugehörigen Pumpstationen - als auch deren Historie - verzeichnet werden. Dies wird als besonders wichtig erachtet, da die Ursachen für zukünftige Schäden oftmals in der Vergangenheit zu suchen sind. Das schließt auch den Bau und die Verlegung der Seedruckleitungen mit ein. Als koordinierende Stelle könnte auch eine übergeordnete Organisation (z.B. ÖWAV) dienen.

Es sind angemessene Maßnahmen der Behörde im Falle einer kurzzeitigen Verschmutzung des Sees (ungewollte Abwassereinleitung) infolge eines Schadens an einer Seedruckleitung zu implementieren.

Mögliche Alternativmaßnahmen einer kontrollierten Abwasserentsorgung aufgrund einer länger andauernden Reparatur nach einem Schaden bzw. beim Totalverlust einer Seedruckleitung sind mit der zuständigen Behörde zeitgerecht abzustimmen.

Die Erfahrungen und Lösungsansätze der damals beauftragten Planer und ausführenden Firmen für die Konzeption, Bauausführung und Verlegung von Seedruckleitungen haben einen hohen Stellenwert. Dieses Wissen sollte daher Eingang in die Planung möglicher neuer Seedruckleitungen finden.

24. Danksagung

Die Studienautoren möchten dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (*Sektion IV: Wasserwirtschaft; Abteilung IV/7: Siedlungswasserwirtschaft*) sowie dem Land Kärnten (*Amt der Kärntner Landesregierung; Abteilung 8: Umwelt, Wasser und Naturschutz; Unterabteilung Siedlungswasserwirtschaft*), dem Land Oberösterreich (*Amt der Oberösterreichischen Landesregierung; Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Oberflächengewässerwirtschaft / Abwasserwirtschaft*) sowie dem Land Salzburg (*Amt der Salzburger Landesregierung; Abteilung 7: Wasser, Referat Allgemeine Wasserwirtschaft*) für deren finanzielle Unterstützung danken.

Weiters sei allen Vertretern der erhobenen Verbände und Gemeinden für ihre Zeit und geduldige Beantwortung der ihnen gestellten Fragen gedankt. Durch deren Beitrag konnten wertvolle Informationen während der Erstellung dieser Studie berücksichtigt werden, die ansonsten unbeachtet geblieben wären.

25. Literaturverzeichnis

- AfP (2015) Alliance for PE Pipe, PE Pipe FAQ, undated (copyright 2008-2015)
URL: <http://www.pepipe.org/index.php?page=pe-pipe-faq> [20.02.2015].
- AGES (2015) Badegewässerdatenbank, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH; URL: <http://www.ages.at/themen/umwelt/wasser/badegewaesser/> [12.05.2015].
- Anselmetti F. (2015) Bildmaterial für die vorliegende Studie zur Verfügung gestellt, Institut für Geologie und Oeschger Centre for Climate Change Research, Universität Bern, Baltzerstrasse 1+3, 3012 Bern, Schweiz.
- ATV (1994) Arbeitsblatt A 148, Dienst- und Betriebsanweisung für das Personal von Abwasserpumpwerken, -druckleitungen und Regenbecken (Anleitung zur Aufstellung einer Anweisung), DWA-Regelwerk, Hennef.
- ATV-DVWK-A 134 (2000) Arbeitsblatt A 134, Planung und Bau von Abwasserpumpenanlagen, DWA-Regelwerk, Hennef
- BAW (2008) Atlas der natürlichen Seen Österreichs mit einer Fläche ≥ 50 ha Stand 2005, Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Band 29.
- BGBl. 96/2006 (2006) Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer – QZV Chemie OG, Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich.
- BGBl. 99/2010 (2010) Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG, Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich.
- BGBl. II 349/2009 (2009) Verordnung des Bundesministers für Gesundheit über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung (Badegewässerverordnung – BGewV)
- Blanchard, R. (1998) Savannah River Site Generic Data Base Development, WSRC-TR-93-262, Rev. 1 (unclassified), Westinghouse Savannah River Company, prepared for the U.S. Department of Energy, , 200 pages.
- BMLFUW (2005) Evaluierung der Umweltförderung des Bundes für den Zeitraum 01.01.2002 bis 31.12.2004, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2008) Evaluierung der Umweltförderung des Bundes für den Zeitraum 01.01.2005 bis 31.12.2007, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2010) Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009. Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2010a) Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009, Anhang - Wasserkörpertabellen Seen. Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2011) Stoffbilanzmodellierung für Nährstoffe auf Einzugsgebietsebene (STOBIMO-Nährstoffe) als Grundlage für Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme, Endbericht Im Auftrag des BMLFUW, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2011a) Korrigendum zur Evaluierung der Umweltförderung des Bundes 2008 – 2010, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2012) Österreichischer Bericht 2012 zur kommunalen Abwasserrichtlinie der EU – 91/271/EWG, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2014) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2012, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2014a) Evaluierung der Umweltförderungen des Bundes 2011 – 2013, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2014b) Österreichischer Bericht über die IST-Bestandsaufnahme 2013 der EU Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2015) Bericht 2014 zu den Umweltförderungen gemäß UFG und zur Schutzwasserwirtschaft gemäß WBF, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW (2015a) Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 Entwurf, Anhang Tabellen Oberflächengewässer, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

- Bredács, M., Frank, A., Nitsche, D., Riha, A., Pinter, G. (2014) Prediction of residual lifetimes of small diameter polyethylene pipes, Proceedings of the 17th Plastic Pipes Conference PPXVII, September 22-24, 2014, Chicago, Illinois, USA.
- Brömstrup, H. (2001) Düker- und Auslaufleitungen aus PE-HD, in Hrsg.: Gondro, C. (2001) „Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung“, Expert Verlag, 376 Seiten, ISBN:978-3-8169-1872-1.
- Bruckner Ch. (2015) Folien „Materialkunde – Teil 2“ zum ÖWAV Ausbildungskurs „Inspektion und Zustandsbewertung von Kanalisationsanlagen“, 16.03.-20.03.2015, St. Veit / Glan.
- CPC (2015) Central Plastics Company (Shawnee, Oklahoma), What's the Difference? HDPE vs. PVC: A Functional Comparison, accessed 2015 URL <http://www.mcelroy.com/pdf/HDPEvsPVC.pdf>.
- Deisinger, G. (1987) Langzeitentwicklung der Cyanophyceen in einigen Kärntner Seen vor und nach der Sanierung, Carinthia II 177/97. Jahrgang, Kärntner Institut für Seenforschung, 101-129.
- DIPRA (2012) A Second Look at: Water Main Break Rates in the USA and Canada, Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA).
- DUKTUS (2013) Grabenlose Einbauverfahren mit duktilen Gussrohren, Hrsg.: Duktus Rohrsysteme Wetzlar GmbH, URL: <http://www.duktus.com> [14.06.2015].
- DVGW (2008) Kunststoffmaterialien in der Gas- und Wasserversorgung, DVGW Technologie-Report Nr. 4/08, Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Deutschland.
- DWA (2010) 22. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2009 - Phosphor im Mittelpunkt, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Deutschland.
- DWA (2014) 26. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2013- Phosphor im Visier, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Deutschland.
- EU-RL 2006/7/EG (2006) Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG.
- EU-WRRL (2000/60/EG) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik..
- Ficker, H., Gassner, H., Achleitner, D., Schabetsberger R. (2009) Limnologische Auswirkungen von Soleeinleitungen auf den Hallstättersee, Vortrag, Bericht zum Treffen der Societas Internationalis Limnologiae Austria, 26.–28. Oktober 2009 in Salzburg.
- Flögl, H., Hoyer, S. (2001) Seeverlegte Rohrleitungen aus PE-HD für die Ableitung von Abwässern, in Hrsg.: Gondro, C. (2001) „Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung“, Expert Verlag, 376 Seiten, ISBN: 978-3-8169-1872-1.
- Folkman, S. (2012) Water Main Break Rates in the USA and Canada: A Comprehensive Study, Utah State University Buried Structures Laboratory, 18 pages.
- Frank, A., Hutar, P., Pinter, G. (2012) Numerical Assessment of PE 80 and PE 100 Pipe Lifetime Based on Paris-Erdogan Equation, Macromol. Symp. 311, 112–121.
- Frank, A., Pinter, G., Lang, R.W. (2009) Prediction of the remaining lifetime of polyethylene pipes after up to 30 years in use, Polymer Testing 28 (2009), 737–745.
- Friedl, F. (2012) Vergleich von statistischen und physikalischen Modellen zur Berechnung der Auftrittswahrscheinlichkeit von Schadensarten auf Trinkwasser-Haupt- und Zubringerleitungen, Dissertation am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU-Graz.
- Gaßmann E., Gries A., (2009): Elektronische Druckmesstechnik – Grundlagen, Anwendungen und Geräteauswahl, Die Bibliothek der Technik Band 323, Verlag Moderne Industrie.
- Grams, T. (2001) Grundlagen des Qualitäts- und Risikomanagements - Zuverlässigkeit, Sicherheit, Bedienbarkeit, Vieweg Praxiswissen, Braunschweig, Wiesbaden.
- GRIS (2012) Spezielle Gütevorschrift für Kanalrohre und Formstücke aus Polyethylen (PE) für den Siedlungswasserbau GRIS-Gütevorschrift GV 19, Hrsg.: Güteschutzverband Rohre im Siedlungswasserbau, Wien.
- Hessel, J. (2006) 50 Jahre Rohre aus Polyethylen - Eine ingenieurtechnische Betrachtung, 3R international 45(3-4), 128-133.

- Hessel, J. (2007) 100 Jahre Nutzungsdauer von Rohren aus Polyethylen - Rückblick und Perspektive, 3R international 46(4), 242-246.
- Hindak, F., Deisinger, G. (1989) Artenzusammensetzung des Phytoplanktons im Hafnersee, Keutschacher See und Wörthersee, Carinthia II 179/99. Jahrgang, Kärntner Institut für Seenforschung, 545-554.
- Hofmann F. (2003) Grundlagen: Magnetisch-Induktive Durchflussmessung, 3. Auflage, KROHNE Messtechnik GmbH & Co. KG, Duisburg.
- IAEA (2010) Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide International Atomic Energy Agency Safety Standards Series SSG-2.
- IKT (2011) Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und -dükern, Phase 1 - Handlungsempfehlungen unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten, Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Deutschland, 170 Seiten.
- IWHW/SIG (2015) Detektierung von Leckagen in Seedruckleitungen mit DTS durch Anlegen eines Unterdruckes; unveröffentlichte Versuchsergebnisse; Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau, BOKU Wien.
- Jansen (2014) Technisches Handbuch Versorgung – Druckrohre für die Gas- und Wasserversorgung; www.jansen.com.
- KAN (2010) Kanal- und Kläranlagen- Nachbarschaften – Forschungsprojekt „Optimierte Strategien der Instandhaltung von dezentralen Pumpstationen“, www.kan.at.
- Kienböck M. und Pöchlhammer F. (2014) „Betriebsoptimierung von ausgewählten Abwasserpumpstationen beim Abwasserverband Grazerfeld; Bachelorarbeit am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur Wien.
- KIS (2001) Fischereiliche Untersuchung des Völkermarkter Stausees, Kärntner Institut für Seenforschung, Klagenfurt.
- KIS (2005) Der Wörthersee - Limnologische Langzeitentwicklung des Wörthersees und limnologische Untersuchungen des Jahres 1999 unter besonderer Berücksichtigung der Planktonbiocönosen, Kärntner Institut für Seenforschung, Klagenfurt.
- KIS (2005a) Der Millstätter See - Limnologische Langzeitentwicklung des Millstätter Sees und limnologische Untersuchungen des Jahres 2000 unter besonderer Berücksichtigung der Planktonbiozönosen; Hrsg.: Kärntner Institut für Seenforschung, Klagenfurt.
- KIS (2007) Der Weißensee - Limnologische Langzeitentwicklung 1972 – 2003, Hrsg.: Kärntner Institut für Seenforschung, Klagenfurt.
- KIS (2009) Der Ossiacher See - Limnologische Langzeitentwicklung 1964 – 2005, Hrsg.: Kärntner Institut für Seenforschung, Klagenfurt.
- KIS (2015) Kärntner Seenbericht 2012 bis 2014, URL: <http://www.kis.ktn.gv.at/> [03.07.2015].
- Kistemann, T., Koch, C., Classen, T., Rechenburg, A., Kramer, F., Herbst, S., Franke, C., Rind, E., Höser, C., Exner, M. (2009) Mikrobielle Fließgewässerbelastungen durch abwassertechnische Anlagen und diffuse Einträge. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Deutschland.
- Koch, R. (2001) Bemessen von Druck- und Kanalrohren aus PE-HD, in Hrsg.: Gondro, C. (2001) „Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung“, Expert Verlag, 376 Seiten, ISBN:978-3-8169-1872-1.
- König, D., Wallerath M., Sorge, H.-C. (2012) Neubewertung des Alterungs- und Ausfallverhaltens von Wasserrohrleitungen, DVGW Energie Wasser-Praxis 63(10), 42-47.
- Krejci, V., Frutiger, A., Kreikenbaum S., Rossi, L. (2004) Gewässerbelastungen durch Abwasser aus Kanalisationen bei Regenwetter, Studie vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG).
- LandOÖ (2010) Gewässerschutzbericht NR. 43 – Seenaufsicht in Oberösterreich, Hrsg: Land Oberösterreich, Amt der Oö. Landesregierung, 287 Seiten.
- LandOÖ (2014) Gewässerschutzbericht NR. 46 - Seenbericht 2013, Hrsg: Land Oberösterreich, Amt der Oö. Landesregierung.
- LandOÖ (2014a) Gewässerschutzbericht NR. 46 - Seenbericht 2013 - Datenanhang zum Seenbericht 2013, Hrsg: Land Oberösterreich, Amt der Oö. Landesregierung.

- LandSbg (2015) Zustandsberichte; URL: <http://www.salzburg.gv.at>.
- Lehnberg D. (2012) Sichtprüfung mit einem U-Boot, Informationen für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, KA-Betriebs-Info 4/12
- Lydell, B. (2000) Pipe Failure Probability – The Thomas Paper Revisited, Reliability Engineering and System Safety 68, 207-217, 214 pages
- Lydell, B., Olsson, A (2008) Reliability Data for Piping Components in Nordic Nuclear Power Plants "R Book" Project Phase I, Rev. 1, SKI Report 2008:01, January, 49 pages.
- Maniak, U. (1997) Hydrologie und Wasserwirtschaft, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 651 Seiten, ISBN: 978-3-662-07830-3.
- Meijering, T., Mulder, J., Dreiling, G., Vogt, H. (2014) 100-years-service-lifetime prediction of polyolefin gravity sewer pipes, Proceedings of the 17th Plastic Pipes Conference PPXVII, September 22-24, 2014, Chicago, Illinois, USA.
- Nicholls, K.H., Dillon, P.J. (1978) An Evaluation of Phosphorus-Chlorophyll-Phytoplankton Relationships for Lakes, Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogr. 63, 141–154.
- Ochs, C.P. (2012) Multikriterielle Optimierung der Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen, Dissertation an der TU Kaiserslautern, Deutschland.
- ÖNORM B 2538 (2002) Transport-, Versorgungs- und Anschlussleitungen von Wasserversorgungsanlagen - Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 805, Austrian Standards plus GmbH, Heinestraße 38, Wien 1020.
- ÖNORM EN 805 (2000) Wasserversorgung - Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden, Austrian Standards plus GmbH, Heinestraße 38, Wien 1020.
- ÖNORM M 6231 (2001) Richtlinie für die ökologische Untersuchung und Bewertung von stehenden Gewässern, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖWAV (2007) ÖWAV-Regelblatt 38 „Überprüfung stationärer Durchflussmessenrichtungen auf Abwasserreinigungsanlagen“, Marc-Aurel-Straße 5, 1010 Wien.
- ÖWAV (2015) ÖWAV-Regelblatt 22 „Betrieb von Kanalisationsanlagen“, 2. Vollständig überarbeitete Auflage, Marc-Aurel-Straße 5, 1010 Wien.
- Päßler U. (2012) Duktile Gußrohrsysteme: Nachhaltig überlegen, Gießerei-Erfahrungsaustausch 1+2/2012.
- Røstum, J. (2000) Statistical Modelling of Pipe Failures in Water Networks, Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- Schilling, C., Zessner, M., Kovacs, A., Hochedlinger, G., Windhofer, G., Gabriel, O., Thaler, S., Parajka, J., Natho, S. (2011) Stickstoff- und Phosphorbelastungen der Fließgewässer Österreichs und Möglichkeiten zu deren Reduktion, ÖWAW 5-6, 105-116.
- Scholten, F., Wolters, M., Wenzel, M., Wüst, J., Heinemann, J., Bockenheimer, A. (2010) Integrität von PE-Gas/-Wasserleitungen der ersten Generation, DVGW Energie Wasser-Praxis 61(10), 8-11.
- Schulz, N. und Schulz, L. (1977) Die limnologische Entwicklung des Ossiacher Sees seit 1931, Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, URL: www.biologiezentrum.at.
- Schwoerbel, J., Brendelberger, H. (2013) Einführung in die Limnologie, Springer Spektrum, 10. Auflage, 386 Seiten ISBN 978-3-8274-2153-1
- Smith V.H., Shapiro, J. (1981) Chlorophyll-phosphorus relations in individual lakes. Their importance to lake restoration strategies, Environ. Sci. Technol. 15(4), 444–451.
- Snedecor, G.W. Cochran, W.G. (1989) Statistical Methods, Eighth Edition, Iowa State University Press. US NRC (1981), Fault Tree Handbook NUREG-0492, Washington.
- Sorge, H.-C. (2007) Technische Zustandsbewertung metallischer Wasserversorgungsleitungen als Beitrag zur Rehabilitationsplanung. Dissertation an der Fachhochschule Erfurt, Deutschland.
- Traer, K. (2011) Gewässerökologie, Vorlesungsunterlagen, TU-Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau.
- UBA (2010) Umweltökonomische Bewertung von Maßnahmen an kontaminierten Standorten - Altlastenmanagement 2010, REP-0159, Im Auftrag des BMLFUW, Hrsg.: Umweltbundesamt GmbH, Österreich.
- Unterdechler, I. (2014) SETEC Engineering Firmenpräsentation, Gauff Forum Wissen.

- Walker, B (2007) AWWARF Looks at PVC Pipe's Long-Term Performance, American Water Works Association Research Foundation, and Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), PVC Pipe News Summer.
- Weismann, D., Gutzeit, T. (2006): Kommunale Abwasserpumpwerke; 2. Auflage, Vulkan Verlag.
- Wenkenbach, D. (2010) Optimierung der Instandhaltungskosten von Pumpen durch den Einsatz innovativer Zustandsüberwachungssysteme; Vortrag im Rahmen der Praktikerkonferenz vom 12.04.- 14.04.2010 in Graz
- Wolfram, G., Donabaum, K. (2010) Leitfaden zur typspezifischen Bewertung gemäß WRRL - Allgemein physikalisch-chemische Parameter in Seen, Erstellt im Auftrag von BMLFUW und BAW, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- WRG 1959 (1959) Österreichisches Wasserrechtsgesetz 1959 - StF: BGBl. Nr. 215/1959.



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at

FÜR EIN LEBENSWERTES ÖSTERREICH.

UNSER ZIEL ist ein lebenswertes Österreich in einem starken Europa: mit reiner Luft, sauberem Wasser, einer vielfältigen Natur sowie sicheren, qualitativ hochwertigen und leistbaren Lebensmitteln.

Dafür schaffen wir die bestmöglichen Voraussetzungen.

WIR ARBEITEN für sichere Lebensgrundlagen, eine nachhaltige Lebensart und verlässlichen Lebensschutz.



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at