

PHILIPP SCHERER, ELISABETH EPPINGER, ELINA PULENKOVA, ANDREAS TAUBER

EIN PRAXISLEITFADEN

TECHNOLOGIEENTWICKLUNGEN ERKENNEN UND STEUERN

TEIL 2: HANDLUNGSOPTIONEN ENTWICKELN UND ENTSCHEIDUNGEN
TREFFEN



Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

PTJ
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Philipp Scherer, Elisabeth Eppinger, Elina Pulkova, Andreas Tauber

Kontakt: philipp.scherer(AT)FU-Berlin.de

Berlin, 2019



Dieses Werk ist lizenziert unter [einer Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Dieser Leitfaden ist mit der Creative Commons Lizenz CC BY Namensnennung veröffentlicht. Diese Lizenz erlaubt es allen, das Werk zu verbreiten, zu verbessern und darauf aufzubauen, solange die Urheber*innen genannt werden.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
I Entwicklungsphasen	2
II. Timingstrategien	4
III. Das Technologische Innovationssystem	7
1. Einführung in das Konzept Technologische Innovationssysteme	7
2. Strukturelemente im Innovationssystem am Beispiel UV LED	10
2.1 Akteure	10
2.2 Institutionen	14
2.3 Netzwerke	15
3. Funktionen im Innovationssystem am Beispiel UV LED	18
IV Vorgehen bei der Analyse	25
1. Strukturelle Analyse des Innovationssystems	26
2. Funktionale Analyse des Innovationssystems	28
3. Bestimmung der Entwicklungsphase	30
4. Wahl der passenden Handlungsoption	32
Literatur	35

Einleitung

Technologieentwicklungen frühzeitig und richtig einzuschätzen ist ausschlaggebend für den nachhaltigen Erfolg von Technologieunternehmen. Durch die weltweite Zunahme und Beschleunigung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie steigende Verflechtung von Wertschöpfungsketten wird dies zunehmend schwieriger. In Teil eins dieses Praxisleitfadens wurde ein Überblick über unterschiedliche Indikatoren zur Bewertung und Einstufung von Technologien geschaffen. Ziel dieses Leitfadens ist es, eine Anleitung zu geben, um mit Hilfe der Indikatoren die Entwicklungsaktivitäten technologischer Innovationen abbilden zu können. Unter Berücksichtigung Unternehmensspezifischer Stärken und Schwächen, dient dies als Entscheidungshilfe zur Wahl der passenden Timing- und Technologiestrategie.

Dieser Praxisleitfaden richtet sich an Organisationen wie Unternehmen und Forschungsinstitute, die Technologien entwickeln, in ihren Produkten anwenden oder für sonstige Zwecke analysieren. Die Methodik wurde für die UV LED Technologie in den Anwendungsbereichen Wasser-, Oberflächen und Luftdesinfektion sowie Pflanzenzucht innerhalb des Forschungsprojekts „TIMETECH“ angewandt. Die Auswertungen sind den jeweiligen Arbeitsfeldern zugänglich und werden vertraulich behandelt.

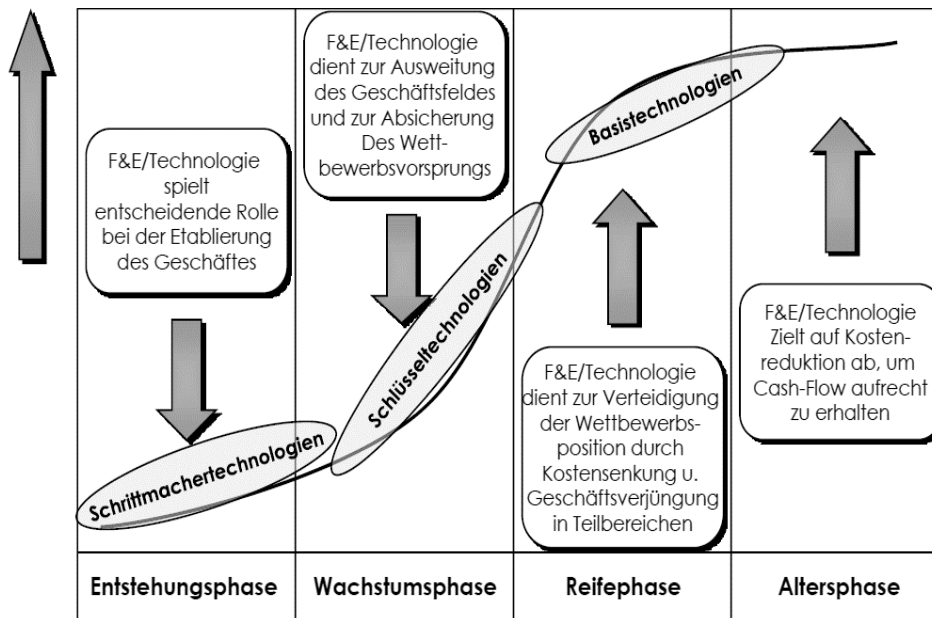
Dieses Handbuch wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „TIMETECH – Harmonisierung der Timingstrategien von Technologien, F&E und Produktentwicklung zur Erarbeitung und Implementierung einer nachhaltigen Strategie für ein erfolgreiches Technologiemanagement“ verfasst. TIMETECH ist ein Projekt des Konsortiums „Advanced UV for Life“ im Rahmen des Forschungsprogramms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Es wird an der Professur für Innovationsmanagement am Fachbereich Wirtschaftswissenschaft der Freien Universität Berlin durchgeführt. Projektträger ist der Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH.



I Entwicklungsphasen

Technologien und das Innovationssystem, welches diese Technologie umgibt, haben eine begrenzte Lebensdauer. Diese beginnt mit dem Aufkommen einer technologischen Idee und endet mit deren Verschwinden. Dieser Gedanke bildet die Grundlage der Lebenszyklus Modelle. Typischerweise lassen sich die Modelle in Entwicklungsphasen einteilen, die durch eine S-förmige Kurve beschrieben werden können. Sowohl die Technologie, als auch die Struktur des Innovationssystems unterscheidet sich in Abhängigkeit der Phase. Zudem korreliert die Kurve mit der Unsicherheit über die technologische Leistungsfähigkeit, der Anzahl der Anwendungsgebiete, der Investitionshöhe in F&E, der Zahl der Patentanmeldungen und der Bedeutung der Technologie für den Markt. Mit Hilfe von den Indikatoren kann daher die gegenwärtige Entwicklungsphase bestimmt werden. Unternehmen ist es daher möglich den Lebenszyklus zu analysieren und die Informationen zur strategischen Entscheidungsfindung über Timing und Positionierung am Markt, zu nutzen (vgl. u.a. Perillieux 1987, Bullinger 1994, Michel 1987). Ein Ziel dieses Leitfadens wird es daher sein, die Entwicklungsphase einer Technologie und des Innovationssystems bestimmen zu können

Bedeutung der Technologien in den Lebenszyklusphasen



Quelle: Roussel et al. 1991

Die Kurve lässt sich in vier Phasen einteilen. Die Phasen beschreiben, wie fortgeschritten eine Technologie und wie etabliert das Innovationssystem ist (vgl. Taylor & Taylor 2012, 545).

In der ersten Phase, entsteht die Technologie und die Entwicklung des Systems schreitet nur langsam voran. Sie kennzeichnet sich dadurch, dass erste experimentelle Entwicklungen stattfindet und vereinzelt kommerzielle Anwendungen auftauchen. Daher wird die Entstehungsphase durch die Schrittmachertechnologie gekennzeichnet. Das heißt, die Technologie wird erst von wenigen Unternehmen angewandt und es hat sich noch kein dominantes Design gebildet. Folglich gehen Schrittmachertechnologien mit einem hohen Potential, aber auch mit einem hohen Risiko zur Generierung von Wertschöpfung einher.

Danach tritt die Technologie und das Innovationssystem in die Phase des Wachstums ein. Es treten kommerzielle Anwendungen auf, die von mehreren führenden Wettbewerbern eingesetzt werden. Dadurch werden erste technologische Standards geprägt und es entwickeln sich Schlüsseltechnologien. Diese ziehen Wettbewerber an, bieten allerdings noch relativ günstige Bedingungen zur Absicherung von Wettbewerbsvorteilen.

In der Phase der Reife stagniert das Entwicklungstempo, bevor die Technologie am Ende der Altersphase verdrängt wird. Zuvor entwickelt sich die Technologie jedoch zur Basistechnologie. Diese sind erprobt und haben sich als Standard in der Branche etabliert. Die Differenzierungspotentiale sind deutlich geringer, so dass der Markt von den Wettbewerbern relativ beherrscht wird.

Lebenszyklusphasen

Leistungsindex der Technologie	Entstehungsphase	Wachstumsphase	Reifephase	Altersphase
Unsicherheit über technologische Leistungsfähigkeit	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Anzahl der Anwendungsgebiete	Unbekannt	Zunehmend	Stabil	Abnehmend
Allg. Investitionen in Technologieentwicklung	Mittel	Hoch	Niedrig	Sehr niedrig
Zahl der Patentanmeldungen	Zunehmend, sehr groß	Hoch, groß	Abnehmend, groß	Abnehmend, sehr klein
Technologietyp	Schrittmachertechnologie	Schlüsseltechnologie	Basistechnologie	

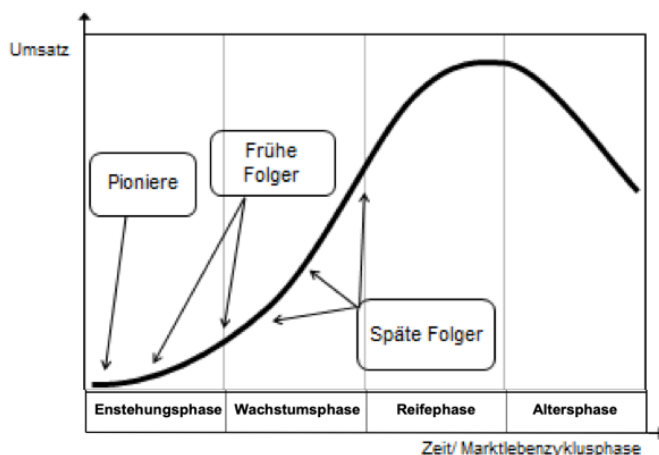
Quelle: eigene Erstellung, in Anlehnung an Eversheim, W. (2003)

In Abhängigkeit der jeweiligen Entwicklungsphase der Technologie und des Innovationssystems, können verschiedene Timing Strategien getroffen werden, die im Folgenden genauer betrachtet werden.

II. Timingstrategien

Sind Entscheidungen für eine bestimmte Technologie und die sich daraus ergebenden Entwicklungsaktivitäten getroffen, stehen für Unternehmen weitere wichtige Überlegungen an, die sich mit dem optimalen Zeitpunkt der Markteinführung neuer Produkte auseinandersetzen. Die Strategien zu Timing und Einführung sind für den wirtschaftlichen Erfolg oder auch Misserfolg wesentlich und wurden in zahlreichen wissenschaftlichen theoretischen und empirischen Arbeiten untersucht. Der Fokus liegt dabei weniger auf einem konkreten, als auf einem relativen Zeitpunkt in Bezug auf die Wettbewerber. Bezogen auf ein idealtypisches Marktlebenszyklusmodell können drei Optionen unterschieden werden: ein Markteintritt als Pionier, als Früher und als Später Folger.

Markteintrittszeitpunkte im Marktlebenszyklus



Quelle: eigene Abbildung in Anlehnung an Buchholz (1996), S. 27.

Als Pioniere werden Unternehmen bezeichnet, die als erste einen Markt betreten. Durch ihre anfängliche Position als Monopolist haben sie die Chance zur Sicherung hoher Marktanteile und durch einen großen preispolitischen Spielraum, die Chance hohe Renditen zu erzielen. Sie tragen jedoch auch ein hohes Risiko des Scheiterns: Die weitere Technologie- und Marktentwicklung ist noch offen und die Investitionen in die Erschließung eines neuen Marktes sind mit hohen Kosten verbunden. In der folgenden Tabelle sind die Vor- und Nachteile der Pionier-Strategie zusammen gefasst:

Vor- und Nachteile der Pionier-Strategie

Vorteile	Nachteile
Als temporär alleiniger Anbieter zu Beginn Quasimonopolstellung	Hohes Risiko bezüglich der weiteren Technologie- und Marktentwicklung
Möglichkeiten, produkttechnologische Standards zu etablieren	Markteintritt mit unausgereiften Produktkonzept und Zielgruppen-Profil
Hohe Renditen möglich aufgrund des preispolitischen Spielraums ohne direkte Konkurrenz	Hohe Markterschließungskosten

Frühzeitiger Aufbau von Kunden- und Lieferantenbeziehungen	Lieferengpässe bei neuen Werkstoffen und Komponenten
Aufbau von Markteintrittsbarrieren für Folge-Unternehmen	Markterschließung kommt auch Folge-Unternehmen zugute
Progressives technologisches Image	Möglicher Imageschaden durch mangelnde Qualität
Kostenvorteile durch frühzeitige Ausnutzung von Erfahrungskurveneffekten	Kostennachteile, da nicht von den Erfahrungen anderer profitiert werden kann

Quelle: Porter (2010), Meffert (1998), Perillieux (1987), Wolfrum (1994)

Die Frühen Folger, betreten den Markt am Ende der Entstehungsphase. Sie profitieren bereits von den Vorleistungen und Erfahrungen der Pioniere und können sich mit geringerem Aufwand in einem noch nicht gefestigten und aufgeteilten Markt etablieren.

Sie haben jedoch den Nachteil, dass sie die anfängliche Monopolstellung und die damit einhergehenden Vorteile, wie hohen Gewinnaussichten und die Etablierung technologischer Standards, nicht nutzen können. Wird der Markt zu früh betreten, tragen sie zudem ähnliche Risiken bezüglich der weiteren Technologie- und Marktentwicklung wie die Pioniere. Je später der Markteintritt, desto geringer ist dieses Risiko. Gleichzeitig steigt aber die Gefahr, sich an den von den Pionieren errichteten Marktbarrieren und etablierten Standards orientieren zu müssen.

Vor- und Nachteile der Frühen Folger-Strategie

Vorteile	Nachteile
Marktunsicherheiten geringer als beim Pionier-Unternehmen	Erschwerter Marktzugang durch errichtete Markteintrittsbarrieren von Seiten des Pioniers
Je früher die Marktfolge, desto größer der Anteil an den Pioniervorteilen	Für zügige Folge schnelle Reaktion auf den Pioniereintritt erforderlich
Marktpositionen noch nicht fest verteilt	Bei frühem Eintritt ähnliche Risiken wie bei Pionieren
Durch Nutzung der Vorleistungen des Pioniers geringere Erschließungskosten	Bei späterem Eintritt Ausrichtung an den bereits etablierten Standards der Pionier-Unternehmen nötig
Anpassung der Technologie an Konsumentenwünsche möglich, Steigerung des Produkt-, bzw. Technologienutzens durch innovative Verbesserungen	

Quelle: Porter (2010), Meffert (1998), Wolfrum (1994)

Die Späten Folger betreten den Markt, wenn dieser bereits etabliert ist und sich im Wachstum befindet. Sie können die Markt- und Technologieentwicklung rückwirkend analysieren und sich an den etablierten Standards und Kundenwünschen orientieren. Dadurch lässt sich ihre Wettbewerbsstrategie an das Verhalten

der Konkurrenz anpassen, um an Schwachstellen oder Marktnischen anzusetzen. Häufig ist eine Positionierung unter dem Marktpreis möglich, da sich auf die notwendigen Eigenschaften der Technologie oder des Produkts beschränkt werden kann und geringere F&E Kosten angefallen sind. Die späten Folger haben jedoch dem Nachteil, in einem bereits aufgeteilten Marktumfeld agieren und sich dem etablierten Design anpassen zu müssen.

Vor- und Nachteile der Späten Folger-Strategie

Vorteile	Nachteile
Transparenz des Marktes und der Technologie	Marktpotenzial zu großen Teilen abgeschöpft
Erschlossener Markt mit vorhandenen Kundenwünschen	Präferenzen der Kund*innen bereits ausgeprägt
Durch Nutzung vorhandener Standards geringe F&E Aufwendungen	Hohe Markteintrittsbarrieren und gesetzte Industriestandards durch die bereits etablierte Konkurrenz
Ausrichtung der Marktstrategie am Wettbewerbsverhalten der Konkurrenz	Durch etablierte Konkurrenz Imagenachteile
Skaleneffekte in der Produktion	Starke Kunden- und Lieferantenbeziehungen müssen aufgebrochen werden

Quelle: Porter (2010), Meffert (1998), Wolfrum (1994)

Durch die aufgezeigten Vor- und Nachteile wird deutlich, dass jede Phase im Lebenszyklus einer Technologie und des dahinterstehenden Innovationssystems ihre eigenen Potenziale bietet und es eine keine generelle Empfehlung für den optimalen Markteintritt geben kann. Wichtig für den Erfolg des eigenen Unternehmens ist deswegen interne und externe Einflussfaktoren der jeweiligen Branche zu kennen, um diese in die Entscheidungsfindung integrieren zu können.

Zu den internen Unternehmensfaktoren gehören die primär technischen Fähigkeiten eines Unternehmens, um eine neue Technologie entwickeln und in Produkte integrieren zu können. Um die Pionierstrategie verfolgen zu können, sollte die relative Technologieposition des Unternehmens zu den Wettbewerbern tendenziell als stark eingestuft werden (vgl. Kapitel zur Wahl der passenden Handlungsoption).

Als externe Einflussfaktoren gelten sämtliche Umweltbedingungen, die ein Unternehmen nicht unmittelbar beeinflussen kann. Dazu gehören Faktoren wie die Größe, Dynamik und Komplexität des Marktes sowie die Geschwindigkeit der Markt- und Technologieentwicklung.

Wenngleich die internen Faktoren dem Unternehmen bekannt sein sollten, müssen diese im Verhältnis zu den Wettbewerbern analysiert werden. Um dies abschätzen zu können, und die externen Einflussfaktoren bestimmen zu können, wird im Folgenden das Konzept zur Analyse des Technologischen Innovationssystems vorgestellt.

III. Das Technologische Innovationssystem

Die Wahl einer geeigneten Handlungsoption erfordert zunächst einen praktisch anwendbaren Handlungsrahmen zur Strukturierung und zur Bewertung vorhandener Daten und Indikatoren. Dazu wird auf die Heuristik der Innovationssysteme zurückgegriffen. Die empirische Analyse der Systeme erlaubt es, die Struktur, Dynamiken und die Funktion von Innovationsprozessen und Technologiedynamiken zu untersuchen.

Im Rahmen einer strukturellen Analyse kann zunächst - vor allem mit Hilfe qualitativer Daten und Expertenwissen - der gegenwärtige Zustand des Innovationssystems beschrieben werden. Darüber hinaus gibt die strukturelle Analyse Aufschluss über die Entwicklungsphase, in der sich die Technologie und das Innovationssystem sich befindet.

Dies ist entscheidend für die Analyse, da die Wahl der passenden Timing- und Technologiestrategie zum Markteintritt, in Abhängigkeit der gegenwärtigen Entwicklung der Technologie variiert. Befindet sich eine Technologie in der Anfangsphase ihrer Entwicklung bestehen naturgemäß größere Unsicherheiten im Vergleich zu einer weiter fortgeschrittenen Phase.

1. Einführung in das Konzept Technologischer Innovationssysteme

Eine der wichtigsten Erkenntnisse der letzten Jahrzehnte im Bereich der Innovationsforschung besagt, dass Innovationen als eine kollektive Aktivität zu betrachten sind. Sie finden innerhalb eines Systems statt, welches Einfluss auf das Aufkommen und den Erfolg der Innovationen ausübt (vgl. Carlsson & Stankiewicz 1991). Mit der deskriptiven Analyse der Innovationssysteme ist es möglich, das Umfeld innerhalb dessen die Innovationsprozesse stattfinden, zu identifizieren und die zu Grunde liegende Mechanismen nachzuvollziehen. Erstmals wurde dieses Konzept 1985 von Lundvall erläutert (vgl. Lundvall 1985, 29).

Im Mittelpunkt des Systems steht im Folgenden die Technologie, weshalb von Technologischen Innovationssystemen (TIS) gesprochen wird. Ein TIS ist weder ein rein abstraktes Konstrukt, noch kann es als ein vollkommen natürlich existierendes System identifiziert werden (vgl. Markard et al. 2015, 79). Die zentrale Idee hinter diesem Ansatz ist, dass Bestimmungsfaktoren für die Technologieentwicklungen nicht ausschließlich in einzelnen Firmen oder Forschungseinrichtungen zu finden sind, sondern ebenso in den gesellschaftlichen Strukturen in denen Unternehmen und Wissenseinrichtungen interagieren. Technologische Innovationssysteme heben daher den Einfluss sozialer Strukturen auf den technologischen Wandel hervor.

Durch die Analyse eines TIS ist es möglich, die Entwicklung eines technologischen Feldes im Hinblick auf Prozesse die es unterstützen oder behindern zu untersuchen. Diese können sehr vielfältig sein, sodass präzise Annahmen über die Grenzen des Modells definiert werden müssen, um es valide empirisch operationalisieren und beschreiben zu können. Im Mittelpunkt der Analyse stehen Strukturelemente, die mit Akteuren, Netzwerken und Institutionen beschrieben werden und Einfluss auf die betrachtete Technologie ausüben. Das Ziehen der Systemgrenzen kann als die Abgrenzung der relevanten Strukturelemente verstanden werden. Dies hängt ausschließlich von dem Ziel der Analyse ab und kann nicht als falsch oder richtig eingestuft werden (vgl. Markard et al. 2015, 78). Die betrachtete Analyseeinheit sollte jedoch genau benannt

werden, sodass Dritte dies nachvollziehen können und Ergebnisse vergleichbar sind. Bergek et al. stellen drei Entscheidungen dar, die bei der Abgrenzung des TIS berücksichtigt werden sollten (2008, 411- 413).

Zunächst gilt es, die zu untersuchende Technologie näher zu definieren. Unter dem Begriff der Technologie können materielle aber auch immaterielle Objekte verstanden werden, die zur Lösung technischer Probleme dienen. Ebenso kann eine Technologie ein bestimmtes technisches Wissensfeld darstellen. Eine Analyse muss zwischen beiden Startpunkten wählen (vgl. Bergek et al. 2008, 411).

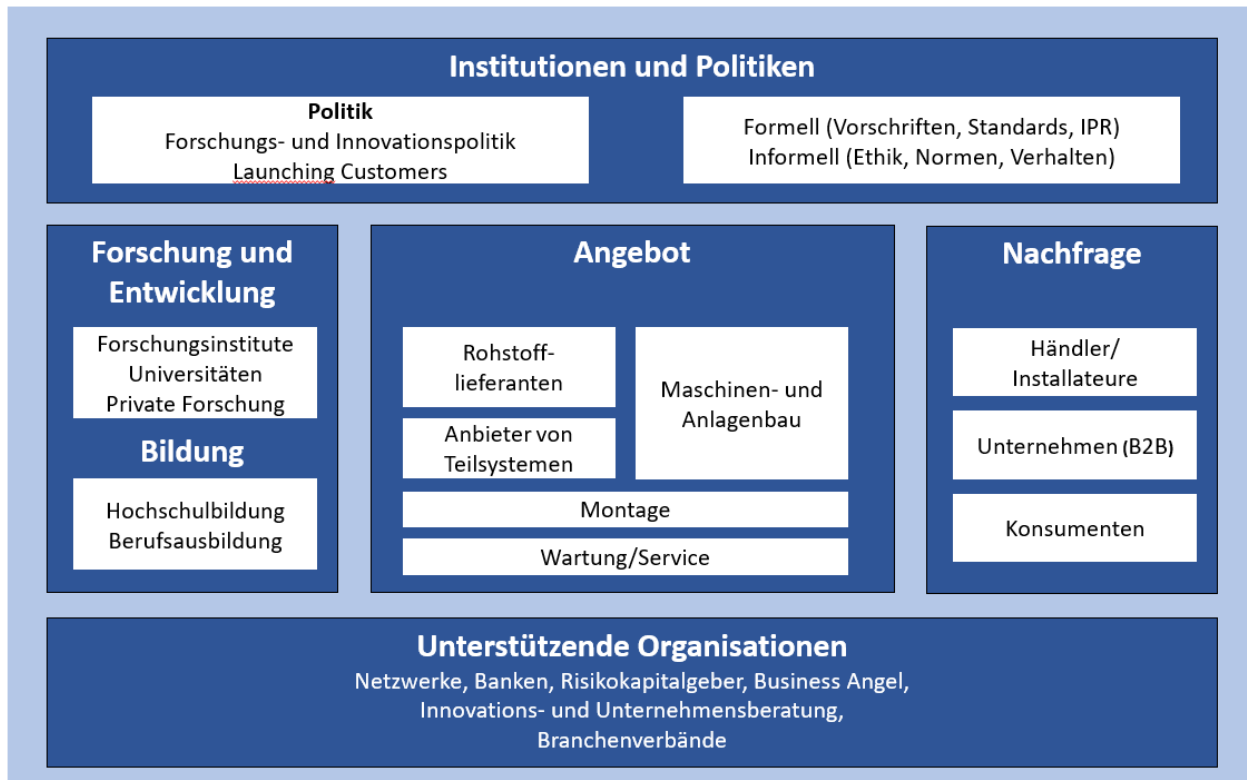
Eine zweite Entscheidung betrifft die Breite der betrachteten Technologie (vgl. Markard et al. 2015, 78). Das heißt, es muss das Spektrum der Anwendungen abgegrenzt werden, in denen die Technologie relevant ist (vgl. Bergek et al. 2008, 412). In Abhängigkeit der zu analysierenden Einheit können dies etwa Produktgruppen, die auf der gleichen Technologie basieren, oder einzelne Anwendungen sein.

Zuletzt wird der räumliche Fokus der Analyse definiert. TIS haben grundsätzlich einen globalen Charakter, da die technologische Entwicklung nicht räumlich begrenzt ist. Dennoch können Gründe existieren, weshalb die Betrachtung eines bestimmten lokal begrenzten Bereiches von besonderem Interesse für einen Teil der Analyse ist (vgl. Bergek et al. 2008, 412-413).

Sofern die Annahmen zur Abgrenzung des TIS gesetzt sind, können dessen Strukturelemente im Rahmen einer strukturellen Analyse identifiziert werden. Die TIS können entlang der genannten Einteilung nach Akteuren, Institutionen und Netzwerke charakterisiert werden (vgl. Bergek et al. 2008, 408). Elemente, die sich innerhalb der definierten Grenzen befinden, haben direkten Einfluss auf die Entwicklung der betrachteten Technologie. Zusätzlich kann es sinnvoll sein, einzelne Akteure, Institutionen und Netzwerke zu betrachten, die außerhalb des TIS liegen und indirekten Einfluss auf dessen Entwicklung haben.

In der folgenden Abbildung sind mögliche relevante Akteure und Institutionen schematisch aufgeführt. Die verschiedenen Akteure interagieren in Netzwerken miteinander, innerhalb welcher der Austausch von Wissen und technologischem Know-how stattfindet. Dies beschleunigt die technologische Entwicklung und die Verbreitung der Innovation. Gemeinsam formen die Strukturelemente das Technologische Innovationssystem. Die einzelnen Elemente werden in Unterkapitel 2 beispielhaft erläutert.

Strukturelle Darstellung eines Innovationssystems



Quelle: in Anlehnung an Kuhlmann und Arnold, 2001

Die Akteure, Institutionen und Netzwerke eines Innovationssystems sind für neu aufkommende Technologien zunächst nicht fix festgelegt (vgl. Hekkert et al. 2011, 8). Das kann verschiedene Ursachen haben. So können beispielsweise Technologien neue Teiltechnologien fördern oder sich miteinander verbinden. Wie in Kapitel I beschrieben, durchläuft ein Innovationssystem verschiedene Entwicklungsphasen. Mit dem Fortschritt der technologischen Entwicklung, verändern sich auch die Strukturelemente. Folglich ist zu berücksichtigen, dass die strukturelle Analyse nur einen Ausschnitt des Zustandes wiedergibt, indem sich das TIS zum betrachteten Zeitpunkt befindet (vgl. Bergék et al. 2008, 409).

In Konsequenz dessen wird sich die Analyse an die Literatur anlehnen, die den Fokus auf Dynamiken des TIS legt. In der Innovationswissenschaft sind funktionale Analysen in den Fokus geraten, die sich mit der Entwicklung der Strukturelemente über die Zeit hinweg befassen. Dabei ist es möglich mit der Betrachtung von Indikatoren, Rückschlüsse auf die gegenwärtige und künftige Entwicklung zu ziehen (vgl. Hekkert et al. 2011, 8). Dazu werden die Prozesse innerhalb des TIS betrachtet. Diese Prozesse werden als Systemfunktionen bezeichnet und lassen sich wie folgt einteilen:

Unternehmerische Aktivitäten (F1); Generierung von Wissen (F2); Wissensverbreitung (F3); Steuerung der Forschung (F4); Marktformation (F5); Mobilität der Ressourcen (F6) und Legitimation (F7).

Es sei angemerkt, dass jede Funktion in unterschiedlicher Art und Weise erfüllt werden kann. Die Funktionen sind zudem in der Lage, sich gegenseitig zu beeinflussen und können daher nicht immer getrennt voneinander betrachtet werden.

2. Strukturelemente im Innovationssystem am Beispiel UV LED

Basis für die Herleitung der Handlungsoptionen bildet die strukturelle Analyse. Im Folgenden werden die Strukturelemente detaillierter beschrieben und die strukturelle Analyse exemplarisch anhand einer Technologie zur UVC-LED basierten Wasseraufbereitung skizziert.

2.1 Akteure

Zu den Akteuren gehören alle Organisationen, die an der Entstehung der betrachteten Technologie mitwirken. Dies beinhaltet neben den Herstellern, Akteure die Forschung betreiben und Akteure die unterstützend auf das System wirken. Dies können Unternehmen, Universitäten und Forschungsinstitute, öffentliche Einrichtungen und Geldgeber sein (vgl. Bergek et al. 2008, 413). Durch die Entscheidungen und Handlungen der Akteure des TIS, wird die Technologie generiert, verbreitet und schließlich genutzt (vgl. Hekkert et al. 2011, 5). Entsprechend ist die Bedeutung der Akteure und deren Wechselbeziehungen entscheidend für die Entwicklung des TIS. Im Folgenden werden beispielhaft einige Akteursgruppen näher erläutert.

Hersteller

Unter den Herstellern werden alle Organisationen betrachtet, die marktreife Anwendungen oder marktreife Bestandteile der Anwendung produzieren. In den meisten Branchen ist es unüblich, dass eine einzelne Organisation alle Aktivitäten des Herstellungsprozesses durchführt. Daher bietet sich eine Betrachtung der Hersteller entlang der Wertschöpfungskette an. Dabei gilt zu beachten, dass in Abhängigkeit davon wie die Grenzen gesetzt wurden, das TIS möglicherweise nur Teile einer Wertschöpfungskette enthält. Durch die Betrachtung der Wertschöpfungskette, wird die Branchenstruktur erkennbar und es kann bewertet werden, welchen Wert die jeweiligen Aktivitäten zu den relevanten Anwendungen des TIS beitragen. Dies kann Aufschluss über die gegenwärtige Marktgröße und vorhandene Humanressourcen geben. Zudem wird erkennbar, wo bereits Firmen etabliert sind und wo die Verbreitung gegebenenfalls unzureichend ist.

Akteure der Herstellung UV LED basierter Anwendungen zur Wasseraufbereitung

Bei der untersuchten Technologie handelt es sich um UVC LEDs die zur Wasseraufbereitung eingesetzt werden. Bei der Produktion der UVC Lampen haben sich Hersteller aus der klassischen LED Branche – darunter bereits große Unternehmen, wie LG Innotek und Nichia –angesiedelt.

Bei der Herstellung marktreifer Endprodukte zur Wasserdesinfektion haben sich bisher wenige Unternehmen etabliert. Dabei handelt es sich ausschließlich um Unternehmensneugründungen. Dies lässt den Schluss zu, dass insbesondere bei der Fertigung marktreifer Produkte noch Unsicherheiten bestehen.

UVC LED Lampe

Trägermaterial

UVC Die/Chip

UVC LED Gehäuse

UVC LED Module

Systeme zur Wasseraufbereitung

	China	Taiwan	Nordamerika	Euro pa	Japan	Korea
Trägermaterial	Xiangtong Photoelectric Technology Co., Ltd. Epitop Optoelectronic Co., Ltd. Qingdao Jason Electric Co., Ltd. Yestech Optoelectronic Co., Ltd.	Shenzhen Uvet Electronics Hongli Zhihui Group Co., Ltd. BYTECH Electronics Co., Ltd.	High Power Lighting Corp. ConvergeEver Inc., Ltd. Everlight Electronics Co., Ltd.			
UVC Die/Chip	Epileds Technologies Inc. Opto Tech Corp. TSLC Corp. Advanced Optoelectronic Technology, Inc.		Crystal IS, Inc. HexaTech, Inc. RayVio Corp. Sensor Electronic Technology Inc. Nitek Inc.	Aquiseense Technologies LLC Acuva Technologies Inc. Watersprint AB		
UVC LED Gehäuse						
UVC LED Module						
Systeme zur Wasseraufbereitung						

Akteure aus der F&E

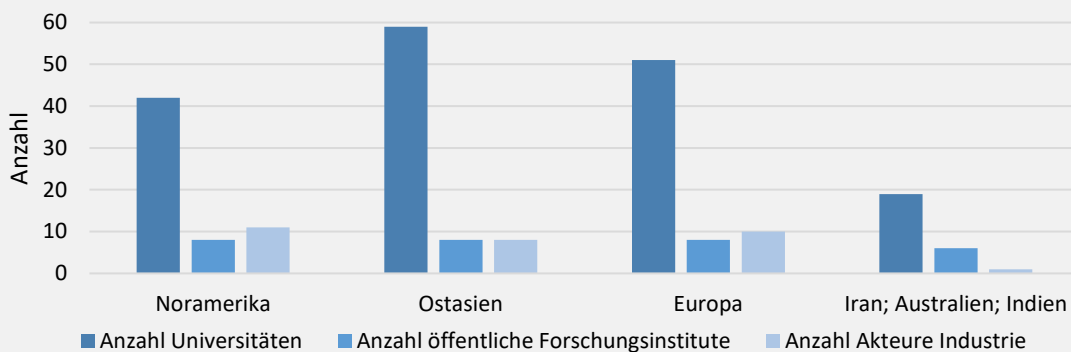
Bei Akteuren die in der Forschung und Entwicklung aktiv sind, handelt es sich typischerweise um Hochschulen, Unternehmen oder Regierungsorganisationen. Akteure aus der Forschung agieren dabei indirekt und direkt mit potentiellen Anbietern sowie Nachfragern und üben dadurch Einfluss auf den Markt aus. Experimentelle Entwicklung wird zudem häufig durch industrielle Akteure betrieben, die mit ihrem Wissen unmittelbaren Einfluss auf die Formation des Marktes ausüben können (vgl. Bleda & del Rio 2013, 1042).

Die Generierung von Wissen ist oftmals geografisch an einer überschaubaren Anzahl an Orten konzentriert. Insbesondere bei schwer zugänglichem technologischen Wissen, gibt es die Tendenz einer zunehmenden geografischen Konzentration (vgl. Bergek et al. 2008). Dies kann für die Analyse der TIS von Bedeutung sein, da leicht zugängliches Wissen einfacher in neue Artefakte transformiert und unter den Akteuren ausgetauscht werden kann. Andernfalls ist die Entwicklung einer konzentrierten Industrie mit wenigen großen Firmen wahrscheinlicher.

Akteure der angewandten Forschung von UV LED basierten Anwendungen der Wasseraufbereitung

Insgesamt konnten 249 Organisationen identifiziert werden. Den Großteil der Akteure im Bereich der angewandten Forschung bilden mit 74% die Universitäten. Die weiteren Organisationen gehören in etwa gleichermaßen öffentlich finanzierten Forschungsinstituten und Akteuren aus der Industrie an.

82% der Akteure stammen aus Nordamerika, Ostasien und Europa. Zusätzlich sind etwa 10% der Akteure im Iran sowie in Indien und Australien angesiedelt. Diese Länder waren in der Vergangenheit mindestens einer Wasserkrise ausgesetzt oder haben zukünftig ein erhöhtes Risiko, sodass hier ein nachhaltiger Umgang mit der Ressource besonders im Interesse der Aufmerksamkeit liegt (vgl. OECD 2017, 33-35).



Akteure aus der Finanzierung

Damit die Akteure aus der Herstellung und Forschung agieren können, bedarf es Organisationen, welche die Produktion sowie die F&E unterstützen. Neben Humanressourcen sind vor allem finanzielle Ressourcen ein entscheidender Input für nahezu alle Aktivitäten innerhalb des TIS. Eine entscheidende Gruppe an Akteuren zur Bereitstellung finanzieller Ressourcen ist die Venture-Capital Industrie, die Wagniskapital für neue

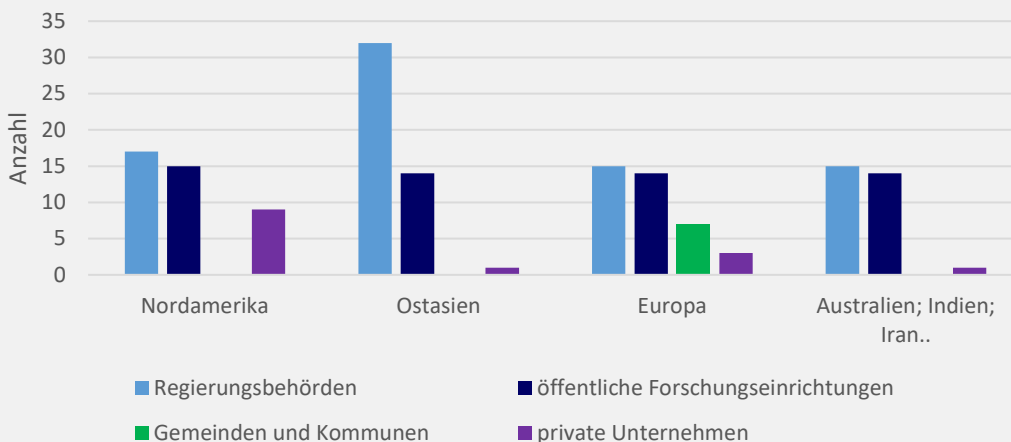
Technologien anbietet. Überdies sind öffentliche Organisationen zu Beginn einer technologischen Entwicklung ein bedeutender Anbieter finanzieller Ressourcen, da wirtschaftliche Anreize aufgrund des höheren Risikos zunächst geringer sind (vgl. Alkemade & Hekkert 2009, 5).

Insbesondere in frühen Entwicklungsphasen ist die Bereitstellung von Kapital entscheidend, damit sich das TIS entwickeln kann. Bei wissensbasierten Technologien bedarf es anfangs ausreichender Ressourcen, um die Produktion von Wissen zu fördern.

Akteure der Finanzierung von angewandter Forschung zu UV LED basierten Anwendungen der Wasseraufbereitung

Insgesamt wurden 157 Geldgeber identifiziert, welche die angewandte Forschung UV LED basierter Anwendungen zur Wasseraufbereitung unterstützen. Knapp die Hälfte der Organisationen sind staatliche Einrichtungen, die direkt unter der Aufsicht der jeweiligen Regierung stehen. Insbesondere der Staatsrat der Volksrepublik China fördert zahlreiche Arbeiten zur Forschung über Wasseraufbereitung mittels UV LEDs. Daneben sind die Europäische Kommission, amerikanische und europäische Regierungen durch Wirtschafts- und Bildungsministerien, öffentliche Versorgungsunternehmen sowie das Militär vertreten. 36% der finanzierenden Akteure sind Forschungseinrichtungen und -verbände, deren Budget zur Mehrheit aus öffentlichen Mitteln stammt. Etwa 4,5% sind Gemeinden, Kommunen und Provinzen, die Fördergelder für angewandte Forschung der UV LED basierten Wasseraufbereitung mit ausgeben. Insgesamt befinden sich somit 91% der Akteure in öffentlicher Trägerschaft. Die Anzahl der privaten Investoren in der angewandten Forschung ist deutlich geringer. Eine Ausnahme bilden die USA, in der 20% der Akteure private Unternehmen sind.

Der Großteil der Funding Agencies stammt aus Nordamerika, Ostasien und Europa. Die restlichen 14% der Akteure, die die Forschung finanziell unterstützen, sind in anderen, vorwiegend wasserarmen Regionen, beheimatet. Die geografische Verteilung der Funding Agencies ist ähnlich wie die Verteilung der Akteure die angewandte Forschung betreiben. Dies spricht dafür, dass die Organisationen überwiegend die Forschung im heimischer Akteure unterstützen. Da die meisten Akteure Regierungsbehörden unterstellt sind, ist dies naheliegend.



2.2 Institutionen

Hekkert et al. beschreiben die Institutionen als Spielregeln, die in einer Gesellschaft gelten und die menschliche Interaktion formen (2011, 5). Dabei kann zwischen formellen und informellen Institutionen unterschieden werden. Formelle Institutionen sind genau definiert und durch eine Autorität legitimiert. Dies können Gesetze, Regeln oder Normen sein. Gewohnheiten oder Routinen sind hingegen informelle Institutionen und werden implizit durch die kollektive Interaktion von Akteuren geformt (vgl. Crawford & Ostrom 1995, 582). Auch wenn informelle Institutionen Einfluss auf die Geschwindigkeit und die Richtung von Innovationen haben, ist es nicht möglich diese systematisch abzubilden. Daher fokussiert sich die Analyse der TIS auf formelle Institutionen, die Einfluss auf die betrachtete Technologie haben.

Formelle Institutionen können in einer Vielzahl von Formen auftreten und das TIS vielfältig beeinflussen. Zudem gilt zu beachten, dass sich Institutionen mit zunehmender Verbreitung einer Technologie anpassen. Das geschieht jedoch nicht als automatisierter Prozess, sondern basiert auf Handlungen der beteiligten Organisationen. Daraus folgt, dass die Akteure zu Beginn einer technologischen Entwicklung nicht nur über den Markt, sondern auch über die Ausgestaltung der Institutionen konkurrieren.

Aufgrund der zahlreichen Institutionen, die verschiedene Einflüsse auf das TIS ausüben können, kann es sinnvoll sein einen räumlichen Fokus für die Analyse zu definieren. Technologien entwickeln sich zunächst oftmals in geografisch konzentrierten Nischenmärkten. Insbesondere in dieser Phase können Gesetze, Regeln und Normen entscheidenden Einfluss auf die technologische Entwicklung haben, weshalb ein geografischer Schwerpunkt bei der Analyse der Institutionen angebracht sein kann.

Institutionen bei der UV LED basierten Wasseraufbereitung

Für die Analyse wurden zwischen Institutionen zur Verwendung von Quecksilber, zur Bestimmung der Wasserqualität und Institutionen zur Produkthanforderung unterschieden:

Institutionen mit Bezug zu Quecksilber (außerhalb des TIS):

Vorschriften mit Bezug zur Verwendung von Quecksilber können über Konkurrenztechnologien indirekt Einfluss auf die Verbreitung der UV LED basierten Anwendungen haben. UV basierte Wasseraufbereitung ist mit Quecksilberlampen erzielbar. Das Minamata Übereinkommen aus dem Jahr 2012 besagt, dass ab 2020 quecksilberhaltige Produkte nur noch mit Einschränkung verkauft oder verboten werden sollen.

Institutionen mit Bezug zur Qualität von aufbereitetem Wasser und geltende Produkthanforderungen:

Die strukturelle Analyse hat bisher verdeutlicht, dass ein Großteil der Akteure in Nordamerika, Europa, Ostasien konzentriert sind. Da insbesondere hier die Entstehung von (Nischen-)märkten zu erwarten ist, kann argumentiert werden, dass Institutionen in diesen Regionen von übergeordneter Bedeutung für die Entwicklung des TIS sind.

Direkten Einfluss auf die untersuchten Anwendungen zur Wasseraufbereitung üben verbindliche Vorgaben zur Einhaltung einer vorgeschriebenen Wasserqualität aus. Diese können länderspezifisch variieren und sind auszugsweise aufgeführt:

<i>Safe Drinking Water Act (SDWA)</i>	<i>USA</i>
<i>Canadian Drinking Water Guidelines</i>	<i>Kanada</i>
<i>Circular Economy Promotion Law</i>	<i>China</i>
<i>Trinkwasserverordnung - TrinkwV</i>	<i>Deutschland</i>

Ebenfalls direkten Einfluss auf das TIS haben Institutionen mit Bezug zur Sicherheit der Anwendungen:

<i>CE-Kennzeichnung</i>	<i>Europa</i>
<i>FCC-Kennzeichnung</i>	<i>USA</i>
<i>CSA-Kennzeichnung</i>	<i>Kanada</i>
<i>CCC</i>	<i>China</i>

2.3 Netzwerke

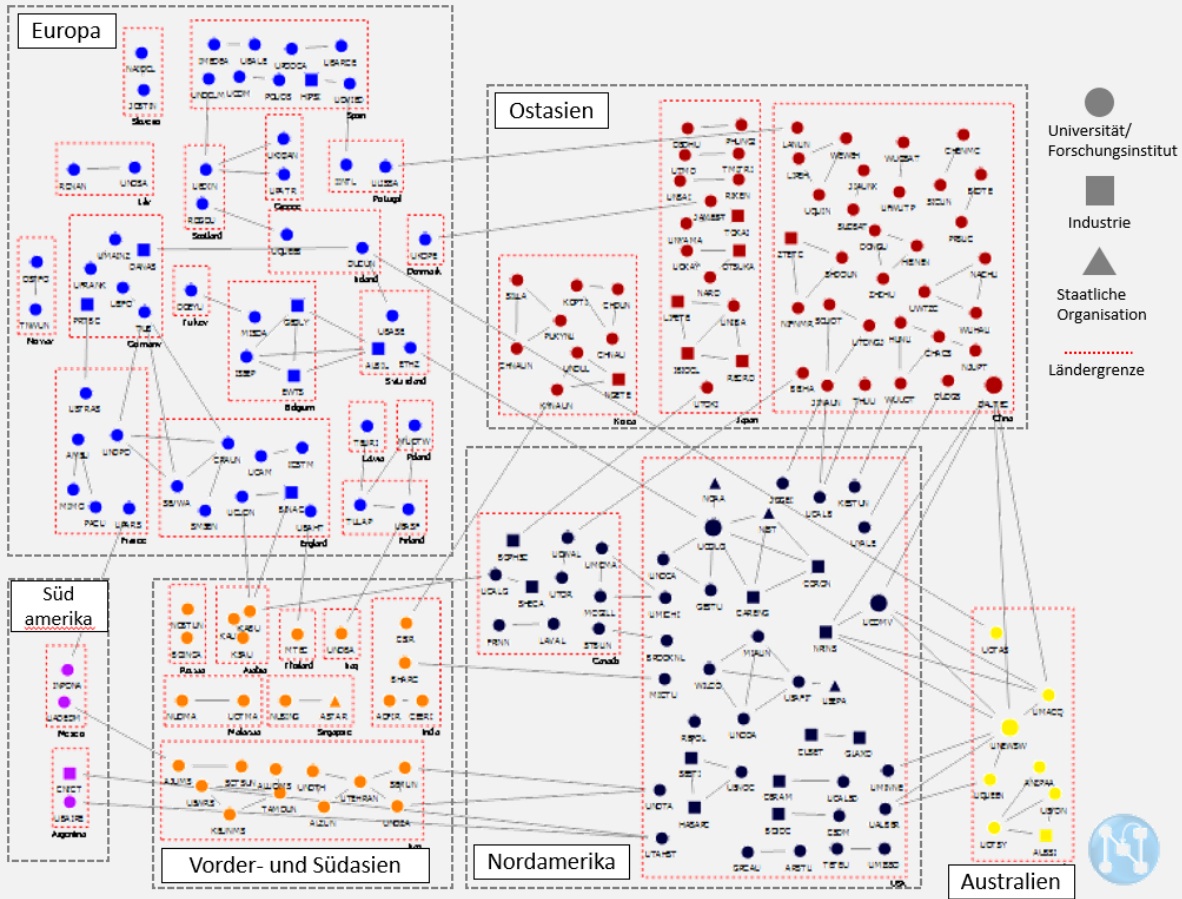
Dem Konzept der Innovationssysteme liegt die Idee zugrunde, dass Akteure miteinander über Netzwerke in Wechselbeziehungen stehen (vgl. Hekkert et al. 2011, 5). Unter Netzwerken wird dabei der Zusammenschluss verschiedener Akteure verstanden, um spezifische Aufgaben innerhalb des TIS gemeinsam lösen zu können. Dies ist zentral für die Funktionsfähigkeit eines Innovationssystems, da so Wissen zwischen den Akteuren des TIS verbreitet wird.

In den Netzwerken können sowohl private Akteure aus der Industrie, sowie öffentliche Akteure aus der Forschung organisiert sein (vgl. Bergek et al. 2008, 413). Die Zusammensetzung der Netzwerke kann in Abhängigkeit der Zielsetzung variieren. Diese können beispielsweise aufgrund wirtschaftlicher Zusammenarbeit, zum Austausch von Wissen oder zur Erschließung von Märkten bestehen (vgl. Suchman 1995, 588). Zudem können Netzwerke eine politische Agenda haben, um etwa das institutionelle System zu beeinflussen. Einige haben dabei das Ziel spezifische Aufgaben zu lösen. Dies können Maßnahmen zur Standardisierung, Technologieplattformen, Öffentlich-Private Partnerschaften oder Anbietergruppen mit gemeinsamen Kund*innen sein.

Erneut lassen sich formelle und informelle Netzwerke unterscheiden. Formelle Netzwerke kennzeichnen sich durch offiziell festgelegte Strukturen und sind daher leichter identifizierbar. Informelle Netzwerke haben eine weniger strukturierte Ausrichtung. Dies können etwa Käufer-Verkäufer Beziehungen sein. Deren Identifikation erfordert die Befragung von Experten aus der Industrie.

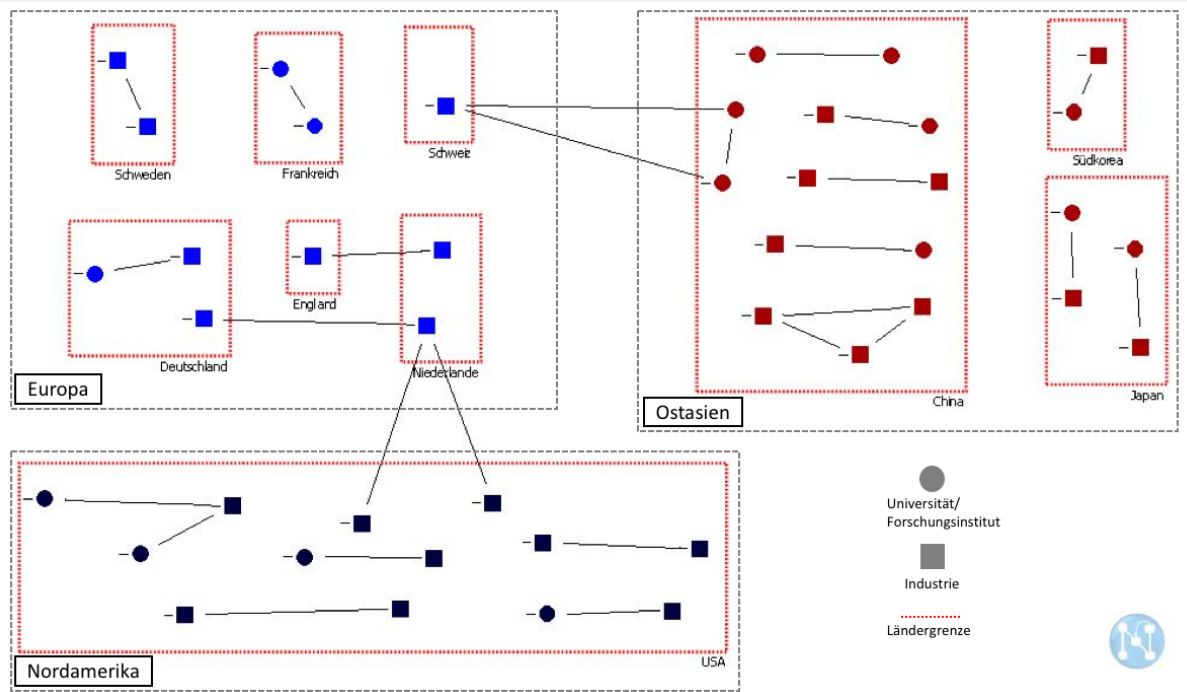
Netzwerkanalyse zur UV LED basierten Anwendungen der Wasseraufbereitung

Neben der qualitativen Recherche der Netzwerke können quantitative Daten im Rahmen einer sozialen Netzwerkanalyse untersucht werden, um Aussagen über die Häufigkeit und Muster der Netzwerke treffen zu können. Dabei werden in der Regel Knotenpunkte und Verbindungen unterschieden. Die Knotenpunkte stellen dabei jeweils individuelle Akteure da, welche über die Verbindungen miteinander in Beziehung stehen (vgl. Binz und Tuffer). Zunächst werden Kooperationen mit Hilfe bibliometrische Daten im fokussierten Arbeitsfeld betrachtet. Folglich werden vor allem wissensbasierte Netzwerke erkennbar.



In der angewandten Forschung zur UV LED basierten Wasseraufbereitung konnten 203 Knotenpunkte gefunden werden, woraus geschlossen werden kann, dass der Großteil der insgesamt identifizierten 249 Akteure in Netzwerken organisiert ist. Die folgende Abbildung zeigt insgesamt 69 Netzwerke, wobei die Mehrheit lediglich aus zwei oder drei Akteuren besteht. Die zwei größten Netzwerke umfassen jeweils acht Akteure, die aus der Forschung sowie der Industrie stammen. Insgesamt sind hier 29 Unternehmen vernetzt, sodass nahezu alle industriellen Akteure der angewandten Forschung in Netzwerken organisiert sind. Die Akteure aus Südamerika, Vorderasien, Südasien und Australien haben einen positiven „External-Internal-Index“. Dieser gibt an, wie viele Verbindungen innerhalb einer festgelegten Gruppe liegen bzw. nach außen gerichtet sind (vgl. Krackhardt und Stern). Dies scheint insofern plausibel, da die Mehrzahl der Akteure aus Ostasien, Nordamerika und Europa stammt. Entsprechend bedarf es zur erfolgreichen Generierung von Wissen, Beziehungen in diese Regionen.

Eine äquivalente Vorgehensweise ist mit Patentdaten möglich, um Zusammenarbeiten zur gemeinsamen Entwicklung von Patenten zu identifizieren. Im exemplarischen Fall, konnten 43 Organisationen identifiziert werden, die in 19 Netzwerken aktiv sind. Im Vergleich zu den 204 identifizierten Akteuren die Patente angemeldet haben, ist die Zusammenarbeit hier bisher gering. Die Netzwerke befinden sich ausschließlich innerhalb von Ostasien, Nordamerika und Europa und sind global weniger stark vernetzt. Dies stimmt mit den bisherigen Beobachtungen überein, wonach Akteure aus der Entwicklung und Herstellung geografisch stärker fokussiert sind, als Akteure aus der Forschung.



Die strukturelle Analyse ist in der Lage, den gegenwärtigen Zustand des TIS schematisch abzubilden. Insbesondere für entstehende Systeme können diese Strukturen aufgrund bestehender Unsicherheiten noch nicht vorhanden sein. Dies erschwert die Identifikation der Strukturelemente, da etwa keine relevanten Unternehmensverzeichnisse oder Industrieverbände existieren. Zudem ist es möglich, dass Akteure selbst nicht erkennen, dass sie zu einem bestimmten TIS gehören. Zusätzlich sind in frühen Entwicklungsphasen Netzwerke gewöhnlich unterentwickelt oder haben einen informellen Charakter oder sind nicht existent. Aufgrund dessen stellt sich die strukturelle Analyse als iterativer Prozess dar, indem zusätzliche Informationen hinzugefügt werden, wenn die Analyse weiter voranschreitet (vgl. Bergék et al. 2008).

Die Identifikation der Strukturelemente eines TIS stellt die Basis für den folgenden Schritt dar, der den Kern der Analyse markiert: die funktionale Analyse des TIS.

3. Funktionen im Innovationssystem am Beispiel UV LED

Mit Hilfe der funktionalen Analyse können Ergebnisse aus der strukturellen Analyse in einem zeitlichen Kontext betrachtet werden.

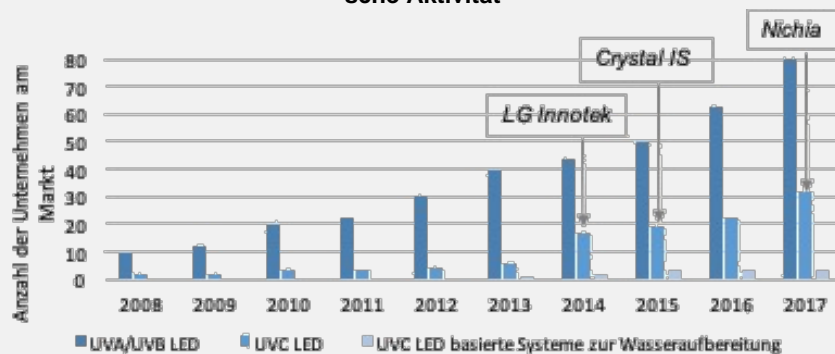
Im Folgenden werden zunächst die Systemfunktion erläutert, mit denen es möglich die wichtigsten Prozesse innerhalb des TIS zu beschreiben. Das Ausmaß in dem die Funktionen erfüllt werden, wird beispielhaft anhand der Case Study zur UV LED basierten Wasseraufbereitung mit Hilfe eines Indikators illustriert.

Die **unternehmerischen Aktivitäten (F1)** sind entscheidend für die Funktionalität des Innovationssystems. Ohne Unternehmer*innen und Gründer*innen existieren keine Innovationssysteme. Die Rolle der Unternehmer*innen ist es, das Potential von neuem Wissen, Netzwerken und Märkten für sich zu nutzen und neue Geschäftsmöglichkeiten zu etablieren (vgl. Hekkert et al. 2007, 421). Dabei wird zugleich die Unsicherheit verkleinert, die mit einer neuen Technologie einhergeht. Die Entwicklung eines TIS ist stets von Ungewissheit geprägt. Durch das Scheitern oder durch Erfolge unternehmerischer Aktivitäten entsteht eine Lernkurve, welche sich positiv auf die Wissensgenerierung auswirkt (vgl. Kemp et al. 1998, 185-187). Die unternehmerischen Aktivitäten sind entscheidend für die Produktion kommerzieller Anwendungen. Mit der Hilfe von Indikatoren, wie der Anzahl der relevanten Unternehmen und der Marktneuzugänge, kann die Funktion bewertet werden (vgl. Hekkert et al. 2007, 422). Neben Unternehmen die direkt in die Wertschöpfungskette eingebunden sind, kann auch die Betrachtung von Herstellern von Substituten und Komplementärprodukten Aufschluss über unternehmerische Aktivitäten liefern.

Unternehmerische Aktivitäten in der UV LED basierten Wasseraufbereitung

Zur Produktion UV LED basierter Produkte der Wasseraufbereitung, bedarf es der Herstellung von UVC Lampen als vorgelagerter Prozess in der Wertschöpfungskette. Für das Jahr 2017 konnten 31 Unternehmen identifiziert werden, die entsprechende Leuchtmittel herstellen. Die Abbildung zeigt, dass die Zahl der Akteure seit 2008 deutlich gestiegen ist und bereits große Hersteller kommerzielle UVC LEDs produzieren. Demnach sind ausreichend viele Hersteller am Markt, sodass die Versorgung mit UVC LEDs möglich ist. Bei den Herstellern von Systemen zur Wasseraufbereitung konnten ausschließlich drei Unternehmensneugründungen identifiziert werden. Daraus lässt sich schließen, dass die unternehmerische Aktivität bei der Produktion LED basierter Systeme zur Wasseraufbereitung gegenwärtig gering ist.

Anzahl der Neugründungen (inkl. Neuausrichtung etablierter Firmen) als Indikator für die unternehmerische Aktivität



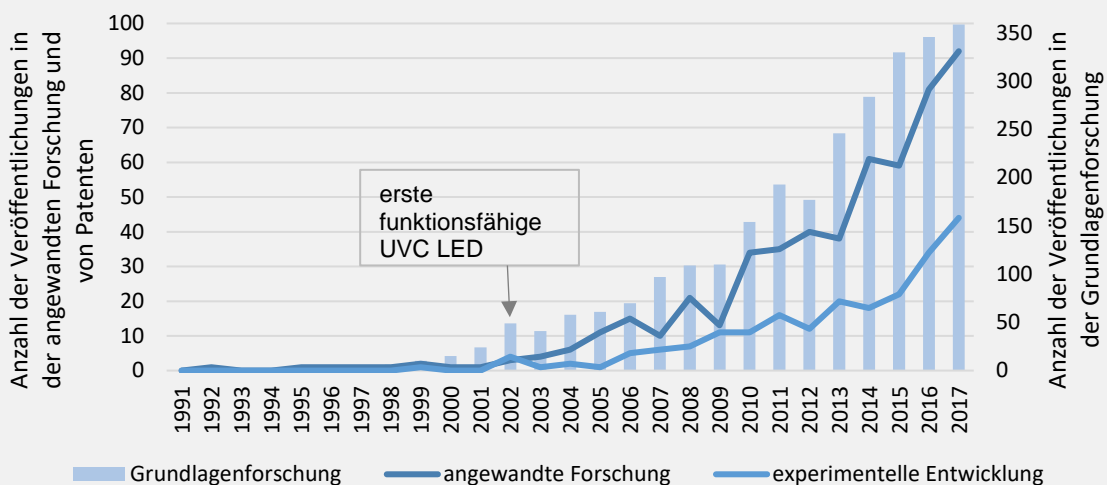
Lernprozesse sind entscheidend für die Funktion eines TIS. Die **Generierung von Wissen (F2)** ist demnach eine zentrale Voraussetzung für die Entwicklung des Systems. Lundvall bezeichnet Wissen als die fundamentalste Ressource einer modernen Ökonomie und das Lernen daher als den wichtigsten Prozess (1992, 23-46). Die Wissensentwicklung ist von der Forschung und Entwicklung (F&E) abhängig. Grundlagenforschung und angewandte Forschung wird vor allem von Seiten der Wissenschaftler*innen, aber auch durch nicht wissenschaftliche Akteure forciert. Experimentelle Entwicklung wird zudem von industriellen Akteuren betrieben. Indikatoren sind beispielsweise die Anzahl von Patentanmeldungen und Publikationen (vgl. Hekkert et al. 2007, 422).

Generierung von Wissen in der UV LED basierten Wasseraufbereitung

Empirisch messbar ist die Wissensgenerierung anhand der Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen und der Anzahl der veröffentlichten Patente (vgl. Bergek et al. 2008, 415). Das bedeutet es wird angenommen, dass den Publizierungen die Aneignung von Wissen vorausgeht. In der strukturellen Analyse hat sich gezeigt, dass dies sowohl in Universitäten und Forschungseinrichtungen geschieht als auch innerhalb von Unternehmen. Die Abbildung zeigt die Anzahl der Veröffentlichungen in der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung und der Patente pro Jahr. Bei allen drei Indikatoren ist ein ähnlicher Verlauf erkennbar. Die Anzahl der Patente übersteigt zumeist die Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen in der angewandten Forschung. Ursächlich hierfür könnte sein, dass Schwierigkeiten bei der Entwicklung der Anwendungen zur Wasseraufbereitung technischer Natur sind und somit eher experimenteller Entwicklung anstatt angewandter Forschung bedürfen. Herausforderungen bei der Entwicklung der UVC LEDs bedürfen hingegen wissenschaftlichen Lösungen und fallen hier unter die Grundlagenforschung.

Im Jahr 2002 ist mit der Entwicklung der ersten UVC LED ein Anstieg in allen Indikatoren erkennbar. Insgesamt ist die Generierung von relevantem Wissen mit Einfluss auf das fokussierten TIS seit 2012 deutlich vorangeschritten.

Anzahl der Publikationen und Patenthäufigkeit als Indikator für Wissensgenerierung



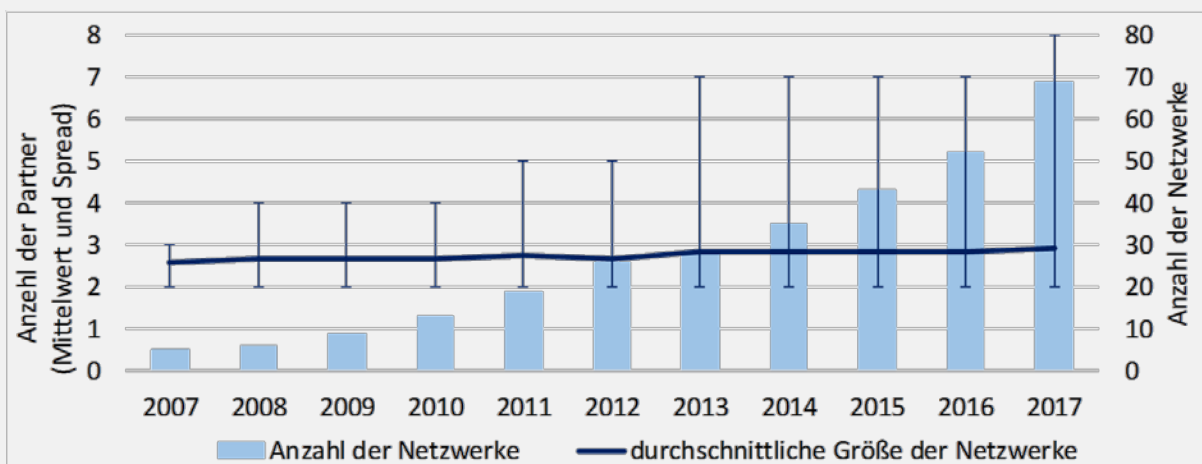
Die **Wissensverbreitung (F3)** versucht die Breite und Tiefe des gegenwärtigen Wissensstandes innerhalb des TIS zu erfassen. Außerdem soll die Funktion Aufschluss darüber geben, wie sich das Wissen über die Zeit verändert und diffundiert sowie kombiniert wird (vgl. Bergek et al. 2008, 414). Entscheidend hierfür sind nach Carlsson und Stankiewicz die Netzwerke des TIS, da hierüber der Austausch von Informationen stattfindet (1991, 103). Wissen kann dabei innerhalb von F&E Projekten weitergegeben werden. Daneben geschieht dies aber vor allem auch im heterogenen Kontext. Dies kann der Fall sein, wenn F&E Akteure auf die Regierung, Wettbewerber oder den Markt treffen (vgl. Hekkert & Negro 2009, 586). Indikatoren zur Analyse dieser Funktion sind beispielsweise die Anzahl von Zusammenschlüssen verschiedener Akteure zu den entsprechenden technologischen Themen oder die Abbildung der Netzwerkgröße im Zeitverlauf (vgl. Hekkert et al. 2007, 423).

Wissensverbreitung in der UV LED basierten Wasseraufbereitung

Eine allumfassende Auswertung ist insbesondere bei neu aufkommenden Technologien aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit nicht möglich. Dennoch kann die Betrachtung einzelner Netzwerke und deren Ziele, sowie die quantitative Analyse von gemeinschaftlichen Publikationen, Entwicklungen bei der Wissensverbreitung verdeutlichen. Die Verbreitung von Wissen wird im Folgenden exemplarisch anhand der Größe und der Anzahl bestehender Kooperationen in der angewandten Forschung illustriert.

Die Abbildung verdeutlicht, dass die Zahl der Kooperationen seit 2007 stetig zugenommen hat. Die durchschnittliche Größe der Netzwerke gibt die Anzahl der beteiligten Akteure pro Netzwerk im Mittelwert wieder. Diese hat sich im Gegensatz kaum verändert und ist im Durchschnitt, mit etwa drei Akteuren, gering.

Kooperationen in der Forschung als Indikator für die Wissensverbreitung



Die Anzahl der wissensbasierten Kooperationen hat seit 2007 deutlich zugenommen. Laut qualitativer Analyse wird dabei Wissen verbreitet, dass zur Förderung höherer Standards und einer höheren Leistung der Anwendungen beiträgt. Patentdaten zeigen, dass in der experimentellen Entwicklung und bei der Zusammenarbeit zwischen industriellen Akteuren eine Vernetzung stattfindet, die bisher jedoch

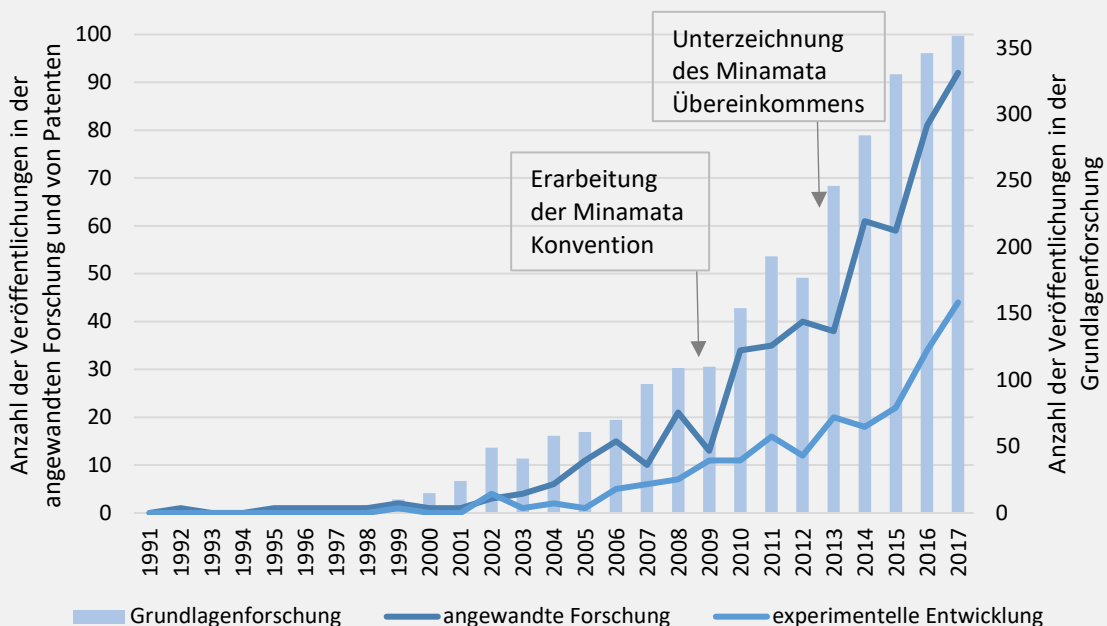
Die Steuerung der Forschung (F4) bezieht sich auf die Aktivitäten innerhalb des TIS, die dafür sorgen, dass die verfügbaren Ressourcen effizient eingesetzt werden (vgl. Hekkert & Negro 2009, 586). Das TIS ist dazu in der Lage, Bedürfnisse befriedigen zu können, in dem Ausmaß, in dem diese offengelegt sind. Dies ist wichtig für die Entwicklung, da Ressourcen grundsätzlich knapp sind und daher spezifische Schwerpunkte gesetzt werden sollten. Neben staatlicher Einflussnahme geschieht dies als interaktiver Prozess. Mit der Kommunikation und Begründung von dem langfristigen politischen Ziel, kann die öffentliche Wahrnehmung dahingehend geschärft werden. Um die Funktion zu analysieren, können spezifische Zielsetzungen von Regierungen und deren Auswirkungen betrachtet werden (vgl. Hekkert et al. 2007, 424).

Steuerung der Forschung in der UV LED basierten Wasseraufbereitung

Die Abbildung zeigt, dass die Erarbeitung der Minamata Konvention im Jahr 2009 und deren Unterzeichnung im Jahr 2012 augenscheinlich Einfluss auf die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der fokussierten Technologie hatten. Dies und die daraus resultierten nationalen Gesetze zum Verbot von Quecksilber, können als Steuerung der F&E im fokussierten TIS betrachtet werden.

Die veröffentlichten Arbeiten zur UV LED basierten Wasseraufbereitung bescheinigen der Technologie zudem grundsätzlich ein hohes Potential und forschen nach Möglichkeiten der weiteren Effizienzsteigerung.

Umweltregulierungen als Indikator für die Steuerung der Forschung

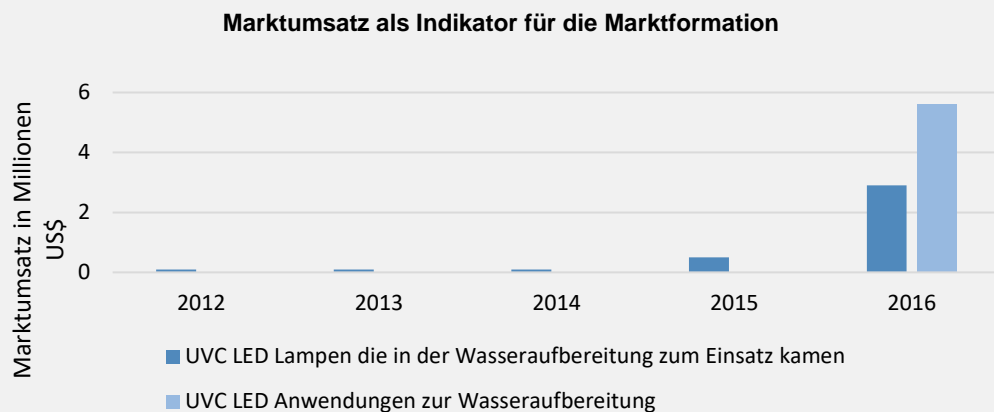


Damit sich ein TIS erfolgreich entwickeln kann, bedarf es einer **Marktformation (F5)**. Für ein entstehendes TIS existieren oftmals keine oder stark unterentwickelte Märkte (vgl. Nelson 1982, 347-374). Ursäch-

lich hierfür kann beispielsweise sein, dass potentielle Kund*innen ihre Nachfrage noch nicht artikuliert haben, das Preis-Leistungs-Verhältnis der Technologie gegenüber etablierten Technologien schlechter ist oder Unsicherheiten bei den Nachfragern bestehen (vgl. Bergek et al. 2008, 416). Zusätzlich stehen neue Technologien mit etablierten Technologien im Wettbewerb. Daher ist es entscheidend, geschützte Räume für neue Technologien zu schaffen. Eine Möglichkeit ist die Schaffung von Nischenmärkten für bestimmte Anwendungen der Technologie. Innerhalb dieser Umgebung ist es den Akteuren möglich, ihr Wissen über neue Technologien zu vergrößern (vgl. Hekkert et al. 2007, 424). Änderungen in den Institutionen, wie beispielsweise die Entwicklung von Normen und Standards, sind oft eine Voraussetzung damit sich solche Nischenmärkte entwickeln können. Die Analyse der Marktformation kann beispielsweise anhand von jährlichen Verkaufszahlen, Umsätzen sowie des Marktpotentials erfolgen (vgl. Bergek et al. 2008, 416).

Marktformation in der UV LED basierten Wasseraufbereitung

Eine quantitative Messung der gegenwärtigen Marktgröße ist für die betrachteten Produkte aufgrund der geringen Anzahl an Herstellern schwierig. In der folgenden Abbildung sind die geschätzten Markterlöse von UVC Lampen, die ausschließlich in der Wasseraufbereitung eingesetzt wurden abgebildet (vgl. Yole 2016). Für das Jahr 2016 ist ein deutlicher Umsatzanstieg zu erkennen. In der Studie von The Insight Partners wurde zudem der weltweite Erlös aus LED basierten Anwendungen zur Wasseraufbereitung im Jahr 2016 auf 5,6 Millionen US\$ geschätzt (vgl. The Insight Partners 2017). Im Vergleich zu Quecksilber basierten UV Anwendungen, ist der Markt bisher sehr klein.

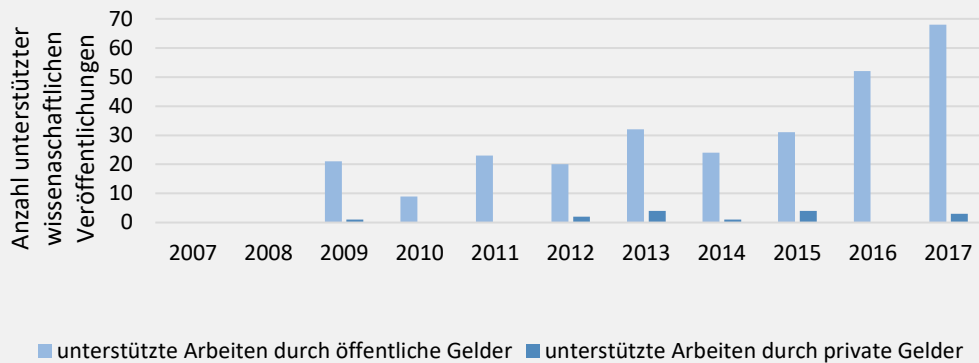


Während sich ein TIS entwickelt, bedarf es einer ausreichenden **Mobilität an Ressourcen (F6)**. So ist insbesondere die Bereitstellung von Humankapital und Finanzkapital zu Beginn der Entwicklungsphase notwendig, damit die Produktion von Wissen möglich ist. Zusätzlich sind ausreichende physische Ressourcen in Form von Rohstoffen und relevanten Vorprodukten notwendig. Entsprechend wird ein Verständnis dafür benötigt, in welchem Ausmaß ein TIS dazu in der Lage ist, Ressourcen zu mobilisieren. Jedoch ist es schwierig, diese Funktion über die Zeit empirisch abzubilden (vgl. Hekkert et al. 2007, 425). Ansätze zur Messung der Mobilität liegen beispielsweise in der Betrachtung des Anstiegs von Wagniskapital und Forschungskapital, sowie der Verfügbarkeit von Humanressourcen und notwendigen Vorprodukten (vgl. Bergek et al. 2008, 417 - 418).

Mobilität der Ressourcen in der UV LED basierten Wasseraufbereitung

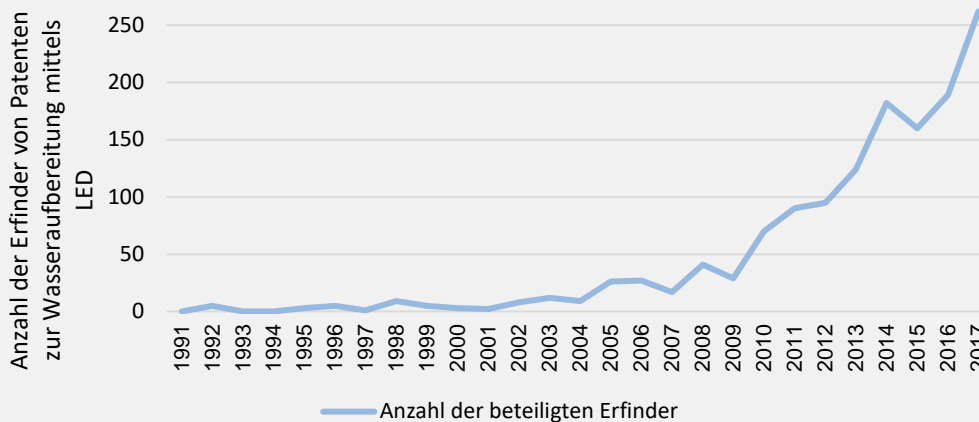
Die Abbildung zeigt die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen in der angewandten Forschung, die durch öffentliche oder private Gelder unterstützt wurden. Dies soll als Indikator für die Bereitstellung finanzieller Ressourcen in der Forschung dienen. Die ersten identifizierten Arbeiten, die eine individuelle Förderung erhalten haben, stammen aus dem Jahr 2009. Seit dem Jahr 2014 ist die Anzahl der öffentlich geförderten Arbeiten insgesamt noch einmal deutlich gestiegen, sodass eine entsprechende Zunahme bei der Unterstützung der Forschung durch öffentliche Finanzierung anzunehmen ist.

geförderte Publikationen als Indikator für Forschungskapital



Eine Aussage über das Angebot an Humankapital ist aufgrund der geringen Marktgröße nicht möglich. Die Anzahl an Erfindern von LED basierten Anwendungen zur Wasseraufbereitung, kann jedoch als Indikator für das vorhandene Potential an Humankapital betrachtet werden. Die folgende Abbildung zeigt die Zahl der Erfinder pro Jahr, welche Patente zur UV LED basierten Wasseraufbereitung angemeldet haben. Ab 2009 ist ein deutlicher Anstieg erkennbar, sodass von einem Anstieg des Potentials an Humankapital ausgegangen werden kann.

Zahl der Erfinder als Indikator für Humankapital



Die **Legitimation (F7)** betrifft die gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber der Technologie und den damit verbundenen Institutionen. Das bedeutet, die neue Technologie muss bei den relevanten Akteuren als geeignet und wünschenswert wahrgenommen werden. Dies schafft die Voraussetzung dafür, dass die Mobilität der Ressourcen zunimmt, sich eine Nachfrage formt und Institutionen geschaffen werden. Nur so kann der Markt ausreichend wachsen und Teil eines bestehenden Regimes werden oder es ablösen (vgl. Hekkert et al. 2007, 425). Dabei ist die Legitimität nicht unmittelbar vorhanden, sondern wird durch bewusste Aktionen von Organisationen wie Interessenverbänden und Individuen geformt (vgl. Bergek et al. 2008, 417).

Legitimation in der UV LED basierten Wasseraufbereitung

Das generelle Bewusstsein von Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit für eine nachhaltige Bereitstellung von sauberem Trinkwasser variiert im internationalen Kontext. Hohe Standards in Europa, Kanada und den USA stellen grundsätzlich sicher, dass die bereitgestellte Wasserqualität den strengen Gesetzen genügt, sodass die Problematik einer unzureichenden Wasserqualität nicht im Mittelpunkt öffentlicher Aufmerksamkeit steht. In diesen Ländern findet jedoch ein zunehmendes Bewusstsein für die Nutzung nachhaltiger Technologien statt, was die Legitimation UV LED basierter Aufbereitungsmethoden vereinfacht (vgl. Malley 2010, 19).

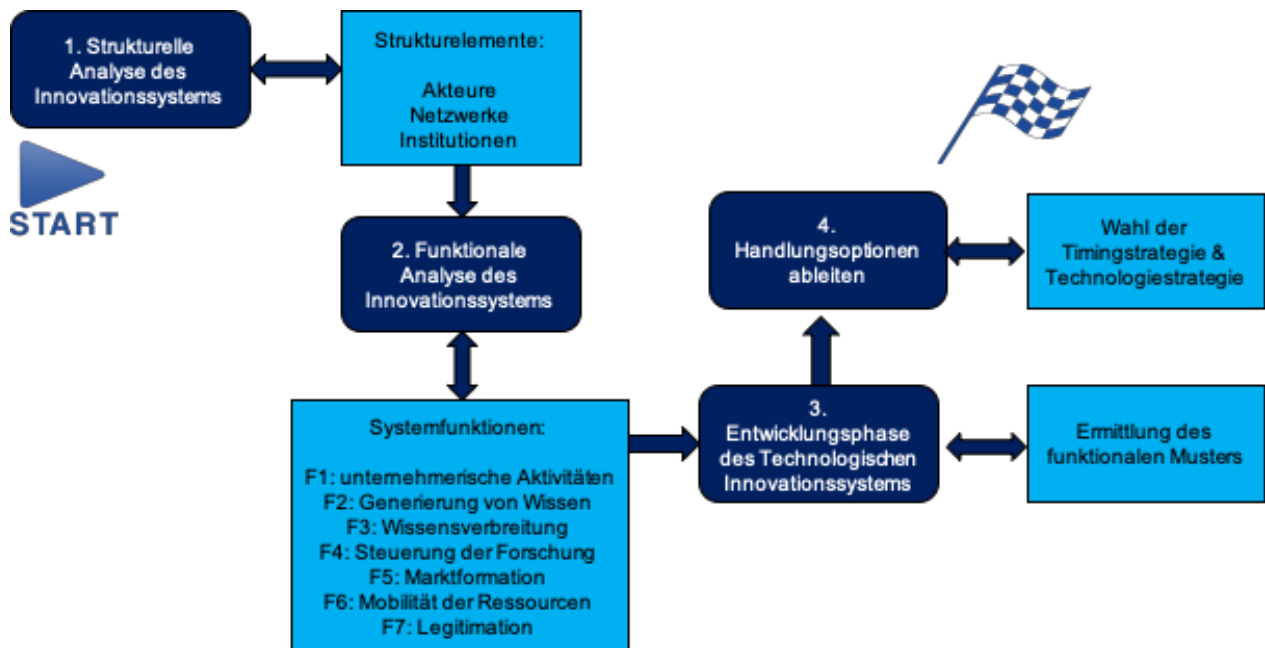
Die strukturelle Analyse hat gezeigt, dass in ostasiatischen Ländern ebenfalls Vorschriften zur Wasserqualität bestehen. Die Umsetzung der Vorgaben ist teilweise jedoch weniger strikt (vgl. Chandrappa & Das 2014, 15-16). Das Bewusstsein in der Bevölkerung für die Bereitstellung von sauberem Wasser ist dennoch gegeben. Malley spricht von einer zunehmenden Besorgnis der Menschen, dass Wasser mit Mikroorganismen verunreinigt ist (2010, 24). Dies wird beispielsweise daran deutlich, dass in China der Verkauf von abgefüllten Wasser seit 2013 um über 15% gestiegen ist (vgl. Chandrappa & Das 2014, 40). Grundsätzlich dürfte somit die Akzeptanz gegenüber einer nachhaltigen Bereitstellung von Trinkwasser sowohl in Ostasien, Nordamerika und Europa gegeben sein.

Die Legitimation der UVC LED Technologie zur Wasseraufbereitung kann aufgrund der uneinheitlichen und fehlenden spezifischen Standards beeinträchtigt werden. Fehlende Möglichkeiten zur Zertifizierung in Bezug auf Aspekte der Sicherheit und Qualität der Anwendungen, können das Vertrauen der Nutzer in die Technologie negativ beeinflussen.

IV Vorgehen bei der Analyse

Das Vorgehen der Analyse gliedert sich in mehrere Subanalysen. Die vorgestellte Vorgehensweise beinhaltet vier Schritte. Der erste Schritt markiert den Startpunkt der Analyse, indem das fokussierte Innovationssystem und die Technologie definiert werden. Dazu werden das System und die Technologie abgegrenzt und die Strukturelemente untersucht. Im zweiten Schritt geht die Analyse von der Struktur zur Funktion des TIS über. Mit der funktionalen Analyse wird beschrieben, wie sich das TIS in Bezug auf die sieben Systemfunktion verhält. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus der Analyse kann die Entwicklungsphase des TIS bestimmt werden und die Technologieposition des Unternehmens eingeschätzt werden. Im finalen Schritt können schließlich durch die Wahl der passenden Timing- und Technologiestrategie Handlungsoptionen abgeleitet werden.

Es gilt zu beachten, dass das Vorgehen bei der Analyse nicht als linearer Prozess zu verstehen ist. Stattdessen kann es immer wieder zu Wiederholungen und Anpassungen bei der Analyse der Strukturen und Funktionen kommen. Im Folgenden wird die Methodik der Schritte genauer untersucht und exemplarisch illustriert.



1. Strukturelle Analyse des Innovationssystems

Für die Operationalisierung von Technologieentwicklungen gilt es, zunächst die zu untersuchende Technologie zu definieren. Wie erwähnt, sehen sich Analyst*innen dabei mehreren Entscheidungen gegenüber, die das zu untersuchende Innovationssystem maßgeblich bestimmen. Dies betrifft das Technologiefeld, die Breite der Anwendungen und die lokalen Räume.

Bei einem TIS handelt es sich um ein analytisches Konstrukt, das in der Realität nicht zwangsläufig als System existiert. Daher sind während der Analyse in der Regel Neubewertungen und Anpassungen vorzunehmen. Dies gilt insbesondere, wenn Analyst*innen weniger vertraut mit dem Analysefeld sind, da es sich etwa um eine neu aufkommende Technologie handelt. Hier kann es sinnvoll sein einen breiten Startpunkt zu wählen und diesen während der Analyse weiter einzugrenzen.

Wenngleich ein TIS grundsätzlich einen globalen Charakter hat, kann der Fokus der Analyse auf einer bestimmten fokussierten Region liegen. Die geografische Begrenzung darf jedoch nicht allgemeingültig für das gesamte TIS sein. Eine ganzheitliche Betrachtung kann nicht ohne ein Verständnis für den internationalen Kontext vorgenommen werden.

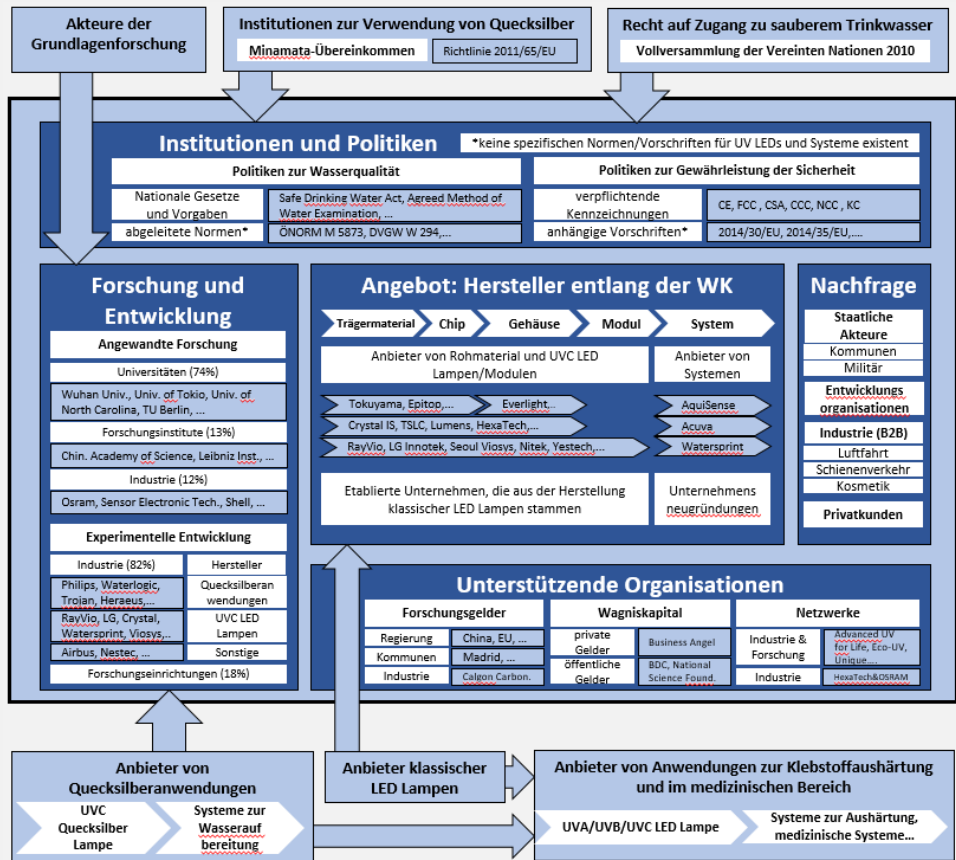
Zur Identifizierung der Strukturelemente des TIS bedarf es vor allem der qualitativen Datenbeschaffung. Daher ist hier grundsätzlich die Befragung von Experten und Marktforschungsinstituten sowie die Recherche auf Webseiten von Interessenverbänden und Unternehmen zielführend. In der folgenden Tabelle sind zusätzliche Möglichkeiten der Datenbeschaffung gelistet. Die Verwendung der aufgeführten Indikatoren stellt keine notwendige Voraussetzung für die strukturelle Analyse dar. Vielmehr soll dies als Ergänzung für vorhandenes Wissen dienen.

Strukturelement	Mögliche Indikatoren	Zugang
	Hersteller, Wettbewerber, Neugründungen	Gründungsblogs und -zeitschriften, kommerzielle Unternehmensdatenbanken
	Verankerung in der Wertschöpfungskette	Analysen von Wirtschaftsforschungsinstituten
	Patentanmelder	Patentdatenbanken und Analysesoftware (z.B. Depatisnet, USPTO; JPO, EPO, PATSTAT, Patentinspiration, PatentExplorer)
Akteure	Zulieferer, Anbieter komplementärer Produkte oder Dienstleistungen	Anbieter von Unternehmensdaten (z.B. OneThomson, Zephyr) Wirtschaftsdatenbanken (z.B. GBI-Genios)
	Verbände, Interessengruppen	Analysen von Wirtschaftsforschungsinstituten, Ministerien, OECD
	Autoren von Publikationen	Zitationsdatenbanken (z.B. Science Citation Index, IEEE xplora) Suchmaschinen und Webcrawler (z.B. Google Scholar)
	Leistungsträger/ Förderorganisationen	Datenbanken öffentlich geförderter F&E Kooperationen (z.B. CORDIS)

		Publikationsdatenbanken (z.B. Web of Science, IEEE xplora)
	Verbände, Interessengruppen, Standardisierungsorganisationen	Analysen von Wirtschaftsforschungsinstituten, Ministerien, OECD
	Konferenzen und Tagungen	Newsletter der Interessengruppen, Webseiten von Konferenzen und Tagungen
Netzwerke	Messen	Messebesuche, Austellerkataloge
	F&E-Kooperationen	Patentanalysesoftware für gemeinsame Patentanmeldungen Zitationsdatenbanken für gemeinsame Wissenschaftliche Veröffentlichungen Förderdatenbanken öffentlich geförderter F&E Kooperationen (z.B. CORDIS)
Institutionen	Technologieregulierungen, Produktzulassungsverfahren, Verbraucherschutz, Umweltregulierungen, Zahl der Standards und Einbettung der Technologie in Standards	Gesetze und Richtlinien der jeweiligen Behörden Merkblätter des Umweltbundesamtes, Kommerzielle Anbieter (z.B. Techstreet)

Die zusammengetragenen Daten aus der strukturellen Analyse bilden den gegenwärtigen Zustand des TIS ab. Für das exemplarisch untersuchte TIS ergibt sich daraus die folgende Übersicht:

Die nachfolgende Abbildung fasst die untersuchten Strukturelemente zur UV LED basierten Wasseraufbereitung grafisch zusammen. Dabei werden die einzelnen Akteure, Institutionen und Netzwerke nicht vollständig genannt. Vielmehr soll ein schematischer Überblick über das identifizierte TIS geschaffen werden:



2. Funktionale Analyse des Innovationssystems

Mit der funktionalen Analyse soll festgestellt werden, wie sich das TIS in Bezug auf seine Kernprozesse verhält. Dieser Schritt besitzt noch keinen normativen Charakter. Mit Hilfe von Indikatoren wird das Ausmaß des Erfüllungsgrades der Funktionen wiedergegeben. Es ist nicht möglich, dies exakt abzubilden. Die Aufgabe der Analyst*innen ist es, dies mit Hilfe quantitativer und qualitativer Daten abzuschätzen.

Die Erfüllung der Funktionen ändert sich im Zeitverlauf. Die Betrachtung der Dynamik hilft, den gegenwärtigen Zustand des TIS besser einschätzen zu können.

unternehmerischen Aktivitäten (F1)

Indikatoren	Zugang
Anzahl Neugründungen (inkl. Neuausrichtung etablierter Firmen)	Gründungsblogs und -zeitschriften, kommerzielle Unternehmensdatenbanken
Produkte, Pilotprojekte, Use Cases	Firmendatenbanken (z.B. Hoppenstedt Datenbank für Hochschulen)
Leistungsfähigkeit (Wirtschaftlichkeit)	Produktdatenblätter, Patentschriften, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

Generierung von Wissen (F2)

Indikatoren	Zugang
Publikationen, Zitationen	Zitationsdatenbanken (z.B. Science Citation Index, IEEE xplora) Suchmaschinen und Webcrawler (z.B. Google Scholar)
Patenthäufigkeit	Patentdatenbanken und Analysesoftware (z.B. Depatisnet, USPTO; JPO, EPO, PATSTAT, Patentinspiration, PatentExplorer)
Anzahl und Größe der F&E Projekte	Unternehmenskontakte, Jahresberichte, Pressemeldungen, Praktiker- und Verbandszeitschriften Förderdatenbanken öffentlich geförderter F&E Projekte (z.B. CORDIS, Förderdatenbank des Bundes)

Wissensverbreitung (F3)

Indikatoren	Zugang
F&E Kooperationen	Patentanalysesoftware für gemeinsame Patentanmeldungen Zitationsdatenbanken für gemeinsame wissenschaftliche Veröffentlichungen Förderdatenbanken öffentlich geförderter F&E Kooperationen (z.B. CORDIS)
Lizenzen und Patentverkäufe	Patentdatenbanken und Analysesoftware (z.B. Depatisnet, USPTO; JPO, EPO, PATSTAT, Patentinspiration, PatentExplorer)
Konferenzen, Tagungen, Workshops	Newsletter der Interessengruppen, Webseiten von Konferenzen, Tagungen und Workshops

Steuerung der Forschung (F4)

Indikatoren	Zugang
Technologieregulierungen, Umweltregulierungen, Zahl der Standards, Verbraucherschutz	Gesetze und Richtlinien der jeweiligen Behörden, Merkblätter des Umweltbundesamtes, Kommerzielle Anbieter (z.B. Techstreet)
Anzahl und Ausrichtung öffentlich geförderter F&E Projekte	Förderdatenbanken öffentlich geförderter F&E Projekte (z.B. CORDIS, Förderdatenbank des Bundes)
Steuererleichterungen und Subventionen	Förderdatenbanken (z.B. Förderdatenbank des Bundes), Änderungen im Steuerrecht (z.B. NWB Datenbank)

Marktformation (F5)

Indikatoren	Zugang
Anzahl der Produkte	Firmendatenbanken (z.B. Hoppenstedt Datenbank für Hochschulen), Portal für Marktanalysen und -studien (z.B. Mindbranch, Profound)
Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette	Gründungsblogs und -zeitschriften, kommerzielle Unternehmensdatenbanken
Messen	Messebesuche, Ausstellerkataloge
Marktgröße/-umsatz	Statistische Ämter (z.B. Bund und Länder, EUROSTAT), Portal für Marktanalysen und -studien (z.B. Mindbranch, Profound)

Mobilität der Ressourcen (F6)

Indikatoren	Zugang
Zunahme von Startkapital und Risikokapital	Datenbanken und auf Finanzen fokussierte Nachrichtenportale (z.B. CB Insights, TechCrunch, The Wall Street Journal, Fortune)
Anzahl der relevanten Hochschulabschlüsse, Stellenausschreibungen	Statistische Ämter (Statistisches Amt des Bundes, EUROSTAT, Statista)
Anzahl der Erfinder von Patenten	Patentdatenbanken und Analysesoftware (z.B. Depatisnet, USPTO; JPO, EPO, PATSTAT, Patentinspiration, PatentExplorer)

Legitimation (F7)

Indikatoren	Zugang
Regulierungen, Gesetzgebung und Standards	Gesetze und Richtlinien der jeweiligen Behörden, Merkblätter des Umweltbundesamtes, Kommerzielle Anbieter (z.B. Techstreet)
Interessenverbände	Recherche zu Interessensgruppen und Verbänden über Webseiten
(ökologische) Nachhaltigkeitswirkung für Hersteller, Zulieferer, Kund*innen	Analysen von Umweltinstituten und Forschungsinstituten, Datenbank für Ökobilanzierungen (z.B. Ökobaudat)
Artikulation der Nachfrage von führenden Kund*innen	Marktforschungsinstitute (z.B. Euromonitor, GfK), Portal für Marktanalysen und -studien (z.B. Mindbranch, Profound)
Glaube an das Wachstumspotential	Einschätzung der Akteure über gegenwärtige und künftige technologische Möglichkeiten

3. Bestimmung der Entwicklungsphase

Zuvor wurde bereits der Nutzen erläutert der mit der Berücksichtigung der Entwicklungsphase in die Analyse einhergeht. Die Relevanz der Systemfunktionen und deren Erfüllungsgrad unterscheidet sich in Abhängigkeit vom Fortschritt der Technologie. Ziel dieses Schrittes ist es, mit Hilfe der Ergebnisse aus der vorherigen Analyse Rückschlüsse auf den Stand der Technologischen Entwicklung. Dadurch soll das eigene Potenzial sowie die gegenwärtige und künftige Entwicklung des Technologischen Innovationssystems besser eingeschätzt werden können.

Inwiefern die Systemfunktionen förderlich oder hemmend auf die technologische Entwicklung wirken, hängt entscheidend von der gegenwärtigen Entwicklungsphase ab.

Die Entwicklung des Innovationssystems ist charakterisiert durch Unsicherheiten bezüglich des Bestehenden Marktes und der Technologie. Diese nehmen im Zeitverlauf ab, während die Verbreitung der Technologie zunimmt. Für die Bestimmung der jeweiligen Entwicklungsphase, ist keine allgemeingültige Vorgehensweise definierbar. Dennoch können die Ergebnisse aus der vorherigen Analyse genutzt werden, um bestehende Unsicherheiten und die Verbreitung der Technologie einschätzen zu können.

	Indikatoren	Begründung
Unsicherheit in Bezug auf Märkte und Technologien	Anzahl der Kooperationen	Unsicherheit über Geheimhaltung innerbetrieblichen Wissens
	Markteintritte von Firmen und anderen Organisationen	Unsicherheit über Erfolg der Technologie
	Startkapital und Risikokapital	Unsicherheit über Rentabilität der Technologie
	Öffentliche Förderung gegenüber privater Förderung	Höhere öffentliche Förderung zu Beginn einer technologischen Entwicklung
Verbreitung der Technologie	Standards	Zunehmende Standardisierung im Zeitverlauf
	Preis der Produkte	Zunehmend effizientere Produktion und Skaleneffekte
	Anzahl der Anwendungen	Zunehmende experimentelle Entwicklung im Zeitverlauf
	Effizienz/Leistungsfähigkeit der Produkte	Zunehmende Effizienz der Produkte
	Nachfrageartikulation	Schaffung von Nachfrage im Zeitverlauf
	Marktwachstum und Marktsättigung	Befriedigung der Nachfrage im Zeitverlauf

Neben den Indikatoren ist es mit der Hilfe von Expertenwissen mögliche die gegenwärtige Entwicklungsphase zu bestimmen.

Alkemade und Hekkert haben in Abhängigkeit der Entwicklungsphasen die Bedeutung der einzelnen Systemfunktionen untersucht (2009, 1-14) (sowie Hekkert et al. 2011). Dabei wurden Schlüsselfunktionen identifiziert, deren ausreichende Erfüllung als notwendige Bedingung für den Übergang des TIS in die jeweils nächste Phase identifiziert wird. Die Schlüsselfunktionen stehen jeweils in Wechselbeziehung mit weiteren

Systemfunktionen, die im Folgenden als „kritische Funktionen“ bezeichnet werden. Die kritischen Funktionen können über ihren Einfluss auf die Schlüsselfunktionen, die Performance des TIS positiv oder negativ verstärken.

Entwicklungsphase	Schlüsselfunktionen	kritische Funktionen
Vorentwicklungsphase	Generierung von Wissen (F2)	Wissensverbreitung (F3) Steuerung der Forschung (F4) Mobilität der Ressourcen (F6)
Entstehungsphase	unternehmerische Aktivitäten (F1) Generierung von Wissen (F2)	Wissensverbreitung (F3) Steuerung der Forschung (F4) Marktformation (F5) Mobilität der Ressourcen (F6) Legitimation (F7)
Wachstumsphase	unternehmerische Aktivitäten (F1) Legitimation (F7)	Steuerung der Forschung (F4) Marktformation (F5) Mobilität der Ressourcen (F6)
Reifephase	Marktformation (F5)	unternehmerische Aktivitäten (F1) Mobilität der Ressourcen (F6)

4. Wahl der passenden Handlungsoption

Um die Technologiestrategie und die damit einhergehenden Entscheidungen über Abschätzung des Ressourcenbedarfs und Fragen der Finanzierung beurteilen zu können, muss zunächst die relative Technologieposition bestimmt werden. Das heißt, das Unternehmen wird in Bezug auf die Schlüssel- Schrittmacher- bzw. Basistechnologie positioniert. Die Bewertung ist relativ zu seinen wichtigsten Wettbewerbern vorzunehmen. Dabei sind die Erkenntnisse aus der vorherigen Analyse über den allgemeinen Fortschritt der technologischen Entwicklung zu berücksichtigen. Mit Hilfe eines Benchmarks kann so ein entsprechendes Profil erstellt werden, das die eigenen technologischen Stärken und Schwächen, differenziert nach drei Technologieklassen (schwach, mittel, stark), im Verhältnis wiedergibt.

Im strategischen Management geht man davon aus, dass es ein beschränktes Set von Strategieoptionen gibt, aus dem Firmen in Abhängigkeit von Markt- und Wettbewerbscharakteristiken Maßnahmen auswählen können. Sie beschreiben die grundsätzliche Stoßrichtung, die ein Unternehmen in Bezug auf seine Technologieentwicklung verfolgen kann. Diese Strategie sollte in Abhängigkeit der relativen Technologie- und Wettbewerbsposition sowie der Entwicklungsphase des Innovationssystems getroffen werden.

Die Entwicklungsphase des Innovationssystems bestimmt den Optionsraum der dem Unternehmen gegeben wird. In frühen Entwicklungsphasen besteht ein größerer Spielraum. Wenn das Innovationssystem weiter voranschreitet, werden die Optionen eingegrenzt.

Im Folgenden werden vier Technologiestrategien unterschieden:

Die **technologische Führerschaft** sollte verfolgt werden, wenn das Unternehmen über eine starke Technologieposition und eine starke Wettbewerbsposition verfügt. Um die Führerschaft zu erreichen, bedarf es beim Timing der Pionierstrategie. Dadurch können die im Kapitel „Timingstrategien“ erläuterten Vorteile erzielt werden, während die Risiken bei einer solchen Ausgangslage vergleichsweise überschaubar bleiben. Das Unternehmen kann die Rolle des Innovationsführers einnehmen und technologische Trends beeinflussen.

Die Strategie der **technologischen Präsenz** hat das Ziel, bei allen Anwendungsmöglichkeiten der Technologie die Position zu behaupten, während gleichzeitig die Profilierung auf möglichst ein Spezialgebiet stattfindet. Um dies zu erreichen, bedarf es der „Frühen-Folger Strategie“, wobei F&E Gelder so eingesetzt werden, dass mit den maßgeblichen Wettbewerbern mithalten werden kann. Es werden nur punktuell Projekte verfolgt, bei denen eine Vorreiterposition angestrebt wird.

Die **technologische Nischenstrategie** erfordert ebenfalls die „Frühe-Folger Strategie“ beim Timing. Hier wird eine technologisch führende Position auf einem kleinen Teilsegment des Marktes angestrebt. F&E wird daher in Kompetenzen gebündelt, die genau für dieses Segment entscheidend sind. Das Unternehmen kann durch die Spezialisierung dort die technologische Vorreiterfunktion einnehmen.

Sollten sowohl die relative Technologieposition als auch die relative Wettbewerbsposition eher schwach sein, kann die defensivere Strategie der **technologischen Rationalisierung** gewählt werden. Die Technologieentwicklung wird darauf beschränkt, die Kosten- und Wettbewerbsposition kurzfristig zu verbessern.

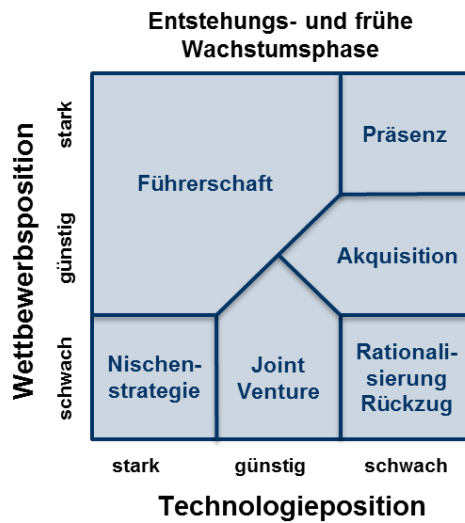
Handelt es sich um Basis- oder Schlüsseltechnologien, sollten Maßnahmen ergriffen werden, die unmittelbar zur Überwindung der Schwächen beitragen (vgl. Gerybadze, 2004).

Timing Strategien in Abhängigkeit der Technologiestrategie

Technologiestrategie	Timing Strategie	Vorteile	Nachteile
Führerschaft	Pionier-Strategie	Technologische Trends beeinflussen Rolle des Innovationsführeres Möglichkeit Standards zu etablieren	Hohes Risiko bezüglich der weiteren Technologieentwicklung Markteintritt mit unausgereiften Produktkonzept Markterschließungskosten
Präsenz	Frühe Folger-Strategie	Marktunsicherheiten geringer	Schnelle Reaktionsfähigkeit erforderlich
Nischenstrategie	Frühe Folger-Strategie	Marktposition noch nicht verteilt	
Akquisition	Späte Folger-Strategie	Markttransparenz Bereits erschlossener Markt	Marktpotenzial zu Teilen ausgeschöpft Bestehende Markteintrittsbarrieren
Joint Venture	Späte Folger-Strategie	Nutzung vorhandener Standards Geringere F&E Aufwendungen	Imagenachteile Präferenz der Kund*innen bereits ausgeprägt
Rationalisierung/Rückzug		Konzentration auf bestehende Aktivitäten	Keine/geringe Partizipation am Marktpotenzial

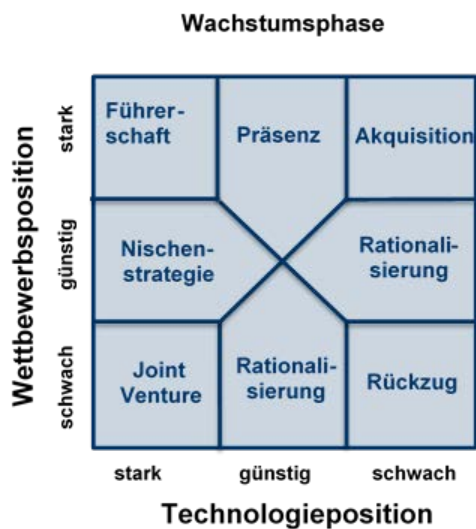
Quelle: eigene Erstellung

Wie bereits erwähnt, ist neben der relativen Technologie- und Wettbewerbsposition die Entwicklungsphase des Innovationssystems entscheidend für die Wahl der passenden Strategie. Die folgende Abbildung gibt die möglichen Strategien in der Entstehungs- und frühen Wachstumsphase wieder. Die Strategie der technologischen Führerschaft kann hier auch verfolgt werden, wenn bspw. die relative Technologieposition nur als mittel eingestuft wird, sofern dies durch eine starke Wettbewerbsposition ausgeglichen werden kann. In der Entstehungsphase hat sich noch kein dominantes Design gebildet und das Innovationssystem ist in Bewegung. Daher ist es hier auch für Unternehmen möglich, die nicht führend sind, mit der Pionierstrategie zum Innovationsführer zu werden. Bei einer schwachen Technologieposition ist hier bestenfalls die Strategie der technologischen Präsenz möglich (vgl. Gerybadze, 2004).



Quelle: eigene Erstellung in Anlehnung an Gerybadze, 2004

Befindet sich das Innovationssystem bereits in der Wachstumsphase, sind die Chancen die die eigene Technologieentwicklung bietet, geringer. Die Technologische Führerschaft ist nur bei einer starken Technologie- und Wettbewerbsposition möglich. Sofern ein Unternehmen über eine schwache Technologie- oder Wettbewerbsposition verfügt, ist es hier häufig zu spät, über F&E selbst eine Änderung herbeizuführen. Durch die Akquisition oder ein Joint Venture mit einem entsprechend stärker aufgestellten Marktpartner, können die Schwächen überwunden werden. (vgl. Gerybadze, 2004).



eigene Erstellung in Anlehnung an Gerybadze, 2004

Literatur

- Alkemade, F.; Hekkert, M. P. (2009): Development paths for emerging innovation systems: implications for environmental innovations. Utrecht University (Innovation Studies Utrecht (ISU) working paper series 09-08).
- Bergek, A.; Jacobsson, S.; Carlsson, B.; Lindmark, S.; Rickne, A. (2008): Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems. A scheme of analysis. In: *Research Policy* 37 (3), 407–429.
- Bleda, M.; del Río, P. (2013): The market failure and the systemic failure rationales in technological innovation systems. In: *Research Policy* 42 (5), 1039–1052.
- Buchholz, W. (1996): *Time-to-Market Management: Zeitorientierte Gestaltung von Produktinnovationsprozessen*. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart.
- Bullinger, H.J. (1994): *Einführung in das Technologiemanagement*. B.G. Teubner Verlag, Stuttgart.
- Carlsson, B.; Stankiewicz, R. (1991): On the nature, function and composition of technological systems. In: *J Evol Econ* 1 (2), 93–118.
- Chandrappa, R.; Das, D. B. (2014): *Sustainable and water engineering. Theory and practice*. Chichester: John Wiley & Sons Inc.
- Crawford, S. E. S.; Ostrom, E. (1995): A Grammar of Institutions. In: *Am Polit Sci Rev* 89 (03), 582–600.
- Eversheim, W. (2003) (Hrsg.): *Innovationsmanagement für technische Produkte*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gerybadze, A. (2004): *Technologie- und Innovationsmanagement: Strategie, Organisation und Implementierung*, München.
- Hekkert, M. P.; Negro, S. (2009): Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change. Empirical evidence for earlier claims. In: *Technological Forecasting and Social Change* 76 (4), 584–594.
- Hekkert, M. P.; Negro, S.; Heimeriks, G.; Harmsen, R. (2011): *Technological Innovation System Analysis. A manual for analysts*. Utrecht University.
- Hekkert, M. P.; Suurs, R.A.A.; Negro, S. O.; Kuhlmann, S.; Smits, R.E.H.M. (2007): Functions of innovation systems. A new approach for analysing technological change. In: *Technological Forecasting and Social Change* 74 (4), 413–432.
- Kemp, R.; Schot, J.; Hoogma, R. (1998): Regime shifts to sustainability through processes of niche formation. The approach of strategic niche management. In: *Technology Analysis & Strategic Management* 10 (2), 175–198.
- Lundvall, B. (1985): *Product innovation and user-producer interaction*. Aalborg: Univ. Press (Industrial development research series, 31 : Research report).
- Lundvall, B. (Hg.) (1992): *National systems of innovation. Towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter.
- Malley, J. (2010): UV in Water Treatment - Issues from the Next Decade. In: *International Ultraviolet Association News* 12.
- Markard, J.; Hekkert, M. P.; Jacobsson, S. (2015): The technological innovation systems framework. Response to six criticisms. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 16, 76–86.
- Meffert, H. (1998): *Marketing – Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung*. Gabler Verlag, Wiesbaden.

Michel, K. (1987): Technologie im strategischen Management – Ein Portfolio-Ansatz zur integrierten Technologie- und Marktplanung. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Nelson, R. R.; Winter, S. G. (1982): An evolutionary theory of economic change. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University.

OECD (2017): Water Risk Hotspots for Agriculture. Paris: OECD Publishing.

Porter, M. (2010):

Perillieux, R. (1987): Der Zeitfaktor im strategischen Technologiemanagement. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Roussel, P., Saad, K., Erickson, T. (1991): Third Generation R&D – Managing The Link to Corporate Strategy. Harvard Business Scholl Press, Boston.

Suchman, M. C. (1995): Managing Legitimacy. Strategic and Institutional Approaches. In: The Academy of Management Review 20 (3), 571.

Taylor, M.; Taylor, A. (2012): The technology life cycle. Conceptualization and managerial implications. In: International Journal of Production Economics 140 (1), 541–553.

Wolfrum, B. (1994): Strategisches Technologiemanagement. Gabler Verlag, Wiesbaden.