



AquaZoom – eine integrative Methode zur Bewertung des Fischzuchtpotenzials entlang österreichischer Fließgewässer

Carina Seliger · Melanie Haslauer · Stefan Schmutz · Florian Borgwardt

Angenommen: 29. Juli 2022 / Online publiziert: 30. August 2022
© Der/die Autor(en) 2022

Zusammenfassung Weltweit ist die Aquakultur der am schnellsten wachsende Sektor in der tierischen Lebensmittelproduktion. Dieser Sektor wird voraussichtlich immer wichtiger werden, um den zukünftigen Nahrungsmittelbedarf zu decken. Im Binnenland Österreich ist der Selbstversorgungsgrad von Fisch mit 6% insgesamt bzw. 48% bei Süßwasserfischen eher gering. Um ein nachhaltiges Wachstum des Sektors zu ermöglichen und gleichzeitig negative Auswirkungen auf die verwendeten aquatischen Ökosysteme und andere Nutzungen der Ressource Wasser zu vermeiden, wurde ein räumlicher Analyse-Ansatz zur nachhaltigen Zonierung von Forellenzuchtbetrieben, mit einem Schwerpunkt auf Durchflussanlagen, entwickelt. Dabei wurden 17 land- und 17 gewässerbezogene räumliche Kriterien identifiziert und hinsichtlich ihrer Eignung für die Errichtung eines Forellenzuchtbetriebs klassifiziert. Anschließend wurden die Kriterien in einem integrativen GIS-basierten Modellierungsansatz kombiniert, um eine landesweite und räumlich explizite Zonierung von Eignungsgebieten innerhalb Österreichs vorzunehmen. Von insgesamt 8113 Teileinzugsgebieten (TEZG) mit einer mittleren Größe von 10 km² wurden so 1295 TEZG als geeignet eingestuft. Für diese TEZG wurde eine potenzielle Produktionsmenge an Fisch abgeschätzt. Mit einer mittleren Produktion von 48,7 t pro Standort könnten in Summe 63.088 t Fisch in Durchflussanlagen österreich-

weit produziert werden. Die Ergebnisse sollen in weiterer Folge in einem Online-Tool zu Verfügung gestellt werden und so die Entscheidungsfindung von Investoren und Behörden unterstützen. Als Schnittstelle zwischen den unterschiedlichen Anwender:innen kann das Tool dazu beitragen, eine nachhaltige Entwicklung der Aquakultur in Österreich voranzutreiben und Konflikte und Fehlinvestitionen frühzeitig zu vermeiden.

Schlüsselwörter Nachhaltige Süßwasser-Aquakultur · Zonierung · GIS · Entscheidungshilfe · Ökosystembasiertes Management · Eignung · Durchflussanlage · Salmoniden · Forelle

AquaZoom – an integrative method for assessing the aquaculture potential alongside Austrian rivers and streams

Abstract Aquaculture is the fastest growing sector of animal food production worldwide and is expected to become increasingly important to meet future food demand. As landlocked country, Austria's self-sufficiency rate for fish is rather low at 6% overall and 48% for freshwater fish. To enable sustainable growth of the sector while avoiding negative impacts on the aquatic ecosystem and other uses, a tool for sustainable zoning of trout farms was developed. This involved the identification of 17 land-based and 17 water-based spatial criteria and their classification in terms of suitability for sustainable trout production. Subsequently, the criteria were combined in an integrative GIS-based modelling approach to produce a nationwide and spatially explicit zoning of suitable areas for aquaculture in Austria. Out of a total of 8113 sub-catchments (TEZG) with a mean size of 10 km², 1295 TEZG were thus classified as suitable. With

an average production of 48.7 t per site, 63,088 t of fish could be produced in flow-through systems in Austria. The presented approach will be translated into a tool that will subsequently be made available online, thus supporting the decision-making of investors and authorities and help to avoid conflicts and stranded investments at an early stage.

Keywords Sustainable freshwater aquaculture · Zoning · GIS · Decision support · Ecosystem-based management · Suitability · Flow-through system · Salmonids · Trout

1 Einleitung

Die Aquakultur ist mit einer jährlichen Wachstumsrate von 5,3% im Zeitraum 2001 bis 2018 der weltweit am schnellsten wachsende Sektor der tierischen Lebensmittelproduktion (FAO 2020). Im Jahr 2014 übertraf der Verzehr von Zuchtfisch zum ersten Mal jenen von wild gefangenem Fisch (FAO 2016) und lag 2020 bei 155 Mt (entspricht 56% der Nachfrage für den menschlichen Verzehr) (FAO 2020). Da die Nachfrage nach Fisch bis 2050 voraussichtlich auf 210 Mt steigen wird (Merino et al. 2012), aber 34,2% der Wildfischbestände bereits über die Grenzen der biologische Nachhaltigkeit hinaus befischt werden, wird die Aquakulturproduktion zunehmend an Bedeutung gewinnen (FAO 2018).

Die Länder der Europäischen Union (EU) erreichen derzeit mit einer Produktion von 1,32 Mt von Aquakulturprodukten einen Selbstversorgungsgrad von 42% (EUMOFA 2020). Im Jahr 2018 war die EU mit einer Einfuhr von 6,34 Mt Fisch- und Aquakulturerzeugnissen (34% des Werts) der weltweit größte Markt für Fischimporte (EUMOFA 2020; FAO 2020). Während einige europäische Länder mehr produzieren als sie verbrauchen, er-

DDI Dr. C. Seliger (✉) ·
DI M. Haslauer ·
Univ.-Prof. DI Dr. S. Schmutz ·
DI Dr. F. Borgwardt
Institut für Hydrobiologie
und Gewässermanagement,
Universität für Bodenkultur Wien,
Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien,
Österreich
carina.seliger@boku.ac.at

	Sondierung	Zonierung	Einzelfallbetrachtung	Managementgebiete (Interaktionen der Betriebe)
Hauptziel	Strategischer, konzeptioneller Plan	Regulierte, nachhaltige Entwicklung der Branche, Konfliktminimierung, Risikoreduktion	Standortwahl, Produktionsoptimierung, Risikoreduktion	Vermeidung von Konflikten und Seuchenrisiken
Räumlicher Maßstab	Global bis National	(Sub-)National	Betrieb, Region	Produktions-Cluster, Einzugsgebiet
Detaillierungsgrad (erforderliche Auflösung Eingangsdaten)	Gering, indikativ	Mittel	Hoch	Mittlerer bis hoher Detaillierungsgrad
Ergebnisse	Breit gefasst	Mittel	Genau	Genau
	Strategie Aquakultur 2020		aquaTool & aquaNovum & aquaZoom	

Abb. 1 Schematische Übersicht der methodischen Vorgangsweise und Einbettung der drei Projekte des IHG-BOKU (basierend auf Kapetsky und Aguilar-Manjarrez 2013)

reicht Österreich nur einen Selbstversorgungsgrad von 6%. Als Binnenland wird Österreich immer auf die Einfuhr von Meeresfischen angewiesen sein. Es ist jedoch erstaunlich, dass Österreich mit seinen reichlichen kühlen Süßwasserressourcen auch bei Süßwasserfischen nur einen Selbstversorgungsgrad von etwa 48% erreicht (BMLFUW 2012; Statistik Austria 2019).

Die österreichische Strategie zur Förderung der nationalen Fischproduktion „Aquakultur 2020“ hat sich im Jahr 2012 eine Erhöhung des Selbstversorgungsgrads bei Süßwasserfisch von damals etwa 34% auf 60% bis 2020 zum Ziel gesetzt (BMLFUW 2012). Dies hätte im Zeitraum von 2012 bis 2020 einem jährlichen Zuwachs von 3,2% und einer Erhöhung der absoluten jährlichen Produktionsmenge von 3100 t auf 5500 t entsprochen. Für 2020 hat die Statistik Austria eine Speisefischproduktion von 4500 t ausgewiesen. Ungeachtet dessen, ob die Zielgröße von 5,5 Mt erreicht wird, bleibt der Selbstversorgungsgrad sehr gering (BMLFUW 2012). In österreichischen Aquakulturanlagen werden vorwiegend Karpfen (Naturteiche) und Forellen (Durchflussanlagen) produziert. Bei der angestrebten Steigerung von insgesamt 2400 t sollte die Forellenerzeugung mit einem Zuwachs von 1800 t (d.h. von 2200 t auf 4000 t) durch die Errichtung von Neuanlagen und Produktionssteigerung bestehender Anlagen den größten Teil des Produktionszuwachses bewerkstelligen (BMLFUW 2012). Im Jahr 2020 wurden in Österreich 1,4 Mt Regenbogen- und Lachsforelle sowie 0,5 Mt Bach- und Seeforelle produziert. Dement-

sprechend besteht in diesem Produktionssegment Handlungsbedarf, um die nationale Produktion entsprechend zu steigern (Statistik Austria 2021).

Um eine nachhaltige Entwicklung der Aquakultur zu unterstützen, sind strategische Instrumente erforderlich. Der Ruf nach solchen Ansätzen wurde bereits Ende der 1980er-Jahre laut, als deutlich wurde, dass die Fischbestände allzu oft rücksichtslos ausgebeutet wurden. Nachhaltige Strategien wurden daher neben der Fischerei (z. B. Code of Conduct for Responsible Fisheries; CCRF; FAO 1995) auch bald auf die Aquakultur ausgedehnt und unterstreichen die Bedeutung nationaler Strategiepläne (European Commission 2019). Insbesondere wenn die Aquakultur auf öffentlichen Wasserressourcen aufbaut, ist eine integrative Bewirtschaftung der Wasserressourcen nicht nur zur Steigerung der Produktivität, sondern auch zur Minimierung der Belastung von Ökosystemen unerlässlich (FAO 2015; Yin et al. 2018). Darüber hinaus kann eine fundierte Entscheidung nur unter Berücksichtigung konkurrierender Wassernutzungen (z. B. Wasserkraft, Trinkwasser, Erholung) und konkurrierender politischer Ziele (z. B. EU-Wasserrahmenrichtlinie, Richtlinie für erneuerbare Energien, Hochwasser-richtlinie, Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie; European Commission 1992, 2000, 2007, 2009) erfolgen. Dies steht auch im Einklang mit dem Konzept des Wasser-Energie-Lebensmittel-Nexus (FAO 2014).

Infolge der internationalen und nationalen Aquakulturstrategien besteht eine große Nachfrage nach räumlichen

Entscheidungshilfen für eine nachhaltige räumliche Zonierung und Standortwahl der Aquakulturanlagen (Aguilar-Manjarrez et al. 2010; Ross et al. 2013). Dabei können methodisch drei Ebenen definiert werden, beginnend mit der Zonierung der Aquakultur, der Standortauswahl und den Aquakultur-Managementgebieten (Aguilar-Manjarrez et al. 2017). In Bezug auf die Süßwasserzucht zielt die Zonierung auf die Identifizierung von hydrologischen Systemen (z. B. Teileinzugsgebiete) ab, die für die Entwicklung von Aquakulturen geeignet sind. Im Vergleich dazu erfordert die Standortauswahl hochauflösende Eingangsdaten, die detailliert genug sind, um potenzielle Aquakulturstandorte auszuwählen. Bewirtschaftungsgebiete berücksichtigen schließlich auch potenzielle gegenseitige Beeinträchtigungen möglicher Standorte und zielen auf die Verringerung von Risiken (z. B. Nährstoffeintrag oder Ausbreitung von Krankheiten) und die Nutzung potenzieller Vorteile (z. B. Produktionscluster) ab.

Gefördert durch den Europäischen Meeres- und Fischereifonds (EMFF) und das Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) wurden am Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (BOKU) drei Studien durchgeführt. Das Projekt „aquaTool“ (2018–2020) diente der Entwicklung einer Methode zur Erfassung des zukünftigen Produktionspotenzials der Aquakultur in Österreich. Diese Methode wurde schließlich im Rahmen des Projekts „aquaNovum“ (2018–2019) österreichweit angewandt, um das Produktionspotenzial von Fo-

rellenzuchtbetrieben anhand einer österreichweiten Zonierung abzuschätzen. Im dritten Projekt „aquaZoom“ (2020–2022) wurden schließlich die Eingangsdaten weiter optimiert, um eine detailliertere Zonierung und Standortsuche zu erlauben (siehe Abb. 1). Im Rahmen dieses Beitrags werden daher ausschließlich die Ergebnisse von aquaZoom präsentiert, da diese den aktuellen Letztstand repräsentieren.

Auch wenn die für die räumlichen Analysen benötigten Daten heute oft in digitaler Form vorliegen und öffentlich zugänglich sind, ist ihre Zusammenstellung, Interpretation und Kombination für die Entscheidungsfindung eine Herausforderung. Dabei kann eine Kombination von multikriteriellen Analysen (MCA) mit geografischen Informationssystemen (GIS) effizient eingesetzt werden, um eine Vielzahl an räumlichen Kriterien miteinander zu verschneiden und mehrere, potenziell widersprüchliche Ziele gegeneinander abzuwägen. Zudem können leicht verständliche Ergebnisse (in Form von Karten) für zunehmend komplexe räumliche Managementfragen erzeugt werden (Longley et al. 2015; Falconer et al. 2019). Laut Falconer et al. (2019) wird das volle Potenzial solcher Modelle derzeit jedoch unzureichend ausgeschöpft. So wurde bisher auch kein entsprechendes Instrument für die Forellenzucht in alpinen oder vergleichbaren Umgebungen entwickelt. Ziel der oben genannten Projekte war daher (1) relevante Parameter für eine nachhaltige Entwicklung der Aquakultur zu ermitteln, (2) die Verfügbarkeit und Qualität entsprechender räumlicher Daten zu bewerten, (3) einen konzeptionellen Rahmen und ein räumlich explizites Instrument zur Identifizierung geeigneter Aquakulturzonen bzw. Standorte zu entwickeln, und (4) eine Produktionsabschätzung vorzunehmen. Aufgrund der alpinen Lage Österreichs lag der Fokus dabei auf der Forellenproduktion in oberflächenwassergespeisten Durchflusssystemen.

2 Methodik

2.1 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum der Studie ist grundsätzlich durch das österreichische Staatsgebiet abgegrenzt. Dabei wurde die Analyse zur naturräumlichen Eignung zuerst flächig für ganz Österreich auf Basis eines 20 × 20-m-Rasters

durchgeführt. Die zweite Betrachtungsebene des Untersuchungsraums sind die Fließgewässer des Berichtsgewässernetzes, da die Verfügbarkeit von und somit die Nähe zu Wasser eine wesentliche Voraussetzung für Forellenzuchtbetriebe darstellt. Im Allgemeinen werden Quellen, Grundwasser und Oberflächengewässer (insbesondere Fließgewässer) für die Forellenproduktion genutzt, doch sind nur bei Letzteren genaue Abschätzungen zur verfügbaren Wassermenge sowie die umfassende Erhebung bestehender Nutzungen und Belastungen möglich. Da potenzielle Produktionsstandorte zudem zur Wiedereinleitung des entstehenden Ablaufwassers in unmittelbarer Nähe von Vorflutern liegen sollten, wurden die Oberflächenwasserkörper (OWK; 32.516 km) des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans (NGP; BMLFUW 2017) als relevante Bewertungseinheit herangezogen. Diese wurden beidseitig um 250 m in die Breite gepuffert, womit ein 500 m breiter Betrachtungskorridor entlang der OWK-Achsen entstand. Der so abgegrenzte Untersuchungsraum deckt mit 17.057 km² rund 20 % Österreichs ab.

2.2 Eignungskriterien und ihre Klassifizierung

Die Identifizierung geeigneter Standorte erfordert ein Verständnis der wichtigsten Faktoren, die für den erfolgreichen Betrieb einer Fischzucht verantwortlich sind. Die vorliegende Studie fokussiert dabei auf naturräumliche und gewässerbezogene Faktoren. Die Auswahl der Kriterien hängt dabei in hohem Maße vom jeweiligen Produktionssystem und der jeweiligen Fischart ab. Im Rahmen dieser Studie wurden zur Identifizierung geeigneter Flächen für die Forellenproduktion in Durchflusssystemen insgesamt 17 Kriterien der Kategorien (1) naturräumliche Eignung, (2) Landnutzung und -bedeckung sowie (3) Einschränkungen und Risiko angewandt. Weitere 17 wasserbezogene Kriterien der Kategorien (1) Gewässertypologie, (2) Qualitätszielverordnung, (3) Nutzungskonflikt und (4) Wasserqualität dienten zur Einschätzung der Gewässereignung in Bezug auf Wasserausleitung, Restwasserstrecke und Wassereinleitung (siehe Abb. 2).

Die meisten Daten zu diesen Kriterien stammen aus frei zugänglichen staatlichen Datenbanken („open government data“, OGD) oder wurden von

Ministerien und Bundesländern für die Studie zur Verfügung gestellt. Die Eignungsbeurteilung der einzelnen Kriterien erfolgte in Klassen, da diese im Vergleich zu einer unscharfen, kontinuierlichen Klassifizierung ohne harte Grenzen einfacher zu interpretieren und daher benutzerfreundlicher sind (Eastman 2012; Falconer et al. 2016). Zudem liegen viele Daten nur in klassifizierter Form vor (z.B. Fischregion, Ökologischer Zustand gemäß WRRL etc.).

In aquaZoom erfolgte im Vergleich zu aquaNovum eine weitere Differenzierung der Kategorien „ungeeignet“ und „Ausschluss“, wobei letztere eindeutig gegen die Realisierung neuer Anlagen spricht. Demnach wurden die Attribute der 34 ausgewählten Kriterien in folgende sechs Eignungsklassen unterteilt: 0 (Ausschluss); 0,12 (ungeeignet); 0,25 (schlecht geeignet); 0,5 (bedingt geeignet); 0,75 (geeignet); 1 (sehr gut geeignet).

In Seliger et al. (2021) wurde bereits detailliert auf die Kriterienauswahl und -klassifizierung von aquaNovum eingegangen, um die Anforderungen und Einschränkungen im Zusammenhang mit Forellenproduktionsanlagen abzubilden. Daher werden an dieser Stelle nur jene Kriterien im Detail beschrieben, die im Vergleich zu aquaNovum ergänzt bzw. geändert wurden (siehe Abb. 2).

2.2.1 Standortkriterien

Neben der Distanz zum Gewässer, die den Untersuchungsraum vorgibt, wurden noch die Höhenlage, das Gefälle und die Geologie zur Beschreibung der „naturräumlichen Eignung“ herangezogen (Seliger et al. 2021). Dabei wurden die Klassengrenzen im Vergleich zu aquaNovum leicht adaptiert bzw. zusätzliche Abstufungen hinzugefügt. Zudem wurden Flächen ausgeschlossen, die bereits als permanente Wasserfläche ausgewiesen sind (Seliger et al. 2021).

In der Kategorie „Landnutzung“ wurden neben eben dieser auch das Nitratrückhaltevermögen des Bodens und der Waldentwicklungsplan berücksichtigt (siehe Seliger et al. 2021). Zudem wurden Daten zu gewidmetem Bauland, die über die Bundesländer als OGD-Daten bereitgestellt werden, ergänzt (Open Governmental Data der Bundesländer 2021). Bei den Analysen wurde Bauland laut Flächen-

Kategorie	Kriterien	Relevanz				Kriterieneinstufung						Datenquellen	
		Standort	Wasser- ausleitung	Wasser- einleitung	Restwasser- strecke	Ausschluss	ungeeignet	schlecht geeignet	bedingt geeignet	geeignet	sehr gut geeignet		
						0	0,12	0,25	0,5	0,75	1		
S T A N D O R T	Untersuchungsraum	Distanz zum Gewässer	x			>250m					≤250m	1	
	Natur- räumliche Eignung	Höhenlage [m]	x				>1200m	>1000-1200m			>800-1000m	<800m	2
		Gefälle [%]	x				>30		>20-30		>10-20	≤10	2
		Geologie (Pufferkapazität)	x								Kalk/Silikat ^{a)}	Kalk	1
	Land- nutzung & -bedeckung	Wasseroberfläche	x				ja					nein	1,3
		Landnutzung	x				Verbaute Gebiete, Gewässer					Agrar u. Grünflächen, Wälder ^{b)}	4
		Bauland	x				ja					nein	5
		Nitratrückhaltevermögen des Bodens	x							sehr gering/ gering oder Siedlung/Wasser		mittel/ hoch, unbekannt, Wald	1
		Waldentwicklungsplan	x				Schutz- (Kat. 2+3), Wohlfahrts- (Kat. 3) ^{d)}		Wohlfahrts- (Kat. 2), Erholungsfunktion (Kat. 3) ^{d)}			Schutz- (Kat.1), Wohlfahrts- (Kat.1), Erholungsfunktion (Kat.1+2) ^{e)} , keine Waldflächen	6
	Ein- schränkungen/ Risiko	Nationalpark	x				ja					nein	7
		Naturschutzgebiet	x					ja				nein	1,7
		N2000 Gebiet	x						WRG-rel	sonstige		nein	7
		Sonst. Schutzgebiete ^{f)}	x								ja	nein	7
		Wasserschutz-/ -schonengebiet	x				ja					nein	1,7
		Gefahrenzonenpläne	x				Rote Zone (Bauverbot)		Gelbe Zone (Auflagen)	Blaue Vorbehaltsbereiche, braune oder violette Hinweisbereiche		Keine Gefahrenzone	7
		Überflutungsflächen	x						UEFF HQ30	UEFF HQ100	UEFF HQ300	keine UEFF	1
		GW-relevante Altlasten	x				ja					nein	1
	Distanz zum Verkehrsnetz	x					>1000m		500-1000m		<500m	8	
G E W Ä S S E R	Gewässer- typologie	See	x				ja				nein	1	
		Seeausrinn		x				ja				nein	1
		Seezufluss			x			ja				nein	1
	Qualitätsziel- verordnung	Fischregion	x						Sonstige		Äschenregion	Forellenregion, fischleer	1
		Gletscherfluss	x				ja					nein	1
		Ökologischer Zustand	x		x		sehr gut					gut oder schlechter	1
		Restwasserstrecke	x		x		ja					nein	1
		Stau			x				ja			nein	1
		Schwall		x						ja		nein	1
	Nutzungs- konflikt	Badegewässer ^{g)}			x				ja			nein	1
		Regionalprogramme & WW Rahmenpläne	x			x	im Konflikt			Einschränkungen		nicht im Konflikt, nicht vorhanden	9-12
		Zustand Biologie Stoffe	x	x			keine Angabe	mäßig oder schlechter				sehr gut/ gut	1
Wasser- qualität	Zustand nat. Schadstoffe	x				keine Angabe	nicht gut				sehr gut oder gut	1	
	Zustand Schadstoffe EU	x				keine Angabe	nicht gut				gut	1	
	Einleitung lt. Emissionsreg. (EMR) ^{h)}	x	x	x			ja				nein	1	
	Wassertemperatur T95% [°C]		x			>16			<10	10-12 u. 14-16	12-14	13	
Wassermenge	MJNQt	x				<50 l/s					≥ 50 l/s	1,14	

Abb. 2 Standort- und Gewässer Kriterien und deren Einstufung. ^{a)}Kalk/Silikat, Silikat der Zentralalpen, Böhmisches Massiv; ^{b)}Da die Wälder anhand des Waldentwicklungsplans separat bewertet werden, wurden die Wälder hier mit einer Eignung von 1 eingestuft. ^{c)}Die Kategorie bildet die Wertigkeit der Waldfunktion ab: geringes (Kategorie 1), erhöhtes (Kategorie 2) und besonderes (Kategorie 3) öffentliches Interesse. ^{d)}Landschaftsschutzgebiet, Naturdenkmal, Biosphärenpark, Naturparke, Sonstige Schutzgebiete; ^{e)}im 3–5 km Puffer, je nach Gewässergröße; ^{f)}im 3–5 km Puffer flussab, je nach Gewässergröße; Datenquellen: 1 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2015); 2 Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2018); 3 Copernicus (2015); 4 Compernicus (2018); 5 Open Governmental Data der Bundesländer (2021); 6 BFW (2020) (2018); 7 Open Governmental Data der Bundesländer (2018); 8 ÖV DAT (2016); 9 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2014) (BGBl. II 274/2014); 10 Oberösterreichische Landesregierung (2019) (LGBl. Nr. 66/2019); 11 Steiermärkische Landesregierung (2015) (StGBl. Nr. 40/2015); 12 Niederösterreichische Landesregierung (2016) (StGBl. Nr. 42/2016); 13 Borgwardt et al. (2020); 14 Klingler et al. (2022)

widmungsplan als Ausschlusskriterium herangezogen, da angenommen wird, dass es aufgrund der hohen Kosten ökonomisch nicht sinnvoll ist, eine Fischzuchtanlage auf einem Bauland Grundstück zu errichten.

Die Kategorie „Einschränkungen und Risiko“ enthält neben Schutzgebieten auch Gefahrenzonen, Altlasten und die Verkehrsanbindung. Schutzgebiete können entweder zum Ausschluss von Flächen für neue Aquakulturbetriebe führen oder (durch Auflagen, Verbote und Gebote) eine Reduktion des Produktionspotenzials bewirken.

Neben Nationalparks, Naturschutz-, Natura-2000- sowie Wasserschutz- und Wasserschongebieten wurden nachträglich auch „sonstige Schutzgebiete“ (d. s. Landschaftsschutzgebiete, Naturdenkmäler, Biosphärenparks und Naturparks) als relevant eingestuft und im Modell integriert. Neben dem Schutz der Umwelt ist auch der Schutz der Anlage zu berücksichtigen. Daher wurden Hochwasserabflussgebiete und Gefahrenzonen herangezogen, um potenzielle wirtschaftliche Risiken durch Naturgefahren auszuschließen. An Ufern, im Hochwasserabflussgebiet (bei 30-jährli-

chen Hochwässern überflutete Gebiet – HQ₃₀) und bei Einbauten in stehende, öffentliche Gewässer bedarf die Errichtung und Abänderung einer Aquakulturanlage einer wasserrechtlichen Bewilligung nach § 38 Wasserrechtsgesetz (WRG 1959). Die österreichweiten Geodaten zu den Überflutungsflächen (für HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀) liegen im Rahmen der NGP-Daten flächendeckend vor und wurden bei den Analysen berücksichtigt. Die Gefahrenzonenpläne werden derzeit von fünf Bundesländern als OGD-Daten online bereitgestellt, wobei die Rote Zone als ungeeignet

eingestuft wurde, während gelbe Zonen als schlecht geeignet und Vorbehalts- bzw. Hinweisbereiche als bedingt geeignet eingestuft wurden. Für vier Bundesländer (Kärnten, Niederösterreich, Steiermark und Vorarlberg) fehlen diese Daten aktuell noch.

In Bezug auf die Verkehrsanbindung wurde das Kriterium „Distanz zum Verkehrsnetz“ ergänzt. Die Nichterreichbarkeit einer Anlage würde gegen deren Erstellung sprechen, weshalb dieses wirtschaftliche Kriterium auch für den Ausschluss von Flächen als relevant erachtet wurde. Als Datengrundlage wurde die Graphenintegrations-Plattform (GIP) herangezogen, die einen österreichweiten Liniendatensatz mit allen Verkehrsarten enthält. Ausgeschlossen werden demnach alle Standorte, die mehr als 1 km von der nächsten Straße entfernt sind, wobei auch Forststraßen und Wirtschaftswege, die in der GIP erfasst sind, berücksichtigt wurden (ÖVDAT 2016).

2.2.2 Gewässerkriterien

In der Kategorie „Gewässertypologie“ wurden die gleichen Kriterien wie auch bei aquaNovum angewandt (Seliger et al. 2021). Bei der Fischregion wurde nun auch die Äschenregion als geeignet eingestuft, da die Annahme, dass diese Gewässer zu warm für Forellenerzeugungsbetriebe sind, anhand des Wassertemperaturkriteriums unabhängig überprüft wird.

Bei den Kriterien der Kategorie „Qualitätszielverordnung“ wurde der Vollständigkeit halber auch die Beeinträchtigung „Schwall“ ergänzt und aufgrund möglicher Pegel- und Temperaturschwankungen als bedingt geeignet eingestuft. In Bezug auf Nutzungskonflikte wurden erneut Badegewässer und Regionalprogramme sowie wasserwirtschaftliche Rahmenpläne berücksichtigt (Seliger et al. 2021).

Bei der Kategorie „Wasserqualität“ wurden weitgehend die gleichen Kriterien verwendet, jedoch wurden hier Gewässerstrecken ohne Angaben zur Wasserqualität (z. B. mit EZG < 10 km²) ausgeschlossen, während Strecken ohne guten oder sehr guten Zustand als ungeeignet (0,12) eingestuft wurden. Auch Einleitungen laut Emissionsregister führen nicht mehr zwangsläufig zum Ausschluss, sondern lediglich zu einer Herabstufung (0,12). Das Kriterium „Wassertemperatur“ wurde leicht abgeändert. Bei Fischen werden als wech-

selwarme Tiere fast alle Stoffwechselprozesse über die „Wassertemperatur“ mitgesteuert. Obwohl höhere Temperaturen sich positiv auf das Wachstum auswirken können, kann der erhöhte Sauerstoffbedarf in Kombination mit einer reduzierten Sauerstoffverfügbarkeit auch Stress verursachen. Salmoniden bevorzugen als kalt-stenotherme Arten kaltes Wasser in einem engen Temperaturbereich. Die bevorzugten Temperaturbereiche der Bachforellenstadien stellen sich wie folgt dar: Die Präferenztemperatur für Setzlinge liegt zwischen 6 und 14 °C, jene für Brütlinge bei 8 bis 13 °C und Adulte bevorzugen zwischen 14 und 17 °C. Für die Aquakultur wird ein Bereich von 12 bis 16 °C als optimal für Bachforellen angegeben (Küttel et al. 2002). Jedenfalls relevant für die Aquakultur sind zwei Aspekte: Ein Unter- oder Überschreiten dieses Bereichs in der Wachstumsphase der Fische (Mai bis September) kann als negative Produktionsbedingung gesehen werden. Ähnlich kann ein zu starkes Unterschreiten der Optimumtemperatur zu einem stark verlangsamten Wachstum und somit zu einem Produktionshindernis werden. Dieser Aspekt wurde nun zusätzlich berücksichtigt. Im Zuge des Projekts ClimateTrout, das durch das Austrian Climate Research Programme finanziert wurde (siehe <https://climatetrout.boku.ac.at>), wurden für die Gewässer des Berichtsgewässernetzes mit einer Flussordnungszahl > 3 und einer Seehöhe < 1500 m modellbasierte Wassertemperaturprognosen erstellt, die als Grundlage für die Wassertemperaturabschätzung herangezogen wurden (siehe Borgwardt et al. 2020). Schließlich wurde auch in Bezug auf die Wassermenge ein Ausschlusskriterium berücksichtigt (Seliger et al. 2021). Weist das Gewässer ein MJNQt von weniger als 50 l/s auf, so wurde das Gewässer als ungeeignet eingestuft.

2.3 Räumliche Verschneidung der Datensätze

Die Analyse wird in Abb. 3 schematisch dargestellt und umfasst folgende Schritte:

- Abgrenzung des Untersuchungsraums (OWKs wurden lateral links und rechtsufrig jeweils mit 250 m gepuffert). Der Untersuchungsraum wurde anschließend in 20 × 20 m Rasterzellen umgewandelt.

- Auswahl und Bewertung der Standort- und Gewässer-Kriterien (zwischen 0 (Ausschluss) und 1 (sehr gut geeignet)).
- Die flächenbezogenen Daten wurden für eine saubere Verschneidung in einheitliche Rasterzellen mit einer Auflösung von 20 × 20 m umgewandelt. Verschneidung (Multiplikation der Attributwerte je Zelle) zur Identifikation geeigneter Zellen bzw. zum Ausschluss völlig ungeeigneter Zellen; Abgrenzung von Eignungsflächen unter Berücksichtigung der Mindestgröße von 0,4 ha und Berechnung der mittleren Flächeneignung. Visualisierung auf EZG-Ebene durch Abbildung der mittleren Eignungsklasse im EZG.
- Gewässerbezogene Daten wurden entsprechend der OWK-Liniensegmente abgebildet, wobei jede Attributänderung die Abgrenzung eines eigenen Segments hervorrief. Verschneidung der gewässerbezogenen Daten durch Multiplikation jener Kriterien, die für Ausleitung, Restwasser und Einleitung als relevant erachtet wurden (d.h. drei Eignungsklassen je Segment, siehe Abb. 2). Umlegung der Eignungsklassen auf den Untersuchungsraum (20 × 20-m-Raster im 250-m-Puffer). Visualisierung der mittleren Eignung in Bezug auf Aus- und Einleitung sowie Restwasser auf EZG-Ebene.
- Verschneidung der Standort- und Gewässereignung (Multiplikation der vier Eignungsklassen für Standort, Ausleitung, Restwasser und Einleitung).
- Produktionsberechnung auf TEZG-Ebene, sofern das Ergebnis der Verschneidung aller Kriterien zumindest eine Eignung von 0,12 aufweist. Dabei wird angenommen, dass je OWK bzw. dem dazugehörigen TEZG (als naturräumlich und belastungstechnisch homogene Einheit) eine Anlage errichtet werden kann.
- Ermittlung bzw. Auswertung der hydrologischen Daten (je TEZG) zur Abschätzung der verfügbaren Wassermenge (siehe Abschn. 2.4.2)
- Produktionskalkulation basierend auf der zur Verfügung stehenden Wassermenge in den TEZGs an geeigneten Eignungsflächen unter Berücksichtigung der ökologischen Qualitätsziele.
- Umlegung der kalkulierten Produktion auf das jeweilige TEZG zur Visualisierung der Ergebnisse, wobei je-

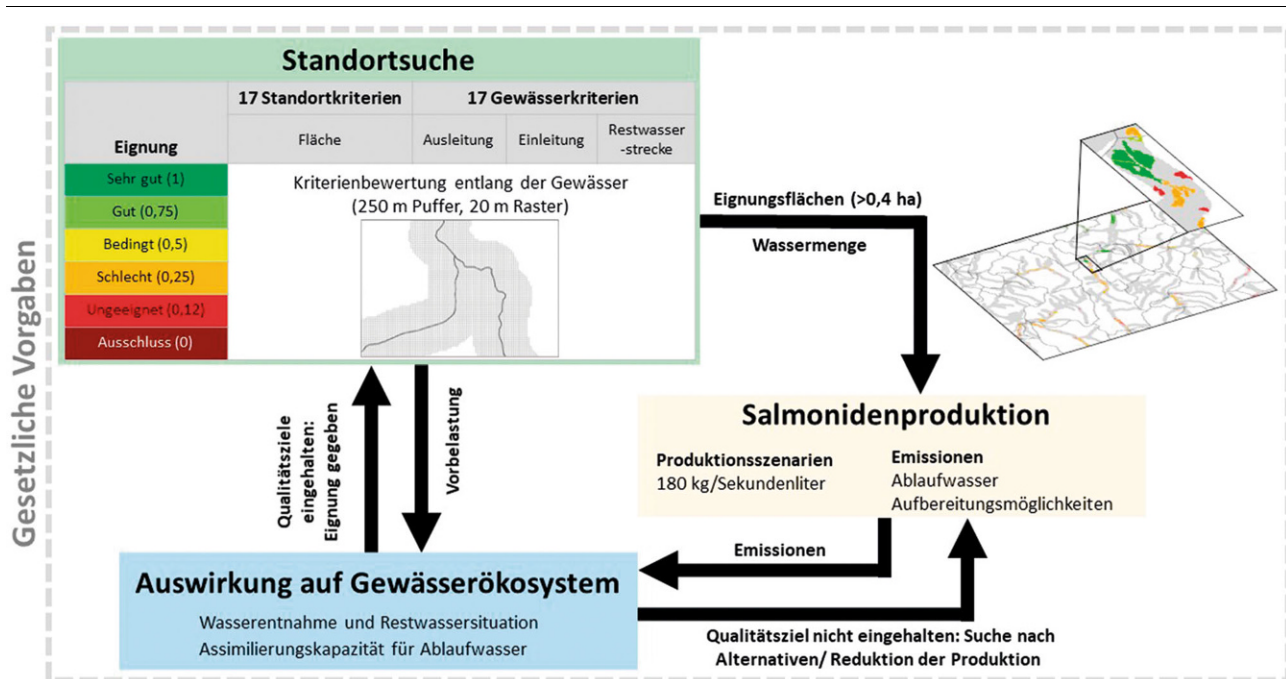


Abb. 3 Schematische Darstellung des Analyseablaufs

weils der Standort mit der höchsten Produktion berücksichtigt wurde.

2.4 Produktionsanalyse

2.4.1 Gesetzlicher Rahmen

Die Abschätzung der Produktion basiert auf den gesetzlichen Vorgaben, die von Fischzuchtbetrieben in Österreich erfüllt werden müssen. Die Wasserentnahme muss mit den Restwasserbestimmungen der Qualitätszielverordnung (QZVO) Ökologie (BMLFUW 2010) übereinstimmen. Darüber hinaus sind die Aquakulturseuchenverordnung (BMG 2009) und die Tierhaltungsverordnung (BMG 2004) zu berücksichtigen. Letztere enthält Vorgaben für die maximalen Besatzdichten, wobei zwischen Erdteichen (max. 10 kg/m³) und Becken/Fließkanälen (max. 60 kg/m³) unterschieden wird. Weiters gibt es Vorgaben für den Sauerstoffgehalt am Auslauf des Betriebs (≥ 5 mg/l). Die Emissionsgrenzwerte (in mg/l bzw. g/(t Jahresproduktionskapazität*d)) sind je nach Produktionsintensität der Fischfarm in zwei Verordnungen geregelt. Bei einer sogenannten extensiven Jahresproduktionsleistung von ≤ 207 kg/l s⁻¹ gelten die Vorgaben der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (AAEV; BMLF 1996), bei einer höheren Jahresproduktionsleistung gelten jene der Aquakultur-Emissions-

verordnung (AEV; BMLFUW 2004). Die Grenzwerte für Immissionen (in mg/l) sind in der QZVO Ökologie (BMLFUW 2010) geregelt. Zum Schutz des Flussökosystems dürfen diese Grenzwerte flussabwärts des Auslasses, wo das Betriebswasser in die Flussstrecke einleitet wird, nicht überschritten werden. Je nach Flusstypologie (Bioregion, saprobielle & trophische Referenzbedingungen) liegen die Grenzwerte für Immissionen in österreichischen Fließgewässern zwischen 0,5 und 6 mg/l für den biologischen Sauerstoffbedarf (BSB₅) und 0,007 bis 0,2 mg/l für Orthophosphat (PO₄-P), wobei quellnahe Flussabschnitte niedrigere Grenzwerte für Nährstoffe aufweisen.

2.4.2 Verfügbare Wassermenge

Die QZVO Ökologie (BMLFUW 2010) regelt im Detail die Restwassermengenanforderungen unter Berücksichtigung des hydromorphologischen Zustands des jeweiligen Gewässerabschnitts. Um einen guten hydromorphologischen Zustand zu erreichen oder zu erhalten, muss die Restwassermenge höher sein als der niedrigste gemessene Tagesabfluss (NQt) und über 1/3 des mittleren jährlichen Niedrigwassers (MJNQt) liegen. In Flüssen mit einem mittleren Abfluss (MQ) von weniger als 1 m³/s muss mindestens die Hälfte des MJNQt im Fluss ver-

bleiben. Darüber hinaus müssen Mindesttiefen und Fließgeschwindigkeiten entsprechend der lokalen Fischregion gewährleistet sein.

Da davon ausgegangen wird, dass die jeweiligen Anforderungen erfüllt werden können, wenn die Hälfte des MJNQt abgegeben wird, wurde dieser Schwellenwert für die Analysen herangezogen. In hydromorphologisch sehr guten Strecken wurden hingegen nur 10 % des NQt als verfügbare Wassermenge angenommen (BMLFUW 2010). Mangels modellierter NQt-Werte wurde die Relation zwischen NQt und MJNQt mittels linearer Regression (R²-Wert von 0,896) auf Basis von Pegeldata ermittelt, womit das NQt auf 66 % des MJNQt geschätzt werden konnte.

Für die Produktionsmenge eines Aquakulturbetriebs sind die jahreszeitlich geringste Wasserverfügbarkeit und die Temperaturverhältnisse ausschlaggebend. Zur Berücksichtigung der verfügbaren Wassermengen wurde ein österreichweiter Datensatz verwendet. Grundlage für diesen Datensatz waren die 8123 TEZG der OWK. Da die OWK auch die relevante räumliche Einheit zur Bewertung der gewässerbezogenen Nutzungen darstellen, ergibt sich daraus eine gute Übereinstimmung dieser beiden Datensätze. Herangezogen wurden sechs hydrologische Kennwerte, die basierend auf der LamaH-Methodik (Klingler et al. 2021) berechnet wurden.

Für die Berechnung der hydrologischen Kennwerte fanden ca. 60 Variablen der Kategorien Topografie, Klima, Hydrologie, Landnutzung, Vegetation, Boden, Geologie und künstliche Beeinflussung Berücksichtigung, die die Gegebenheiten der Teileinzugsgebiete charakterisieren. Eine detaillierte Beschreibung zur Berechnung der hydrologischen Kennzahlen findet sich im Beitrag von (Klingler et al. 2022), der ebenfalls in dieser Sonderausgabe zu finden ist. Aus den verwendeten Abflusszeitreihen wurden schlussendlich sechs Abflusskennwerte (darunter MQ und MJNQ_t) für die hydrologischen Jahre 2003 bis 2017 (01.10.2002 bis 30.09.2017) als Zielgrößen ermittelt. Somit repräsentieren die verwendeten hydrologischen Kennwerte die aktuellen Wasserverfügbarkeiten in den österreichischen Fließgewässern.

2.4.3 Produktionsberechnung

Der Fischbestand im Betrieb (in kg/l^s⁻¹) und die Produktionskapazität (Zuwachs der Fischbiomasse) pro Jahr werden von der im Wasser bei bestimmten Temperaturen verfügbaren Sauerstoffmenge begrenzt (Huet 1970; von Lukowicz 1994; Crisp 2000; Woynarovich et al. 2011). Ohne Zugabe von Sauerstoff kann davon ausgegangen werden, dass bei einem Durchfluss von 1l/s angemessen temperierten Wassers etwa 100kg Fische gehalten und 150 bis 200kg Fischbiomasse pro Jahr produziert werden können (BMLFUW 2009). Im Rahmen der Studie wurde eine Produktion von 180kg/l^s⁻¹ angenommen, die der mittleren Produktion in Österreich im Zeitraum 1997 bis 2002 entspricht. Die Anlagen können somit als extensiv eingestuft werden und fallen mit einer Produktion <270 kg/l^s⁻¹ in den Geltungsbereich der AAEV. Die Menge des benötigten Futters hängt vom Fischbestand und dem Feed Conversion Ratio (FCR, 0,9 bis 1,2 bei Mischfutter; Bergheim and Brinker 2003) ab. Den Berechnungen wurde ein FCR von 1,1 zugrunde gelegt. Die Abwasserbelastung einer Anlage ergibt sich aus den Stoffwechselprodukten der Fische (Fäkalien) und etwa 4% des nicht gefressenen Futters (Rösch et al. 2003). Daraus ergeben sich die Nährstoffkonzentrationen (in mg/l) im Ablaufwasser, die je nach Konzentrationsrate optional durch Kläranlagen reduziert werden können. Das Ergebnis der Produktionsanalyse für einen potenziellen Standort

ist somit die jährliche Produktionskapazität (in kg/Jahr) und die daraus resultierende Emission (in mg/l), auf deren Basis die Bewertung der Auswirkungen auf die aquatische Umwelt erfolgt.

2.4.4 Emissionen

Für die Berechnung der Nährstoffbelastung wurde die aktuelle Futtermittelzusammensetzung des Futtermittelherstellers Skretting verwendet, die in österreichischen Fischzuchtbetrieben häufig eingesetzt wird. Die Abschätzung der Fäkalienabfälle kann über die Futterzusammensetzung und der damit verbundenen Verdaulichkeit erfolgen (Reid et al. 2009). Bei Annahme einer konstanten Fütterung über 365 Tage kann der Tagesmittelwert der Nährstoffbelastung pro Tonne produzierter Forellen ermittelt werden. Bei einer angenommenen Produktion von 180kg/l^s⁻¹ kann somit die Nährstoffbelastung in mg/l abgeschätzt werden. Wenn diese die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte überschreiten, muss eine Abwasserbehandlung installiert werden.

2.4.5 Auswirkungen auf das Gewässerökosystem

Grundsätzlich werden nur Wasserkörper mit einem guten oder sehr guten Zustand in Bezug auf nationale und/oder EU-Schadstoffe als geeignet für Aquakulturgebiete angesehen. Zugehörige Wasserqualitätsstandards (QZVO) sind für BSB₅ und Orthophosphat (PO₄-P) definiert und können anhand von Flusstypologie-Daten auf das Flussnetz übertragen werden. Der Schwellenwert für die Tagesfracht (kg/d) wird beim kritischen Niederwasserabfluss berechnet, da hier die geringste Verdünnung erfolgt.

Die Abwässer von Forellenzuchtbetrieben können sich aufgrund einer Nährstoffanreicherung negativ auf den aufnehmenden Wasserkörper auswirken (Sindilariu et al. 2009; Tello et al. 2010). Sie sind so gering zu halten, dass keine Zustandsverschlechterung laut QZVO eintritt. Dabei gilt es auch die bereits existierende Vorbelastung zu berücksichtigen. Diese wurde mittels GZÜV-Messdaten (2010 bis 2018) gemittelt und kann daher eine Einzelfallbeurteilung nicht ersetzen. So wurde eine durchschnittliche Vorbelastung von 50% (guter Zustand) bzw. 60% (sehr guter Zustand) des typspezifi-

schen BSB₅-Grenzwerts angenommen. Bei PO₄-P wurden 40% und 60% für den guten und sehr guten Zustand herangezogen. Unter Berücksichtigung der mittleren Vorbelastung wird überprüft, ob die Tagesfracht aus der Fischzucht die von der QZVO geforderten Grenzwerte über- oder unterschreitet. Ist dies der Fall, muss auf der Betriebsseite nach Alternativen gesucht werden, z. B. durch Reduktion der Produktion auf ein noch zulässiges Maß, wie im Rahmen der vorliegenden Analyse.

2.4.6 Umlegung auf die Teileinzugsgebiete

Die oben beschriebene Berechnung des Produktionspotenzials erfolgte für alle potenziellen Standorte. Für die österreichweite Produktionsabschätzung wurde jedoch nur jener Standort mit der höchsten Produktion je TEZG berücksichtigt.

3 Ergebnisse

Das Ergebnis zur Bewertung der naturräumlichen Eignung zeigt einen Eignungsgradienten von Osten nach Westen (Abb. 4a). Die alpinen Bereiche sind am schlechtesten geeignet, was in unmittelbarem Zusammenhang mit den dort steilen Hanglagen zu sehen ist. Naturräumlich ist der Bereich im Nordosten, Osten bzw. Südosten gut geeignet. In den größeren alpinen Tälern (z. B. Inn, Drau, Mur/Mürz) befinden sich ebenso gut geeignete Flächen. Die beste, als sehr gut eingestufte, Eignung ist südlich der Donau in Oberösterreich bis hinein ins zentrale Niederösterreich zu finden. Einerseits ist dieser voralpine Bereich topografisch weniger stark ausgeprägt, andererseits herrscht hier eine gute Pufferkapazität aufgrund der geologischen Verhältnisse (überwiegend kalkhaltiges Material im Untergrund). Flächen, die aufgrund eines der Ausschlusskriterien (z. B. Höhenlage, Nationalpark oder Entfernung zur Verkehrsinfrastruktur) aus der Bewertung fallen, werden nicht weiter berücksichtigt. Insgesamt entfällt mehr als ein Drittel der ausgewiesenen Eignung auf die Klasse gut bis sehr gut. Ein knappes Drittel verfügt über eine mittlere bis geringe Eignung und ein knappes Drittel verfügt über eine schlechte Eignung. Im nächsten Schritt erfolgte die Verschneidung der naturräumlichen Eignung mit den TEZG der OWK. Dabei wurden nur Flächen innerhalb des 250-

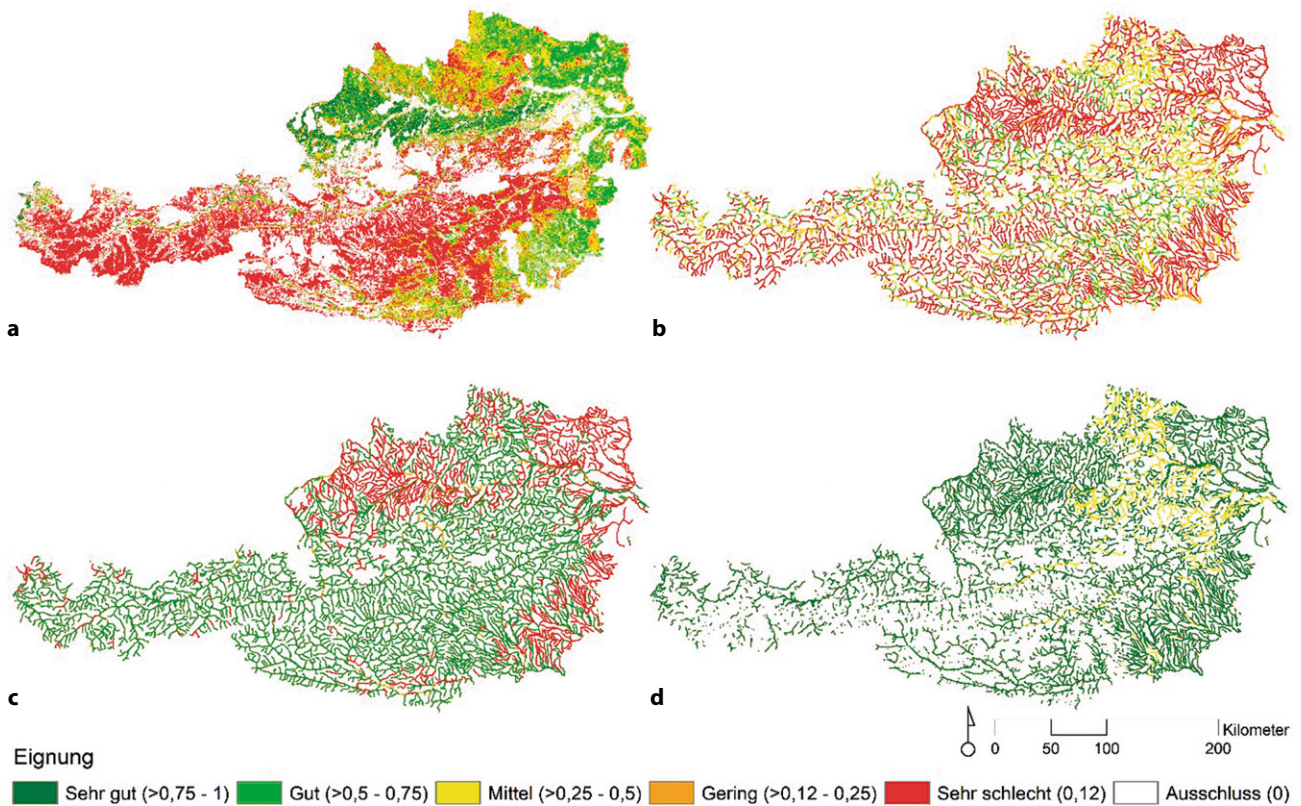


Abb. 4 Ergebnis der flächigen und gewässerbezogenen Eignungsbewertung hinsichtlich **a** Naturraum, **b** Wasserentnahme, **c** Wassereinleitung, **d** Restwasser

m-Puffers entlang der Gewässerlinien und mit einer Mindestgröße von 0,4 ha berücksichtigt. Dies führt zu einer Eignungsausweisung für insgesamt 6058 TEZG.

Die Verschneidung der Eignung hinsichtlich Wasserausleitung (Abb. 4b) zeigte im Grunde einen entgegengesetzten Trend zu den flächigen Eignungsausweisungen des Naturraums. Jene Gebiete im Nordosten, Osten sowie Südosten als auch Bereiche südlich der Donau in Ober- und Niederösterreich, die eine gute naturräumliche Eignung zeigten, weisen dabei durchwegs geringe bis schlechte Eignungen hinsichtlich Ausleitung auf. Dies ist insofern wenig überraschend, da in diesen Gebieten viele andere Gewässernutzungen bestehen und speziell im gesamten östlichen Bereich die Gewässer verhältnismäßig warm sind. Insgesamt werden fast 50% der berücksichtigten Gewässerabschnitte mit einer geringen bis schlechten Eignung für die Ausleitung von Wasser zur Fischproduktion erachtet.

Die Eignung hinsichtlich Wassereinleitung (Abb. 4c) erlaubt eine eindeutige Unterscheidung der guten und schlech-

ten Eignungsklasse, wobei ein Großteil des Untersuchungsraums (über 50%) eine sehr gute Eignung aufweist. Auch hier sind von Norden über Osten in den Südosten größere Bereiche als schlecht geeignet ausgewiesen. Die Eignung hinsichtlich Restwasser (Abb. 4d) zeigt insgesamt gute Eignungen in Österreich. Lediglich im Nordosten, insbesondere in Niederösterreich, gibt es einige Fließgewässerabschnitte, die mit einer mittleren Eignung eingestuft werden.

Der direkte Vergleich über die vier Eignungskategorien hinweg (Abb. 5) zeigt, dass die Eignungen hinsichtlich Naturraum und Ausleitung über ähnliche prozentuale Verteilungen über die fünf Klassen hinweg verfügen. In Anbetracht der räumlichen Muster, die in den Karten aufgezeigt wurden, wird aber klar, dass sich diese komplett unterschiedlich auf Österreich verteilen. Die Eignungskategorien Einleitung und Restwasser verfügen über insgesamt sehr hohe Anteile mit einer guten Eignung, wobei die Eignung hinsichtlich Einleitung zumindest auch einen nennenswerten Anteil an schlecht geeigneten TEZG aufweist. Hinsichtlich Restwasser überwiegt die sehr gute Eignung

und es gibt nur einzelne TEZG mit schlechter Eignung, die beim direkten Vergleich der Anteile keine Rolle spielen.

Zur Festlegung der potenziellen Standorte, die für eine Erhebung des Produktionspotenzials herangezogen werden, erfolgte die Verschneidung der Naturraum- und Gewässereignung. Aufgrund der beschriebenen gegenläufigen, räumlichen Verteilungen der Eignungen, insbesondere der Naturraum- und Ausleitungseignung, verschiebt sich der daraus entstehende Eignungswert für viele TEZG in einen Bereich unter 0,5 (siehe Abb. 6). Zunächst erfolgte eine Kombination der Naturraum- und Ausleitungseignung. Die Anzahl der geeigneten TEZG verringert sich knapp um die Hälfte von 6058 auf 3163. Im nächsten Schritt wurde auch die Eignung hinsichtlich Einleitung und Restwasser innerhalb des TEZG berücksichtigt. Damit erfolgt eine weitere Reduktion der TEZG, die für eine Produktionsberechnung infrage kommen von 3163 auf 2472 (siehe Abb. 6).

Für die Produktionsberechnung wurde in aquaNovum ein robustes

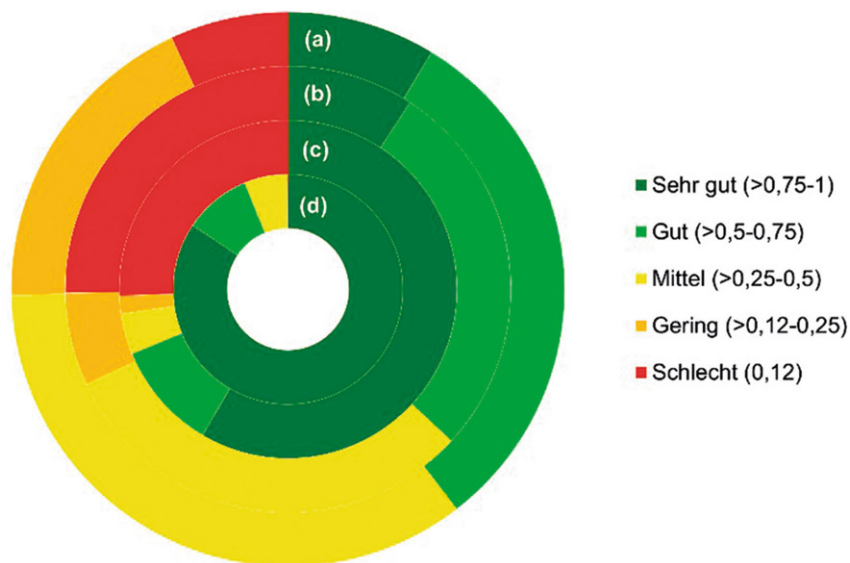


Abb. 5 Vergleich der prozentuellen Anteile der Eignungen innerhalb der TEZG für die vier Eignungskategorien **a** Naturraum, **b** Ausleitung, **c** Einleitung, **d** Restwasser ($N = 6058$)

und valides Konzept entwickelt, das für aquaZoom übernommen wurde. Insgesamt konnte für insgesamt 1295 der ursprünglich 2472 TEZG ein Produktionspotenzial berechnet werden, bei dem auch die verfügbaren Prozesswassermengen und erforderlichen Emissionsgrenzwerte eingehalten werden konnten. Die Abstufung nach potenziellen Produktionsmengen lässt nur grob ein räumliches Muster erahnen (Abb. 7). Richtung Norden und Osten verringern sich die potenziellen Produktionsmengen und in den zentraleren Bereichen sind diese höher. Das summierte österreichweite Produktionspotenzial liegt bei etwa 63 Mt (Konfidenzintervall zwischen 50,8 Mt und 78,7 Mt). Die mittlere Produktion eines Standorts liegt bei knapp 49 t (Konfidenzintervall zwischen 39,2 t und 60,7 t) (Tab. 1).

4 Diskussion & Schlussfolgerungen

Der hier präsentierte Ansatz und die daraus resultierenden Ergebnisse unterstreichen deutlich das große Potenzial, das für eine nationale Fischproduktion in Durchflussanlagen entlang der österreichischen Fließgewässer vorhanden ist. Die naturräumlichen Voraussetzungen konnten auf Basis flächendeckender Datensätze sehr gut österreichweit konsistent beschrieben und abgegrenzt werden und mit umfassenden Informa-

tionen zu bestehenden Gewässernutzungen in Abgleich gebracht werden.

Ein Anspruch an die Analysen und Ergebnisse von aquaZoom und dessen Vorgängerprojekten war immer eine möglichst genaue Ausweisung für die Errichtung neuer Produktionsstandorte zu erreichen. Der präsentierte Ansatz stellt einen Mittelweg zwischen Standortausweisung und Zonierung dar. Auf den ersten Blick entspricht die Verwendung von TEZG eher einer Zonierung. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich aber, dass durch die verwendeten TEZG der Oberflächenwasserkörper (Durchschnittsgröße 10 km^2) verhältnismäßig kleine Landschaftselemente abgebildet werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass sich die effektive Fläche innerhalb eines TEZG durch den 250-m-Puffer weiter verringert. Die Ausweisung des Produktionspotenzials wurde durch zwei Anpassungen der Eingangsdaten in aquaZoom dennoch maßgeblich verändert und dadurch verbessert: Die umfassendere Betrachtung der Standorteignung führte zu kleineren Teilgebieten, für die eine Eignung ausgewiesen wurde, und somit zu einer größeren Anzahl an potenziellen Standorten. Zweitens stellt die hydrologische Modellierung der Abflusskennwerte einen völlig neuen Eingangsdatensatz für die Produktionsberechnung dar. Als Grundgesamtheit für die Abschätzung des Produktionspotenzials sind jene TEZG eingegangen, für die eine ausreichende Eignung entsprechend der

vier Bewertungsüberkategorien (Naturraum, Ausleitung, Einleitung, Restwasser) ausgewiesen wurden. Im Vergleich zu aquaNovum verbleiben in aquaZoom mehr, aber kleinere TEZGs für die Produktionsberechnung.

Für eine detailliertere räumliche Festlegung von Produktionsstandorten innerhalb der TEZG wären jedenfalls weitere Faktoren einzubeziehen. Insbesondere das Vorhandensein bereits bestehender Fischzuchtanlagen aber auch die Berücksichtigung ökonomischer Rahmenbedingungen spielen dabei eine wichtige Rolle. Für eine umfassende österreichweite Betrachtung sowohl von Standorteignungen als auch Produktionspotenzialen wäre die Berücksichtigung bestehender Anlagen eine wichtige Verbesserung (Falconer et al. 2016). Dies würde zwar das ausgewiesene Potenzial im ersten Schritt reduzieren (da potenzielle Standorte bei Bestehen einer Anlage nicht nochmals realisierbar sind), im Weiteren jedoch eine genauere Betrachtung des gesamten Sektors ermöglichen, da Informationen zu den bestehenden Anlagen als validierende Information in die Kalibrierung der Eignungs- aber auch Produktionsberechnung einfließen könnten. Hinsichtlich ökonomischer Rahmenbedingungen ist anzumerken, dass mit einem entsprechenden ökonomischen Willen unterschiedliche naturräumliche aber auch gewässerbezogene Faktoren abgeschwächt bzw. angepasst werden können; so sind z. B. erforderliche Terrassierungen in steilem Gelände oder notwendige Wasseraufbereitungen bei minderer Wasserqualität mit entsprechendem ökonomischen Aufwand an weniger gut geeigneten Standorten auch realisierbar.

Ausgehend von einer umfassenden Literaturstudie kann festgehalten werden, dass die Berücksichtigung detaillierter Wassermengen-Daten (d. h. Niederwasser) eine Neuheit im Vergleich zu ähnlichen Studien darstellt. Wenn überhaupt, wurde die Wassermenge in anderen Studien nur indirekt (z. B. Flusssichte, Jahresniederschlag) abgebildet (z. B. Assefa und Abebe 2018). Für eine umfassende Betrachtung der Produktionsmöglichkeiten von Salmoniden in Österreich wäre jedoch die Berücksichtigung von Informationen zu Wasserspenden aus Quellen und Grundwasserentnahmen unerlässlich. Dafür wären gegebenenfalls regionale Fallstudien sinnvoll, in denen auf Basis von Feldarbeiten und hochauflösen-

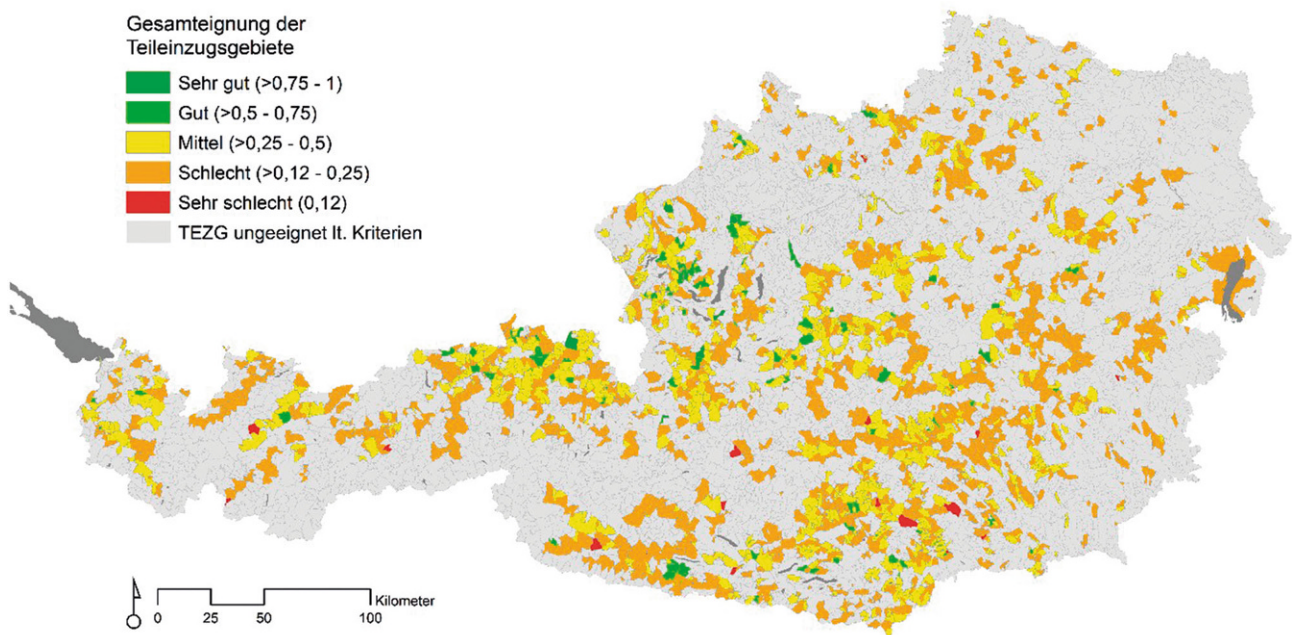


Abb. 6 Teileinzugsgebiete der Oberflächenwasserkörper mit einem geeigneten Standort hinsichtlich Naturraum und gewässerbezogener Kriterien

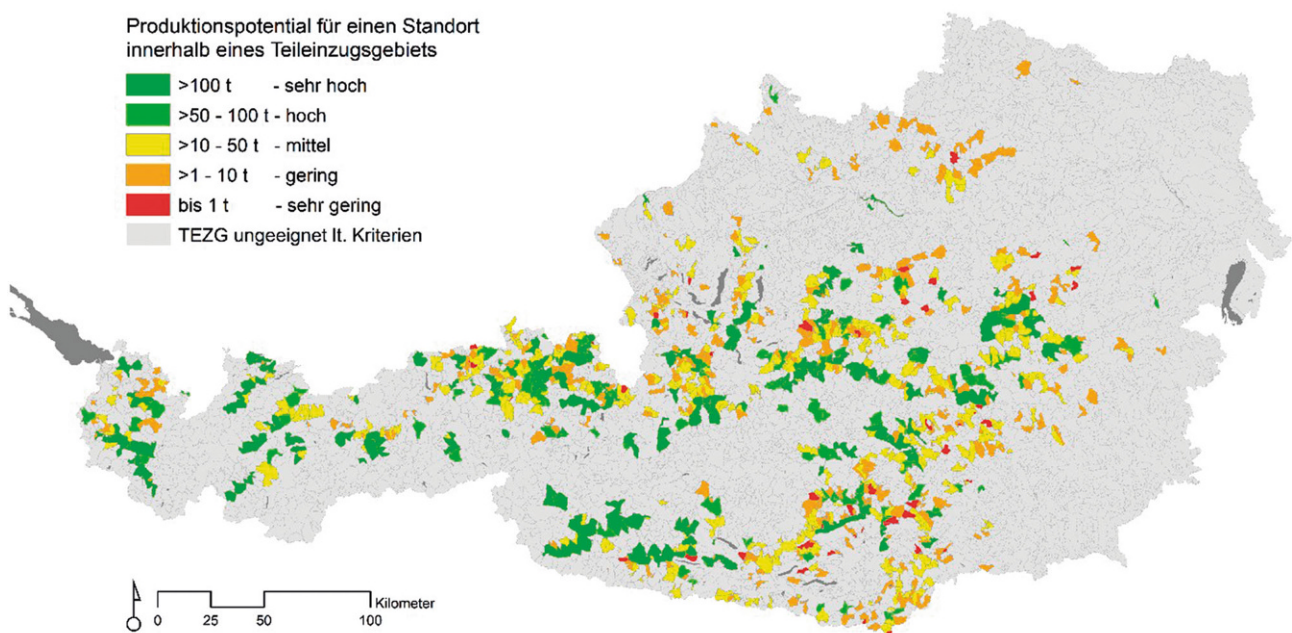


Abb. 7 Abschätzung des Produktionspotenzials für je einen Standort innerhalb eines geeigneten TEZG (N= 1295)

den Luftbildern vertiefende Analysen durchgeführt werden könnten. Die moderne Fernerkundungstechnik erlaubt sehr detaillierte Aufnahmen von z. B. Vegetation und Feuchtigkeit im Boden. Bei einer räumlich sehr hohen Auflösung (1 m oder darunter) werden aber die Datensätze entsprechend groß. Dies würde für einen österreichweiten Layer

zu mehreren hundert Gigabyte an Daten für eine flächendeckende Information führen. Auch wenn die Abschätzung verfügbarer Wassermengen von Grund- und Quellwasser für die Erhebung des Produktionspotenzials interessant wäre, konnten diese möglichen Quellen für Prozesswasser nicht berücksichtigt werden, da eine entsprechende Infor-

mation für Österreich nicht flächendeckend verfügbar ist. Zu berücksichtigen ist auch, dass geeignete Quellen nicht immer auf Eigengrund vorhanden oder großteils schon genutzt sind. Das schließt im Falle einer geplanten Grund- oder Quellwassernutzung die Möglichkeit einer Einzelfallbetrachtung natürlich nicht aus. Nichtsdestotrotz ist

Tab. 1 Übersicht der berechneten Produktionswerte auf Basis einer extensiven Produktionsweise (180 t/l s⁻¹)

	180 t pro Sekundenliter		
	Mittel	Untere Grenze – 10%-Konfidenzintervall	Obere Grenze – 90%-Konfidenzintervall
Anzahl der TEZG	1295		
Mittlere Produktion (t)	48,7	39,2	60,7
Gesamtproduktion (t)	63.088	50.785	78.659

es eher unwahrscheinlich, dass durch diese Art der Prozesswasserspende große Produktionszuwächse möglich sein werden.

Eine nachhaltige Produktion im Sinne einer umweltverträglichen und regionalen Lebensmittelversorgung wird durch unterschiedliche internationale Strategien und Richtlinien (v. a. Europäischer Green Deal und Farm-to-Fork-Strategie) gefordert (European Commission 2019a). Um diese in Österreich entsprechend umzusetzen, ist ein Abgleich mit bestehenden Nutzungen unumgänglich. Auch in Anbetracht des voranschreitenden Klimawandels und den damit verbundenen Veränderungen im Wasserkreislauf sollten integrierte, innovative und multisektorale Planungsansätze insbesondere im Bereich der wasserwirtschaftlichen Planung vorangetrieben werden. Obwohl diese Abstimmung unterschiedlicher Nutzungsansprüche oftmals und von vielen Seiten gefordert wird, sind Anwendungen, die ein solches Vorgehen tatsächlich unterstützen, selten zu finden (Seliger et al. 2016, 2021). Der hier vorgestellte Ansatz liefert eine solche Anwendung, da Informationen zu bestehenden Gewässernutzungen, aber auch zu Naturschutz- und Biodiversitätsaspekten genauso wie zur Anbindung an Verkehrsinfrastruktur oder dem Bestehen anderer Landnutzungen eingebunden wurden.

Aber auch umgekehrt spielen vorhandene Nutzungen und Belastungen durch andere Einflussfaktoren, wie z. B. Wasserkraft oder industrielle Wassernutzung, für die Aquakulturproduktion eine erhebliche Rolle und müssen für die gewässerbezogene Eignungsausweisung berücksichtigt werden. Für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; European Commission 2000) werden in Österreich alle Gewässer mit einem Einzugsgebiet > 10 km² im nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP; BMLFUW 2017) erfasst. Damit in Verbindung stehen entsprechende Geodatensätze, die eine umfassende Betrachtung bestehender Nutzungen

und Belastungen ermöglichen. Diese Daten aus dem NGP stellen eine wertvolle und solide Grundlage zur gewässerbezogenen Eignungsbewertung dar. Da die kleineren Gewässer (< 10 km² EZG-Größe) allerdings nicht im NGP erfasst sind, fehlen für diese auch die entsprechenden Eingangsdaten, um gewässerbezogene Analysen hinsichtlich bestehender Nutzungen und Belastungen durchführen zu können. In aquaZoom wurde in Rücksprache mit den Stakeholdern darauf verzichtet, diese Gewässer in der Bewertung zu berücksichtigen, doch könnten sie für kleinere, extensiv betriebene Anlagen durchaus relevant sein. Eine Integration dieser kleineren Gewässer wäre aktuell mit einem sehr großen (bis nahezu unbewältigbarem) Zusatzaufwand verbunden, da keine flächendeckenden Informationen vorliegen. Weiters sind die hydrologischen Verhältnisse in diesen kleinen Gewässern besonders unetwas und schwer abschätzbar.

Die Verfügbarkeit von Geodaten, die den hier vorgestellten Ansatz erst ermöglichen, hat sich in den letzten fünf bis zehn Jahren signifikant verbessert. Hier spielen zunächst unterschiedliche technologische Entwicklungen im Bereich der Fernerkundung eine Rolle, die die Erstellung hoch aufgelöster und großräumiger Datensätze grundsätzlich ermöglichen, aber auch die rechtlichen Rahmenbedingungen. So sind durch Vorgaben der EU und ihre nationale Umsetzung nicht nur wichtige Datensätze im Bereich der Umweltbeobachtung (z. B. Erfassung der Gewässernutzungen durch WRRL) erstellt, sondern auch öffentlich verfügbar gemacht (z. B. durch die PSI-Richtlinie zur Weiterverwendung von Informationen des öffentlichen Sektors; European Commission 2019b).

Schlussendlich ist anzumerken, dass die Ausweisung der Standorteignung und insbesondere die Berechnung des Produktionspotenzials in Abhängigkeit von einer Vielzahl von Annahmen stehen, die das Ergebnis nennenswert beeinflussen können (z. B. verfügba-

re Wassermenge). Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebiets (d. h. Österreich) und Ausprägung der Eingangsdaten sind diese teilweise entsprechend schwer generalisierbar (und auf jeglichen Einzelfall anwendbar). Insofern können bereits verhältnismäßig kleine Veränderungen der Eingangswerte große Veränderungen im Ergebnis bedingen. Daher ist davon abzuraten, die präsentierten Ergebnisse dazu zu verwenden, irgendeine Art von Anspruch abzuleiten. Ziel der hier vorgestellten Informationen ist es, eine abgestimmte, sektorübergreifende Betrachtung der vorherrschenden Bedingungen zu ermöglichen und so einen Dialog zu einer nachhaltigen Steigerung der Aquakulturproduktion in Österreich anzustoßen.

Danksagung Wir möchten uns bei den unzähligen Teilnehmer:innen der unterschiedlichen Workshops, die im Zuge der Projekte aquaNovum, aquaTool und aquaZoom stattgefunden haben, und ihre Beiträge zur Genese der Projektergebnisse herzlich bedanken.

Förderung Die Studien aquaNovum und aquaZoom wurden durch den Europäischen Meeres- und Fischereifonds 2014–2021 (EMFF2014-2021) unterstützt. Das Projekt aquaTool wurde durch das Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) unterstützt.

Funding Open access funding provided by University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU).

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betref-

fende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Aguilar-Manjarrez J, Kapetsky JM, Soto D (2010):** The potential of spatial planning tools to support the ecosystem approach to aquaculture. Rome
- Aguilar-Manjarrez J, Soto D, Brummett R (2017):** Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture
- Assefa WW, Abebe WB (2018):** GIS modeling of potentially suitable sites for aquaculture development in the Lake Tana basin, Northwest Ethiopia. *Agric Food Secur* 7:1–15. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0222-0>
- Bergheim A, Brinker A (2003):** Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. *Aquac Eng* 27:61–77. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00041-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00041-9)
- BMG (2004):** Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über die Mindestanforderungen für die Haltung von Pferden und Pferdeartigen, Schweinen, Rindern, Schafen, Ziegen, Schalenwild, Lamas, Kaninchen, Hausgeflügel, Straußen und Nutzfischen (1. Tierhaltungsverordnung) StF: BGBl. II Nr. 485/2004.
- BMG (2009):** Verordnung des Bundesministers für Gesundheit über Gesundheits- und Hygienevorschriften für Tiere der Aquakultur und Aquakulturerzeugnisse sowie zur Verhütung und Bekämpfung bestimmter Wassertierkrankheiten (Aquakultur-Seuchenverordnung) StF: BGBl. II Nr. 315/2009.
- BMLF (1996):** Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV) StF: BGBl. Nr. 186/1996.
- BMLFUW (2004):** Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Begrenzung von wässrigen Emissionen aus Aquakulturanlagen (AEV Aquakultur) StF: BGBl. II Nr. 397/2004.
- BMLFUW (2009):** Verordnung über die Begrenzung von wässrigen Emissionen aus Aquakulturanlagen (AEV Aquakultur) BGBl. II Nr. 397/2004.
- BMLFUW (2010):** Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG) StF: BGBl. II Nr. 99/2010.
- BMLFUW (2012):** Aquakultur 2020 – Österreichische Strategie zur Förderung der nationalen Fischproduktion. Vienna, Austria
- BMLFUW (2017):** Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015. Vienna
- Borgwardt F, Unfer G, Auer S, et al (2020):** Direct and Indirect Climate Change Impacts on Brown Trout in Central Europe: How Thermal Regimes Reinforce Physiological Stress and Support the Emergence of Diseases. *Front Environ Sci* 8:59:59. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00059>
- BFW (2020):** Digitale Waldkarte 2020 des Bundesforschungszentrum für Wald.
- Open Governmental Data der Bundesländer (2018):** Open Data Österreich – Schutzgebiete. <https://www.data.gv.at/>. Zugegriffen: 19.09.2018.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2014):** Verordnung des Bundesministers für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Anerkennung der im Rahmenplan Tiroler Oberland dargestellten wasserwirtschaftlichen Ordnung als öffentliches Interesse. BGBl. II 274/2014.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2015):** Geodaten das 2. Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans.
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2018):** Digitales Geländemodell Auflösung 1m.
- Copernicus (2018):** Corine Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>. Zugegriffen: 31.03.2022.
- Copernicus (2015):** Permanent Water Bodies. <https://land.copernicus.eu/sandbox/test/permanent-water-bodies>. Zugegriffen: 31.03.2022.
- Crisp DT (2000):** Trout and Salmon: Ecology, Conservation and Rehabilitation. Fishing News Books, Blackwell Scienc
- Eastman JR (2012):** IDRISI Selva Tutorial. Idrisi Prod Clark Univ 354
- EU MOFA (2020):** The EU Fish Market. 2020 Edition. Publication Office of the European Union, Brussels
- European Commission (1992):** Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *OJ L* 206, 22.7.1992, pp. 7–50. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511610851.039>
- European Commission (2000):** Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *OJ L* 327, 22.12.2000, pp. 1–73.
- European Commission (2007):** Directive 2007/60/EC of the European Council and European Parliament of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. *OJ L* 288, 6.11.2007, pp. 27–34.
- European Commission (2009):** Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds. *OJ L* 20, 26.1.2010, pp. 7–25.
- European Commission (2019a):** Directive (EU) 2019/1024 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on open data and the re-use of public sector information. *OJ L* 172, pp. 56–83.
- European Commission (2019b):** From farm to fork—The European Green Deal
- Falconer L, Telfer TC, Ross LG (2016):** Investigation of a novel approach for aquaculture site selection. *J Environ Manage* 181:791–804. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.018>
- Falconer L, Middelboe AL, Kaas H, et al (2019):** Use of geographic information systems for aquaculture and recommendations for development of spatial tools. *Rev Aquac* 1–14. <https://doi.org/10.1111/raq.12345>
- FAO (1995):** Code of Conduct for Responsible Fisheries. Rome
- FAO (2014):** The Water-Energy-Food Nexus. A new approach in support of food security and sustainable agriculture
- FAO (2015):** Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture. Policy brief. Food Agric Organization United Nations 4
- FAO (2016):** The state of the world fisheries and aquaculture 2016—contributing to food security and nutrition for all. Rome
- FAO (2018):** The State of World Fisheries and Aquaculture 2018—Meeting the sustainable development goals. Rome
- FAO (2020):** The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action. Rome
- ÖV DAT (2016):** Österreichisches Institut für Verkehrsdateninfrastruktur. Graphenintegrations-Plattform. <https://www.gip.gv.at/>. Zugegriffen: 08.03.2018.
- Huet M (1970):** Textbook of fish culture, breeding and cultivation of fish. Fishing News (Books) Ltd. 436, Surrey, UK
- Kapetsky JM, Aguilar-Manjarrez J (2013):** From estimating global potential for aquaculture to selecting farm sites: perspectives on spatial approaches and trends. 129–146 in Ross LG, Telfer TC, Falconer L, Soto D, Aguilar-Manjarrez J (editors): Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture: FAO/Institute of Aquaculture, University of Stirling, Expert Workshop, 6–8 December 2010. Stirling, UK. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 21. Rome, FAO. 282 pp.
- Klingler C, Schulz K, Herrnegger M (2021):** LamaH | Large-Sample Data for Hydrology: Big data für die Hydrologie und Umweltwissenschaften. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 73:244–269. <https://doi.org/10.1007/s00506-021-00769-x>
- Klingler C, Feigl M, Borgwardt F, Seliger C, Schmutz S, Herrnegger M (2022):** Vorhersage von hydrologischen Abflusskennwerten in unbeobachteten Einzugsgebieten mit Machine Learning. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 74, in diesem Heft
- Küttel S, Peter A, Wüest A (2002):** Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fließgewässer. EAWG, Kastanienbaum. Kastanienbaum
- Longley PA, Goodchild ME, Maguire DJ, Rhind DW (2015):** Geographic Information Science and Systems, 4th Edition | Wiley
- Lukowicz M von (1994):** Site selection and regulation issues for trout and carp farming in Germany. *J Appl Ichthyol* 10:312–318. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1994.tb00171.x>
- Merino G, Barange M, Blanchard JL, et al (2012):** Can marine fisheries and aquaculture meet fish demand from a growing human population in a changing climate? *Glob Environ Chang* 22:795–806. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.03.003>
- Niederösterreichische Landesregierung (2016):** NÖ wasserwirtschaftliches Regionalprogramm 2016 zum Erhalt von wertvollen Gewässerstrecken. LGBl.Nr. 42/2016.
- Oberösterreichische Landesregierung (2019):** Verordnung des Landeshauptmanns von Oberösterreich, mit der ein Regionalprogramm für besonders schützenswerte Gewässerstrecken erlassen wird. LGBl. Nr. 66/2019.

- Open Governmental Data der Bundesländer (2021):** Open Data Österreich - Bauland. Zugriffsdatum: 04.03.2021. <https://www.data.gv.at/>
- Reid GK, Liutkus M, Robinson SMC, et al (2009):** A review of the biophysical properties of salmonid faeces: Implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquac Res* 40:257–273. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02065.x>
- Rösch R, Hammers R, Brinker A (2003):** Ablaufwasser aus Forellenzuchten. *Berichte Zur Fischereiforschung Baden-Württemberg* 8:36.
- Ross LG, Telfer TC, Falconer L, et al (2013):** Carrying capacities and site selection within the ecosystem approach to aquaculture. *FAO Fish Aquac Proc* 21:19–46
- Seliger C, Scheikl S, Schmutz S, et al (2016):** HY:CON: A strategic tool for balancing hydropower development and conservation needs. *River Res Appl* 32:1438–1449. <https://doi.org/10.1002/rra>
- Seliger C, Haslauer M, Unfer G, Schmutz S (2021):** Aquazone: An integrative tool for sustainable fish farm zoning. *Sustain* 13:1–25. <https://doi.org/10.3390/su13031470>
- Sindilariu P-D, Reiter R, Wedekind H (2009):** Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. *Aquat Living Resour* 22:93–103. <https://doi.org/10.1051/alr/2009009>
- Statistik Austria (2019):** Versorgungsbilanz für Fische 2013 bis 2018 in Tonnen.
- Statistik Austria (2021):** Versorgungsbilanz für Fische 2015 bis 2020 in Tonnen. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/versorgungsbilanzen/022380.html. Zugegriffen: 29.05.2022.
- Steiermärkische Landesregierung (2015):** Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 28. Mai 2015, mit der ein Regionalprogramm zum Schutz von Gewässerstrecken erlassen wird (Gewässerschutzverordnung), LGBl. Nr. 40/2015.
- Tello A, Corner RA, Telfer TC (2010):** How do land-based salmonid farms affect stream ecology? *Environ Pollut* 158:1147–1158. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.11.029>
- Wasserrechtsgesetz (1959):** BGBl. Nr. 215/1959
- Woynarovich A, Hoitsy G, Moth-Poulsen T (2011):** Small-scale rainbow trout farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 561, Rome.
- Yin S, Takeshige A, Miyake Y, Kimura S (2018):** Selection of suitable coastal aquaculture sites using Multi-Criteria Decision Analysis in Menai Strait, UK. *Ocean Coast Manag* 165:268–279. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.08.022>

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.