

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung

**WavE**

Wassertechnologien: Wiederverwendung

## LEITFADEN

# Implementierung von Innovationsprojekten in der industriellen Wasseraufbereitung

Ergebnisse des WavE Querschnittsthema:  
„Implementierung von Projekten“  
der BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“

**Oktober 2024**

## **AUTOREN:**

**Core Team:** Angela Ante, sms group; Christoph Scope, TU Dresden; Nadine Siebdrath, DAS Environmental Expert GmbH; Christina Jungfer, DECHEMA e.V.; Sabrina Giebner, DECHEMA e.V.

**Weitere Autoren/Mitwirkende:** Yuliya Schießer, COVESTRO; Stefan Schmidt, sms group; Michael Sievers, CUTEC

## **HERAUSGEBER:**

DECHEMA e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main

Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II):

Beim BMBF:  
Dr. Rainer Müssner  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 726 „Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung“  
53170 Bonn

Beim Projektträger:  
Dr.-Ing. Markus Delay  
Projektträger Karlsruhe (PTKA)  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

## **EDITOR:**

Vernetzungs- und Transfervorhaben der BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II)

Verantwortlich im Sinne des Presserechts:  
Dr. Thomas Track  
DECHEMA e.V.  
Tel.: 069 7564-427  
Fax: 069 7564-117

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Förderkennzeichen: 02WV1560

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren der einzelnen Beiträge. Die Broschüre ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt.

Erschienen im Oktober 2024

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	4
1.1	Zielsetzung des Leitfadens .....	4
1.2	Implementierung: Schlüssel im Entwicklungsprozess .....	5
1.3	Wasserknappheit als Innovationstreiber .....	6
2.	Hürden und Begünstigungen .....	8
2.1	Kunde.....	10
2.1.1	Engagement .....	11
2.1.2	Beeinflussung durch Lieferanten.....	12
2.1.3	Adäquates Controlling.....	12
2.2	Technologieanbieter / Anlagenbauer .....	13
2.2.1	Firmenkultur.....	13
2.2.2	Ressourcenbereitstellung .....	14
2.2.3	Projektleitung .....	14
2.2.4	Garantien .....	15
2.3	Kosten.....	15
2.3.1	Vergleich von Technologien.....	15
2.3.2	Amortisationszeit.....	15
2.3.3	Leidensdruck .....	16
2.3.4	Zahlungsbereitschaft.....	16
2.3.5	Förderung von Transferprojekten.....	16
2.3.6	Prognosefähigkeit .....	17
2.3.7	Sekundäre Rohstoffe und Konzentrate .....	17
2.4	Gesetzeslage .....	18
2.4.1	Komplexe Genehmigungsverfahren und Stakeholderbeteiligung .....	18
2.4.2	Politischer/Gesellschaftlicher Druck.....	18
2.4.3	Hürden durch bestehende Regulierungen .....	18
2.4.4	Wissenskommunikation .....	19
2.5	Lokale Gegebenheiten .....	20
2.5.1	Personalbedarf und Weiterbildung.....	20
2.5.2	Standorthistorie und Flächenbedarf.....	20
2.5.3	Ressourcenverfügbarkeit.....	20
2.5.4	Lokale Emissionen und eingeschränkte Transportwege.....	21
2.5.5	Kulturelle und religiöse Einflussfaktoren .....	21
3.	Leuchtturmprojekte .....	22
3.1	NaCl-Recycling in Re-Salt/RIKovery .....	22
3.2	InnovatION.....	26
3.3	NERA .....	29
3.4	WEISS_4PN.....	32
4.	Fazit.....	36
	Literaturverzeichnis .....	37

## 1. Einleitung

Deutschland ist im Allgemeinen und bei Wasseraufbereitenden Technologien im Besonderen ein Exportland und als Hochlohnland darauf angewiesen, dass die Angebote einen höheren Kundennutzen bieten als preisgünstigere Produkte aus Ländern mit geringeren Personalkosten. Innovationen sind der Schlüssel für unsere Exportstärke - daher ist es unerlässlich, den Innovationsprozess bis zur Marktreife eines Produktes zu verfolgen und mögliche Stolpersteine aus dem Weg zu räumen. Die Erfahrung zeigt, dass die größte Hürde die Implementierung neu entwickelter Verfahren im Markt darstellt (Kydyrbekova *et al.*, 2022; Bleischwitz *et al.*, 2010; O’Callaghan, 2020).

### 1.1 Zielsetzung des Leitfadens

Wasser ist ein sehr vielseitig verwendbares Hilfsmittel und ist in fast jedem Industriezweig unverzichtbar. Andererseits müssen die Unternehmen aber den Fokus für Innovationen auf ihre Kernkompetenz, ihrem Produkt und dessen Produktionsweise legen, um ihre Konkurrenzfähigkeit zu erhalten. Die meisten Anwender:innen sind daher eher zurückhaltend bei der Erstanzwendung eines neuen Verfahrens auf dem Gebiet der Wasseraufbereitung.

Um dennoch Kund:innen von innovativen Wasserbehandlungsmethoden zu überzeugen, wie es gerade bei Fördermaßnahmen das Hauptziel darstellt, ist es daher von herausragender Bedeutung, den Gesamtprozess engagiert bis zur Anwendung voranzutreiben (s. Kapitel 1.2). Alle Beteiligten an Forschungs- und Entwicklungsinitiativen sind in besonderem Maße an der Anwendung neuer Verfahren im Markt interessiert. Die Fördermittelgebenden erwarten, dass die Mittel zielführend und nachhaltig eingesetzt werden. Die Technologieentwickler:innen tragen einen großen Teil der Kosten selbst und qualifiziertes Personal ist über Jahre hinweg an Entwicklungsprojekte gebunden. Industriestandorte, an welchen die Verfahren ausprobiert werden, steuern ebenfalls einen bedeutenden Beitrag zum Gelingen des Entwicklungsprozesses bei. Für Hochschulen und Forschungseinrichtungen ist die Implementierung von neu entwickelten Technologien ebenfalls von enormer Bedeutung. Es beweist letztendlich, dass die Forschungsarbeiten, die in hohem Maße personelle Ressourcen binden und dessen Management einen hohen Aufwand bedeuten, praxistauglich sind und zum Erfolg führen. Hierfür ist insbesondere die kooperative Zusammenarbeit zwischen Forschung und Anwendung zielführend. Die Forschungseinrichtungen können freier von wirtschaftlichen Zwängen agieren und somit theoretisch erfolgsversprechende Technologien erproben, während Technologieanbieter aus der Industrie und die Anwender den harten Praxisbezug herstellen. Daher ist mittlerweile in den Förderbekanntmachungen (z.B. BMBF-Fördermaßnahme "Wassertechnologien: Wiederverwendung (WavE) (DEHEMA, 2024) überwiegend festgelegt, dass das Konsortium eines Forschungsprojektes aus Partner:innen in Wissenschaft und Praxis gebildet sein muss. Im Optimalfall wird ein Forschungskonsortium noch durch assoziierte Partner:innen wie Behörden, Verbände oder weiteren Stakeholder ergänzt, um den Ergebnistransfer in die Praxis zu fördern.

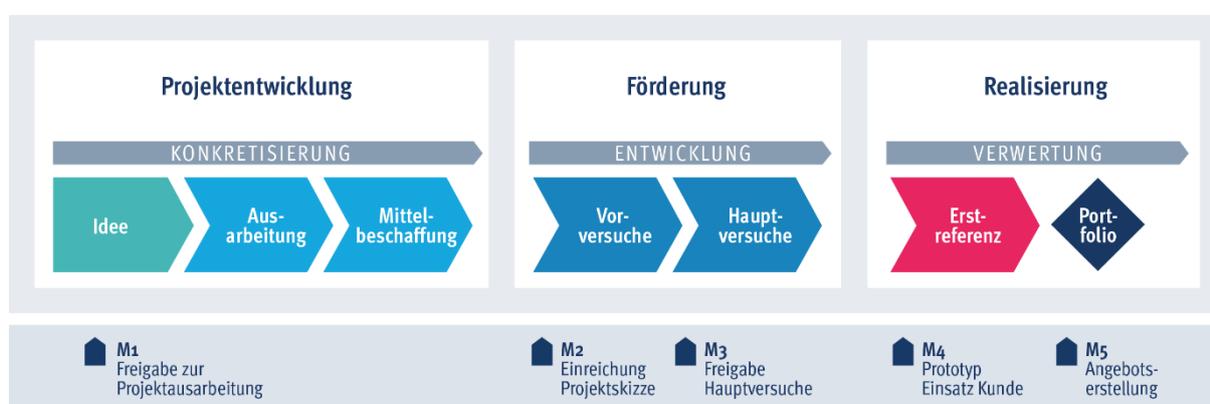
Vor diesem Hintergrund dient der hier erstellte Leitfaden dem Aufspüren von Hürden und Maßnahmen zur Überwindung derselben. Dies geschieht anhand von Beispielen aus jahrzehntelanger Entwicklungstätigkeit, um Entwicklungsprozesse bereits in der Planungsphase möglichst zielgerichtet zu strukturieren und die Projektbeteiligten motivierend einzubinden, ohne lokale und nationale Gegebenheiten außer Acht zu lassen.

## 1.2 Implementierung: Schlüssel im Entwicklungsprozess

Innovationen zielen auf Unternehmenswachstum, Festigung der Marktposition und Ausweitung des Marktes ab (Kerzner, 2022). In den letzten Jahren kommen als Treiber noch die Nachhaltigkeit und die Sozialverträglichkeit hinzu.

Die Implementierung wird auch Erstreferenz oder Erstanwendung genannt, wobei der Übergang von einer Pilotanlage zur Erstreferenz fließend gestaltet sein kann. Die Implementierung steht am Ende der Entwicklungskette für ein Verfahren oder Prozess, welches Neuigkeitsmerkmale aufweist.

Die Entwicklung einer Innovation umfasst typischerweise fünf wichtige Schritte, die aufeinander aufbauen und die Grundlage für das Innovationsmanagement der meisten Unternehmen ausgerichtet bildet, wie beispielhaft Abb. 1 zeigt.

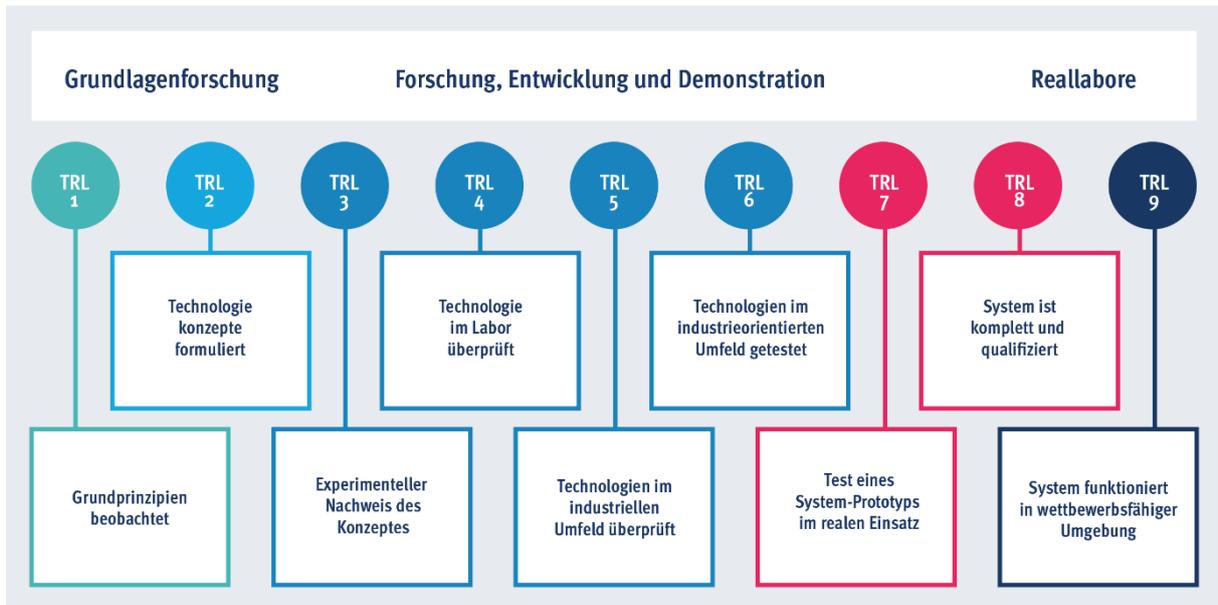


**Abb. 1:** Beispiel für die Einteilung eines Entwicklungsprozesses (Quelle: A. Ante)

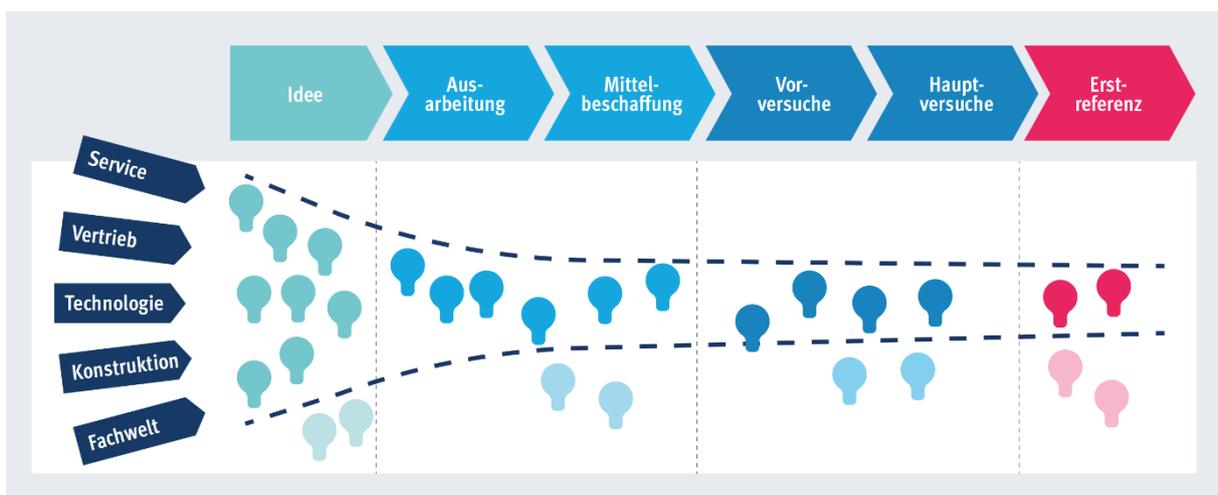
Für die Charakterisierung des Entwicklungsstandes hat sich zunehmend die Verwendung der von der NASA 1988 für den Einsatz neuer Raumfahrtkomponenten entwickelten Skala durchgesetzt, dem „technology readiness level“, kurz TRL (DIN EN 16603-11:2020), wie in Abb. 2 veranschaulicht. Dieses System weist neun Stufen auf, wobei die Implementierung die Stufe 7 betrifft. Eine Anpassung an Entwicklungen, die einen geringeren Anspruch auf Ausfallsicherheit benötigen, ist bislang nicht erfolgt.

Von der Idee bis zur Implementierung ist es also ein weiter Weg, auf welchem aus den unterschiedlichsten Gründen die meisten Neuentwicklungen eingestellt werden. Die Abbruchquote liegt üblicherweise bei etwa 80 %. Um Ressourcen nicht zu verschwenden, zeichnet sich ein gutes Innovationsmanagement durch die Formulierung und Einhaltung von harten und quantitativen Kriterien aus, anhand derer entschieden wird, ob die Neuentwicklung den nächsten Meilenstein erreicht hat. Im Wasserbereich sind es oft Kostengründe oder die Entstehung eines schwer beherrschbaren oder teuer zu entsorgenden Nebenproduktes, die zum Abbruch führen.

Auch wenn bei jedem Entwicklungsschritt die Weiterentwicklung ausgesetzt werden kann, so stellt doch die Implementierung die größte Hürde dar, an welcher prozentual die meisten Entwicklungsprojekte scheitern, s. Abb. 3. Daher ist es für alle Entwicklungsbeteiligten von enormer Bedeutung, diesen entscheidenden Schritt sorgfältig zu planen, sich mit Geduld zu wappnen und von vornherein zu berücksichtigen, welche Faktoren helfen und wo mögliche Hemmnisse liegen können.



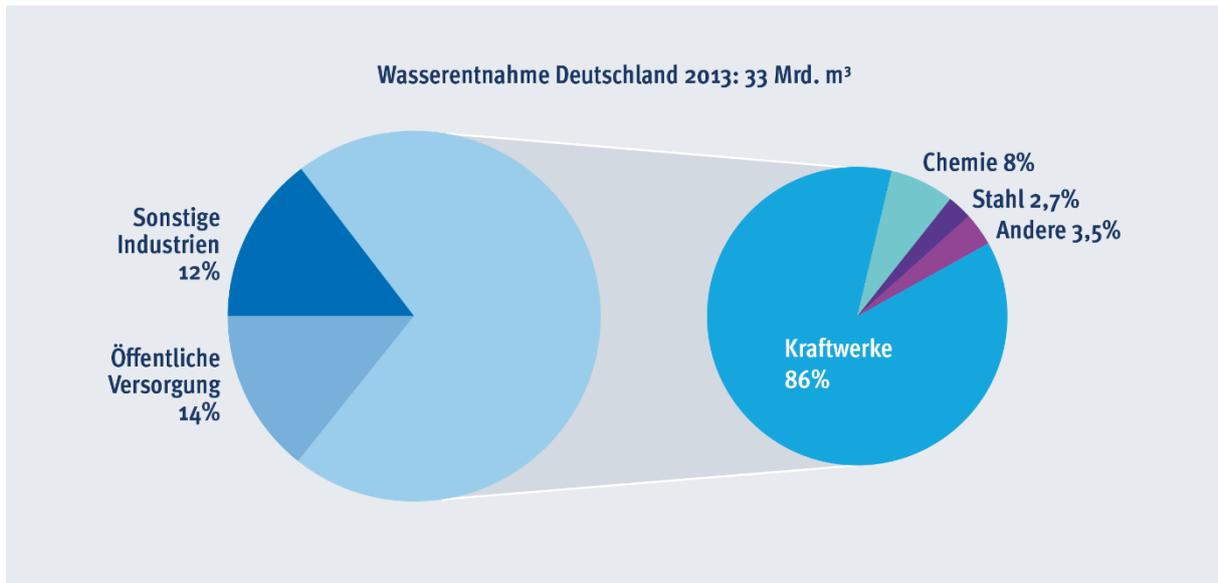
**Abb. 2:** Veranschaulichung der Technologiereifegrade (technology readiness level TRL)-Einteilung für eine Neuentwicklung. (Quelle: TRL nach DIN EN 16603-11:2020-02 (DIN EN 16603-11:2020)).



**Abb. 3:** Die meisten Entwicklungsprozesse enden bei der Implementierung (Quelle: A. Ante)

### 1.3 Wasserknappheit als Innovationstreiber

Wasser ist in fast allen Industriezweigen eine der wichtigsten Ressourcen, da es viele Eigenschaften besitzt, die für den Produktionsprozess unerlässlich sind und durch andere Stoffe kaum bzw. nicht ersetzt werden können (Ante, 2020; Pavlik, 2024). Wasser, zumal in dem ursprünglich wasserreichen Land Deutschland, war bis dato fast aller Orten und nahezu unbegrenzt verfügbar und sehr kostengünstig. Die Kosten für Wasser (als Hilfsmittel) belaufen sich für die meisten Produkte auf wenige Prozent der Produktionskosten. Durch den Klimawandel wird Wasser nunmehr zu einer knappen Ressource, um deren Nutzung sich eine zunehmend verschärfende Konkurrenz entzündet (IPCC, 2019; Dresden, 2024a; OECD, 2012; Boretti and Rosa, 2019).



**Abb. 4:** Wasserentnahme“ können Sie die Unterschrift „Wasserentnahme in Deutschland 2013. Quelle: A. Ante; Daten: Statistischen Bundesamt).

Es existieren zwei Methoden, die den Level des Wasserstress (Grimm *et al.*, 2008) messen. Die eine ist die demographische Wasserverfügbarkeit in m<sup>3</sup> pro Einwohner:in und Jahr. Die jährliche Regenmenge in Deutschland liegt im Mittel bei 188 Mia m<sup>3</sup>. Damit stehen rechnerisch etwa 2.500 m<sup>3</sup> pro Kopf und Jahr zur Verfügung. Definitionsgemäß beginnt Wasserstress bei einer Verfügbarkeit von Frischwasser von weniger als 1.000 m<sup>3</sup> pro Kopf und Jahr.

Die technische Definition von Wasserstress bezieht sich auf den Anteil an verfügbarem Frischwasser, der insgesamt genutzt wird. In Deutschland nimmt die Wasserentnahme bereits seit Jahrzehnten ab. Waren es in den 90er Jahren noch knapp 25 %, ist dieser Wert auf deutlich unter 15 % gesunken auch Dank der diversen Entwicklungsanstrengungen. Wasserstress beginnt aber erst bei einem Anteil von über 20 % genutztem Wasser. Nach beiden Definitionen ist Deutschland heute weit von Wasserstress entfernt. Aber sowohl die regionale als auch die saisonale Verteilung der Niederschläge führt temporär oder auch lokal zu Wasserstress, wie es besonders im extrem trockenen Jahr 2018 gefolgt von einem ebenfalls viel zu trockenem Jahr 2019 vielerorts deutlich wurde und sich im allgemeinen Bewusstsein verankert hat (Kersting and Neuerer, 2024; Dresden, 2024a; Fuchs, 2024). Hinzu kommt, dass gerade in Trockenperioden der Frischwasserbedarf zur Aufrechterhaltung der Kühlkreisläufe, dem mit Abstand bedeutsamsten Wassernutzer, deutlich ansteigt. Dies ist dem mit der Trockenheit ansteigenden Salzgehalt geschuldet, weil hierdurch der Wiederverwendungsfaktor sinkt (Dresden, 2024b; *Warum der Hauptstadt das Trinkwasser ausgeht* | frontal, 2024). Das Absalzen, d.h. das Ersetzen von aufgesalztem Kühlwasser durch salzärmeres Frischwasser, findet bei einem konstanten Salzgehalt, der etwa einer Leitfähigkeit von 1.000 bis 1.500 µS/cm entspricht, statt. Wenn aber der Salzgehalt des Frischwassers durch ein Dürreereignis steigt, sinkt die Anzahl möglicher Zyklen der Kreislaufführung.

Knappe Wasserressourcen treiben nicht nur die Industrie um, sondern betreffen alle gesellschaftlichen Akteur:innen bezüglich ihrer Ansprüche auf eine optimale Wasserversorgung, wie nicht zuletzt die im März 2023 stattgefundene UN Water Conference zeigte. Hier wurde auf politisch höchster internationaler Ebene mit dem Ziel diskutiert (United Nations, 2024b), durch einen wissenschaftlichen Diskurs Konflikte um Wasser zwischen Staaten zu vermeiden und Best Practice zu teilen (“help each other, look after each other and look out for each other”, (UN Water, 2024; General Assembly of the United Nations, 2023)).

Mit den 2015 verabschiedeten globalen Nachhaltigkeitszielen (engl. Sustainable Development Goals, SDGs (United Nations, 2024a)) ist durch SDG6 vereinbart, bis 2030 einen gerechten Zugang zu sauberem Wasser und sanitären Einrichtungen weltweit zu ermöglichen. Weltweit stellt dies nach wie vor eine besondere Herausforderung dar, da bereits jetzt mehr als 2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Wasser besitzen, eine Zahl, die sich bis 2050 mehr als verdoppeln wird. Allein dies zeigt, wie wichtig weltweit der sorgsame Umgang mit dem verfügbaren Wasser ist. Verschärft wird der Konflikt durch die zunehmende Erdbevölkerung, weswegen mehr Nahrungsmittel produziert werden müssen und auch Flächen für die Landwirtschaft genutzt werden müssen, die bewässert werden müssen (Qadir *et al.*, 2022).

Ein alleiniger Fokus auf Erhöhung der Effizienz von Wasserinfrastruktur sei "nicht sachgerecht", so urteilte ein INIS-Abschlussbericht im Jahre 2017 (Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu), 2017). Vielmehr wird eine zukunftsfähige Gestaltung der Wasserwirtschaft und Ihrer Akteur:innen insbesondere flexible Lösungen auf Basis von Innovationen erfordern. Diese Innovationen können sich sowohl auf Produkt-, Organisations- als auch Geschäftsprozessebene erstrecken (laut OECD 2015 (OECD, 2015) /2018 (OECD and Europäische Kommission, 2018),(Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu), 2017).

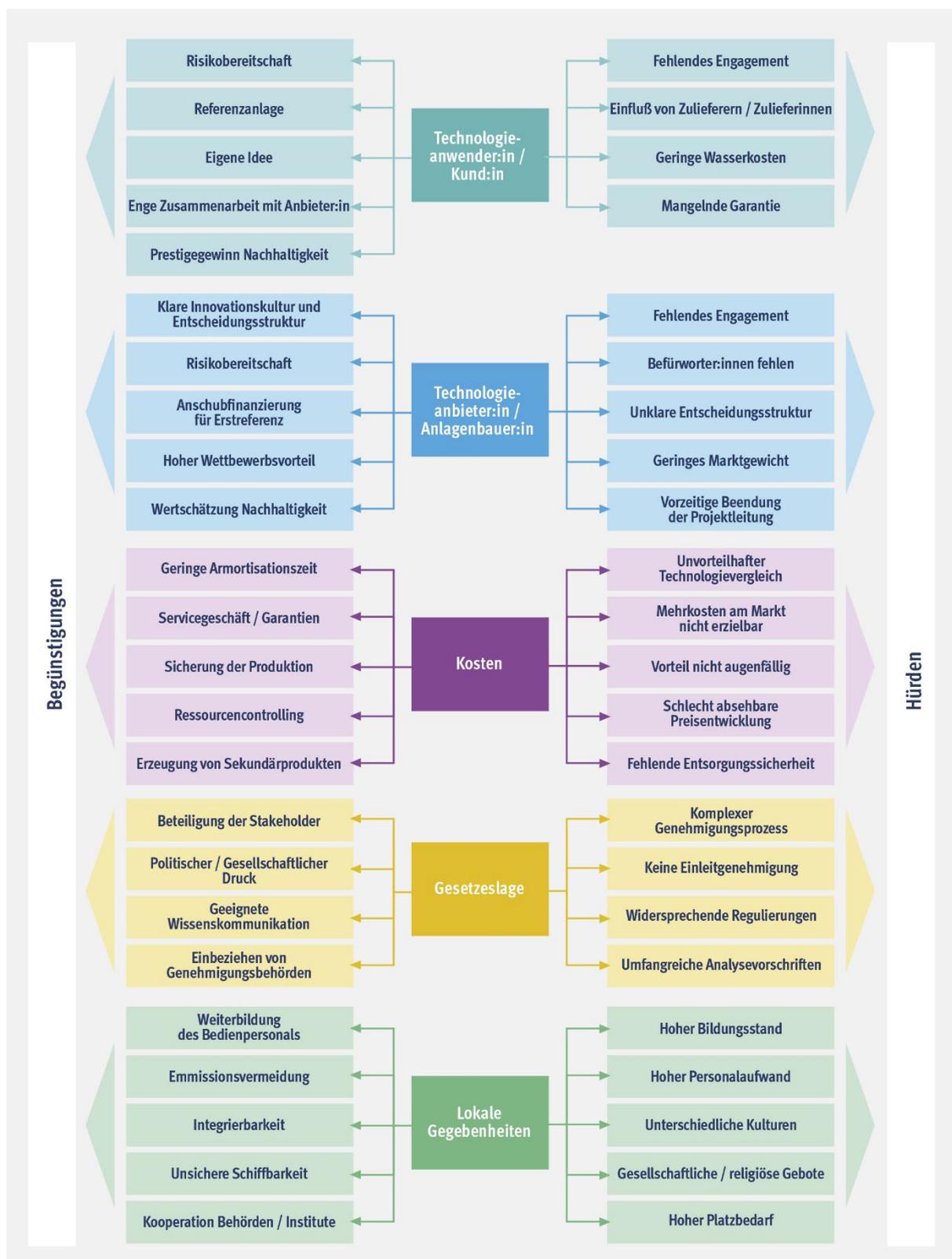
So ergibt sich nunmehr die Aufgabe, Wasser in ausreichender Qualität innerhalb der Industrie, aber auch zwischen den drei Sektoren durch Kreislaufführung bei Einführung geeigneter Aufarbeitungsschritte nutzbar zu machen. Dies ist wichtig, um den Produktionsstandort in Deutschland zu sichern und die Abwanderung wichtiger Industriezweige und damit eine drohende Deindustrialisierung zu verhindern. Darüber hinaus kann hierdurch die Ansiedlung wasserintensiver Zukunftstechnologien oder die Expansion vorhandener Werke ermöglicht werden. Neben dem Bedarf an Technologien zur Wasserwiederverwendung und effizienter Wassernutzung im eigenen Land stärkt der Export von notwendigen Innovationen das hohe Gut "Made in Germany" (Dresden, 2024b).

Daher ist die Entwicklung von Technologien vorzugsweise in Deutschland erforderlich, die die Wiederverwendung von Brauchwasser nachhaltig ermöglichen. Allerdings enden - wie auch bei den BMBF-Fördermaßnahmen zu Wasserwiederverwendung (WavE) - die Projekte und ihre Förderung mit dem Abschluss der Fördermaßnahme. Daher stellt die Implementierung der in der Entwicklung begriffenen alternativen und unkonventionellen Technologien im Anschluss eine ernstzunehmende Herausforderung und ein Nadelöhr dar, die nur mittels erheblicher Anstrengungen gelingen kann.

Dieser Leitfaden zielt daher darauf ab, ein Projekt von Anfang an solchermaßen anzulegen, dass die Realisierung der Erstreferenz, d.h. die großindustrielle Anwendung, erleichtert wird. Hierfür werden die Erfahrungen der Akteur:innen zusammengeführt und sowohl die Hürden als auch ihre erfolgreiche Umgehung beschrieben.

## 2. Hürden und Begünstigungen

Zahlreiche Hürden können der Implementierung einer Produktidee im Wege stehen. Die Firmenkultur von Kund:innen und Technologieanbieter:innen sind besonders wichtig, aber auch lokale Gegebenheiten und die Gesetzeslage und natürlich die Kostenaspekte. Die Faktoren, die die Implementierung begünstigen sind z. T. gegenteilig zu den Hürden, aber werden durch eigene Aspekte ergänzt. Eine Zusammenfassung der in diesem Leitfaden besprochenen Hürden und Begünstigungen findet sich in Abb. 5.



**Abb. 5:** Überblick über Faktoren, die eine Implementierung begünstigen bzw. behindern (Quelle: A. Ante)

## 2.1 Kunde

Die Innovationskultur einer produzierenden Industrie ist notwendigerweise in erster Linie vom Produkt getrieben, d.h. die Anstrengungen müssen in erster Linie auf die Verbesserung des Produktes und Vereinfachung der Herstellung zur Kostensenkung gerichtet sein, um die eigene Konkurrenzfähigkeit zu sichern. Die erforderlichen Ressourcen werden daher im Hinblick auf die Wichtigkeit für die Produktion gewertet. Beispielsweise betragen die Kosten für Beschaffung und Aufbereitung von Frischwasser in der Stahlindustrie in Deutschland weniger als 0,1 % der gesamten Produktionskosten (SMS Group, firmenintern). Die Aufmerksamkeit auch auf diese Randbereiche auszudehnen, gelingt nur Firmen mit gutem Innovationsmanagement oder Weitblick für künftige Entwicklungen. Außerdem bedarf es einer vergleichsweise hohen Innovationsneigung und einer gewissen **Risikobereitschaft**. Viele Firmen ziehen Technologieneuentwicklungen erst in Betracht, wenn bereits **Referenzanlagen** existieren. Sehr hilfreich sind daher Pilotanlagen, die das Funktionieren neuer Technologien vorzugsweise mit den eigenen Wasserressourcen zu demonstrieren in der Lage sind, z.B. Re-Salt/RIKoverly (s. Kap 3.1 Leuchtturmprojekte).

Besonders einfach ist die Implementierung, wenn die **Idee** und Initiative vom **Kunden** bzw. der Kundin selbst stammt. Beispielsweise fallen bei der Kupferverhüttung Waschsäuren an, die aus einer verdünnten Schwefelsäure, Schwermetallen und erheblichen Mengen an Arsen besteht. Diese Kontaminationen verbleiben im Abfallgips, der durch die Neutralisation der Schwefelsäure mit Kalkmilch entsteht und teuer entsorgt werden muss. Der Kupferproduzent Atlantic Copper hatte die Idee einer fraktionierenden Fällung geboren, bei welcher im ersten Schritt nur so weit neutralisiert wird, wie die Schwermetalle und vor allem Arsen noch in Lösung bleiben. Hierbei war es geplant, bis zu 80 % der Schwefelsäure in einen in der Zementindustrie als Erstarrungsregler wiedereinsatzbaren Gips zu überführen und lediglich einen kleinen Rest zu entsorgen (Ante *et al.*, 2005). Letztendlich wurden bis zu 95 % als technisch reiner Gips wiederverwendet. Dies ist auch ein Beispiel für die gedeihliche **enge Zusammenarbeit** zwischen Kund:innen und Technologieentwickler:innen, da die Verantwortung für die Entwicklung in die Hände der gelegt wurde.



**Abb. 6:** Lager der Reststoffe aus der fraktionierten Fällung mittels Kalkmilch aus der Waschsäurebehandlung der Kupferhütte Atlantic Copper – links der Sekundärrohstoff technischer Gips, rechts der arsenkontaminierte Abfallgips. Quelle: A. Ante.

### 2.1.1 Engagement

Für alle derartigen Entwicklungen ist ein hohes und ausdauerndes **Engagement** auf Führungs- und Projektleitungsebene erforderlich, auch um Rückschläge während der Entwicklung zu verkraften und hierfür geeignete Lösungen zu suchen. Der zunächst produzierte Gips war aufgrund seiner Thixotropie nicht transportfähig, da er sich bei Stoßbelastungen verflüssigte. Erst eine gezielte Beeinflussung der Kristallstruktur durch eine zusätzliche Behandlungsstufe ermöglichte die Wiederverwendung des Sekundärproduktes und bot einen hohen Zusatznutzen für die Auftraggebenden bzw. Kund:innen durch stark gesunkene Entsorgungskosten.

Bei dem EU-geförderten Projekt LagoonMemb wurde ein neuartiges Konzept großtechnisch realisiert, welches auf den Ausgleich der für den Anfall kommunalen Abwassers typischen Ganglinien durch die Vorschaltung eines Teiches für eine Membranbelebungsstufe basierte (Ante *et al.*, 2007). Hierdurch konnte die erforderliche Membranfläche merklich kleiner dimensioniert werden. Dies senkte sowohl die Investitions- (CAPEX) als auch die Betriebskosten (OPEX) durch Verkleinerung der auszutauschenden Membranfläche. Die Realisierung der Erstreferenz scheiterte jedoch fast an den Vorgaben der europäischen **Vergaberichtlinien**, die eine öffentliche Ausschreibung fordern (s. Kap. 2.4.3 → Widersprechende Regulierungen). Erst das **Engagement** des Projektleiters auf Kundenseite und die aufwändige Erarbeitung einer Lösung ermöglichte schließlich den erfolgreichen Abschluss des bereits weit fortgeschrittenen Projektes.



**Abb. 7:** Gesamtansicht der LAGOON-MEMB Demonstrationsanlage – im Vordergrund die Anlagenstufe 1 (belüfteter Vorteich), im Hintergrund die Anlagenstufe 2 (Membranbelebungsstufe) mit dem zugehörigen Betriebsgebäude. Quelle: A. Ante.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil liegt in dem **Prestigegewinn** durch **umweltschützende bzw. nachhaltige** Investitionen, die nicht nur in der Fachwelt, sondern darüber hinaus in der breiten Öffentlichkeit und der unmittelbaren Nachbarschaft (s. Kap. 2.4.2 → Gesellschaftlicher Druck) wohlwollend wahrgenommen werden. Aus diesem Grund wurde bei vielen Färbereien eine oxidative Entfärbung vorab der Abwassereinleitung installiert. Die Herausforderungen, die sich durch eine geeignete Nachhaltigkeitsbewertung der ausgewählten Investition ergeben, sind im Kapitel 2.1.3 (→ Adäquates Controlling) diskutiert.

### 2.1.2 Beeinflussung durch Lieferanten

Selbst wenn eine Innovation hohe Potenziale zur Wasserwiederverwendung bietet, können Interessen anderer Vertragspartner:innen der Auftraggebenden der Implementierung entgegenstehen. Im Abwasserbereich betrifft dies wiederholt neuartige Verfahren, die auf die Einsparung von Chemikalien abzielen und damit notwendigerweise das Geschäft der Chemikalienlieferant:innen beeinträchtigen. Die **Lieferant:innen** werden dann das jahrelang gewachsene Vertrauen nutzen, um Risiken in den Vordergrund zu rücken, umso mehr, wenn das neuartige Verfahren Risiken bergen könnte.

Um diese Hürde (→ **mangelnde Garantie**) auszuräumen, sind auskömmliche Verfahrensgarantien und eine für die vorteilhafte **Vertragsgestaltung** hilfreich. Dies kann sogar das Recht auf Rückweisung der Anlage bei Nichterfüllung der Garantiewerte gehen, wodurch das Risiko vom Technologieanbieter übernommen wird.

### 2.1.3 Adäquates Controlling

Um die finanziellen Auswirkungen innovativer Formen der Wasserwiederverwendung im Unternehmen zu erfassen, ist es initial erforderlich, entscheidungsrelevante Informationen über die Wassernutzung in ein **Controllingsystem** zu integrieren. Christ und Burritt (Christ and Burritt, 2017) nutzen dafür den Begriff des “Corporate Water Accounting“, also der unternehmerischen Buchhaltung von Wasserressourcen. Es ist als Instrument zur Risikominimierung nutzbar, welches nicht nur finanzielle, sondern auch operative, regulative als auch Produkt- und Reputationsrisiken adressiert (Yu, 2022) (wbcSD water, Sustainability and IUCN, 2012)).

Ein geeignetes Controlling hilft während des Implementierungsprozesses, die optimale, innovative Wasserwiederverwendungstechnologie auszuwählen. Das schließt einerseits die **Integration nachhaltiger Aspekte**, z.B. ökologische Wirkungen und nicht-finanzielle Daten, andererseits die Darstellung und Analyse von Zielkonflikten zwischen Entscheidungsparametern ein (Strehl *et al.*, 2023). Eine Herausforderung ist es, dass ökologische Entscheidungsinstrumente als Teil des Controllings, wie z.B. der CO<sub>2</sub>- und Wasserfußabdruck, aufgrund ihres jeweils sachlich eindimensionalen Wirkungsindikators zu widersprüchlichen Bewertungen führen können (Thompson, 2022; BUND, 2024; Forin *et al.*, 2021). Die Autor:innen um Berger *et al.* (2015) hatten für diesen Konflikt des CO<sub>2</sub>- und Wasserfußabdrucks zugespitzt formuliert: entweder Klima- oder Wasserschutz (Berger *et al.*, 2015). Entscheidungsträger:innen können in diesen Fällen auf eine Form der multikriteriellen Entscheidungsanalyse (engl. MCDA, multi-criteria decision-analysis) zurückgreifen und eine Entscheidung treffen, gegebenenfalls unter Beteiligung von Stakeholdern (Wencki *et al.*, 2020).

## 2.2 Technologieanbieter / Anlagenbauer

Technologieanbieter:innen oder Anlagenbauer:innen sind die Haupttreiber für Innovationen, da sie bei erfolgreicher Implementierung ein neues Produkt in ihr Portfolio übernehmen können. Innovationen sind die potenziellen Geschäfts- und Gewinnchancen von morgen, wenn die aktuell vertriebenen Produkte möglicherweise veraltet sein werden. Des Weiteren bietet es ihm Gesprächsanlässe mit den Kund:innen. Ein enger Kundenkontakt ist andererseits auch wesentlich, um die Bedarfe im Markt genau zu kennen und nicht an der vorbei Entwicklungen voranzutreiben (s. Kap. 2.1 → **enge Zusammenarbeit mit Anbieter:in**). Die erfolgreiche Etablierung der Erstreferenz im Markt wird erheblich vereinfacht, wenn Technologieanbieter:in ein **Schwergewicht im Markt** ist oder auch aufgrund seiner Größe und seines Renommees einen hohen Einfluss auf potenzielle Kund:innen und die Fachwelt hat. Das Vertriebsnetz ist bei gewichtigen Marktteilnehmer:innen gut ausgebaut, die Kund:innen sind Innovationen von Technologieführenden gewöhnt und sehen den eigenen Wettbewerbsvorteil eher gestärkt, wenn sie potenziell vorteilhafte Verfahren als erste angeboten bekommen.

### 2.2.1 Firmenkultur

Für das Gelingen von Markteinführungen in den industriellen Markt ist es von herausragender Bedeutung, dass innerhalb der entwickelnden Firma ein klares Bekenntnis zu innovativen Produkten existiert und daher auch ein durchdachtes **stringentes Innovationsmanagement** etabliert ist. Es unterscheidet sich vom klassischen Projektmanagement, variiert aber von Industrie zu Industrie. Beispielsweise ist es erfolgsentscheidend, dass bei Innovationsprojekten zu Beginn eine sorgfältige und abgestimmte Zielsetzung besteht. Teilaspekte, wie Zwischenziele und der Weg dorthin, müssen zu Beginn nicht konkret definiert werden und können sich “auf dem Weg” entwickeln. Standardprozesse, die für das Abwicklungsmanagement zwingend erforderlich sind, können zumeist nicht eingehalten werden. Das fordert Kreativität, Flexibilität und zugleich Beharrlichkeit der Mitarbeitenden. Da ein Scheitern in jeder Entwicklungsphase möglich ist, müssen sich Projektleiter:innen viel stärker mit Entscheidungsprozeduren, unkonventionellen Lösungen und Umsetzungsstrategien auseinandersetzen. Diese Faktoren beeinflussen dementsprechend auch die Kommunikation, Weitergabe von Erfahrungen und Besprechungskultur der Teams. Eine flexiblere Organisation ist daher unumgänglich (Vandenberg, 2024).

Da das Entwickeln neuer Produkte zur Zukunftssicherung elementar ist, werden gewöhnlicherweise viele Neuentwicklungen parallel betrieben. Hierfür sind Mittel einzusetzen, die durch den Verkauf etablierter Produkte erwirtschaftet werden müssen. Hierfür ist ein sorgfältiges Innovationsmanagement erforderlich, um einerseits genügend Entwicklungen voranzutreiben, aber andererseits die Entwicklung weniger aussichtsreicher Produkte einzustellen. Eine möglichst umfassende und zutreffende Beurteilung der Erfolgsaussichten von Entwicklungsprojekten ist von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Besonders hervorzuheben ist das **Rolloutpotenzial** sowohl für Anwendenden, aber besonders für die Technologieanbieter:innen. Ist ein Produkt nur für einen Nischenmarkt anwendbar, ist eine Entwicklung nur bei potentiell hohen Gewinnmargen voranzutreiben, während bei hohem Rolloutpotenzial auch Produkte mit geringeren Gewinnbeitrag attraktiv sein können. Hierbei bilden der Reifegrad einer Technologie und dessen Risiken Antagonisten, die sorgfältig gegeneinander abgewogen werden müssen. Einerseits steigt das Rolloutpotenzial mit der Neuartigkeit der Technologie und damit der Wettbewerbsvorteil, andererseits bergen weniger bekannte und etablierte Verfahren ein deutlich höheres Risiko zum Scheitern, da viele Aspekte, technologische, wirtschaftliche und darüberhinausgehende erst mit Fortschreiten des Reifegrades erkannt und bestimmt werden können.

Bei der Chancenbeurteilung ist es hilfreich, die mit dem Markt und seinen Produkten vertrauten Kolleg:innen einzubeziehen und jedes Projekt inhaltlich kritisch zu diskutieren. Erst

anschließend sollte die Entscheidung der Geschäftsführung über die erforderlichen Ressourcen erfolgen, auch um sicherzustellen, dass die befürworteten Entwicklungen zur Firmenstrategie passen und die zur Verfügung stehenden Mittel möglichst zielgerichtet verwendet werden.

### 2.2.2 Ressourcenbereitstellung

Allein zur Ausarbeitung einer Produktidee bedarf es eines erheblichen Zeiteinsatzes, um im ersten Schritt, die technische Umsetzbarkeit, die wirtschaftliche Attraktivität oder ökologische Nachhaltigkeitsrisiken zu prüfen. Die anschließende Umsetzung eines Entwicklungsprojektes ist zeit- und kostenaufwändig.

Üblicherweise ergeben sich während des Entwicklungsprozesses ernsthafte Verzögerungen. Sei es, dass es Lieferengpässe gibt, dass es zu unvorhersehbaren technischen Umsetzungsschwierigkeiten kommt oder die Ressourcen knapp werden. **Fehlt** das erforderliche **Durchhaltevermögen**, können potenziell erfolgreiche Technologieentwicklungen vorzeitig abgebrochen werden.

Die technologieanbieterseitige **Anschubfinanzierung der Erstreferenz**, die auf die Folgeprojekte umgelegt werden, ist optimal, sofern sich die Erstreferenz als konkurrenzfähig erweist. Allerdings ist hierfür die Voraussetzung, dass die bzw. der Technologieanbieter:in bereit ist, in Vorleistung zutreten. Dies fällt umso leichter, wenn die Chancen und Risiken einer neuen Technologie sorgfältig betrachtet wurden und der zukünftige Erfolg daher einschätzbar ist.

### 2.2.3 Projektleitung

Besonders wichtig ist hierbei das **Engagement des Projektleiters**. Fehlt dieses Engagement, ist die Entwicklung bis zur Erstreferenz nicht gesichert, insbesondere wenn unvorhergesehene Schwierigkeiten technischer Art oder eine gravierende Veränderung der Begleitumstände eintreten (siehe → **Fehlendes Engagement**). Sollte ein Wechsel in der Projektleitung erforderlich werden, ist dieser Vorgang von langer Hand zu planen. Viele Entwicklungsprojekte scheitern an einer **vorzeitigen Beendigung der Projektleitung**, sei es, weil ein Forschungsprojekt nur auf eine gewisse Zeitspanne ausgelegt ist und eine Anschlussfinanzierung nicht vorgesehen ist oder weil die bzw. der Projektleiter:in nicht mehr verfügbar (Aufgabenwechsel, Arbeitsplatzwechsel, Verrentung oder Krankheit) ist. Dies kann nur durch sorgfältige Aufgabenübertagung über einen ausreichenden Zeitraum mit hoher Kommunikationsbereitschaft beider Akteur:innen aufgefangen werden. Beispielsweise wurde bei dem Verbundprojekt WEISS\_4PN die Projektleitung über ein Jahr hinweg vorbereitet und in der Übergangsphase von alter und neuer Projektleitung begleitet. Die Länge der Übergangsphase muss sich hierbei an der Komplexität des Projektes orientieren.

Eine notwendige Übergabe ergibt sich bei Erreichen eines bestimmten Reifegrads des Produktes. Nämlich dann, wenn das Produkt vom Vertrieb übernommen werden soll. Auch hierbei ist eine sorgfältige und zeitlich auskömmliche Übergangsphase zu planen und die Projektleitung der Entwicklungsphase bei allen entscheidenden Folgeschritten zwingend einzubeziehen, da sowohl die Interessen als auch die grundlegende Sichtweise auf die Innovation der alten und neuen Projektleitung in den meisten Fällen divergieren. Beispielsweise sind während der Entwicklungsphase durch die Projektleitung initiierte Patentanmeldungen für sie bzw. ihn persönlich relevant, der Vertriebler hingegen wird am erzielten Umsatz gemessen. Vorteilhaft ist es auch, wenn die das Projekt übernehmende Vertriebsperson bereits während der Entwicklungsphase in das Projekt eingebunden wird, um ein tieferes Verständnis entwickeln zu können und die gemeinsame Kommunikation einzuüben und die Realisierung der Erstreferenz zu unterstützen.

Es bedarf darüber hinaus aber des Zusammenwirkens der gesamten Firmenstruktur, um die Erstreferenz für ein neues Produkt etablieren zu können. Es erfordert die Bereitschaft des

Managements, in Vertriebsaktivitäten zu investieren und finanzielle Unterstützung des in Bezug auf Kosten und Ausbeuten bzw. Kapazitäten noch nicht optimierten Prozesses zu leisten, da ein Neuprodukt selten in puncto CAPEX günstiger darstellbar ist als etablierte Technologien.

#### 2.2.4 Garantien

Da eine neue Technologie auch für die Erstkund:innen erhebliche Risiken umfassen kann, ist die vertragliche Vereinbarung auskömmlicher Garantien und Maßnahmen erforderlich, sollte das innovative Verfahren die Erwartungen nicht erfüllen. Besonders hilfreich ist dies bei gegenüber Innovationen skeptischer Kundschaft. Voraussetzung ist hierfür, dass die bzw. der Technologieanbieter:in bereit ist, die **Risiken zu übernehmen**. Lösungen können hierfür Contracting- bzw. Betreibermodelle sein, bei welchen die Kund:innen kaum oder keine CAPEX aufwenden müssen und stattdessen ein Produkt, in Fall von WavE in erster Linie Prozess- oder Brauchwasser, bezahlen. Das Prozessrisiko wird in diesem Falle gänzlich vom Anbietenden getragen und entlastet die Kund:innen insofern maximal. Bei der Implementierung bedarf es also engagierter **Befürworter:innen auf Managementebene**.

Besonders für das Wassermanagement ist eine Wertschätzung von umweltschützenden Produkten im eigenen Portfolio wesentlich für die Auswahl von Innovationsprodukten, für die in der Industrie die hart umkämpften Ressourcen bereitgestellt werden (s. Kap. 2.1.1 → **Prestigegewinn Nachhaltigkeit**).

### 2.3 Kosten

Unter Kosten wird hier die Summe aus CAPEX und OPEX mit einer betriebswirtschaftlich üblichen Anlagenlebensdauer unter Berücksichtigung der Diskontierung im Sinne von Lebenszykluskosten verstanden (Wencki *et al.*, 2020).

#### 2.3.1 Vergleich von Technologien

Aus Kostensicht fallen neue Technologien zunächst oft hinter etablierten Technologieverfahren der Wasseraufbereitung zurück – z.B. aufgrund noch fehlender Skaleneffekte oder fehlender Vergleichsmöglichkeit bezüglich des quantifizierten Nutzens dieser neuen Technologie. Etablierte Technologieverfahren bleiben für gewöhnlich Platzhirsche; Innovationen können sie nicht verdrängen. Dies liegt mitunter an mangelnder Vergleichbarkeit, die sich daraus ergibt, dass diese dem Technologieanwender überlassen wird. Nur allzu oft erfolgt ein Vergleich "Äpfel mit Birnen", der Innovationen benachteiligt (**unvorteilhafter Technologievergleich**). Es ist folglich entscheidend, wie der Kostenvergleich konzeptionell durchgeführt wird.

Im WavE-Verbundprojekt NERA (TU Clausthal, 2024) beispielsweise wurden potenzielle Technologieanwender:innen von Beginn an in das Entwicklungsprojekt einbezogen, um einen belastbaren Kostenvergleich erstellen und Entwicklungsanforderungen anpassen zu können. Das umfasst z.B. auch einen Werkzeugkasten, der die Skalierbarkeit der Anlagentechnik evaluiert.

#### 2.3.2 Amortisationszeit

Innovationen können durch eine geringe finanzielle Risikobereitschaft der Technologieanwendenden, welche sich in kurzen Amortisationszeiten widerspiegeln, gebremst werden. Während im privaten Bereich **Amortisationszeiten** von Jahrzehnten als durchaus akzeptabel gelten, werden in der Industrie etwa 5 Jahre toleriert. Bei besonders konservativen Industriezweigen schrumpft sie sogar auf nur 3 Jahre oder weniger. Das ist besonders problematisch für die Verfahrensentwicklung, weil es ein Merkmal von Innovationen ist, dass der Prozess, das Verfahren oder die Systemlösung neu und damit noch nicht optimiert

und das Potenzial von kostensenkenden Verbesserungen nicht annähernd ausgeschöpft worden sein kann. Eine wenig erprobte Innovation trifft in der Regel auf ein in Jahrzehnten kostenseitig optimiertes bewährtes Verfahren. Gerade in Bezug auf die Investitionskosten besteht hier ein hoher Selektionsdruck zugunsten etablierter Verfahren.

Eine bewährte Möglichkeit ist es, ein Verfahren als Contractingmodell oder **Servicegeschäft** anzubieten, so dass die bzw. der Technologieanwender:in kein Investitionsrisiko eingehen muss, weil das Geschäft einen minimalen Einsatz von CAPEX erfordert. Alternativ ist auch die Stellung von auskömmlichen **Garantien** seitens der Technologieanbieter:innen hilfreich, da dies das Risiko für sie minimiert und sie dadurch nachdrücklich ihre Bekenntnis zu dem neuen Verfahren ausdrückt.

### 2.3.3 Leidensdruck

Besonders einfach ist die Implementierung weniger erprobter Verfahren und Technologien zur Wasserwiederverwendung, wenn der Wassermangel die Vollausslastung eines Produktionsstandortes gefährdet oder beeinträchtigt (→ **Sicherung der Produktion**). Beispielsweise konnten zwei iranischen Stahlwerke in der Nähe von Esfahan in den letzten Jahren nicht mehr als 20-30 % ihrer Stahlerzeugungskapazität während der heißen und trockenen Sommermonate nutzen (Horlemann and Reyhani, 2017; Ante, 2023). Der Fluss Zayanadeh rud, der noch beim Bau der Stahlwerke (1978 und 1995) genügendes Wasserdargebot hatte, ist seit 20 Jahren bis auf wenige Tage im Jahr trocken, wie in Abb. 8 gezeigt.



**Abb. 8:** Flusswasserentnahmeverrichtung für das Frischwasser des Kraftwerkes in Esfahan.  
Quelle: A. Ante.

### 2.3.4 Zahlungsbereitschaft

Wenn die **Mehrkosten** für ein innovatives Produkt **am Markt erzielbar** sind, vereinfacht dies die Implementierung erheblich. Andererseits muss der **Vorteil augenfällig** bzw. quantifizierbar sein. So hatte ein Kartoffelchipshersteller den Bau eines Hochleistungsanaerobreaktors abgelehnt, weil die mit dem zu produzierenden Biogas erzielbare Energiemenge lediglich 2 % des Gesamtbedarfes ausgemacht hätte, obwohl er zur Reinigung des hoch CSB-haltigen Abwassers einer Fabrik für Kartoffelchips für eine anaerobe Vorreinigung prädestiniert wäre und deren aerober Abbau einen erheblichen Luft- und damit Energiebedarf bedeutete.

Wenn die **Preisentwicklung** für den Einsatz oder Abfallstoff schlecht absehbar ist oder dessen zukünftige **Entsorgungssicherheit** sogar zweifelhaft, stellt dies eine weitere ernstzunehmende Hürde da.

### 2.3.5 Förderung von Transferprojekten

Die Forschungsförderung zielt in erster Linie auf die Anschubfinanzierung insbesondere in der frühen Entwicklungsphase (M2-M3 in Abb. 1 bzw. bis TRL5 in Abb. 2) ab. Damit ist sie unverzichtbar für den Beginn. Oft kommt es zu ungeplanten Verzögerungen, welche die Implementierung zusätzlich verzögert und verteuert. Üblicherweise werden diese Verzögerungen durch „kostenneutrale“ Verlängerungen abgefangen. „Kostenneutral“ bezieht

sich dabei auf die Fördermittel, bewirken aber Finanzierungslücken bei den beteiligten Forschungspartner:innen. Hierdurch werden häufig Mittel, die für die Implementierung vorgesehen waren, genutzt, was die Finanzierung der Erstreferenz erschwert. In einem Abschlussbericht des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu) über zukünftige, städtische Wasserinfrastruktur wurde vorgeschlagen, dass „orientierende Vorarbeiten in der Forschung vorab durchgeführt werden und das eigentliche Forschungsprojekt erst dann startet, wenn die bauliche Umsetzung die dafür erforderlichen Vorarbeiten aussichtsreich“ (Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu), 2017) sind. Dies kann in Ausschreibungen zur Forschungsförderung adressiert werden: So besteht im Rahmen der Transformationsinitiative Stadt-Land-Zukunft zum Thema „Wasserversorgung der Zukunft“ (BMBF, 2024) für ausgewählte Projekte die Möglichkeit, nach Projektabschluss die **Förderung von Transferprojekten** von bis zu zwei Jahren. Damit soll der Praxistransfer der entwickelten Lösungsansätze, also der Implementierung maßgeblich gestärkt werden.

### 2.3.6 Prognosefähigkeit

Liegt kein adäquates Controlling für die Ressource Wasser vor, kann der Mehrwert der Innovationen Wasserwiederverwendung – operativ und strategisch – nicht zielführend aufgezeigt werden. Ein wasserbezogenes Controlling hat damit zwei Blickwinkel: Einerseits schafft es die Voraussetzungen für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource im Unternehmen, indem das Bewusstsein für alle internen Akteur:innen/ Stakeholder geschärft wird. Andererseits bietet es Transparenz sowie Vertrauen gegenüber externen Stakeholdern in abgeleitete Maßnahmen bzw. die entwickelte Innovation selbst (Christ and Burritt, 2017; Mahmud *et al.*, 2022; Eng, Fikru and Vichitsarawong, 2022). Hierdurch wird es auch erst möglich, die Auswirkungen von **Preisentwicklungen** einzuschätzen. Eine Prognose von Wasserkosten und -angebot, gestaffelt nach Qualität, kann die Implementierung wassersparender oder wasserwiederverwendender Technologien rechtfertigen.

### 2.3.7 Sekundäre Rohstoffe und Konzentrate

Besonders günstig ist es, wenn neben der Wasserwiederverwendung ein sekundärer Rohstoff gewonnen werden kann. Beispielsweise wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes bei einer Papierfabrik (Sappi in Ehingen) die Möglichkeit untersucht, das heiße Abwasser einer Bleicherei mittels keramischer Nanofiltration von den für dieses Abwasser typischen persistenten Verbindungen zu entfrachten. Damit sollten die nachfolgenden Abwasserbehandlungsstufen entlastet werden. Als sich ein Abnehmer für das Konzentrat, welches in erster Linie aus Lignin und Hemicellulosen besteht, meldete, wurde das Projekt mit hohem Nachdruck seitens der Kundschaft weiterverfolgt. Das Konzentrat ist für den Abnehmer, einem Chemieunternehmen, von hohem Wert, es wird als Grundstoff für hochwertige Produkte eingesetzt. Auch bei dem bereits im Kap. 4.1.1 beschriebene Verfahren zur Erzeugung technischen Gipses bei der Kupferhütte Atlantic Copper wurde mit einem Gips technischer Reinheit ein in unmittelbarer Nachbarschaft verwendetes **Sekundärprodukt erzeugt**. In beiden Fällen führen wirtschaftlich attraktive Konzentrate zur einer Win-Win-Situation.

Oftmals stellen Konzentrate aber eine Hürde für die Implementierung dar. Nämlich dann, wenn deren **Entsorgung unsicher** und oder teuer ist. Es besteht ein hoher Forschungs- und Innovationsbedarf für die Nutzung von Sekundärprodukten. Oft ist eine zusätzliche Konzentratbehandlung erforderlich, also eine weitere Implementierung. Der Leitfaden zur „Entscheidungsunterstützung für die Auswahl geeigneter Technologieoptionen“ (Strehl *et al.*, 2023) des Forschungsprojekts KonTriSol verdeutlicht, dass übliche Zielkonflikte zwischen z.B. finanziellen und ökologischen Entscheidungsparametern durch transparente Darstellung und Erweiterung um Szenarien und Unsicherheitsmodellierung eine ausgewogene Entscheidung zugunsten einer Alternative zur Implementierung ermöglicht.

## 2.4 Gesetzeslage

Gesetze und Regelungen können sowohl als Treiber als auch als Hemmnis wirken. Diese Überlegungen basieren einerseits auf der akademischen Perspektive der Neuen Institutionenökonomie (Stichwort: "enforcement"), andererseits auf praktischen Erfahrungen mit Behörden. (Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu), 2017)

### 2.4.1 Komplexe Genehmigungsverfahren und Stakeholderbeteiligung

Als Herausforderungen, demnach Hemmnisse, wirken hier z.B. die **Komplexität der Genehmigungsprozesse** und die Anzahl der beteiligten Behörden und externen Stakeholder. Aus Sicht eines Implementierungsprojektes zählen zu **Stakeholdern** neben solchen innerhalb der beteiligten Firmen, wie z.B. Mitarbeitende, auch Personen außerhalb des Projektkonsortiums, wie z.B. Kund:innen, Kapitalgebende oder die Nachbarschaft (EMAS, 2024). Aus Sicht der Technologieentwickler:innen kann die Diskussion der Stakeholder zum entwickelten Verfahren teilweise zu erheblichen Verzögerungen in der Markteinführung führen. Andererseits ist die angemessene Prüfung der Technologien und **Beteiligung** interessierter Parteien aus gesellschaftlicher Sicht zur präventiven Technikfolgenabschätzung nachvollziehbar (Decker and Schippl, 2015). Für Technologieentwickler:innen gilt es, diese Phase finanziell abzusichern. Fördermittelgeber:innen können diese kritische Phase einbeziehen und Mittel bereitstellen.

Eine wichtige Rolle spielt die **Einleitgenehmigung**. Ist sie für die Innovation nicht oder nur sehr schwierig zu bekommen, liegt aber für das konventionelle Verfahren vor, stellt dies die Implementierung einer Erstreferenz stark infrage bzw. erfordert einen sehr hohen persönlichen Einsatz aller Projektbeteiligten (siehe auch → **Engagement**).

### 2.4.2 Politischer/Gesellschaftlicher Druck

Werden hingegen bei der Nutzung konventioneller Wasseraufbereitungsverfahren beispielsweise **Einleitgenehmigungen** entzogen oder ist eine Produktionserweiterung mit einer Steigerung des Abwasseranfalls geplant, ist der Handlungsdruck bzw. **gesellschaftliche Druck** durch betroffene Stakeholder für eine neuartige Umsetzung und daher die Möglichkeit, innovative Lösungen zu implementieren, sehr groß (Schindler, 2024). Gleichzeitig ist es unterstützend, wenn bei neuen eingesetzten Aufbereitungsmethoden die Gesetzeslage für beispielsweise entstehende Abbauprodukte klar geregelt ist. Behörden benötigen zur Erteilung von Einleitgenehmigungen Gutachten zur Gefahrenabschätzung. Im derzeit laufendem Projekt Med-zeroSolvent (B. Braun Avitum Saxonia GmbH, 2024) war die Kommunikation mit den Behörden und eine Einschätzung der Umwelteinflüsse der aufzubereitenden Stoffe und der Abbauprodukte folgerichtig Teilziel des Projektes. Hier wurden die Ergebnisse über Tests dieser Einflüsse im Dialog mit der Behörde bewertet.

### 2.4.3 Hürden durch bestehende Regulierungen

In manchen Fällen können Innovationen durch sich **hinderliche Regulierungen** die Implementierung gefährden. So wird die Anwendung von Legionellen unterdrückenden Verfahren dadurch erschwert, dass zu jeder Zeit die Einhaltung der BImSG 43 gewährleistet sein muss. Das Animpfen mit geeigneten Bakterien, die wie bei biologischen Prozessen üblich, eine gewisse Zeit zur Etablierung benötigen, ist dadurch nur sehr eingeschränkt möglich.

Wenn mit dem neuen Verfahren **umfangreiche Analysen** vorgeschrieben sind, kann dies ein Ablehnungsgrund für Kund:innen sein, die kein eigenes Wasseranalyselabor betreiben und den zusätzlichen Aufwand scheuen.

#### 2.4.4 Wissenskommunikation

**Geeignete Wissenskommunikation** zum eigenen Implementierungsprojekt bietet hier einen großen Hebel. Ein gelungenes Beispiel ist die frühzeitige Einbindung relevanter deutscher Behörden in die Regelungen zu Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS), um Umweltwirkungen zu identifizieren und geeignete Maßnahmen und Grenzwerte festzulegen (Stoll, 2024). Ferner können Fort- und Weiterbildungen innerhalb der Genehmigungsbehörden sowie ein kollegialer Austausch zwischen beteiligten Behörden hinweg diese Wissenslücken nachhaltig schließen. Ein neutrales Beratungsangebot für Genehmigungsbehörden sowie kommunale Planer:innen durch übergeordnete Wasserbehörden bzw. Leitfäden, die z.B. aus Forschungsvorhaben wie WavE resultieren, wären in der Lage, Lösungen anzubieten. In anderen Fällen besteht möglicherweise gegenüber den beteiligten Behörden auch ein Misstrauen. In China sind Fälle bekannt, in denen aus der Historie der mangelhaften Zusammenarbeit oder suboptimalen Entscheidungen heraus innovative Projekte nicht implementiert worden sind. In Taiwan sind wegen mangelndem Vertrauen in die Trinkwasserprüfbehörden haushaltsübliche Filter der Firma Britta und Einwegwasserflaschen weit verbreitet, obwohl das Trinkwasser den Grenzwerten genügt.

Der Prozess der Vergabe enthält ähnliche Herausforderungen, namentlich die aufwendigere Ausschreibung bezüglich der Charakterisierung der neuartigen Systemkomponenten, die Wasserwiederverwendung ermöglichen fernab standardisierter, üblicher Textelemente. Auch hier kann eine Begleitung der Implementierungsprojekte durch Personen der ausschreibenden Institution dies deutlich vereinfachen. Ein Haupthindernis stellt die Einleitgenehmigung dar, vor allem, wenn nicht auf bereits etablierte ähnlich gelagerte Fälle zurückgegriffen werden kann. Es ist in diesem Falle erforderlich, die **Genehmigungsbehörden frühzeitig** einzubeziehen. Hürden können sich unternehmensintern dahingehend ergeben, dass der betriebsinterne Vergabeprozess auch für die Erstreferenz eine EU-weite Ausschreibung vorschreibt und nicht am Projekt beteiligte Technologieanbieter:innen einbezogen werden müssten (siehe auch → Engagement bei LagoonMemb). Hierdurch ist die Beteiligung der Technologieanbietenden an Entwicklungsprojekten gefährdet, weil diese die Entwicklungskosten tragen, dann aber nicht von der Vergabe profitieren können.

## 2.5 Lokale Gegebenheiten

Weiterhin einflussnehmend auf die erfolgreiche Projektimplementierung sind die lokalen Gegebenheiten der jeweiligen Standorte und Branchen.

### 2.5.1 Personalbedarf und Weiterbildung

Zwingend erforderlich ist es, den Ausbildungsstand des Bedienpersonals des neuen Verfahrens zu beachten. Erfordert das neue Verfahren einen **hohen Bildungsstand**, ist dies eine ernstzunehmende Hürde, weil dies bedeutet, dass die Implementierung des neuen Verfahrens höhere Personalkosten bedingt und das Personal u. U. lokal schwer zu bekommen ist. Dem kann bis zu einem gewissen Grad dadurch begegnet werden, dass das **Bedienpersonal** ausreichend eingewiesen wird und entsprechende **Weiterbildungsmaßnahmen** angeboten werden. Eine abgesicherte Betreuung und gute Kommunikation kann insbesondere in weniger besiedelten Gebieten von hoher Bedeutung sein, wenn der erforderliche Bildungsstand vor Ort nicht verfügbar ist oder es Bedenken der lokalen Bevölkerung gegenüber der Innovation gibt. Dies kann zusätzliche Kosten für erhöhten Personalaufwand erfordern. Unter Umständen können digitale Technologien zur Fernwartung Abhilfe bieten.

Bei Neuentwicklungen ist zu Beginn der Testphase ein besonders hoher Grad an Betreuungsaufwand erforderlich, da Parameter eingestellt und validiert werden müssen. Diese Optimierungsphase zur Beseitigung der "Kinderkrankheiten" muss zwar jede Anlage durchlaufen, doch eine Neuentwicklung erfordert oft einen deutlich höheren und länger andauernden Personaleinsatz. Wichtig ist es, sich hiervon nicht irritieren zu lassen, sondern im Vorfeld genügend Zeit für Leerlauf bei Umbauten und für Wiederholungen zu berücksichtigen

### 2.5.2 Standorthistorie und Flächenbedarf

Die Implementierung selbst besonders geeigneter Neuentwicklungen können, wenn sie einen **hohen Platzbedarf** aufweisen, an mangelnder verfügbarer Fläche scheitern. In bestehenden Industrieanlagen ist zusätzlicher Platz oft schlicht nicht verfügbar.

Gewachsene Industriestandorte, bei welchen die angewandten Verfahren hochgradig miteinander verflochten sind, stellen eine besondere Herausforderung an die **Integrierbarkeit** neuer Verfahren dar. Dies betrifft nicht nur den Platzbedarf und die Rohrleitungsführung, sondern insbesondere auch die Regelung des neuen Prozesses im Kontext der Gesamtanlage und eine auskömmliche Wärmebilanz bei betriebsübergreifenden Maßnahmen. Selbst wenn das wiederzuverwendende Wasser die erforderliche Qualität aufweist, kann das Wasser zu kalt oder zu warm sein, so dass der Energiebedarf für die Temperierung den Nutzen der Wasserwiederverwendung zunichte macht.

### 2.5.3 Ressourcenverfügbarkeit

**Konkurrenz um die Ressource** Wasser erfordert eine hohe Zusammenarbeit aller Stakeholder, um die Bereitstellung abzusichern, und die ausgewogene Verteilung der Ressource Trinkwasser in Menge und Qualität z.B. zwischen Landwirtschaft, Industrie und Privathaushalten nicht zu gefährden. Gerade bei neuangesiedelten Industrien mit hohem Wasserverbrauch (Halbleiterindustrie, Tesla) ist ein Zusammenarbeiten zur Erörterung neuer Lösungsansätze unabdingbar.

Im Zuge der Diskussion um Standortansiedlungen kann Wasserkonkurrenz auch zu behördlichen Auflagen oder aber bei lokaler Wasserknappheit zur Standortverlagerung bzw. -gefährdung führen (Schindler, 2024). Wenn die restlichen Rahmenbedingungen für die Ansiedlung oder Erweiterung der Industrie an diesem Standort günstig sind, kann eine lokale

Wasserknappheit auch die Implementierung von frischwassersparenden oder wasserwiederverwendenden Innovationen überaus begünstigen (siehe auch → **Leidensdruck**).

#### 2.5.4 Lokale Emissionen und eingeschränkte Transportwege

Zusatznutzen von Innovationen der Wasserwiederverwendung (sog. co-benefits) können den Implementierungserfolg erhöhen. Beispielsweise können bei dem WavE-Verbundprojekt NERA (TU Clausthal, 2024) schwermetallhaltige, anorganische Fällschlämme aus der Abwasseraufbereitung in der Automobilindustrie über eine deutliche Erhöhung der Metallgehalte in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden anstatt sie als Sonderabfall deponieren zu müssen. Neben den wirtschaftlichen Vorteilen führt dies auch zu erheblichen **Emissionsvermeidungen**. Für die unmittelbare Nachbarschaft können wiederum mit einer Implementierung verbundene Emissionen (z.B. Lärm, Geruch, Abgas) zu Widerstand führen.

Transportwege für Schiffe, die in trockenen Sommern und durch den Klimawandel strapaziert sind, also eine **unsichere Schiffbarkeit**, können lokal zu Anlieferungs- und Versorgungslücken führen (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), 2023). Die lokale Wiedergewinnung von Salz in der Chemieindustrie kann diesen Transportengpass teilweise minimieren (siehe auch → RIKovery, Kap. 5 Leuchtturm). Ein anderer Ansatz hierfür ist die Vermeidung der Zugabe von Wasseraufbereitungskemikalien, indem Wasser elektrochemisch aufbereitet wird (vgl. NERA). Auch Insellagen, wie z.B. Langeoog als Pilotstandort des WavE Verbundprojekts innovatION, stellen zumindest Herausforderungen für den An- und Abtransport nötiger Geräte und Betriebsmittel dar.

#### 2.5.5 Kulturelle und religiöse Einflussfaktoren

Kulturelle Diversität - kreative Herangehensweisen und Perspektiven - kann Innovationsprojekte bereichern. Mit der Vielseitigkeit der Perspektiven und Umsetzungsmethoden ergeben sich aber auch Herausforderungen. Besteht ein Team aus **unterschiedlichen Kulturen**, muss nicht nur auf klare, sondern auch auf die Berücksichtigung lokaler Besonderheiten der Kommunikation bei der Umsetzung geachtet werden. Hier sind vor allem Zuständigkeit, aber auch Pünktlichkeit, Verständnis von Vertragsangelegenheiten, und Erwartungshaltungen hinsichtlich der Projektziele als beispielhafte Punkte zu nennen. Auch ist die Risikobereitschaft in einigen Kulturen ein hohes Gut, wohingegen in anderen Regionen nur vorsichtig und zögerlich neue Wege ergründet werden.

**Religiöse Gebote** spielen eine große Rolle. Aufbereitete Wässer aus Abwasserströmen für die Nahrungsaufnahme unterliegen nicht nur hygienischen, sondern auch kulturell-religiösen Anforderungen. Hier ist als Beispiel der Einsatz aufbereiteten kommunalen Abwässers zu Trinkwasser oder in der Nahrungsmittelindustrie zu nennen. Dies ist in muslimisch geprägten Kulturen nicht gestattet, wird aber bei der Verknappung der Ressource Wasser bedeutsam. Beispielsweise wurde in Namibia Abwasser direkt zu Trinkwasser aufbereitet. Namibia ist damit eins von sehr wenigen Ländern, in denen dies möglich ist. In Kuwait hingegen wurde in der Vergangenheit, trotz finanziell deutlich vorteilhafterer Verwendung des aufbereiteten Abwassers als Trinkwasserressource, die aufwendige Installation eines zweiten kompletten Wassernetzes für Nicht-Trinkwasseranwendungen im gesamten Stadtgebiet bevorzugt. Solche Machbarkeitsanforderungen müssen im Vorfeld eines jeden Projektes sorgfältig recherchiert werden.

### 3. Leuchtturmprojekte

#### 3.1 NaCl-Recycling in Re-Salt / RIKovery

<b>STECKBRIEF: Re-Salt / Rikovery</b> 	
<p><b>Hürden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hohe Anforderungen an Betriebssicherheit</li> <li>- komplexe Wechselwirkungen von Stoffsystemen und -betrieben</li> <li>- Aufwand für Qualitätsmanagement</li> <li>- technologische Herausforderungen</li> <li>- fehlende Referenzanlagen/-verfahren</li> <li>- fehlende Wirtschaftlichkeit</li> <li>- Mehrkosten nicht erzielbar</li> <li>- Lücken in der Nachhaltigkeitsbewertung</li> <li>- Komplexe Genehmigungsprozesse</li> <li>- Personalknappheit in den Betrieben</li> <li>- Diversifizierung der Unternehmen in Chemieparks</li> </ul> <p><b>Begünstigungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Wertschätzung von Nachhaltigkeit im Unternehmen</li> <li>+ Innovationskultur</li> <li>+ Beitrag zur Sicherung von Produktionsstandorten</li> <li>+ Gewinnung alternativer Ressourcen</li> <li>+ Unabhängigkeit der Entsorgung</li> <li>+ Geringere Abhängigkeit von Schiffbarkeit</li> <li>+ Zusammenarbeit zwischen den F&amp;E-Partnern</li> <li>+ Anschubfinanzierung für Erstreferenz</li> <li>+ klare Kommunikation zwischen den Partnern</li> <li>+ Bereitschaft zu jahr(zehnt)elanger F&amp;E</li> <li>+ Parallelität von Implementierung und weitergehender F&amp;E</li> </ul>	<p><b>Koordination Re-Salt &amp; RIKovery</b></p> <p>COVESTRO Deutschland AG, Leverkusen</p>  <p><b>Verbundprojektpartner Re-Salt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe</li> <li>• Donau Carbon GmbH, Frankfurt am Main</li> <li>• Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für mechanische Verfahrenstechnik, Wassertechnik, Duisburg</li> <li>• Dechema-Forschungsinstitut, Frankfurt am Main</li> <li>• EnviroChemie GmbH, Roßdorf</li> <li>• SolarSpring GmbH, Freiburg</li> <li>• Technische Hochschule Köln, Köln</li> </ul> <p><b>Verbundprojektpartner RIKovery</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AFIN-TS Analytisches Forschungsinstitut für Non- Target Screening GmbH, Augsburg</li> <li>• BWS Anlagenbau &amp; Service GmbH, Oberndorf a.N.</li> <li>• Evonik Operations GmbH, Hanau-Wolfgang</li> <li>• K+S AG, Unterbreizbach</li> <li>• RWTH Aachen</li> <li>• Technische Hochschule Köln</li> <li>• TZW: DVGW – Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe</li> </ul>
<p><b>Website Re-Salt:</b>  <a href="http://www.bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/Re_Salt-p-148">www.bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/Re_Salt-p-148</a></p> <p><b>Website RIKovery:</b>  <a href="http://www.bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/RIKovery">www.bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/RIKovery</a></p>	
<p><b>Kontakt: Covestro</b>      Dr. Yuliya Schießler                  Kaiser-Wilhelm-Allee 60                  51373 Leverkusen                  Tel.: +49 214 6009 5461                  E-Mail: <a href="mailto:yuliya.schiesser@covestro.com">yuliya.schiesser@covestro.com</a></p>	



NaCl Recycling bei Covestro. Quelle: Covestro.

In vielen industriellen Prozessen fallen beträchtliche Mengen Abwasser an, in denen hohe Konzentrationen an Inertsalzen enthalten sind. Das **Einleiten** hoher Salzfrachten in Oberflächengewässer stellt eine große Belastung für das Ökosystem dar, insbesondere bei kleinen Vorflutern oder, wenn diese für die Trinkwassergewinnung genutzt werden. Die F&E-Vorhaben der Covestro beschäftigen sich mit der Wiedergewinnung des in industriellen Abwasserströmen enthaltenen Salzes (NaCl) und dessen Rückführung als Rohstoff in die Chlor-Alkali-Elektrolyse, sowie mit der Nutzung des anfallenden Wassers.

Gründe Covestro:

- + Wertschätzung Nachhaltigkeit
- + Gute Innovationskultur
- + Sicherung der Produktion
- + Gewinnung alternativer Ressourcen (Wasser und Salz)
- + Reduktion der Emissionen

Wie bei allen Recyclingprojekten spielt die Zuverlässigkeit des Betriebs im Kreislaufmodus eine entscheidende Rolle. Insbesondere gilt dies für die Anlagen zur Chlorerzeugung, welche zumeist einen gesamten Chemiepark versorgen und von denen somit ein Großteil des Produktionsnetzwerks abhängt. Ungeplante Stillstände von Chloranlagen führen zu erheblichem Produktionsausfall mit entsprechendem finanziellem Schaden. Außerdem kann die Kontamination des Sole-Kreislaufs der Elektrolyse zu einer erheblichen Steigerung des Energiebedarfes führen, was nicht nur finanzielle, sondern auch ökologische Nachteile zur Folge hat. Durch die Vielzahl an Einflussgrößen sind derartige Auswirkungen teilweise erst nach Monaten/Jahren sichtbar und es bedarf einer Detektivarbeit im Vorfeld, um die komplexen Zusammenhänge zu verstehen.

Entscheidend für den Erfolg des Salzwasserrecyclings bei Covestro war die Beschäftigung damit, lange bevor wirtschaftlich und technologisch an eine Umsetzung zu denken war. Nur durch diese umfangreichen Grundlagenuntersuchungen zu den Wechselwirkungen von Prozesswässern und Elektrolyseprozess war es möglich, dann irgendwann eine erste Anlage umzusetzen. Entscheidend ist daher, dass die jeweiligen F&E-Abteilungen die entsprechende **Freiheit** erhalten (bzw. sich nehmen können), sich mit relevanten Herausforderungen der Produktionsprozesse zu beschäftigen, auch wenn eine Umsetzung noch in weiter Ferne ist.

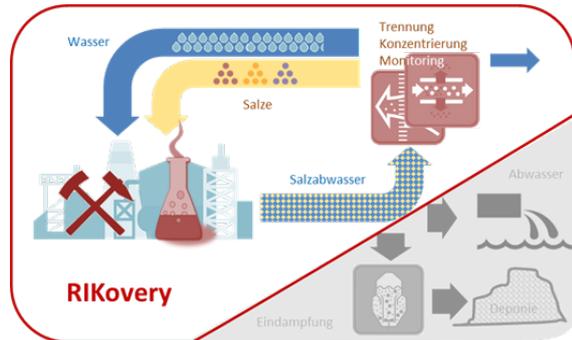
Die erste großtechnische Pilotanlage in Deutschland konnte aufgrund der langen Amortisationszeit dann nur dank der **Anschubfinanzierung** seitens Umweltinnovationsprogramm gebaut werden (Cycle-Projekt). Erfolgsentscheidend für das Gesamtziel des Salzrecyclings bei Covestro war und ist, diese laufende Anlage (inzwischen Anlagen) mit einer intensiven Fortführung der F&E-Aktivitäten zu kombinieren, um den Prozess abzusichern, auf andere Standorte zu übertragen, und insbesondere, um Technologien und Verfahren zur Ausweitung des Recyclings zu entwickeln (→**Rolloutpotenzial**). Im Einzelnen sind hierbei folgende Bausteine besonders hervorzuheben:

1. Analytische Überwachung der Recyclingströme. Es gab anfangs auf dem Markt kaum Analyseverfahren und Dienstleister, die die **erforderlichen Analysen** in der stark durch Salz belasteten Matrix angeboten haben. Die Entwicklung dieser kann ein Industrieunternehmen alleine kaum stemmen. In enger Kooperationen mit internen und externen Partnern wurden diese Methoden und Probenvorbereitungstechniken in öffentlich geförderten Projekten entwickelt und anschließend unter anderem bei Covestro implementiert.
2. Die Soleaufbereitungsverfahren sind technologisch teilweise nicht trivial. Die große Herausforderung besteht darin, ein sowohl ökonomisch als auch ökologisch (Energieintensität!) sinnvolles Recyclingverfahren zu entwickeln. Aufgrund der **fehlenden Technologien und Erfahrungen/Referenzfälle** sind lange Entwicklungszeiten und relevante Entwicklungskosten anzusetzen, um ein Verfahren vom Labor über Pilotierung bis hin zu Implementierung zu bringen. Auch hier ist die Kooperation mit externen **fachkundigen und motivierten Partnern** essenziell, was in den meisten Fällen in der erforderlichen Intensität nur in öffentlich geförderten Kooperationsprojekten gelingt. Dabei mussten für ein Energie-effizientes Salzrecycling auch technologische Prototypen genutzt werden, die zusätzlich von den Technologieanbietern (z.B. Membranherstellern) auf den Markt gebracht werden müssen und wo die F&E-Aktivitäten zur einer Marktentwicklung beitragen.
3. Recyclingprojekte über Unternehmensgrenzen hinweg scheitern häufig an fehlenden Referenzerfahrungen. Zu beachten ist, dass bei unternehmens- oder sektorübergreifenden Wiederverwendungsprojekten sämtliche technologischen Fragen **vertragliche Bedeutung** erhalten, was den Aufwand für die Implementierung um ein Vielfaches erhöhen kann. So konnte auch bei Covestro das Salzrecycling an einem Standort mit einem externen Chlorhersteller erst begonnen werden, nachdem die interne Referenzanlage in Betrieb gegangen war.
4. Inwieweit ein technologisch und energetisch aufwendiges Recyclingverfahren tatsächlich ökologische Vorteile bringt, muss mittels eines LCA gezeigt werden (der water footprint alleine reicht nicht aus!). LCA ist ein wichtiges und mächtiges Instrument, befindet sich aber auch in ständiger Weiterentwicklung. So wurden die Auswirkungen von salzhaltigen Abwässern auf Oberflächengewässer erst im Laufe der Salzrecyclingaktivitäten der Covestro integriert. Eine positive LCA-Bilanz ist ein wichtiger Treiber für die Implementierung, kann aber auch kein alleiniges Entscheidungskriterium sein. Ggfs. muss eine ausführliche **Stakeholderanalyse** die wesentlichen Vorteile des anvisierten Recyclingverfahrens aufzeigen.

## Einblicke Re-Salt und RIKovery



Re-Salt Logo



RIKovery Logo



Re-Salt Team (Quelle: Covestro)



RIKovery Team (Quelle: Covestro)



Recycling-Anlage am Standort Krefeld-Uerdingen von Covestro (Quelle: Covestro)

## 3.2 innovatION

<b>STECKBRIEF: innovatION</b>		
<p><b>Hürden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besonderheit der Pandemiephase</li> <li>- Lieferschwierigkeiten</li> <li>- lokale Gegebenheiten: Insellage schwierige Logistik</li> <li>- lokale Gegebenheiten: Naturschutzgebiet</li> </ul> <p><b>Begünstigungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ vertrauensvolle Kooperation</li> <li>+ Technologieanbieter &amp; Kunde: Innovationskultur</li> <li>+ Technologieanbieter: Risikobereitschaft</li> <li>+ Technologieanbieter: hohe Eigenmotivation</li> <li>+ Kunde: hohe Bereitschaft der lokalen Mitarbeiter</li> <li>+ Kunde: hoher Leidensdruck</li> </ul>	<p><b>Koordination</b></p> <p>Technische Universität Dresden, Professur für Verfahrenstechnik in Hydrosystemen</p>  <p><b>TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN</b></p> <p><b>Verbundprojektpartner</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technische Universität Dresden, Dresden, Professur für BWL, insb. Nachhaltigkeitsmanagement und Betriebliche Umweltökonomie</li> <li>• Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, AG Hydrogeologie und Landschaftswasserhaushalt, Oldenburg</li> <li>• Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. AG Polymere Membranmaterialien (IPF), Dresden</li> <li>• FUMATECH BWT GmbH, Bietigheim-Bissingen</li> <li>• DEUKUM GmbH, Frickenhausen</li> <li>• elkoplan staiger GmbH – Automation für die Umwelt- und Verfahrenstechnik, Nürtingen</li> <li>• Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband (OOWV), Brake</li> <li>• Kreisverband für Wasserwirtschaft Nienburg, Nienburg</li> <li>• KWR Water B.V., Nieuwegein, Niederlande (assoziierter Partner)</li> <li>• United Nations University, Inst. for Integrated Management and Material Fluxes and of Resources. Dresden (assoziierter Partner)</li> </ul>	
<p><b>Website innovatION:</b>  <a href="http://www.innovat-ion.de/de-DE">www.innovat-ion.de/de-DE</a></p>		
<p><b>Kontakt: Technische Universität Dresden</b></p> <p style="text-align: right;">Prof. Dr.-Ing. André Lerch          Professur für Verfahrenstechnik in Hydrosystemen          Bergstraße 66          01069 Dresden          Tel.: +49 351 463-37537          E-Mail: <a href="mailto:andre.lerch@tu-dresden.de">andre.lerch@tu-dresden.de</a></p>		

Im Forschungsprojekt innovatION („Selektive Entfernung monovalenter Ionen aus salzhaltigen Wässern für die Grundwasseranreicherung und Trinkwasseraufbereitung“) arbeiten zehn Partner aus Praxis und Forschung im Förderprogramm WavE. Ziel ist es, für Grundwasser selektive Membranen für einen spezifischen Rückhalt monovalenter Salze zu entwickeln und in neukonstruierten Modulen für den Einsatz in einem elektrochemischen Verfahren (hier: MCDI) in Labor- und Pilotanlagen zu verbauen sowie die nachhaltige Leistungsfähigkeit dieser Innovation zu identifizieren. Die Implementierung der im Projektverlauf entstandenen Pilotanlage erfolgt an zwei Standorten in Norddeutschland: auf Langeoog und in Nienburg. Auf

Langeoog soll die selektive Entfernung von NaCl, verursacht durch eine natürliche Salzwasserintrusion in die Süßwasserlinse der Insel, in Nienburg die Nitratbelastung bestehender Trinkwasserbrunnen adressiert werden. Die Pilotanlage ist in den lokalen Wasserwerken integriert und kann 10 bis 100 l/h Feedwasser aufbereiten. Zuvor wurde ein Versuchsaufbau im Labormaßstab für rund 5 l/h zu Testzwecken entwickelt. Die technologische Herausforderung besteht in der Maximierung der monovalenten Ionenselektivität, die neben den Membraneigenschaften auch durch Prozessparameter beeinflusst wird. Die Pilotanlage besitzt eine vollautomatische Mess- und Steuertechnik und führt automatisch Reinigungsintervalle durch. Für diesen Leitfaden sind die Erfahrungen für den Standort Langeoog maßgeblich.

Nach Interviews mit den Projektbeteiligten sind vor allem folgende Begünstigungen und Hürden relevant: der Kunde mit **Leidensdruck**, **eigenen Ideen** und Kooperationsbereitschaft, die Technologie-/ Anlagenbauer mit **hohem persönlichem Einsatz**, **Innovationskultur** bei allen beteiligten Projektpartnern sowie die Kosten zur Sicherung der Produktion (Fördermittel).

1. Der Implementierungserfolg von innovatION ist eng mit den im Verbund bestehenden Wasserversorgern, dem Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband (OOWV) und dem Kreisverband für Wasserwirtschaft Nienburg (KWN), als potenzielle Kunden der neuen Technologie verknüpft. Der OOWV hat z.B. einen **hohen Leidensdruck**: Die Versorgung des Verbandsgebiets basiert einzig auf Grundwasser. Da die Erweiterung von Wasserrechten für die wachsende Wassernachfrage eher schwierig zu gestalten ist, gilt es u.a. neue Formen der Wasserwiederverwendung zu nutzen. Auf Langeoog und an Küstenstandorten bestehen dazu eine real existierende, natürliche Salzwasserintrusion. **Eigene Ideen** sind bereits vielfältig entwickelt und getestet: Der OOWV gilt als einer der innovativsten Wasserversorger, der sich mehrfach in Förderprojekten beteiligt (u.a. [TrinkWave](#), [MULTI-ReUse](#)) und auch institutionell mit Abteilungen zur strategischen Assetplanung und internationalen Zusammenarbeit und Innovationsnetzwerken aufgestellt ist. Im Projekt innovatION hat sich eine **vertrauensvolle Kooperation** und **hohe Bereitschaft der lokalen Mitarbeiter** des Wasserwerks herausgebildet. Die Wasserwerksmitarbeiter auf Langeoog unterstützen den Aufbau und den Betrieb durch **persönliches Engagement**, sie sind sich der Bedeutung einer hohen Wasserqualität für den Tourismus bewusst.
2. Die in innovatION agierenden Technologieanbieter, insb. die DEUKUM GmbH, FUMATECH BWT GmbH, elkoplan staiger GmbH, das Leibniz-Instituts für Polymerforschung Dresden e. V. und die Technische Universität Dresden, zeigen grundsätzlich ein **hohes Engagement** und „Tüffelinteresse“. Jeder Partner hat dabei verschiedene Prämissen der Betonung der Verfahrensentwicklung, der Publikation der Ergebnisse, dem Bau einer Anlage, aber es eint die **Innovationskultur** und **Risikobereitschaft**. Für die Anlagenbauer heißt das Ressourcen für Entwicklung der Innovation zur potenziellen Entwicklung eines Geschäftszweiges bereitzustellen, obwohl andere Produktbereiche gegenwärtig mehr Rendite versprechen. Das Aufbauen der Pilotanlage erforderte temporär Arbeiten jenseits des 8-Stunden-Tages, das die Projektpartner durch eine **hohe Eigenmotivation** umgesetzt haben. Die im Projektverlauf aufgetretenen Lieferschwierigkeiten einzelner Anlagenkomponenten, führten teilweise zu Verzögerungen im Projektablauf. Sie konnten durch intelligente Lagerhaltung und persönlichen Mehreinsatz kompensiert werden. Die Innovationskultur hilft auch, typische Verzögerungen im Innovationsprozess durch temporäre Misserfolge im Verbund auszuhalten. All dies führte zur erfolgreichen Implementierung der Pilotanlage im Sommer 2023 auf Langeoog.
3. Wichtig ist die **Anschubfinanzierung**, finanzielle Förderung der Pilotierung durch das BMBF, um die Kosten für Forschung und Entwicklung abzudecken. Für die Praxispartner erlaubt dies überhaupt erst die Beschäftigung mit dieser Innovationsentwicklung, analog zu den akademischen Partnern. Damit ermöglicht diese Finanzierung erste Schritte auf dem

Weg zu einer nötigen Erstreferenz. Für innovatION ist der Weg mit dem Bau der Pilotanlage noch nicht zu Ende; eine **Anschlussfinanzierung** ist nötig. Der gegenwärtige Fokus liegt auf Machbarkeit und der Maximierung der Entsalzungsleistung, anschließend können Effizienzverbesserungen und Strategien des Konzentrats adressiert werden. Der OOWV versucht, Preisanpassungen bei der Trink- und Brauchwasserbereitstellung aufgrund des oben genannten Leidensdrucks zu vermeiden. Dabei ist zu beobachten, dass **Wasserversorger** wie der OOWV in **längeren Entscheidungshorizonten** als Industrieunternehmen denken und hier auch Innovationen in einer frühen Phase der Entwicklung mit hohem Potenzial unterstützen.

4. Unter den lokalen Gegebenheiten sind für die Implementierung folgende Aspekte zu nennen: Langeoog stellte die Projektpartner einerseits vor logistische Herausforderungen (für die Entnahme von Proben, für den Bau der Anlage), da die Insel nur per Fähre und ohne Autoverkehr erreichbar ist (→ **Geringe Schiffbarkeit**). Andererseits bietet der Standort natürliches Grundwasser mit realitätsnahen Schwankungen organischer sowie anorganischer Konzentrationen. Eine künstliche Ansalzung, wenn nötig, konnte aufwandsarm ebenfalls zu Testzwecken erfolgen.

### Einblicke innovatION



Arbeitstreffen – Foto: FUMATECH © 2023



Laboranlage – Foto: Hanna Rosentreter, TUD © 2022



Probenentnahme – Foto: Hanna Rosentreter, TUD © 2022



Pilotanlage – Foto: David Schödel TUD © 2023



Arbeitstreffen auf Langeoog – Foto: David Schödel TUD © 2023

### 3.3 NERA

<b>STECKBRIEF: NERA</b>		
<p><b>Hürden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Neue Materialien</li> <li>- Neue Reaktortechnik</li> <li>- Neuer gekoppelter Prozess</li> <li>- Unbekannte Scale-up Anforderungen</li> <li>- Diversität in der Abwasserzusammensetzung</li> <li>- Hohe Anforderungen an Betriebssicherheit</li> <li>- Hohe Anforderungen an Konstruktion und Fertigungsqualität</li> </ul> <p><b>Begünstigungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohes CO2 Emissionsminderungspotenzial</li> <li>+ Minderung der Lieferkettenabhängigkeit</li> <li>+ Wiederverwertungspotenzial für Schwermetalle</li> <li>+ hohes Wirtschaftlichkeitspotenzial</li> <li>+ eingespieltes Entwicklungskonsortium</li> <li>+ komplementäres Wissen und Erfahrungshorizont im Konsortium</li> <li>+ klar definierte Entwicklungsansätze und -strategien</li> </ul>	<p><b>Koordination</b> CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal</p> <p style="text-align: center;"> TU Clausthal </p> <p><b>Verbundprojektpartner</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Common-Link AG, Karlsruhe</li> <li>• Eisenhuth GmbH &amp; Co. KG, Osterode am Harz</li> <li>• Institut für Chemische und Elektrochemische</li> <li>• Verfahrenstechnik der TU Clausthal (ICVT), Clausthal-</li> <li>• Zellerfeld</li> <li>• Volkswagen AG (assoziiertes Partner), Braunschweig</li> </ul>	
<p><b>Website NERA:</b> <a href="http://www.projekt-nera.de">www.projekt-nera.de</a></p>		
<p><b>Kontakt: CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal</b>                  Prof. Dr.-Ing. Michael Sievers                  Abwasserverfahrenstechnik                  Leibnizstraße 21+23                  38678 Clausthal-Zellerfeld                  Telefon: +49 5323 72-6243                  E-Mail: <a href="mailto:michael.sievers@cutec.de">michael.sievers@cutec.de</a></p>		

NERA zielt auf den Ersatz der chemikalienbasierten durch eine chemikalienfreie Abwasserbehandlung mittels elektrochemischer Methoden in der metallverarbeitenden Industrie. Die chemikalienfreie Behandlung reduziert die Salzfracht im behandelten Abwasser und begünstigt eine wirtschaftliche Rückgewinnung von Prozesswasser, weil die Salzentrfernung aus Wasser zu den relativ aufwendigen Wasseraufbereitungsmethoden zählt.

Im Projekt soll basierend auf neuen Materialeigenschaften von Elektroden ein neuer Reaktor, ein neues Verfahren und eine neue Behandlungsstrategie entwickelt und mit Hilfe einer neu zu bauenden Pilotanlage untersucht werden. In Zusammenarbeit mit einer Produktionsstätte der VW AG ist die Behandlung sehr unterschiedlicher Abwässer aus der Metallbearbeitung in Vor-Ort-Pilotversuchen für eine wirtschaftliche und ökologische Bewertung vorgesehen.

Ausgangspunkt von Idee und Ziel in NERA war eine Zufallsentwicklung aus dem Projekt RADAR (Koordinator Covestro AG, Förderschwerpunktprogramm MachWas), Es wurde ein Material gefunden, dass bei einer elektrochemischen Fällung kaum Ablagerungen auf der dimensionsstabilen Elektrodenoberfläche aufwies.

Dieses überraschende Potenzial ermöglichte zwar neue Chancen, die gleichzeitig mit entsprechend hohen Herausforderungen belegt sind: Es musste ein neuer Prozess, eine neue

Reaktortechnik und insbesondere ein neuer Abwasserbehandlungsprozess für eine praxisrelevante Umsetzung entwickelt werden. Zudem waren das Verhalten des elektrochemischen Prozesses bei zeitlich und in der Zusammensetzung stark wechselnden Abwasserinhaltsstoffen sowie bezüglich der Scale-up Anforderungen gänzlich unbekannt. Hohe Sicherheitsanforderungen waren zu beachten, weil hohe Ströme bis 500 A und eine, wenn auch geringe, Wasserstoffproduktion an einer Elektrode vorliegen.

Weitere, bei Projektbeginn unterschätzte Anforderungen betrafen die erforderliche Fertigungsqualität und Materialeigenschaften der gekauften Komponenten. Übliche Fertigungstoleranzen führten z.B. zu Undichtigkeiten in der Wellenlagerung, fehlende Montagehilfen zu unsauberen Drehbewegungen der Elektroden und schlechte mechanische Verbindungen zu erhöhten Stromleitungswiderständen.

In NERA wurden diese Herausforderungen im gesamten Team diskutiert und in mehreren iterativen Entwicklungsschleifen gelöst. Sinnvoll und hilfreich war in diesem Zusammenhang die Implementation einer gemeinsamen cloudbasierten Informationsplattform für alle Projektpartner. Diese enthält sämtliche Detailkonstruktionen für Einzelkomponenten, Bau- und Zukaufteile, um zahlreiche Missverständnisse in Bezug auf die maßgebliche Konstruktion, insbesondere bei fortlaufender und paralleler Weiterentwicklung konstruktiver Details zu vermeiden.

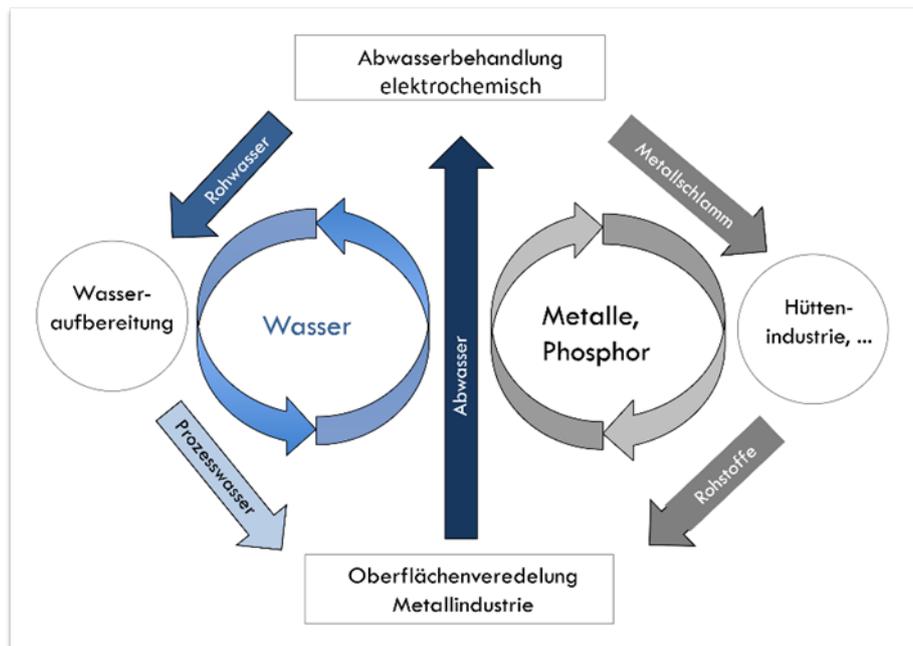
Unterschätzt wurde in NERA der Zeitaufwand für die Konstruktion, Fertigung und Montage der Pilotanlage. Bauteile mussten zunächst als Prototyp getestet werden, bevor sie in größerer Stückzahl in Auftrag gegeben werden konnten. Auch die Edelstahlqualität war entgegen zuvoriger Behauptungen unzureichend, versuchstechnisch wurde elektrochemische Korrosion festgestellt. Der durch die Energiekrise ausgelöste Liefer- und Personalengpass kamen noch hinzu.

Arbeits- und Zeitpläne mussten deshalb mehrfach geändert werden. Positiv war in diesem Zusammenhang, dass alle Projektpartner die diskutierten Änderungen voll unterstützten, z.B. das Vorziehen von einzelnen Arbeitspaketen, das Weglassen der Entwicklung einer Technikumsanlage für kontinuierliche Versuche und stattdessen eine proof-of-concept-Pilotanlage. Die auch vor Projektbeginn jahrelang bestehende gemeinsame und **vertrauensvolle Zusammenarbeit** des Konsortiums mag auch dazu beigetragen haben.

Die negativen Erfahrungen bezüglich der Anforderungen an die Fertigungsqualität führten zu dem gemeinsamen Entschluss, die „Flucht nach vorne“ anzutreten und für Vor-Ort-Versuche einen Prototyp mit entsprechendem Serienfertigungspotenzial zu entwickeln. Dieser Entschluss war nicht einfach, beinhaltete er de facto deutliche **Mehrausgaben** gegenüber der im Projekt eingeplanten Mittel. Getragen wurde dieser Entschluss durch (sehr) gute Zwischenergebnisse, die bestätigten, dass die o.g. Ziele erreichbar sind und insbesondere aufgrund der positiven **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung** ein **Vermarktungspotenzial** gegeben ist. Nicht zu unterschätzen war in diesem Zusammenhang, das nach wie vor große **Interesse des Kunden**, der VW AG, die zu diesem Zeitpunkt die erforderlichen Umbauarbeiten am Pilotstandort organisierte. Das große Interesse lag am Wirtschaftlichkeits- und Wassereinsparpotenzial sowie an der vollständigen Kompatibilität der Projektziele mit der eigenen „**Zero-Emission**“-**Firmenstrategie** in der Produktion.

Trotz dieser positiven Entwicklung wird es erforderlich sein, zusätzliche Mittel für den ausgedehnten Demonstrationsversuch mit dem Prototypen zu beschaffen, da die Finanzierungsmöglichkeiten der im Projekt beteiligten KMUs begrenzt sind, um potenzielle Kunden wie die VW AG von einer Praxisumsetzung zu überzeugen.

## Einblicke NERA



NERA-Kreislaufschemata. Quelle: NERA.



Anlage VW: Aktuelle Abwasserreinigungsanlage im VW-Werk in Braunschweig (Quelle: VW-Werk Braunschweig)



Im Rahmen des Projektes entwickelte Proof-of-Concept-Pilotanlagen“ (Quelle: CUTEC)

## 3.4 WEISS\_4PN

<b>STECKBRIEF: WEISS / WEISS_4PN</b>		
<p><b>Hürden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Finanzierung</li> <li>- Überzeugung des Managements</li> <li>- Überwindung von interner Bürokratie</li> <li>- Akquise von Kunden und Partnern</li> <li>- Umgang mit sensiblen Kunden-/Produktionsdaten</li> <li>- Verständnis fremder Fachgebiete</li> </ul> <p><b>Begünstigungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohes CO2 Emissionsminderungspotenzial</li> <li>+ Minderung der Lieferkettenabhängigkeit</li> <li>+ Wiederverwertungspotenzial für Schwermetalle</li> <li>+ hohes Wirtschaftlichkeitspotenzial</li> <li>+ eingespieltes Entwicklungskonsortium</li> <li>+ komplementäres Wissen und Erfahrungshorizont im Konsortium</li> <li>+ klar definierte Entwicklungsansätze und -strategien</li> <li>+ Erwartung eines Leidensdruckes</li> <li>+ Innovationsbereitschaft</li> <li>+ Investitionsbereitschaft</li> <li>+ Professionelle Pilotanlage</li> <li>+ Ausbau von Produktportfolio</li> <li>+ Neue/erweiterte Marktsicherung</li> <li>+ Reputation</li> <li>+ Engagierte Personen</li> <li>+ Professionelles Auftreten/Handeln</li> <li>+ Kenntnisse der. Anwenderanforderungen</li> </ul>	<p><b>Koordination</b> sms group</p> <p><b>SMS group</b></p> <p><b>Verbundprojektpartner</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• aixprocess GmbH, Aachen</li> <li>• ArcelorMittal GmbH, Eisenhüttenstadt</li> <li>• Technische Universität Berlin</li> <li>• Universität Duisburg-Essen (UDE)</li> <li>• VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI), Düsseldorf</li> <li>• WEHRLE Umwelt GmbH, Emmendingen</li> </ul> <p>Die Vielfalt des Verbundes, bestehend aus Lehre/Forschung, Anlagenbau und Anwender/Betreiber ergeben unterschiedliche Sichten auf den Implementierungswillen von Forschungs- und Pilotvorhaben.</p>	
<p><b>Website WEISS_4PN:</b>  <a href="http://www.sms-group.com/de-de/innovation/funding-projects/weiss-4pn">www.sms-group.com/de-de/innovation/funding-projects/weiss-4pn</a></p>		
<p><b>Kontakt: SMS group</b></p> <p style="text-align: right;">Stefan Schmidt                  Wiesenstraße 30                  57271 Hilchenbach                  Tel.: +49 2733 29 1660                  E-Mail: stefan.schmidt@sms-group.com</p>		

### Ziel / Implementierung:

Das Projekt WEISS\_4PN beschäftigt sich mit verschiedenen Ansätzen den Frischwasserbedarf der Stahlindustrie zu senken (WEISS = WasserEntsalzung Im StahlSektor). Eine Stahlindustrie ohne Wasser ist undenkbar, insbesondere als Kühlmittel (75% des verwendeten Wassers), oder als Reinigungsmittel oder Basis für Behandlungskemikalien – für die Stahlproduktion und -weiterverarbeitung ist Wasser ein existenzielles Betriebsmittel. Die Abnahme einer verlässlich-gleichbleibenden

Wasserverfügbarkeit durch den Klimawandel, ergibt die Notwendigkeit für eine Suche nach Werkzeugen zur nachhaltigen Senkung des Frischwasserbedarfs für alle Bereiche der Stahlindustrie.

Die verwendeten Wasseraufbereitungstechniken reichen von etablierten Verfahren wie Nano- und Ultrafiltration, Umkehrosmose, Hochdruckumkehrosmose über Mikrofilter bis hin zu neuen Verfahren, die im Kleinindustriellen Maßstab wie die membrangestützte Kapazitive Deionisation (Kapazität: 100 l/h) oder wie die Anti-Fouling-Beschichtungen bzw. Beschichtungsverfahren der Umkehrosmose-Membranen mit deutlich verbesserten Eigenschaften noch nicht im industriellen Maßstab verfügbar sind. Fokus war die Ermittlung und Erprobung einer geeigneten Verfahrenskombination bestehend aus den Schritten Entsalzung (Umkehrosmose, membrangestützte Kapazitive Deionisation) und Einengung des Konzentrats der Entsalzung (Hochdruckumkehrosmose) sowie die Auftrennung des Konzentrats für eine mögliche industrielle Weiterverwendung/Verwertung. Diese wurde im ersten Schritt Laborversuchen untersucht und die geeignete Parameter und Verfahrensweisen entwickelt. Im zweiten Schritt erfolgte die Anpassung und Demonstration der Anwendbarkeit der Verfahren unter betrieblichen Bedingungen an zwei unterschiedlichen Standorten und Wässern. Dies bilden die Grundlage für eine spätere betriebliche Implementierung.

Darüber hinaus beschäftigt sich WEISS\_4PN mit digitalen Ansätzen, welche einerseits die Verfügbarkeit der Ressource Wasser an einem konkreten Produktionsstandort vorausschauend anzeigt, andererseits produktbezogene Wasserbedarfe errechnen, so dass aus der Verknüpfung von beidem eine Produktionssteuerung zur effizienten Nutzung der Wasserressourcen möglich wird.

### **Sich bedingende Hürden & Begünstigungen:**

Um das Losbrechmoment dieser Entwicklungen zu überwinden, war die Anschubfinanzierung durch das Förderprogramm WavE des BMBF entscheidend. Es hat die Entwicklung des WEISS-Konzeptes und die Untersuchung der Eignung neuer Technologien wie beispielsweise der Mikrofiltration und eines Feinfilters zur Vorreinigung aber auch des robusten Verdampfers ermöglicht. Hierbei war die Mischung des Konsortiums, wie auch bei WEISS 4.0, aus Grundlagenforschung, angewandter Forschung, Anlagenbau und potenziellen Anwendern aus der Stahlindustrie für eine praxisorientierte Entwicklung wichtig.

Die im ersten WEISS Projekt erstellte professionelle und containerisierte Pilotanlage, ermöglichte es, die Versuche vor Ort mit unterschiedlichsten Betriebswässern durchzuführen und einen kontinuierlichen Prozess zu realisieren. Die Ausstattung mit einer Fernüberwachung unterstrich das professionelle Auftreten des Konsortiums bei den beteiligten Kunden. Dies ist besonders wichtig für die spätere Implementierung, da sich die Kunden anhand der mit der Pilotanlage erzielten Ergebnisse, von dem Erreichen der geforderten Wasserqualität überzeugen können und der Anlagenbauer den Prozess passgenau auf den vorher untersuchten Standort anpassen kann.

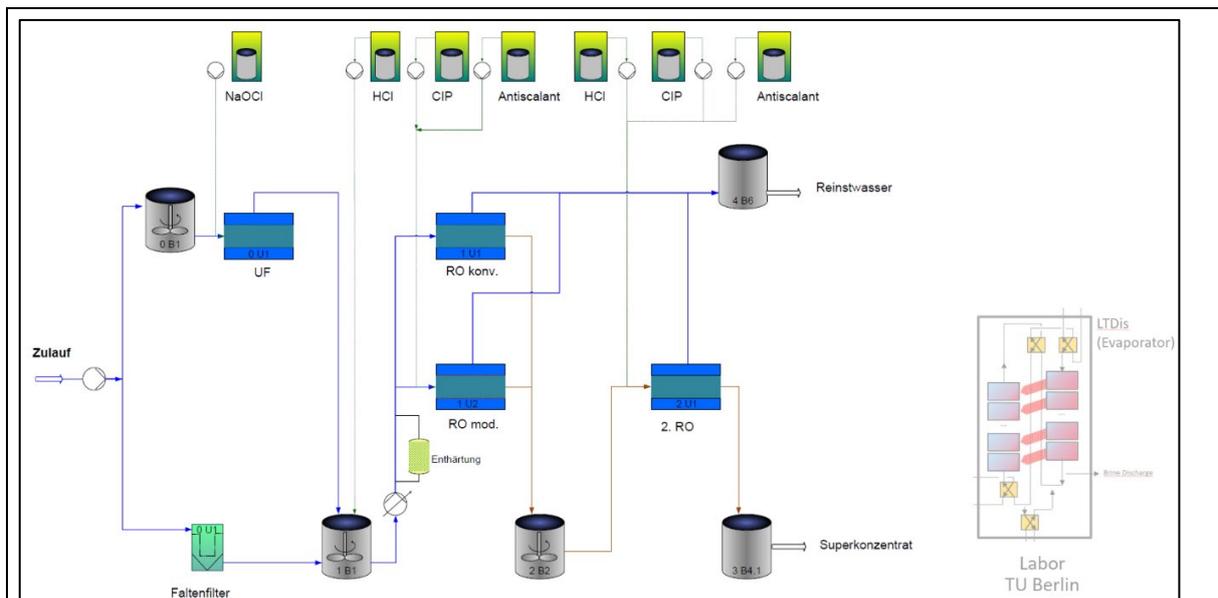
Die bereits vorhandene Pilotanlage wirkte sich auch positiv auf die Risikobereitschaft und dem Innovationswillen für das Projekt WEISS\_4PN aus. Hohes Engagement und Motivation der Projektleiterin und Verbundkoordinatorin überzeugte die internen Entscheidungsträger bei SMS schließlich, das erforderliche Budget zuzusagen und dies in einem damals wirtschaftlich schwierigen Umfeld. Dank des Engagements aller Projektbeteiligten und der Flexibilität des Projektträgers sowie des BMBFs war es möglich, das Projekt in 2 Phasen zu gliedern und so die in der Summe deutlich reduzierten Eigenmittel für Phase 1 gestellt zu bekommen, um das Projekt überhaupt beginnen zu können. Es gelang dem Konsortium alle nötigen Formalitäten voranbringen und die Schlüsselpositionen einer Projektrealisierung mit hinreichenden Informationen für eine (interne) Projektgenehmigung zu versorgen.

Für die 2. Phase war die geregelte Übergabe von z.B. der Verbundkoordination sowie der Projektleitung zum weiterführenden Verantwortlichen besonders wichtig. Die Einarbeitung erfolgte kontinuierlich über einen Zeitraum eines ganzen Jahres, so dass auch Detailwissen weitergegeben werden konnte. Das WEISS\_4PN-Projekt überwand mit teils großem Aufwand den Wechsel mehrerer Bearbeiter (Abgang von Post-Docs, Ausfall von eigearbeiteten Studenten, Arbeitsplatzwechsel aus dem Team heraus u.v.m.).

Die Kontinuität und Beharrlichkeit bei der Suche nach Pilotierungsstandorten bei einem weiteren Kunden erforderte ebenfalls ein hohes Engagement und Beharrlichkeit.

Im Bereich der Digitalisierung war die Einigung auf abgegrenzte Verantwortlichkeiten vor Projektstart entscheidend bei der Konsortiumsbildung.

Bei der Bearbeitung lag eine große Herausforderung in der Bereitstellung der digitalen Daten bzw. dem Verständnis zur Datenaufbereitung. Kunden betrachten ihre Betriebsdaten als besonders schützenswert, weshalb die Suche nach ausreichend vielen Daten und Datenquellen eine Herausforderung darstellte. Dank der vertrauensvollen Zusammenarbeit mit einem Kunden gelang es, die Echtzeitsignale aller relevanten Prozesse inkl. des Walzprozesses zu erhalten, so dass die produktionsbedingte Wärmelast mit der erforderlichen Kühlleistung zusammengebracht werden konnte. In industriellen Großanlagen stehen mehrere Datenquellen zur Verfügung, von den Basis-Signalen bis hin zu Steuer- & Regelsignalen. Die Verknüpfung dieser Daten und die Erzeugung eines übereinstimmenden Zeitstempels für das Big-Data-Engineering benötigte viel Aufmerksamkeit.



Vereinfachtes Prozessfließbild Pilotcontainer – Foto: SMS



Pilotcontainer in Bochum – Foto: SMS



Inbetriebnahme Ultrafiltration in Bochum – Foto: SMS



Verdampfer Labor TU Berlin – Foto: TU Berlin



Projektmeeting 2023 – Foto: SMS

## 4. Fazit

Industrielles Wassermanagement gewinnt vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung und den damit verbundenen Hoch- und vor allem Niedrigwasserständen eine besondere Bedeutung, da die Industrie für die Produktion ihrer Güter fast ausnahmslos auf Wasser als Hilfsmittel angewiesen ist. Eine erfolgreiche Implementierung relevanter Innovationen zur nachhaltigeren Wiederverwendung von Wasserressourcen erscheint daher unabdingbar im Angesicht dieser Herausforderungen und der Adressierung anderer planetarer Belastungsgrenzen im Allgemeinen, aber insbesondere für den Industriestandort und das Exportland Deutschland. Zahlreiche Entwicklungsprojekte sind daher in den letzten Jahren initiiert worden, maßgeblich angestoßen durch die beiden BMBF-Fördermaßnahmen zu Wasserwiederverwendung (WavE).

Der hohe Ressourceneinsatz ist nur gerechtfertigt, wenn die entwickelten Verfahren in der praktischen Umsetzung helfen, lokale und / oder saisonale Wasserknappheit zu lindern. Da es erfahrungsgemäß eine besondere Herausforderung darstellt, die erste großtechnische Anwendung zu realisieren, zielt dieser Leitfaden auf eine möglichst übersichtliche Darstellung von Hürden und Begünstigungen der Implementierung von Innovationen zur Wasserwiederverwendung ab. Diese sind in Abb. 5 zusammengefasst. Der Leitfaden spricht damit insbesondere die Zielgruppe des Managements von Industrieunternehmen, regulierende Behörden, Hochschulen und Fördermittelgeber:innen an.

Entscheidend ist eine Innovationskultur bei Technologieanbieter:innen und den Kund:innen, die flexibel, kommunikationsintensiv und ein gewisses Risiko einzugehen bereit ist. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen, Technologieanbieter:innen und Kund:innen ist von entscheidender Bedeutung.

Des Weiteren erfordert eine erfolgreiche Implementierung einen hohen Ressourceneinsatz, sowohl im Vorfeld als auch ggfs. für die Erstreferenz selbst, weswegen eine strikte und gut durchdachte Auswahl von geförderten Projekten unerlässlich ist. Die selektierten Entwicklungsprojekte müssen durch engagierte Projektleitungen nach sauber definierten Grundsätzen vorangetrieben werden, die sich auf die auskömmlich lange Unterstützung durch die Unternehmensleitung verlassen können.

Am Ende eines Entwicklungsprojektes, welches durch öffentliche Mittel gefördert wurde, ist die Weiterführung des Entwicklungsprojektes hochgradig gefährdet, da die Planung inkl. des Ressourceneinsatzes bis zu diesem Zeitpunkt von allen Mittelgeber:innen genehmigt ist. Für Forschungseinrichtungen ist das Hauptziel erreicht, es wurde ein deutlicher Wissenszuwachs erreicht, wissenschaftlicher Nachwuchs ausgebildet und die eigene Forschungseinrichtung gestärkt. Anders jedoch bei den beteiligten Industrievertretern und den öffentlichen Fördermittelgebenden folgt nun der wichtigste Schritt, die Erstanwendung. Dieser jedoch ist meist erst im Nachgang zum eigentlichen Entwicklungsprojekt zu leisten. Logische Konsequenz ist es daher, bereits von Beginn an diesen Schritt sorgfältig zu planen. Um Entwicklungsprojekte erfolgreich zum Abschluss zu bringen, bedarf es eines langen Atems, vorausgesetzt die Erwartungen und die zu Beginn definierten Kriterien der einzelnen Meilensteine wurden erfüllt.

Denkrichtig wäre eine fortgeführte Förderung. Es wird eine Übergabe von als besonders positiv verlaufenen Entwicklungsprojekten an eine weiterführende Instanz angeregt. Innerhalb der Firmen ist die nahtlose Übernahme des weitentwickelten Projektes in die bestehenden Vertriebsstrukturen zielführend. Seitens der öffentlichen Fördermittelgeber:innen ist eine Übergabe solcher Projekte an die der direkten Förderung industrieller Innovationen gewidmeten Stellen wie beispielsweise dem BMWK sinnvoll.

Ein wichtiger weiterer Aspekt betrifft die Gesetzgebung. Bei den derzeit in der Förderung befindlichen Verbundprojekten im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahmen zu Wasserwiederverwendung (WavE) werden zwangsläufig Salzkonzentrate aus den innovativen Entsalzungsverfahren erzeugt. Für die für alle Kund:innen höchst wichtige Entsorgungssicherheit auch in der Zukunft und gleichzeitig für die Einschätzung der mit dem Verfahren verbundenen Kosten, auch für die Entsorgung von Reststoffen, ist eine einheitliche Regelung der Einleitung von Salzkonzentraten besonders wichtig und könnte die Implementierung deutlich begünstigen. Die Klärung seitens des Gesetzgebers zum Umgang mit den Konzentraten (Geißen, 2024; IWW, 2024), (siehe auch → Kapitel Kosten), ist daher von entscheidender Bedeutung.

## Literaturverzeichnis

Ante, A. *et al.* (2005) 'Production of Marketable Gypsum from Weak Waste Acids – Saving of Disposal Volume and Costs', (2), pp. 75–58.

Ante, A. *et al.* (2007) 'Membranbelebung mit belüftetem Vorteich', 7–9, pp. 17–24.

Ante, A. (2020) 'Verfahren zu Industrierwasserbehandlung', in *Taschenbuch der Industrieabwasserreinigung: ein Taschenbuch für die Praxis*. 2. Auflage. Essen: Vulkan Verlag, pp. 111–112, Kap. 3.1.

Ante, A. (2023) 'Vielleicht regnet es ja einmal, inschallah', *Die Ingenieurin*, pp. 26–28.

B. Braun Avitum Saxonia GmbH (2024) *Med-zeroSolvent*. Available at: <https://www.medzerosolvent.de/de.html> (Accessed: 21 March 2024).

Berger, M. *et al.* (2015) 'Saving the Planet's Climate or Water Resources? The Trade-Off between Carbon and Water Footprints of European Biofuels', *Sustainability*, 7(6), pp. 6665–6683. Available at: <https://doi.org/10.3390/su7066665>.

Bleischwitz, R. *et al.* (2010) *Ressourcenpolitik zur Gestaltung der Rahmenbedingungen: Zusammenfassung der Ergebnisse des Arbeitspaketes 3 des Projekts 'Materialeffizienz und Ressourcenschonung' (MaRess)*. Available at: [https://core.ac.uk/display/35138269?utm\\_source=pdf&utm\\_medium=banner&utm\\_campaign=pdf-decoration-v1](https://core.ac.uk/display/35138269?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1) (Accessed: 1 March 2024).

BMBF (2024) *BMBF Bekanntmachung „Wasserversorgung der Zukunft“*, Bundesministerium für Bildung und Forschung - BMBF. Available at: <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2024/01/2024-01-25-Bekanntmachung-Wasserversorgung-Zukunft.html> (Accessed: 11 April 2024).

Boretti, A. and Rosa, L. (2019) 'Reassessing the projections of the World Water Development Report', *npj Clean Water*, 2(1), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>.

BUND (2024) *Vier Fußabdrücke – Indikatoren unseres Ressourcenverbrauchs*, BUND - BUND für Naturschutz und Umwelt in Deutschland. Available at: <https://www.bund.net/ressourcen-technik/abfall-und-rohstoffe/fussabdruecke/> (Accessed: 5 July 2024).

Christ, K.L. and Burritt, R.L. (2017) 'Water management accounting: A framework for corporate practice', *Journal of Cleaner Production*, 152, pp. 379–386. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.147>.

DECHEMA (2024) *WavE*. Available at: <https://bmbf-wave.de/> (Accessed: 29 February 2024).

Decker, M. and Schippl, J. (2015) 'Technikfolgenabschätzung', in M. Kaltschmitt and L. Schebek (eds) *Umweltbewertung für Ingenieure*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 403–437. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-36989-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36989-6_8).

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) (2017) *Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt. Beiträge aus der INIS-Forschung*. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik -Difu. Available at: <https://repository.difu.de/handle/difu/240075> (Accessed: 21 March 2024).

DIN EN 16603-11: (2020) 'DIN EN 16603-11:2020-02, Raumfahrttechnik\_ Definition des Technologie-Reifegrades\_(TRL) und der Beurteilungskriterien (ISO\_16290:2013, modifiziert); Deutsche Fassung EN\_16603-11:2019'. Beuth Verlag GmbH. Available at: <https://doi.org/10.31030/3119848>.

Dresden (2024a) *Wasserentnahmeverbot aus Dresdner Gewässern verlängert*, [www.dresden.de](http://www.dresden.de). Available at: [https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/2023/10/pm\\_015.php](https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/2023/10/pm_015.php) (Accessed: 29 February 2024).

Dresden (2024b) *Zukunftssichere Wasserversorgung für Dresden*, [www.dresden.de](http://www.dresden.de). Available at: [https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/2023/09/pm\\_065.php](https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/2023/09/pm_065.php) (Accessed: 29 February 2024).

EMAS (2024) *Umweltmanagementsystem EMAS: Emas anwenden - Schritt 1*. Available at: <https://www.emas.de/schritt1?type=98> (Accessed: 5 July 2024).

Eng, L.L., Fikru, M. and Vichitsarawong, T. (2022) 'Comparing the informativeness of sustainability disclosures versus ESG disclosure ratings', *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 13(2), pp. 494–518. Available at: <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-03-2021-0095>.

Forin, S. et al. (2021) *Analyse des Wasserverbrauchs und Minderung von Wasserknappheit entlang globaler Lieferketten* *Organizational water footprint: analyzing water use and mitigating water scarcity along global supply chains*. Universitätsverlag der TU Berlin. Available at: <https://doi.org/10.14279/DEPOSITONCE-11818>.

Fuchs, E.A.H. (2024) *Trockenheit in Franken: Landwirte kämpfen mit Wassermangel*, *Bayrisches Landwirtschaftliches Wochenblatt*. Available at: <https://www.wochenblatt-div.de/regionen/franken/trockenheit-franken-landwirte-kaempfen-wassermangel-573479> (Accessed: 29 February 2024).

Geißen, S.-U. (2024) *highcon.de | HighCon Concentration - Konzentrate aus der Abwasserwiederverwertung*. Available at: <http://highcon.de/veranstaltungen/highcon-abschlussbrosch%C3%BCre.html> (Accessed: 5 July 2024).

General Assembly of the United Nations (2023) 'Letter from the President of the General Assembly – Water for Sustainable Development Conference Summary | General Assembly of the United Nations'. Available at: <https://www.un.org/pga/77/2023/05/08/letter-from-the-president-of-the-general-assembly-water-for-sustainable-development-conference-summary/> (Accessed: 29 February 2024).

Grimm, V. et al. (2008) *Wasserknappheit & Technologie Übersichtsstudie*. Zukünftige Technologien Nr. 76. Zukünftige Technologien Consulting des VDI-Technologiezentrums.

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) (2023) *„Deutschland wird ein wasserreiches Land bleiben“*, *Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren*. Available at: <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/deutschland-wird-ein-wasserreiches-land-bleiben/> (Accessed: 26 September 2024).

Horlemann, L. and Reyhani, M.N. (2017) *Integrated Water Resources Management Zayandeh Rud. German-Iranian Research and Development Cooperation for a Better Future*. Inter 3 Institute for Resource Management GmbH.

IPCC (2019) *Special Report on Climate Change and Land*. Available at: <https://www.ipcc.ch/srccl/> (Accessed: 5 July 2024).

IWW (2024) *KonTriSol - Forschung | Membranverfahren in der Trinkwasserversorgung, KonTriSol*. Available at: <https://kontrisol.de/> (Accessed: 5 July 2024).

Kersting, S. and Neuerer, D. (2024) *Rheinpegel sinkt: Niedrigwasser bremst Frachtschifffahrt – Was der Wirtschaft nun droht, Handelsblatt*. Available at: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/rheinpegel-sinkt-niedrigwasser-bremst-frachtschifffahrt-was-der-wirtschaft-nun-droht/29249106.html> (Accessed: 29 February 2024).

Kerzner, H. (ed.) (2022) *Innovation Project Management: Methods, Case Studies, and Tools for Managing Innovation Projects*. 1st edn. Wiley. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781119931270>.

Kydyrbekova, Aliya et al. (2022) 'Dynamics of innovation in the use of water resources in emerging markets', *International Journal of Innovation Studies*, 6(3), pp. 142–155. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2022.05.002>.

Mahmud, A. et al. (2022) 'Does water accounting support sustainable water management? A review', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1098(1), p. 012037. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012037>.

O'Callaghan, P. (2020) *Dynamics of water innovation : Insights into the rate of adoption, diffusion and success of emerging water technologies globally*. Wageningen University. Available at: <https://doi.org/10.18174/536755>.

OECD (2012) *OECD-Umweltausblick bis 2050: Die Konsequenzen des Nichthandelns*. Available at: [https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-umweltausblick-bis-2050\\_9789264172869-de](https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-umweltausblick-bis-2050_9789264172869-de) (Accessed: 29 February 2024).

OECD (2015) *The Innovation Imperative: Contributing to Productivity, Growth and Well-Being*. OECD. Available at: <https://doi.org/10.1787/9789264239814-en>.

OECD and Europäische Kommission (eds) (2018) *Oslo manual 2018: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation*. 4th edition. Paris: OECD Publishing (The measurement of scientific, technological and innovation activities). Available at: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>.

Pavlik, V. (2024) *Wassernutzung der deutschen Industrie nach Verwendungszweck 2019, Statista*. Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/314739/umfrage/wassernutzung-der-deutschen-industrie-nach-verwendungszweck/> (Accessed: 11 April 2024).

Qadir, M. et al. (eds) (2022) *Unconventional Water Resources*. Cham: Springer International Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90146-2>.

Schindler, F. (2024) '(S+) Tesla-Fabrik in Grünheide: Anwohner fürchten um das Grundwasser', *Der Spiegel*, 13 February. Available at: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/tesla-fabrik-in-gruenheide-anwohner-fuerchten-um-das-grundwasser-a-7303106a-3b85-4033-a28b-c9ccaf1e0925> (Accessed: 5 July 2024).

Stoll, J. (2024) *PFC-Portal: Regelungen und Empfehlungen, Umweltbundesamt*. Umweltbundesamt. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/pfc-portal-regelungen-empfehlungen> (Accessed: 29 February 2024).

Strehl, C. et al. (2023) *E6-3 Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung für die Auswahl geeigneter Technologieoptionen (KONTRISOL)*. IWW, TUB, TZW mit Unterstützung der TUHH.

Thompson, I.J. (2022) *Nachhaltig investieren in sauberes Wasser, Dnb Asset Management*. Available at: <https://dnbam.com/de/finance-blog/nachhaltig-investieren-in-sauberes-wasser> (Accessed: 7 October 2024).

TU Clausthal (2024) *NERA: Null-Emission Rohwasserproduktion in der Automobilindustrie*. Available at: <https://www.projekt-nera.de/> (Accessed: 11 July 2024).

UN Water (2024) *Water Scarcity*, UN-Water. Available at: <https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity> (Accessed: 29 February 2024).

United Nations (2024a) *THE 17 GOALS | Sustainable Development*. Available at: <https://sdgs.un.org/goals> (Accessed: 1 March 2024).

United Nations (2024b) *UN 2023 Water Conference | Department of Economic and Social Affairs*. Available at: <https://sdgs.un.org/conferences/water2023> (Accessed: 29 February 2024).

Vandenberg, S. (2024) *Project Management vs. Managing Innovation Projects*, *InnovationManagement*. Available at: <https://innovationmanagement.se/2003/11/11/project-management-vs-managing-innovation-projects/> (Accessed: 29 February 2024).

*Warum der Hauptstadt das Trinkwasser ausgeht | frontal* (2024). Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Htp2aZu62Fc> (Accessed: 29 February 2024).

wbcswater, SustainAbility and IUCN (2012) *Water for Business. Initiatives guiding sustainable water management in the private sector*. World Business Council for Sustainable Development.

Wencki, K. *et al.* (2020) 'Approaches for the evaluation of future-oriented technologies and concepts in the field of water reuse and desalination', *Journal of Water Reuse and Desalination*, 10(4), pp. 269–283. Available at: <https://doi.org/10.2166/wrd.2020.022>.

Yu, H.-C. (2022) 'Creating environmental sustainability: determining factors of water resources information disclosure among Chinese enterprises', *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 13(2), pp. 438–458. Available at: <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-11-2019-0385>.