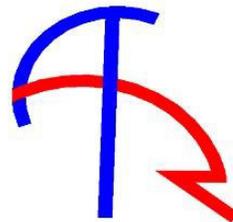
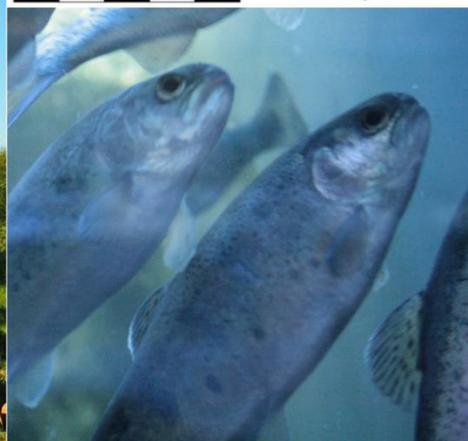




Gesellschaft
für Marine Aquakultur



Machbarkeitsstudie zur Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in Schleswig-Holstein



Wir fördern Fischerei und Aquakultur



Landesprogramm Fischerei und Aquakultur:
Gefördert durch die Europäische Union,
Europäischer Meeres- und Fischereifonds (EMFF),
den Bund und das Land Schleswig-Holstein

Impressum

Herausgeber:

Dr. Guido Austen
Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA) mbH
Hafentörn 3
25761 Büsum
www.gma-buesum.de
info@gma-buesum.de

Druck:

RD Druck & Verlagshaus
Nikolaus-Otto-Straße 12
24783 Osterrönfeld

© / Copyright: 2019 Dr. Guido Austen

Auflage:

500 Exemplare

Umschlaggestaltung / Illustration:

Gestaltung durch Dr. Stefan Meyer, KNAQ.
Erstellung einer Grundwassermessstelle am Studienstandort Büsum. © Dr. Stefan Meyer, KNAQ
Karte der Studienstandorte in SH. © GeoC GmbH
Forellenschwarm. © GMA Büsum

ISBN e-Book: 978-3-00-062310-3

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Herausgebers und der Autoren unzulässig. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

Die Erstellung der Machbarkeitsstudie und die Veröffentlichung wurden finanziert durch Mittel des Europäischen Meeres- und Fischereifonds (EMFF), des Bundes und des Landes Schleswig-Holstein.

Empfohlene Zitierweise:

Weirup, L., Dammschäuser, A., Hamer, H., Reitner, A., Meyer, S. (2019) Machbarkeitsstudie zur Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in Schleswig-Holstein. Austen, G. (Hrsg.), Büsum, Deutschland. 92 pp. ISBN: 978-3-00-062310-3. Onlinefundstelle: bit.ly/2GYC2Df

Machbarkeitsstudie zur Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in Schleswig-Holstein

Akronym: Salz-KLA

Projektbericht zur Vorlage beim Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR)

Projektlaufzeit: Mai 2017 – November 2018

Autoren:

Lina Weirup

Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA) mbH

Hafentörn 3, 25761 Büsum

Internet: www.gma-buesum.de

Tel: +49(0)4834-965399-15

E-Mail: weirup@gma-buesum.de

Dr. Anna Dammschäuser

GeoC GmbH

Chemnitzstraße 18, 24114 Kiel

Internet: www.geoc.de

Tel: +49(0)431 20 999 20

E-Mail: info@geoc.de

Hanjo Hamer

GeoC GmbH

Chemnitzstraße 18, 24114 Kiel

Internet: www.geoc.de

Tel: +49(0)431 20 999 20

E-Mail: info@geoc.de

Andreas Reitner

Ingenieurbüro Andreas Reitner

Chemnitzstraße 18, 24114 Kiel

Tel: +49(0)431/5301094

E-Mail: reitner@ki.tng.de

Dr. Stefan Meyer

Kompetenznetzwerk Aquakultur (KNAQ)

Koordinierungsstelle an der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

Grüner Kamp 15 – 17, 24768 Rendsburg

Internet: www.knaq-sh.de

Tel: +49(0)4331 9453433

E-Mail: meyer@knaq-sh.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
Anlagenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	7
Umrechnungstabellen.....	8
Salinität und Leitfähigkeit.....	8
Stickstoff- und Phosphatverbindungen.....	9
Volumenströme.....	11
Zusammenfassung.....	13
1. Projektbeschreibung.....	15
1.1 Ziel/Vorgehensweise der Studie.....	17
1.2 Über die Autoren.....	18
2. Artspezifische Produktionstechnik.....	20
2.1 Art-Technik-Kombinationen.....	20
2.1.1 Salzwasserverträglichkeit der Arten.....	21
2.1.2 Auswirkungen von Salzwasser auf die Anlagentechnik.....	23
2.2 Beschreibung der Art-Technik-Kombinationen.....	24
2.2.1 Zander / Konventionelle KLA.....	25
2.2.2 Lachs / RAS2020.....	28
2.2.3 Seriola / RAS2020.....	30
2.2.4 Forelle / dänische Model Typ 3 Anlage.....	32
2.2.5 Garnele / Konventionelle KLA.....	35
3. Standortrecherche.....	38
3.1 Vorauswahl potentieller Standorte in Schleswig-Holstein.....	38
3.2 Modellstandorte zur näheren Betrachtung.....	44
3.2.1 Standort 1, Glückstadt I (Zander).....	44
3.2.2 Standort 2, Büsum (Lachs).....	45
3.2.3 Standort 3, Friedrichskoog (Seriola).....	47
3.2.5 Standort 4, Wöhrden (Garnele).....	49
3.2.4 Standort 5, Friedrichstadt (Forelle).....	52
4. Grundwasserdargebot an den Modellstandorten.....	54

4.1 Standort 1, Glückstadt I (Zander)	54
4.2 Standort 2, Büsum (Lachs).....	54
4.3 Standort 3, Friedrichskoog (Seriola)	55
4.5 Standort 4, Wöhrden (Garnele).....	56
4.4 Standort 5, Friedrichstadt (Forelle)	56
5. Grundwassereignung.....	58
5.1 Grundwasserentnahme an den Modellstandorten.....	58
5.2 Grundwasseranalyse	58
5.3 Artspezifische Grundwassereignung	60
5.3.1 Mineralisierung.....	60
5.3.2 Haptionen / Makroelemente.....	61
5.3.3 Spuren- / Mikroelemente / Metalle	65
5.3.3.1 Eisen.....	66
5.3.3.2 Mangan.....	66
5.3.3.3 Zink	67
5.3.3.4 Aluminium	67
5.3.4 Stickstoffverbindungen.....	68
5.3.5 Schadstoffe	69
Zusammenfassung artspezifische Grundwassereignung.....	69
6. Wasseraufbereitung	71
6.1 Wasserbedarf	71
6.2 Infrastruktur Wassergewinnung.....	71
6.2.1 Anforderungen an die Grundwasseraufbereitung	71
6.2.2 Enteisenung und Entmanganung in konventionellen Aufbereitungsanlagen	71
6.2.3 Entfernung von Aluminium aus dem Rohwasser	73
6.2.4 In-Situ-Enteisenung, -Entmanganung.....	73
6.2.5 Entfernung von Ammonium aus dem Rohwasser	73
7. Abwasser	75
7.1 Zusammensetzungen Reinigungs- und Spülprozesswässer	76
7.2 Genehmigungsrechtliche Anforderungen	77
7.2.1 Anzuwendende Rechtsvorschriften zur Einleitung / Abwasserbehandlung	77
7.2.2 Erfordernisse für das Einleiten von Abwasser/gereinigtem Abwasser	77
7.3 Standortsspezifische Entsorgungsoptionen.....	79
7.3.1 Standort 1, Glückstadt (Zander)	79

7.3.2 Standort 2, Büsum (Lachs).....	79
7.3.3 Standort 3, Friedrichskoog (Seriola).....	79
7.3.5 Standort 4, Wöhrden (Garnele).....	79
7.3.4 Standort 5, Friedrichstadt (Forelle).....	80
8. Kosten für Infrastrukturen zur Grundwassergewinnung/-Aufbereitung und Abwassereinleitung ...	81
9. Alternative Wasserversorgung an den Standorten.....	83
9.1 Standort 1, Glückstadt (Zander) – Trinkwasser aus dem Leitungsnetz.....	83
9.2 Standort 2, Büsum (Lachs) - Nordseewasser.....	83
9.3 Standort 3, Friedrichskoog (Seriola) – Trinkwasser aus dem Leitungsnetz in KLA mit geringem Wasseraustausch.....	83
9.5 Standort 4, Wöhrden (Garnele) – Trinkwasser aus dem Leitungsnetz	84
9.4 Standort 5, Friedrichstadt (Forelle) - Frischwasserreduktion durch Pflanzenkläranlage.....	84
10. Fazit.....	85
11. Literaturverzeichnis	86

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Geogene Grundwasserversalzung in Schleswig-Holstein (verändert aus Grube et al., 2000).	17
Abbildung 2. A: Schematische Darstellung der Beckenanordnung der Zander-KLA, B-D: Photographien aus der Pilotanlage der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Hohen Wangelin, Mecklenburg-Vorpommern: B: Beckenanordnung, C: Trommelsieb, D: Abflussrinnen; aus Meyer et al. (2016).....	27
Abbildung 3. RAS2020 ©Krüger/Veolia, 1: Spülbehälter, 2. Trommelfilter, 3. UV Filter, 4. Bewegbettbiofilter und Fischpumpe/-waage, 5. Propellerpumpen, 6. CO ₂ Entgaser, 7. Medium Head Oxidations Einheiten, 8. Auslass Wasseraufbereitung zum Fischtank, 9. Einlass vom Fischtank zum RAS und Anströmer, 10. Fütterungssystem, 11. Kontrollraum, 12. Verarbeitung.	30
Abbildung 4. Dänische Teil-KLA ©Nielsen „NC Consulting ApS“, A: Ansicht vom Südende des Gebäudes mit Biofiltern im Vordergrund, B: Trommelfilter, C: Capsel und Ventur Blower zu Belüftung und Entgasung, D: Entgasung mit Ventur Blower und Rohrsystem.	35
Abbildung 5. A: Schematische Darstellung der Garnelen-KLA. Photographien von GAF Bestandsanlagen, B: Wasseraufbereitungstechnik, C: Becken, D: Biofilter, E: Bodenplatte in der Bauphase, F: Stahlträgerkonstruktion zu Aufnahme der Becken in der Bauphase; aus Meyer et al. (2016).....	37
Abbildung 6. Vorauswahl der potentiellen Standorte in Schleswig-Holstein (siehe Tabelle 7). Die im Rahmen der Modellstudie näher betrachteten Standorte sind in rot dargestellt.	39
Abbildung 7. Übersicht des Standorts Glückstadt. Braune Dreiecke kennzeichnen Aufschlussbohrungen, die Kreissymbole Brunnen (in hellblau Brunnen ohne bekannte Filterstellung, in dunkelblau Brunnen mit bekannter Filterstellung). Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.1). Aus Br.1, Steinbeis Papier GmbH, wurde eine Wasserprobe entnommen und analysiert.	44
Abbildung 8. Übersicht des Standorts Büsum. Braune Dreiecke kennzeichnen Aufschlussbohrungen, graue Dreiecke Geothermie-Bohrungen, die Kreissymbole Brunnen (in hellblau Brunnen ohne bekannte Filterstellung, in dunkelblau Brunnen mit bekannter Filterstellung). Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.2). Aus der Grundwassermessstelle Büsum (blauer Stern) wurde eine Wasserprobe entnommen.	46
Abbildung 9. Übersicht des Standorts Friedrichskoog. Die blauen Kreissymbole markieren Feuerlösch- und Kühlwasserbrunnen. Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.3). Aus Br. 2, DEA Deutsche Erdoel AG, wurde eine Wasserprobe entnommen und analysiert.....	48
Abbildung 10. Übersicht des Standorts Friedrichstadt. Braune Dreiecke kennzeichnen Aufschlussbohrungen, graue Dreiecke Geothermie-Bohrungen, die Kreissymbole Brunnen (in hellblau Brunnen ohne bekannte Filterstellung, in dunkelblau Brunnen mit bekannter Filterstellung). Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.4). Aus der Grundwassermessstelle Friedrichstadt (blauer Stern) wurde eine Grundwasserprobe entnommen.....	52
Abbildung 11. Übersicht des Standorts Wöhrden. Braune Dreiecke kennzeichnen Aufschlussbohrungen, graue Dreiecke Geothermie-Bohrungen, die Kreissymbole Brunnen (in hellblau Brunnen ohne bekannte Filterstellung, in dunkelblau Brunnen mit bekannter Filterstellung). Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.5). Die Grundwasserprobe wurde aus dem Feuerlöschbrunnen 1820/06/0002/W entnommen.	50

Abbildung 12. Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit an den untersuchten Standorten im Schoeller-Diagramm. Zum Vergleich ist auch die mittlere Beschaffenheit von Nordseewasser dargestellt (gestrichelte blaue Linie).....	61
Abbildung 13. Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit an den untersuchten Standorten im Piper-Diagramm. Zum Vergleich ist auch die mittlere Beschaffenheit von Nordseewasser dargestellt (blauer Stern).	62
Abbildung 14. Geschlossener Schnellfilter (Druckfilter); aus Mutschmann & Stimmelmayer (2014).	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Übersicht der fünf Art-Technik-Kombinationen.	24
Tabelle 2. Wasserqualitätsansprüche des Zanders nach unterschiedlichen Autoren.....	26
Tabelle 3. Wasserqualitätsansprüche des Atlantischen Lachses.	28
Tabelle 4. Wasserqualitätsansprüche der Gelbschwanzmakrele nach unterschiedlichen Autoren.	31
Tabelle 5. Wasserqualitätsansprüche der Forelle nach unterschiedlichen Autoren.	33
Tabelle 6. Wasserqualitätsansprüche der Garnele nach unterschiedlichen Autoren.....	36
Tabelle 7. Übersicht aller in der Vorauswahl betrachteten Standorte.	40
Tabelle 8. Standortsteckbrief Glückstadt.	45
Tabelle 9. Standortsteckbrief Büsum.	47
Tabelle 10. Standortsteckbrief Friedrichskoog.....	49
Tabelle 11. Standortsteckbrief Friedrichstadt.	53
Tabelle 12. Standortsteckbrief Wöhrden.	51
Tabelle 13. Ausgewählte Ergebnisse der Grundwasseranalysen. Die vollständigen Analysenberichte und Probenahmeprotokolle finden sich in Anlage 3.....	58
Tabelle 14. Empfohlene Ionenkonzentrationen für Süßwasserfische, sowie die gemittelte Zusammensetzung von Flusswasser.	63
Tabelle 15. Verhältnisse wichtiger Ionen im salzhaltigen Grundwasser an den einzelnen Standorten, im Vergleich zu Meerwasser (35 PSU).	64
Tabelle 16. Richtwerte für Metalle verschiedener Autoren für Fische und Garnelen.	65
Tabelle 17. Auswirkung der Grundwasser Ammonium-N Auflast im Zulauf, auf das durch Futter und Fische belastete Haltungs- und Abwasser (basierend auf artspezifischem Futtermittel N-Eintrag und ungefähigem Wasservolumen der Anlagen).	68
Tabelle 18. Zusammenfassende Darstellung der auffälligen Inhaltsstoffe, die eine Aufbereitung erforderlich machen.....	70
Tabelle 19. Wasserbedarfzahlen für die Fischproduktion.	71
Tabelle 20. Wasserverbrauch und Abwasserzusammensetzung der einzelnen Anlagentypen mit und ohne Ammonium-N Auflast aus dem Grundwasser.	76
Tabelle 21. Geschätzter Kostenrahmen für den Bau von Brunnen und Messstellen, der Wasserwerks- und Aufbereitungstechnik, dem Trassenbau zu Vorflut/Klärwerk, sowie für Abwasserabgabe, Beitrag Sielverband und möglicher Klärtechnik. Zur Herleitung der Kosten siehe Anlage 6....	82

Anlagenverzeichnis

- 1.1-1.5: Profilschnitte der Standorte
nur online verfügbar unter: bit.ly/2GYC2Df
- 2.1-2.1: Informationen Messstellen
nur online verfügbar unter: bit.ly/2GYC2Df
- 3: Analysenberichte der Standorte
nur online verfügbar unter: bit.ly/2GYC2Df
- 4: Standort Adressen Ansiedlung Aquakultur
siehe Anhang
- 5: Wasseranalyse Büsum-Nordsee
nur online verfügbar unter: bit.ly/2GYC2Df
- 6: Kostenrahmen - Ergänzung zu Kapitel 8
siehe Anhang

Abkürzungsverzeichnis

AbwAG	Abwasserabgabegesetz
AbwV	Abwasserverordnung
Al	Aluminium
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
Br	Brunnen
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
Ca	Calcium
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DAFA	Deutsche Agrarforschungsallianz
Fe	Eisen
Ges. N	Gesamt Stickstoff
Ges. P	Gesamt Phosphat
K	Kalium
KLA	Kreislaufanlage. Technische Form der Aquakultur mit geringer Wasseraustauschrate.
LCKW	Leichtflüchtige Chlorierte Kohlenwasserstoffe
LWG	Landeswassergesetz
Mg	Magnesium
m NHN	m über Normalhöhennull (früher m NN)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PSU	Practical Salinity Unit. Dimensionslose Angabe des Salzgehaltes. Entspricht in etwa der gravimetrischen Angabe (g/kg bzw. ppt).
SG	Salzhaltiges Grundwasser
SüVO	Selbstüberwachungsverordnung
SV	Sielverband
TAN	Total Ammonia Nitrogen
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
uG	unter Gelände
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WV	Wasserverband
WW	Wasserwerk
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Umrechnungstabellen

Salinität und Leitfähigkeit

Alle Umrechnungen frei nach TEOS-10, http://www.teos-10.org/pubs/TEOS-10_Manual.pdf und weiteren Quellen, unter vereinfachter Annahme von Temperatur und Ionenverhältnissen.

Umrechnung 1 Umrechnungen zwischen verschiedenen (gleichwertigen) Salinitäts-Einheiten.

Gegeben	Gesucht	Faktor
PSU	Promille (‰)	1
Promille (‰)	PSU	1
PSU	ppt (g/l)	1
ppt (g/l)	PSU	1
Promille (‰)	ppt (g/l)	1
ppt (g/l)	Promille (‰)	1
Prozent (%)	PSU	10
PSU	%	0,1
Prozent (%)	ppt (g/l)	10
ppt (g/l)	Prozent (%)	0,1
Prozent (%)	Promille (‰)	10
Promille (‰)	Prozent (%)	0,1

Umrechnung 2 Formeln zur Umrechnung zwischen einschlägigen Größen der Salinität und Leitfähigkeit, unter vereinfachten Annahmen.

Gegeben	Gesucht	Umrechnungsformel
Leitfähigkeit $L_{20^{\circ}\text{C}}$ ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Salinität PSU (n.a.)	$\text{PSU} = ((L_{20^{\circ}\text{C}}/1000)/1,44) - 0,7/1,44$
Salinität PSU (n.a.)	Leitfähigkeit $L_{20^{\circ}\text{C}}$ ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	$L_{20^{\circ}\text{C}} = (\text{PSU} + (0,7/1,44)) * 1,44 * 1000$
Chlorinität C (‰)	Salinität S (‰)	$S = C * 1,80655$
Salinität S (‰)	Chlorinität C (‰)	$C = S * 0,55354128$
z.B. Salzwasser 35 ‰ = Chlorid 19,37 ‰ * 1000 = 19370 Cl^- (mg/l)		

Umrechnung 3 Salzgehalt von natürlichem Süßwasser, überwiegend Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-

PSU	Salzgehalt (ppm = mg/l)	Leitfähigkeit ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Grad deutscher Härte ($^{\circ}\text{dH}$)	Härtebereich
0-0,07	0-70	0-140	0-4	sehr weich
0,07-0,15	70-150	140-300	4-9	weich
0,15-0,25	150-250	300-500	9-15	leicht hart
0,25-0,32	250-320	500-640	15-19	mäßig hart
0,32-0,42	320-420	640-840	19-25	hart
>0,42	>420	>840	>25	sehr hart

Umrechnung 4 Salinität (PSU) zu Leitfähigkeit und (vereinfacht) angenommener Chlorid-Gehalt. Leitfähigkeit und Chlorid-Gehalt sind wichtige Kenngrößen zur Bestimmung der Abwasser-Zusammensetzung.

PSU	Leitfähigkeit (µs/cm)	Cl ⁻ (mg/l)
0,21	1.000	115
0,42	1.305	232
1	2.140	554
1,25	2.500	692
2,5	4.300	1.384
2,99	5.000	1.653
4,72	7.500	2.614
5	7.900	2.768
6,46	10.000	3.575
7,5	11.500	4.152
10	15.100	5.535
15	22.300	8.303
20	29.500	11.071
25	36.700	13.839
30	43.900	16.606
35	51.100	19.374

Stickstoff- und Phosphatverbindungen

Es gibt zwei verschiedenen geläufige Ausdrucksweisen für die Angabe der Konzentration von gelösten Stickstoff (N)- bzw. Phosphor (P)-Verbindungen. Die Ausdrucksweise als Gesamt-Verbindung (z.B. Gesamt-Nitrat) berücksichtigt das Gewicht des gesamten Moleküls, d.h. N bzw. P plus O (Sauerstoff). Die Ausdrucksweise als Element-Gewicht (z.B. Nitrat-Stickstoff) berücksichtigt nur den Gewichtsanteil der auf das genannte Element (N oder P) entfällt. Letztere Ausdrucksweise erübrigt die Umrechnung der Element-Bilanzen bei verschiedenen Oxidations- bzw. Reduktionsprozessen. Die erstere Schreibweise wird häufiger in einschlägigen Regelwerken (z.B. Abwasserverordnung) verwendet.

Umrechnung 5 Umrechnungen zwischen Stickstoffgehalten/-verbindungen, sowie Phosphorgehalten/-verbindungen. Die Formel lautet stets: $\text{Gesucht} = \text{Gegeben} * \text{Faktor}$.

Gegeben (mg/l)	Gesucht (mg/l)	Faktor
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	Nitrat (NO ₃)	4,427
Nitrat (NO ₃)	Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	0,2259
Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N)	Nitrit (NO ₂)	3,285
Nitrit (NO ₂)	Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N)	0,3045
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	Ammonium (NH ₄)	1,288
Ammonium (NH ₄)	Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	0,7765
Phosphat-Phosphor (PO ₄ -P)	Phosphat (PO ₄)	3,066
Phosphat (PO ₄)	Phosphat-Phosphor (PO ₄ -P)	0,3261

Umrechnung 6 Umrechnungstabelle zwischen Stickstoffgehalten/-verbindungen, sowie Phosphorgehalten/-verbindungen.

x-N (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)
0,030	0,135	0,100	0,039
0,023	0,100	0,074	0,029
0,039	0,172	0,128	0,050
0,050	0,221	0,164	0,064
0,078	0,344	0,255	0,100
0,100	0,443	0,329	0,129
0,113	0,500	0,371	0,145
0,152	0,674	0,500	0,196
0,226	1,00	0,742	0,291
0,250	1,11	0,821	0,322
0,305	1,35	1,00	0,392
0,388	1,72	1,28	0,500
0,500	2,21	1,64	0,644
0,777	3,44	2,55	1,00
1,00	4,43	3,29	1,29
1,13	5,00	3,71	1,45
1,52	6,74	5,00	1,96
2,26	10	7,42	2,91
2,50	11	8,21	3,22
3,00	13	10	3,86
3,88	17	13	5,00
5,00	22	16	6,44
7,77	34	26	10
10	44	33	13
11	50	37	15
15	67	50	20
20	89	66	26
23	100	74	29
30	135	100	39
39	172	128	50
50	221	164	64
78	344	255	100
100	443	329	129
113	500	371	145
152	674	500	196
226	1.000	742	291
300	1.328	986	386
305	1.348	1.000	392
388	1.275	1.275	500
500	2.214	1.643	644
750	3.320	2.464	966
777	3.438	2.551	1.000
1.000	4.427	3.285	1.288

x-P (mg/l)	PO ₄ ²⁻ (mg/l)
0,030	0,092
0,033	0,100
0,040	0,123
0,050	0,153
0,070	0,215
0,080	0,245
0,090	0,276
0,100	0,307
0,150	0,460
0,163	0,500
0,200	0,613
0,300	0,920
0,326	1,00
0,500	1,53
0,600	1,84
0,700	2,15
0,800	2,45
1,00	3,07
1,50	4,60
1,63	5,00
3,00	9,20
3,26	10
5,00	15
7,50	23
10	31
15	46
16	50
20	61
25	77
30	92
50	153
70	215
80	245
100	307
163	500
300	920
326	1.000
400	1.226
500	1.533
700	2.146
800	2.453
900	2.759
1.000	3.066

Volumenströme

Umrechnungen zwischen verschiedenen Angaben zu Fördervolumen in Litern und Kubikmetern, über Sekunden/ Stunden/ Tage/ Jahre, z.B. zur Angabe der Schüttung eines Brunnens oder der anfallenden Abwassermenge aus einer KLA.

Umrechnung 7 Umrechnungsfaktoren für verschiedene Einheiten zur Angabe von Volumenströmen. l = Liter, m³ = Kubikmeter, s = Sekunde, min = Minute, h = Stunde, d = Tag, a = Jahr. Die Formel lautet stets: Gesucht = Gegeben * Faktor.

Gegeben	Gesucht	Faktor
l/s; (l/min; l/h; l/d; l/a)	m ³ /s; (m ³ /min; m ³ /h; m ³ /d; m ³ /a)	0,001
m ³ /s; (m ³ /h; m ³ /d; m ³ /a)	l/s (l/h; l/Tag; l/Jahr)	1000
l/s; (m ³ /s)	l/min; (m ³ /min)	60
	l/h; (m ³ /h)	3600
	l/Tag; (m ³ /Tag)	86400
	l/Jahr; (m ³ /Jahr)	31536000
l/min; (m ³ /min)	l/s; (m ³ /s)	0,0166667
	l/h; (m ³ /h)	60
	l/Tag; (m ³ /Tag)	1440
	l/Jahr; (m ³ /Jahr)	525600
l/h; (m ³ /h)	l/s; (m ³ /s)	0,000277778
	l/min; (m ³ /min)	0,016666667
	l/Tag; (m ³ /Tag)	24
	l/Jahr; (m ³ /Jahr)	8760
l/Tag; (m ³ /Tag)	l/s; (m ³ /s)	1,15741E-05
	l/min; (m ³ /min)	0,000694444
	l/h; (m ³ /h)	0,041666667
	l/Jahr; (m ³ /Jahr)	365
l/Jahr; (m ³ /Jahr)	l/s; (m ³ /s)	3,17098*10 ⁻⁰⁸
	l/min; (m ³ /min)	1,90259*10 ⁻⁰⁶
	l/h; (m ³ /h)	0,000114155
	l/Tag; (m ³ /Tag)	0,00273973

Umrechnung 8 Umrechnungstabelle für verschiedene Einheiten zur Angabe von Volumenströmen, d.h. Volumina pro Zeiteinheit. Hinweis: Für die Umrechnung von „Liter/x“ zu „m³/x“ wird der gesuchte Wert in „Liter/x“ mit 1000 multipliziert. l = Liter, m³ = Kubikmeter, s = Sekunde, min = Minute, h = Stunde, d = Tag, a = Jahr.

l/s (m ³ /s)	l/min (m ³ /min)	l/h (m ³ /h)	l/d (m ³ /d)	l/a (m ³ /a)
0,012	0,7	42	1.000	365.000
0,017	1,0	60	1.440	525.600
0,028	1,7	100	2.400	876.000
0,032	1,9	114	2.740	1.000.000
0,058	3,5	208	5.000	1.825.000
0,083	5,0	300	7.200	2.628.000
0,10	6,0	360	8.640	3.153.600
0,12	6,9	417	10.000	3.650.000
0,14	8,3	500	12.000	182.500
0,16	9,5	571	13.699	5.000.000
0,17	10	600	14.400	5.256.000
0,28	17	1.000	24.000	365.000
0,32	19	1.142	27.397	10.000.000
0,50	30	1.800	43.200	15.768.000
0,58	35	2.083	50.000	18.250.000
0,56	33	2.000	48.000	17.520.000
0,83	50	3.000	72.000	26.280.000
1,0	60	3.600	86.400	31.536.000
1,2	69	4.167	100.000	36.500.000
1,6	95	5.708	136.987	50.000.000
1,7	100	6.000	144.000	52.560.000
2,0	120	7.200	172.800	63.072.000
2,8	167	10.000	240.000	94.608.000
3,2	190	11.416	273.973	100.000.000
5,0	300	18.000	432.000	157.680.000
5,8	347	20.833	500.000	182.500.000
8,3	500	30.000	720.000	262.800.000
10	600	36.000	864.000	315.360.000
12	694	41.667	1.000.000	365.000.000
16	951	57.078	1.369.865	500.000.000
17	1.000	60.000	1.440.000	525.600.000
28	1.667	100.000	2.400.000	876.000.000
32	1.903	114.155	2.739.730	1.000.000.000
100	6.000	360.000	8.640.000	3.153.600.000
116	6.944	416.667	10.000.000	3.650.000.000
167	10.000	600.000	14.400.000	5.256.000.000
278	16.667	1.000.000	24.000.000	8.760.000.000
317	19.026	1.141.550	27.397.300	10.000.000.000
1.000	60.000	3.600.000	86.400.000	31.536.000.000

Zusammenfassung

Die „**Landesstrategie zur Entwicklung einer nachhaltigen Aquakultur in Schleswig-Holstein**“ (MELUR, 2014) beinhaltet eine signifikante Steigerung der Produktion von Fisch und anderen aquatischen Organismen in (teil-)geschlossenen Kreislaufanlagen. Hierfür bedarf es vor allem solcher geeigneter Standorte, die Vorteile in Bezug auf eine nachhaltige Produktion bieten. Neben der Nutzung von erneuerbaren Energien oder bspw. industrieller Abwärme kann auch die Art des Nutzungswassers zur Nachhaltigkeit beitragen. Da viele Fischarten in Brackwasser gezüchtet werden können, kommt statt Trinkwasser aus dem Leitungsnetz oder konventionellem Brunnenwasser auch salzhaltiges Grundwasser für Kreislaufanlagen in Frage. Salzhaltiges Grundwasser ist eine Naturressource, die sonst keiner menschlichen Verwendung zugeführt wird. Durch die Verwendung von salzhaltigem Grundwasser in KLA ließe sich in erheblichem Umfang ein Beitrag zum Schutz der heimischen Grundwässer zur Trinkwassergewinnung leisten.

Ziel dieser Studie war es für **fünf verschiedene Art-Technik-Kombinationen** (Zander, Lachs, Gelbschwanzmakrele, Garnele und Forelle in unterschiedlichen Kreislaufanlagentypen) Standorte mit ausreichend salzhaltiger Grundwasser-Verfügbarkeit in Schleswig-Holstein zu identifizieren. Bei der Standortsuche wurde ein passender Salzgehalt für die jeweilige Art, ein der Produktionsanlage entsprechender Flächenbedarf und die Verfügbarkeit von Vorflutern zur Abwassereinleitung berücksichtigt. Die Standorte sollten zudem über günstige infrastrukturelle Faktoren (Logistik, Planungs- und Erschließungsstand) verfügen und weitere Synergien mit anderen Gewerben bieten.

Die folgenden Standorte wurden aus einer Vorauswahl von 29 potentiell in Frage kommenden Städten/Gemeinden in Schleswig-Holstein ausgewählt und im Detail untersucht. Die **Stadt Glückstadt** im Landkreis Steinburg, die **Gemeinden Büsum, Friedrichskoog und Wöhrden** im Landkreis Dithmarschen, sowie die **Gemeinde Friedrichstadt** im Landkries Nordfriesland. An allen fünf Standorten wurden Grundwasserproben entnommen und auf ihre qualitative und quantitative Eignung für die Produktion einer der fünf Art-Technik-Kombinationen hin untersucht.

Im salzhaltigen Grundwasser wurden an allen Standorten erhöhte Eisen- und Mangan-Gehalte festgestellt. Maximale Gehalte lagen dabei in Glückstadt (32,2 mg/l Eisen; 2,27 mg/l Mangan) vor. In Friedrichskoog und Wöhrden wurden Eisen-Gehalte von 6,1 bis 7,1 mg/l und Mangan-Gehalte von 0,56 bis 1,9 mg/l gemessen. Vergleichsweise geringe Eisen-Gehalte von 0,9 mg/l lagen im Grundwasser am Standort Büsum vor. Der Standort Friedrichstadt zeigte neben relativ geringen Eisen- und Mangan-Konzentrationen (1,75 bzw. 0,26 mg/l) vor allem einen erhöhten Aluminium Gehalt von 1,44 mg/l. Am Standort Glückstadt war der Aluminium Gehalt mit 0,048 mg/l leicht erhöht. An den Standorten Glückstadt, Büsum, Friedrichskoog und Wöhrden wurden außerdem vergleichsweise hohe Gehalte an Ammonium mit 12,6 mg/l (Wöhrden) bis 32,6 mg/l (Glückstadt) beobachtet. Diese erhöhten Ammonium-Gehalte sind geogen bedingt und lassen sich auf die Zersetzung von organischem Material aus den an allen Standorten vorhandenen oberflächennahen marinen holozänen Ablagerungen (Klei) zurückführen.

Die Ergebnisse der Analysen des salzhaltigen Grundwassers ergaben, dass das Ionenverhältnis an den Standorten für die Arten Lachs (Büsum), Seriola (Friedrichskoog) und Garnele (Wöhrden) dem Ionenverhältnis im Meerwasser stark ähnelt. Verschiebungen liegen vor allem beim Sulfat und Hydrogenkarbonat vor. Für die nahezu in Süßwasser produzierten Arten Zander (Glückstadt) und Forelle (Friedrichstadt) zeigt das salzhaltige Grundwasser in Bezug auf das Ionenverhältnis Süßwasser-ähnliche Tendenzen. Das Risiko einer schlechten Verträglichkeit des salzhaltigen Grundwassers durch die Arten

wird daher als gering eingeschätzt. Sollte sich dennoch aufgrund der Abweichungen einiger Ionen ein Wachstumsdefizit während der Produktion zeigen, könnte dies durch entsprechende Ionenzugabe reguliert werden. Eine Hälterungsstudie der Arten im entsprechenden salzhaltigen Grundwasser kann über mögliche Unverträglichkeiten Aufschluss bieten und wird bei einem Planungsvorhaben vorab empfohlen.

Die Ansprüche der Arten setzen eine Eisen- und Mangan-Fällung, sowie eine Aluminium-Entfernung vor Eintritt des salzhaltigen Grundwassers in die Fischzuchtanlage voraus, wobei auch ein Teil des Ammoniums zu Nitrat oxidiert wird. Das weitere Ammonium lässt sich unseren Kalkulationen nach in Kreislaufanlagen mit geringem Frischwasserbedarf durch bestehende Biofilter und Denitrifikationseinheiten entfernen. Andernfalls setzt der zusätzliche Ammonium-Gehalt im salzhaltigen Grundwasser ggf. größer dimensionierte Biofilter und eine intensivere Denitrifikation der Anlagen- oder Abwasseraufbereitung voraus.

Anforderungen und Möglichkeiten der Abwasserentsorgung der Kreislaufanlagen in Vorflut/Kläranlage sind für die Standorte im Einzelnen aufgeführt. Findet im Kreislaufanlagen-Wasser keine Denitrifikation (Prinzip der Teil-Kreislaufanlage) statt, erhöhen sich durch den zusätzlichen Ammonium-Gehalt des salzhaltigen Grundwassers und dessen Umwandlung in Nitrat die Aufbereitungsanforderungen des Abwassers. Die technische Umsetzbarkeit und der finanzielle Aufwand muss von Anlagenplanern überprüft werden, um zu entscheiden ob die Nutzung von salzhaltigem Grundwasser an den Standorten zweckmäßig ist. Der Kostenrahmen für Grundwasserförderung/-aufbereitung und Abwassereinleitung wurde im Rahmen eigener Berechnungen dargestellt.

1. Projektbeschreibung

Die „**Landesstrategie zur Entwicklung einer nachhaltigen Aquakultur in Schleswig-Holstein**“ (MELUR, 2014) beinhaltet eine signifikante Steigerung der Produktion von Fisch und anderen aquatischen Organismen in (teil-)geschlossenen Kreislaufanlagen (KLA). Der „**Nationale Strategieplan Aquakultur**“ (NASTAQ, 2014) erwartet eine bundesweite Produktionssteigerung in KLA auf 20.000 Tonnen pro Jahr bis zum Jahr 2020, was eine Verzehnfachung der Produktion des Jahres 2012 darstellen würde. Um diese Ziele erreichen zu können, müssen geeignete Produktionsstandorte für KLA identifiziert und entwickelt werden. Die hier vorgelegte Studie berücksichtigt dies ebenso, wie auch die zusammengefassten Belange des **Fachforum Aquakultur der Deutschen Agrarforschungsallianz** (DAFA, 2014) hinsichtlich standortgerechter Expansion. Dieser Studie versteht sich somit als ein Beitrag zur Unterstützung der Entwicklung des deutschen Aquakultursektor.

Oberflächenwassernutzung bietet in Deutschland wenig Perspektive für die Ansiedlung neuer Aquakulturanlagen, da für die Entnahme notwendige wasserrechtliche Genehmigungen kaum zu erlangen sind. Selbst bei bestehenden Anlagen wird der hohe spezifische Frischwassereinsatz perspektivisch eine Verringerung erfahren (Rümmler, 2015a). Die Durchgängigkeit von Fließgewässern nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie kann bezüglich einer Wasserentnahme zu Konflikten führen (Rümmler, 2011). Durch die Entwicklung der wasserrechtlichen Erlaubnisse, aber auch durch klimatische Veränderungen, verstärkt sich eine Nutzungskonkurrenz um das Wasser (Rümmler, 2015a). Eine Verknappung der Wassermenge würde bestehende Durchflussbetriebe zu einem Umbau in Richtung teilgeschlossener Anlagen veranlassen, so wie es in Dänemark bereits der Fall ist. Eine derartige Strategie wird von Rümmler (2015a) beschrieben. Hierbei kommt auch die Option der Grundwasserspeisung in Betracht.

Grundwasser bietet gegenüber Oberflächenwasser diverse Vorteile. Insbesondere in Durchflusssystemen und Teil-KLA kann in warmen Sommermonaten ohne Niederschlag eine geringe Wasserführung und hohe Temperatur der Flüsse zu einer Verringerung der Wasserqualität führen, die eine Reduzierung des Futtereintrages erfordert. In extremen Sommermonaten kann die Verringerung der Wassermenge/ Verschlechterung der Wasserqualität sogar erhebliche Verluste in den Anlagen nach sich ziehen. Hinzu kommt bei Oberflächenwasser die Gefahr der Seuchenübertragung. Die Einschleppung von Erregern in die Fischzuchtanlagen lässt sich ohne geeignete Maßnahmen zur Hygienisierung des Zulaufwassers kaum vermeiden. Einleitungen von industriellen oder kommunalen Abwässern, sowie landwirtschaftliche Aktivitäten können ebenfalls Einfluss auf die Wasserqualität eines für Fischzucht verwendeten Oberflächengewässers nehmen. Ein weiterer Vorteil von Grundwasser ist, dass es durch das gute Rückhaltevermögen des Bodens (z.B. durch Tonschichten im neutralen pH-Bereich) i.d.R. weniger Schwermetalle als das Oberflächenwasser führt. Gerade zur kühleren Jahreszeit, bei verringerter Fließgeschwindigkeit oder in Stillwasserzonen setzt sich in offenen Gewässern organisches Material am Boden ab. Metalle können sich ebenfalls am Boden absetzen und/oder an organischem Material binden. Durch starke Regenfälle bzw. Turbulenzen können die Sedimente aufgewirbelt werden, so dass es im Wasser zu einer Erhöhung von Schadstoffen, Metallen und organischem Material kommt. Der Anteil vorliegender organischer Substanz beeinflusst also die Bindung, aber auch die biologische Verfügbarkeit von Umweltchemikalien (Köhn, ohne Datum).

Die Nutzung von Grundwasser anstelle von Oberflächenwasser stellt somit für die Aquakultur prinzipiell eine gute Alternative dar (abhängig vom Förderungs- und Aufbereitungsaufwand). Eine besonders nachhaltige Form der Grundwassernutzung könnte die Verwendung von salzhaltigem Grundwasser (SG)

gegenüber Trinkwasser aus dem Leitungsnetz oder Grundwasser in Trinkwasserqualität darstellen. Trinkwasser ist eine wertvolle Ressource und sollte in erster Linie der menschlichen Ernährung und Nutzung, bspw. der Landwirtschaft zugeführt werden. Die Produktion vieler Fisch- und Krustentierarten in Aquakultur ist nicht auf die Verwendung von Wasser in Trinkwasserqualität angewiesen. Welches Wasser für die Fischproduktion geeignet ist, hängt in erster Linie von der produzierten (Fisch-) Art und der Produktionstechnik ab. Während die Aquakultur von „echten“ marinen Arten Salzwasser mit Salzgehalten zwischen 15 und 30 PSU (practical salinity unit) erfordert, können Wanderfischarten und andere euryhaline, d.h. salztolerante Arten, auch bei geringeren Salzgehalten, in Abhängigkeit von Alter, Temperatur und weiteren Art- und Technik-spezifischen Parametern, aufgezogen werden. Es zeigte sich, dass einige Arten unter Brackwasserbedingungen nahe des physiologischen Salzgehaltes eine gesteigerte Leistungsfähigkeit aufgrund der geringeren Energieaufwendungen für osmoregulatorische Prozesse aufweisen können.

In vielen Ländern wird einströmendes salzhaltiges Küsten- oder Estuar- Wasser für die Aquakultur genutzt. Aber auch die Nutzung von salzhaltigem Grundwasser im Binnenland wird in Ländern wie Australien, Iran, Ägypten oder Israel betrieben (Van der Heijden et al., 2014; Kolkovski, 2011; Partridge et al., 2008; Alizadeh & Dadgar, 2016; Sadek, 2011; Pruginin et al., 1988; Smith & Barlow, 1999). All diesen Ländern ist gemein, dass Grundwasserversalzung und Wasserknappheit dort bereits vorherrschende Problematiken darstellen. Ob auch Deutschland und insbesondere Schleswig-Holstein in Zukunft von einer ähnlichen Verschärfung der Trinkwasserverfügbarkeit betroffen sein wird, soll an anderer Stelle diskutiert werden. Es drängt sich jedoch die Schlussfolgerung auf, dass im Sinne einer sparsamen und konfliktfreien Ressourcennutzung, die Verwendung alternativer Grundwässer für KLA bei zukünftigen Planungen zur Ansiedlung von Aquakulturen in Schleswig-Holstein in Betracht gezogen werden muss.

Schleswig-Holstein erscheint hierfür als Bundesland zwischen Nord- und Ostsee besonders geeignet. In den Küstenbereichen ist salzhaltiges Grundwasser aufgrund von Meerwasserintrusion flächenhaft verbreitet (Abbildung 1) Je nach Entfernung von der Küste findet sich hier Grundwasser mit geringen (bis zu 3 PSU), mittleren (bis zu 15 PSU) und hohen (bis zu 30 PSU) Salzgehalten. Zusätzlich erfolgt auch im Binnenland Schleswig-Holsteins eine Versalzung des Grundwassers durch den Aufstieg von Solen aus Salzstöcken (Abbildung 1). Bezogen auf den Lockergesteinsbereich Schleswig-Holsteins von 15.720 km² sind 6.666 km² von geogener Grundwasserversalzung betroffenen (Küstenversalzung 1.928 km², Binnenlandversalzung 4.738 km²; Grube et al., 2000). Die im Zusammenhang mit der Grundwasserversalzung relevanten Grenzwerte zur Nutzung von Trinkwasser liegen bei 250 mg/L Chlorid, 200 mg/L Natrium und einer Leitfähigkeit von 2.790 µS/cm bei 25 °C (TrinkwV, 2001). Über die natürlich auftretenden Versalzungen hinaus kann es auch zu anthropogen bedingten Versalzungserscheinungen kommen. Diese sind in der Regel mit einer Förderung von nicht salzhaltigem Grundwasser verbunden, die über das nachhaltig nutzbare Grundwasserdargebot hinausgeht und nicht im Einklang mit der Grundwasserneubildung steht.

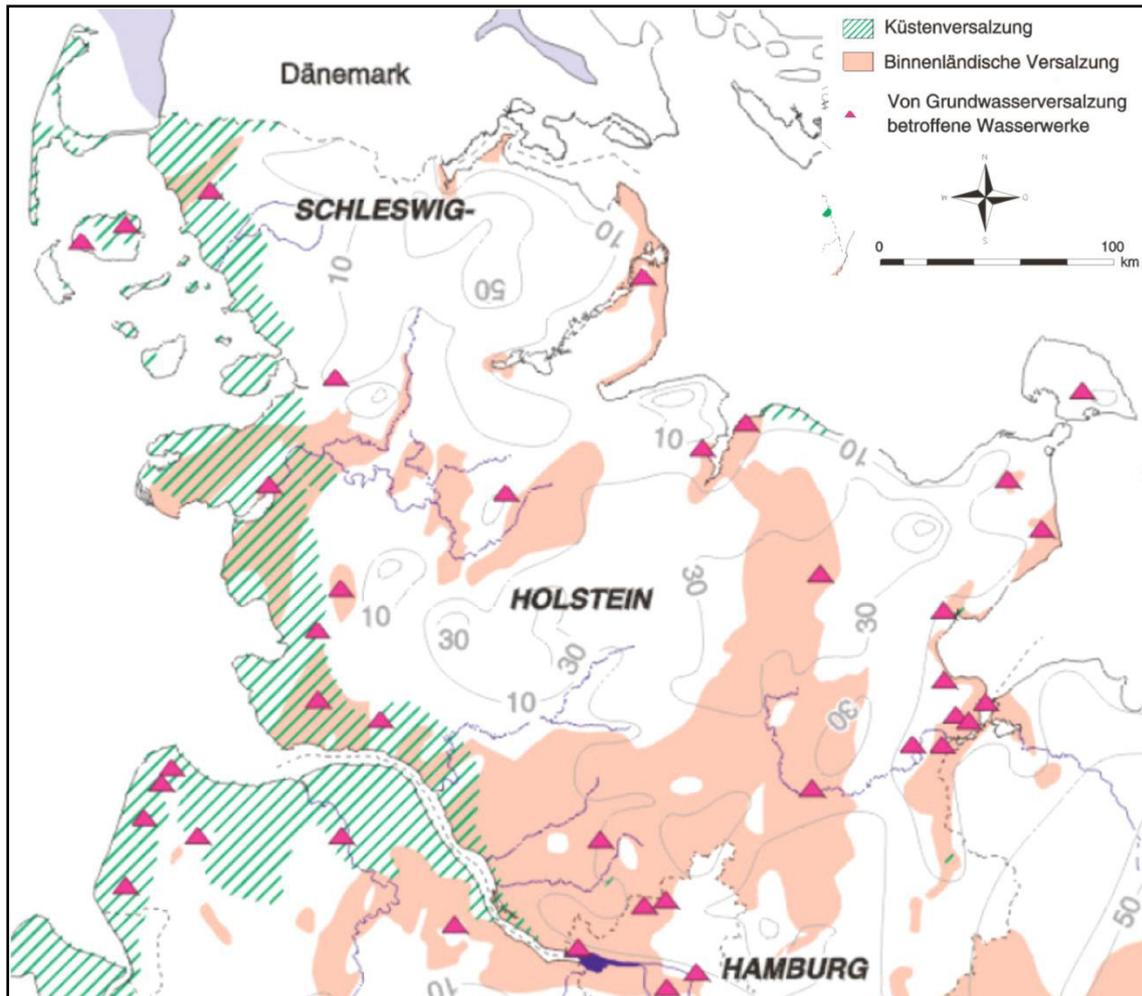


Abbildung 1. Geogene Grundwasserversalzung in Schleswig-Holstein (verändert aus Grube et al., 2000).

Die Produktion von Fisch und Krustentieren in KLA ist aus mehrfacher Hinsicht eine Herausforderung für deren Betreiber. An Auswahl und Betrieb der technischen Anlagen und die zu schaffenden biologischen Voraussetzungen werden hohe Ansprüche gestellt. Für den späteren Erfolg in der Vermarktung seien insbesondere die Beherrschung der Betriebs- und Produktionskosten als wesentlicher Erfolgsfaktor genannt. Die standortspezifischen, variablen Betriebskosten einer KLA werden in erster Linie durch den Verbrauch von Energie, also Elektrizität und Wärme (sofern zutreffend), der Versorgung mit Wasser und der Entsorgung der Abwässer bestimmt (Meyer et al., 2016).

Im Vergleich zur Trinkwassernutzung aus dem Leitungsnetz kann die Entnahme von salzhaltigem Grundwasser eine kostengünstigere Alternative für KLA darstellen. Förderungs- und Aufbereitungskosten müssen jedoch dagegen sorgfältig kalkuliert werden. Bei der Produktion von Salzwasserarten in KLA könnten zudem die Kosten für die künstliche Aufsalzung des Wassers (~310 €/Tonne Salz, Angabe aus Meyer et al., 2016) eingespart werden.

1.1 Ziel/Vorgehensweise der Studie

Ziel dieser Machbarkeitsstudie war es, die Nutzung von SG für die kreislaufbasierte Aquakultur in Schleswig-Holstein zu untersuchen. Hierfür wurden fünf unterschiedliche Kombinationen aus Anlagentyp (hoher und niedriger Wasserverbrauch) und Fischart (unterschiedliche Toleranz gegenüber Salzgehalt und Temperatur) festgelegt und jeweils ein Standort mit einer für die zu produzierende Art günstigen

Grundwassersalinität, der geplanten Anlagengröße angemessener Flächenverfügbarkeit und einem geeignetem Vorfluter/Abschlagspunkt für die Abwassereinleitung ausgemacht. Bei der Auswahl wurde zudem auf günstige infrastrukturelle Faktoren (Logistik, Erschließungsstand) und mögliche Synergien wert gelegt. An fünf so ermittelten Standorten wurden Grundwasserproben entnommen und auf die Eignung für die jeweilige Fischzucht beurteilt.

Eine ausreichende Verfügbarkeit des Grundwassers für den Wasserbedarf der Anlagen an den jeweiligen Standorten wurde überprüft. Brunnen und Fördertechniken, sowie notwendige Aufbereitungstechniken wurden ermittelt und zu diesen eine Einschätzung der Investitionskosten gegeben. Zudem wurden in Bezug auf das Abwasser Möglichkeiten zur Entsorgung an den Standorten, die genehmigungsrechtlichen Anforderungen und beispielhafte Aufbereitungsszenarien beschrieben und ein Kostenrahmen erstellt.

Eine Aussage zur Wirtschaftlichkeit der Grundwassernutzung an den jeweiligen Standorten lässt sich nur durch eine konkrete Kosten-Nutzen-Analyse treffen. Dies wäre bei Bedarf von spezialisierten Anlagenplanern zu erstellen, die ein bestmögliches Gesamtkonzept für Wasserförderung, -Aufbereitung, technischer Anlagendimensionierung und Aufbereitung des Abwassers des jeweiligen Ansiedlungsvorhabens konzipieren.

Alle hier getätigten Angaben wurden gewissenhaft und nach dem Gebot der guten fachlichen Praxis recherchiert und zusammengetragen. Es sei darauf hingewiesen, dass die hier vorgelegte Machbarkeitsstudie keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Verbindlichkeit der getroffenen Aussagen erhebt und die Autoren sowie der Herausgeber der Studie lehnen jeden hieraus direkt oder indirekt abgeleiteten Anspruch ab. Insbesondere die zukünftige Verfügbarkeit von Flächen, die Bereitstellung von Energie und Medien, sowie die rechtlichen Anforderungen an die Genehmigungsfähigkeit sind im Vorfeld jeder konkreten Umsetzung in geeigneter Weise zu prüfen.

Die Auswahl der hier dargestellten Art-Technik-Kombinationen an den fünf Studienstandorten sind somit exemplarisch zu verstehen. Die Eingrenzung der Auswahl der Studienstandort von ursprünglich über 30 im gesamten Landesgebiet legt jedoch den Schluss nahe, dass insbesondere in den Landkreisen an der Schleswig-Holsteiner Westküste eine Ansiedlung solcher Aquakultur-Unternehmen sinnvoll und wirtschaftlich-technisch realisierbar scheint. Die Landespolitik und weitere Interessenvertreter der öffentlichen Hand und Wirtschaftsförderungen seien hiermit nachdrücklich auf das Wirtschaftspotential dieser Branche hingewiesen und zur Schaffung begünstigender Rahmenbedingungen für die Ansiedlung angehalten.

1.2 Über die Autoren

Die Projektpartner der Studie sind die Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH (GMA) in Büsum, die GeoC GmbH und das Ingenieurbüro Andreas Reitner mit Sitz in Kiel. Das Projekt wurde in enger Zusammenarbeit mit der Koordinierungsstelle des Kompetenznetzwerks Aquakultur (KNAQ) an der Landwirtschaftskammer des Landes Schleswig-Holstein realisiert.

GMA

Zu den Autoren gehören Mitarbeiter der Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA) mbH mit Sitz in Büsum, Schleswig-Holstein. Die GMA wurde im November 2004 als nicht kommerziell ausgerichtete GmbH gegründet. Ihre Gesellschafter sind die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, die Entwicklungsgesellschaft Brunsbüttel GmbH, die Fraunhofer-Gesellschaft sowie das GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung. Die GMA leitet das Kompetenzzentrum Aquakultur, den Zusammenschluss

der auf dem Gebiet der Aquakultur tätigen wissenschaftlichen Einrichtungen des Landes Schleswig-Holstein. www.gma-buesum.de

GeoC

GeoC versteht sich als unabhängiges beratendes Ingenieurbüro auf den Gebieten der angewandten Geo- und Ingenieurwissenschaften. In Hause GeoC arbeiten Fachleute aus den Disziplinen Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Agrarwissenschaften und Wasserbau. In diesen Bereichen bietet GeoC seinen Auftraggebern neben fachlicher Kompetenz und fundiertem Expertenwissen eine seriöse und qualifizierte Bearbeitung der ihnen übertragenen Leistungen. Das Konzept der GeoC wird durch die Vernetzung von Wissenschaftlern und Ingenieuren angrenzender Fachgebiete abgerundet, den "Experten im Verbund". Mit Unterstützung der Partner bearbeitet GeoC Aufgaben in den Bereichen Ingenieurplanung, Statik, Bodenkunde sowie Geophysik, Meeresbiologie, Datenbank- und Softwareentwicklung. www.geoc.de

Ingenieurbüro Reitner

Das Ingenieurbüro Andreas Reitner ist im GeoCenter in Kiel angesiedelt. Herr Reitner ist beratender Ingenieur im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft, betreut Wasserversorger und plant Entwässerungen und Leitungsbau mit einem Schwerpunkt in der Landwirtschaft. <https://gws-nord.de/index.php/experten-im-verbund.html>

KNAQ

Die Autoren wurden bei Ihrer Arbeit durch die Koordinierungsstelle des Kompetenznetzwerks Aquakultur (KNAQ) des Landes Schleswig-Holstein unterstützt. Das KNAQ ist ein überregional arbeitendes Netzwerk von Aquakultur-Expertinnen und –Experten der Privatwirtschaft, Wissenschaft und anderen öffentlichen Einrichtungen. In Zusammenarbeit mit den beteiligten Netzwerkakteuren beschäftigt sich KNAQ unter anderem mit der Entwicklung von Produktionsstandorten und der Akquise von Technologie-Transfer-Projekten. www.knaq-sh.de

Weitere Unterstützung

Besonderer Dank gilt der Firma „Krüger/Veolia“ und „NC. Consulting AsP V“, die Angaben ihrer Kreislaufanlagen zur Verfügung stellten, sowie der „DEA Deutsche Erdoel AG“ und „Steinbeis Papier GmbH“ für die Nutzung der vorhandenen Brunnenanlagen zur Grundwasserbeprobung.

2. Artspezifische Produktionstechnik

Anlagen zur Fischproduktion unterscheiden sich in ihrer technischen Komplexität und Dimensionierung durch die zu produzierende (Fisch-)Art und Menge und den dafür erforderlichen Frischwassereinsatz. Definitionsgemäß spricht man bei einem täglichen Wasseraustausch von unter 10% des Anlagenvolumens von einer geschlossenen oder Voll-Kreislaufanlage. Bei einem Wasseraustausch von über 10% des Volumens wird eine solche Anlage als Teil-Kreislaufanlage bezeichnet. Der notwendige Wasseraustausch stellt einen signifikanten Anteil der Gestehungskosten einer KLA-Produktion dar. In Durchflusssystemen (als auch in Teil-KLA) dient der Wasseraustausch nicht nur dem Abtransport von partikulärem/organischem Material und der Verdünnung von Stoffwechselprodukten, sondern außerdem noch der Temperierung (i.d.R. Kühlung) und dem Sauerstoffeintrag. In einer Voll-KLA werden diese Aufgaben weitestgehend durch technische Installationen ersetzt. Dies ist einerseits mit einem höheren Energie- und Betriebsmittelverbrauch verbunden, bringt andererseits aber auch die Möglichkeit zur ganzjährigen Produktion (unabhängig von der Umgebungstemperatur) und erhöhter Produktionsstabilität (Einhausung, Hygiene) und –effizienz (höhere effektive Besatzdichten, höherer spezifischer Futtereinsatz).

Um die Ausführungen dieser Studie auf spezifische Informationen begrenzen zu können werden beim Leser grundlegende Kenntnisse der Funktionsweise von KLA vorausgesetzt. Nähere Informationen zum allgemeinen Aufbau einer KLA und zur Anlagentechnik können u.a. nachgelesen werden in:

- Bregnballe, J. (2015) A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M. (2007) Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures, LLC. ISBN: 0971264627.
- Wedekind, H. (2012) Untersuchungen zu neuen Entwicklungen der Fischzucht in Warmwasser-Kreislaufanlagen in Deutschland. Artikel und Poster des Instituts für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Schmidt-Puckhaber, B., u.a. (2010) Fisch vom Hof?! Fischerzeugung in standortunabhängigen Kreislaufanlagen. DLG-Verlag. ISBN 978-3-7690-0727-5.

Die in Deutschland und Europa am häufigsten in KLA produzierten Fischarten umfassen u.a. Aal, europäische und afrikanische Welse, verschiedene Störarten und Forellen. Zu den Kandidatenarten für die Produktion in KLA zählen außerdem die Weißfuß-Garnele, Zander, Atlantischer Lachs und Wolfsbarsch. Arten wie Aal, Zander, Garnele und Forelle werden üblicherweise über ihren gesamten Mastverlauf in KLA gehalten, während Atlantische Lachse und Störe vor allem bis zur Smolt/Setzlingsgröße in solchen Systemen produziert und anschließend in offenen Systemen gemästet werden.

2.1 Art-Technik-Kombinationen

Im Rahmen dieser Studie wurden fünf verschiedene Art-Technik-Kombinationen festgelegt und daraufhin passende Standorte hinsichtlich des Salzgehaltes, Wasser- und Flächenbedarfes und geeigneter Vorfluter in Schleswig-Holstein ausgemacht (siehe Tabelle 1). Bei der Auswahl der Art-Technik-Kombinationen wurde auf die unterschiedlichen Anforderungen der Arten hinsichtlich Salzgehalt und Temperatur, sowie auf unterschiedliche Anlagentypen in Hinsicht auf Wasser- und Energieverbrauch Wert gelegt.

Die Auswahl der Art-Technik-Kombinationen in dieser Studie basierte auf der verfügbaren Datenlage für KLA-Anlagentypen, wie sie derzeit in Deutschland, sowie den Nachbarländern Dänemark und der Schweiz existieren. Durch die Kooperation mit und gemäß den Vorschlägen des KNAQ wurden für die Auswahl der

Art-Technik-Kombinationen Investoreninteressen für KLA und die aktuell in Bearbeitung befindlichen KLA-Ansiedlungsvorhaben in Schleswig-Holstein berücksichtigt. Die Auswahl der Anlagentypen beinhaltet keinerlei Wertung über deren Wirtschaftlichkeit oder Qualität gegenüber anderen Anlagen, deren Entwicklern oder Herstellern. Die gewählte Anlagentechnik stellt eine jeweils beispielhafte Umsetzung der gewünschten Produktionsleistung dar.

2.1.1 Salzwasserträglichkeit der Arten

Bei der Gelbschwanzmakrele (*Seriola lalandi*) handelt es sich um eine vollmarine Art, während die Weißfuß-Garnele (*Litopenaeus vannamei*), in vollmarinen, aber auch in Brackwasser lebt und deshalb bei unterschiedlichen Salzgehalten von Süßwasser bis vollmarin aufgezogen werden kann. Der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) gehört zu den anadromen Fischarten, der als Jungfisch im Süßwasser lebt und dann ins Meer abwandert und zum Laichen wieder das Süßgewässer aufsucht. Die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) ist eine Süßwasserart, mit anadromen Unterarten. Der Europäische Zander (*Sander lucioperca*) ist eine Süßwasserart, wandert aber auch z.B. in das Brackwasser der Ostsee.

Durch Osmoregulation gleichen Fische den Salzgehalt ihrer Körperflüssigkeiten und Gewebe so an, dass diese unabhängig vom Salzgehalt ihres Umgebungswassers ihre physiologische Funktionalität aufrechterhalten. Physiologische Unterschiede von Süß- und Meerwasserarten bestehen in der Aufnahme und Abgabe von Wasser und Salz aus ihrer Umgebung. Bei Süßwasserfischen (hyperosmotisch) weisen die Körperflüssigkeiten einen höheren Salzgehalt als das Umgebungswasser auf. Durch Osmose findet ein konstanter Fluss von Umgebungswasser und Ionen über die Kiemen und die Haut in den Körper statt. Süßwasserfische produzieren daher eine große Menge an verdünntem Urin, um das hypertone innere Milieu gegen den Wassereinstrom aufrechtzuerhalten. Zudem findet eine aktive Ionenresorption (Rückgewinnung) an den Kiemenepithelien statt. Die mit dem Urin abgegebenen Salze werden über das Kiemenepithel aktiv wieder aufgenommen (energieintensiv), bzw. mit Stoffwechselprodukten ausgetauscht. Bei Meerestischen (hypoosmotisch) ist das Umgebungswasser salziger als die Körperflüssigkeiten. Durch Osmose diffundieren Wasser und Ionen über die Kiemen und die Haut nach außen. Um den Wasser- und Ionenverlust auszugleichen trinken die Fische große Mengen an Wasser und geben die überschüssigen Ionen aktiv (energieintensiv) über spezielle Chlorid-Zellen in den Kiemen, sowie über stark salzhaltigen Urin ab.

Positive Auswirkungen von Brackwasser

Die Osmoregulation ist ein energieintensiver Vorgang, der je nach Art und Literaturangabe 10 % oder sogar 20-50 % des Energiehaushaltes benötigt (Boeuf & Payan, 2001). Im isotonen Milieu von ~8-10 PSU fehlen entsprechende Gradienten, so dass der osmotische Druck innen und außen gleich ist. Während ein hoher Salzgehalt oder Süßwasser eine hohe osmotische Regulation voraussetzen, kann sich die Nutzung von Brackwasser für hypo-/hyperosmotische Arten somit energiesparend auswirken. Während eine Osmoregulierung nicht zu erwarten ist, kann eine Ionenregulation aber dennoch stattfinden.

Untersuchungen des Einflusses von Salinität (8-20 PSU) auf unterschiedliche Fischarten zeigten, dass der Salzgehalt einen positiven Effekt auf das Wachstum haben kann (Boeuf & Payan, 2001), da der Salzgehalt u.a. die für das Wachstum zur Verfügung stehende Energie bestimmt. Ein direkter Einfluss der Salinität in Abwesenheit von hormonellen oder anderen physiologischen Stimuli auf das Wachstum und den Lipidstoffwechsel zeigte sich in Zellkulturen von Fischen, wobei die Effekte artspezifisch waren (Tocher et al., 1994).

Der Einfluss der Salinität auf den Metabolismus als O₂-Verbrauch (mg/kg*h) bei diadromen Fischen wie der Regenbogenforelle (100 g, im Süßwasser akklimatisiert) zeigte bspw., dass ein Gehalt von 7,5 PSU im Vergleich zu Süßwasser und Salzwasser mit 15 oder 30 PSU bei unterschiedlichen Temperaturen (5 °C & 15 °C) und Schwimmgeschwindigkeiten (0 bis maximal) zu dem vergleichsweise niedrigsten Sauerstoffverbrauch führte (Rao, 1968). Der Salzgehalt scheint zudem einen Einfluss auf das hormonelle Geschehen, Futteraufnahme und Futterverwertung zu haben (Boeuf & Payan, 2001). Die Temperatur spielt in Hinsicht auf das Wachstum aber ebenfalls eine große Rolle, sowie die Fischart, Fischgröße, Fütterungsraten und Futterqualität (Altinok & Grizzle, 2001a; Handeland et al., 1998; Zeitoun et al., 1973). Unterschiedliche Auswirkungen des Salzgehaltes können des Weiteren mit der diversen Genetik der Fischarten (z.B. bei Regenbogenforellen) erklärt werden (Morgan & Iwama 1991; Secor et al., 2000). Die Zusammenhänge zwischen Salinität und Wachstum sind somit komplex und nicht direkt vorhersehbar (Iwama, 1996).

Neben Auswirkungen auf das Wachstum können sich auch positive Auswirkungen auf den Gesundheitszustand zeigen (Altinok & Grizzle, 2001b). Bei steigender Salinität zeigte sich bei eurohalinen und stenohalinen Süßwasserfischen eine antiparasitäre Wirkung und eine Reduktion der Schwere unterschiedlicher Krankheiten z.B. *Flavobacterium columnare* Infektionen (Altinok & Grizzle, 2001b; Francis-Floyd, 1995). Haut und Kiemen zeigen durch einen geringen Salzgehalt eine vermehrte Produktion von schützender Schleimhaut. Zur Behandlung oder auch zum Transport von Süßwasserfischen kommen daher häufig Salzbäder zum Einsatz (Francis-Floyd, 1995). Ergebnisse unterschiedlicher Studien zeigten, dass euryhaline Arten aufgrund der Minimierung von osmotischem Stress/bei isoosmotischen Salinitäten resistenter gegen toxische Bedingungen/Chemikalien waren, verglichen mit entweder niedrigeren oder höheren Extremen (Hall & Anderson, 1995).

Weitere positive Eigenschaften, die schon einem leichten Salzgehalt zugesprochen werden, sind die schützende Funktion gegenüber hohen Temperaturen und der Toxizität von Nitrit und unterschiedlichen Schwermetallen. Ein Vorteil von salzhaltigem Wasser/einer hohen Wasserhärte/einem hohen Anteil an Calciumionen ist die Reduzierung der Toxizität bestimmter Spurenmetalle für Fische und andere Aquakulturarten (Witeska & Jezierska, 2003). Ein Review von Hall & Anderson (1995) zeigte, dass die Toxizität der meisten Metalle wie Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Zink mit abnehmender Salinität zunimmt (Hall & Anderson, 1995). Das Vorhandensein von Calcium kann die Aufnahme von Metallionen über die Kiemen blockieren und dadurch die gelöste Konzentration von Metallen erhöhen, die nötig wäre, um eine toxische Wirkung zu verursachen. Bspw. gibt die EU-Richtlinie 2006/44/EG zur Qualität von Süßwasser, für Salmonidengewässer, je nach Härte in mg/l CaCO₃, eine Konzentration gelösten Kupfers in mg/l von 0,005 bei Härte 10, 0,022 bei Härte 50, 0,04 bei Härte 100 und 0,122 bei Härte 300 an. Die Toxizität von Metallen hängt zudem von anderen Faktoren im Wasser, aber auch von der Art, dem Alter und der Kondition bzw. dem Gesundheitszustand ab (Javed & Abdullah, 2006; Baur & Rapp, 2003; Lall, 2002).

An- und Kationen / Ionenverhältnisse im salzhaltigem Grundwasser

An- und Kationen stellen überwiegend wichtige Mineral- und Spurenelemente dar. Mineralstoffe können von Fischen und Krustentieren über das Futter, sowie über das Umgebungswasser aufgenommen werden. Die allgemeinen Funktionen von Mineralien und Spurenelementen bzw. Makro- und Mikroelementen sind vielfältig (Tacon, 1987). Mineralien sind essentielle Bestandteile von Skelettstrukturen wie Knochen, dienen als strukturelle Bestandteile von Weichteilen und sind essentiell für die Übertragung von Nervenimpulsen und Muskelkontraktionen. Sie spielen eine Schlüsselrolle bei der Aufrechterhaltung des

osmotischen Drucks und regulieren somit den Austausch von Wasser und gelösten Stoffen in Fischen und Garnelen. Zudem spielen sie eine wichtige Rolle im Säure-Basen-Gleichgewicht des Körpers und regulieren den pH-Wert des Blutes und anderer Körperflüssigkeiten. Mineralstoffe dienen als wesentliche Bestandteile vieler Enzyme, Vitamine und Hormone oder als Ko-Faktoren im Stoffwechsel, Katalysatoren und Enzymaktivatoren.

Zu den wichtigsten limitierenden Faktoren in der Brackwasseraquakultur gehören Calcium, Magnesium und Kalium Ionen (Partridge et al., 2008; Allan et al. 2009; Mourad et al., 2012; Wendelaar Bonga et al., 1983; Marshall & Bryson, 1998; Evans et al., 2005; Valenzuela-Madrigal et al., 2017; Davis et al., 2004).

Die Konzentrationen der zweiwertigen Kationen Calcium (Ca^{2+}) und Magnesium (Mg^{2+}) spielen eine entscheidende Rolle bei der Ionenregulation von Süßwasserfischen und Garnelen, da diese Ionen u.a. die Kiemenpermeabilität modulieren (Wendelaar Bonga et al., 1983). Studien haben bspw. gezeigt, dass diese Ionen bedeutende Auswirkungen auf die Ei- und Larvenkultur haben und mit Wachstums-, Entwicklungsverzögerung und Mortalität assoziiert werden, wenn kein angemessenes Magnesium:Calcium-Verhältnis des umgebenden Wassers vorliegt (Luo et al., 2016).

Das Kation Kalium (K^+) spielt eine entscheidende Rolle in vielen physiologischen Vorgängen, speziell bei Fischen für die Osmoregulation und das Säure-Basen-Gleichgewicht (Marshall & Bryson, 1998; Evans et al., 2005). Ein Kaliumdefizit im Wasser kann sich bei unterschiedlichen Fischarten auf das Wachstum oder das Überleben auswirken (Kolkovski, 2011; Mourad et al., 2012). Fielder et al. (2001) berichteten über die Mortalität von Silberbrassen (*Pagrus auratus*), die in 19 g/l Grundwasser mit 5 % K-Äquivalent zu Meerwasser (100 % Meerwasser) aufgezogen wurden. Die Mortalität wurde reduziert, wenn der Kaliumgehalt auf 40 % des Meerwasseräquivalents eingestellt wurde, allerdings mit einem signifikant geringeren Wachstum verglichen mit Fischen, die bei 60 % K-Äquivalenz gehalten wurden. Die gleichen Ergebnisse zeigten sich bei Melloway, *Argyrosomus japonicus* (Doroudi et al., 2006; Hutchinson & Flowers, 2008), Barramundi (*Lates calcarifer*; Partridge & Creeper, 2004) und Silberbarschen (*Bidyanus bidyanus*; Ingram et al., 2002; Fielder et al., 2001; Doroudi et al., 2007).

Die ionische Zusammensetzung des Grundwassers stellt eine Herausforderung in Bezug auf die Eignung von Wasser für das Wachstum eines Wasserorganismus dar. Das Ionen Profil kann je nach Wasserquelle stark variieren und SG auch bei ozeanischem Ursprung beträchtlich vom Meerwasser abweichen (Boyd et al., 2003; Sakthivel et al., 2014; Partridge et al., 2008; Smith & Barlow, 1999). Folgen davon können u.a. ein vermindertes Wachstum, limitierte Reproduktion oder eine erhöhte Sterblichkeit sein.

2.1.2 Auswirkungen von Salzwasser auf die Anlagentechnik

Generell bestehen für Salzwasser-KLA im Vergleich zu süßwasserbetriebenen KLA einige spezifische Nachteile, die zu höheren Kosten führen können:

- Salz vor allem in Kombination mit Warmwasser ist stark korrosiv, so dass die Anlagen mit widerstandsfähigem Material ausgerüstet sein müssen, was sich in einer höheren Investition niederschlägt
- hohe Wasserhärten und Calcium Carbonat Ausfällungen können Ablagerungen mit sich bringen (siehe <https://www.veoliawatertechnologies.com/en/media/articles/importance-intake-water>)
- hohe Sulfat-Gehalte können vor allem in Anlagen mit geringem Wasseraustausch und Denitrifikation das Risiko einer H_2S -Kumulation erhöhen (siehe <https://www.veoliawatertechnologies.com/en/media/articles/importance-intake-water>)
- Biofilter arbeiten z.T. im Salzwasser und hoher Wasserhärte weniger effizient (<https://www.veoliawatertechnologies.com/en/media/articles/importance-intake-water>)

- die Nitrifikation wird durch Temperatur, Sauerstoff, sowie durch den Salzgehalt und Härte beeinflusst. Salzwasser enthält weniger gelösten Sauerstoff (DO) als Süßwasser, was sich u.a. limitierend auf die Aktivität der nitrifizierenden Bakterien auswirkt. Biofilter müssen für Salzwasser daher i.d.R. größer dimensioniert werden. Es dauert zudem länger, bis die nitrifizierenden Bakterien das Filtermedium besiedelt haben. Schwankungen im Salzgehalt können sich negativ auf die nitrifizierenden Bakterien auswirken. (Ebeling, ohne Datum)
- generell lässt sich Total Ammonia Nitrogen (TAN) und CO₂ schwerer aus Salz-, als aus Süßwasser entfernen (Terjesen et al., 2013)
- die Schlammabgabe kann sich als schwieriger/teurer erweisen.

2.2 Beschreibung der Art-Technik-Kombinationen

Die Beschreibung der Art-Technik-Kombinationen liefert einen Überblick zur Art, den artspezifischen Wasserqualitätsansprüchen und der Salzwasserträglichkeit, sowie eine Beschreibung des Anlagentyps mit entsprechender Wasser- und Energienutzung.

Die fünf gewählten Art-Technik-Kombination sind Zander und Garnele in einer konventionellen KLA, Lachs und Seriola in einer „Ein-Tank-Kreislaufanlage“ (RAS2020) und Forelle in einer dänischen „Model Typ 3“ Anlage. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der Art-Technik-Kombinationen mit ihren Spezifikationen. Als Grundlage der Standortsuche sind der ungefähre Salzwasseranspruch der Arten und der Frischwasser- und Flächenbedarf der Anlagen dargestellt.

Tabelle 1. Übersicht der fünf Art-Technik-Kombinationen.

Art	Anlagen- typ	Jahres- pro- duktion [t]	Markt- größe [g]	Frisch- wasser- verbrauch [m ³ /h]	Tägl. Futter- menge [kg]	Wasser- temp. [°C]	Gesuchter Salz Gehalt [PSU]	Flächen- bedarf Anlage [m ²]	Gesuchter Flächenbedarf Gesamt* [m ²]
Europäischer Zander (<i>Sander lucioperca</i>)	Konven- tionelle KLA	500	900	6,12	1.800	24	Niedrig	12.000	23.800
Atlantischer Lachs (<i>Salmo salar</i>)	Ein-Tank- KLA RAS2020	1.200	4.500	60 **	4.200	14-18	Mittel Hoch	3.240	8.500
Gelbschwanz- makrele (<i>Seriola lalandi</i>)	Ein-Tank- KLA RAS2020	1.200	3.000- 5.000	60**	4.200	18-28	Mittel- Hoch	3.240	8.500
Regenbogen- forelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Dänische Teil-KLA Model Typ 3	225	80-300	72 **	849	12-16	Niedrig	1.520	5.000 (15.000 für evtl. Pflanzen- kläranlage)
Weißfuß- Garnele (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Konven- tionelle KLA	30	25-30	0,86	165	28	Mittel	1.500	5.000

* grobe Schätzung für Nebengebäude, Schlammbecken, Feuerwehrumfahrung, Versiegelungsausgleich.

** Wassermengen dargestellt für „Standardanlage“ des Herstellers. Wasserverbrauch lässt sich reduzieren. Anfrage an Firmen nötig, um die Auswirkungen eines geringeren Frischwasserbedarfes auf Produktion, Temperierung und Abwasserzusammensetzung zu prüfen.

Die Angaben zur Zander- und Garnelen-Produktion stammen aus Meyer et al. (2016) aus der „Konzeptstudie zur Nutzung der Synergieeffekte zwischen Industrieparks und Ernährungswirtschaft insbesondere der Aquakultur in der Region Unterelbe“. Die Anlage für Zander (basierend auf Daten der Anlage Hohen Wangelin) und Garnele (basierend auf Daten der Garnelenfarm Grevesmühlen/Cara Royal) wurde im Rahmen der damaligen Studie von der Firma „Green Aqua Farming (GAF) GmbH + Co. KG.“

konzipiert. Daten zur Produktion von Seriola und Lachs in RAS2020/Ein-Tank-KLA, wie derzeit in Dänemark (Sashimi Royal) und der Schweiz (Swiss Lachs, ausgelegt auf 600 t Jahresproduktion) in Betrieb, wurden von der Firma „Krüger/Veolia“ zur Verfügung gestellt. Die Daten zur Model Typ 3 Teil-KLA für die Regenbogenforelle stammen von der dänischen Firma „NC Consulting ApS“. Alle zur Verfügung gestellten Daten sind unter bestimmten Standort-spezifischen Annahmen ermittelt worden und können an anderen Standorten und unter anderen zugrundeliegenden Annahmen stark abweichen.

2.2.1 Zander / Konventionelle KLA

Artbeschreibung - Europäischer Zander (Sander lucioperca)

Der Europäische Zander (*Sander lucioperca*) ist eine in Mittel- und Nordeuropa beheimatete Fischart aus der Familie der Barschartigen. Er wird in der Fluss- und Seenfischerei und durch Freizeitangler in offenen Gewässern gefangen. In der Teichwirtschaft stellt er eine relevante Nebenfischart dar, denn er wird in der Regel in Teichen mit Karpfen und anderen Fischarten vergesellschaftet. Diese Form der Aquakultur des Zanders wird traditionell bereits seit dem späten Mittelalter in Mitteleuropa durchgeführt, was zum einen zur Bekanntheit und Popularität dieses Speisefisches beiträgt, zum anderen aber auch Ursache für die weite Verbreitung der Art bis nach Südeuropa, Vorderasien und Nordafrika ist. Die KLA-basierte Aquakultur des Zanders erfolgt in der Regel getrennt nach den wichtigsten Lebensabschnitten. In spezialisierten Brutbetrieben werden Elterntiere durch Modellierung der Umweltbedingungen (insb. Licht und Temperatur) zur Geschlechtsreife und zum Abläichen angeregt. Die Erbrütung der befruchteten Eier und die Anzucht der Larven erfolgt in separaten Systemen. Die Mastphase, auf welche sich diese Studie bezieht, beginnt mit dem Besatz durch in einer KLA vorgestreckten, trockenfutter-adaptierten Setzlingen von ca. 10 bis 100 g. Die Produktion erfolgt in vier Zyklen pro Jahr, d.h. die KLA wird alle drei Monate mit neuen Setzlingen nachbesetzt, während die heranwachsenden Tiere fortlaufend nach ihren Größen sortiert werden.

Die Wachstumsrate des Zanders wird, wie bei allen wechselwarmen Organismen, vor allem durch die Temperatur bestimmt. Temperaturen niedriger als 16 °C werden vermieden, da die Tiere unter diesen Bedingungen die Futteraufnahme (und damit das Wachstum) reduzieren und die Reifung der Geschlechtsorgane (<13 °C) einsetzt. Unter optimalen Bedingungen kann der Zander innerhalb von 12 bis 15 Monaten vom Setzling (10 g) zum marktreifen Produkt (800 – 1.000 g) gemästet werden. (Artbeschreibung leicht abgewandelt aus Meyer et al., 2016). Die Wasserqualitätsansprüche für Zander sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2. Wasserqualitätsansprüche des Zanders nach unterschiedlichen Autoren.

Parameter	Einheit	Daalsgard et al., 2013**	Optimaler Bereich für Barschartige aus Zienert & Heidrich, 2005 (nach Schreckenbach et al., 1987, 2001)	Timmons & Ebeling, 2007 (Fische allgemein)
Temperatur	°C	22,0-25,0		
pH		6,5-7,5	6,5-8	6,5-8,5
Sauerstoff (O ₂)	mg/l	6,0-8,0	7,0-30,0	>5,0
Stickstoffsättigung	%		<100	
Kohlendioxid (CO ₂)	mg/l	10,0-20,0	5-8	<20,0
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l			
Ammoniak (NH ₃)	mg/l		<0,01	<0,0125 (NH ₃ -N)
Nitrit (NO ₂ ⁻)*	mg/l	0,0-4,9	<1,0	<1,0; 0,1 in weichem Wasser
Salpetrige Säure (HNO ₂)	mg/l	<0,002	<0,0002	
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	≤247,9	<200	0,0-400,0 oder höher
TAN	mg/l	0,0-10,0		<3,0 Warmwasser
Salzgehalt	PSU	Brackwasser tolerant		

*Basierend auf 120 h LC(50) und einem Faktor von 0,01 nach Sprague (1971), wurde für juvenile Zander eine NO₂-N Konzentration von ≤0,061 mg/l (= 0,2 mg/l NO₂-N) als sicher befunden (Wuertz et al., 2013). Für 10 mg/l NO₂-N, können ≥ 240 mg/l Chlorid die Aufnahme von Nitrit in Plasma und Muskeln bei juvenilen Zandern kompensieren (Wuertz et al., 2013).
 **Wasserqualitätsparameter, die unter den allgemeinen Bedingungen beim Betrieb von kommerziellem oder Pilot-KLA beobachtet wurden.

Salzwasservertäglichkeit Zander

Zander können in das Brackwasser der Ostsee wandern. Ložys (2004) zeigte, dass Zander die sich im Brackwasser der Ostsee bei 4,9-6,8 PSU aufhielten ein besseres Wachstum als Zander im Süßwasser aufwiesen und fand die gleichen Ergebnisse in einem experimentellen Aufbau. Der genetische Stamm für die SG Aquakultur sollte auf die Brackwasserumwelt angepasst sein.

Anlagenbeschreibung – Konventionelle KLA

In der „Konzeptstudie zur Nutzung der Synergieeffekte zwischen Industrieparks und Ernährungswirtschaft insbesondere der Aquakultur in der Region Unterelbe“ von Meyer et al. (2016) wurde von einer Zanderanlage mit einer Jahresproduktion von 500 t ausgegangen, die eigens für die Konzeptstudie von der Firma „Green Aqua Farming GmbH + Co. KG“ entworfen wurde. Ihre Berechnungen basieren auf Anlagen mit geringerer Jahresproduktionsmenge, insbesondere der Pilotanlage der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Hohen Wangelin, Mecklenburg-Vorpommern (Abbildung 2). Aufgrund der bei Zandern häufig erforderlichen Größensortierung, insbesondere bis zum Ende der II. Mastphase (400 g), umfasst die Zanderanlage 15 unabhängige Kreislaufmodule (d. h. getrennte Wasserkörper) mit je 8 bis 36 Becken und hat somit einen relativ hohen Flächenbedarf (Produktionsfläche 12.000 m²). Die technische Umsetzung ist abhängig vom Anbieter, Tankvolumina, unterschiedlichen Materialeinsätzen und Geometrien und wird nicht im Detail dargestellt. Ausgegangen wird von einer jährlichen Produktion von 500 t mit einem Vermarktungsgewicht von 900 g, einer max. täglichen Futtermenge von 1.800 kg und einem Wasserverbrauch von 6,12 m³/h. Die Temperatur in den

Becken beträgt 24 °C. Der Energieverbrauch der Anlage liegt bei 902.880 kWh/Jahr, bzw. 1,57 kWh/kg Futter. Zur Abwasserzusammensetzung und -aufbereitung siehe Kapitel 7.

Die Wasseraufbereitung in der Zanderanlage verfügt über:

- Trommelsieb zur Beseitigung von partikulärem organischem Material mit 40 µm Nylon Siebgaze
- Bewegbettbiofilter zur aeroben Umwandlung von Ammonium (NH_4^+) zu Nitrat (NO_3^-) - Nitrifikation
- Denitrifikationsreaktor zur anaeroben Umwandlung von Nitrat (NO_3^-) zu Luftstickstoff (N_2)
- Einrichtung zur Belüftung und Sauerstoffanreicherung
- UV-Behandlung zur Desinfektion des Prozesswassers
- Wärmetauscher

(Anlagenbeschreibung leicht abgewandelt aus Meyer et al., 2016)

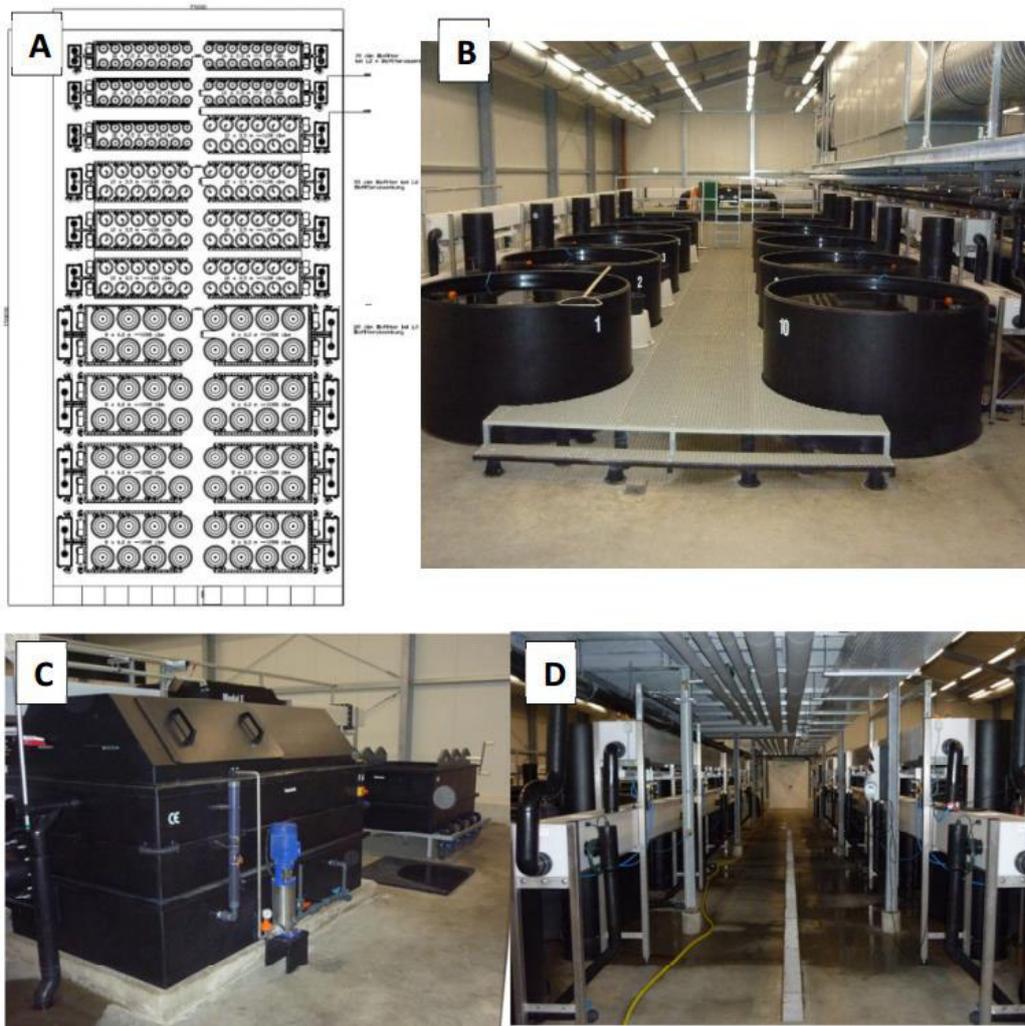


Abbildung 2. A: Schematische Darstellung der Beckenanordnung der Zander-KLA, B-D: Fotografien aus der Pilotanlage der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Hohen Wangelin, Mecklenburg-Vorpommern: B: Beckenanordnung, C: Trommelsieb, D: Abflussrinnen; aus Meyer et al. (2016).

2.2.2 Lachs / RAS2020

Artbeschreibung - Atlantischer Lachs (*Salmo salar*)

Der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) kommt natürlicherweise sowohl auf der amerikanischen, wie auch auf der europäischen Seite des Atlantiks vor. Bedingt durch seine anadrome Lebensweise verbringt er bis zu vier Jahre im Meer, bevor er beim Einsetzen der Geschlechtsentwicklung zu seinem Heimatgewässer zurückkehrt, um zu laichen. Danach sterben die meisten Lachse, nur wenige wandern zurück ins Meer und vermehren sich ein weiteres Mal (FAO, 2018).

Die Haltung der Lachse in der Aquakultur begann im 19. Jhd. in Großbritannien. Die Lachse wurden im Süßwasser gehalten, um Satzische für eine Aufstockung der Wildbestände zu gewinnen. Die ersten marinen Netzgehege wurden in den 1960er Jahren in Norwegen mit Atlantischen Lachsen besetzt. Der Erfolg dieser Aquakultur sorgte dafür, dass Lachse in ähnlicher Form auch in Kanada, Schottland, den Färöer-Inseln, Australien, Chile und weiteren Ländern gehalten werden. Weltweit beläuft sich die Produktion von Atlantischem Lachs auf über 2,5 Mio. Tonnen pro Jahr (<http://www.aquakulturinfo.de/index.php/Lachs.html>). Da die klassische Haltung in Netzgehegen allerdings verschiedene Nachteile mit sich bringt (Einfluss auf die Umwelt, Abhängigkeit von Temperatur, Parasitenbefall, etc.) und die Menge an in Frage kommenden Standorten begrenzt ist, werden zunehmend Lachse in Kreislaufanlagen gehalten (FAO, 2018).

Eine flächendeckende und Jahreszeiten-unabhängige Versorgung mit Eiern bzw. Junglachsen ist gewährleistet. Die gewonnenen Jungfische werden getrennt nach Größe und Entwicklungsstadium im Süßwasser gehalten. Der Umstieg ins Salzwasser erfolgt durch die sogenannte Smoltifizierung, die durch ein bestimmtes Licht- und Temperaturregime ermöglicht wird (FAO, 2018). Die entstehenden Smolts können anschließend mit einem Gewicht von 40-120 g nahezu ganzjährig zur Mast ins Salzwasser überführt werden und nach etwa 2-3 Jahren mit einem Gewicht von mindestens 2-5 kg geerntet werden (FAO, 2018). Die Wasserqualitätsansprüche für den Atlantischen Lachs sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3. Wasserqualitätsansprüche des Atlantischen Lachses nach unterschiedlichen Autoren.

Parameter	Einheit	Norwegian Food Safety Authority	Timmons & Ebeling, 2007 (Fische allgemein)
Temperatur	°C		
pH		6,2-7,8	6,5-8,5
Sauerstoff (O ₂)	mg/l		>5,0
Sauerstoff (O ₂)	%	<100	
Kohlendioxid (CO ₂)	mg/l	<15	<20,0
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l		
Ammoniak (NH ₃)	mg/l	<0,002	<0,0125 (NH ₃ -N)
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	<0,5	<1,0
Salpetrige Säure (HNO ₂)	mg/l		
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l		0,0-400,0 oder höher
TAN	mg/l	<2	<1,0 Kaltwasser
Salzgehalt	PSU		

Salzwasserverträglichkeit Lachs

Ein Wechsel zwischen Salz-, Brack- und Süßwasser macht komplexe physiologische Vorgänge notwendig. Während der Smoltifikation findet neben dem auffälligen Farbwechsel ein Umbau des Epithelgewebes statt, um Ionen besser ausscheiden zu können. Des Weiteren erhöht sich die Expression einiger Ionenpumpen in der Haut, in den Kiemen und im Darmtrakt, um die höheren Salzkonzentrationen

bewältigen zu können (Moyes & Schulte, 2007). Bei Smolts zeigte sich, dass die Temperatur einen großen Einfluss auf die Adaption an Meerwasser/Osmoregulation und das Wachstum hat (Handeland et al., 1998).

Bei Postsmolts zeigte sich bei 12 PSU eine erhöhte Futteraufnahme, Wachstumsrate und Verbesserung des Haut- und Flossenbildes, im Vergleich zu 22 und 32 PSU (Terjesen et al., 2013). Nach Boeuf et al., (unpublished) in Boeuf & Payan (2001) liegt das beste Wachstum bei 22-28 PSU und nach Woo & Kelly (1992) in Enayatmehr & Jamili (2013) bei 15 PSU. Duston (1994) testete das Wachstum von Smolts in unterschiedlicher Salinität von 0, 10, 20 und 31 PSU. Hierbei war das Wachstum von Smolts in 20 PSU im Vergleich zu ≤ 10 PSU vorübergehend gehemmt, jedoch zeigte sich am Ende des Versuches kein signifikanter Unterschied im Körpergewicht der Smolts für die vier Salinitäten. Handeland et al. (1998) gehen davon aus, dass das Wachstum auf lange Sicht bei Brackwasserbedingungen höher sein kann, als in Meerwasser.

Anlagenbeschreibung - RAS2020

Die „RAS2020“ Anlage der Firma „Krüger/Veolia“ ist ein Aquakultursystem, das aus einem inneren und äußeren modularem Ringtank besteht (Abbildung 3). Je nach Bedarf und Aufzuchtstadium kann der Tank in unterschiedlich große Segmente unterteilt werden. Dies ermöglicht die Aufzucht von Lachsen im gleichen Kreislauf vom Setzling bis zur vollen Marktgröße. In einem Wasservolumen von 6.400 m³ bewegen sich die Fische dabei in der Ringtankanlage kontinuierlich in einem angepassten Gegenstrom. In der Mitte des inneren Ringes befindet sich eine Plattform, unter der sich der Biofilter und ggf. der Denitrifikationsreaktor befinden. Die kompakte Konstruktion der Tanks ermöglicht einen niedrigen Gesamtflächenverbrauch. Das Hallengebäude umfasst 66,8 x 50 m plus einer weiteren Halle von ca. 15 x 20 m für Zulaufwasserförderung und -aufbereitung und bspw. Werkstatt. Nach Erreichen des Endgewichtes werden die Fische über kurze Wege in die Weiterverarbeitung geleitet. Nach Bedarf kann in der Anlage das versandfertig abgepackte Produkt entstehen. Die Abwasseraufbereitung kann je nach Umweltauflagen am Standort angepasst werden. Für mehr Informationen siehe <http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/ras2020/en/>. Eine RAS2020 Anlage für Lachse befindet sich in Lostallo in der Schweiz (<https://swisslachs.ch/>). Dort wird die 600 t Anlage mit Oberflächenwasser (19,8 m³/h) gespeist. In dieser Studie wird von einer Anlage mit einer Jahresproduktion von 1.200 t Fisch (Endgewicht 4.500 g), bei einem täglichen Einsatz von 4.200 kg Futter und einem Wasserverbrauch von 60 m³/h ausgegangen. Die Wassertemperatur sollte zwischen 14-18 °C Grad liegen und wird eine Kühlung erforderlich machen. Der Gesamtenergieverbrauch der Anlage (inkl. Equipment, Gebäude, Zulaufwasserförderung/-aufbereitung und Abwasseraufbereitung) liegt bei 6.120.000 kWh im Jahr, bzw. 5,1 kWh/kg Futter. Zur Abwasserzusammensetzung und -aufbereitung siehe Kapitel 7.

Die Wasseraufbereitung im System besteht u.a. aus:

- Trommelfilter zur Beseitigung von partikulärem organischem Material/Partikelseparation
- Bewegtbettbiofilter (1.000 m³) zur Nitrifikation
- Eiweiß-Abschäumer zur Beseitigung von fein-partikulärem organischen Material
- UV/Ozon
- Trickling/Vacuum-Degasser - CO₂ und N₂ Entgasung
- Venturi-Oxy - Reiner Sauerstoff
- Temperierung

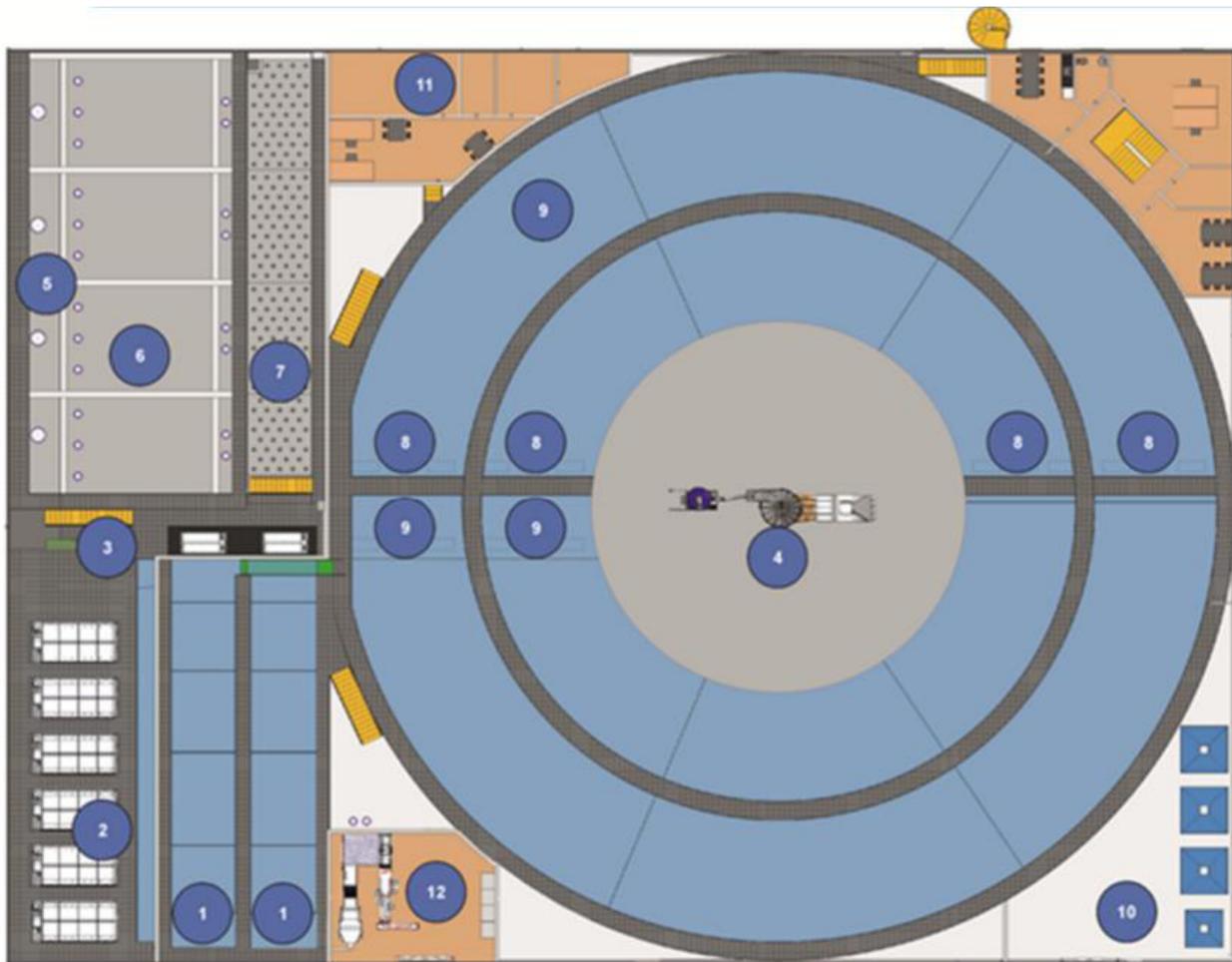


Abbildung 3. RAS2020 ©Krüger/Veolia, 1: Spülbehälter, 2. Trommelfilter, 3. UV Filter, 4. Bewegtbettbiofilter und Fischpumpe/waage, 5. Propellerpumpen, 6. CO₂ Entgaser, 7. Medium Head Oxidations Einheiten, 8. Auslass Wasseraufbereitung zum Fischtank, 9. Einlass vom Fischtank zum RAS und Anströmer, 10. Fütterungssystem, 11. Kontrollraum, 12. Verarbeitung.

2.2.3 Seriola / RAS2020

Artbeschreibung – Gelbschwanzmakrele (*Seriola lalandi*)

Die Gelbschwanzmakrele (*Seriola lalandi*) auch Bernsteinfisch genannt, gehört zur Familie der „Stachelmakrelen“ (Carangidae) (Fischlexikon.eu). Die Gelbschwanzmakrele ist ein benthopelagischer Salz- und Warmwasserfisch mit einem Verbreitungsgebiet im pazifischen und indischen Ozean (Fischlexikon.eu).

Die Haltung der Gelbschwanzmakrele in Aquakultur hat in Netzgehegen in Japan begonnen. Sie wird, wie andere *Seriola*-Arten auch, in der Regel als Sushi oder Sashimi verzehrt. Gelbschwanzmakrelen werden sowohl in Netzgehegen (Australien, Mexico, Hawaii, Chile) als auch in Kreislaufanlagen (Dänemark, Niederlande, Deutschland) aufgezogen und das Interesse an dieser schnellwachsenden Art steigt weiter an (Premachandra et al., 2017). Die Versorgung mit Jungfischen basierte zunächst auf dem Fang von wildlebenden Exemplaren, es werden aber mehr und mehr Jungfische von Züchtern bereitgestellt. In Westaustralien beispielsweise konnten Gelbschwanzmakrelen während ihrer natürlichen Laichzeit (Frühling-Sommer) zur Gonadenreifung und zum Ablachen in Gefangenschaft gebracht werden (Kolkovski, 2005). Die Larven wachsen schnell und eine Umstellung auf Mikropellets ist schon nach 20 Tagen nach dem Schlupf, teilweise sogar schon nach 15 Tagen möglich (Kolkovski & Sakakura, 2006). In den marinen Netzkäfigen in Südaustralien können Gelbschwanzmakrelen ihr Startgewicht von 8-50 g auf

1,5 kg innerhalb von 6-8 Monaten erhöhen (PIRSA, 2002). Dies ist jedoch stark von der Wassertemperatur abhängig. Bei niedrigen Temperaturen im Winter können die Makrelen ihr Wachstum auch komplett einstellen. Hier bieten die konstanten Temperaturen einer Kreislaufanlage einen Vorteil. Die Wasserqualitätsansprüche für die Gelbschwanzmakrele sind in Tabelle 4 dargestellt.

In der EU wird die Gelbschwanzmakrele in geschlossenen KLA, bereits in Dänemark (Sashimi Royal in Hantsholm, sowie deren Setzlinge im Maximus in Bedsted Thy), den Niederlanden (Kingfish Zeeland) und Deutschland (Fresh Völklingen GmbH) produziert.

Tabelle 4. Wasserqualitätsansprüche der Gelbschwanzmakrele nach unterschiedlichen Autoren.

Parameter	Einheit	Orellana et al., 2014	Abbink et al., 2012 (Juvenile)	Timmons & Ebeling, 2007 (Fische allgemein)
Temperatur	°C	22,6 ± 1,4	26,5	
pH		7,5 ± 0,1	7,0-8,0	6,5-8,5
Sauerstoff (O ₂)	mg/l	nahe Sättigung		>5,0
Kohlendioxid (CO ₂)	mg/l	8,3 ± 2,47		<20,0
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l			
Ammoniak (NH ₃ -N)	mg/l			<0,0125
TAN (NH ₃ und NH ₄ ⁺)	mg/l	0,74 ± 0,42		<3,0 Warmwasser
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,69 ± 0,79 (in Studie anfangs erhöht)		<1,0 (0,1 in weichem Wasser)
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	<177,0		0,0-400,0 oder höher
Salzgehalt	PSU	32,0	14,0-22,0	

Salzwasserverträglichkeit *Seriola*

Die Auswirkungen des Salzgehaltes auf die Plasmaosmolalität, die Kardinalzellichte, den Futterverbrauch und die Umsatz- und Wachstumsleistung von *Seriola lalandi* wurden in einer Studie von Garcia et al. (2014) bewertet. Fische mit einem Gewicht von 11,6 ± 0,6 g wurden 29 Tage lang bei 14, 18, 22, 26 (experimentell) und 30 PSU (Kontrolle) in unabhängigen Rezirkulations-Aquakultursystemen im Pilotmaßstab gehalten. Es wurden keine Unterschiede in der Plasmaosmolalität oder Chloridzellzahl in den Kiemen beobachtet, was auf eine starke osmoregulatorische Kapazität bei den Jungtieren hinweist. Fische mit 14, 18 und 22 PSU hatten höhere Wachstumsraten als Fische bei 26 und 30 PSU. Die höhere Wachstumsrate bei niedrigerem Salzgehalt resultierte aus einer erhöhten Futteraufnahme. Wie sich der unterschiedliche Salzgehalt in der „Grow-Out“ Phase auswirkt ist nicht bekannt. (Garcia et al., 2014).

Anlagenbeschreibung - RAS2020

Die „RAS2020“ Anlage der Firma „Krüger/Veolia“ ist ein Aquakultursystem, das aus einem inneren und äußeren flexiblen modularem Ringtank besteht (Abbildung 3). Je nach Bedarf und Aufzuchtstadium kann der Tank in unterschiedlich große Segmente unterteilt werden. Dies ermöglicht die Aufzucht von *Seriola* im gleichen Kreislauf vom Setzling (die Aufzucht vom Ei bis zum Setzling findet im „Maximus“ in Bedsted Thy, Dänemark statt) bis zur vollen Marktgröße. Eine RAS2020 Anlage für *Seriola* befindet sich in Hanstholm in Dänemark (Bilder hierzu unter www.sashimiroyal.com). Dort wird die Anlage mit 60 m³/h Wasser direkt aus der Nordsee gespeist. In einem Wasservolumen von 6.400 m³ bewegen sich die Fische dabei kontinuierlich in einem angepassten Gegenstrom in der Ringtankanlage. In der Mitte des inneren Ringes befindet sich eine Plattform, unter der sich der Biofilter und ggf. der Denitrifikationsreaktor befinden. Die kompakte Konstruktion des Tanks ermöglicht einen niedrigen Flächenverbrauch. Nach

Erreichen des Endgewichtes werden die Fische über kurze Wege in die Weiterverarbeitung gefördert. Nach Bedarf kann in der Anlage das versandfertig abgepackte Produkt entstehen. Für mehr Informationen siehe <http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/ras2020/en/>). Das Hallengebäude umfasst 66,8 x 50 m plus einer weiteren Halle von ca. 15 x 20 m für Wasserwerk, Wasseraufbereitung und bspw. Werkstatt. Ausgelegt ist die Anlage auf 1.200 t Fisch (Endgewicht 4.500 g) pro Jahr, bei einem täglichen Einsatz von 4.200 kg Futter und einem Wasserverbrauch von 60 m³/h. Die Wassertemperatur sollte zwischen 18-28 °C Grad liegen und wird ggf. erwärmt werden müssen. In dieser Studie wird für die Temperierung von einem Energieverbrauch von 1.000.000 kWh/Jahr ausgegangen. Der Gesamtenergieverbrauch der Anlage (inkl. Equipment, Gebäude, Intake System, WWTP) liegt bei 6.120.000 kWh im Jahr, bzw. 5,1 kWh/kg Futter. Zur Abwasserzusammensetzung und -aufbereitung siehe Kapitel 7.

Die Wasseraufbereitung im System besteht u.a. aus:

- Trommelfilter zur Beseitigung von partikulärem organischem Material/Partikelseparation
- Bewegtbettbiofilter (1.000 m³) zur Nitrifikation
- Eiweiß-Abschäumer zur Beseitigung von fein-partikulärem organischen Material
- UV/Ozon
- Trickling/Vacuum-Degasser - CO₂ und N₂ Entgasung
- Venturi-Oxy - Reiner Sauerstoff
- Temperierung

2.2.4 Forelle / dänische Model Typ 3 Anlage

*Artbeschreibung - Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*)*

Die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) gehört zu den Salmoniden (Lachsfischen) und stammt aus dem pazifischen Einzugsgebiet Nordamerikas. Sie ist sowohl für den Angelsport als auch für die Nutzung in der Aquakultur in fast alle Länder eingeführt worden und gehört zur weltweit verbreitetsten Salmonidenart. Ihr natürlicher Lebensraum reicht von kleinen, kalten Wasserströmen bis zu Seen und Küstenlebensräumen. Einige Populationen verfügen über eine anadrome Lebensweise (sog. Steelheads).

Die Regenbogenforelle gilt als robust, leicht zu vermehren und zeichnet sich durch ein schnelles Wachstum aus. Durch diese Vorteile hat sie sich nach dem Atlantischen Lachs (*Salmo salar*) als zweitwichtigste Salmonidenart auf dem Markt etabliert. In Deutschland wird die Regenbogenforelle in der Regel intensiv in Durchflussanlagen gehalten. Die in der deutschen Aquakultur produzierte Menge an Regenbogenforellen belief sich 2017 auf rund 6.800 t (Destatis, 2018). Deutschland ist ein großer Markt für Portionsforellen, welche überwiegend aus der Türkei und Dänemark stammen. Angeboten werden die Forellen als Portionsforellen (bis etwa 300-450 g) mit hellem Fleisch und als Lachsforellen mit rotem Fleisch (1.000-3.000g). Die Fische werden mit etwa 5-10 g eingesetzt und wachsen in der Regel in etwa 12-15 Monaten zur Marktreife als Portionsforelle heran. Die genaue Wachstumsleistung der Fische ist dabei abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren wie z.B. der Temperatur. Die Wasserqualitätsansprüche für Regenbogenforellen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5. Wasserqualitätsansprüche der Forelle nach unterschiedlichen Autoren.

Parameter	Einheit	Optimum nach Schreckenbach, 2010	Optimum nach Baur & Rapp, 2003	Richtwerte nach VDFF, 2016	Wasserqualität in KLA** Dalsgaard et al., 2013
Temperatur	°C	12,0-16,0	12,0-16,0	4,0-18,0	2,0-21,0
pH		6,5-8,0	6,5-8,0	6,0-8,0	6,5-8,0
Sauerstoff (O ₂)	mg/l	7,0-30,0	7,0-30,0	>6,0	6,0-8,0
Kohlendioxid (CO ₂)	mg/l	5,0-8,0	5,0-8,0		≤15,0
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l			<0,5	
Ammoniak (NH ₃)	mg/l	<0,01; Brut 0,005	<0,01; Brut 0,005	<0,01	
Nitrit (NO ₂ ⁻)*	mg/l		<0,1 in weichem Wasser; <0,2 in hartem Wasser	<0,5	<3,285
Salpetrige Säure (HNO ₂)	mg/l	<0,0002	<0,0002		
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	<200,0	<30,0		<885,4
TAN (Total Ammonia Nitrogen)	mg/l				<7,5
Salzgehalt	PSU				0,0-30,0

*Die Toxizität des Nitrits kann durch die Salzkonzentration im Wasser gehemmt werden (Bregnballe, 2015).

**Wasserqualitätsparameter, die unter den allgemeinen Bedingungen beim Betrieb von kommerziellem oder Pilot-KLA beobachtet werden.

Salzwasserträglichkeit Forelle

Regenbogenforellen sind eine genetisch diverse Art mit anadromen Populationen (Behnke, 1992) und können i.d.R. in Süß- oder Brackwasser gehalten werden (Altinok & Grizzle, 2001; Teskeredzic et al., 1989). Bei der Regenbogenforelle zeigte sich in einer Studie von Altinok & Grizzle (2001) bei Salzgehalten von 3 und 9 PSU eine höhere Wachstumsrate und eine verbesserte Wachstumseffizienz als bei einem Salzgehalt von 1 PSU oder Süßwasser. Je nach genetischem Stamm und Alter kann sich der Salzgehalt unterschiedlich auswirken. So zeigten sich bei einem Süßwasserstamm *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) gleiche Wachstumsraten bei Süßwasser und bei 9 PSU, aber ein signifikant langsames Wachstum bei 18 PSU, während anadrome steelhead *O. mykiss* ein schnelleres Wachstum in Süßwasser, aber ein langsames Wachstum bei 4 und 8 PSU (ohne weiter Abnahme bei 12 und 16 PSU) aufwiesen. Bei Tsintsadze (1991) lagen die höchsten Wachstumsraten bei 15-18 PSU. Nach McKay & Gjerde (1985) sollte ein Salzgehalt von 20 PSU nicht überschritten werden, da Wachstum und Überlebensrate danach sinken.

Ein in Deutschland bekannter Stamm der Forelle ist die BORN Forelle, die im Brackwasser der Boddengewässer in Mecklenburg-Vorpommern vorkommt. Dieser Stamm gilt als besonders robust, krankheits- und stressresistent und könnte für die Haltung in Brackwasser geeignet sein. Siehe hierzu http://www.aquakultur-mv.de/static/AQUA/Dokumente/Forschen/Abschlussbericht_Pilot_BORNforelle_4Dez15.pdf. Neben dem genetischen Stamm können auch andere Faktoren in der Ionenzusammensetzung und der Wasserqualität Einfluss auf das Wachstum haben (Iwama, 1996).

Anlagenbeschreibung - dänische Teil-KLA Model Typ 3

Die Forellenanlage, eine sogenannte Model Typ 3 Farm, ist eine in Dänemark häufig vorkommende Form der Forellen Produktion (Jokumsen & Svendsen, 2010). Hinter der Bezeichnung „dänische Model Farm Typ 3“ steht der Technisierungsgrad (von 1-3), in Bezug auf die Wasseraufbereitung. Als Model Typ 1 Farmen werden in der Regel traditionelle, extensive Farmen, mit Durchflusssystem bezeichnet, die zur Wasseraufbereitung lediglich mechanische Filterung nutzen und nur z.T. das Wasser, das belüftet oder oxygeniert wurde, rezirkulieren. Durch strengere Umweltauflagen in Dänemark wurden die Farmen z.T. umgerüstet und weiter technisiert. Die Generation der Model 3 Farmen können durch die optimierte Wasseraufbereitung ohne höheres Abwasseraufkommen mehr Fische produzieren. Eine Model Typ 3 Anlage ist in dänischen Anlagen häufig nur mit Netzen gegen Fressfeinde überspannt. Für den Standort Friedrichstadt sollte auf Grund der räumlichen Nähe zu gewerblicher und Wohnbebauung eine Einhausung erfolgen. Die Anlage nach dem Modell der Firma „NC Consulting ApS“ (Abbildung 4) hat eine jährlichen Produktion von 225 Tonnen Regenbogenforellen in Kaltwasser und einen Wasserverbrauch von 72 m³/h. Die max. tägliche Futtermenge beträgt 849 kg. Die Anlage mit einer Produktionsfläche von 75,75 m x 20,05 m besteht aus 21 Rinnen (a 16,75 x 2,5 x 1,2-1,35 m) und einem Produktionsvolumen von ca. 879 m³. Niedrige Pumphöhen von 0,3-0,7 m sorgen für einen vergleichsweise geringen Energieverbrauch. Der Gesamtenergieverbrauch der Anlage liegt bei 300.168 kWh im Jahr, bzw. 1,07 kW/kg Futter. Der Wasserbedarf kann ggf. reduziert werden, bedarf dann aber evtl. einer Temperierung und intensiveren Abwasseraufbereitung. Eine Besonderheit der dänischen Model Farm ist die Wasseraufbereitung durch Pflanzenkläranlagen. Siehe hierzu und zur Abwasserzusammensetzung Kapitel 7.

Die Wasseraufbereitung in der Anlage besteht u.a. aus:

- Trommelfilter mit 40 µm Siebgaze, zur Entfernung von partikulärem organischem Material
- Bewegtbettbiofilter (232 m³) zur Nitrifikation
- Capsel Blower - Belüftung
- Venturi Blower zur Entgasung
- Injektor-Plattformen zum Eintrag von reinem Sauerstoff



Abbildung 4. Dänische Teil-KLA ©Nielsen „NC Consulting ApS“, A: Ansicht vom Süden des Gebäudes mit Biofiltern im Vordergrund, B: Trommelfilter, C: Capsel und Venturi Blower zu Belüftung und Entgasung, D: Entgasung mit Venturi Blower und Rohrsystem.

2.2.5 Garnele / Konventionelle KLA

Artbeschreibung - Weißfuß-Garnele (Litopenaeus vannamei)

Die Weißfuß-Garnele (*Litopenaeus vannamei*) ist ein Zehnfußkrebs aus der Familie der Penaeiden. Sie stammt aus dem östlichen Pazifik, wo sie von Mexiko (Norden) bis Ecuador (Süden) an allen Mittelamerikanischen Küsten verbreitet ist. Die frühen Lebensstadien dieser Garnelenart leben als Plankton in der freien Wassersäule von Flussmündungen und Mangrovenwäldern, während die erwachsenen Tiere am Meeresboden in bis zu 70 m Tiefe anzutreffen sind. Aufgrund der geographischen Lage fällt die Wassertemperatur ganzjährig nicht unter 20 °C. Die Salzgehalte dieser Lebensräume reichen von brackigem Süßwasser (4 PSU) bis zu marinem Salzwasser (40 PSU). Diese Garnelenart besitzt eine herausragende Bedeutung in der weltweiten Aquakultur. Sie wird seit Ende der 1960er Jahre produziert und stellt in Hinblick auf Gesamtwert und -volumen die wichtigste in Aquakultur produzierte Krustentierart der Welt dar. Die Weißfuß-Garnele wird vor allem in Asien (insb. China, Indien, Vietnam und Malaysia), Nord- und Südamerika in extensiv bis intensiv bewirtschafteten Erdteichen produziert. Hierbei findet die Produktion nach Lebensabschnitten getrennt statt. Spezialisierte Brutbetriebe übernehmen die Elterntierhaltung, Reproduktion und die Aufzucht der Jungtiere. Die Mastteiche werden mit Satzmaterial, in der Regel ca. 10 bis 15 Tage alten Postlarven, besetzt und nach ca. 4-6 Monaten (extensiv) bzw. nach 3-5 Monaten (intensiv) mit einem Körpergewicht von 11 bis 25 g geerntet. (Artbeschreibung leicht abgewandelt aus Meyer et al., 2016). Die Wasserqualitätsansprüche für Penaeiden sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6. Wasserqualitätsansprüche der Garnele nach unterschiedlichen Autoren.

Parameter	Einheit	van Wyk & Scarpa, 1999	In Wickins & Lee, 2002
Temperatur	°C	28,0-32,0	26,0-30,0
pH		7,0-8,3	7,8-8,3
Sauerstoff (O ₂)	mg/l	5,0-9,0	>5,0
Sauerstoffsättigung	%		85,0-103,0
Kohlendioxid (CO ₂)	mg/l	<20,0	<20,0
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l		
Ammoniak (NH ₃ -N)	mg/l	<0,03	
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	<1,0	<0,3-0,8
Salpetrige Säure (HNO ₂)	mg/l	<0,002	<0,002
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	<60,0	443,0-885,0
Salinität	PSU	0,5-35,0	5,0-35,0
Härte & Alkalinität (CaCO ₃)	mg/l		150, 0-200,0

Salzwasserverträglichkeit Garnele

Garnele in der Aquakultur werden bei Salinitäten von 0-35 PSU kultiviert. Boyd (1989) berichtet, dass Salinitäten zwischen 15 und 25 PSU ideal für *L. vannamei* sind, während Samocha et al., (2004) gutes Wachstum bei juvenilen *L. vannamei* bei <3 PSU sieht. Eine Studie von Li et al. (2007) zeigte, dass *L. vannamei* sich an unterschiedliche Salzgehalte anpassen können, aber bei niedrigen Salzgehalten anfälliger für Ammoniak-Toxizität sind und mehr Energie für die Osmoregulation aufwenden müssen. Beim Vergleich von 3, 17 und 32 PSU wies Li et al., (2007) das beste Wachstum für *L. vannamei* bei 17 PSU und die höchsten Überlebensraten bei 17 und 32 PSU nach. Bei Bray et al. (1994) zeigten juvenile *L. vannamei* das beste Wachstum bei 5 und 15 PSU, im Vergleich zu 25, 23 und 49 PSU, während die Überlebensrate bei allen Salinitäten gleich hoch war. Von großer Bedeutung scheint das Ionenverhältnis. Unterschiedliche Studien ergaben, dass ein Ionenverhältnis ähnlich des Meerwassers die besten Wachstums- und Überlebensraten erzielt (z.B. Valenzuela-Madrigal et al., 2017).

Anlagenbeschreibung – Konventionelle KLA

Die Anlage für Garnele wurde im Rahmen der „Konzeptstudie zur Nutzung der Synergieeffekte zwischen Industrieparks und Ernährungswirtschaft insbesondere der Aquakultur in der Region Unterelbe“ (Meyer et al., 2016) basierend auf Daten der Garnelenfarm „Grevesmühlen/Cara Royal“ von der Firma „Green Aqua Farming (GAF) GmbH + Co. KG.“ konzipiert.

Die Anlage (Abbildung 5) mit einer Gesamtfläche von 1.500 m² besteht aus vier unabhängigen Kreislaufmodulen, d.h. vier getrennten Wasserkörpern mit insgesamt acht Langstrombecken (35*5*0,7 m, PE-HD-Doppelstegplatten) in Doppelstockbauweise. Jeweils zwei Langstrombecken, die sich auf derselben Ebene befinden, sind an einen Wasserkreislauf angeschlossen und teilen sich eine Wasseraufbereitung. Die Becken verfügen über seitlich umlaufende Netzwände zum Schutz gegen herauspringende Tiere und bewegliche Beckenabtrennungen, die es ermöglichen verschiedene Produktionschargen (verschieden große Tiere) im selben Becken voneinander getrennt zu halten (Segmentierung). Die Anlage ist auf eine Jahresproduktion von 30 t bei einem Endgewicht von 25 g ausgelegt. Der Wasserverbrauch liegt bei 0,86 m³/h bei einer max. täglichen Fütterungsrate von 165 kg. Die Wassertemperatur liegt bei 28 °C. Im jährlichen Energieverbrauch ergeben sich so 522.720 kW/h, bzw. 10,05 kWh/kg Futter. (Anlagenbeschreibung leicht abgewandelt aus Meyer et al., 2016). Zur Abwasserzusammensetzung siehe Kapitel 7.

Die Wasseraufbereitung in der Garnelenanlage besteht aus:

- Trommelsieb zur Beseitigung von partikulärem organischem Material mit 40 µm Nylon Siebgaze
- Eiweiß-Abschäumer zur Beseitigung von fein-partikulärem organischem Material
- Bewegbettbiofilter zur Nitrifikation
- Denitrifikationsreaktor zur anaeroben Umwandlung von Nitrat (NO_3^-) zu Luftstickstoff (N_2)
- Einrichtung zur Belüftung und Sauerstoffanreicherung
- Ozongeneratoren zur Desinfektion des Prozesswassers
- Wärmetauscher

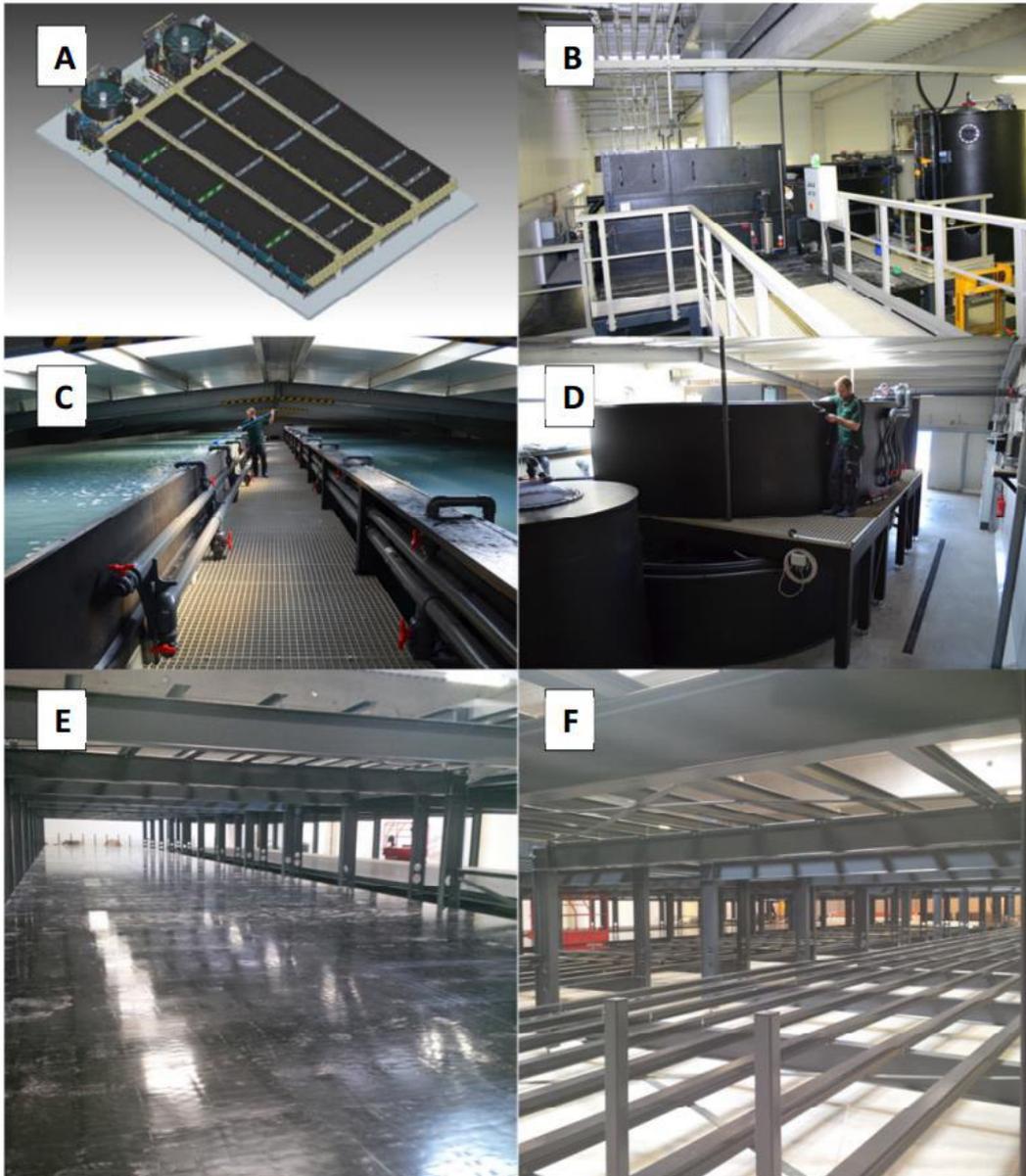


Abbildung 5. A: Schematische Darstellung der Garnelen-KLA. Fotografien von GAF Bestandsanlagen, B: Wasseraufbereitungstechnik, C: Becken, D: Biofilter, E: Bodenplatte in der Bauphase, F: Stahlträgerkonstruktion zu Aufnahme der Becken in der Bauphase; aus Meyer et al. (2016).

3. Standortrecherche

Die primäre hydrogeologische Voraussetzung an Standorten, die im Verlauf der Studie weiter betrachtet wurde, ist das Vorkommen von Grundwasser mit erhöhten Salzgehalten. Die Versalzung von Grundwasser wird zum einen durch Intrusion von Meerwasser verursacht, zum anderen durch den Aufstieg von Solen aus Salzstöcken. Geeignete Standorte in Schleswig-Holstein sind daher in der Nähe der Küsten von Nord- und Ostsee und von Tide-beeinflussten Gewässern sowie im Umfeld von Salzstöcken zu erwarten.

Zu Beginn der Studie wurde zunächst eine Vorauswahl von für die Aquakultur geeigneten Standorten getroffen. Voraussetzungen hierfür waren, dass gut erschließbares salzhaltiges Grundwasser zu erwarten ist und günstige infrastrukturelle Faktoren (Logistik, Erschließungsstand) vorliegen. Im weiteren Verlauf wurden zu allen ausgewählten Lokalitäten Daten zur Grundwasserverfügbarkeit und Grundwasserbeschaffenheit recherchiert, geeignete Flächen bei regionalen Entscheidungsträgern abgefragt und Möglichkeiten zur Entsorgung der aufbereiteten salzhaltigen Abwässer abgeschätzt (siehe Kapitel 3.1). In der Synthese dieser Recherchen wurden für fünf Art-Technik-Kombinationen jeweils der optimale Standort für die weitere Bearbeitung im Rahmen dieser Studie ausgewählt.

3.1 Vorauswahl potentieller Standorte in Schleswig-Holstein

Eine graphische Übersicht der Lage der im Rahmen der Vorauswahl betrachteten Standorte zeigt Abbildung 6. Details zu den einzelnen Standorten, die Ergebnisse der Recherche zur Grundwasserverfügbarkeit, sowie zu Möglichkeiten der Abwasserentsorgung sind in Tabelle 7 zusammenfassend dargestellt. Insofern für den jeweiligen Standort ein Vorkommen von salzhaltigem Grundwasser anzunehmen ist, sind auch passende Art-Technik-Kombinationen angegeben. Bei der Standortsuche wurde, wie in Kapitel 1.1 beschrieben, auf einen passenden Salzgehalt für die jeweilige Art und einen der Anlage entsprechenden Wasser- und Flächenbedarf (siehe Tabelle 1) Wert gelegt. Die Bewertung ergibt sich schließlich als Synthese der Rechercheergebnisse für die analysierten Standortfaktoren.

An den Standorten (für Nummerierung, siehe Tabelle 7) Büdelsdorf (26), Schleswig-Schuby (27), Bargum (10) und Seeth (14) ist anhand der Recherche der Grundwassergegebenheiten die Höffigkeit von ausreichend salzhaltigem Grundwasser nicht gegeben. Die betrachteten Standorte im Umfeld von Salzstöcken (Lägerdorf (18+19), Itzehoe (17), Tornesch (21), Elmshorn (20), Gönnebek (28), Trappenkamp (29)) wurden nicht weiter betrachtet, da hier salzhaltiges Grundwasser erst in Tiefen > 100 m unter Gelände zu erwarten ist und die Erschließung somit vergleichsweise hohe Kosten verursachen würde. An sämtlichen zur weiteren Betrachtung ausgewählten Standorten ist das Vorkommen von salzhaltigem Grundwasser somit auf die Intrusion von Meerwasser zurückzuführen.

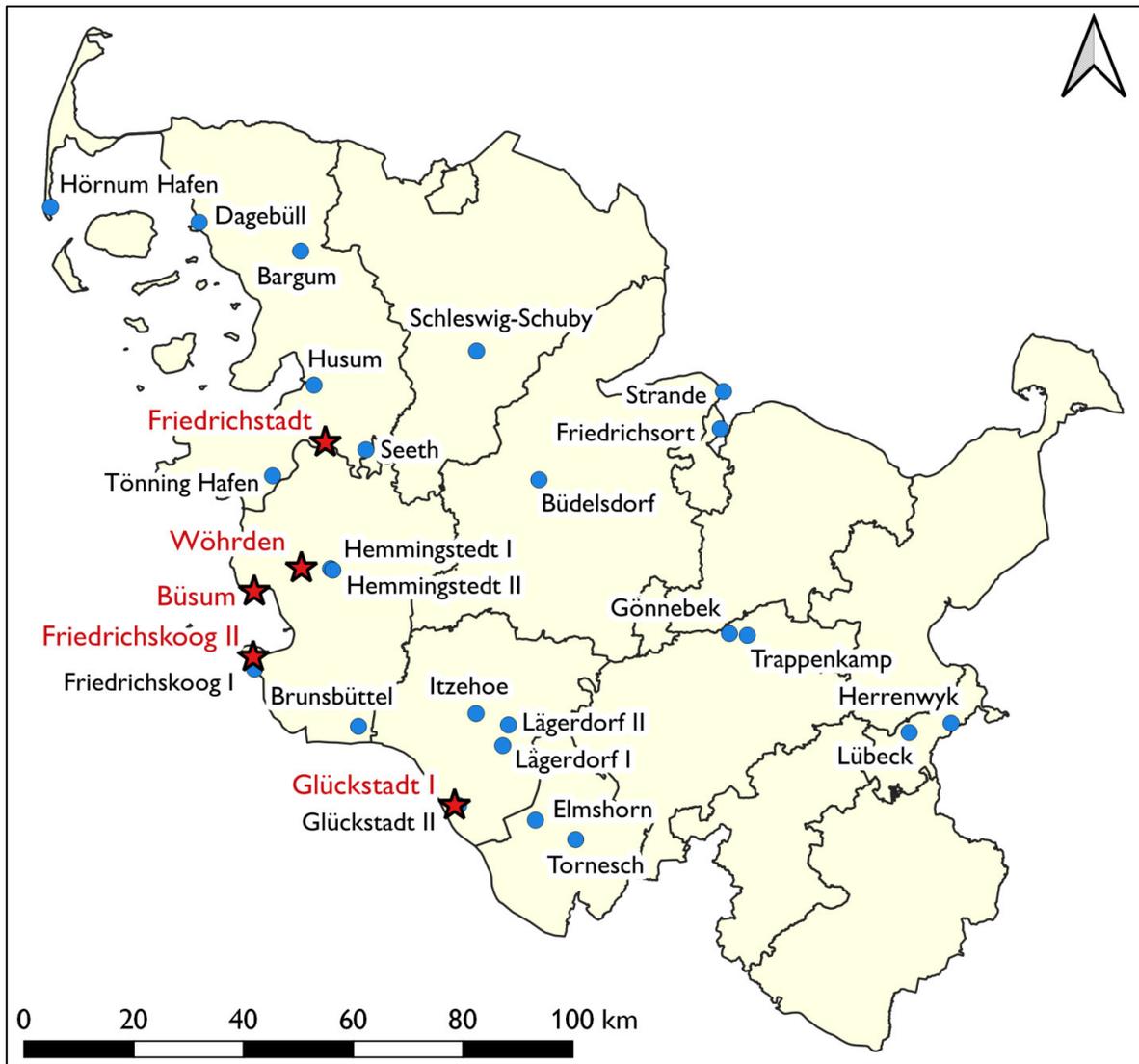


Abbildung 6. Vorauswahl der potentiellen Standorte in Schleswig-Holstein (siehe Tabelle 7). Die im Rahmen der Modellstudie näher betrachteten Standorte sind in rot dargestellt.

Die Standorte Lübeck (23), Husum (13), Friedrichskoog I (7) und Hörnum (12) wurden ausgeschlossen, da bei der Befragung regionaler Entscheidungsträger keine geeigneten Flächen identifiziert werden konnten. An grundsätzlich geeignet erscheinenden Standorten in Herrenwyk (22) und Friedrichsort (24) ergab die Recherche der ausgewählten Flächen einen Altlastenverdacht und somit Inanspruchnahme- und Investitionsrisiken.

Bei mehreren für die jeweilige Art-Technik-Kombination geeigneten Standorten wurde der aufgrund der vorhandenen Datenlage am vielversprechendsten erscheinende Standort ausgewählt. So wurde beispielsweise der Standort Tönning (15) nicht weiter betrachtet, da hier vergleichsweise wenig geologische Aufschlusdaten und somit kaum Informationen zum Grundwasserleiter vorliegen. Die Standorte Hemmingstedt I und II (8 + 9) und Brunsbüttel (6), die grundsätzlich für die Art-Technik-Kombinationen Zander und Garnele geeignet erscheinen, wurden im Rahmen dieser Studie zugunsten der Standorte Wöhrden (Garnele, 4) und Glückstadt (Zander, 1) außer Betracht gelassen, da dort deutlich günstigere infrastrukturelle Gegebenheiten vorhanden sind.

Tabelle 7. Übersicht aller in der Vorauswahl betrachteten Standorte.

Nr.	Standort, Kreis	Fläche, Infrastruktur	Recherche Grundwasser	Recherche Abwasser	mögliche Art-Technik-Kombination	Bewertung
1	Glückstadt I, Steinburg	bei der Steinbeis Papier GmbH, Abwärme von der Steinbeis Papier GmbH	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Salzgehalt vermutlich bis max. ca. 3 PSU	Nutzung der Kläranlage von Steinbeis Papier GmbH (N-Mangel), Einleitung in Vorfluter Elbe	Zander	Modellstandort für Art-Technik-Kombination Zander
2	Büsum, Dithmarschen	Südöstlich von MariCUBE und GMA	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Meerwasser-Intrusion, hoher Salzgehalt	Einleitung in die Nordsee	Lachs	Modellstandort für Art-Technik-Kombination Lachs
3	Friedrichskoog II, Dithmarschen	Nordöstlich der DEA Deutsche Erdoel AG, Geothermie aus Erdölförderung	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Meerwasser-Intrusion, hoher Salzgehalt	Einleitung in die Nordsee	Seriola	Modellstandort für Art-Technik-Kombination Seriola
4	Wöhrden, Dithmarschen	Nahe Westhof, ggf. Abwärme von Westhof-Bio-Frost	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Meerwasser-Intrusion	Einleitung in Norderstrom	Garnele	Modellstandort für Art-Technik-Kombination Garnele
5	Friedrichstadt, Nordfriesland	Gewerbegebiet Van-Wouwer-Straße	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, eher niedriger Salzgehalt zu erwarten	Einleitung in Großen Sielzug	Forelle	Modellstandort für Art-Technik-Kombination Forelle
6	Brunsbüttel, Dithmarschen	nahe Sasol	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter (Elbtalschotter), Salzgehalte ca 2 - 5 PSU, abnehmend mit Entfernung von Elbe	Einleitung in Nord-Ostsee-Kanal	Zander, Garnele	Garnele: Standort Wöhrden bevorzugt, da infrastrukturell günstiger Zander: Standort Glückstadt I bevorzugt, da dort bessere Entsorgung des Abwassers möglich
7	Friedrichskoog I, Dithmarschen	Nahe Seehundstation	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Meerwasser-Intrusion, hoher Salzgehalt	Einleitung in die Nordsee	Forelle, Garnele, Seriola	nicht weiter betrachtet, da keine geeignete Fläche vorhanden, nahe gelegener Standort bei DEA Deutsche Erdoel AG bevorzugt

Nr.	Standort, Kreis	Fläche, Infrastruktur	Recherche Grundwasser	Recherche Abwasser	mögliche Art-Technik-Kombination	Bewertung
8	Hemmingstedt I, Dithmarschen	Gewerbepark Westküste, Abwärme der Raffinerie	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Salzgehalt kleinräumig sehr unterschiedlich (Intrusion von Meerwasser, Aufstieg von salinaren Wässern vom Heider Salzstock)	Einleitung in Vorfluter Süderstrom (eher geringer Abfluss) ggf. Nutzung der Abwasserleitung der Raffinerie	Zander, Garnele	Garnele: nah gelegener Standort Wöhrden bevorzugt, da infrastrukturell günstiger Zander: Standort Glückstadt I bevorzugt, da dort bessere Entsorgung des Abwassers möglich
9	Hemmingstedt II, Dithmarschen	südöstlich vom Gewerbepark Westküste, Abwärme der Raffinerie		Einleitung in Vorfluter Dunkerstrom		
10	Bargum, Nordfriesland	Konversionsfläche Materiallager Bargum	kein salziges Grundwasser vorhanden, kein nutzbarer pleistozäner Grundwasserleiter	kein nahe gelegener Vorfluter	-	aufgrund der ungünstigen Grundwasser- und Abwassersituation nicht weiter betrachtet
11	Dagebüll, Nordfriesland	ehemalige Muschelverarbeitung	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Meerwasser-Intrusion, Salzgehalt bis ca. 7,5 PSU	Einleitung in die Nordsee	-	nicht weiter betrachtet, da hier Nutzung von Oberflächenwasser aus der Nordsee sinnvoller (bestehende Wasserrechte zur Entnahme und Einleitung)
12	Hörnum Hafen, Nordfriesland	nahe Hafen	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Meerwasser-Intrusion, Salzgehalt unklar	Einleitung in Nordsee	Garnele	Planung sieht derzeit verstärkten Ausbau der touristischen Nutzung vor, daher nicht weiter betrachtet
13	Husum, Nordfriesland	Außenbereich Hafen	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Meerwasser-Intrusion, potentiell hoher Salzgehalt	Einleitung in Husumer Au	Lachs	keine geeigneten Flächen, daher Standort Büsum für Art-Technik-Kombination Lachs bevorzugt
14	Seeth, Nordfriesland	Stapelholmer Kaserne	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Süßwasser, Nutzungskonflikt mit Trinkwassergewinnung	Naturschutzgebiet	-	aufgrund der ungünstigen Grundwasser- und Abwassersituation nicht weiter betrachtet

Nr.	Standort, Kreis	Fläche, Infrastruktur	Recherche Grundwasser	Recherche Abwasser	mögliche Art-Technik-Kombination	Bewertung
15	Tönning Hafen, Nordfriesland	Gewerbegebiet Gardinger Chaussee	potentiell salzhaltiges Grundwasser vorhanden, im Bereich des Standorts jedoch keine Aufschlussdaten >15m vorhanden, Bau von Grundwassermessstelle(n) notwendig	Einleitung in Norderbootfahrt	Lachs, Zander	aufgrund der besseren Datenlage wurden die Standorte Büsum (Lachs) und Glückstadt I (Zander) zur weiteren Betrachtung bevorzugt
16	Glückstadt II, Steinburg	Gewerbegebiet	oberflächennaher pleistozäner Grundwasserleiter vorhanden, Salzgehalt vermutlich bis max. ca. 3 PSU	Einleitung in Vorfluter Elbe	-	Baugrund ungünstig, nicht weiter betrachtet
17	Itzehoe, Steinburg	direkt an der Stör, östlich der Störbrücke	salziges Grundwasser in tertiären Schichten >150 m Tiefe vorhanden (Erschließung kostenintensiv) Trinkwasserkonflikt-Potential	Einleitung in Vorfluter Stör (nah)	-	aufgrund der ungünstigen Grundwassersituation nicht weiter betrachtet
18	Lägerdorf I, Steinburg	Bei Werk Holcim	salziges Grundwasser in >100 m Tiefe vorhanden (Erschließung kostenintensiv), konstante chemische Zusammensetzung des Grundwassers nicht gewährleistet	bestehende Genehmigung zu Salzwassereinleitung in die Stör	-	aufgrund der ungünstigen Grundwassersituation nicht weiter betrachtet
19	Lägerdorf II, Steinburg	Nördlich der Grube Saturn				
20	Elmshorn, Pinneberg	nahe Asmussen-Hefe	salziges Grundwasser in >100 m Tiefe vorhanden (Erschließung kostenintensiv)	Einleitung in Krückau	-	keine geeignete Fläche vorhanden, daher nicht weiter betrachtet
21	Tornesch, Pinneberg	bei Gartenbauzentrum, nahe A23	salziges Grundwasser in >100 m Tiefe vorhanden (Erschließung kostenintensiv), eingeschränkte Süßwasservorkommen in flachen Glazialsanden, Nutzungskonflikt mit Trinkwassergewinnung	Einleitung in Vorfluter Bilsbek vermutlich nicht möglich, da sehr niedrige Einleitgrenzwerte für Phosphat	-	aufgrund der ungünstigen Grundwasser- und Abwassersituation nicht weiter betrachtet

Nr.	Standort, Kreis	Fläche, Infrastruktur	Recherche Grundwasser	Recherche Abwasser	mögliche Art-Technik-Kombination	Bewertung
22	Herrenwyk, Lübeck	Konversionsfläche, ehemalige Papierfabrik	salziges Grundwasser ab ca. 60 - 80 m Tiefe, eher geringe Salzgehalte, potentiell Nutzung vorhandener Brunnen möglich	Einleitung in Vorfluter Trave	Forelle, Lachs	Altlastenverdacht, aufgrund des hohen Investitionsrisikos nicht weiter betrachtet
23	Lübeck, Lübeck	Untertrave	salziges Grundwasser ab ca. 60 - 80 m Tiefe, eher geringe Salz-gehalte	Einleitung in Vorfluter Trave	Forelle	keine geeignete Fläche gefunden
24	Friedrichsort, Kiel	bei MAK, Caterpillar	salziges Grundwasser (ca. 0,8 - 1 PSU) in ca. 80 – 100 m Tiefe vorhanden, potentielle Nutzung ehemaliger Brunnen	Einleitung in die Ostsee	-	Altlastenverdacht, komplizierte Situation mit Umweltbehörde, aufgrund des hohen Investitionsrisikos nicht weiter betrachtet
25	Strande, Kiel	Klärwerk Bülk, Ausbau der Firma Fördegarnelen, Abwärme vom Klärwerk	salziges Grundwasser (ca. 0,8 - 1 PSU) in ca. 80 – 100 m Tiefe vorhanden (Erschließung kostenintensiv)	Einleitung in Kläranlage / Ostsee	Garnele	nicht weiter betrachtet, da weiterhin Trinkwasser genutzt und aufgesalzen werden soll
26	Büdelndorf, Rendsburg-Eckernförde	Gewerbegebiet Carlshütte	kein salziges Grundwasser vorhanden	Einleitung in Vorfluter Obereider	-	aufgrund der ungünstigen Grundwassersituation nicht weiter betrachtet
27	Schleswig-Schuby, Schleswig-Flensburg	Gewerbepark Schleswig-Schuby	kein salziges Grundwasser vorhanden	kein nahe gelegener Vorfluter	-	Standort nur für Betrieb mit Trinkwasser geeignet, daher hier nicht weiter betrachtet
28	Gönnebek, Segeberg	Gärtnersiedlung, ehemals Holsten-Stör	salziges Grundwasser in >200 m Tiefe vorhanden (Erschließung sehr kostenintensiv)	kein nahe gelegener Vorfluter	-	aufgrund der ungünstigen Grundwasser- und Abwassersituation nicht weiter betrachtet
29	Trappenkamp, Segeberg	nahe Kiesgruben östlich der A21				

3.2 Modellstandorte zur näheren Betrachtung

3.2.1 Standort 1, Glückstadt I (Zander)

Der Standort 1 liegt in Glückstadt, im Bereich des Bebauungsplans Nr. 4.57 (Sondergebiet Hafen und Industriegebiet), südöstlich der Steinbeis Papier GmbH (Abbildung 7). Es besteht die Möglichkeit der Auskoppelung von industrieller Abwärme aus der Papierproduktion für die Erwärmung des der Fischzucht zufließenden Wassers. Im Bohrdaten-Archiv des LLUR sind Aufschlusssdaten aus Bohrungen zum Zweck von Wassererschließung und Baugrunduntersuchungen im Umfeld des Standorts vorhanden (Abbildung 7). Die Auswertung der Aufschlusssdaten findet sich in Kapitel 4. Auf dem Gelände der Firma Steinbeis Papier GmbH existiert zudem ein 2011 erbauter Feuerlöschbrunnen, der für die im Rahmen der Studie durchgeführte Grundwasseruntersuchung beprobt werden konnte (Abbildung 7, Br. 1, Steinbeis Papier GmbH).

Die Entsorgung des Abwassers aus der Fischzucht kann potentiell über die Werkskläranlage der Firma Steinbeis Papier GmbH erfolgen. Da der Betrieb überwiegend Cellulose verarbeitet hat die Werkskläranlage einen Überschuss an Kohlenstoff. Weitere Informationen zum Standort finden sich in Tabelle 8.

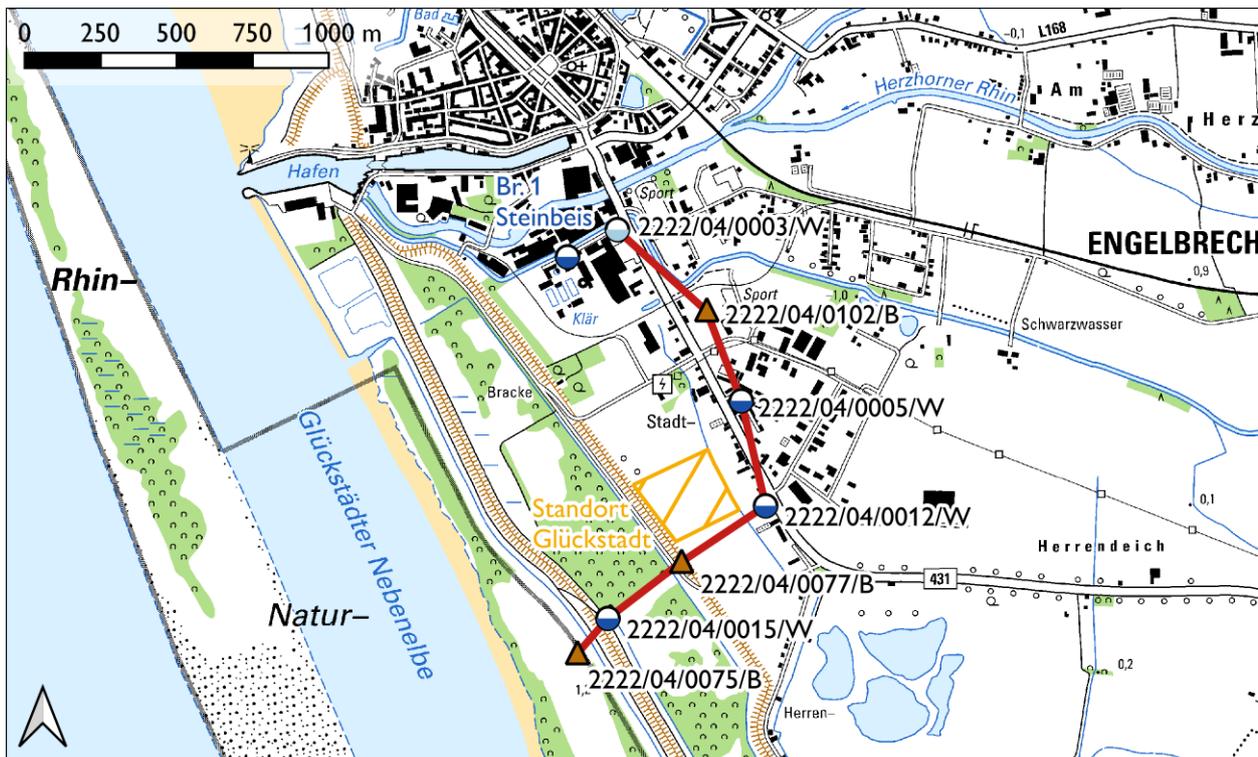


Abbildung 7. Übersicht des Standorts Glückstadt. Braune Dreiecke kennzeichnen Aufschlusss Bohrungen, die Kreissymbole Brunnen (in hellblau Brunnen ohne bekannte Filterstellung, in dunkelblau Brunnen mit bekannter Filterstellung). Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.1). Aus Br. 1, Steinbeis Papier GmbH, wurde eine Wasserprobe entnommen und analysiert.

Tabelle 8. Standortsteckbrief Glückstadt.

Grundstücksdaten	Lage: https://goo.gl/maps/hZpJiVSiYXw
Größe	57.000 m ²
Eigentümer	Privat
Erwerbsmöglichkeiten	Pacht und Verkauf
Planungsrechtlicher Zustand	Gültiger B-Plan (4.57) der Stadt Glückstadt GEE und GI (https://www.glueckstadt.de/index.php?object=tx 2985.244.1&NavID=2279.57&La=1)
Erschließungsstand	Teilerschlossen
Stromanschluss	vorhabenbezogene Erschließung
Wasseranschluss	vorhabenbezogene Erschließung
Abwasseranschluss	Übergabe an Werkskläranlage Steinbeis ab anschließender Grundstücksgrenze
Wärmekapazitäten	Nicht vorhanden, kann aber durch Erstellung einer Fernwärmeleitung von der Fa. Steinbeis Papier GmbH erschlossen werden
Verkehrsanschlüsse	Bahn: Bahnhof Glückstadt, 2,5 km Straße: B431 direkt anliegend, 19 km bis zur A23 Nach Elmshorn: 20 km Nach Itzehoe: 34 km Nach Hamburg: 50 km
Kontakt Daten	Stadt Glückstadt Am Markt 4 25348 Glückstadt Tel. 04124/930 411 e-Mail: Info@glueckstadt.de
Adressen zuständiger Behörden (Stadtverwaltung, Bau, Wasser, Naturschutz, Veterinärrecht)	Siehe Anlage 4
Besonderheiten	Mit besonderen Auflagen zum Lärmschutz für die angrenzende Wohnbebauung ist zu rechnen.

3.2.2 Standort 2, Büsum (Lachs)

Der Standort 2 befindet sich im Büsumer Hafenkoog in Büsum, südlich der Gebäude des MariCUBE, der Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH und des Forschungs- und Technologiezentrums (FTZ) Westküste der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Die Fläche befindet sich im Eigentum des Landes Schleswig-Holstein unter treuhändischer Verwaltung der Christian-Albrechts-Universität Kiel. Das MariCUBE ist ein Technologie- und Gründerzentrum und bietet z.B. Büro-, Labor- und Lagerräume für junge Unternehmen, die für die zukünftigen Betreiber der Aquakultur-Anlage am Standort sehr nützlich sein könnten. Die GMA betreibt angewandte Forschung in diversen Feldern der Aquakultur und zieht dadurch auch qualifizierte Aquakultur-Fachkräfte überregional nach Büsum.

Für die geplante Fläche besteht kein gültiger Bebauungsplan. Der bestehende Flächennutzungsplan der Gemeinde Büsum sieht in diesem Bereich Grünflächen (ohne besonderen Status) und Sondergebiete für Marines Bio- & Technologiezentrum (16. Änderung <https://daten.amt-buesum-wesselburen.de/share.cgi?ssid=0SiPnaz>) vor. Für die aktuelle Planung wurde angenommen, dass die

Anlage ausschließlich in das Gebiet der Grünflächen (ohne besonderen Status) fallen würde. Eine Erweiterung der Fläche auch in Richtung des Sondergebietes Marines Bio- & Technologiezentrum ist grundsätzlich denkbar und im Einzelfall zu prüfen.

Das Grundstück befindet sich außerdem in unmittelbarer Nähe zur Kläranlage der Gemeinde und dem Büsumer Hafen. Eine Weiterentwicklung der gesamten Fläche im Rahmen eines vorhabenbezogenen Änderungsverfahrens erscheint aussichtsvoll, da hierdurch auch Planungsgrundsätze des Landesentwicklungsplanes Schleswig-Holstein adressiert würden. Entsprechende Vorgespräche mit den örtlichen und landesweiten Entscheidungsträgern sind im Vorhabensfall zu führen.

Im Bohrdatenarchiv des LLUR sind im Umfeld des Standorts Aufschlussdaten aus Baugrundbohrungen, Geothermie-Bohrungen und Brunnenbohrungen in bis zu 105 m Tiefe unter Gelände vorhandenen (Abbildung 8). Die Auswertung der Aufschlussdaten findet sich in Kapitel 4. Der nahe dem Standort gelegene Brunnen der ehemaligen Fischzucht „Ecomares“ (1819/21/0002/W) ist nicht mehr intakt (u.a. Brunnenpumpe defekt), so dass hier keine Probe entnommen werden konnte. Um Informationen über die Beschaffenheit des Grundwassers am Standort Büsum zu erlangen wurde daher auf dem Gelände der Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH eine Grundwassermessstelle errichtet.

Nahe dem Standort befindet sich die Kläranlage der Gemeinde Büsum. Gegebenenfalls ist hier die Einleitung von Abwasser aus der Fischzucht möglich. Aufgrund der räumlichen Nähe zur Nordsee ist alternativ auch eine direkte Einleitung des aufbereiteten Abwassers denkbar. Weitere Informationen zum Standort finden sich in Tabelle 9.

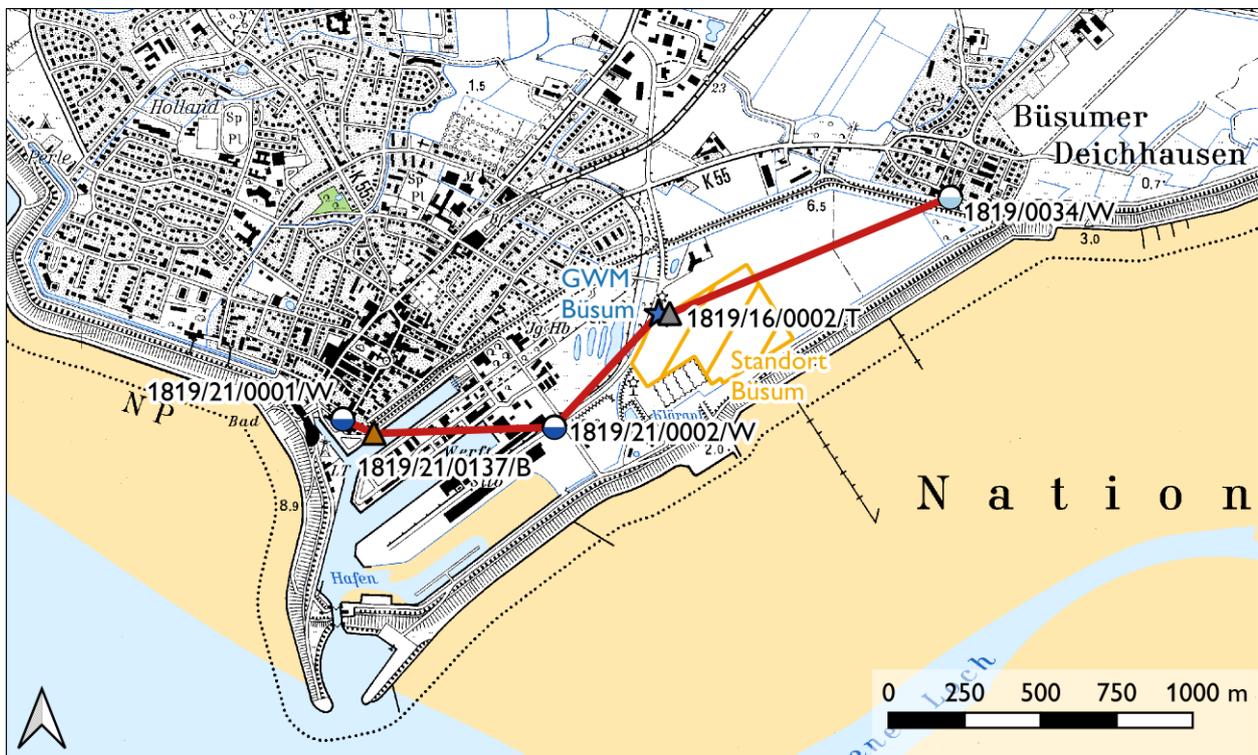


Abbildung 8. Übersicht des Standorts Büsum. Braune Dreiecke kennzeichnen Aufschlussbohrungen, graue Dreiecke Geothermie-Bohrungen, die Kreissymbole Brunnen (in hellblau Brunnen ohne bekannte Filterstellung, in dunkelblau Brunnen mit bekannter Filterstellung). Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.2). Aus der Grundwassermessstelle Büsum (blauer Stern) wurde eine Wasserprobe entnommen.

Tabelle 9. Standortsteckbrief Büsum.

Grundstücksdaten	Lage: https://goo.gl/maps/qucG4pij2C22
Größe	45.000 m ²
Eigentümer	Land Schleswig-Holstein, Liegenschaftsverwaltung der Christian-Albrechts Universität Kiel
Erwerbsmöglichkeiten	Verhandlungsbasis
Planungsrechtlicher Zustand	F-Plan vorhanden, teilweise als Sondergebiet „Marines Bio- und Technologiezentrum“ ausgewiesen https://www.amt-buesum-wesselburen.de/index.php?menuid=369
Erschließungsstand	Teilerschlossen
Stromanschluss	vorhabenbezogene Erschließung
Wasseranschluss	vorhabenbezogene Erschließung
Abwasseranschluss	vorhabenbezogene Erschließung
Wärmekapazitäten	Nicht vorhanden
Verkehrsanschlüsse	Bahn: Bahnhof Büsum 1,6 km entfernt Straße: B203 1,7 km entfernt, 15 km bis zu A23 Nach Heide: 20 km Nach Itzehoe: 64 km Nach Hamburg: 120 km
Kontaktdaten	Wirtschafts- und Wissenschaftspark mariCUBE Hafentörn 3 25761 Büsum Tel. +49.4834.96500-0 Fax +49.4834.96500-50 info@maricube.de
Adressen zuständiger Behörden (Stadtverwaltung, Bau, Wasser, Naturschutz, Veterinärrecht)	Siehe Anlage 4
Besonderheiten	Das MariCUBE ist ein Technologie-Zentrum für Unternehmen aus dem Bereich der blauen Biotechnologie und Aquakultur. Einschlägige Unternehmenskontakte können für Synergien genutzt werden. Das MariCUBE stellt eine moderne Labor- und Technikums-Infrastruktur zur Verfügung. Die Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA) mbH ist neben dem MariCUBE angesiedelt und unterhält dort eine moderne Forschungsinfrastruktur für Aquakultur-Forschung. Die GMA ist Mit-Autor der vorliegenden Studie. Die Kläranlage der Gemeinde Büsum liegt direkt an das Grundstück an.

3.2.3 Standort 3, Friedrichskoog (Seriola)

Der Standort 3 liegt in Friedrichskoog, nördlich der Landstation Dieksand (DEA Deutsche Erdoel AG). Die vorgesehene Fläche befindet sich in Privatbesitz und wird derzeit landwirtschaftlich genutzt. Ein Erwerb der Fläche wurde im Rahmen der Studie positiv geprüft. Weitere benachbarte Flächen befinden sich zudem in Privatbesitz Dritter. Entsprechende Verhandlungen zum Erwerb weiterer Erweiterungsflächen sind im Einzelfall zu führen.

Es besteht die Option der Auskopplung von geothermischer Energie aus der Kühlung des in Dieksand geförderten Öl-Wasser-Gemisches. Das Wasser aus dem Hybridkühler hat eine Rücklauftemperatur von ca. 60 °C. Die Option der Energieauskopplung wurde in einer Energiestudie der egeb (2016) näher untersucht.

Im Umfeld des Standorts wurden seit 2012 drei Bohrungen für Feuerlöschbrunnen in Tiefen bis 48 m unter Gelände abgeteuft, so dass hier rezente Aufschlusdaten vorhanden sind (Abbildung 9). Zudem hat die DEA Deutsche Erdoel AG in 2011 einen neuen Kühlwasserbrunnen (Br. 2) erbaut. Eine Auswertung der Aufschlusdaten findet sich in Kapitel 4. Die zwei Kühlwasserbrunnen der DEA Deutsche Erdoel AG werden jährlich beprobt und die Zusammensetzung des geförderten Wassers wird analysiert. Für die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Grundwasseruntersuchung wurde Br. 2 der DEA Deutsche Erdoel AG beprobt.

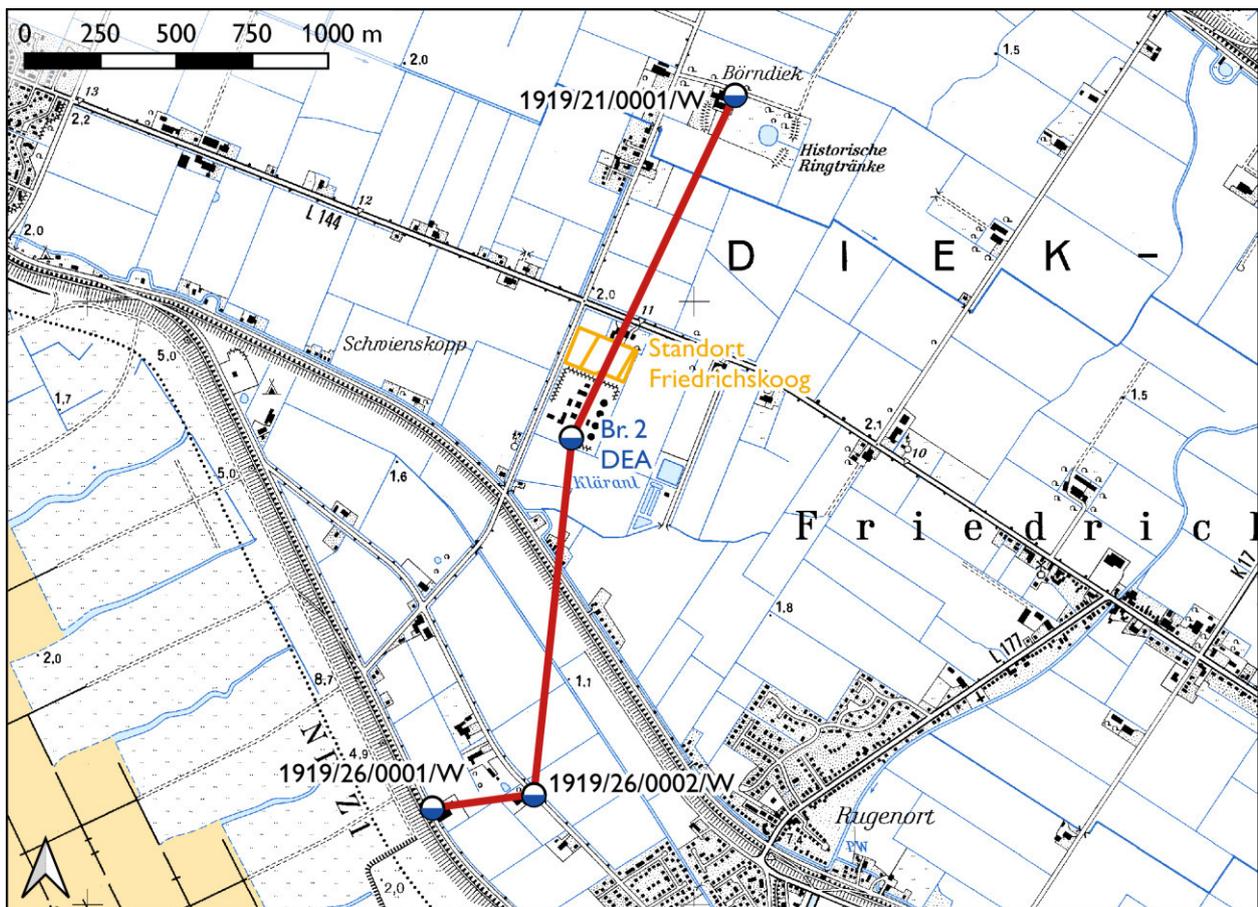


Abbildung 9. Übersicht des Standorts Friedrichskoog. Die blauen Kreissymbole markieren Feuerlösch- und Kühlwasserbrunnen. Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.3). Aus Br. 2, DEA Deutsche Erdoel AG, wurde eine Wasserprobe entnommen und analysiert.

Der Standort liegt in der Nähe der Kläranlage der Gemeinde Friedrichskoog. Gegebenenfalls ist hier die Einleitung von Abwasser aus der Fischzucht möglich. Aufgrund der räumlichen Nähe zur Nordsee ist alternativ auch eine direkte Einleitung des aufbereiteten Abwassers zu erwägen. Weitere Informationen zum Standort finden sich in Tabelle 10.

Tabelle 10. Standortsteckbrief Friedrichskoog.

Grundstücksdaten	Lage: https://goo.gl/maps/zGbYEjzhWn
Größe	22.000 m ²
Eigentümer	Privat
Erwerbsmöglichkeiten	Verhandlungsbasis
Planungsrechtlicher Zustand	Außenbereich
Erschließungsstand	Nicht erschlossen
Stromanschluss	vorhabenbezogene Erschließung
Wasseranschluss	vorhabenbezogene Erschließung
Abwasseranschluss	vorhabenbezogene Erschließung
Wärmekapazitäten	Vorhanden. Die DEA Deutsche Erdoel AG, Förderbetrieb Schleswig-Holstein, bietet Zugriff auf ein signifikantes Kontingent an Geothermie-Wärme. Entsprechende Infrastrukturen sind zu erstellen.
Verkehrsanschlüsse	Bahn: nicht vorhanden Straße: B5 9 km entfernt, 48 km bis zu A23 Nach Itzehoe: 49 km Nach Hamburg: 100 km Nach Cuxhaven (über Fähre Brunsbüttel): 49 km (Die Fährverbindung zwischen Brunsbüttel und Cuxhaven ist aktuell (Stand: Oktober 2018) eingestellt, aber mit einem neuen Betreiber soll sie zeitnah wieder eröffnet werden)
Kontaktdaten	Entwicklungsgesellschaft Brunsbüttel mbH Elbehafen 25541 Brunsbüttel Telefon (Zentrale): +49 (0) 48 52 / 83 84 - 11 Telefax: +49 (0) 48 52 / 83 84 - 30 E-Mail: info@egeb.de Internet: www.egeb.de
Adressen zuständiger Behörden (Stadtverwaltung, Bau, Wasser, Naturschutz, Veterinärrecht)	Siehe Anlage 4
Besonderheiten	Die DEA Deutsche Erdoel AG, Förderbetrieb Schleswig-Holstein, stellt den Nukleus für diesen Standort dar. Durch die DEA Deutsche Erdoel AG besteht bereits eine weitreichende Datengrundlage zur Bodenbeschaffenheit und Wasserverfügbarkeit am Standort. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Aquakultur-Betrieb und DEA Deutsche Erdoel AG ist gewünscht.

3.2.5 Standort 4, Wöhrden (Garnele)

Der Standort 4 befindet sich im voll erschlossenen Gewerbegebiet Wöhrden. Die Fläche ist im Bebauungsplan Nr. 9 der Gemeinde Wöhrden ausgewiesen. Der Schwerpunkt der Gewerbeansiedlung soll hier auf der Nahrungsmittelproduktion liegen. Es besteht die Möglichkeit der Auskoppelung von industrieller Abwärme für die Erwärmung des der Fischzucht zufließenden Wassers aus einem nahe gelegenen Tiefkühl-Betrieb. Hierfür ist ein energetisches Quartierskonzept in Planung.

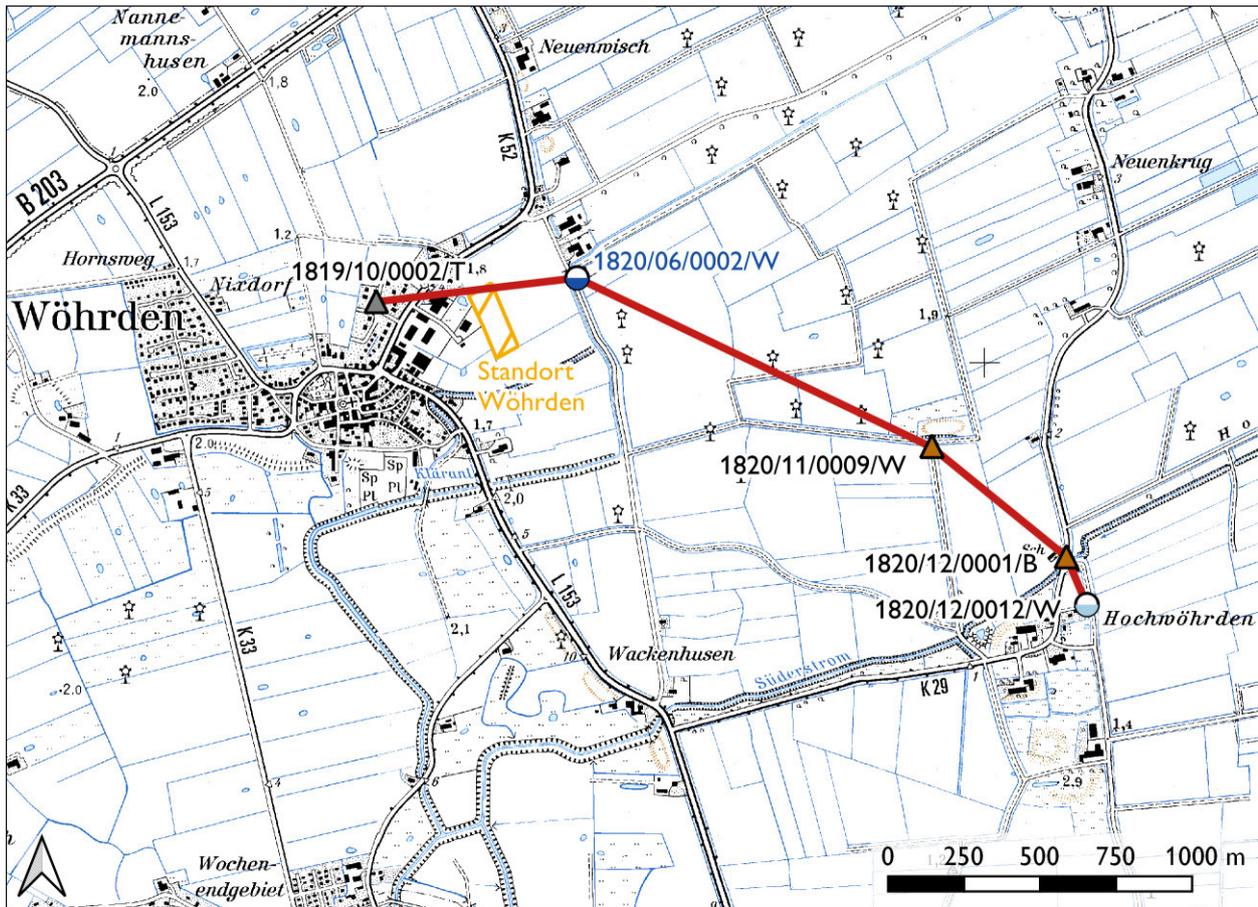


Abbildung 10. Übersicht des Standorts Wöhrden. Braune Dreiecke kennzeichnen Aufschlussbohrungen, graue Dreiecke Geothermie-Bohrungen, die Kreissymbole Brunnen (in hellblau Brunnen ohne bekannte Filterstellung, in dunkelblau Brunnen mit bekannter Filterstellung). Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.5). Die Grundwasserprobe wurde aus dem Feuerlöschbrunnen 1820/06/0002/W entnommen.

Im Bohrdatenarchiv des LLUR sind im Umfeld des Standorts Aufschlussdaten aus Baugrunduntersuchungen, Geothermie-Bohrungen und Brunnenbohrungen bis 103 m unter Gelände vorhandenen (Abbildung 11). Die Auswertung der Aufschlussdaten findet sich in Kapitel 4. Nahe dem Standort ist ein Feuerlöschbrunnen (1820/06/0002/W) vorhanden, der für die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Grundwasseruntersuchung beprobt werden konnte.

Die Entsorgung des Abwassers aus der Fischzucht kann nach vorheriger Aufbereitung potentiell in die Vorflut „Norderstrom“ erfolgen. Anbetracht der vergleichsweise geringen anfallenden Abwassermengen ist am Standort Wöhrden auch eine Einleitung in den Schmutzwasserkanal denkbar. Weitere Informationen zum Standort finden sich in Tabelle 12.

Tabelle 11. Standortsteckbrief Wöhrden.

Adresse	Chausseestraße 47, 25797 Wöhrden Neben Biogewächshaus Westhof, https://goo.gl/maps/uq9UTcoi1KG2
Grundstücksdaten	Lage https://goo.gl/maps/DCTjaBnGN6M2
Größe	20.000 m ² geplant 65.395 m ² insgesamt verfügbar
Eigentümer	Gemeinde Wöhrden
Erwerbsmöglichkeiten	Kauf
Planungsrechtlicher Zustand	B-Plan (9) der Gemeinde Wöhrden (https://www.amt-heider-umland.de/gemeinden/woehrden/bauen/bauleitplanung.html)
Erschließungsstand	Vollerschlossen
Stromanschluss	Vollerschlossen
Wasseranschluss	Wasserverband Süderdithmarschen
Abwasseranschluss	Vollerschlossen
Wärmekapazitäten	Die benachbarte Bio-Frost Westhof GmbH verfügt über industrielle Abwärme, die ggf. entkoppelt werden kann.
Verkehrsanschlüsse	Bahn: Bahnhof Heide, 9 km Straße: B203 1 km entfernt, 4 km bis zu A23 Nach Heide: 8 km Nach Itzehoe: 53 km Nach Hamburg: 110 km
Kontaktdaten	Entwicklungsagentur Region Heide AÖR Dirk Burmeister Hamburger Hof 3 25746 Heide Telefon: +49 (0)481 / 123 703 – 11 E-Mail: dirk.burmeister@region-heide.de
Adressen zuständiger Behörden (Stadtverwaltung, Bau, Wasser, Naturschutz, Veterinärrecht)	Siehe Anlage 4
Besonderheiten	Energetische Situation: Auskopplungspotenziale aus dem Frostereibetrieb werden aktuell untersucht; ein energetisches Quartierskonzept ist kurz vor Beauftragung

3.2.4 Standort 5, Friedrichstadt (Forelle)

Der Standort 5 befindet sich in der Eiderstedter Straße in Friedrichstadt, im Gewerbegebiet südlich der B202. Die Fläche ist im Bebauungsplan Nr. 5 ausgewiesen und derzeit im Eigentum der Van-Wouwer-Stiftung.

Im Bohrdatenarchiv des LLUR sind im Umfeld des Standorts Aufschlussdaten aus Baugrundbohrungen, Geothermie-Bohrungen und Brunnenbohrungen bis 93 m unter Gelände vorhandenen (Abbildung 10). Die Auswertung der Aufschlussdaten findet sich in Kapitel 4. Da im Umfeld des Standorts keine zur Probennahme geeigneten Messstellen oder Brunnen existieren, wurde nahe dem Standort eine Grundwassermessstelle errichtet.

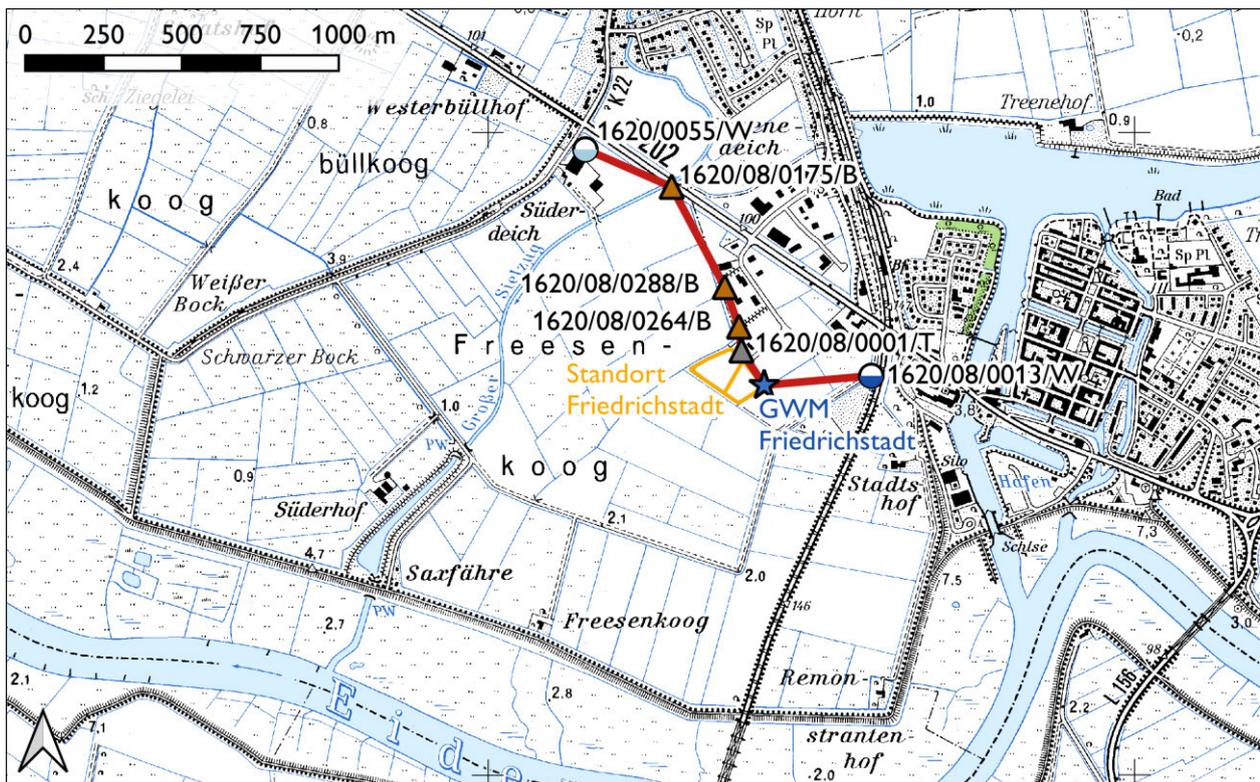


Abbildung 11. Übersicht des Standorts Friedrichstadt. Braune Dreiecke kennzeichnen Aufschlussbohrungen, graue Dreiecke Geothermie-Bohrungen, die Kreissymbole Brunnen (in hellblau Brunnen ohne bekannte Filterstellung, in dunkelblau Brunnen mit bekannter Filterstellung). Die rote Linie markiert den Verlauf des Profilschnitts (Anlage 1.4). Aus der Grundwassermessstelle Friedrichstadt (blauer Stern) wurde eine Grundwasserprobe entnommen.

Die Entsorgung des Abwassers aus der Fischzucht kann am Standort Friedrichstadt nach vorheriger Aufbereitung potentiell über eine Einleitung in die Vorflut „Großer Sielzug“ erfolgen. Die Größe der vorhandenen Fläche (ca. 1,5 ha) sowie die vergleichsweise niedrigen Flächenpreise im Gewerbegebiet ermöglichen hier auch die Nutzung einer Pflanzenkläranlage für die Aufbereitung des Abwassers aus der Fischzucht. Weitere Informationen zum Standort finden sich in Tabelle 11.

Tabelle 12. Standortsteckbrief Friedrichstadt.

Grundstücksdaten	Flurstück, Lage https://goo.gl/maps/mZdfGh4NDtw
Größe	15.000 m ² (ursprünglich angebotenes Grundstück) sofort und weitere 27.000 m ² andere Grundstücke im GE auf Nachfrage
Eigentümer	Johann van Wouwer-Nachlass Stiftung, verwaltet durch Amt Nordsee-Treene
Erwerbsmöglichkeiten	Untererbbaurecht (Pacht), Kauf
Planungsrechtlicher Zustand	B-Plan (5) der Stadt Friedrichstadt (http://rathaus-friedrichstadt.de/Wirtschaft/Gewerbefl%C3%A4chen/)
Erschließungsstand	Vollerschlossen
Entfernungen	Bahn: Bahnhof Friedrichstadt, 1 km Straße: B202 0,5 km entfernt, 31 km bis zu A23, 40 km bis A7 Nach Husum: 17 km Nach Flensburg: 63 km Nach Hamburg: 135 km
Stromanschluss	Schleswig-Holstein Netz AG
Wasseranschluss	Wasserverband Eiderstedt
Abwasseranschluss	Wasserverband Norderdithmarschen
Kontaktdaten	Amt Nordsee-Treene Norbert Strehlow Team Finanzen Sachbearbeiter Schulweg 19 DE-25866 Mildstedt 04841/992-394 04841 992-255 n.strehlow@amt-nordsee-treene.de
Adressen zuständiger Behörden (Stadtverwaltung, Bau, Wasser, Naturschutz, Veterinärrecht)	Siehe Anlage 4

4. Grundwasserdargebot an den Modellstandorten

4.1 Standort 1, Glückstadt I (Zander)

Zur Beurteilung des Grundwasserdargebots am Standort Glückstadt wurden Aufschlussdaten aus 18 Bohrungen im Umfeld des Standorts mit Endteufen von 20 - 37 m unter Gelände (uG) ausgewertet. Die Daten stammen aus Baugrunderkundungen und aus Bohrungen zum Zweck der Wassererschließung (Feuerlöschbrunnen).

Die Schichtenabfolge im Bereich des Standorts ist in Anlage 1.1 in einem geologischen Profilschnitt dargestellt. Die Schnittlinie ist in Abbildung 7 markiert. Von 14 - 16 m uG stehen in allen Aufschlüssen Wechsellagerungen aus Schluffen, Feinsanden und Torfen an. Bei den schluffigen und feinsandigen Ablagerungen handelt es sich dabei um holozäne marine Ablagerungen in Form von Kleien. Ab ca. 14 - 16 m uG folgen in allen Aufschlüssen pleistozäne sandige Ablagerungen, die zunächst eher feinsandig, mit zunehmender Tiefe jedoch grobsandig ausgeprägt sind. Im Bereich des Standorts (2222/04/0012/W) finden sich ab ca. 20 m uG mittel- bis grobsandige Schichten, ab ca. 24 m uG sind zudem deutlich kiesige Anteile vorhanden. Diese glazialen Elbtalschotter sind in und um Glückstadt verbreitet und dehnen sich bis in die Kremper Marsch aus (Johannsen, 1980). Hier kann von einer hohen Ergiebigkeit des Grundwasserleiters ausgegangen werden. Beim Probepumpen an Feuerlöschbrunnen wurde im Raum Glückstadt Entnahmemengen bis zu 90 m³/h gemessen (Johannsen, 1980). Dies legt nahe, dass eine Förderung der für die Art-Technik-Kombination Zander notwendigen Wassermenge von 6,25 m³/h am vorgesehenen Standort aus hydrogeologischer Sicht gut umsetzbar ist. Der Ruhewasserstand im Umfeld des Standorts (Brunnen 1 der Firma Steinbeis Papier GmbH) lag am 08.01.2018 bei 1,32 m uG.

Die pleistozänen Wasserleiter sind im Umfeld des Standorts von obermiozänen Glimmertonen unterlagert, mit denen ab ca. 30 - 40 m uG zu rechnen ist (Johannsen, 1980). Die untere Grenze des pleistozänen Wasserleiters wurde in keiner der vorliegenden Aufschlussbohrungen (max. Tiefe von 37 m uG) erreicht.

4.2 Standort 2, Büsum (Lachs)

Am Standort Büsum wurde das Grundwasserdargebot anhand von Aufschlussdaten aus 18 Bohrungen mit Endteufen zwischen 25 und 180 m uG beurteilt. Die Daten stammen aus Baugrunderkundungen, Geothermiebohrungen und aus Bohrungen für die Wassererschließung (Brauchwasser für Fischzuchtanlagen). Zusätzlich wurde im Rahmen dieses Projekts am vorgesehenen Standort eine Bohrung zum Bau einer Grundwassermessstelle abgeteuft.

Anlage 1.2 zeigt die Schichtenabfolge im Bereich des Standorts in einem geologischen Profilschnitt. Die Schnittlinie verläuft nördlich des Standorts (Abbildung 8). In allen ausgewerteten Aufschlüssen stehen bis ca. 20 - 30 m uG holozäne marine Klei-Ablagerungen in Form von feinsandigen und schluffigen bis tonigen Sedimenten an. Unterhalb der Klei-Schicht folgen verbreitet sandige Ablagerungen, die vorwiegend mittelsandig ausgeprägt sind und feinsandige bis grobsandige Anteile aufweisen. Im Bereich des Standorts wurde im Zusammenhang mit dem Bau der Grundwassermessstelle die Schichtenabfolge durch geophysikalische Untersuchungen bestimmt (Anlage 2.1). Hier stehen zwischen 28 und 32 m uG grobsandiger Mittelsand an, unterlagert von Mittelsand mit feinsandigen Anteilen und Lagen von Grobsand. Die Grundwassermessstelle Büsum ist zwischen 39 und 44 m uG verfiltert. Nach Abschluss der Bohrarbeiten lag der Grundwasserstand am 17.05.2018 hier bei 2,49 m uG (0,45 m NN).

Für die am Standort vorgesehene Art-Technik-Kombination Lachs ist eine Grundwasserentnahme von ca. 60 m³/h (525.600 m³/a) notwendig. Unter Annahme einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildung

von 150 l/m^2 (Hydrologischer Atlas von Deutschland, 2003) ergibt sich hierfür ein Einzugsgebiet von $3,153 \text{ km}^2$. Die vorliegenden Aufschlussdaten belegen die entsprechende Ausdehnung von gut wasserleitenden mittel- bis grobsandigen Ablagerungen und somit ein ausreichendes Grundwasserdargebot.

In den beiden ehemals im Umfeld des Standortes betriebenen Brunnen wurde Grundwasser aus Filtertiefen zwischen 28 - 32 m uG („Nordsee-Aufzuchtstation“) bzw. 39,50 - 44,50 m uG („Ecomares“) entnommen. Bei einem Pumpstest im Brunnen der Nordsee-Aufzuchtstation wurde bei einer Förderung von $20 \text{ m}^3/\text{h}$ eine Absenkung von 10,90 m gemessen.

Die untere Basis des Grundwasserleiters wurde in den ausgewerteten Aufschlüssen bei 51 bis 72 m uG erreicht. Hier stehen mächtige Ablagerungen aus tonigen Schluffen an, die ab ca 150 m uG von Ton unterlagert sind. Es ist anzunehmen, dass es sich um miozäne Glimmertone handelt.

4.3 Standort 3, Friedrichskoog (Seriola)

Zur Beurteilung des Grundwasserdargebotes am Standort Friedrichskoog wurden Aufschlussdaten aus neun Bohrungen im Umfeld des Standorts mit Endteufen von 28 bis 96 m uG ausgewertet. Die Daten stammen aus Baugrunderkundungen, Geothermiebohrungen und aus Bohrungen zur Wassererschließung (Feuerlösch-, Garten- und Kühlwasserbrunnen). Zusätzlich wurde ein hydrogeologisches Gutachten ausgewertet, dass im Rahmen des Neubaus des Brunnen 2 durch die DEA Deutsche Erdoel AG in Auftrag gegeben wurde (Boden & Lipka, 2011).

Die geologischen Strukturen im Untergrund sind in Anlage 1.3 in einem Profilschnitt dargestellt, dessen Schnittlinie die für den Standort vorgesehene Fläche kreuzt (die Schnittlinie ist in Abbildung 9 dargestellt). Im Bereich des Standorts stehen bis ca. 30 - 33 m uG gering durchlässige, holozäne marine Ablagerungen in Form von Schluffen und Feinsanden an (Klei). Auf die Klei-Ablagerungen folgen mittelsandige pleistozäne Schichten, in denen eine hohe Ergiebigkeit des Wasserleiters zu erwarten ist. In den nördlich, südlich und östlich des Standorts befindlichen Aufschlussbohrungen werden die sandigen Schichten ab ca. 34 - 39 m uG von Geschiebemergel unterlagert.

Anders als in den umliegenden Feuerlöschbrunnen wurde in dem nahe dem Standort befindlichen Brunnen 2 der DEA Deutsche Erdoel AG kein Geschiebemergel angetroffen. Hier zeichnet sich eine Rinnenstruktur ab, mit mittelsandige Ablagerungen bis ca. 51 m uG vor. Zwischen 51 und 56 m uG folgen Wechsellagerungen aus Schluffen und Braunkohle, die von einer gut wasserleitenden Schicht aus grobsandigem Mittelsand unterlagert werden. Ab einer Tiefe von 78 m uG steht Feinsand an, der in feinsandigen tonigen Schluff übergeht.

Die Feuerlösch- (1919/21/0001/W, 1919/26/0001/W, 1919/26/0002/W) und Gartenbrunnen (1919/27/0001/W) im Umfeld des Standorts sind im Horizont zwischen 27 und 37 m über Normalhöhennull (m NHN) verfiltert. In Pumpstests in den Feuerlöschbrunnen wurden Absenkungen von 3,50 - 6,90 m bei einer Förderung von 48 - 55 m^3/h gemessen. Die Ruhewasserstände lagen bei 1,10 bis 1,70 m uG.

Die Kühlwasserentnahme aus Brunnen 2 der DEA Deutsche Erdoel AG erfolgt in den in der Rinnenstruktur abgelagerten, gut wasserleitenden Sanden bis 78 m uG (Filterstellung von 60 - 77 m uG). In einem dreistufigen Pumpversuch im Zeitraum vom 10.05. - 13.05.2011 wurden in Brunnen 2 Absenkungen von 1,10 m bei einer Förderung von 75 m^3 , 1,60 m bei einer Förderung von 100 m^3 , und 2,1 m bei einer Förderung von 125 m^3 gemessen (Boden & Lipka, 2011).

Für die am Standort vorgesehene Art-Technik-Kombination Seriola ist eine Grundwasserentnahme von ca. 60 m³/h (entsprechend 525.600 m³/a) notwendig. Unter Annahme einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildung von 150 l/m² (Hydrologischer Atlas von Deutschland, 2003) ergibt sich hierfür ein Einzugsgebiet von 3,153 km². Die vorliegenden Aufschlussdaten belegen die entsprechende Ausdehnung von gut wasserleitenden Sanden und somit ein ausreichendes Grundwasserdargebot. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch in den mittelsandigen pleistozänen Schichten zwischen ca. 27 und 37 m NHN ausreichend Grundwasser verfügbar ist, um notwendige Wassermenge zu fördern.

4.5 Standort 4, Wöhrden (Garnele)

Zur Beurteilung der Grundwasserverfügbarkeit am Standort Wöhrden wurden Aufschlussdaten aus acht Bohrungen im Umfeld des Standorts mit Endteufen von 17 bis 103 m uG ausgewertet. Die Daten stammen aus Baugrunderkundungen, Geothermiebohrungen und aus Bohrungen zum Zweck der Wassererschließung (Feuerlöschbrunnen).

In Anlage 1.5 ist ein geologischer Profilschnitt dargestellt, dessen Schnittlinie am Rand der für den Standort vorgesehene Fläche verläuft. In den beiden nahe dem Standort gelegenen Bohrungen stehen bis 12 - 14 m uG gering durchlässige Ablagerungen aus Klei und Geschiebemergel an. Unterlagert werden diese von fein- bis grobsandigen Schichten mit höherer Durchlässigkeit. In der westlich des Standorts befindlichen Geothermiebohrung (1819/10/0002/T) stehen die sandigen Schichten von 14 bis 50 m uG an und weisen Anteile von Kies auf. Ab 50 m uG folgen Ablagerungen von Schluff. In dem östlich des Standorts gelegenen Feuerlöschbrunnen (1820/06/0002/W) wurde von 12 bis 16 m uG zunächst Feinsand angetroffen, der ab 16 m uG in Mittelsand mit Anteilen von Grobsand übergeht. Unterlagert wird diese gut wasserleitende Schicht von Wechsellagerungen aus Geschiebemergel (24 bis 27 m uG und ab 30 m uG) und Feinsand (27 bis 30 m uG). Der Feuerlöschbrunnen ist in der mittel- bis grobsandigen Schicht zwischen 18 und 24 m uG verfiltert. In einem Pumpstest wurde hier bei einer Förderung von 60 m³/h eine Absenkung von 12 m beobachtet, der Ruhewasserstand lag bei 1,50 m uG.

Die für den Standort Wöhrden vorgesehene Art-Technik-Kombination Garnele benötigt vergleichsweise geringe Wassermengen von 0,88 m³/h. Aus hydrogeologischer Sicht kann davon ausgegangen werden, dass die Grundwasserverfügbarkeit am vorgesehenen Standort gegeben ist.

4.4 Standort 5, Friedrichstadt (Forelle)

Am Standort Friedrichstadt wurde die Grundwasserverfügbarkeit anhand von Aufschlussdaten aus 19 Bohrungen mit Endteufen zwischen 16 und 93 m uG beurteilt. Die Daten stammen aus Baugrunderkundungen, Geothermiebohrungen und aus Bohrungen zum Zweck der Wassererschließung (ehemalige Brunnen zur Hauswasserversorgung). Zusätzlich wurde im Rahmen dieses Projekts nahe dem vorgesehenen Standort eine Bohrung zum Bau einer Grundwassermessstelle abgeteuft.

Anlage 1.4 zeigt die Schichtenabfolge im Bereich des Standorts in einem geologischen Profilschnitt. Die Schnittlinie verläuft nordöstlich des Standorts (Abbildung 10). In allen ausgewerteten Aufschlüssen stehen unter der Geländeoberfläche holozäne Klei-Ablagerungen als feinsandige, schluffige bis tonige Sedimente an. Unterhalb der Klei-Schicht folgen ab 10 - 13 m uG durchgehend feinsandige bis mittelsandige Ablagerungen, in die stellenweise Schlufflinsen zwischengeschaltet sind.

Im Bereich des Standorts wurde mit dem Bau der Grundwassermessstelle die Schichtenabfolge durch geophysikalische Untersuchungen bestimmt (Anlage 2.2). Hier stehen ab ca. 25 m uG sehr gut wasserleitende, mittelsandige bis grobsandige Ablagerungen an, die lagenweise auch kiesige Anteile aufweisen. In der nahe gelegenen Geothermiebohrung (1620/08/0001/T) wurden gut wasserleitenden

Schichten ab ca. 30 m uG angetroffen. Die Grundwassermessstelle Friedrichstadt wurde zwischen 52 und 57 m uG verfiltert. Zum Zeitpunkt der Probenahme am 25.04.2018 lag der Ruhewasserstand bei ca. 1,40 m uG (0,6 m NN).

Die Basis des Grundwasserleiters liegt in der nahe gelegenen Geothermiebohrung (1620/08/0001/T) bei 48 m uG. Von 48 - 66 m uG wurde Geschiebemergel angetroffen, der von Ton unterlagert ist. In der Grundwassermessstelle Friedrichstadt stehen sandige Ablagerungen hingegen bis ca 59 m uG an, die zum Liegenden hin zunehmend feinsandig ausgeprägt sind. Die untere Basis des Grundwasserleiters wurde in dieser Bohrung nicht erreicht, so dass hier von einer eingetieften Rinnenstruktur auszugehen ist.

Für die am Standort vorgesehene Art-Technik-Kombination Forelle ist eine Grundwasserentnahme von ca. 72 m³/h (entsprechend 631.000 m³/a) notwendig. Unter Annahme einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildung von 150 l/m² (Hydrologischer Atlas von Deutschland, 2003) ergibt sich hierfür ein Einzugsgebiet von 4,207 km². Die vorliegenden Aufschlussdaten zeigen eine ausgedehnte Verbreitung von gut wasserleitenden Sanden. Es ist daher davon auszugehen, dass ausreichend Grundwasser verfügbar ist, um die notwendige Wassermenge zu fördern.

5. Grundwassereignung

5.1 Grundwasserentnahme an den Modellstandorten

Anfang Januar 2018 erfolgte eine Beprobung der an den Standorten Glückstadt, Wöhrden und Friedrichskoog vorhandenen Brunnen. An den Standorten Büsum und Friedrichstadt wurden im April und Mai 2018 zwei Grundwassermessstellen durch die Ivers Brunnenbau GmbH, Osterrönfeld errichtet, die im weiteren Verlauf beprobt wurden. An den Standorten Glückstadt, Büsum, Friedrichskoog und Wöhrden erfolgte die Probenahme durch das Labor UCL, Kiel. Am Standort Friedrichstadt wurde die Probenahme durch die Ivers Brunnenbau GmbH durchgeführt. Mit Ausnahme des Standorts Friedrichskoog erfolgte die Entnahme von Grundwasser mittels Tauchpumpen, wobei das geförderte Wasser zunächst durch eine Durchflusszelle mit Sonden für Sauerstoff, Leitfähigkeit, pH und Temperatur geleitet wurde. Die Probenahme-Gefäße wurden bei Konstanz der Parameter Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Temperatur und pH-Wert befüllt. Am Standort Friedrichskoog erfolgte die Probenahme aus einem Zapfventil. Details zur Probenahme finden sich in den Probenahmeprotokollen in Anlage 3.

5.2 Grundwasseranalyse

Die Analyse der Grundwasserproben erfolgte durch das Labor UCL, Kiel. Untersucht wurden für die Aquakulturspezies wichtige Parameter zur Überprüfung der Wasserqualität in Kreislaufanlagen, sowie An- und Kationen für den Vergleich mit Meerwasser. Zusätzlich wurden die Proben auf Gehalte an Schwermetallen, Aluminium, Arsen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen analysiert, um mögliche anthropogen/industriell verursachte Verunreinigungen auszuschließen. Weitere Grundwasserbelastungen durch anthropogene Einflüsse wie z.B. durch Pflanzenschutzmittel oder Altlasten waren nach vorliegendem Wissensstand an den gewählten Standorten nicht zu erwarten und wurden deshalb nicht weiter betrachtet. Eine Zusammenstellung der in den Grundwasserproben nachgewiesenen Stoffe findet sich in Tabelle 13. Die vollständigen Analysenberichte, einschließlich der Parameter die in allen Proben unterhalb der Nachweisgrenze lagen, sind in Anlage 3 zusammengestellt.

Tabelle 13. Ausgewählte Ergebnisse der Grundwasseranalysen. Die vollständigen Analysenberichte und Probenahmeprotokolle finden sich in Anlage 3.

Standort	1. Glückstadt	2. Büsum	3. Friedrichskoog	4. Wöhrden	5. Friedrichstadt
Prüfbericht	18-01033	18-24986	18-01033	18-01033	18-20609
Datum Probenahme	08.01.2018	25.05.2018	08.01.2018	08.01.2018	25.04.2018
Probenahmedaten					
Leitfähigkeit bei 25°C [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	4010	35100	33100	24100	1058
PSU	2,1	22	20,7	14,6	0,5
pH-Wert	6,8	7,3	7,3	7,1	8,9
Sauerstoffgehalt [mg/l]	< 0,5	0,4	2,8	< 0,5	1,95
Wassertemperatur [°C]	11,9	12,0	8,6	9,5	9,5
Farbe	schwach gelb	schwach gelb	farblos	farblos	leicht grau
Trübung	klar	ohne	klar	klar	klar
Geruch	sehr schwach	ohne	sehr schwach	sehr schwach	Brackwasser

Standort	1. Glückstadt	2. Büsum	3. Friedrichs- koog	4. Wöhrden	5. Friedrich- stadt
Absorption 254 nm [m ⁻¹]	52,9	61,9	13,5	28,2	8,8
Absorption 436 nm [m ⁻¹]	1,3	2,8	0,3	0,8	0,5
Abdampfdruckstand [mg/l]	2600	26800	23000	16000	740
Kationen (Alkali- und Erdalkalimetalle)					
Lithium [µg/l]	< 50	< 250	168	72,7	< 50
Natrium [mg/l]	590	7260	6280	4330	172
Kalium [mg/l]	26,1	210	235	127	4,40
Magnesium [mg/l]	77,2	845	763	541	11,8
Calcium [mg/l]	111	339	464	451	62,2
Strontium [µg/l]	715	5610	9480	4760	302
Barium [µg/l]	297	662	114	162	57,1
Anionen					
Hydrogencarbonat [mg/l]	1000	2100	690	1100	280
Chlorid [mg/l]	829	12900	11700	8100	235
Sulfat [mg/l]	1,20	< 100	970	604	15,7
Bromid [mg/l]	3,50	45,0	40,2	27,4	< 1
Ammonium [mg/l]	32,6	24,5	20,9	12,6	0,264
Nitrat [mg/l]	< 0,44	0,49	< 0,44	< 0,44	< 0,44
Nitrit [mg/l]	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,30	< 0,03
Phosphat [mg/l]	3,56	4,48	0,340	0,478	0,291
Metalle					
Vanadium [µg/l]	< 5	5,6	< 5	< 5	< 5
Chrom gesamt [µg/l]	< 1	< 5	< 1	< 1	2,27
Mangan [mg/l]	2,27	0,303	1,86	0,561	0,266
Eisen [mg/l]	32,2	0,908	7,12	6,06	1,75
Nickel [µg/l]	0,973	3,28	< 0,5	< 0,5	1,32
Kupfer [µg/l]	13,7	8,88	1,02	10,3	< 0,5
Zink [µg/l]	< 10	< 50	< 10	< 10	26,1
Bor [µg/l]	585	1970	1680	1630	80,2
Aluminium [µg/l]	48,2	9,52	9,81	10,5	1440
Silicium [mg/l]	22,1	10,2	7,20	10,5	12,7
Blei [µg/l]	< 0,5	< 2,5	< 0,5	2,01	1,03
Arsen [µg/l]	< 0,5	7,22	0,691	0,883	0,841

Standort	1. Glückstadt	2. Büsum	3. Friedrichs- koog	4. Wöhrden	5. Friedrich- stadt
Selen [$\mu\text{g/l}$]	< 10	15,7	< 10	< 10	< 10
Andere Parameter					
freie Kohlensäure [mg/l]	180	80,0	54,0	74,0	11,0
Gesamthärte [mmol/l]	5,95	43,22	42,97	33,51	2,04
Carbonathärte [mmol/l]	8,4	17	5,7	9,1	2,3
Basekapazität pH 8,2 [mmol/l]	4,1	1,8	1,2	1,7	0,26
Säurekapazität pH 4,3 [mmol/l]	17	35	11	18	4,6
Summe Kationen [mmol/l]	41,26	408,99	366,6	259,5	11,76
Summe Anionen [mmol/l]	40,42	398,9	360,6	258,9	11,5
Ionenbilanz %	2,1	2,5	1,7	0,2	2,2
DOC [mg/l]	18	20	7,2	12	6,9
Organische Schadstoffe					
Naphthalin [$\mu\text{g/l}$]	< 0,02	0,045	0,021	< 0,02	< 0,02
Summe best. PAK (EPA) [$\mu\text{g/l}$]	0	0,045	0,021	0	0
*best. PAK nach TVO [$\mu\text{g/l}$]	0	0	0	0	0

5.3 Artspezifische Grundwassereignung

Zur Bewertung der Grundwassereignung für die unterschiedlichen Arten wurden u.a. die in Kapitel 2 dargestellten Wasserqualitätsparameter und allgemeinen Richtwerte für Metalle (Tabelle 16) herangezogen. Nach Colt (2006) basieren Empfehlungen zu einzelnen Wasserinhaltsstoffen auf monofaktorieller Betrachtungsebene. Die in der Praxis vorliegenden Wechselwirkungen unterschiedlicher Wasserinhaltsstoffe untereinander, sowie die Kondition und Konstitution der gehaltenen Tiere können zu abweichenden Sensibilitäten führen. Insbesondere das Zusammenspiel der Wasserinhaltsstoffe ist sehr komplex und die Auswirkungen auf die Arten können nicht direkt vorhergesehen werden. Es ist zu beachten, dass die erhobenen Parameter den Zustand vor einer Belüftung des SG darstellen.

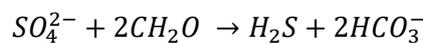
5.3.1 Mineralisierung

Alle untersuchten Grundwasserproben zeichnen sich durch eine vergleichsweise hohe Mineralisierung aus. Die Leitfähigkeiten in den Grundwässern der küstennahen Standorte liegen bei 24,1 mS/cm in Wöhrden, 33,1 mS/cm in Friedrichskoog und 35,1 mS/cm in Büsum, entsprechend einer Salinität von ca. 14,6, 20,7 und 22 PSU. Dies zeigt deutlich die Beeinflussung des Grundwassers durch die Intrusion von Meerwasser an (Küstenversalzung). An den Standorten Friedrichstadt und Glückstadt wurden mit 1.058 bzw. 4.010 $\mu\text{S/cm}$ ebenfalls erhöhte Leitfähigkeiten gemessen, die auf das Eindringen von salzhaltigem Wasser zurückzuführen sind. Die beobachteten Werte entsprechen einer Salinität des Grundwassers von ca. 2,1 PSU in Glückstadt und ca. 0,5 PSU in Friedrichstadt. Im Rahmen der geophysikalischen Vermessung der Bohrung ließ sich am Standort Friedrichstadt auch ein Anstieg der Leitfähigkeit mit zunehmender Tiefe beobachten. An allen Standorten befindet sich die Salinität somit im Rahmen des bei der Standortsuche für die Arten angestrebten Bereiches (Tabelle 1).

5.3.2 Hauptionen / Makroelemente

Die Verteilung der Hauptionen in den Grundwässern an den untersuchten Standorten ist in Abbildung 12 und in Abbildung 13 in unterschiedlichen Kombinationsdiagrammen aufgezeigt.

In der Darstellung im Schoeller-Diagramm (Abbildung 12) zeigen parallel verlaufende Linien Grundwässer mit ähnlicher Ionenverteilung, während die vertikale Lage der Linien ein qualitatives Maß für die Gesamtgehalte der Ionen darstellt. Insbesondere hinsichtlich der Verteilung von Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium und Chlorid zeigen sich an den Standorten Büsum (2), Friedrichskoog (3) und Wöhrden (4) große Ähnlichkeiten zu Nordseewasser. An diesen Standorten sind auch dem Meerwasser vergleichbare Gesamtgehalte der Ionen zu beobachten. Abweichend von der Zusammensetzung von Meerwasser wurden an den Standorten Büsum (2), Friedrichstadt (5) und Wöhrden (4) jedoch deutlich höhere Gehalte an Hydrogencarbonat und geringere Gehalte an Sulfat beobachtet. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass Sulfat bei anoxischen Bedingungen im Grundwasser unter Umsetzung von organischem Material und der Freisetzung von Hydrogencarbonat reduziert wird (Appelo & Postma, 2005):



An den Standorten Friedrichstadt (5) und Glückstadt (1) zeigen sich deutliche Abweichungen in der Ionenverteilung und in den Gesamtgehalten der Hauptinhaltsstoffe gegenüber Meerwasser. Dies äußert sich sowohl in der Verteilung der Anionen, als auch in der Verteilung der Kationen im Vergleich zu Meerwasser.

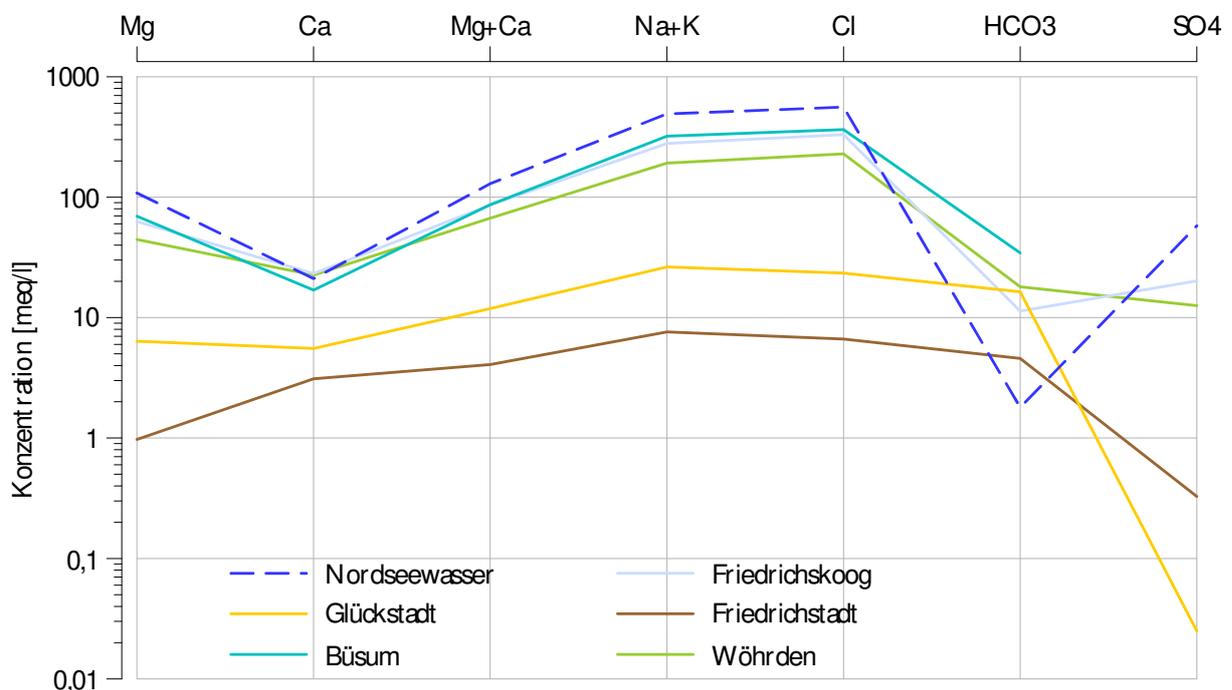


Abbildung 12. Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit an den untersuchten Standorten im Schoeller-Diagramm. Zum Vergleich ist auch die mittlere Beschaffenheit von Nordseewasser dargestellt (gestrichelte blaue Linie).

Die Verhältnisse der Hauptinhaltsstoffe sind im Detail im Piper-Diagramm in Abbildung 13 dargestellt. Die Zusammensetzung jeder untersuchten Grundwasserprobe wird hier punktförmig abgebildet, wobei die Gesamtgehalte der Ionen nicht erfasst werden. Auch im Piper-Diagramm ist an den Standorten Friedrichskoog (3) und Wöhrden (4) eine deutliche Ähnlichkeit der Grundwässer zu Meerwasser zu erkennen. Das Grundwasser am Standort Büsum (2) bildet sich im Piper-Diagramm ebenfalls ähnlich zu

Meerwasser ab, jedoch mit einer leichten Verschiebung hin zu höheren Anteilen an Hydrogencarbonat gegenüber Sulfat.

Das Grundwasser am Standort Glückstadt (1) unterscheidet sich von Meerwasser insbesondere hinsichtlich höherer Anteile an Hydrogencarbonat gegenüber Chlorid und Sulfat. In der Verteilung der Kationen sind ebenfalls etwas höhere Anteile an Calcium gegenüber Natrium und Kalium zu erkennen. Eine ähnliche Verteilung der Anionen zeigt sich am Standort Friedrichstadt (5). Hier ist zusätzlich auch in der Verteilung der Kationen eine klare Abweichung zu Meerwasser zu beobachten, mit deutlich höheren Anteilen an Calcium gegenüber Magnesium, Natrium und Kalium.

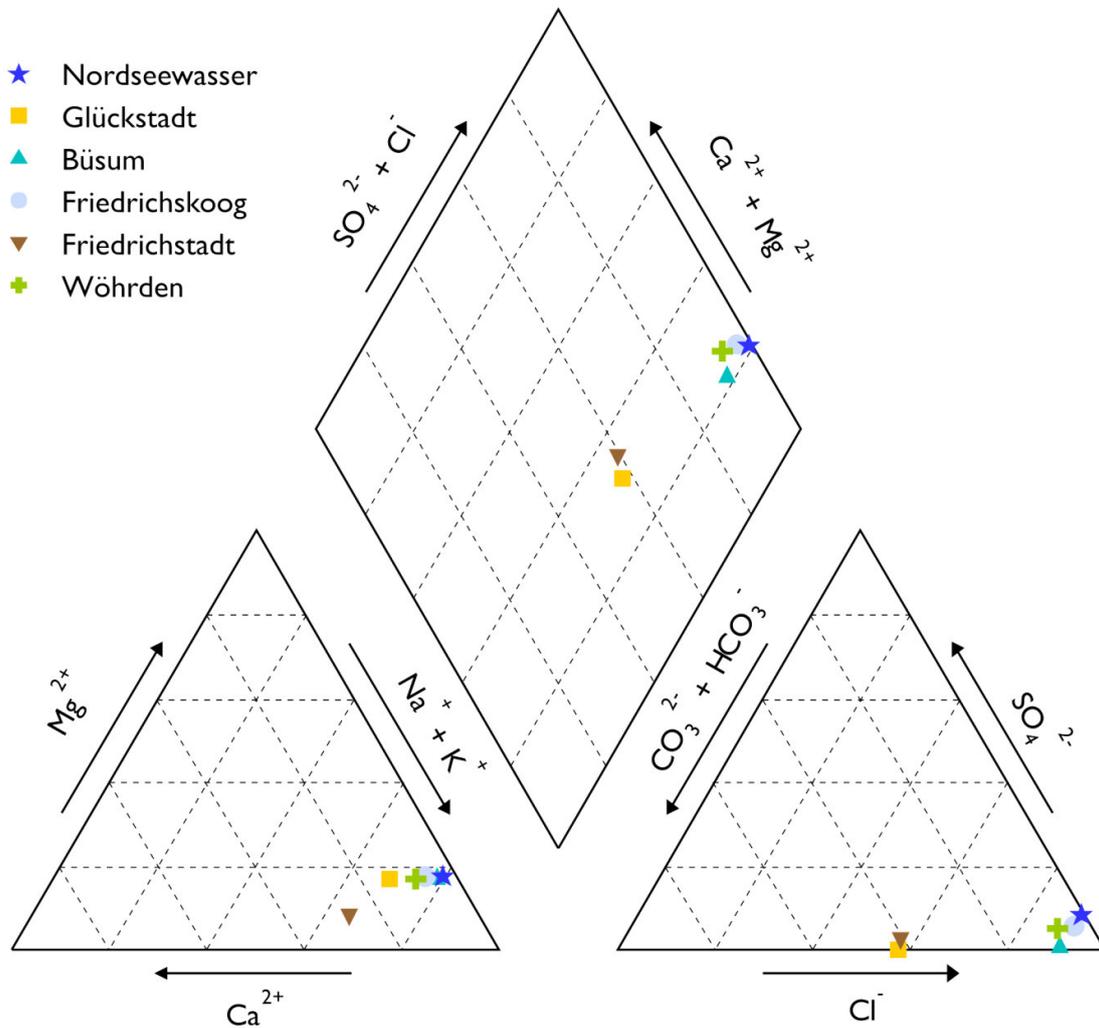


Abbildung 13. Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit an den untersuchten Standorten im Piper-Diagramm. Zum Vergleich ist auch die mittlere Beschaffenheit von Nordseewasser dargestellt (blauer Stern).

Die höheren Anteile an Calcium (Ca) gegenüber Magnesium (Mg) und Kalium (K), an den Standorten Glückstadt (1, Zander) und Friedrichstadt (5, Forelle) mit niedrigem Salzgehalt im SG, sind für Süßwässer typisch (siehe Tabelle 14; Chester, 2003). Das Ionenverhältnis im Süßwasser kann je nach Herkunft stark variieren. Tabelle 14 zeigt Empfehlungen der Ionenzusammensetzung für Süßwasserfische und die gemittelte Zusammensetzung von Flusswasser nach Chester (2003).

Nach Timmons & Ebeling (2007) wäre der absolute Mg-Gehalt am Standort Glücksstadt für Süßwasserfische bereits erhöht. Da der Zander aber in Boddengewässer wandert, die je nach Salzwassereinfluss stark in ihrer Ionenzusammensetzung variieren können, erscheint eine Verträglichkeit

des Wassers was die wichtigen Ionen angeht als möglich. Die Auswirkungen auf das Wachstum sind nicht klar, der Salzgehalt kann aber ggf. zu einer reduzierten Osmosetätigkeit und evtl. besserer Wachstumsleistung führen (siehe Ložys, 2004).

Der Salzgehalt am Standort Friedrichstadt ist mit 0,5 PSU sehr niedrig. Da es sich bei der Regenbogenforelle um eine Süßwasserart (mit anadromen Unterarten) handelt liegen die absoluten Gehalte der wichtigsten Ionen im empfohlenen Bereich von Timmons & Ebeling (2007) und Davidson et al. (2009). Aufgrund des niedrigen Salzgehaltes ist es fraglich, ob bei einer Aufzucht von Forellen im SG am Standort Friedrichstadt eine bessere Wachstumsleistung, als in herkömmlichen Süßwasser-Anlagen erreicht werden kann. In einem von Altinok & Grizzle (2001) beschriebenen Wachstumsversuch für Forellen in unterschiedlichen Salinitäten lagen die Ionengehalte von 1 PSU etwa bei Ca = 66, K = 15, Mg = 35, Na = 295 und Cl = 719 mg/l. In der Studie Altinok & Grizzle (2001) zeigten sich die besten Wachstumsraten bei 3 und 9 PSU, im Vergleich zu 1 PSU und Süßwasser, wobei ein Wachstum bei allen Salinitäten stattfand und keine Verluste auftraten.

Tabelle 14. Empfohlene Ionenkonzentrationen für Süßwasserfische, sowie die gemittelte Zusammensetzung von Flusswasser.

Parameter	Einheit	Timmons & Ebeling, 2007	Davidson et al., 2009 (Regenbogenforelle)	Flusswasser (gemittelt) nach Chester, 2003
Barium	mg/l	<5	<5	
Bor	mg/l		<5	
Calcium	mg/l	4-160	4-160	13,3
Magnesium	mg/l	<15	<28	3,1
Kalium	mg/l	<5	<10	1,5
Sulfat	mg/l	<50	<50	8,7
Natrium	mg/l		<1500	5,3
Zink	mg/l		<0,269	
Chlorid	mg/l			6,0
Hydrogencarbonat	mg/l			51,7

Für Meerwasserarten versucht man im Haltungswasser in der Aquakultur eine dem Meer ähnliche Ionenzusammensetzung zu schaffen, wobei sich gezeigt hat, dass nicht notwendigerweise alle Elemente über das Wasser zugeführt werden müssen. Spurenelemente werden in künstlichen Salzmischungen z.T. vernachlässigt.

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen, dass für die Standorte von Lachs, Seriola und Garnele (mittel bis hohe Salinität) die Ionenverhältnisse dem Nordseewasser relativ ähnlich sind. Ob die Hydrogencarbonat (HCO₃-)/Sulfat (SO₄) Verschiebung einen Einfluss haben wird ist nicht klar, wird aber nach Praktiker-Einschätzung als eher geringes Risiko bewertet. Niedrige Sulfat-Gehalte sind sogar in Bezug auf das Risiko der Schwefelwasserstoff (H₂S)-Bildung von Vorteil.

Die Abweichungen der wichtigsten Ionenverhältnisse im SG im Vergleich zu Meerwasser (Tabelle 15) sind am Standort Wöhrden für Garnele höher, als für Seriola (Friedrichskoog) und Lachs (Büsum).

Tabelle 15. Verhältnisse wichtiger Ionen im salzhaltigen Grundwasser an den einzelnen Standorten, im Vergleich zu Meerwasser (35 PSU).

	1. Glückstadt Zander	2. Büsum Lachs	3. Friedrichskoog Seriola	4. Wöhrden Garnele	5. Friedrichstadt Forelle	Meerwasser 35 PSU*
Na/K	22,6:1	34,5:1	26,7:1	34:1	39:1	26,7:1
Ca/K	4,2:1	1,6:1	1,9:1	3,5:1	14,1:1	1:1
Mg/Ca	1:1,4	2,4:1	1,6:1	1:0,8	1:5,2	3:1
Mg/K	2,9:1	4:1	3,2:1	4,2:1	2,6:1	3,2:1

*Werte beziehen sich auf den an über 100 Messstellen gemittelten Wert für Meerwasser aus allen Ozeanen (Gilberts Umwelttechnik/Reef Analytics).

Der Atlantische Lachs wird in Gooley et al. (1997) und Ingram et al. (2002) als mögliche geeignete Art für Brackwasser beschrieben (Konzentrationen/Abweichungen des getesteten Haltungswassers siehe Ingram et al., 2002).

Ein FAO Bericht von Kovalski (2011) beschreibt, das *Seriola lalandi* für die Eignung mit salzhaltigem Grundwasser in Australien untersucht wurde, aufgrund des abweichenden Ionenprofils (vor allem K Defizit) zwar überlebte, aber ein signifikant schlechteres Wachstum als im Meerwasser zeigte. Diese Art wurde daher in Australien nicht zu den für SG geeigneten Arten gezählt (Kovalski, 2011; Partridge et al., 2008).

Für Garnelen werden Ionendefizite (vor allem Mg und K) häufig aus Aquakulturen mit niedriger Salinität um die 5 PSU berichtet, die sich negativ auf das Wachstum und Überleben der Garnelen auswirkten (Saoud et al., 2003; Davis et al., 2005; Roy & Davis, 2010; Wudtisin & Boyd, 2011). Diese in der Literatur beschriebenen Ionenzusammensetzungen weichen zum Teil deutlich stärker von Meerwasser ab (siehe Valenzuela-Madrigal et al., 2017), als am Standort Wöhrden. Die besten Überlebens- und Wachstumsraten von Garnelen in einer Studie von Liu et al. (2014) lagen bei einem Na/K Verhältnis von 23:1 bis 33:1. Immunität und Krankheitsresistenz von Garnelen hingen in einem Versuch von Liu et al. (2014) ebenfalls eng mit dem Na/K-Verhältnis zusammen. Für Garnelen wird von Aruna & Felix (2017) ein Mg:Ca-Verhältnis von 3:1 empfohlen. Die Studie von Aruna & Felix (2017) zeigt, dass *L. vannamei* in salzarmen Gewässern mit einem niedrigen Mg:Ca-Verhältnis <3:1 zwar überleben kann, sich aber Verschlechterungen der Produktion zeigen. Sakthivel et al. (2014) fügt hinzu, dass das Verhältnis von Ca:K, das in Meerwasser bei 1:1 liegt, ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. In Gewässern, in denen das Ca:K-Verhältnis hoch ist, konnte die Zugabe von K zur Verringerung dieses Verhältnisses hilfreich sein. Zu geringe Ionenkonzentrationen ließen sich durch Zugabe ins Wasser/Aufsalzung regulieren oder könnten ggf. auch über das Futter ausgeglichen werden (z.B. K-Aminosäurekomplex; Roy et al., 2007). Eine entsprechende Zugabe an Nährstoffen kann allerdings teuer und somit ggf. unwirtschaftlich werden (Kolkovski, 2011). Es muss allerdings auch nicht zwingenderweise bis zum Meerwasseräquivalent aufgefüllt werden. Eine typische Shrimp-Farm in Alabama, USA weist Werte von 2,5 PSU mit 5 mg/l Mg auf. Eine gute Überlebensrate und Produktion zeigte sich bereits bei 10-30 mg/l Mg (<http://advocate.gaalliance.org/calcium-and-magnesium-use-in-aquaculture/#sthash.CWjOIFm7.dpuf>). Roy & Davis (2010) empfehlen, dass Mg Werte zu mindestens 25 % denen des Meerwassers entsprechen, wenn es auf den entsprechenden Salzgehalt verdünnt würde.

Ob die Abweichungen der wichtigsten Ionenverhältnisse im SG im Vergleich zu Meerwasser (Tabelle 15) bereits mögliche Defizite im Wachstum verursachen können, lässt sich letztendlich nur durch einen Hälterungsversuch im entsprechenden SG feststellen. Sollte sich durch die Abweichungen einzelner Ionen bspw. ein Wachstumsdefizit während der Produktion zeigen, könnte dies durch entsprechende

Ionenzugabe reguliert werden. Generell werden die Abweichungen der Ionenverhältnisse und das damit bestehende Risiko einer Unverträglichkeit durch die relativ hohe Ähnlichkeit zum Meerwasser (und im Vergleich zu den genannten Studien) als eher gering eingeschätzt.

5.3.3 Spuren- / Mikroelemente / Metalle

Abweichungen bzw. erhöhte Spurenelemente zeigten sich im SG an allen Standorten für Eisen (siehe 5.3.3.1) und Mangan (siehe 5.3.3.2). Zudem zeigte sich ein erhöhter Zink-Gehalt (siehe 5.3.3.3) am Standort Friedrichstadt und ein erhöhter Aluminiumgehalt (siehe 5.3.3.4) an den Standorten Friedrichstadt und Glückstadt.

Hohe Abweichungen bei den Spurenelementen fanden sich auch bei Silicium (Si) im SG an allen Standorten (von 7- 22 mg/l), im Vergleich zu Meerwasser (Si-Gehalt von <0,05). Mögliche Auswirkungen auf die Arten sind jedoch nicht bekannt. Si dient vor allem Organismen, die siliciumdioxidhaltige Strukturen erzeugen, wie z.B. Kieselalgen. In der Aquaristik wird empfohlen den Silicium Dioxid (SiO₂) Wert zwischen <1-3 mg/l zu halten, um das Wachstum von Kieselalgen zu vermeiden (<http://aqua-check.de/de/hilfe/wasserparameter#silizium>). Das Verhältnis zwischen Si und Phosphat (P), und Si und Stickstoff (N) bestimmt u.a. darüber, welche Algen sich überwiegend im Wasser entwickeln. Für Garnelen Hatcherys wird bspw. ein SiO₂-Gehalt von 5-30 mg/l in Brackwasser empfohlen (<http://www.fao.org/docrep/005/y4100e/y4100e04.htm>). In einer Aquakulturzucht in Island zeigte das Grundwasser hohe SiO₂ Werte (Georgsson & Fridleifsson, 2016), welche aber nicht als problematisch für die KLA erwähnt wurden.

Im Meerwasser kommen Metalle als Spurenelementen vor, die für die Arten zum Teil von essentieller Bedeutung sind. Die Spurenelemente können über die Nahrung, aber auch über das Wasser aufgenommen werden. In zu hohen Konzentrationen kann die Ansammlung von Metallen in verschiedenen Fischorganen z.B. den Kiemen strukturelle Läsionen und Funktionsstörungen verursachen und sich toxisch auswirken. Die allgemeinen Richtwerte sind in Tabelle 16 dargestellt. Generell muss in einer KLA auf mögliche Akkumulationen bestimmter Stoffe mit toxischem Potential geachtet werden.

Tabelle 16. Richtwerte für Metalle verschiedener Autoren für Fische und Garnelen.

Parameter	Einheit	Bedeutung	Wedemeyer, 1996 (Fische)	Timmons & Ebeling, 2007 (Fische)	Van Wyk & Scarpa, 1999 (Garnelen)
Eisen	mg/l	Essentiell	<0,1	<0,15	≤1,0
Mangan	mg/l	Essentiell		<0,01	
Nickel	mg/l	Essentiell		<0,1	
Kupfer	mg/l	Essentiell	<0,03 in hartem Wasser (>100 mg/l CaCO ₃)		≤0,025
Zink	mg/l	Essentiell	<0,005	<0,005	≤0,1
Vanadium	mg/l	Essentiell		<0,1	
Selen	mg/l	Essentiell	<0,01	<0,01	
Chrom	mg/l	Essentiell	<0,01; 0,007-0,011 (aus Hochleithner, 2014; Davidson et al., 2009)		≤0,1
Cobalt	mg/l	Essentiell	0,01 (aus Davidson et al., 2009)		
Aluminium	mg/l	Nicht-essentiell	<0,075	<0,01	
Blei	mg/l	Nicht-essentiell	<0,02	<0,02	≤0,1
Cadmium	mg/l	Nicht-essentiell	<0,005 in hartem Wasser (>100 mg/l CaCO ₃)	<0,0005 in weichem Wasser (<100 mg/l CaCO ₃), <0,005 in	≤0,01

Parameter	Einheit	Bedeutung	Wedemeyer, 1996 (Fische)	Timmons & Ebeling, 2007 (Fische)	Van Wyk & Scarpa, 1999 (Garnelen)
				hartem Wasser (>100 mg/l CaCO ₃)	
Silber	mg/l	Nicht-essentiell		<0,003	
Quecksilber	mg/l	Nicht-essentiell	<0,0002	<0,02	≤0,0001

5.3.3.1 Eisen

An den Standorten Glückstadt, Friedrichskoog und Wöhrden wurden vergleichsweise hohe Gehalte an Eisen gemessen. Die maximalen Gehalte lagen dabei in Glückstadt mit 32,2 mg/l Eisen vor. In Friedrichskoog, Wöhrden und Friedrichstadt wurden Eisen-Gehalte von 7,1 mg/l, 6,1 mg/l und 1,75 mg/l beobachtet. Vergleichsweise geringe Eisen-Gehalte von 0,9 mg/l lagen im Grundwasser am Standort Büsum vor. Hier weisen die niedrigen Sulfat- und hohen Hydrogencarbonat-Gehalte auf eine Sulfat-Reduktion hin. Dies legt nahe, dass im Grundwasser gelöstes Eisen durch bei der Sulfat-Reduktion entstandenes Sulfid ausgefällt wurde (Appelo & Postma, 2005).

Eisen ist ein essentieller Nährstoff, der u.a. beim Sauerstofftransport, der DNA Synthese und Immunfunktionen involviert ist. Eisen kann über die Nahrung, aber auch über die Kiemen aus dem Umgebungswasser aufgenommen werden. Durch das Herauffördern des Wassers und der Reaktion mit Luftsauerstoff wird gelöstes Eisen (II) zu Eisen (III) oxidiert. Die Ausflockung des Eisens kann, wenn nicht durch entsprechende Filterung zurückgehalten, die Kiemen der Fische empfindlich stören (Baur & Rapp, 2003). Die Toxizität bezieht sich in erster Linie auf die Beeinträchtigung oder Schädigung der Kiemen durch die Akkumulation von Eisen, wodurch die Respiration und Osmoregulation gestört werden kann (Debnath et al., 2012). Nur wenige Studien liefern Hinweise darauf, dass auch die Ionenregulation beeinträchtigt wird (Peuranen et al., 1994; Lappivaara et al., 1999). Die Exposition mit Eisen kann sich schon bei niedrigeren Konzentrationen in Stress, vermindertem Fressverhalten und beeinträchtigtem Wachstum äußern (Debnath et al., 2012; Smith et al., 1973). Einige Autoren beschreiben sogar bereits eine letale Wirkung von Eisen bei >1 mg/l (Baur & Rapp, 2003). Larvenstadien und Juvenile sind besonders empfindlich. Unterschiedliche Angaben in Studien zur Toxizität von Eisen lassen sich durch dessen Abhängigkeit von anderen Wasserparametern, wie z.B. der Wasserhärte, pH-Wert, Kalkgehalt, Temperatur, Säurebindungsvermögen, Ammonium, Natrium, Kalium und Sauerstoffgehalt erklären (Baur & Rapp, 2003; Javed & Abdullah, 2006).

Neben den Auswirkungen auf das Tierwohl bringt die Oxidation von Eisen eine braune Verfärbung (Rost und Braunstein) mit sich. Laut Trinkwasserverordnung liegt der Grenzwert für Eisen bei 0,2 mg/l, um eine braune Färbung des Wassers, Rost und einen metallischen Geschmack des Trinkwassers zu vermeiden. Die nötige Aufbereitung des Eisens im SG vor Eintritt in die KLA wird in Kapitel 6 beschrieben.

5.3.3.2 Mangan

Die Mangan-Gehalte an den Standorten reichen von 0,266 mg/l in Friedrichsstadt über 0,303 mg/l in Büsum, 0,561 mg/l in Wöhrden, 1,86 mg/l in Friedrichskoog und 2,27 mg/l in Glückstadt.

Mangan tritt häufig im Zusammenhang mit Eisen auf und kann an den Kiemen als Manganoxid ausfallen und so die Sauerstoffaufnahme behindern. Akute Mangan-Toxizität kann zur Schädigung der Kiemen, in Form von Hyperplasie, epithelialer Ablösung, lamellarer Fusion und Aneurysmen auftreten (Hedayati et al., 2014). Die Toxizität von Mangan ist, wie auch bei Eisen, abhängig von der Härte insbesondere von Ca im Wasser. Für Fische und Garnelen hat Ca eine schützende Funktion gegen die Toxizität von Mangan

(Peters et al., 2011). Mg zeigt diese Funktion auch bei Invertebraten (Peters et al., 2011). Die nötige Aufbereitung des Mangans im SG vor Eintritt in die KLA wird in Kapitel 6 beschrieben.

5.3.3.3 Zink

Die Nachweisbarkeitsgrenzen der Standortanalysen lagen bei $<0,05$ und $<0,01$ mg/l (Richtwert bei $<0,005$). Am Standort Friedrichstadt lag der Wert bei $0,0261$ mg/l.

Zn als potentiell toxisches Element ist für alle bekannten Lebensformen essentiell. Es ist ein Kofaktor für 10 % aller Proteine und fungiert sowohl als parazellulärer, als auch als intrazellulärer Signalstoff. Es gibt daher eine umfassende Reihe von Proteinen, die als Transporter, Chelatbildner und molekulare Sensoren für Zn fungieren. Die Toxizität ist dabei abhängig vom organischen Material, Ca und pH im Wasser (Santore et al., 2002; De Schampelaere et al., 2005; Todd et al., 2009). Die Hauptwirkungsweise der akuten Zn-Toxizität für Süßwasserfische ist die Hemmung der Calciumaufnahme über die Kiemen (Hogstrand, 2012). Bei niedrigem pH-Wert konkurrieren Zn^{2+} und H^+ Ionen um die Bindungsstellen an den Kiemen, während bei $pH >8$ eine anorganische Komplexbildung auftritt (Santore et al., 2002). Ein hoher Calcium Wert im Wasser kann die Aufnahme von Zink reduzieren (Barron & Albeke, 2000). Die Richtlinie 2006/44/EG des europäischen Parlaments und des Rates zur Qualität von Süßwasser gibt für Salmonidengewässer je nach Härte in mg/l $CaCO_3$ einen Gesamtzinkwert in mg/l von $0,03$ bei Härte 10 , $0,2$ bei Härte 50 , $0,3$ bei Härte 100 und $0,5$ bei Härte 500 an, so dass hier eher keine negativen Auswirkungen durch das Zink zu erwarten sind. Andere Studien zeigten ebenfalls geringere Richtwerte von bspw. $0,269$ mg/l für Regenbogenforellen in KLA (Davidson et al., 2009).

5.3.3.4 Aluminium

Das Grundwasser am Standort Friedrichstadt weist einen Aluminium-Gehalt von $1,44$ mg/l und am Standort Glückstadt von $0,048$ mg/l auf.

Al hat keine biologische Funktion und kann toxisch sein, wenn es gelöst unter sauren ($pH <6$) oder alkalischen ($pH >8$) Bedingungen vorliegt. Bei einem pH zwischen $6-8$ kann es ggf. zu Irritationen kommen (Sparling et al., 1997). Zwischen dem erhöhten Aluminium-Gehalt und dem pH-Wert von $8,92$ am Standort Friedrichstadt wird daher ein Zusammenhang vermutet. Die Auswirkungen gelösten Aluminiums betreffen in erster Linie die Kiemenfunktionen. Der toxische Mechanismus bezieht sich u.a. auf die Inhibition der Ionenregulation in den Kiemen (Beschleunigter passiver Ionenverlust und Verhinderung der aktiven Ionenaufnahme) durch kationische Al Formen (vor allem Al^{3+} in saurem Wasser), und/oder einer Dysfunktion der Atmung durch Ablagerungen von $Al(OH)_3$, durch die die Kiemen verschleimen. Dies kann in der Folge zu verlangsamtem Wachstum, schlechter Reproduktion, Veränderung des Schwimmverhaltens etc. führen. Neben dem pH-Wert haben auch der Ca-Gehalt (wichtiger Faktor bei der Bestimmung der Permeabilität von Zellmembranen) und die Wasserhärte, sowie die organische Last (bindet Al) Einfluss auf die Toxizität. Die toxische Wirkung des im alkalischen Bereich ($pH >8$) vorliegenden Anions $Al(OH)_4^-$ scheint im Vergleich zu den kationischen Verbindungen weniger toxisch zu sein, ist aber auch weniger gut beschrieben (Wilson, 2012). Studien zur Toxizität im alkalischen Bereich liegen vor von Freeman & Everhart (1971), Gundersen et al., (1994), Exley et al., (1996) und Poleo & Hytterod (2003). Die geringere Toxizität bei einem hohen pH-Wert in Bezug auf die Kiemenfunktion lässt sich u.a. durch die negativ geladenen Al-Anionen erklären, die nicht wie die positiv geladenen Kationen an der negativ geladenen Kiemenoberfläche haften. Die nötige Entfernung des Aluminiums aus dem SG vor Eintritt in die KLA wird in Kapitel 6 beschrieben.

5.3.4 Stickstoffverbindungen

An vier der fünf Standorte wurden vergleichsweise hohe Gehalte an Ammonium festgestellt mit 12,6 mg/l in Wöhrden, 20,87 mg/l in Friedrichskoog, 24,47 mg/l in Büsum und 32,6 mg/l in Glückstadt. Neben Ammonium wurden Spuren von Nitrit (0,3 mg/l) am Standort Wöhrden nachgewiesen.

Die erhöhten Ammonium-Gehalte sind geogen bedingt und lassen sich auf die Zersetzung von organischem Material aus den an allen Standorten vorhandenen oberflächennahen marinen holozänen Ablagerungen (Klei) zurückführen.

Ammonium selbst gilt als relativ ungefährlich für Fische und Garnelen, sollte aber möglichst gering gehalten werden, da es mit steigendem pH-Wert und steigender Temperatur als fischtoxisches Ammoniak vorliegt (Spotte, 1970; Alabaster & Lloyd, 1982). Hohe Konzentrationen von Ammoniak verursachen eine Vielzahl von physiologischen Funktionsstörungen, hemmen das Wachstum und führen zur Mortalität (Tomasso, 1994).

Nitrit, das Salz der Salpetrigen Säure (HNO_2), kommt in aeroben aquatischen Systemen in der Regel nicht in großen Mengen vor, da es nur während eines kurzen Zwischenschritts im Nitrifikationsprozess frei vorliegt. Wenn die Nitrifikation (Oxidation von Ammonium/Ammoniak über Nitrit zu Nitrat) verlangsamt wird (beeinflusst durch u.a. Temperatur und pH), erhöht sich die Konzentration dieser toxischen Substanz (Lewis & Morris, 1986).

Nitrat wird für Fische generell als eher ungefährlich betrachtet, es sollte aber in nicht zu hohen Konzentrationen vorkommen, da es die Osmoregulation und den Gasaustausch, wie bspw. den Sauerstofftransport beeinflussen kann (Timmons et al., 2002). Überschüssiges Nitrat kann durch eine anaerobe bakterielle Denitrifikation entfernt werden, bei der Nitrat in atmosphärischen Stickstoff umgewandelt wird.

Die Auswirkungen des zusätzlichen Ammoniums im Zulaufwasser, auf die durch Futter und Fische vorkommenden Stickstoffwerte im Haltung- und Abwasser, sind in Tabelle 17 dargestellt. Bei einer Neu-/Komplettbefüllung der Becken sind die erhöhten Ammonium-Werte im Zulauf zu bedenken.

Tabelle 17. Auswirkung der Grundwasser Ammonium-N Auflast im Zulauf auf das durch Futter und Fische belastete Haltung- und Abwasser (basierend auf artspezifischem Futtermittel N-Eintrag und ungefährtem Wasservolumen der Anlagen).

	Einheit	1. Glückstadt Zander	2. Büsum Lachs	3. Friedrichskoog Seriola	4. Wöhrden Garnele	5. Friedrichstadt Forelle
Frischwasserbedarf	m ³ /h	6,12	60	60	0,86	72
Wasser Volumen in der Anlage	m ³	3.850	6.400	6.400	840	1.111
SG Ammonium-N im Zulauf	mg/l	25,3	19,0	16,2	9,78	0,205
Ammonium-N Erhöhung im Haltungswasser durch SG (wenn im Tank nur Ammonium-N durch Futter/Fische)	mg/l	0,04	0,17	0,15	0,01	0,01
SG Ammonium-N Auflast auf N-Eintrag durch das Futter (kg/Tag)	%	6,8	27,3	16,4	6	2,3
Zusätzliche Nitrat-N Auflast durch SG (auf Futter/Fisch belastetes Wasser) im Abwasser ohne Denitrifikation* oder Aufbereitung vor Eintritt in KLA	mg/l	25	19	16	10	0,2

SG = salzhaltiges Grundwasser, N = Stickstoff

*Anlagen mit Denitrifikation im Kreislauf, oder innerhalb der Abwasser Behandlung müssten entsprechend ausgelegt werden, um das Nitrat-N zu entfernen.

Die Höhe der Ammonium Werte an den Standorten (außer Friedrichstadt) setzt je nach Höhe des Wasseraustausches ggf. eine zusätzliche Aufbereitung voraus. Ammonium und auch der geringe Nitrit-Gehalt am Standort Wöhrden sollte bei dem geringen Frischwasserbedarf der Garnelen-KLA durch den Biofilter zu Nitrat oxidiert und durch die Denitrifikation zu Luftstickstoff oxidiert werden. Es gibt zudem Annahmen, dass alle Oberflächen in einer KLA wie z.B. die Becken biologisch aktiv sind und hier ebenfalls die TAN Oxidation (ca. 30-50 %) stattfindet (Losordo & Westers, 1997). Rydl (2005) zeigte vergleichbare bakterielle Aktivitäten/Umsatzraten zwischen Bakterien auf den Biofilterfüllkörpern und restlichen Oberflächen.

Bei höherem Frischwasserbedarf muss geprüft werden, ob eine intensivere Nitrifikation und Denitrifikation zur Entfernung von Ammonium/Nitrat notwendig ist. Für die RAS2020 Anlagen könnte ggf. ein größer dimensionierter Biofilter die Umwandlung in Nitrat bewerkstelligen. Das RAS2020 sieht aber in der hier dargestellten Form keine Denitrifikation vor, so das im Abwasser höhere Nitrat Werte auftreten würden, die für die Einleitungsgenehmigung problematisch sein können. Höhere Stickstoff (Ges. N) Werte im Abwasser würden eine entsprechend intensivere Abwasseraufbereitung erfordern. Der Mehraufwand durch das Ammonium im SG muss durch Anlagenplaner entsprechend kalkuliert werden.

5.3.5 Schadstoffe

Die Untersuchungen auf leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) haben an keinem der Standorte Auffälligkeiten ergeben, die Gehalte lagen in allen untersuchten Grundwässern unterhalb der Nachweisgrenze.

Die Untersuchungen auf polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) lagen mit Ausnahme von Naphthalin ebenfalls durchgängig unterhalb der Nachweisgrenze. Naphthalin wurde in Spuren knapp oberhalb der Nachweisgrenze (0,045 µ/l und 0,021 µ/l) an den Standorten Büsum und Friedrichskoog beobachtet. Da PAK nahezu ubiquitär vorkommen und es sich bei Naphthalin um die mobilste Einzelsubstanz der PAK handelt, liegt nahe, dass die Naphthalin-Gehalte Hintergrundwerte darstellen. Hinweise auf eine Altlast sind nicht gegeben. Der Toxizitätstest für Naphthalin bei Fischen lag bei 72 h LC₅₀ bei 1,8 – 3,2 mg/l (Hedinger, 2018), so dass voraussichtlich keine negativen Effekte zu erwarten sind.

Am Standort Büsum wurden mit 7,2 µg/l Arsen-Gehalte oberhalb des Geringfügigkeitsschwellenwerts zur Beurteilung von lokal begrenzten Grundwasserveränderungen von 3,2 µg/l festgestellt (LAWA, 2016). Allerdings sind die Hintergrundwerte für Arsen in den Organik-reichen, marinen Ablagerungen der Marschen Schleswig-Holsteins ebenfalls erhöht (LLUR, 2011), so dass hier von einer geogenen Ursache ausgegangen werden muss. Für die Fischzucht liegt die Empfehlung bei <50 µg/l (Timmons & Ebeling, 2007), so das durch den Arsen-Gehalt im SG keine negativen Effekte zu erwarten sind.

Zusammenfassung artspezifische Grundwassereignung

Die Ionenverhältnisse liegen für Zander und Forelle im Süßwasser-ähnlichen und für Lachs, Seriola und Garnele im Meerwasser-ähnlichen Bereich, wodurch das Risiko einer Unverträglichkeit als eher gering eingeschätzt wird. Sollte sich dennoch durch die Abweichungen einzelner Ionen bspw. ein Wachstumsdefizit während der Produktion zeigen, könnte dies durch entsprechende Ionenzugabe reguliert werden. Eine Hälterungsstudie der Arten im entsprechenden SG kann über mögliche Unverträglichkeiten Aufschluss bieten und wird bei einem Planungsvorhaben vorab generell empfohlen.

Die auffälligsten Inhaltsstoffe des SG an den Standorten, die aus artspezifischer Sicht bereits erkennbar eine Aufbereitung erforderlich machen, sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Kapitel 6 beschreibt die entsprechenden Aufbereitungstechniken. Generell hängt der Aufwand der Aufbereitung nicht nur von der Höhe der Konzentration, sondern auch von der Menge des Zulaufwassers für die KLA ab.

Tabelle 18. Zusammenfassende Darstellung der auffälligen Inhaltsstoffe, die eine Aufbereitung erforderlich machen.

	1. Glückstadt Zander	2. Büsum Lachs	3. Friedrichskoog Seriola	4. Wöhrden Garnele	5. Friedrichstadt Forelle
Eisen	32,2 mg/l	0,9 mg/l	7,1 mg/l	6,1 mg/l	1,7 mg/l
Mangan	2,3 mg/l	0,3 mg/l	1,9 mg/l	0,6 mg/l	0,3 mg/l
Zink					0,03 mg/l Bei gegebener Härte vorauss. nicht problematisch
Aluminium	0,048 mg/l				1,44 mg/l
pH					8,9 Senkung aufgrund des Aluminium- Gehaltes vor Eintritt in die Anlage nötig
Ammonium	32,6 mg/l	24,5 mg/l	20,9 mg/l	12,6 mg/l Kann vsl. durch geringen Wasseraus- tausch der KLA im Biofilter und Denitrifikation mitentfernt werden	
Nitrit				0,3 mg/l Kann in der KLA zu Nitrat oxidiert werden	

6. Wasseraufbereitung

6.1 Wasserbedarf

Der Wasserbedarf für Fischzuchtanlagen variiert erheblich in Abhängigkeit von den Fischarten und Produktionszielen (Tabelle 19). Der Grundwasserbedarf ergibt sich, wenn der Eigenverbrauch des Wasserwerkes (3 %) und ein Sicherheitszuschlag (angenommen 7 %) hinzu addiert werden.

Tabelle 19. Wasserbedarfszahlen für die Fischproduktion.

Standort		1. Glückstadt	2. Büsum	3. Friedrichskoog	4. Wöhrden	5. Friedrichstadt
Art		Zander	Lachs	Seriola	Garnele	Forelle
Produktion	t/a	500	1.200	1.200	30	225
Wasserbedarf	m ³ /h	6,3	60	60	0,9	72
	m ³ /d	150	1.440	1.440	21	1.728
	m ³ /a	54.750	525.600	525.600	7.665	630.720
Inkl. Sicherheitszuschlag	m ³ /a	60.000	600.000	600.000	8.400	700.000

6.2 Infrastruktur Wassergewinnung

Die zur Wassergewinnung erforderliche Infrastruktur orientiert sich naturgemäß am Wasserbedarf. Grundsätzlich kommen für die Aufbereitung von Eisen-, Mangan- (und Ammonium-) haltigem Grundwasser zwei Arten der Aufbereitung in Frage:

- Enteisung und Entmanganung in konventionellen übertägigen Aufbereitungsanlagen
- Unterirdische Enteisung und Entmanganung (In-Situ-Enteisung, -Entmanganung)

6.2.1 Anforderungen an die Grundwasseraufbereitung

Die Hauptanforderung an die Grundwasseraufbereitung ergibt sich daraus, dass im Grundwasser Fe²⁺- und Mn²⁺-Ionen gelöst sind, die bei der Anreicherung des Grundwassers mit Sauerstoff zu Fe³⁺- und Mn⁴⁺-Ionen oxidiert werden, die dann schwerlösliche Metalloxidhydrate bilden, die aus dem Wasser herausgefiltert werden müssen. Ansonsten würde es zu Verkrustungen der Rohrleitungen führen und darüber hinaus auch die Kiemen der Fische belegen. Daher müssen Eisen und Mangan aus dem Grundwasser weitgehend entfernt werden, bevor es verwendet werden kann. Hierzu ist eine Enteisung und Entmanganung erforderlich, deren Art und Auslegung grundsätzlich der für die Trinkwasserherstellung entspricht. Die Zielwerte der Aufbereitung für Eisen und Mangan sollten sich an der Trinkwasserverordnung orientieren (Fe: 0,2 mg/l, Mn: 0,05 mg/l).

Weitere Anforderungen an die Grundwasseraufbereitung ergeben sich auch aus der im Einzelfall erforderlichen Wassermenge. Grundsätzlich muss jede Grundwasseraufbereitung individuell an standortspezifische Erfordernisse angepasst werden. Dies kann mit einer kleinen Pilotanlage erfolgen, mit der anlagenspezifische Details getestet werden.

6.2.2 Enteisung und Entmanganung in konventionellen Aufbereitungsanlagen

Die konventionellen übertägigen Aufbereitungsanlagen bestehen grundsätzlich aus einer Belüftungsvorrichtung zur Anreicherung des Rohwassers mit (Luft-) Sauerstoff und einem oder mehreren Sand- / Kiesfiltern, in der die ausgefällten Eisen- und Mangan-Hydroxide entfernt werden. Bei höheren Eisengehalten kommen auch Schichtbettfilter mit unterschiedlichen Filtermedien zum Einsatz.

In der Trinkwasseraufbereitung kommen zumeist Raumfilter zum Einsatz. Hier gibt es eine Vielzahl verschiedener Bau- und Funktionstypen (Mutschmann & Stimmelayr, 2014). Heute kommen zumeist Schnellfilter zur Anwendung (Abbildung 14).

Druckfilter haben gegenüber offenen Filtern den Vorteil, dass kein freier Wasserspiegel vorhanden ist, u.U. Pumpstufen gespart werden und größere Schichthöhen, höhere Filtergeschwindigkeiten und längere Laufzeiten möglich sind. Nachteile sind u.a. die fehlende optische Kontrolle und die im Vergleich zu offenen Filtern geringe Filterfläche.

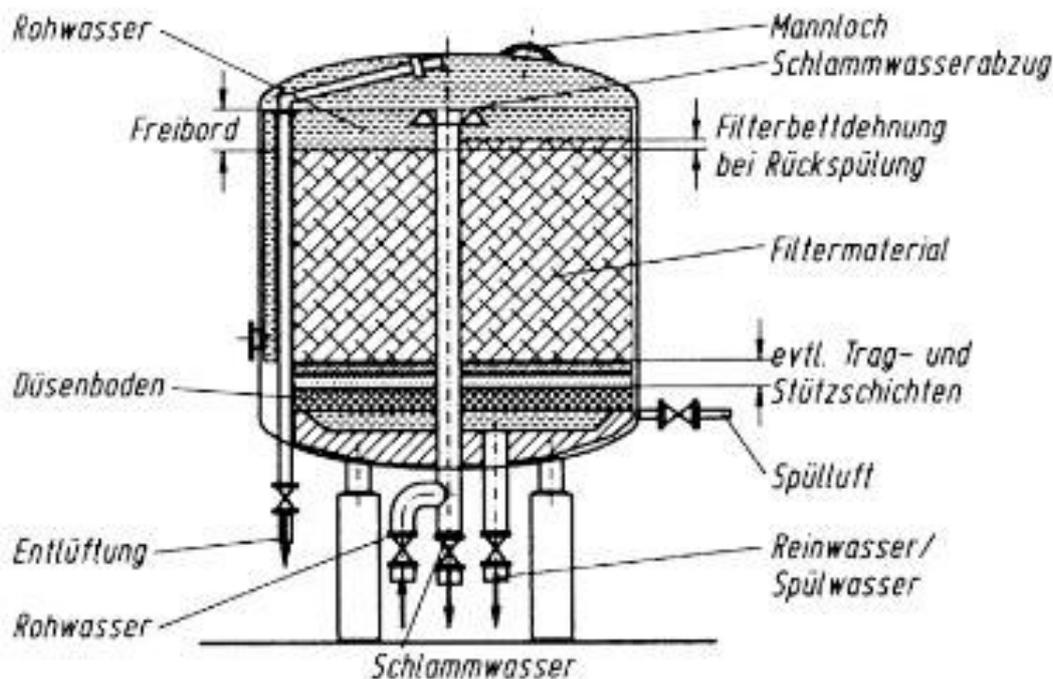


Abbildung 14. Geschlossener Schnellfilter (Druckfilter); aus Mutschmann & Stimmelayr (2014).

Auch nicht überstaute Kiesfilter, sogenannte „Trockenfilter“ (der Wasserspiegel im Filter wird dabei unterhalb des Filterbodens gehalten), haben sich als erste Filterstufe bewährt, besonders bei hohen Fe-Gehalten (ca. 10 bis 25 mg/l). Es ist davon auszugehen, dass an allen Standorten stets eine Entmanganungsstufe eingesetzt werden muss, so dass die Aufbereitung zweistufig sein wird.

Arsen wird bei der Fällung von Eisen, ebenfalls sofern vorliegend, aus dem Rohwasser eliminiert.

Welcher Filtertyp für die Aufbereitung des Grundwassers an den Standorten am besten geeignet ist, ergibt sich erst aus der Ingenieurplanung, die nicht Gegenstand der vorliegenden Bearbeitung ist.

Um die Wasserversorgung der Fischzuchtanlage mittels eigener Wassergewinnungs-Infrastruktur sicherstellen zu können, muss die Wasserwerkstechnik zuverlässig funktionieren. Die wasserwirtschaftlichen Erfahrungen zeigen, dass neue Aufbereitungsanlagen mitunter mehrere Monate benötigen, bis die Aufbereitungszielwerte erreicht werden, insbesondere für Mangan. Die Enteisung ist in der Regel deutlich weniger problematisch. Dies hängt u.a. damit zusammen, dass sich das für die Entmanganung erforderliche mikrobiologische Ökosystem in der entsprechenden Aufbereitungsstufe erst

einstellen muss. Somit wird empfohlen, erst die Grundwassergewinnungs- und Aufbereitungsanlagen zu errichten, bevor die eigentliche Fischzuchtanlage gebaut wird.

6.2.3 Entfernung von Aluminium aus dem Rohwasser

Für Fischgewässer ist ein Aluminium-Gehalt von 0,01 mg/l als Orientierungswert festgesetzt. In Glückstadt wurde ein Al-Gehalt von 0,048 mg/l nachgewiesen, das Grundwasser am Standort Friedrichstadt weist mit 1,44 mg/l einen auffällig hohen Aluminium-Gehalt auf. An den anderen Standorten wird der o.g. Orientierungswert nicht überschritten.

Aluminium wird aus dem Rohwasser entfernt, indem der pH-Wert innerhalb der Aufbereitung im Bereich des Löslichkeitsminimums eingestellt wird (pH = 6,5 bis 7,2). Das kann dadurch erreicht werden, dass vor dem zweiten Filterkessel (Entmanganung) ein Teilstrom abgezweigt wird, der dann wieder dem ersten Filterkessel zugeführt wird. Dabei kann man über eine pH-Wert-Steuerung Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) zugeben, bis der pH-Wert stimmt. Alternativ kann die pH-Wert-Einstellung auch mit einem Mehrschichtfilter erreicht werden, dessen oberste Schicht aus gekörntem Calciumcarbonat besteht.

6.2.4 In-Situ-Enteisenung, -Entmanganung

Die unterirdische Enteisenung hat sich seit Jahrzehnten an vielen Standorten bewährt. Sie ist im Vergleich zur oberirdischen Aufbereitung eine preiswerte und Platz sparende Alternative. Allerdings müssen kostenintensive standortspezifische Eignungstests durchgeführt werden, um zu untersuchen, ob ein Standort überhaupt für die unterirdische Enteisenung geeignet ist.

Je nach Grundwasserbeschaffenheit lassen sich Aufbereitungsleistungen von 100 bis maximal 8.000 m³/Tag je Anlage erreichen (Angabe des FERMANOX[®]-Anlagenherstellers Fa. Winkelkemper GmbH, Wadersloh).

Bei der unterirdischen (subterrestrischen) Enteisenung und Entmanganung findet die Entfernung bereits innerhalb des Grundwasserleiters statt. Das Verfahren benötigt mindestens zwei Brunnen, von denen zunächst ein Brunnen Grundwasser fördert, von dem ein Teil mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft angereichert und ohne Zwischenspeicherung über den zweiten Brunnen in den Grundwasserleiter zurückgeführt (infiltriert) wird. Der mit dem infiltrierten Wasser in den Untergrund eingetragene Sauerstoff verteilt sich im Umfeld des Infiltrationsbrunnens und oxidiert dort die im Grundwasser gelösten Fe²⁺- und Mn²⁺-Ionen zu Fe³⁺- und Mn⁴⁺-Ionen, die dann schwerlösliche Metalloxydhydrate bilden und sich auf der Oberfläche der Sand- und Kieskörner des Grundwasserleiters abscheiden. Nach Ablauf einer standortspezifisch zu ermittelnden Reaktionszeit wird das so von den Fe²⁺- und Mn²⁺-Ionen weitgehend befreite Grundwasser aus dem Infiltrationsbrunnen gefördert, wobei dann ein Teilstrom nach Anreicherung mit Luftsauerstoff über den anderen Brunnen wieder in den Untergrund infiltriert wird. Somit wird jeder der Brunnen wechselweise als Entnahme- und Infiltrationsbrunnen genutzt.

Das Verfahren benötigt keine Filterbehälter, es entsteht weder Abwasser noch Abfall (Eisenschlamm). Der Energiebedarf ist im Vergleich zu einer konventionellen Aufbereitung in einer oberirdischen Anlage gering.

6.2.5 Entfernung von Ammonium aus dem Rohwasser

Während der Eisen/Mangan- Entfernung wird in der konventionellen Aufbereitung i.d.R. in der Entmanganungsstufe ein Teil des Ammoniums zu Nitrat oxidiert. Eine komplette Entfernung des Ammoniums ist technologisch sehr aufwendig. Man kann spezielle Anpassungen der mehrstufigen Anlagentechnikvorhaben (Belüftung – Enteisenung/Entmethanung - Biooxidatoren (Trockenfilter mit

Sand und Aktivkohle)). Dazu sind mehrfache Impfungen der Anlage mit nitrifizierenden Bakterien erforderlich, da die Bakterien bei Rückspülungen aus der Anlage ausgetragen werden, was wiederum die Wirksamkeit reduziert. Eine chemische Oxidation von Ammonium durch Ozonisierung ist nur bei sehr hohen pH-Werten möglich. In der Trinkwasseraufbereitung wird das Verfahren wegen des hohen Aufwandes nicht eingesetzt (Mutschmann & Stimmelmayer, 2014) und kommt demnach auch für die Fischproduktion nicht in Frage. Solange bei der Aufbereitung Sauerstoffsättigung erreicht wird und die Anlage gleichmäßig läuft, ist allenfalls eine Druckfiltration (Kapitel 6.2.2) für die Ammonium-Entfernung zielführend. Grundsätzlich bedarf die Technologie für die Ammonium-Eliminierung einer sorgfältigen Planung der Verfahrenstechnologie. In diesem Zusammenhang sind ebenfalls umfangreiche Vorversuche unabdingbar.

Im Anstrom der Brunnen im WW Friedrichshain in Berlin wird das Ammonium im Grundwasser vor Eintritt in die Anlage eliminiert. Die hohen NH_4 -Gehalte resultieren aus Rieselfeldern im Einzugsgebiet der dortigen Brunnen. Zur Ammonium-Eliminierung wird hier im Anstrom der Förderbrunnen Sauerstoff in den Grundwasserkörper injiziert. Das geschieht über eine Reihe von Injektionslanzen, über die Luft ins Grundwasser eingeblasen wird. Für eine wirtschaftliche Ammonium-Entfernung im Zusammenhang mit der Fischproduktion ist dies kaum praktikabel, da der Aufwand zu komplex und auch zu kostenintensiv sein dürfte.

Andere Verfahren zur Ammonium-Eliminierung, z.B. Membranverfahren (Ultrafiltration) kommen nicht in Frage, da diese auch alle anderen im Grundwasser gelösten Salze entfernen.

Durch den hohen Aufwand einer Ammoniumentfernung aus dem SG vor Eintritt in die KLA empfiehlt es sich, dass Ammonium innerhalb der KLA aufzubereiten (siehe hierzu Kapitel 5.4).

7. Abwasser

In einer KLA wird das Prozesswasser durch unterschiedliche Reinigungsschritte permanent intern aufbereitet und rezirkuliert. Dazu gehören die mechanische Filterung mit bspw. Trommelfiltern zur Beseitigung von partikulärem organischem Material, vor allem Futterresten und Faeces; Eiweiß-Abschäumer zur Beseitigung von fein-partikulärem Material; Einrichtungen zur Entgasung, Belüftung und Sauerstoffanreicherung; UV-Bestrahlung oder Ozonisierung zur Desinfektion des Prozesswassers; Biofilter (bspw. Bewegbett oder Trickling) zur aeroben Umwandlung von gelöstem Ammonium, über Nitrit zu Nitrat; und ggf. ein Denitrifikationsreaktor zur Nitrat-Entfernung durch die anaerobe Umwandlung von Nitrat zu Luftstickstoff. Das mechanisch und biologisch gereinigte Wasser kann so im Kreislauf geführt werden (für genauere Informationen siehe Bregnballe, 2015).

Das Abwasser einer KLA entsteht zu großen Teilen aus aufbereiteten Wässern, die aus Reinigungs- und Spülprozessen der biologischen und mechanischen Filter stammen oder je nach System durch den direkten Austausch von Produktions-Prozesswasser entstehen. Das Reinigungs- und Spülprozesswasser verlässt den Kreislauf i.d.R. durch den Spülwasserauslass der mechanischen Filter (ca. 2-3% TS-Gehalt) oder durch Reinigen und Spülen der Biofilter (1-1,5 % TS-Gehalt). Eine Behandlung dieser Reinigungs- und Spülprozesswässer vor der Direkt- oder Indirekteinleitung kann unterschiedlich realisiert werden. Oft wird das Reinigungs- und Spülprozesswasser in einem Schönungsteich oder einem Puffertank zwischengelagert und durch passive Sedimentation bei entsprechender hydraulischer Verweilzeit, oder durch weitere mechanische Prozesse (z.B. Bandfilter) weiter aufkonzentriert und vom Prozesswasser getrennt. Das Prozesswasser kann u.U. in den Produktionskreislauf der KLA zurückgeführt werden.

Der entstehende Schlamm (ca. 10 - 15 % TS) ist im Sinne des vorrangigen Verwertungsgrundsatzes des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (§7 Abs. 2 Satz 2 KrWG) einer sinnvollen Verwertung zuzuführen. Nach Bioabfallverordnung (BioAbfV) ist er als Filterschlamm anzusprechen und kann im Rahmen der Ausbringung im Rahmen der regionalen Verwertung (nach §10 Abs. 1 Nr. 1 und 2 BioAbfV) als Dünger oder für die Biogasproduktion verwendet werden und ist somit von der Behandlungs- und Untersuchungspflicht freigestellt. Es besteht für die Nutzung oder die Beseitigung auch weder eine Anzeige- noch eine Genehmigungspflicht. Da der Schlamm bei SG-Nutzung einen in Abhängigkeit von den Spülprozessen gearteten Salzgehalt (i.d.R. Spülung mit Frischwasser und damit erheblich geringerer Salzgehalt als das Prozesswasser der KLA) aufweisen wird, muss vorab geklärt werden welche Möglichkeiten der Abgabe bestehen. Bei der Zander- und Garnelenanlage ergibt sich eine ungefähre Schlammmenge von 3.200 (8,8 m³/Tag) und 1.100 (3,0 m³/Tag) m³ pro Jahr.

Der Phosphor-Gehalt und der Gehalt an Organik (i.S.v. abfiltrierbaren Stoffen und CSB/BSB) des Reinigungs- und Spülprozesswassers lässt sich im Schlammbehandlungsprozess reduzieren, während der Stickstoffgehalt noch relativ unverändert erhalten bleibt. Ein großer Teil des Stickstoffs ist im Wasser als Nitrat gelöst und kann nicht im mechanischen Filter entfernt werden. Die Verwendung einer Denitrifikation zur Behandlung des Reinigungs- und Spülprozesswassers kann im End-of-Pipe-Verfahren durchgeführt werden, um den Stickstoffgehalt vor dem Abschlag als Abwasser zu reduzieren. Die Verwendung eines Schönungsteiches und einer Pflanzenkläranlage stellen ebenfalls geeignete Verfahren nach Stand der Technik zur Aufarbeitung der Reinigungs- und Spülprozesswasser vor der Einleitung dar. Die Wahl des geeigneten Verfahrens zur Behandlung der Reinigungs- und Spülprozesswässer vor Einleitung als Abwasser ist im Einzelfall zu betrachten, siehe hierzu Kapitel 7.3.

7.1 Zusammensetzungen Reinigungs- und Spülprozesswässer

Die Zusammensetzungen der anfallenden Reinigungs- und Spülprozesswässer der Art-Technik-Kombinationen sind in Tabelle 20 aufgeführt. Es handelt sich hierbei nicht um die Abwasserwerte dieser Anlagen, sondern vielmehr um Planungswerte für die Spezifikation der End-of-Pipe-Behandlung. Die angegebenen Daten beruhen auf Erfahrungswerten und Schätzungen der Anlagenhersteller. Es ist zu beachten, dass je nach Futtermittel, Futtermangement, Filterdesign, Aufbereitungseffizienz etc. diese Werte stark abweichen können. Bspw. sorgen bestimmte Futtermittel für eine höhere Verdaulichkeit und Retention der Nährstoffe, sowie ggf. eine festere Bindung der Faeces und somit geringere spezifische N- und P-Emission und leichtere Entfernung durch die Filterung. Um im Rahmen dieser Studie eine geeignete End-of-Pipe-Behandlung, sowie die daraus abgeleiteten Abwasserkosten und auch die zusätzlichen Stickstofffrachten durch die N-Vorbelastung des Grundwassers darstellen zu können wurden diese Werte hier als Bemessungsgrundlage herangezogen.

Tabelle 20. Wasserverbrauch und Zusammensetzung der Reinigungs- und Spülprozesswässer der einzelnen Anlagentypen mit und ohne Ammonium-N Auflast aus dem Grundwasser.

		1. Glückstadt Zander	2. Büsum Lachs	3. Friedrichskoog Seriola	4. Wöhrden Garnele	5. Friedrichstadt Forelle
Anlagen Typ		Konventionelle KLA	RAS2020	RAS2020	Konventionelle KLA	Dänische Teil-KLA Model Typ 3
Produktionsziel	t/a	500	1.200	1.200	30	225
Jahresfuttermenge	t	550	1.380	1.380	52	280
Max. Tagesfuttermenge	kg /d	1.800	4.200	4.200	165	849
Frischwasserbedarf	m ³ /h	6,25	60	60	0,88	72
	m ³ /a	49.500	525.600	525.600	6.930	570.240
Reinigungs- und Spülprozesswässer	m ³ /h	5,88	54*	54*	0,67	72
	m ³ /a	46.530	427.680*	427.680*	5.280	570.240
Grobe Abschätzung der Zusammensetzung der Reinigungs- und Spülprozesswässer aus KLA						
Salz	g/l	2,29	23,89	22,50	16,25	0,27
...Fracht	kg/d	322,89	30960	29160	260	462
CSB	mg/l	20	50	50	20	11,50
...Fracht	kg/d	2,82	64,80	64,80	0,32	19,87
	kg/a	930,60	21384	21384	105,60	6557,76
BSB ₅	mg/l	4	15	15	3	5,55
...Fracht	kg/d	0,56	19,44	19,44	0,05	9,59
	kg/a	186,12	6415,20	6415,20	15,84	3164,83
Ges. N nur durch Futter	mg/l	18	20	20	11	10,50
...Fracht	kg/d	2,54	25,92	25,92	0,18	18,14
	kg/a	837,54	8553,60	8553,60	58,08	5987,52
Ges. N Futter und SG Nitrat-N**	mg/l	43	39	36	21	10,70
	kg/d	6,06	50,54	46,66	0,34	18,49
	kg/a	2000,79	16679,52	15396,48	110,88	6101,57
Ges. P	mg/l	0,55	1,40	1,40	0,50	0,55
...Fracht	kg/d	0,08	1,81	1,81	0,01	0,95
	kg/a	25,59	598,75	598,75	2,64	313,63

SG= Salzhaltiges Grundwasser; BSB = Biologischer Sauerstoffbedarf; CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf; Ges. N = Gesamt Stickstoff, Ges. P = Gesamt Phosphat

* Abwasserberechnungen basieren auf dem älteren RAS2020 Model mit 54 m³/h

** SG Nitrat-N ohne Denitrifikation

7.2 Genehmigungsrechtliche Anforderungen

7.2.1 Anzuwendende Rechtsvorschriften zur Einleitung / Abwasserbehandlung

Im Folgenden sind stichwortartig alle im Zusammenhang mit Abwasser befindlichen Rechtsvorschriften aufgeführt. Weitere Informationen finden sich auch in dem Genehmigungsleitfaden für Investoren (Entwicklung und Förderung einer nachhaltigen Aquakultur in Schleswig-Holstein; https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/F/fischerei/Downloads/Leitfaden_Binnenland.pdf?__blob=publicationFile&v=2), sowie eine ausführliche Darstellung u.a. zur Abwasserabgabe in Rümmler (2015b).

EU Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)

- die Erreichung eines guten Gewässerzustandes in allen Gewässern der EU, sprich in Oberflächengewässern (das sind Flüsse, Bäche, Seen) einschließlich der Küsten- und Übergangsgewässer sowie im Grundwasser, innerhalb von 15 Jahren

Wasserhaushaltsgesetz (WHG) §57

- „Eine Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Direkteinleitung) darf nur erteilt werden, wenn die Menge und Schädlichkeit des Abwassers so gering gehalten wird, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist, die Einleitung mit den Anforderungen an die Gewässereigenschaften und sonstigen rechtlichen Anforderungen vereinbar ist und Abwasseranlagen oder sonstige Einrichtungen errichtet und betrieben werden, die erforderlich sind, um die Einhaltung der Anforderungen nach den Nummern 1 und 2 sicherzustellen.“
- §60 WHG: Minimierungsgebot-Verbesserungsgebot, Stand der Technik ist maßgebend für die anzuwendende Abwasserreinigung

Landeswassergesetz (LWG)

- Ergänzung des WHG, regelt Erlaubnis, Genehmigung zur Abwassereinleitung bzw. Gewässerbenutzung

Abwasserverordnung (AbwV)

- generelle Anforderungen an die Einleitung gestaffelt nach Größenordnung (Grundlage = Einwohnergleichwerte, wobei 1 EGW = 60 g BSB5/d, 120 g CSB/d), Anforderung an die Einleitwerte für verschiedene Industriezweige /Herstellungsprozesse werden vorgegeben

Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

- regelt die Gebühren für die eingeleiteten Restfrachten aus der Kläranlage

UVPG, Landes UVP Gesetz

- generelle Prüfung der Umweltverträglichkeit bei Eingriffen in Natur und Umwelt

Über die Vorgaben der o.g. Gesetze hinaus kann die jeweilige Wasserbehörde des Kreises Anforderungen aufgrund Besonderheiten des jeweiligen Einleitgewässers stellen. Anhaltspunkte sind z.B. die Orientierungswerte (chemischer Zustand) des Einleitgewässers bzw. der anschließenden Gewässer (Angaben durch das LLUR) und die besondere Schutzwürdigkeit (Vorranggewässer gem. EU Wasserrahmenrichtlinie).

7.2.2 Erfordernisse für das Einleiten von Abwasser/gereinigtem Abwasser

Es ist eine Erlaubnis (§§8, 57 WHG, §§9, 10, 107 LWG) für die Einleitung von gereinigtem Abwasser erforderlich. Hierin werden durch die Behörde festgelegt:

- Dauer (generell unbefristet, kann aber aufgehoben werden)
- Einleitstelle in das Gewässer
- Umfang der Benutzung (Menge und Qualität - Grenzwerte für Einleitungsparameter)
- weitere Benutzungsbedingungen und Auflagen

Es ist eine Genehmigung erforderlich für den Bau und Betrieb der Abwasserreinigung. Hierin festgelegt:

- Umfang der Genehmigung (Beschreibung der klärtechnischen Anlagen)
- Nebenbestimmungen für Bauausführung
- ggf. Auflagen

Anforderungen an die Antragsunterlagen für Erlaubnis und Genehmigung

Bei Einleitung über eine vorhandene Kläranlage (Indirekteinleitung gem. §58 WHG):

- ist eine Anfrage/Antrag beim jeweiligen Betreiber zu stellen
- muss eine privatrechtliche Absicherung der Einleitung erfolgen
- ist die Genehmigung/Erlaubnis durch den Anlagenbetreiber generell abgedeckt, aber zusätzlich kann eine Genehmigung, ggf. nur Anzeige bei der Wasserbehörde erforderlich sein (zur Sicherstellung, dass vorhandene Genehmigung /Erlaubnis eingehalten werden kann, durch die zusätzliche Einleitung)
- sind entsprechende Reserven der vorhandenen Anlage bzgl. der Reinigungsleistung bzw. erlaubten Einleitungsmengen Voraussetzung

Bei Direkteinleitung (gem. §57, §60 WHG, §35 LWG S.-H.):

- ist ein Antrag auf Einleiterlaubnis und Genehmigung durch den Anlagenbetreiber zu stellen
- mit der Einleiterlaubnis werden Einleitmenge und Einleitparameter vorgegeben, die von der Behörde spezifisch für das Einleitgewässer ausgewiesen werden können
- Einflussgrößen: hydraulische Leistungsfähigkeit der Vorflut, chemische Belastbarkeit der Vorflut (Salinität, Temperatur, Vorgaben Stickstoff, Phosphor)
- zum Nachweis der Einhaltung der beantragten Parameter ist entsprechende Klärtechnik nach a.a.R.d.T. (allgemein anerkannten Regeln der Technik) nachzuweisen
- ggf. sind im Vorwege ökologische Gutachten zur Beurteilung der Auswirkungen der Einleitung erforderlich. Entsprechender zeitlicher Vorlauf ist zu beachten

Abwasserabgabe

Für die Einleitung ist eine Abwasserabgabe nach Maßgabe von Menge und Qualität an das Land zu zahlen (Abwasserabgabengesetz AbwAG). Für die Berechnung gelten die in der Einleiterlaubnis festgelegten Anforderungswerte (CSB, Ges. N, Ges. P). Die Werte können angepasst werden, wenn die Einleitungswerte dauerhaft unterschritten werden können. Durch höhere Investition in die Klärtechnik können Kosten für die Abwasserabgabe reduziert werden. Die Einleitungswerte unterliegen einer Eigenkontrolle gem. Selbstüberwachungsverordnung S.-H. (SüVO), sowie einer behördlichen Überwachung. Hierdurch wird die Einhaltung bzw. ggf. eine Überschreitung der Erlaubniswerte festgestellt, dies kann eine Erhöhung der Abwasserabgabe für das jeweilige Jahr bedeuten.

Generelle Anforderungen an die Abwasseraufbereitung

Durch die Salzfracht müssen sich angepasste Mikroorganismen einstellen, ggf. sind gegenüber üblicher Bemessung größere Räume erforderlich (Hemmung der Abbaufunktion). Vorteilhaft ist eine gleichmäßige Zulaufmenge und -konzentration. Die Salzkonzentration kann als Bestandteil der AOX (Adsorbierbare

Organisch gebundene Halogene) die Analytik verfälschen, dies ist ggf. bei den Anforderungsparametern zu berücksichtigen. Die besonderen Verhältnisse Wassermenge/CSB/N/P sind bei der Wahl der Klärtechnik zu beachten. Ideal für den Abbau sind Verhältnisse CSB/N ca. 12:1 und CSB/P ca. 30:1. Für den Abbau müssen Reinigungs-/Desinfektionsmittel und Medikamente berücksichtigt werden. Bei der baulichen Ausführung ist der chemische Angriff durch den Salzgehalt zu berücksichtigen (Betongüte, Stahlgüte). Generell ist die Klärtechnik spezifisch an die Abwasserqualität anzupassen. Die Klärtechnik spezifisch auf die Abwasserqualität abzustimmen kann entsprechende Versuche bzw. Anpassungen in der Betriebsphase erfordern.

7.3 Standortspezifische Entsorgungsoptionen

7.3.1 Standort 1, Glückstadt (Zander)

Die Einleitung am Standort Glückstadt kann über die vorhandene Kläranlage der Firma Steinbeis Papier GmbH, in das Einleitungsgewässer „Schwarzwasser“, Sielverband (SV) Rhingebiet erfolgen.

Der weitere N-Abbau erfolgt dann in der Kläranlage der Steinbeis Papier GmbH. Eine Erlaubnis über 30.000 m³/a Einleitungsmenge liegt vor, von der derzeit nur ca. 8.000 m³/a genutzt werden. Der Erlaubniswert für Ges. N in das Gewässer liegt bei 10 mg/l. Für Chlorid ist kein Grenzwert vorgegeben. Die zusätzliche Wassermenge der Zanderanlage von 46.530 m³/a bedeutet aus hydraulischer Sicht kein Problem für das Gewässer.

7.3.2 Standort 2, Büsum (Lachs)

Für die Einleitung am Standort Büsum könnte nach entsprechender Prüfung eine direkte Einleitung in die Nordsee erfolgen. Die Wassermenge von 525.600 m³/a ist aus hydraulischer Sicht unproblematisch für das Vorflutgewässer. Der Ablauf über eine eigene Pumpstation in die Nordsee, ggf. Ablauf im Freigefälle bei Niedrigwasser wären möglich. Für den Fall einer weiteren Aufbereitung des Abwassers siehe 7.3.3.

7.3.3 Standort 3, Friedrichskoog (Seriola)

Das Einleitungsgewässer in Friedrichskoog ist das „0103“, Sielverband (SV) Friedrichskoog. Die Wassermenge von 525.600 m³/a bedeutet aus hydraulischer Sicht voraussichtlich kein Problem für das Vorflutgewässer.

Am Standort Friedrichskoog würde sich der Ges. N-Gehalt von etwa 20 auf 36 mg/l erhöhen. Das RAS2020 verfügt in diesem Beispiel über keine Denitrifikation, um das überschüssige Nitrat zu entfernen. Dies müsste innerhalb der Abwasserbehandlung geschehen und würde entsprechend von der Firma Krüger/Veolia dimensioniert werden. Die einstrassige Abwasserbehandlung des RAS2020 ergibt in etwa die Werte, die in Tabelle 20 dargestellt sind. Um eine Einleitgenehmigung für den Standort Friedrichskoog zu erlangen wird mit Ges. N Werten von 10 mg/l gerechnet. Nach Projektpartner Reitner könnte die Abwasserbehandlung bei einer technischen Kläranlage durch z.B. Intensiv Biofilm/SBR Anlage mehrstrassig für rd. 6.000 EGW, mit Vorreinigung, Pufferbehälter, 3-stufiger Biologie, Überschussschlamm-speichern, P-Fällung, UV Desinfektion und MSR Technik die angesetzten Ges. N-Gehalte von 10 mg/l erreichen (die einstrassige RAS2020 Abwasser Behandlung fällt hier entsprechend weg). Zur Kosten Abschätzung der Kläranlage nach Reitner siehe Kapitel 8.

7.3.5 Standort 4, Wöhrden (Garnele)

Am Standort Wöhrden wird eine Direkteinleitung ohne weitere Behandlung angestrebt. Bei Nutzung des SG müssten die zusätzlichen Ammonium- bzw. Nitrat-Konzentrationen (Erhöhung von 11 auf 21 mg/l, siehe Tabelle 20) innerhalb der Anlage aufbereitet werden, um die niedrigen Ablaufwerte beizubehalten.

Das Einleitungsgewässer ist das „0212“, („zum Norderstrom“) SV Süderwöhrden. Die Wassermenge von 5.280 m³/a stellt aus hydraulischer Sicht kein Problem für das Vorflutgewässer dar.

7.3.4 Standort 5, Friedrichstadt (Forelle)

Am Standort Friedrichstadt wird eine Direkteinleitung ohne weitere Behandlung in das Einleitungsgewässer: „Saxfähler Sielzug“, SV Saxfähre (Synonym zu „Großer Sielzug“ gemäß Google-Maps) angestrebt. Die Einleitung des geklärten Abwassers würde über private Gräben in den „Saxfähler Sielzug“ stattfinden. Für den Abfluss von 20 l/s bzw. 570.240 m³/a ist ggf. eine Erweiterung der Gräben erforderlich.

Sollte der Frischwasserbedarf am Standort reduziert und damit höhere Konzentration im Abwasser entstehen, besteht die Möglichkeit der Wasseraufbereitung durch eine Pflanzenkläranlage.

Die Pflanzenkläranlage stellt eine Besonderheit der dänischen Model-Farmen für die Produktion von Regenbogenforellen dar (Svendsen et al., 2008; Jokumsen & Svendsen, 2010). Solche Anlagen sind, je nach Bepflanzung, auch für die Aufnahme von geringfügig salzhaltigem Abwasser geeignet und können ganzjährig (mit Ausnahme harter Frostperioden) Nährstoffe zurückhalten und in verwertbare Biomasse umsetzen. Für eine Pflanzenkläranlage mit salzhaltigem Wasser eignen sich z.B. Elefantengras, Binsen und Seggen. Ersteres kann als Biogassubstrat regelmäßig geerntet werden. Letzteres kann, mit entsprechenden Ernteverfahren, zur Böschungsbefestigung und Ufersanierung abgetragen und verkauft werden. Entscheidend ist die Verweildauer und Nährstofffracht im Wasser. Durch eine solche Anlage aufgereinigtes Abwasser kann je nach Aufbereitung erneut durch die KLA geführt werden oder als anderweitiges Prozesswasser/Brauchwasser am Standort genutzt werden. Auf diese Weise ließen sich die hohen Fördermengen von SG am Standort Friedrichstadt reduzieren. Der Nachteil von Pflanzenkläranlagen liegt in ihrem hohen Flächenbedarf, welcher aber am Standort Friedrichstadt zur Verfügung stünde. Untersuchungen zum Design und der Reinigungsleistung von Pflanzenkläranlagen wurden u.a. von Reiter et al. (2008) durchgeführt und veröffentlicht. Eine noch sehr neue Form der Stickstoffentfernung des Abwassers bietet die Denitrifikation mithilfe von Holzhackschnitzeln (Lepine et al., 2018). Diese werden derzeit bei der Aufbereitung von Süßwasser eingesetzt, können aber ggf. auch für die geringen Salzmengen der Forellenanlage in Friedrichstadt in Frage kommen. Dies wäre vorher entsprechend mit Experten zu klären.

Abschätzung einer Abwasserbehandlung durch Pflanzenkläranlage nach Projektpartner Reitner

Bemessung nach DWA A 262 (überschlägliche Ermittlung, da Bemessung von häuslichem /kommunalem Abwasser von anderem Verhältnis Wassermenge/CSB/N/P ausgeht. Vorhanden C/N ca. 1:5, C/P = 40:1). Die Eingangswerte entsprechen ca. den Werten nach Vorbehandlung durch Rohabwasserfilter gem. Tab. 1, A 262 ⇒ Vorbehandlung kann entfallen.

- Aufbau der Abwasserbehandlung:
- Absetzbecken bzw. Sandfang , z.B. 2 x Schacht DN2500
- ggf. zusätzliches Absetzbecken für schlammhaltiges Reinigungswasser
- Pflanzbeet zum Abbau der organischen und chemischen Belastung, z.B. Vertikalfilter, 2 x geschätzt 3.000 m².

N-Elimination 50-70 % möglich, ggf. mit zusätzlichen Maßnahmen, z.B. Einstau von Filtern, Rückführung des Filterablaufs. P-Abbau erfolgt durch Sorption, ist aber nicht berechenbar bzw. bei den geringen Zulaufwerten auch nicht erforderlich. Zur Kostenabschätzung siehe Kapitel 8.

8. Kosten für Infrastrukturen zur Grundwassergewinnung/-Aufbereitung und Abwassereinleitung

Die geschätzten Investitionskosten für den Bau von Brunnen und Messstellen, der Wasserwerks- und Aufbereitungstechnik, des Trassenbaues zum Vorfluter/Klärwerk, die geschätzten laufenden Kosten für die Abwasserabgabe (bei pauschaler Annahme von Ges.-N Konzentration 10 mg/l) und die möglichen Beiträge für den Sielverband sind in Tabelle 21 dargestellt. Tabelle 21 stellt außerdem die Kosten der beispielhaften Kläranlagen für das RAS2020 und die dänische Teil-KLA dar. Zur Zusammensetzung der einzelnen Kosten in Tabelle 21, siehe Anlage 6.

Die Infrastruktur für die Grundwassergewinnung muss darauf ausgelegt sein, dass stets ein redundanter Ersatzbrunnen zur Verfügung steht, damit die Wasserversorgung der Fischzuchtanlage gesichert bleibt. Etwaige Kosten für Grunderwerb und/oder Sicherung von Grunddienstbarkeiten fließen in die Kostenschätzungen nicht ein.

Grundsätzlich erfolgt die Aufbereitung des Brunnenrohwassers an allen Standorten nach dem in Kapitel 6.2.2 beschriebenen Prinzip. Bei den nachfolgenden Kostenschätzungen wird grundsätzlich von einer 2-stufigen Aufbereitung in Kunststoff-beschichteten Stahlkesseln ausgegangen.

Die dargestellten Aufbereitungsmöglichkeiten sind stark abhängig von der Ausführung und können sich zudem von den in der Aquakultur eingesetzten Technologien unterscheiden, welche ggf. einfacher und kostengünstiger gestaltet sind (siehe bspw. Enteisung in Rümmler, 2015a).

Invest- und Betriebskosten der Anlagentypen können bei den Herstellern angefragt werden. Für Zander und Garnele sind diese in Meyer et al. (2016) dargestellt.

Tabelle 21. Geschätzter Kostenrahmen für den Bau von Brunnen und Messstellen, der Wasserwerks- und Aufbereitungstechnik, dem Trassenbau zu Vorflut/Klärwerk, sowie für Abwasserabgabe, Beitrag Sielverband und möglicher Klärtechnik. Zur Herleitung der Kosten siehe Anlage 6.

		1. Glücksstadt	2. Büsum	3. Friedrichskoog	4. Wöhrden	5. Friedrichstadt
		Zander	Lachs	Seriola	Garnele	Forelle
		Konventionelle KLA	RAS2020	RAS2020	Konventionelle KLA	Dänische Teil-KLA Model Typ 3
Frischwasserbedarf	m³/a	49.500,00	525.600,00	525.600,00	6.930,00	570.240,00
Produktion	t/a	500	1.200	1.200	30	225
Futter	t/a	575	1.320	1.320	52	280
Investitionskosten						
Brunnen und Messstellen	€	157.500	355.000	385.000	40.000	347.500
Zulaufwasser Aufbereitung	€	202.950	500.500	500.500	32.450	500.500
Trassen zum Vorfluter/ Klärwerk	€	173.160	70.100	38.000	3.000	
Ausbau Vorflutgraben	€					8.000
Gesamt Investitionskosten netto	€	533.610	925.600	923.500	75.450	856.000
Betriebskosten Abwasser						
Abwasserabgabe bei Ges. N =10 mg/l	€/a	2.505	20.700	20.700	10.500	10.500
Ggf. Beitrag Sielverband	€/a			3.575		4.725
Gesamt Betriebskosten Abwasser jährlich	€/a	2.505	20.700	24.275	10.500	15.225
	€/kg Fisch/ Garnele	0,01	0,02	0,02	0,35	0,07
Investitionskosten Beispiel-Kläranlagen						
Kläranlage 600 EGW Biofilm/SBR Anlage	€		1.989.900	1.989.900		
Pflanzenkläranlage	€					621.200
Betriebskosten Kläranlagen jährlich	€/a		211.900	211.900		46.500
	€/m³		0,5	0,5		0,08
	€/kg Fisch/ Garnele		0,18	0,18		0,21

9. Alternative Wasserversorgung an den Standorten

Alternativ für die Eigenversorgung der Fischzuchtanlage mit SG ist der Bezug von Trinkwasser über einen Wasseranschluss des örtlichen Versorgungsunternehmens möglich. Die erforderliche Aufsalzung für Lachs, Seriola und Garnele erfolgt dann in der Anlage. Die vom Wasserversorgungsunternehmen lieferbaren Mengen hängen von folgenden Faktoren ab.

- Förder- und Aufbereitungskapazität des Wasserwerkes
- Querschnitte im bestehenden Trinkwasserleitungsnetz
- Druckverhältnisse im Trinkwasserleitungsnetz

9.1 Standort 1, Glückstadt (Zander) – Trinkwasser aus dem Leitungsnetz

Zander ist eine Süßwasserart, die zwar in Brackwasser gehalten werden kann, aber nicht darauf angewiesen ist. Die Nutzung von Salzwasser in KLA bringt einige Nachteile mit sich und ist mit höheren Kosten verbunden. Der Vorteil der künstlichen Meersalz-Einsparung entfällt beim Zander. Der Standort Glückstadt weist die höchsten Eisen-, Mangan- und Ammonium-Gehalte, sowie einen geringen Aluminium-Gehalt im SG auf, so dass eine Trinkwasser-Nutzung im Fall Glückstadt abzuwägen ist.

Die dafür erforderliche Menge (150 m³/d, 54.750 m³/a) kann von den Stadtwerken Glückstadt GmbH aus dem WW Krempermoor zur Verfügung gestellt werden. Die erforderliche Leitungs- und Druckerhöhungs-Infrastruktur dürfte vorhanden sein, da die Wasserabnahme der Fa. Steinbeis Papier GmbH früher deutlich höher war als derzeit. Es ist mit einem Wasserpreis von ca. 1,50 €/m³ zu rechnen, vorbehaltlich den Ergebnissen konkreter, vorhabenspezifischer Verhandlungen mit dem Versorger.

9.2 Standort 2, Büsum (Lachs) - Nordseewasser

Als Alternative kommt bei den hohen Wassermengen für das RAS2020 keine Trinkwassernutzung in Frage. Als Alternative zum Grundwasser gäbe es (abhängig von der Genehmigung) am Standort Büsum durch die unmittelbare Lage zur Nordsee die Möglichkeit das Wasser horizontal direkt aus der Nordsee zu fördern. Dies wäre dann vergleichbar zur RAS2020 Anlage in Hanstholm, Dänemark. Das Nordseewasser (Hafenbecken) wurde im Rahmen dieser Studie analysiert und ist in Anlage 5 zu finden.

Es stellt sich die Frage, ob die horizontale Förderung und Aufbereitung im Vergleich zur Grundwasserförderung und Aufbereitung rentabler ist.

9.3 Standort 3, Friedrichskoog (Seriola) – Trinkwasser aus dem Leitungsnetz in KLA mit geringem Wasseraustausch

Der Standort Friedrichskoog bietet durch die Bereitstellung von Abwärme einen Standort für nachhaltige Warmwasser-Aquakultur. Sollte die Aufbereitung des SG bei dem Frischwasserbedarf des RAS2020 zu kostenintensiv sein, wäre eine Reduzierung des Frischwasserbedarfes wie bspw. in der RAS2020 Anlage in der Schweiz oder ggf. die Nutzung von Trinkwasser in einem anderen Anlagentyp mit sehr geringem Frischwasserbedarf denkbar. Eine Warmwasser-Anlage für Seriola mit geringem Frischwasserbedarf wird in Völklingen, Deutschland von der Firma „Fresh Völklingen GmbH“ (siehe <http://www.freshcorporation.com/>), in einem „Oceanloop System“ der Firma „Neomar“, (siehe <https://www.neomar.de/innovation-oceanloop/technologie/?L=/proc/self/environ%27A>) betrieben. Die Oceanloop Anlage für 600 Tonnen Fisch pro Jahr hat einen Wasserverbrauch von <1 % und nutzt künstliches Meersalz. Die Verträglichkeit von künstlichem Meersalz für Seriola scheint unproblematisch und wird z.B. in Orellana et al. (2014) beschrieben.

Das Trinkwasser kann durch den WV Süderdithmarschen zur Verfügung gestellt werden. Die Kosten liegen bei 0,76 €/m³.

9.5 Standort 4, Wöhrden (Garnele) – Trinkwasser aus dem Leitungsnetz

Es muss kalkuliert werden, ob der Aufwand der Förderung und Aufbereitung des SG bei kleinen Mengen im Vergleich zu Trinkwasser rentabel ist. Immerhin ließen sich durch die künstliche Aufsalzung (nach den Angaben der Garnelenfarm in Meyer et al., 2016) 116 t/a Salz in einem Wert von 35.805 €/a (310 €/t) einsparen (aus Meyer et al., 2016).

Die für die Zucht von Garnelen erforderliche Wassermenge ist mit 16 m³/d (7.665 m³/a) gering und kann vom örtlichen Wasserversorgungsunternehmen (WV Süderdithmarschen) ohne Probleme zur Verfügung gestellt werden. Der Bezugspreis für Trinkwasser in Wöhrden beträgt derzeit 0,76 €/m³.

9.4 Standort 5, Friedrichstadt (Forelle) - Frischwasserreduktion durch Pflanzenkläranlage

Für den Standort Friedrichstadt besteht ggf. die Möglichkeit eine Pflanzenkläranlage zu nutzen und gereinigtes Wasser wieder in die Anlage zu führen und so den Förderungsbedarf zu senken. Ob geringere Wassermengen zu fördern vergleichsweise rentabel ist wäre zu klären.

10. Fazit

Im Rahmen dieser Studie konnten fünf potentiell geeignete Standorte für die kreislaufbasierte Aquakultur in Schleswig-Holstein ausgemacht werden. Drei der fünf Standorte verfügen über mögliche nachhaltige Synergien in Form von Abwärmenutzung. An einem der drei Standorte mit Abwärmenutzung besteht zudem die Möglichkeit der Abwassereinleitung in eine Kläranlage. Für die Nutzung von SG, in den beispielhaft dargestellten Kreislaufanlagen, stehen an allen Standorten ausreichende Frischwassermengen zur Verfügung. Die Ionenverhältnisse im SG liegen an den Standorten für Zander und Forelle im Süßwasser-ähnlichen und für Lachs, Seriola und Garnele im Meerwasser-ähnlichen Bereich, wodurch das Risiko einer Unverträglichkeit der Arten durch abweichende Ionen, als eher gering eingeschätzt wird. Eine Hälterungsstudie der Arten im entsprechenden SG wird bei einem Planungsvorhaben aber dennoch generell angeraten. Die Ansprüche der Arten setzen eine Entfernung der im SG vorhandenen Eisen-, Mangan- und Aluminium-Gehalte an den Standorten vor Eintritt in die Fischzuchtanlage voraus. Bei der Eisen- und Mangan-Fällung wird auch ein Teil des Ammoniums im SG der Standorte zu Nitrat oxidiert. Das weitere Ammonium im SG lässt sich voraussichtlich innerhalb der Kreislaufanlagen mit geringem Frischwasserbedarf durch bestehende Biofilter und Denitrifikation entfernen. Andernfalls setzt der zusätzliche Ammonium-Gehalt ggf. größer dimensionierte Biofilter und je nach Einleitgenehmigung eine intensivere Denitrifikation in der Anlagen- oder Abwasseraufbereitung voraus. Eine Kosten-Nutzen-Analyse wäre im nächsten Schritt notwendig, um zu eruieren ob und in welcher Form die Nutzung des salzhaltigen Grundwassers an den einzelnen Standorten profitabel sein kann.

11. Literaturverzeichnis

- Abbink, W., Blanco Garcia, A., Roques, J.A.C., Partridge, G.J., Kloet, Kees and Schneider, O. (2012) The effect of temperature and pH on the growth and physiological response of juvenile yellowtail kingfish *Seriola lalandi* in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, (330-333), 130-135.
- Alabaster, J.S., Lloyd, R. (1982) Water quality criteria for freshwater fish. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Butterworths, Boston, MA.
- Alizadeh, M., Dadgar, Sh. (2016) Review on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming in desert underground Brackish water in Iran. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, **3**(1), 21-35.
- Allan, G.L., Fielder, D.S., Fitzsimmons, K.M., Applebaum, S.L. & Raizada, S. 2009. Inland saline aquaculture. In G. Burnell & G.L. Allan, eds. *New technologies in aquaculture*, pp. 1118–1147. Woodhead Publishing limited.
- Altinok, I., Grizzle, J.M. (2001a) Effects of brackish water on growth, feed conversion and energy absorption efficiency by juvenile euryhaline and freshwater stenohaline fishes. *Journal of Fish Biology*, **59**, 1142–1152.
- Altinok, I., Grizzle, J.M. (2001b) Effects of low salinities on *Flavobacterium columnare* infection of euryhaline and freshwater stenohaline fishes. *Journal of Fish Diseases*, **24**, 361–367.
- Appelo, C.A.J., Postma, D. (2005) *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2nd edition, CRC press, Boca Raton.
- Aruna, S., Felix, S. (2017) The effect of ionic concentration of low saline waters on growth characteristics of *Penaeus vannamei*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, **5**(3), 73-76.
- Barron, M.G., Albeke, S. (2000) Calcium control of zinc uptake in rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, **50**, 257-264.
- Baur, W.H. Rapp J (2003) *Gesunde Fische. Praktische Anleitung zum Vorbeugen, Erkennen und Behandeln von Fischkrankheiten*. 2., neubearbeitete Auflage. Parey Buchverlag im Blackwell Verlag GmbH, Berlin, 332 S.
- Behnke, R. J. (1992) *Native Trout of Western North America*. Bethesda, MD: American Fisheries Society.
- Boden & Lipka (2011) *Hydrogeologisches Gutachten zum Neubau des Rohwasserbrunnen 2 aus dem Betriebsplatz Dieksand der DEA Deutsche Erdoel AG*.
- Boeuf, G. & Payan, P. (2001) How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, **130**, 411-423.
- Boyd, C.E. (1989) Water quality management and aeration in shrimp farming. *Fisheries and Allied Aquacultures Departmental*, **2**, 1-83. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn.
- Boyd, C.E. (2015) Magnesium and Calcium use in Aquaculture. Wisconsin Aquaculture Association, Inc. https://secure.wisconsinaquaculture.com/News_Details.cfm?NID=615&LinkType=57
- Boyd, C.E., Thunjai, T. (2003) Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *Journal of the World Aquaculture Society*, **34**, 524-532.
- Bray, W.A., Lawrence, A.L., Leung-Trujillo, J.R (1994) The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. *Aquaculture*, **122**(2-3), 133-146.
- Bregnballe, J. (2015) *A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation.
- Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), (2016) *Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Aktualisierte und überarbeitete Fassung*.
- Chester, R. (2003) *Marine Geochemistry*. Blackwell Publishing Oxford. 506 S.
- Colt, J., 2006. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*, **34**, 143–156.
- DAFA (2014) *Fachforum Aquakultur*. <https://www.dafa.de/foren/fachforum-aquakultur/>
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drenstvig, A., Arvonen K., Pedersen, B. (2013) Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering*, **53**, 2–13.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C., Brazil, B., Summerfelt, S. (2009) Heavy metal and waste metabolite accumulation and their potential effect on rainbow trout performance in a replicated water reuse system operated at low or high system flushing rates. *Aquacultural Engineering*, **41**, 136-145.

- Davis, D.A., Saoud, I.P., Boyd, C.E., Rouse, D.B. (2005) Effects of potassium, magnesium and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* post-larvae reared in inland low salinity well waters in west Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society*, **36**, 403-406.
- Davis, D.A., Tzachi, M., Samocha, Boyd, C.E. (2004) Acclimating Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, To Inland, Low-Salinity Waters. Southern Regional Aquaculture Center. 2601.
- De Schampheleere, K.A.C., Lofts, S., Janssen, C.R. (2005) Bioavailability models for predicting acute and chronic toxicity of zinc to algae, daphnids, and fish in natural surface waters. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **24**, 1190-1197.
- Debnath, M., Saha R.K., Kamilya, D., Saikia, D., Saha, H. (2012) Effects of water borne iron on spawn of Indian major carps (Catlacatla (Ham.), Labeorohita (Ham.) and Cirrhinus mrigala (Ham.)). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **89**, 1170–1174.
- Destatis, Statistisches Bundesamt, Zahlen und Fakten Fischerei (2018).
- Doroudi, M.S., Fielder, D.S., Allan, G.L. & Webster, G.K. (2007) Survival and growth of silver perch (*Bidyanus bidyanus*), a salt-tolerant freshwater species in inland saline groundwater from south-western New South Wales, Australia. *Journal of the World Aquaculture Society*, **38**, 314–317.
- Doroudi, M.S., Fielder, D.S., Allan, G.L. & Webster, G.K. (2006) Combined effects of salinity and potassium concentration on juvenile mulloway (*Argyrosomus japonicus*, Temminck and Schlegel) in inland saline groundwater. *Aquaculture Research*, **37**, 1034–1039.
- Duston, J. (1994) Effect of salinity on survival and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and smolts. *Aquaculture*, **121**(1-3), 115-124.
- Ebeling, J.M. (ohne Datum)
<https://cals.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA7/RecircWorkshop/Workshop%20PP%20%20&%20Misc%20Papers%20Adobe%202006/7%20Biofiltration/Nitrification-Biofiltration/Biofiltration-Nitrification%20Design%20Overview.pdf>
- Enayatmehr, M. & Jamili, S. (2013) Effects of salinity on growth, hormonal and enzymatic status of fish: A review. *International Journal of Science and Research*, **4**(7), 805-813.
- Evans, D.H., Piermarini, P.M. & Choe, K.P. (2005) The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews*, **85**, 97–78.
- Exley, C. (1996) Aluminium in the brain and heart of the rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, **48**, 706-713.
- FAO (2018) http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Salmo_salar/en
- Fielder, D.S., Bardsley, W.J. & Allan, G.L. (2001) Survival and growth of Australian snapper (*Pagrus auratus*) in saline groundwater from inland New South Wales, Australia. *Aquaculture*, **201**, 73–90.
- Fischlexikon EU (2018) *Seriola lalandi*. https://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/fische-suchen.php?fisch_id=0000001299
- Francis-Floyd, R. (1995) The use of salt in aquaculture. Fact sheet VM 86, Departement of Large Animal Clinical Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida.
- Freeman, R.A., Everhart, W.H. (1971) Toxicity of aluminium hydroxide complexes in neutral and basic media to rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, **100**, 664-658.
- Garcia, A.B., Partridge, G.J., Flik, G., Roques, J.A.C., Abbink, W. (2014) Ambient salinity and osmoregulation, energy metabolism and growth in juvenile yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*, Valenciennes 1833) in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture Research*, **46**(11), 2789-2797.
- Georgsson, L.S., Fridleifsson G.Ó (2016) High technology in geothermal fish farming at silfurstjarnan Ltd., ne-iceland. *GHC Bulletin*.
- Gooley, G., Ingram, B., McKinnon L. (1997) Inland saline aquaculture – a Victorian perspective. In Smith, B. and Barlow, C., ed. (1999) Inland Saline Aquaculture Workshop. Proceedings of a workshop held on 6. and 7. August 1997 in Perth, Western Australia. ACIAR Proceedings No. 83, 61 pp. http://aciar.gov.au/files/node/308/inland_saline_aquaculture_13370.pdf

- Grube A., Wichmann, K., Hahn, L & Nachtigall, K.H. (2000) Geogene Grundwasserversalzung in den Poren-Grundwasserleitern Norddeutschlands und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. TZW-Schriftenreihe, 9, Karlsruhe, 203 pp.
- Gundersen, G.T., Bustaman, S., Seim, W.K., Curtis, L.R. (1994) pH Hardness and humic acid influence aluminium toxicity to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in weakly alkaline waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51**, 1345-1355.
- Hall, L.W. Jr, Anderson, R.D. (1995) The influence of salinity on the toxicity of various classes of chemicals to aquatic biota. *Critical Reviews in Toxicology*, **25**(4), 281-346.
- Handeland, S.O., Berge, Å., Björnsson, B. Th., Stefansson S.O. (1998) Effects of temperature and salinity on osmoregulation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) smolts in seawater. *Aquaculture*, **168** (1–4), 289-302.
- Hedayati, A., Hoseini, S.M., Ghelichpour, M. (2014) Acute toxicity of waterborne manganese to *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) – gill histopathology, immune indices, oxidative condition, and saltwater resistance. *Toxicological & Environmental Chemistry*, **96**(10).
- Hedinger (2018) Naphthalin Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EU) Nr. 2015/830.
- Hochleithner, M. (2014) Lachsfische. Biologie und Aquakultur, 3. Auflage. AT Ratgeber, AquaTechPublication, Austria.
- Hogstrand, C. (2012) Zinc. In Wood, C.M., Farrell, A.P., Brauner, C.J. (2012) Homeostasis and Toxicology of Essential Metals. Fish Physiology Volume 31A. Academic Press, pp. 135-200.
- Hutchinson, W. & Flowers, T. (2008) Research to foster investor attraction and establishment of commercial aquaculture parks aligned to major saline groundwater interception schemes in South Australia. SARDI Research Report Series No. 317. 204 pp.
- Ingram, B.A., McKinnon, L.J., Gooley, G.J. (2002) Growth and survival of selected aquatic animals in two saline groundwater evaporation basins: an Australian case study. *Aquaculture Research*, **33**, 425–436.
- Iwama, G. K. (1996). Growth of salmonids. In Principles of Salmonid Culture (Pennell, W. & Barton, B. A., eds), pp. 467–516. Amsterdam, Elsevier.
- Javed, M., Abdullah, S. (2006) Studies on acute and lethal toxicities of iron and nickel to the fish. Pakistan, *Journal of Biological Sciences*, **9**(3), 330-5.
- Johannsen, A. (1980) Geologisches Jahrbuch Reihe C, Heft 28 : Hydrogeologie von Schleswig-Holstein, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Jokumsen, A. & Svendsen, L.M. (2010) Farming of Freshwater Rainbow trout in Denmark, *DTU Aqua report* 219-2010.
- Köhn, H. (ohne Datum) Schadstoffgehalt ausgewählter Fließgewässersedimente in Schleswig-Holstein. Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein. https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/wafis/fliess/schadstoffgehalte_fliessgewaesser_sedimente.pdf
- Kolkovski, S. (2011) An overview on desert aquaculture in Australia. In V. Crespi & A. Lovatelli, eds. Aquaculture in desert and arid lands: development constraints and opportunities. FAO Technical Workshop. 6–9 July 2010, Hermosillo, Mexico. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 20. Rome, FAO. 2011. pp. 39–60.
- Kolkovski, S. (2005) Evaluation of Yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) grow out in land-based and sea-cage systems and broodstock management. Report for the Aquaculture Development Council of Western Australia.
- Kolkovski, S., Sakakura, Y. (2006) Yellowtail kingfish – emerging new temperate species for aquaculture. AQUA 2006, The Joint International Conference and Exhibition of European Aquaculture Society and the World Aquaculture Society, Florence, Italy.
- Lall, S.P., (2002) The Minerals, in: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), Fish Nutrition. Academic Press, pp. 259–308.
- Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR, 2011), Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins.
- Lappivaara, J., Kiviniemi, A., Oikari, A. (1999) Bioaccumulation and subchronic physiological effects of waterborne iron overload on whitefish exposed in humic and nonhumic water. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **37**, 196-204.

- Lepine, C., Christianson, L., Davidson, J., Summerfelt, S. (2018) Woodchip bioreactors as treatment for recirculating aquaculture systems' wastewater: A cost assessment of nitrogen removal. *Aquacultural Engineering*, **83**, 85–92.
- Lewis, W.M.Jr, Morris, D.P. (1986) Toxicity of nitrite to fish: a review. *Transactions of the American Fisheries Society*, **115**, 183–195.
- Li, E., Chen, L., Zeng, C., Chen, X., Yu, N., Lai, Q., Qin, J.G. (2007) Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities. *Aquaculture*, **265**(1–4), 385–390.
- Liu, H., Tan, B., Yang, J., Lin, Y., Chi, S., Dong, X., Yang, Q. (2014) Effect of various Na/K ratios in low-salinity well water on growth performance and physiological response of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **32**(5), 991–999.
- Losordo, T.M., Westers, H. (1997) System carrying capacity and flow estimations. In Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management. Edited by M.B. Timmons and T.M. Losordo. Elsevier, Amsterdam pp. 9–60.
- Ložys, L. (2004) The growth of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) and perch (*Perca fluviatilis* L.) under different water temperature and salinity conditions in the Curonian Lagoon and Lithuanian coastal waters of the Baltic Sea. *Hydrobiologia*, **514**(1)–3, 105–113.
- Luo, S., Wu, B., Xiong, X., Wang, J. (2016) Effects of Total Hardness and Calcium: Magnesium Ratio of Water during Early Stages of Rare Minnows (*Gobiocypris rarus*). *Comparative Medicine*, **66**(3), 181–187.
- Marshall, W.S. & Bryson, S.E. (1998) Transport Mechanisms of Seawater Teleost Chloride Cells: An Inclusive Model of Multifunctional Cells. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **119A**, 97–106.
- McKay, L.R. & Gjerde, B. (1985) The effect of salinity on growth of rainbow trout. *Aquaculture*, **49**, 3–4, 325–331.
- MELUR (2014) Strategie zur Entwicklung einer nachhaltigen Aquakultur in Schleswig-Holstein. <https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/F/fischerei/aquakultur.html>
- Meyer, S., Griese, M., Schlachter, M., Gehlert, G., Schulz, C (2016) Konzeptstudie zur Nutzung der Synergieeffekte zwischen Industrieparks und Ernährungswirtschaft insbesondere der Aquakultur in der Region. http://www.knaq-sh.de/fileadmin/daten/dateien/KNAQ/DE/Konzeptstudie_Aquakultur_Unterelbe_final_.pdf
- Morgan, J. D. & Iwama, G. K. (1991) Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **48**, 2083–2094.
- Mourad, N., Kreydiyyeh, S., Ghanawi, J., Saoud, I.P. (2012) Aquaculture of Marine Fish in Inland Low Salinity Well Water: Potassium Is Not the Only Limiting Element. *Fisheries and Aquaculture Journal*, **42**, 1– 13.
- Moyes, C.D., Schulte, P.M. (2007) Tierphysiologie. Pearson Studium – Biologie.
- Mutschmann/Stimmlmayer (2014) Rautenberg, J., Fritsch, P., Hoch, W., Merkl, G., Otillinger, F., Weiß, M., Wricke, B. (2014): Mutschmann/Stimmlmayer Taschenbuch der Wasserversorgung, 16. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden
- NASTAQ (2014) Nationale Strategieplan Aquakultur für Deutschland. <https://www.portal-fischerei.de/bund/aquakultur/strategieplan-aquakultur/>
- Orellana, J., Waller, U., Wecker, B. (2014) Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater. *Aquacultural Engineering*, **58**, 20–28.
- Partridge, G.I. & Creeper, J. (2004) Skeletal myopathy in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch), cultured in potassium-deficient saline groundwater. *Journal of Fish Diseases*, **27**, 523–530.
- Partridge, G.I., Lymbery, A.J. & George, R.I. (2008) Finfish mariculture in inland Australia: a review of potential water sources, species, and production systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, **39**, 291–310.
- Peters, A., Lofts, S., Merrington, G., Brown, B., Stubblefield, W., & Harlow, K. (2011) Development of biotic ligand models for chronic manganese toxicity to fish, invertebrates, and algae. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **30**(11), 2407–2415.
- Peuranen, S., Vourinen, P.J., Vourinen, M., Hollender, A. (1994) The effects of iron, humic acids and low pH on the gills and physiology of brown trout (*Salmo trutta*). *Annales Zoologici Fennici*, **31**, 389–396
- PIRSA - Primary Industries and Resources SA (2002) Yellowtail kingfish aquaculture in SA. www.pir.sa.gov.au

- Poleo, A.B.S., Hytterod, S. (2003) The effect of aluminium in Atlantic salmon (*Salmo salar*) with special emphasis on alkaline water. *Journal of Inorganic Biochemistry*, **97**, 89-96.
- Premachandra, H.K.A., Nguyen, N.H., Miller, A., D'Antignana, T., Knibb, W. (2017) Genetic parameter estimates for growth and non-growth traits and comparison of growth performance in sea cages vs land tanks for yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Aquaculture*, **479** (1), 169-175.
- Pruginin, Y., Fishelson, L. and Koren, A. (1988) Intensive tilapia farming in brackish water from an Israeli desert aquifer. Pp. 75-81 in: R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J.L. Maclean (eds.). The 2nd International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15. Dept. of Fisheries, Bangkok, Thailand and ICLARM, Manila, Philippines. 623 pp.
- Rao, G.M.M. (1968) Oxygen consumption of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in relation to activity and salinity. *Canadian Journal of Zoology*, **46**(4), 781-786.
- Reiter et al., (2008) Reinigung von Ablaufwasser aus Forellenteichanlagen. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_30342.pdf
- Roy, L., Davis, A. (2010) Requirements for the culture of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus Vannamei*, reared in low salinity waters: water modification and nutritional strategies for improving production. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuícola X -Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 61-78.
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Henry, R.P (2007) Supplementation of potassium, magnesium and sodium chloride in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture Nutrition*, **13**, 104–113.
- Rümmler, F. (2011) Konfliktpotenzial Durchgängigkeit der Fließgewässer - Aquakulturanlagen. Der Märkische Fischer, H. 3, 40 - 41.
- Rümmler, F. (2015a) Modellhafte Umgestaltung und Untersuchung einer Forellen-Rinnenanlage in den neuen Bundesländern mit einer Wasser sparenden, von der fließenden Welle unabhängigen Betriebsweise im teilgeschlossenen Kreislauf. DBU Projekt AZ 28132.
- Rümmler, F. (2015b) Untersuchungen zur Aufbereitung des Ablauf- bzw. Reinigungswassers geschlossener Warmwasserkreislaufanlagen zur Aufzucht verschiedener Fischarten. DBU Projekt AZ 30233.
- Rydl, A. (2005) Sukzession und Analyse des bakteriellen Bewuchses an Fischen und Materialoberflächen in einer geschlossenen Fischzuchtanlage. Leibniz-Institute of Marine Sciences.
- Sadek, S. (2011) An overview on desert aquaculture in Egypt. In V. Crespi & A. Lovatelli, eds. Aquaculture in desert and arid lands: development constraints and opportunities. FAO Technical Workshop. 6–9 July 2010, Hermosillo, Mexico. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 20. Rome, FAO. 2011. pp. 141–158.
- Sakthivel, A., Selvakumar, P., Gopalakrishnan, A. (2014) Effect of Mineral Deposition on Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in High Alkaline Water of Pennar River, Andhra Pradesh of Southeast Coast of India. *Journal of Aquaculture Research and Development*, **5**, 241
- Samocha, T.M., Hamper, L., Emberson, C.R., Davis, A.D., McIntosh, D., Lawrence, A.L., Van Wyk, P.M. (2004) Production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in high-density greenhouse-enclosed raceways using low salinity groundwater. *Journal of Applied Aquaculture*, **15**, 1-19.
- Santore, R.C., Mathew, R., Paquin, P.R., DiToro, D. (2002) Application of the biotic ligand model to predicting zinc toxicity to rainbow trout, fished minnow, and *Daphnia magna*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, **133**, 271-285.
- Saoud, I.P., Davis, D.A., Rouse, D.B. (2003) Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture*, **217**, 373-383.
- Schreckenbach, K. (2010) Gesundheit und Hygiene – Basis für Wachstum. In Fisch vom Hof?! Fischerzeugung in standortunabhängigen Kreislaufanlagen. DLG-Verlag. ISBN 978-3-7690-0727-5.
- Schreckenbach, K., Knösche, R. & Ebert, K. (2001) Nutrient and Energy Content of Freshwater Fishes. *Journal of Applied Ichthyology*, **17**, 142 - 144.
- Schreckenbach, K., Steffens, W., Zobel, H. (1987) (Hrsg.): Technologien, Normen und Richtwerte der Fischproduktion. Institut für Binnenfischerei Berlin-Friedrichshagen. 180 S.

- Secor, D. H., Gunderson, T. E., Karlsson, K. (2000) Effect of temperature and salinity on growth performance in anadromous (Chesapeake Bay) and nonanadromous (Santee-Cooper) strains of *Morone saxatilis*. *Copeia*, 2000, 291–296.
- Smith, E.J., Sykora, J.L., Shapiro, M.A. (1973) Effect of lime neutralized iron hydroxide suspensions on survival, growth, and reproduction of the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **30**, 1147–1153.
- Smith, B. and Barlow, C., ed. (1999) Inland Saline Aquaculture Workshop. Proceedings of a workshop held on 6. and 7. August 1997 in Perth, Western Australia. ACIAR Proceedings No. 83, 61 pp. http://aciar.gov.au/files/node/308/inland_saline_aquaculture_13370.pdf
- Sparling, D.W., Lowe, T.P., Campbell, P.G.C (1997) Ecotoxicology of aluminum to fish and wildlife. Chapter 3 in book PDF on file: 5151_Sparling.pdf 280 kb, Taylor & Francis, Washington, DC
- Spotte, S. (1970) Fish and invertebrate culture: water management in closed systems. Wiley Interscience, John Wiley and Sons, New York, 145.
- Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Bouttrup, S., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S., Dalsgaard, A.J.T. and Suhr, K. (2008) Modeldambrug under forsøgsordningen. Fagligslutrapport for "Måleogdokumentationsprojekt for modeldambrug". DTU Aqua-rapport nr. 193-08. In Danish.
- Tacon, A.G.J. (1987) The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp – a training manual, 1. The essential nutrients. A report prepared for the FAO Trust Fund GCP/RLA/075/ITA Field Document 2/E.
- Terjesen, B.F., Ytrestøyl, T., Kolarevic, J., Calabrese S., Rosseland, B.O., Teien, H-C., Åtland, Å., Nilsen, T.O., Stefansson, S., Handeland, S.O., Schoordik, J., Takle, J.H. (2013) Effects of water salinity and exercise on Atlantic salmon performance as posts molts in land-based closed containment systems. Nofima.
- Teskeredzic, E., Teskeredzic, Z., Tomec, M., Modrusan, Z. (1989) A Comparison of the Growth Performance of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) in Fresh and Brackish Water in Yugoslavia. *Aquaculture*, **77**, 1-10.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. (2002) Recirculating aquaculture systems, 2nd ed. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY, 769.
- Tocher, D.R., Castell, J.D., Dick, J.R., Sargent, J.R. (1994) Effects of salinity on the growth and lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and turbot (*Scophthalmus maximus*) cells in culture. *Fish Physiology and Biochemistry*, **13**(6), 451-61.
- Todd, A.S., Brinkman, S., Wolf, R.E., Lamothe, P.J., Smith, K.S., Ranville, J.F. (2009) An enriched stable isotope-approach to determine the gill-zinc binding properties of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during acute zinc exposure in hard and soft waters. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **28**, 1233-1243.
- Tomasso, J.R., (1994) Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. *Reviews in Fisheries Science*, **2**(4), 291-314.
- TrinkwV, (2001) Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Januar 2018 (BGBl. I S. 99) geändert worden ist.
- Tsintsadze, Z.A. (1991). Adaptational capabilities of various size-age groups of rainbow trout in relation to gradual changes of salinity. *Journal of Ichthyology*, **31**, 31–38.
- Valenzuela-Madriral, I.E., Valenzuela-Quiñónez, W., Esparza-Leal, H.M., Rodríguez-Quiroz, G., Aragón-Noriega, E.A. (2017) Effects of ionic composition on growth and survival of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, culture at low-salinity well water. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, **5**(1), 103-112.
- Van der Heijden, P.G.M., Roest, K., Farrag, F., ElWageih, H., Sadek, S., (2014) Integrated Agri-Aquaculture with brackish waters in Egypt. Mission Report, Alterra report 2526. Wageningen UR. ISSN 1566-7197.
- Van Wyk, P.M., Scarpa, J. (1999) Chapter 8 – Water quality requirements and management, Wyk et al. 1999, Farming Marine Shrimp in Recirculating Fresh Water Systems. Florida Department of Agriculture and Consumer Services.
- VDF - Verband Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V. -Arbeitskreis „Tierschutzindikatoren“ (2016) Leitfaden Tierschutzindikatoren - mit Empfehlungen für die Durchführung betrieblicher Eigenkontrollen gemäß 11 Absatz 8 des Tierschutzgesetzes in Aquakulturbetrieben.
- Wedemeyer, G. (1996) Physiology of Fish in Intensive Culture. Chapman and Hall, New York.

- Wendelaar Bonga S.E., Löwik, C.J., van der Meij, J.C. (1983) Effects of external Mg²⁺ and Ca²⁺ on branchial osmotic water permeability and prolactin secretion in the teleost fish *Sarotherodon mossambicus*. *General and Comparative Endocrinology*, **52**, 222–231.
- Wickins, J.F., Lee, D.O'c. (2002) Crustacean Farming: Ranching and Culture. Blackwell Pub Professional, pp. 464.
- Wilson, R.W. (2012) Aluminium. In Wood, C.M., Farrell, A.P., Brauner, C.J. (2012) Homeostasis and Toxicology of Non-Essential Metals. Fish Physiology Volume 31B. Academic Press, pp. 67-123.
- Witeska, M., Jezierska, B. (2003) The effects of environmental factors on metal toxicity to fish(review). *Fresenius Environmental Bulletin*, **12**(8), 824-9.
- Wudtisin, I., Boyd, C.E. (2011) Possible potassium and magnesium limitations for shrimp survival and production in low-salinity, pond waters in Thailand. *Journal of the World Aquaculture Society*, **42**(6), 766-777.
- Wuertz, S., Schulze S.G.E., Eberhardt, U., Schulz, C., Schroeder, J.P. (2013) Acute and chronic nitrite toxicity in juvenile pike-perch (*Sander lucioperca*) and its compensation by chloride. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C, Toxicology & Pharmacology*, **157**(4), 352-60.
- Zeitoun, I. H., Halver, J. E., Ullrey, D. E., Tack, P. I. (1973) Influence of Salinity on Protein Requirements of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) Fingerlings. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **30**(12), 1867-1873.
- Sprague, J.B. (1971) Measurement of pollutant toxicity to fish 3- Sublethal effects and safe concentrations. *Water Research*, **5**, 245-266.
- Zienert, S. & Heidrich, S.(2005) Aufzucht von Zandern in der Aquakultur. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, Bd. 18. Hrsg.: Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow. 60 S.

Anlage 4: Standort Adressen Ansiedlung Aquakultur

Genehmigungsverfahren

Das Genehmigungsverfahren für die Ansiedlung einer kreislaufbasierten Aquakultur (KLA) in Schleswig-Holstein unterliegt verschiedenen durch das Vorhaben berührten Rechtsbereichen. Diese sind im Wesentlichen:

- **Baurecht**
Regelt die bauliche Ausführung der KLA und aller weiteren geplanten Bauten, die im direkten oder indirekten Zusammenhang mit dem Vorhaben stehen. Dies umfasst ebenfalls die baulichen Maßnahmen für die Gewinnung von salzhaltigem Grundwasser, die zugehörigen Rohrleitungen, die Abwasser-Aufbereitung vor Abschlag und die Rohrleitungen zum Abschlagspunkt des Abwassers. Das deutsche bzw. Schleswig-Holsteiner Baurecht sieht keine nennenswerten Besonderheiten für den Bau einer KLA vor, insbesondere keine Listung in Anhang IV der BImSchVO. Das baurechtliche Verfahren dient i.d.R. als Trägerverfahren (Huckepackverfahren) für alle anderen Rechtsbereiche, wodurch die inhaltliche und terminliche Abstimmung der verschiedenen Bereiche zu Gunsten aller Parteien vereinfacht wird.
- **Wasserrecht**
Regelt die Entnahme bzw. Förderung von Oberflächen- und Grundwasser, sowie die Einleitung bzw. Abschlag von Abwasser in Oberflächen- und Grundwasser sowie den Abschlag an andere Nutzer, wie z.B. Kläranlagen. Im Wasserrecht gelten teilweise Bundesland-spezifische Unterschiede zum Bundesrecht, die auch für Aquakultur (Fischzucht) relevant sind.
- **Naturschutzrecht**
Das Naturschutzrecht regelt den Eingriff in den Naturhaushalt, sofern dieser durch das Vorhaben betroffen bzw. beeinträchtigt wird. Hiervon kann in der Regel beim Bau einer Anlage und bei der Grund- bzw. Oberflächenwasser-Nutzung ausgegangen werden. Auch im Naturschutzrecht gelten teilweise Bundesland-spezifische Unterschiede zum Bundesrecht, die auch für Aquakultur (Fischzucht) relevant sind.
- und weitere Bereiche (ggf. Fischereirecht, Veterinärrecht, Lebensmittel- und Futtermittelrecht, Tierschutzrecht).

Für den generellen Ablauf des Genehmigungsverfahrens im Detail wird auf den Leitfaden „Entwicklung und Förderung einer nachhaltigen Aquakultur in Schleswig-Holstein (Binnenland)“ (MELUND, 2016) und das Beratungsangebot des Kompetenznetzwerk Aquakultur (KNAQ) verwiesen.

Wichtige Adressen der einzelnen Standorte

Glückstadt

Zuständige Stadtverwaltung	Stadt Glückstadt Am Markt 4 25348 Glückstadt Tel. 04124/930 411 E-Mail: Info@glueckstadt.de www.glueckstadt.de
Aktuelle/r Bürgermeister/in*	Manja Biel Bürgermeisterin Am Markt 4 25348 Glückstadt 04124 930 - 500

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

	04124 930 - 66500 m.biel@glueckstadt.de
Zuständige Kreisbehörden:	Kreis Steinburg http://www.steinburg.de
- Bau	Kreis Steinburg Kreisbauamt Amt 61 Karlstraße 13 25524 Itzehoe Amtsleiterin Frau Immich Telefon: 04821/69 309 Fax: 04821/69 476 E-Mail: bauamt@steinburg.de http://www.steinburg.de/kreisverwaltung/informationen-der-fachaemter/kreisbauamt.html
- Wasser	Kreis Steinburg Amt für Umweltschutz Wasser- und Bodenschutzbehörde Karlstraße 13 25524 Itzehoe Telefon: 04821/69 301 Fax: 04821/69 669 E-Mail: wasserbehoerde@steinburg.de http://www.steinburg.de/kreisverwaltung/informationen-der-fachaemter/amt-fuer-umweltschutz/wasserwirtschaft.html
- Naturschutz	Kreis Steinburg Amt für Umweltschutz Untere Naturschutzbehörde Karlstraße 13 25524 Itzehoe Telefon: 04821/69 218 Fax: 04821/699 218 E-Mail: naturschutzbehoerde@steinburg.de http://www.steinburg.de/kreisverwaltung/informationen-der-fachaemter/amt-fuer-umweltschutz/naturschutz.html
- Veterinärrecht	Kreis Steinburg Veterinär- und Lebensmittelüberwachungsamt Karlstraße 1-3 25524 Itzehoe Telefon: 04821/69 0 Fax: 04821/69 361 E-Mail: veterinaeramt@steinburg.de http://www.steinburg.de/kreisverwaltung/leistungen-services/oeffnungszeiten/veterinaer-und-lebensmittelueberwachungsamt.html

Büsum

Zuständige Stadtverwaltung	Gemeinde- und Amtsverwaltung Kaiser-Wilhelm-Platz 25761 Büsum Tel. (0 48 34) 909-200
----------------------------	---

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

	<p>Fax (0 48 34) 34 15 info@amt-buesum-wesselburen.de https://www.amt-buesum-wesselburen.de/</p>
Aktuelle/r Bürgermeister/in*	<p>Bürgermeister Hans-Jürgen Lütje Gemeinde Büsum Kaiser-Wilhelm-Platz 25761 Büsum Tel. 04834-909-240 Fax: 04834-3415 E-Mail: H-J.Luetje@amt-buesum-wesselburen.de</p>
Zuständige Kreisbehörden:	<p>Kreis Dithmarschen https://www.dithmarschen.de/</p>
- Bau	<p>Kreis Dithmarschen Rainer Off Fachdienst Bau, Naturschutz und Regionalentwicklung Zimmer 632 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1447 Fax 0481/97-1580 E-Mail: rainer.off@dithmarschen.de Link</p>
- Wasser	<p>Kreis Dithmarschen Dr. Jürgen Eilers Fachdienst Wasser, Boden und Abfall Zimmer 516 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1317 Fax 0481/97-1587 E-Mail: juergen.eilers@dithmarschen.de Link</p>
- Naturschutz	<p>Kreis Steinburg Uwe Maaßen Fachdienst Bau, Naturschutz und Regionalentwicklung Zimmer 603 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1450 Fax 0481/97-1580 E-Mail: uwe.maassen@dithmarschen.de Link</p>
- Veterinärrecht	<p>Kreis Dithmarschen Dr. Klaus-H. Hartwig Fachdienst Veterinärwesen und Verbraucherschutz Zimmer 101 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1353 Fax 0481/97-1570 E-Mail: klaus.hartwig@dithmarschen.de Link</p>

Friedrichskoog

Zuständige Stadtverwaltung	Amt Marne-Nordsee Alter Kirchhof 4/5 25709 Marne Tel.: 04851 - 9596-0 Fax.: 04851 - 9596-39 E-Mail: Info@amt-marne-nordsee.de https://www.amt-marne-nordsee.de/startseite/
Aktuelle/r Bürgermeister/in*	Bernd Thaden Bürgermeister Kirschenweg 3 25718 Friedrichskoog Telefon: 04854/ 1424
Zuständige Kreisbehörden:	Kreis Dithmarschen https://www.dithmarschen.de/
- Bau	Kreis Dithmarschen Rainer Off Fachdienst Bau, Naturschutz und Regionalentwicklung Zimmer 632 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1447 Fax 0481/97-1580 E-Mail: rainer.off@dithmarschen.de Link
- Wasser	Kreis Dithmarschen Dr. Jürgen Eilers Fachdienst Wasser, Boden und Abfall Zimmer 516 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1317 Fax 0481/97-1587 E-Mail: juergen.eilers@dithmarschen.de Link
- Naturschutz	Kreis Steinburg Uwe Maaßen Fachdienst Bau, Naturschutz und Regionalentwicklung Zimmer 603 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1450 Fax 0481/97-1580 E-Mail: uwe.maassen@dithmarschen.de Link
- Veterinärrecht	Kreis Dithmarschen Dr. Klaus-H. Hartwig Fachdienst Veterinärwesen und Verbraucherschutz Zimmer 101 Stettiner Str. 30

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

	25746 Heide Telefon 0481/97-1353 Fax 0481/97-1570 E-Mail klaus.hartwig@dithmarschen.de Link
--	---

Friedrichstadt

Zuständige Stadtverwaltung	Amt Nordsee-Treene Schulweg 19 25866 Mildstedt Telefon: 04841/992-0 Telefax: 04841/992-255 E-Mail: info@amt-nordsee-treene.de http://www.amt-nordsee-treene.de
Aktuelle/r Bürgermeister/in*	Christiane Möller-von Lübcke Bürgermeisterin Am Markt 11 25840 Friedrichstadt E-Mail: c.moeller-von-luebcke@amt-nordsee-treene.de Telefon: 04841/992721
Zuständige Kreisbehörden:	Kreis Nordfriesland https://www.nordfriesland.de/
- Bau	Kreis Nordfriesland Fachdienst Bauen und Planen » Marktstraße 6 25813 Husum Telefon: 04841 67-162 Telefon: 04841 67-623 Fax: 04841 67-265 https://www.nordfriesland.de/Kreis-Verwaltung/Kreisverwaltung/Fachdienst-Bauen-und-Planen
- Wasser	Kreis Nordfriesland Fachdienst Umwelt » Marktstraße 6 25813 Husum Telefon: 04841 67-0 Fax: 04841-67 657 https://www.nordfriesland.de/Kreis-Verwaltung/Kreisverwaltung/Fachdienst-Umwelt
- Naturschutz	Kreis Nordfriesland Fachdienst Umwelt » Marktstraße 6 25813 Husum Telefon: 04841 67-0 Fax: 04841-67 657 https://www.nordfriesland.de/Kreis-Verwaltung/Kreisverwaltung/Fachdienst-Umwelt
- Veterinärrecht	Landrat des Kreises Nordfriesland Veterinäramt Maas 8 25813 Husum

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

	<p>Telefon: 04841 67-0 Telefax: 04841 67-822 E-Mail: veterinaeramt@nordfriesland.de https://www.nordfriesland.de/Kreis-Verwaltung/Kreisverwaltung/Fachdienst-Veterin%C3%A4rwesen</p>
--	--

Wöhrden

Zuständige Stadtverwaltung	<p>Gemeinde Wöhrden Meldorfer Str. 15 25797 Wöhrden Tel. 04839/ 316 Fax. 04839/ 951323 Mail: gemeinde@woehrden.de http://www.woehrden.de/verwaltung/index.html & Amt KLG Heider Umland Amtsvorsteher: Hartmut Busdorf Kirchspielsweg 6 25746 Heide Telefon: 0481 - 605-0 (Zentrale) Telefax: 0481 - 605-70 https://www.amt-heider-umland.de/</p>
Aktuelle/r Bürgermeister/in*	<p>Peter Schoof Bürgermeister Meldorfer Straße 15 25797 Wöhrden Tel: 04839/316 (Gemeindebüro) Fax: 04839/951323 (Gemeindebüro) Tel: 04839/953779 (Privat) Mobil: 0171/9762402 Mail: gemeinde@woehrden.de</p>
Zuständige Kreisbehörden:	<p>Kreis Dithmarschen https://www.dithmarschen.de/</p>
- Bau	<p>Kreis Dithmarschen Rainer Off Fachdienst Bau, Naturschutz und Regionalentwicklung Zimmer 632 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1447 Fax 0481/97-1580 E-Mail: rainer.off@dithmarschen.de Link</p>
- Wasser	<p>Kreis Dithmarschen Dr. Jürgen Eilers Fachdienst Wasser, Boden und Abfall Zimmer 516 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1317 Fax 0481/97-1587</p>

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

	E-Mail: juergen.eilers@dithmarschen.de Link
- Naturschutz	Kreis Steinburg Uwe Maaßen Fachdienst Bau, Naturschutz und Regionalentwicklung Zimmer 603 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1450 Fax 0481/97-1580 E-Mail: uwe.maassen@dithmarschen.de Link
- Veterinärrecht	Kreis Dithmarschen Dr. Klaus-H. Hartwig Fachdienst Veterinärwesen und Verbraucherschutz Zimmer 101 Stettiner Str. 30 25746 Heide Telefon 0481/97-1353 Fax 0481/97-1570 E-Mail klaus.hartwig@dithmarschen.de Link

Anlage 6: Kostenrahmen – Ergänzung zu Kapitel 8

Inhalt

8. Kosten Infrastruktur Grundwassergewinnung/-Aufbereitung und Abwassereinleitung	1
8.1 Glückstadt (Zander)	2
8.1.1 Kostenrahmen Brunnen und Messstellen	2
8.1.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung	2
8.1.3 Kostenrahmen Abwasser.....	3
8.2 Büsum (Lachs).....	4
8.2.1 Kostenrahmen Brunnen und Messstellen.....	4
8.2.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung	5
8.2.3 Kostenrahmen Abwasser.....	5
8.3 Friedrichskoog (Seriola).....	7
8.3.1 Kostenrahmen Brunnen und Messstellen.....	7
8.3.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung	7
8.3.3 Kostenrahmen Abwasser.....	7
8.4 Friedrichstadt (Forelle).....	9
8.4.1 Brunnen und Messstellen.....	9
8.4.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung	9
8.4.3 Kostenrahmen Abwasser.....	9
8.5 Wöhrden (Garnele).....	10
8.5.1 Kostenrahmen Brunnen und Messstellen.....	10
8.5.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung	11
8.5.3 Kostenrahmen Abwasser.....	11

8. Kosten Infrastruktur Grundwassergewinnung/-Aufbereitung und Abwassereinleitung

Die Infrastruktur für die Grundwassergewinnung muss darauf ausgelegt sein, dass stets ein redundanter Ersatzbrunnen zur Verfügung steht, damit die Wasserversorgung der Fischzuchtanlage gesichert bleibt. Etwaige Kosten für Grunderwerb und/oder Sicherung von Grunddienstbarkeiten fließen in die Kostenschätzungen nicht ein.

Grundsätzlich erfolgt die Aufbereitung des Brunnenrohwassers an allen Standorten nach dem in Kapitel 6.2.2 beschriebenen Prinzip. Bei den nachfolgenden Kostenschätzungen wird grundsätzlich von einer 2-stufigen Aufbereitung in Kunststoff-beschichteten Stahlkesseln ausgegangen. Es soll stets ein Reinwasserbehälter vorhanden sein, in dem der Tagesbedarf bevorratet wird. Das Wasser aus der

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

Filterrückspülung wird über ein Schlammabsetzbecken geleitet. Die dort sedimentierten Schlämme werden fachgerecht entsorgt.

Die dargestellten Aufbereitungsmöglichkeiten sind stark abhängig von der Ausführung und können sich zudem von den in der Aquakultur eingesetzten Technologien unterscheiden, welche ggf. einfacher und kostengünstiger gestaltet sind (siehe bspw. Enteisung in Rümmler, 2015a).

Zur Ermittlung der Abwasserabgabe werden die Anzahl der Schadeinheiten x 35,79 € gerechnet.

- 1 Schadeinheit CSB = 50 kg Sauerstoff (Schwellenwert 20 mg/l oder 250 kg/a)
- 1 Schadeinheit Gesamt N = 25 kg Stickstoff (Schwellenwert 5 mg/l oder 125 kg/a)
- 1 Schadeinheit Phosphor = 3 kg Phosphor (Schwellenwert 0,1 mg/l oder 15 kg/a)

Bei Unterschreitung der Schwellenwerte (wobei einer ist ausreichend ist) erfolgt keine Abgabe des Wassers. Anzusetzen sind hierbei die Werte der Einleiterlaubnis, nicht die tatsächlichen Werte (die beantragten Werte sollten also so dicht wie möglich an den tatsächlich zu erreichenden Ablaufwerten liegen, bei entsprechender Sicherheit). Bei Überschreitung gibt es eine Erhöhung der Schadeinheiten. Wenn die Anforderungen gem. WHG§57 eingehalten werden („...die Menge und Schädlichkeit des Abwassers so gering gehalten wird, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist,“) folgt eine Halbierung der Schadeinheiten. Die möglichen Einleitwerte richten sich nach den Orientierungswerten des Gewässers. Einleitwerte von Kläranlagen in den Gebieten liegen bspw. bei CSB = 110 mg/l, Ges. N = 10 mg/l und P = 2 mg/l.

Invest- und Betriebskosten zu den Anlagentypen können bei den Herstellern angefragt werden. Für Zander und Garnele sind diese in Meyer et al. (2016) dargestellt.

8.1 Glückstadt (Zander)

8.1.1 Kostenrahmen Brunnen und Messstellen

Für die Grundwassergewinnung am Standort Glückstadt sind kleine Brunnen mit einer Förderleistung von je 15 m³/h hinreichend. Der Ausbaudurchmesser wird mit 200 mm angenommen.

Glücksstadt

Wasserbedarf:	60.000 m ³ /a
Erforderliche Brunnentiefe:	ca. 30 m
Mächtigkeit Grundwasserleiter:	ca. 15 m
Erwartbare Leistung je Brunnen:	ca. 130.000 m ³ /h
Erforderliche Brunnenanzahl (inkl. Reservebrunnen):	2 Stück
Bau- und Ausrüstungskosten für die Brunnen:	ca. 105.000 €
2 Stück Frequenzumformer	ca. 30.000 €
3 Stück Grundwassermessstellen:	ca. 22.500 €
<hr/>	
Baukosten Brunnen und Messstellen:	ca. 157.500 €

8.1.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung

Der Kostenrahmen für die Wasseraufbereitung orientiert sich an den Kosten für eine Selbstversorgungsanlage, wie sie für kleine Gemeinden typisch ist (Tabelle 1).

Tabelle 1. Kosten Bau Wasserwerk - Leistung: ca. 60.000 m³/a am Standort Glückstadt.

Ingenieurleistungen für Gutachten, Wasserrechte, Planungskosten	40.000 €
Leitwarte, Fernwirkanlage	5.000 €
Leichtbauhalle:	40.000 €
Filterkessel:	40.000 €
Rohrleitungen, Armaturen:	20.000 €
Belüftungstechnik:	7.500 €
Schlammabsetzbecken:	20.000 €
Notstrom:	12.000 €
Netto-Summe	184.500 €
10 % Unwägbarkeiten	18.450 €
	202.950 €

8.1.3 Kostenrahmen Abwasser

Die Abwasserkosten pro m³ am Standort Glückstadt sind mit der Firma Steinbeis Papier GmbH zu klären.

Die ermittelte Abwasserabgabe, bei Erlaubniswerten von CSB = 80 mg/l (aus der Gesamteinleitung Steinbeis Papier GmbH, durch die Einleitung des Wassers aus der Zander Anlage erfolgt eine Verdünnung), Ges. N = 10 mg/l und P= 1 mg/l (angenommen, entscheidend ist der Erlaubniswert von Steinbeis Papier GmbH) würde sich auf rund 2.050 €/a belaufen.

Die Kostenschätzung für die technische Infrastruktur/Abwasserableitung zu Kläranlage Steinbeis Papier GmbH ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2. Kostenschätzung für die technische Infrastruktur/Abwasserableitung zu Kläranlage Steinbeis Papier GmbH.

Kostenschätzung technische Infrastruktur				
1. Glückstadt, Abwasserableitung zu Kläranlage Steinbeis Papier GmbH				
Anlage : Zander, Qd =		141,00	m ³ /d	
bei Förderung über 10 Stunden =			3,92	l/s
Druckleitung PE 110x6,6, hV= 0,25-0,35bar				
Variante A, L = 670m			E.P.	Ges.Preis
670,00	m	PE110x6,6, Bohrverfahren	140,00 €	93.800,00 €
5,00	Stk	Bohrgruben	1.500,00 €	7.500,00 €
1,00	Stk	Einbindung Kläranlage	2.000,00 €	2.000,00 €
1,00	psch	Pumpstation	3.000,00 €	3.000,00 €
1,00	psch	Nebenkosten, BE, rd. 20%		21.260,00 €
1,00	psch	Ing Honorar 70%		8.000,00 €
Baukosten netto				135.560,00 €

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

Vorteil : kürzeste Trasse, geringste Baukosten, geringste Betriebskosten				
Nachteil : zerschneidet unbebautes Grundstück (Einschränkung der Nutzung)				
Variante B, L = 960m			E.P.	Ges.Preis
960,00	m	PE110x6,6, Bohrverfahren	140,00 €	134.400,00 €
7,00	Stk	Bohrgruben	1.500,00 €	10.500,00 €
1,00	Stk	Einbindung Kläranlage	2.000,00 €	2.000,00 €
1,00	psch	Pumpstation	3.000,00 €	3.000,00 €
1,00	psch	Nebenkosten, BE, rd. 20%		29.980,00 €
1,00	psch	Ing Honorar 70%		12.000,00 €
Baukosten netto				191.880,00 €
Vorteil : Trasse entlang vorhandener Wege, zerschneidet keine späteren Nutzungen				
Nachteil : längere Trasse, höhere Investitions- und Betriebskosten				
Variante C, L = 920m			E.P.	Ges.Preis
920,00	m	PE110x6,6, Bohrverfahren	140,00 €	128.800,00 €
7,00	Stk	Bohrgruben	1.500,00 €	10.500,00 €
1,00	Stk	Einbindung Kläranlage	2.000,00 €	2.000,00 €
1,00	psch	Pumpstation	3.000,00 €	3.000,00 €
1,00	psch	Nebenkosten, BE, rd. 20%		28.860,00 €
1,00	psch	Ing Honorar 70%		10.000,00 €
Baukosten netto				173.160,00 €
Vorteil : Trasse außerhalb bebauter Flächen, zerschneidet keine späteren Nutzungen				
Nachteil : längere Trasse, höhere Investitions- und Betriebskosten				
Verlegung am Deichfuss kann Genehmigungsproblem sein.				

8.2 Büsum (Lachs)

8.2.1 Kostenrahmen Brunnen und Messstellen

Die Produktion von Lachs (Standort Büsum), ist mit einem jährlichen Grundwasserbedarf von 520.000 m³ verbunden.

Die Brunnen werden vor dem Hintergrund der Salinität des Grundwassers mit einer PVC-Verrohrung ausgestattet. Der Filterdurchmesser wird mit 350 bis 400 mm angenommen. Die Pumpenleistung wird über einen Frequenz-Umformer geregelt.

Büsum

Wasserbedarf:	520.000 m ³ /a
Erforderliche Brunnentiefe:	ca. 60 m
Mächtigkeit Grundwasserleiter:	ca. 30 m
Erwartbare Leistung je Brunnen:	ca. 600.000 m ³ /h
Erforderliche Brunnenanzahl (inkl. Reservebrunnen):	2 Stück

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

Bau- und Ausrüstungskosten für die Brunnen:	ca. 280.000 €
2 Stück Frequenzumformer	ca. 30.000 €
3 Stück Grundwassermessstellen:	ca. 45.000 €
<hr/>	
Baukosten Brunnen und Messstellen:	ca. 355.000 €
<hr/>	

8.2.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung

Die Wasserbedarfszahlen für die Fischzucht in Büsum, Friedrichskoog und Friedrichstadt entsprechen denen einer Kleinstadt von ca. 11.000 bis 16.000 Einwohnern. Die Dimensionierung der Aufbereitungstechnik entspricht somit der von kommunalen Wasserwerken. Damit ist auch die Verteilung der daraus resultierenden fixen und variablen Betriebskosten sehr ähnlich. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die technischen Komponenten aus Kostengründen von einfacherer Machart sind als in einem Wasserwerk für die Trinkwasserversorgung. Damit sind die Investitionskosten deutlich niedriger.

Vor dem Hintergrund der mit der Abschätzung des Kostenrahmens verbundenen Unwägbarkeiten werden die Investitionskosten für die Aufbereitungsinfrastruktur an den Standorten Büsum, Friedrichskoog und Friedrichstadt als gleich angenommen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3. Geschätzter Kostenrahmen für die Wasseraufbereitung an den Standorten Büsum, Friedrichskoog und Friedrichstadt. Kosten Bau Wasserwerk - Leistung: 520.000 – 700.000 m³/a.

Ingenieurleistungen für Gutachten, Wasserrechte, Planungskosten:	120.000 €
Leitwarte, Fernwirkanlage:	10.000 €
Leichtbauhalle:	85.000 €
Filterkessel:	80.000 €
Rohrleitungen, Armaturen:	40.000 €
Belüftungstechnik:	25.000 €
Schlammabsetzbecken:	60.000 €
Notstrom:	35.000 €
Netto-Summe	455.000 €
10 % Unwägbarkeiten	45.500 €
Netto gesamt	500.500 €

8.2.3 Kostenrahmen Abwasser

Die ermittelte Abwasserabgabe am Standort Büsum bei Erlaubniswerten von CSB = 80 mg/l, Ges. N = 10 mg/l und P = 2 mg/l ergäbe eine Abwasserabgabe von rund 20.700 €/a.

In Tabelle 4 sind die möglichen Kosten für eine Trasse in die Nordsee und eine Aufbereitung der voraussichtlichen Einleitwerte (u.a. Ges. N = 10 mg/l) dargestellt. Da für das RAS2020 keine Daten für eine so hohe Aufbereitung vorlagen, wurden diese von Projektpartner Reitner aufgestellt (Tabelle 4). Diese können sich von einer angepassten Abwasseraufbereitung nach Krüger/Veolia deutlich unterscheiden.

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

Tabelle 4. Kosteneinschätzung einer Abwasserleitung in die Nordsee und eigener Kläranlage für den Standort Büsum.

Kostenschätzung technische Infrastruktur				
2. Büsum, Abwasserableitung direkt in Nordsee				
eigene Kläranlage , vergleichbar RAS 2020				
Anlage : Lachs, Qd = 1296,00 m ³ /d				
bei Förderung über 20 Stunden =			18,00	l/s
Druckleitung PE 280x16,6, hv= 0,03bar				
Leitung in Nordsee, L = 120m				
			E.P.	Ges.Preis
120,00	m	PE280x16,6, Bohrverfahren	300,00 €	36.000,00 €
1,00	Stk	Bohrgruben	2.000,00 €	2.000,00 €
1,00	Stk	Einbindung Deckwerk	2.500,00 €	2.500,00 €
1,00	psch	Pumpstation, 2 Pumpen	10.000,00 €	10.000,00 €
1,00	psch	Rückstausicherung, 2. Sicherheit	2.500,00 €	2.500,00 €
1,00	psch	Nebenkosten, BE, rd. 20%		10.100,00 €
1,00	psch	Ing. Honorar, 100 %		7.000,00 €
				70.100,00 €
Baukosten netto				
Vorteil : Leitung kann bei Ebbe im Freigefälle laufen				
Nachteil : Querung der Deichlinie, ggf. Genehmigungsauflagen zur Absicherung				
Kläranlage 6.000EGW Biofilm/SBR Anlage				
			E.P.	Ges.Preis
1,00	psch	Baustelleneinrichtung	45.000,00 €	45.000,00 €
1,00	psch	Erdbau Behälter, Gebäude	165.000,00 €	170.000,00 €
1,00	psch	Behälterbau	405.000,00 €	410.000,00 €
1,00	psch	Leitungen	83.000,00 €	85.000,00 €
1,00	psch	Pumpen, Belüfter	525.000,00 €	525.000,00 €
1,00	psch	MSR Technik	85.000,00 €	85.000,00 €
1,00	psch	Mechanische Vorreinigung	30.000,00 €	30.000,00 €
1,00	psch	Betriebsgebäude	61.000,00 €	62.000,00 €
1,00	psch	Dosierung, Desinfektion	56.000,00 €	57.000,00 €
1,00	psch	Lieferung und Montage	240.000,00 €	240.000,00 €
1,00	psch	Nebenkosten, rd. 10%		170.900,00 €
1,00	psch	Ing. Honorar, 80 %		110.000,00 €
				1.989.900,00 €
Baukosten netto				
Betriebskostenschätzung				
263000,00	kWh	Stromkosten	0,15 €	39.450,00 €
2000,00	m ³	Fällmittel	0,80 €	1.600,00 €

2190,00	m ³	Schlammabfuhr	25,00 €	54.750,00 €
1,00	psch	Reparatur+Ersatzteile	15.500,00 €	15.500,00 €
1,00	psch	Analysen	13.000,00 €	13.000,00 €
2190,00	h	Wartung,Pflege, Eigenkontrolle	40,00 €	87.600,00 €
		Betriebskosten jährlich		211.900,00 €
		Kosten je m ³ Abwasser		0,50 €

8.3 Friedrichskoog (Seriola)

8.3.1 Kostenrahmen Brunnen und Messstellen

Die Produktion von Seriola (Standort Friedrichskoog), ist mit einem jährlichen Grundwasserbedarf von 520.000 m³ verbunden.

Die Brunnen werden vor dem Hintergrund der Salinität des Grundwassers mit einer PVC-Verrohrung ausgestattet. Der Filterdurchmesser wird mit 350 bis 400 mm angenommen. Die Pumpenleistung wird über einen Frequenz-Umformer geregelt.

Friedrichskoog

Wasserbedarf:	520.000 m ³ /a
Erforderliche Brunnentiefe:	ca. 40 m
Mächtigkeit Grundwasserleiter:	ca. 10 m
Erwartbare Leistung je Brunnen:	ca. 600.000 m ³ /h
Erforderliche Brunnenanzahl (inkl. Reservebrunnen):	2 Stück
Bau- und Ausrüstungskosten für die Brunnen:	ca. 225.000 €
2 Stück Frequenzumformer	ca. 30.000 €
3 Stück Grundwassermessstellen:	ca. 30.000 €
Baukosten Brunnen und Messstellen:	ca. 385.000 €

8.3.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung

Zum Kostenrahmen der Wasseraufbereitung siehe Kapitel 8.2.2.

8.3.3 Kostenrahmen Abwasser

Die ermittelte Abwasserabgabe bei Erlaubniswerten von CSB = 80 mg/l, Ges. N = 10 mg/l und P = 2 mg/l ergäbe für die Seriolaanlage am Standort Friedrichskoog eine Abwasserabgabe von rund 20.700 €/a.

Ggf. ist eine Beteiligung an den Pumpkosten für ein vorhandenes Schöpfwerk an den Sielverband nötig.

Abschätzung: Einleitungsmenge Aquakultur = 0,015 m³/s ⇒ unerheblich für Schöpfwerksleistung
 Jahresbilanz: Einzugsgebiet Schöpfwerk = 2.273 ha, angenommener Jahresabfluss 300 mm -
 2.273 x 10.000 x 0,3 = 6.819.000 m³/a.

Jahresabfluss Aquakultur = 427.680 m³/a, ⇒ 6,3 % ⇒ 143 ha anteilige Fläche.

Bei geschätztem Beitragssatz von 25 €/ha ⇒ 3.575 €/a Beitrag Sielverband.

In Tabelle 5 sind die möglichen Kosten für eine Trasse in den Vorfluter und eine Aufbereitung der voraussichtlichen Einleitwerte (u.a. Ges. N = 10 mg/l) dargestellt. Da für das RAS2020 keine Daten für

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

eine so hohe Aufbereitung vorlagen, wurden diese von Projektpartner Reitner aufgestellt (Tabelle 5). Diese können sich von einer angepassten Abwasseraufbereitung nach Krüger/Veolia deutlich unterscheiden.

Tabelle 5. Kosteneinschätzung einer Abwasserleitung in die in den Vorflutgraben und eigener Kläranlage für den Standort Friedrichskoog.

Kostenschätzung technische Infrastruktur				
3. Friedrichskoog, Abwasserableitung direkt in Vorflutgraben				
Anlage : Lachs, Qd =		1296,00	m ³ /d	
bei Förderung über 20 Stunden =			18,00	l/s
Druckleitung PE 280x16,6, hv= 0,03bar				
Ableitung in Vorfluter, mit Straßenquerung				
			E.P.	Ges.Preis
100,00	m	PE280x16,6, offene Verlegung	250,00 €	25.000,00 €
1,00	Stk	Straßenquerung ca. 10m	4.000,00 €	4.000,00 €
1,00	Stk	Einbindung Graben	1.000,00 €	1.000,00 €
1,00	psch	Nebenkosten, BE, rd. 20%		6.000,00 €
1,00	psch	Ing. Honorar, 100 %		2.000,00 €
Baukosten netto				38.000,00 €
Kläranlage 6.000EGW Biofilm/SBR Anlage				
			E.P.	Ges.Preis
1,00	psch	Baustelleneinrichtung	45.000,00 €	45.000,00 €
1,00	psch	Erdbau Behälter, Gebäude	165.000,00 €	170.000,00 €
1,00	psch	Behälterbau	405.000,00 €	410.000,00 €
1,00	psch	Leitungen	83.000,00 €	85.000,00 €
1,00	psch	Pumpen, Belüfter	525.000,00 €	525.000,00 €
1,00	psch	MSR Technik	85.000,00 €	85.000,00 €
1,00	psch	Mechanische Vorreinigung	30.000,00 €	30.000,00 €
1,00	psch	Betriebsgebäude	61.000,00 €	62.000,00 €
1,00	psch	Dosierung, Desinfektion	56.000,00 €	57.000,00 €
1,00	psch	Lieferung und Montage	240.000,00 €	240.000,00 €
1,00	psch	Nebenkosten, rd. 10%		170.900,00 €
1,00	psch	Ing. Honorar, 80 %		110.000,00 €
Baukosten netto				1.989.900,00 €
Betriebskostenschätzung				
263000,00	kWh	Stromkosten	0,15 €	39.450,00 €
2000,00	m ³	Fällmittel	0,80 €	1.600,00 €

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

2190,00	m ³	Schlammabfuhr	25,00 €	54.750,00 €
1,00	psch	Reparatur+Ersatzteile	15.500,00 €	15.500,00 €
1,00	psch	Analysen	13.000,00 €	13.000,00 €
2190,00	h	Wartung, Pflege, Eigenkontrolle	40,00 €	87.600,00 €
		Betriebskosten jährlich		211.900,00 €
		Kosten je m ³ Abwasser		0,50 €

8.4 Friedrichstadt (Forelle)

8.4.1 Brunnen und Messstellen

Die Produktion von Forellen (Standort Friedrichstadt) ist mit einem jährlichen Grundwasserbedarf 720.000 m³ (Friedrichstadt) verbunden.

Die Brunnen werden vor dem Hintergrund der Salinität des Grundwassers mit einer PVC-Verrohrung ausgestattet. Der Filterdurchmesser wird mit 350 bis 400 mm angenommen. Die Pumpenleistung wird über einen Frequenz-Umformer geregelt.

Friedrichstadt

Wasserbedarf:	700.000 m ³ /a
Erforderliche Brunnentiefe:	ca. 50 m
Mächtigkeit Grundwasserleiter:	ca. 25 m
Erwartbare Leistung je Brunnen:	ca. 700.000 m ³ /h
Erforderliche Brunnenanzahl (inkl. Reservebrunnen):	2 Stück
Bau- und Ausrüstungskosten für die Brunnen:	ca. 280.000 €
2 Stück Frequenzumformer	ca. 30.000 €
3 Stück Grundwassermessstellen:	ca. 37.500 €
Baukosten Brunnen und Messstellen:	ca. 347.500 €

8.4.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung

Siehe Kapitel 8.2.2

8.4.3 Kostenrahmen Abwasser

Am Standort Friedrichstadt beträgt die ermittelte Abwasserabgabe für die Forellenanlage rund 10.500 €/a, bei Erlaubniswerten von CSB = 15 mg/l, Ges. N = 10 mg/l und P = 1 mg/l.

Ggf. besteht eine Beteiligung an den Pumpkosten für ein vorhandenes Schöpfwerk an den Sielverband.

Abschätzung: Max. Schöpfwerksleistung 2,7 m³/s, Einleitungsmenge Aquakultur = 0,02 m³/s ⇒ unerheblich.

Jahresbilanz: Einzugsgebiet Schöpfwerk = 1.787 ha, angenommener Jahresabfluss 300 mm - 1.787 x 10.000 x 0,3 = 5.361.000 m³/a.

Jahresabfluss Aquakultur = 570.240 m³/a, ⇒ 10,6 % ⇒ 189 ha anteilige Fläche.

Bei geschätztem Beitragssatz von 25 €/ha ⇒ 4.725 €/a Beitrag Sielverband.

Für die Forellen Teil-KLA besteht die Möglichkeit durch eine Pflanzenkläranlage das Abwasser aufzubereiten (nach den hier genannten Abwasserwerten nicht nötig) und dadurch den Wasserinput

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

zu verringern (abhängig von der Temperierung). Die Kostenschätzung für solch eine Kläranlage ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6. Kostenschätzung einer Pflanzenkläranlage für den Standort Friedrichstadt.

Kostenschätzung technische Infrastruktur				
4. Friedrichstadt, Abwasserableitung in Saxfähler Sielzug				
Anlage : Forelle, Qd =		1728,00	m ³ /d	
bei Einleitung über 24 Stunden =			20,00	l/s
Pflanzenkläranlage ca. 6.000m²				
			E.P.	Ges.Preis
1,00	psch	Vorklämung /Sandfang	15.000,00 €	15.000,00 €
1,00	psch	Absetzbecken Reinigungswasser	15.000,00 €	15.000,00 €
6000,00	m ²	Pflanzbeet	80,00 €	480.000,00 €
1,00	psch	Leitungen	20.000,00 €	20.000,00 €
1,00	psch	Pumpen	6.000,00 €	6.000,00 €
1,00	psch	MSR Technik	6.000,00 €	6.000,00 €
1,00	psch	BE, Nebenkosten, rd. 10%		54.200,00 €
1,00	psch	Ing. Honorar, 70 %		25.000,00 €
		Baukosten netto		621.200,00 €
Betriebskostenschätzung				
40000,00	kWh	Stromkosten	0,15 €	6.000,00 €
100,00	m ³	Schlammabfuhr	25,00 €	2.500,00 €
1,00	psch	Reparatur+Ersatzteile	5.000,00 €	5.000,00 €
1,00	psch	Analysen	3.000,00 €	3.000,00 €
750,00	h	Wartung,Pflege, Eigenkontrolle	40,00 €	30.000,00 €
		Betriebskosten jährlich		46.500,00 €
		Kosten je m ³ Abwasser		0,08 €

8.5 Wöhrden (Garnele)

8.5.1 Kostenrahmen Brunnen und Messstellen

Vor dem Hintergrund des geringen Wasserbedarfs für die Garnelen-Produktion am Standort Wöhrden und der hohen Ergiebigkeit des grobsandigen Grundwasserleiters sind zwei kleine Förderbrunnen DN 100 hinreichend, die jeweils mit einer Pumpenleistung von ca. 3 m³/h bestückt werden.

Wöhrden

Wasserbedarf:	8.400 m ³ /a
Erforderliche Brunnentiefe:	ca. 25 m
Mächtigkeit Grundwasserleiter:	ca. 35 m

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

Erwartbare Leistung je Brunnen:	ca. 19.000 m ³ /h
Erforderliche Brunnenanzahl (inkl. Reservebrunnen):	2 Stück
Bau- und Ausrüstungskosten für die Brunnen:	ca. 20.000 €
2 Stück Frequenzumformer	ca. 20.000 €
Keine Grundwassermessstellen erforderlich	- €
Baukosten Brunnen und Messstellen:	ca. 40.000 €

8.5.2 Kostenrahmen Wasseraufbereitung

Der Kostenrahmen für die Wasseraufbereitung orientiert sich an den Kosten für eine Selbstversorgungsanlage, wie sie für kleine Gemeinden typisch ist (siehe Tabelle 6). Aufgrund der kleinen Abmessungen der Komponenten ist kein separates Gebäude für die Anlagentechnik erforderlich.

Tabelle 7. Kosten Bau Wasserwerk - Leistung: ca. 8.400 m³/a am Standort Wöhrden.

Ingenieurleistungen für Gutachten, Wasserrechte, Planungskosten	10.000 €
Leitwarte, Fernwirkanlage	1.000 €
Leichtbauhalle:	entfällt
Filterkessel:	10.000 €
Rohrleitungen, Armaturen:	5.000 €
Belüftungstechnik:	2.000 €
Schlammabsetzbecken:	entfällt
Notstrom:	1.500 €
Netto-Summe	29.500 €
10 % Unwägbarkeiten	2.950 €
Netto gesamt	32.450 €

8.5.3 Kostenrahmen Abwasser

Die ermittelte Abwasserabgabe beträgt für die Garnelenanlage am Standort Wöhrden rund 10.500 €/a, bei Erlaubniswerten von CSB = 30 mg/l, Ges N. = 11 mg/l, P= 1mg/l.

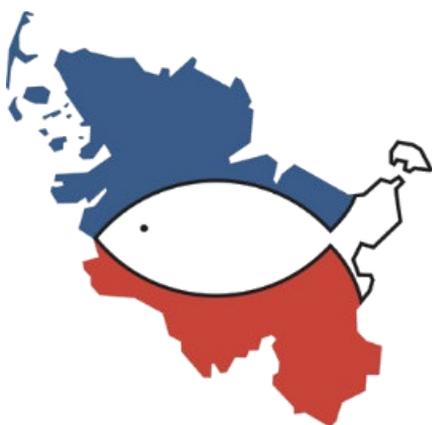
Eine Kosteneinschätzung der Abwasserleitung in den Norderstrom ist in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8. Kosteneinschätzung zur Abwasserableitung in Wöhrden.

Kostenschätzung technische Infrastruktur			
5. Wöhrden, Abwasserableitung in Norderstrom			
Anlage : Garnele, Qd =	16,00	m ³ /d	

Verwendung von salzhaltigem Grundwasser für die kreislaufbasierte Aquakultur in SH

Einleitung in Vorflut, Ablaufleitung				
1,00	psch	ca. 50m Abaufleitung in Graben	3.000,00 €	3.000,00 €
		Baukosten netto		3.000,00 €



KNAQ

Kompetenznetzwerk Aquakultur
des Landes Schleswig-Holstein

Für weiterführende Informationen zu den Inhalten dieser Studie und für weitergehende Beratung wenden Sie sich bitte an folgende Stellen:

Beratung von Interessenten und Investoren:

Kompetenznetzwerk Aquakultur (KNAQ)
Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Grüner Kamp 15-17
24768 Rendsburg
www.knaq-sh.de
info@knaq-sh.de

Inhalte der vorliegenden Studie:

Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA) mbH
Hafentörn 3
25761 Büsum
www.gma-buesum.de
info@gma-buesum.de

Themenportal Fischerei der öffentlichen Verwaltung Schleswig-Holstein:

www.schleswig-holstein.de/DE/Themen/F/fischerei.html

Portal der Fischereimarkte WIR FISCHEN.SH

Markenbeirat WIR FISCHEN.SH
c/o Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Fachbereich Gütezeichen
Grüner Kamp 15-17
24768 Rendsburg
www.wir-fischen.de

Büsum, Kiel, Rendsburg, 08.03.2019

ISBN e-Book: 978-3-00-062310-3