

PROFESSUR FÜR INNOVATIONSMANAGEMENT
DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN



Masterarbeit

Verbreitung nachhaltiger Technologien in
Abhängigkeit der Entwicklungsphase

AM BEISPIEL DER WASSERAUFBEREITUNG MITTELS UV LED

Philipp Scherer

Gutachter:	Prof. Dr. Carsten Dreher
Betreuerin:	Dr. Elisabeth Eppinger
Verfasser:	Philipp Scherer

Abstract

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse zur ökonomischen Implementierung einer nachhaltigen Innovation. Anhand der Fallstudie zu LED basierten Anwendungen zur Wasseraufbereitung, wird der Einfluss der Entwicklungsphase eines technologischen Innovationssystems auf das funktionale Muster untersucht. Dazu wird zunächst das Konzept der strukturellen und funktionalen Analyse angewandt. Es wird sich zeigen, dass die Wirkung der Systemfunktionen von dem gegenwärtigen Fortschritt des Innovationssystems abhängt. Um die ökonomische Nachhaltigkeit einer Innovation beurteilen und potentielle Barrieren identifizieren zu können, muss das funktionale Muster in Abhängigkeit der Entwicklungsphase und der individuellen Eigenschaften des Innovationssystems untersucht werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	v
Tabellenverzeichnis.....	vi
Abkürzungsverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
2 Theorie.....	3
2.1 Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung.....	3
2.1.1 Drei Dimensionen der Nachhaltigkeit	3
2.1.2 Innovationen um globalen Herausforderungen zu begegnen.....	5
2.2 Anforderungen an die Analyse	6
2.2.1 Betrachtung von Innovationen.....	6
2.2.2 Betrachtung von Innovationsprozessen	7
2.2.3 Betrachtung von Entwicklungsphasen.....	8
2.3 Zwischenfazit.....	9
3 Konzepte und Methodik.....	10
3.1 Der TIS Ansatz und die strukturelle Analyse	10
3.1.1 Abgrenzung eines TIS.....	10
3.1.2 Strukturelement eines TIS.....	11
3.2 Innovationsprozesse und die funktionale Analyse.....	12
3.2.1 Systemfunktionen eines TIS	13
3.2.2 Interaktion der Funktionen in Abhängigkeit der Entwicklungsphase.....	15
3.3 Datengrundlage	17
3.4 Zwischenfazit.....	20
4 Ergebnisse der strukturellen Analyse.....	22
4.1 Abgrenzung des TIS	22

4.1.1	Soziale und ökologische Nachhaltigkeit.....	22
4.1.2	Breite und Tiefe des TIS.....	25
4.1.3	Geografische Abgrenzung.....	28
4.2	Strukturelemente des TIS.....	28
4.2.1	Akteure.....	28
4.2.2	Institutionen.....	38
4.2.3	Netzwerke.....	42
4.3	Zwischenfazit.....	44
5	Ergebnisse der funktionalen Analyse.....	47
5.1	Unternehmerische Aktivitäten.....	47
5.2	Generierung von Wissen.....	48
5.3	Wissensverbreitung.....	50
5.4	Steuerung der Forschung.....	51
5.5	Marktformation.....	52
5.6	Ressourcenmobilität.....	54
5.7	Legitimation.....	56
5.8	Zwischenfazit.....	57
6	Diskussion der Ergebnisse.....	59
6.1	Entwicklungsphase des TIS.....	59
6.2	Funktionale Muster des TIS.....	60
6.3	Implikationen.....	65
7	Fazit.....	67
	Literaturverzeichnis.....	69
	Appendix.....	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklungsphasen der TIS	16
Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Analyse und Diskussion der Ergebnisse.....	20
Abbildung 3: Abgrenzung der Anwendungsgebiete	26
Abbildung 4: Abgrenzung entlang der Wertschöpfungskette	27
Abbildung 5: Produzenten von UV Quecksilberanwendungen zur Wasseraufbereitung	29
Abbildung 6: Produzenten von UVC LED Anwendungen zur Wasseraufbereitung	30
Abbildung 7: Akteure der angewandten Forschung nach Herkunft	32
Abbildung 8: Anteil Akteure der angewandten Forschung nach Organisation und Region	33
Abbildung 9: Akteure der experimentellen Entwicklung nach Herkunft.....	34
Abbildung 10: Anzahl Akteure die die angewandte Forschung finanziell unterstützen	36
Abbildung 11: Anzahl der geförderten Publikationen in der angewandten Forschung.....	37
Abbildung 12: Netzwerke der angewandten Forschung	43
Abbildung 13: Netzwerke der experimentellen Entwicklung.....	44
Abbildung 14: Schematische Darstellung der Struktur des Innovationssystems	46
Abbildung 15: Anzahl aktiver Hersteller von UV LEDs und Systemen zur Wasseraufbereitung	48
Abbildung 16: Anzahl der Veröffentlichung wissenschaftlicher Arbeiten und Patente pro Jahr	49
Abbildung 17: Anzahl und Größe der Netzwerke in der angewandten Forschung	51
Abbildung 18: Marktgröße bestehender UVC Anwendungen zur Wasseraufbereitung.....	52
Abbildung 19: Marktumsatz von UVC LED Lampen und Anwendungen zur Wasseraufbereitung	54
Abbildung 20: Anzahl der geförderten wissenschaftlichen Veröffentlichungen	55
Abbildung 21: Anzahl der Erfinder von Patenten zur LED basierten Wasseraufbereitung	56
Abbildung 22: Funktionales Muster zur Erreichung der Take-Off Phase	61
Abbildung 23: Funktionales Muster zur Erreichung der Beschleunigungsphase.....	63
Abbildung 24: AQUA-PULSE Projekt	85
Abbildung 25: Eco-UV Projekt	85
Abbildung 26: Waterspoutt Projekt	86
Abbildung 27: log Stufe Aquisense Technologies.....	86
Abbildung 28: log Stufe Acuva Technologies	87
Abbildung 29: Netzwerk - Advanced UV for Life	87
Abbildung 30: Netzwerk - UNIQUE	88
Abbildung 31: Netzwerk - HexaTech und OSRAM	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Programme und Datenbanken	21
Tabelle 2: Verwendete Studien	21
Tabelle 3: Gegenüberstellung von UVC LED und Quecksilber Lampen.....	23
Tabelle 4: Institutionen zur Gewährleistung einer ausreichenden Wasserqualität	41
Tabelle 5: Chancen und Risiken in den Systemfunktionen	58
Tabelle 6: Produzenten entlang der Wertschöpfungskette von UV Quecksilberanwendungen	75
Tabelle 7: Produzenten entlang der Wertschöpfungskette von UVC LED Anwendungen	75
Tabelle 8: Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen in der Grundlagenforschung nach Jahr	76
Tabelle 9: Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen in der angewandten Forschung nach Jahr ..	77
Tabelle 10: Anzahl Akteure in der angewandten Forschung nach Herkunft und Sektor	77
Tabelle 11: Anzahl der Patentanmeldungen zur Wasseraufbereitung mittels UV LED nach Jahr	78
Tabelle 12: Anzahl Akteure mit Patentanmeldungen zur Wasseraufbereitung mittels UV LED nach Herkunft.....	79
Tabelle 13: Hersteller von UVC LEDs und Quecksilberanwendungen die experimentelle Entwicklung betreiben.....	80
Tabelle 14: Anzahl Akteure mit Transnationalen Patentanmeldungen zur Wasseraufbereitung mittels UV LED nach Herkunftsland.....	80
Tabelle 15: Anzahl der "Funding Agencies" die Veröffentlichungen in der angewandten Forschung gefördert haben	81
Tabelle 16: Anzahl geförderter Publikationen in der angewandten Forschung nach Förderorganisation	82
Tabelle 17: Investition von Wagniskapital in UV LED basierte Anwendungen zur Wasseraufbereitung	83
Tabelle 18: Anzahl der Erfinder von Patenten zur Wasseraufbereitung mittels UV LED nach Jahr	83
Tabelle 19: Anzahl der Netzwerke und der beteiligten Akteure in der angewandten Forschung	84

Abkürzungsverzeichnis

BDC	Business Development Bank of Canada
CORDIS	Community Research and Development Information Service
DNS	Desoxyribonukleinsäure
EPA	United States Environmental Protection Agency
EPO	Europäisches Patentamt
F&E	Forschung und Entwicklung
LED	Leuchtdiode
NSFC	National Natural Science Foundation of China
OECD	Organisation für Economic Co-Operation and Development
TIS	Technologisches Innovationssystem
UNEP	United Nations Environment Programme
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UV	Ultraviolettstrahlung
WCED	World Commission on Environment and Development

1 Einleitung

Die Welt sieht sich großen Herausforderungen wie dem Klimawandel, der Ernährungssicherheit oder dem Umgang mit endlichen Ressourcen gegenüber. Eine nachhaltigere Entwicklung ermöglicht es, diesen Herausforderungen entgegen treten zu können.

Mit der Etablierung technologischer Innovationen kann eine höhere Nachhaltigkeit erzielt werden. Dazu muss die Technologie neben der ökologischen Nachhaltigkeit gleichsam die soziale Nachhaltigkeit verbessern, damit externe Effekte die negativ auf Umwelt und Gesellschaft wirken, verringert werden. Die ökonomische Nachhaltigkeit der Innovationen steht oft im Zielkonflikt hierzu, ist für deren langfristige Etablierung jedoch notwendig. Im Vordergrund der Arbeit steht daher die Methodik zur Analyse der ökonomischen Nachhaltigkeit und der Identifizierung möglicher Barrieren.

Dabei werden Wechselwirkungen innerhalb des Innovationssystems deutlich, die entscheidend für die Etablierung der Technologie sowie deren Analyse sind. Die Arbeit stellt die Hypothese auf, dass die Wirkung und der Verlauf dieser Wechselwirkungen nicht allgemeingültig vorhersehbar sind. Es soll gezeigt werden, dass dies entscheidend von den individuellen Eigenschaften der Technologie und dem gegenwärtigen Fortschritt des Innovationssystems abhängt. Verdeutlicht wird die Hypothese anhand der Analyse technologischer Anwendungen, die Ultraviolett (UV) Leuchtdioden (LEDs) nutzen, um Trinkwasser aufzubereiten. Im Mittelpunkt wird dabei die Frage stehen, ob die ökonomische Nachhaltigkeit der Technologie gegenwärtig gegeben ist oder möglicherweise durch Barrieren verhindert wird. Mit der Hilfe quantitativer und qualitativer Daten wird das Innovationssystem beschrieben und die Systemfunktionen identifiziert. Die Ergebnisse der Analyse werden in Abhängigkeit des Fortschritts und der individuellen Eigenschaften des Innovationssystems diskutiert.

In Kapitel zwei werden zunächst die Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung und die Analyse der Technologie formuliert und in die relevante Literatur eingeordnet. Die Analyse wird sich an den Ansatz der evolutorischen Innovationsökonomik anlehnen. Neben dem Einbezug der Strukturen werden die Dynamiken innerhalb des fokussierten Technologischen Innovationssystems (TIS) für eine ganzheitliche Betrachtung untersucht. Kapitel drei

wird die Vorgehensweise der Analyse, und die dazu verwendeten Konzepte und Daten erläutern. In Kapitel vier und fünf werden die Ergebnisse aus der strukturellen und der funktionalen Analyse genannt und interpretiert. Basierend darauf können die Ergebnisse schließlich in Abhängigkeit der Wechselwirkungen und der Entwicklungsphase auf mögliche Barrieren bei der Erzielung der ökonomischen Nachhaltigkeit diskutiert werden.

2 Theorie

In diesem Kapitel wird zunächst die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung durch die Implementierung nachhaltiger Technologien untersucht. Im Zuge dessen wird die in dieser Arbeit vordergründige Absicht der ökonomischen Implementierung nachhaltiger Innovationen spezifiziert. Dabei werden Anforderungen an die Technologie (Kapitel 2.1) und Anforderungen an deren Analyse (Kapitel 2.2) deutlich.

2.1 Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung

Im Folgenden wird zunächst die Begrifflichkeit einer nachhaltigen Entwicklung genauer betrachtet und eingegrenzt. Die Idee rückte erstmals 1987 mit dem Brundtland-Bericht „Our Common Future“ der Vereinten Nationen in den Aufmerksamkeitsbereich der Entwicklungs- und Umweltpolitik. Diese ist darin wie folgt definiert:

„Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“ (World Commission on Environment and Development (WCED) 1987, o.S.)

Um dieses weit gefasste Verständnis des Begriffes besser verorten zu können, wird im Folgenden zwischen sozialer, ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit unterschieden. Die Einteilung in drei Dimensionen ist spätestens seit der Rio-Konferenz im Jahr 1992 anerkannt und dient einer ganzheitlichen Betrachtung, die bei internationalen Aktionen und Abkommen anerkannt wird. Demnach kann Nachhaltigkeit nur dann erreicht werden, wenn alle drei Dimensionen erfüllt werden, bzw. keine Verschlechterung einer Dimension zugunsten einer anderen eintritt (vgl. United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) 1992, 1-14). Die Dimensionen sind verankert in großen globalen Herausforderungen wie dem Klimawandel, Gesundheit, Armutsbekämpfung oder dem Zugang zu sauberem Trinkwasser (vgl. Romeiro 2012, 66-67).

2.1.1 Drei Dimensionen der Nachhaltigkeit

Bei der Sicherstellung der Versorgung mit sauberem Trinkwasser steht zunächst die soziale Nachhaltigkeit im Vordergrund.

Empacher und Wehling haben versucht, die soziale Nachhaltigkeit mit den Leitorientierungen der dauerhaften Sicherstellung der Grundbedürfnisse, Sozialressourcen, Chancengleichheit und Partizipation zu beschreiben (2002, 38-53). Die Versorgung mit sauberem Trinkwasser wirkt sich dabei insbesondere auf die Sicherung der Grundbedürfnisse, aber auch auf die weiteren Leitorientierungen positiv aus. Trinkwasser ist eine Grundvoraussetzung für die Ernährung der Menschheit und unabdingbar für eine intakte Umwelt. Verunreinigtes Wasser ist daneben der primäre Auslöser für Cholera und Durchfallerkrankungen (Hillenbrand et al. 2013, 5). Wenngleich in der Vergangenheit bereits Fortschritte erzielt werden konnten, hatten im Jahr 2015 noch immer 800 Millionen Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Ursächlich hierfür sind vor allem unzureichende Möglichkeiten der Wasseraufbereitung in abgelegenen Regionen (vgl. United Nations 2015, 8). Folglich sind effiziente und mobile Technologien zur Wasseraufbereitung ein zentrales Anliegen, um möglichst einer Vielzahl von Menschen – insbesondere in Entwicklungsländern – den Zugang zu sauberem Trinkwasser zu ermöglichen.

Um der Definition der UNCED gerecht werden zu können, muss neben der sozialen, zugleich auch die ökologische Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Die ökologische Nachhaltigkeit beschreibt den vorrausschauenden Umgang mit natürlichen Ressourcen, sodass diese langfristig nicht verbraucht oder unbrauchbar werden (vgl. Ayres 1991, 261). Die Möglichkeit zur Aufbereitung von Trinkwasser ist demnach offensichtlich eine Voraussetzung für eine ökologisch nachhaltige Entwicklung.

Neben dem direkten Nutzen für die Nachhaltigkeit ist entscheidend, dass die Umsetzung des Ziels der sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit zuträglich ist. Das heißt, dass die Technologie in ihrer Herstellung, Nutzung und Entsorgung mit einer Verbesserung der Nachhaltigkeit gegenüber dem etablierten Verfahren einhergehen muss. So ist es beispielsweise vorstellbar, dass verwendete Rohstoffe ebenso wie mögliche Emissionen oder Gefahrenpotentiale negativen Einfluss auf die soziale oder ökologische Nachhaltigkeit haben können, wenngleich der direkte Nutzen aus der Technologie förderlich ist.

Die ökonomische Nachhaltigkeit meint schließlich, dass der wirtschaftliche Erfolg der Technologie langfristig aufrechterhalten werden kann (vgl. Sartorius 2006, 269-270). Das heißt, die sozial und ökologisch nachhaltigen Technologien müssen sich am Markt durchsetzen und ökonomisch etablieren können. Dies ist entscheidend, da die Technologie nur dann einer nachhaltigen Entwicklung zuträglich sein kann, wenn deren Potential auch genutzt wird.

Zusammenfassend zeigt sich, dass der direkte Nutzen der aus dem Zugang zu sauberem Trinkwasser entsteht, für die ökologische und soziale Nachhaltigkeit förderlich ist. Daneben muss beachtet werden, dass die Technologie selbst diesen Anforderungen gerecht wird. Zudem kann die nachhaltige Entwicklung nur dann erreicht werden, wenn die Technologie ökonomisch nachhaltig ist. Unter ökonomischer Nachhaltigkeit wird dabei die langfristige Etablierung der Technologie am Markt verstanden.

2.1.2 Innovationen um globalen Herausforderungen zu begegnen

Die Ergebnisse des vorangegangenen Kapitels bedeuten, dass die Etablierung von Technologien zur Wasseraufbereitung förderlich für eine nachhaltige Entwicklung ist, sofern auch deren Herstellung, Nutzung und Entsorgung mit einer Verbesserung der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit einhergehen. Während sich die ökologische und soziale Nachhaltigkeit hier in keinem direkten Zielkonflikt zueinander befinden, steht denen oftmals die ökonomische Nachhaltigkeit entgegen. Technischer Fortschritt geht häufig mit einem steigenden Verbrauch ökologischer Ressourcen und umweltschädlichem Verhalten einher (vgl. O'Connor 1993, 294-295). Ursächlich hierfür ist vor allem, dass die gesellschaftlichen Kosten in Form von externen Effekten nicht von den Verursachern getragen werden müssen. Die ökonomische Nachhaltigkeit ist jedoch notwendig, damit eine ökologisch und sozial nachhaltigere Wirtschaftsentwicklung ohne dauerhafte staatliche Einflussnahme stattfinden kann (vgl. Erdmann et al. 2007, 980-981). Ein Ziel sollte daher sein, den Zugang zu sauberem Trinkwasser ökonomisch zu etablieren, sodass gleichzeitig die Ansprüche der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit berücksichtigt werden.

Um diesem Trade-off zu begegnen ist die wirtschaftliche Etablierung von Innovationen, welche den Aspekten der sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit gerecht werden, zielführend. Schumpeter beschreibt Innovationen als die Durchsetzung von neuen Kombinationen und hat gezeigt, dass wirtschaftlicher Wandel im erheblichen Maße von ihnen abhängig ist (vgl. Schumpeter 1912, 158). Die Idee beruht darauf, dass die Wirtschaft einen bedeutenden Einfluss auf die Umwelt und die Gesellschaft ausübt. Die ökonomische Etablierung von Innovationen kann daher einen substanziellen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten. Ein Ziel der Arbeit wird es sein, die ökonomische Nachhaltigkeit einer sozial und ökologisch nachhaltigen Innovation zu analysieren und mögliche Barrieren bei der Etablierung zu identifizieren.

2.2 Anforderungen an die Analyse

Ziel des vorangegangenen Unterkapitels war es, Anforderungen zu verdeutlichen, die mit dem Ziel zur Etablierung nachhaltiger Technologien einhergehen. Dabei hat sich gezeigt, dass der Zielkonflikt zwischen ökonomischer und sozialer sowie ökologischer Nachhaltigkeit mit Hilfe von Innovationen überwunden werden kann.

Dieses Unterkapitel wird den wirtschaftstheoretischen Ansatz nennen, innerhalb dessen sich diese Argumentation bewegt. Zudem werden weitere Voraussetzungen für die Analyse deutlich und damit einhergehende Konzepte begründet.

2.2.1 Betrachtung von Innovationen

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. Hekkert et al. 2007, 414). Eine Herausforderung der Arbeit wird daher darin bestehen, das Umfeld innerhalb dessen die Innovationsprozesse stattfinden, zu identifizieren und dessen Mechanismen zu verstehen. Um dieses Vorgehen zu strukturieren, wird das Konzept der Innovationsysteme verwendet, welches von Lundvall 1985 erstmals konkret beschrieben wurde (vgl. Lundvall 1985, 29). Innovationssysteme werden oft durch die Strukturelemente Akteure, Institutionen und Netzwerke charakterisiert (Bergek et al. 2008, 408). Im Rahmen einer strukturellen Analyse bedarf es zunächst einer Identifizierung dieser Strukturelemente.

Um in der Lage zu sein, die Schwachpunkte zu erkennen, ist die Eingrenzung von Innovationssystemen auf verschiedene Arten möglich. Oftmals geschieht dies anhand geografischer oder sektoraler Maßgaben (vgl. Steden 2015, 76-77). Der Schwerpunkt dieser Arbeit wird auf der Analyse von Technologischen Innovationssystemen liegen, die keine eindeutigen räumlichen oder sektoralen Grenzen haben. Im Mittelpunkt dieses Innovationssystems stehen anstelle eines geografischen Gebietes, die Technologien zur Wasseraufbereitung. Dies bedeutet, dass solche Strukturelemente betrachtet werden, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Technologien haben (vgl. Steden 2015, 76). Das bietet mehrere Vorteile: Die Strukturelemente der TIS sind in der Literatur hinreichend definiert (vgl. Wieczorek & Hekkert 2012, 76). Zudem ist ein TIS ein globales System, wobei starke regionale Unterschiede in der Struktur bestehen können. Es kann auf der globalen Ebene analysiert werden, während

gleichzeitig regionale Darstellungen möglich sind (vgl. eben da). Zuletzt würde eine ausschließlich räumlich oder sektoral beschränkte Betrachtungsweise, der globalen Herausforderung einer nachhaltigen Entwicklung, nicht gerecht werden.

2.2.2 Betrachtung von Innovationsprozessen

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. Dies würde die gesamte Wissensbasis innerhalb eines TIS ändern und zu Veränderungen bei den Strukturelementen führen. Folglich ist zu berücksichtigen, dass die strukturelle Analyse nur einen Ausschnitt des Zustandes wiedergibt, indem sich das TIS zum Zeitpunkt der Analyse befindet. Damit ist es zwar möglich, das TIS zu beschreiben, die Bewertung der ökonomischen Nachhaltigkeit kann jedoch nur erfolgen, wenn die Innovationsprozesse in die Analyse miteinbezogen werden (vgl. Bergek et al. 2008, 409).

In Konsequenz dessen wird sich die Analyse an die Literatur anlehnen, die den Fokus auf den Aufbau der Strukturen eines TIS legt.

Ein wirtschaftswissenschaftliches Forschungsgebiet, welches sich durch eine dynamische Perspektive kennzeichnet, ist die evolutorische Innovationsökonomik. Sie entwickelte sich aus den Theorien von J. A. Schumpeter und lehnt sich an Darwins Evolutionstheorie der Variation und Selektion an (vgl. Nelson & Winter 1982, 281-287). Die Evolutionsökonomik bildet einen alternativen Ansatz zu der statischen neoklassischen Gleichgewichtstheorie und knüpft zudem an die Theorien der Innovationssysteme an. Während die Neoklassik von einem wirtschaftlichen Gleichgewicht ausgeht, bezieht die evolutorische Ökonomie die Entwicklung der Strukturelemente und deren wechselseitige Abhängigkeiten mit ein (vgl. Nelson 2009, 7). Die Evolutionsökonomik setzt an den Dynamiken der Innovationssysteme an und ist in der Lage, funktionale Barrieren zu identifizieren (vgl. Dachs et al. 2015, 16).

Ziel muss es daher sein, dynamische Effekte in die Analyse integrieren zu können. Aus diesem Grund sind in der Innovationswissenschaft funktionale Analysen in den Fokus geraten, die sich insbesondere mit der Entwicklung der Strukturelemente über die Zeit hinweg befassen. Dabei werden mit der Hilfe von Systemfunktionen Indikatoren betrachtet, welche die zeitliche Entwicklung der Innovationssysteme beschreiben (vgl. Hekkert et al. 2011, 8). Die

Systemfunktionen werden als Prozesse verstanden, damit sich das TIS angemessen entwickeln kann. Daher sollte das System dazu in der Lage sein, die Systemfunktionen positiv zu erfüllen. Dabei sei angemerkt, dass jede Funktion in unterschiedlicher Art und Weise erfüllt werden kann (vgl. eben da).

2.2.3 Betrachtung von Entwicklungsphasen

Mit der Analyse der Funktionen ist es nach Hekkert et al. möglich, die dynamischen Aspekte in die Untersuchung zu integrieren (2007, 414-415). Die Beurteilung der Entwicklung der Innovationssysteme und die Identifizierung möglicher Barrieren erfolgt oftmals indem die Systemfunktionen bewertet werden. Diese Arbeit wird mit Hilfe der Analyse einer nachhaltigen Technologie zeigen, dass sich die Funktionen gegenseitig beeinflussen und nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Diese Wechselwirkungen können in zahlreichen Mustern - im Folgenden funktionale Muster genannt - auftreten. In Abhängigkeit davon, ob eine einzelne Funktion gut oder schlecht erfüllt wird, kann diese das Ergebnis anderer Funktionen über das funktionale Muster beeinflussen und somit die Entwicklung des gesamten TIS verstärken oder abschwächen (vgl. Negro et al. 2008, 60-61). Entsprechend müssen bei der Analyse die funktionalen Muster berücksichtigt und identifiziert werden. Zudem wird gezeigt, dass die Struktur der funktionalen Muster wesentlich von der Entwicklungsphase abhängt, in der sich das System befindet.

Ist die Technologie in einer Anfangsphase ihrer Entwicklung, hat das TIS eine andere Struktur und im Vergleich zu einer weiter fortgeschrittenen Phase. So bestehen beispielsweise für aufkommende Technologien naturgemäß Unsicherheiten und Strukturelemente wie Netzwerke und TIS-spezifische Institutionen sind zunächst weniger stark ausgeprägt. Dies führt dazu, dass nicht jede Systemfunktion in verschiedenen Entwicklungsstadien gleich relevant ist (vgl. Hekkert et al. 2011, 8). So haben offensichtlich Forschungsaktivitäten und unternehmerische Tätigkeiten insbesondere zu Beginn einer technologischen Entwicklung eine übergeordnete Wichtigkeit. In einer späteren Entwicklungsphase ist das TIS entsprechend fortgeschrittener und Funktionen wie die Marktformation und die Schaffung einer Legitimation werden wichtiger (vgl. eben da). Um ein Innovationssystem und die ökonomische Nachhaltigkeit analysieren zu können, wird im Folgenden angenommen, dass die Phase der technologischen Entwicklung zu berücksichtigen ist.

2.3 Zwischenfazit

Zusammenfassend lässt sich anhand dieses Kapitels ein übergeordnetes Ziel definieren. Es bedarf einer nachhaltigen Entwicklung insofern, dass ein beständiges Wachstum – welches zur gleichen Zeit den sozialen und ökologischen Ansprüchen genügt – erreicht wird. Ökologisch und sozial nachhaltige Innovationen sind in der Lage, dieses Ziel zu fördern. Die Herausforderung liegt dabei darin, dass sich die Technologie wirtschaftlich etabliert und somit ökonomische Nachhaltigkeit erreicht wird. Daher wird in dieser Arbeit die ökonomische Nachhaltigkeit einer sozial und ökologisch nachhaltigen Technologie analysiert. Dabei gilt es bei der Analyse folgende Punkte zu beachten:

- Um das fokussierte TIS erfolgreich bestimmen zu können, müssen zunächst die entscheidenden Einflussfaktoren auf die Technologie identifiziert werden, weshalb eine strukturelle Analyse notwendig ist.
- Innerhalb des Innovationssystems verlaufen dynamische Prozesse. Mit der Hilfe der Identifizierung von Systemfunktionen können diese in die Analyse integriert werden.

Es wird die Annahme getroffen, dass die Ergebnisse aus struktureller und funktionaler Analyse schließlich in Abhängigkeit von Wechselwirkungen sowie der Entwicklungsphase des TIS diskutiert werden müssen, um mögliche relevante Barrieren identifizieren zu können, die die ökonomische Nachhaltigkeit beeinflussen.

Im Folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise der Analyse erläutert und die dabei genutzten Konzepte kurz vorgestellt.

3 Konzepte und Methodik

Im vorangegangenen Kapitel wurden Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung und deren Analyse deutlich. Um dem gerecht werden zu können, hat sich die Anwendung der Konzepte der Technologischen Innovationssystemen und der Systemfunktionen als geeignet erwiesen. In diesem Kapitel werden die Konzepte näher erläutert, die Vorgehensweise verdeutlicht und die dafür genutzten Daten beschrieben.

3.1 Der TIS Ansatz und die strukturelle Analyse

Das TIS ist ein Konzept, welches innerhalb des Innovationssystemansatzes entwickelt wurde und versucht die Einflussfaktoren auf den Technologischen Wandel zu erklären (vgl. Hekkert et al. 2011, 3). Dies dient als Ausgangslage, um die Entwicklung eine Technologie in Bezug auf Strukturen und Prozesse, die es unterstützen oder beeinträchtigen, untersuchen und bewerten zu können. In diesem Fall ist der TIS Ansatz geeignet, da er auf eine bestimmte Technologie fokussiert ist. Somit können neben der ökonomischen Nachhaltigkeit, ökologische und soziale Faktoren der Technologie berücksichtigt werden (vgl. Carlsson & Stankiewicz 1991, 95-98.). Die strukturelle Analyse des fokussierten TIS wird hier als Grundlage der weiteren Untersuchungen dienen.

3.1.1 Abgrenzung eines TIS

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). Um in der Lage zu sein, das TIS möglichst valide empirisch operationalisieren und beschreiben zu können, müssen Annahmen über die Grenzen des Modells getroffen werden. 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 (vgl. Markard et al. 2015, 79). Dies hängt ausschließlich von dem Ziel der Analyse ab und kann nicht als falsch oder richtig eingestuft werden kann (vgl. Markard et al. 2015, 78). Die betrachtete Analyseeinheit sollte jedoch genau benannt werden, sodass Dritte dies nachvollziehen können und die Ergebnisse vergleichbar sind. Bergek et al. stellen drei Entscheidungen dar, die bei der Abgrenzung des TIS berücksichtigt werden sollten (2008, 411- 413).

Zunächst sollte demnach die zu untersuchende Technologie näher erläutert und deren Innovationspotential beschrieben werden. Dabei kann die betrachtete Technologie auf ihre soziale und ökologische Nachhaltigkeit in der Entstehung, Nutzung und Entsorgung untersucht werden. Unter dem Begriff der Technologie können zum einen materielle bzw. immaterielle Objekte verstanden werden, die zur Lösung technischer Probleme dienen. Ebenso kann eine Technologie ein bestimmtes technisches Wissensfeld darstellen. Eine Analyse muss zudem zwischen diesen beiden Startpunkten wählen (vgl. Bergek et al. 2008, 411).

Eine zweite Entscheidung muss über die Breite der betrachteten Technologie getroffen werden (vgl. Markard et al. 2015, 78). Dies heißt, es muss das Spektrum der Anwendungen abgegrenzt werden, in denen die Technologie relevant ist (vgl. Bergek et al. 2008, 412).

Zuletzt wird der räumliche Fokus der Analyse definiert. Wie bereits erwähnt, haben TIS 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. Dies können Aspekte sein, die eine besondere Relevanz für Akteure in einem bestimmten regionalen oder nationalen Kontext haben (vgl. Bergek et al. 2008, 412-413).

3.1.2 Strukturelement eines TIS

Die Abgrenzung des TIS ist entscheidend für die Definition der Strukturelemente. Elemente, die sich innerhalb dieser Grenzen befinden, beeinflussen die Entwicklung der Technologie direkt. Zusätzlich werden Akteure und Institutionen betrachtet, die außerhalb des TIS liegen und indirekten Einfluss auf dessen Entwicklung haben können. Die Identifikation der Strukturelemente erlaubt es schließlich, Charakteristiken des spezifischen Systems zu beschreiben und dient als Voraussetzung zur Analyse der dynamischen Prozesse (vgl. Jacobsson & Johnson 2000, 11-13). Im Folgenden werden die Strukturelemente erläutert, sodass in der strukturellen Analyse mit der Hilfe von Indikatoren, das Ausmaß dieser Komponenten bestimmt werden kann.

Unter den Akteuren sind alle Organisationen zu verstehen, die an der Entstehung der 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 genutzt (vgl. Hekkert et al. 2011, 5). Entsprechend ist

die Bedeutung der Akteure und dessen Wechselbeziehungen entscheidend für die Entwicklung des TIS. In der Literatur herrscht daher Einigkeit über die maßgebliche Rolle der Akteure in Innovationssystemen (vgl. Wieczorek & Hekkert 2012, 76).

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 wird sich die Analyse auf formelle Institutionen fokussieren, die Einfluss auf die betrachtete Technologie haben.

Ein weiteres Strukturelement sind die Netzwerke. Eine zentrale Idee des Ansatzes der Innovationssysteme ist es, dass die Akteure in Netzwerken agieren. (vgl. Hekkert et al. 2011, 5). Netzwerke werden arrangiert um spezifische Aufgaben zu lösen. Daran können sowohl private Akteure aus der Industrie, sowie öffentliche Akteure aus der Forschung beteiligt sein (vgl. Bergek et al. 2008, 413). Zudem kann der Zweck der Netzwerke variieren. Sie können beispielsweise aufgrund wirtschaftlicher Zusammenarbeit, zum Austausch von Wissen oder zur Erschließung von Märkten bestehen (vgl. Suchman 1995, 588).

Die Identifikation der Strukturelemente kann Aufschluss über die Entwicklungsphase geben, in der sich die Technologie befindet. Zudem stellt die strukturelle Analyse einen ersten Schritt zur Bewertung der Funktionsfähigkeit des Systems dar. Um die ökonomische Nachhaltigkeit einschätzen zu können, müssen dynamische Aspekte in die Untersuchung integriert werden. Daher wird die funktionale Analyse den zweiten Schritt der Analyse darstellen.

3.2 Innovationsprozesse und die funktionale Analyse

Die Messung von Funktionen wird als großer Durchbruch in der Innovationssystemforschung erachtet. Es wurden Bewertungskriterien entwickelt, mit deren Hilfe die Evaluation der Prozesse innerhalb der Innovationssysteme möglich ist. Diese Kriterien werden in der Literatur als Funktionen des Innovationssystems beschrieben. Während die strukturelle Analyse einen beschreibenden Charakter hat und die gegenwärtige Situation wiedergibt, ist die

funktionale Analyse wertend und hat die Prozesse innerhalb des Systems im Fokus (vgl. Hekkert et al. 2011, 4). Dabei werden Faktoren identifiziert, welche die Etablierung der Technologie und somit deren ökonomische Nachhaltigkeit beeinflussen. In der Literatur sind verschiedene, teils sehr ähnliche Ansätze zu den Systemfunktionen zu finden. Im Folgenden werden sieben etablierte Definitionen von Hekkert et al. kurz erläutert, die im zweiten Schritt des empirischen Teils der Arbeit auf das fokussierte TIS angewandt werden (2007, 421-425).

3.2.1 Systemfunktionen eines TIS

Die unternehmerischen Aktivitäten (F1) sind entscheidend für die Funktionalität des Innovationssystems. Ohne Unternehmer und Gründer existieren keine Innovationssysteme. Die Rolle der Unternehmer 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).

Es wurde bereits deutlich, dass Lernprozesse entscheidend für die Funktion eines TIS sind. 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, 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).

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).

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 einer nachhaltigen Entwicklung, kann die öffentliche Wahrnehmung dahingehend geschärft werden. Um die Funktion zu analysieren, können spezifische Zielsetzungen der Regierungen und deren Auswirkungen betrachtet werden (vgl. Hekkert et al. 2007, 424).

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 1992, 347-374). Ursächlich hierfür kann beispielsweise sein, dass potentielle Kunden 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 die neuen Technologien mit den 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 können Akteure ihr Wissen über die neue Technologie 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).

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).

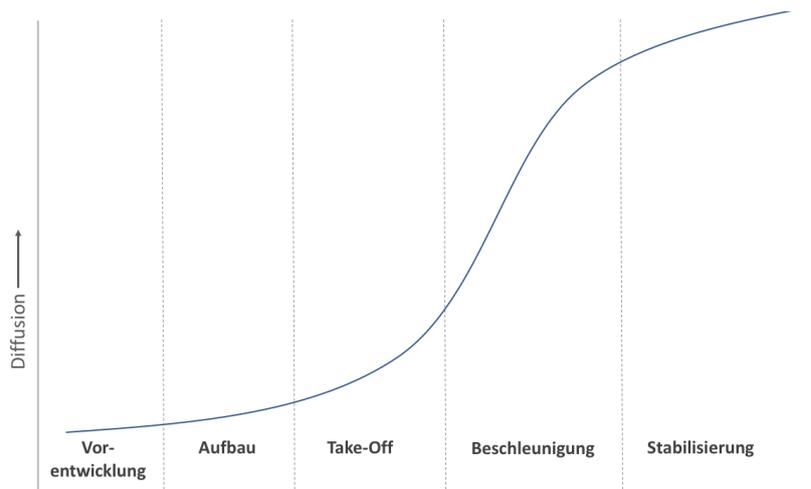
Die Legitimation (F7) betrifft die gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber der Technologie und der damit verbundenen Institutionen. Das bedeutet, die neue Technologie muss bei den relevanten Akteuren als geeignet und wünschenswert wahrgenommen werden. Dies schafft die Voraussetzung dafür, dass die Mobilität 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).

3.2.2 Interaktion der Funktionen in Abhängigkeit der Entwicklungsphase

Nach der strukturellen und funktionalen Analyse werden die Ergebnisse schließlich in Abhängigkeit der Entwicklungsphase diskutiert. Grundsätzlich kann angenommen werden, je mehr Systemfunktionen positiv erfüllt werden, desto besser ist das Potential des TIS sich etablieren zu können. Dies erhöht die Chance einer erfolgreichen Implementation der Technologie und somit die Möglichkeit auf ökonomische Nachhaltigkeit. Wie bereits beschrieben, kann die Relevanz der verschiedenen Funktionen jedoch entscheidend von der Entwicklungsphase abhängen, in der sich das TIS befindet. Im letzten Schritt werden daher die Ergebnisse aus der funktionalen Analyse in Abhängigkeit der Entwicklungsphasen des TIS diskutiert.

Die Phasen beschreiben, wie weit das TIS etabliert ist und verlaufen typischerweise in Form einer S-Kurve (vgl. Taylor & Taylor 2012, 545). Die S-Kurve kann über die Zeit in verschiedene Entwicklungsphasen eingeteilt werden. Im Folgenden wird sich die Einteilung der Phasen an Hekkert et al. in Abbildung eins orientieren (2011, 9).

Abbildung 1: Entwicklungsphasen der TIS



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Hekkert et al. 2011, 9

Die erste Phase ist die Vorentwicklungsphase. Hier findet ausschließlich Grundlagenforschung und angewandte Forschung statt. Funktionsfähige Anwendungen existieren in dieser Phase nicht. Es folgt die Aufbauphase in welcher die experimentelle Entwicklung zunimmt und erste Prototypen entwickelt werden. In der Take-off Phase werden erstmals kommerzielle Anwendungen in Nischenmärkten verkauft, wobei weiterhin Unsicherheiten bezüglich der Technologie und der Marktentwicklung bestehen. In der Beschleunigungsphase verbreitet sich die Technologie in einem größeren Maße und das Marktwachstum nimmt deutlich zu. In der Stabilisierungsphase ist der Markt schließlich vollkommen erschlossen und die Technologie etabliert (Hekkert et al. 2011, 9). Es wird angenommen, dass die Technologie in der Stabilisierungsphase als ökonomisch nachhaltig betrachtet werden kann.

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus der strukturellen Analyse, können Rückschlüsse für die gegenwärtige Entwicklungsphase des TIS gezogen werden. Hekkert et al. haben zudem diagnostische Fragen aufgestellt, deren Beantwortung Aufschluss über die Phase geben soll (2011, 9). Sofern der Antwort zugestimmt werden kann, befindet sich die Technologie demnach in der jeweils nachfolgenden Phase:

Vorentwicklungsphase: Existiert ein funktionsfähiger Prototyp?

Aufbauphase: Existieren kommerzielle Anwendungen?

Take-Off Phase: Existiert ein schnelles Marktwachstum?

Beschleunigungsphase: Existiert eine Marktsättigung?

Alkemade und Hekkert haben in Abhängigkeit der Aufbauphase und der Take-off Phase die Bedeutung der einzelnen Systemfunktionen untersucht (2009, 1-14). Die unternehmerischen

Aktivitäten (F1) sind demnach in beiden Phasen entscheidend für die Entwicklung des TIS. Überdies spielen die Generierung von Wissen (F2) in der Aufbauphase und die Legitimation (F7) in der Take-off Phase eine übergeordnete Rolle. In Hekkert et al. wird zudem die Generierung von Wissen (F2) in der Vorentwicklungsphase und die Marktformation (F5) in der Beschleunigungsphase hervorgehoben (2011, 11-12). Die Erfüllung dieser Funktionen kann als notwendige Bedingung für den Übergang des TIS in die jeweils nächste Phase erachtet werden, weshalb diese als die kritischen Funktionen definiert werden.

Entsprechend der kritischen Funktionen liegt es nahe, dass Unterschiede in den funktionalen Mustern und deren Wirkung auf das System in Abhängigkeit der Entwicklungsphase des TIS bestehen (vgl. Hekkert et al. 2011, 12). Es wird angenommen, dass die funktionalen Muster nicht allgemeingültig beschrieben werden können. Aufgrund der zahlreichen möglichen Wechselwirkungen und der spezifischen Eigenschaften des fokussierten TIS, wird dies im Zuge der Diskussion der Ergebnisse gezeigt.

3.3 Datengrundlage

Im Folgenden werden die verwendeten Daten, Datenbanken und Studien kurz vorgestellt, die für die strukturelle und funktionale Analyse genutzt werden. Zudem wird auf die spezifischen Eigenschaften und die Qualität der Daten eingegangen.

Patentdaten

Zu den wichtigsten Indikatoren bei der Bewertung von Technologien zählen Patentindikatoren (vgl. Eppinger et al. 2017, 20). Patente basieren auf technologischem Wissen und können daher Aufschluss über den Stand der technologischen Entwicklung geben. Da die Patentierfähigkeit voraussetzt, dass die Technologie gewerblich anwendbar ist, informieren Patente zudem über das kommerzielle Potential der Technologie (vgl. Haupt et al. 2007, 387). Patente können überdies die F&E Aktivitäten in verschiedenen Organisationen abbilden. Daher sind sie ein nützliches Werkzeug, um Firmen und Forschungseinrichtungen zu identifizieren, die experimentelle Entwicklung im Bereich der fokussierten Technologie betreiben (vgl. Andersson & Jacobsson 2002, 1044). Unter Zuhilfenahme der Suchfunktion existierender Datenbanken, können Patentanmeldungen leicht erhoben werden.

Zur Patentsuche wird in dieser Arbeit das Tool „PatentInspiration“ des Anbieters AULIVE Software genutzt. Die Anwendung basiert auf der DOCDB Datenbank, die von dem Europäischen Patentamt (EPO) zur Verfügung gestellt wird. Diese enthält bibliometrische Daten wie den Titel, die Anmelder, Erfinder, Zitationen, Patentklassifikation und Informationen

über die Patentfamilie. Insgesamt basiert die Datenbank auf 84 Millionen Patenten aus über 100 Ländern, sodass hier eine große Stichprobe mit internationaler Abdeckung zur Verfügung steht (vgl. PatentInspiration 2018, o.S.).

Bei der Analyse der Patentdaten gilt es einige Punkte zu beachten. Zunächst muss die betrachtete Technologie aus einem Bereich kommen, in dem üblicherweise patentiert wird. Junge Technologien werden grundsätzlich häufiger patentiert und unterliegen einer geringeren Geheimhaltung als etablierte Technologien. Außerdem können Produktinnovationen einfacher patentiert werden als Verfahrensinnovationen (vgl. Eppinger et al. 2017, 20). Mit der Untersuchung von UV LED basierten Anwendungen zur Wasseraufbereitung, stehen hier Produktinnovationen und zugleich eine vergleichsweise neue Technologie im Fokus des TIS. Damit ist davon auszugehen, dass die F&E Tätigkeit durch Patente abbildbar ist.

Zwischen der Anmeldung und der Erteilung eines Patents liegen meist mehrere Jahre (vgl. Organisation für Economic Co-Operation and Development (OECD) 1994, 27). Die langen Annahmezeiten durch die jeweiligen Patentämter führen dazu, dass Verzerrungen bei der Patenthäufigkeit in nahe zurückliegenden Jahren auftreten. Bei der vorliegenden Analyse handelt es sich um eine junge Technologie, sodass hier insbesondere auch die letzten Jahre entscheidend sind. Damit die Analyse über den gesamten Zeitraum geschehen kann, werden im Folgenden alle angemeldeten Patente berücksichtigt.

Zuletzt gilt zu berücksichtigen, dass beim geografischen Vergleich der Patentdaten, die Ergebnisse über die Länder verzerrt sind. Grundsätzlich gilt, dass in den nationalen Patentämtern häufiger Patente aus den heimischen Ländern angemeldet und erteilt werden. Zudem variiert die Patentierneigung nach Ländern, da die Anmeldung mit ungleichen Hürden versehen ist (vgl. Frietsch & Schmoch 2010, 186 -188). Daher schlagen Frietsch und Schmoch, für Vergleiche zwischen mehreren Ländern, das Konzept Transnationaler Patente vor. Dabei werden alle Anmeldungen berücksichtigt, deren Patentfamilien mindestens eine EPO Anmeldung oder WO Anmeldung beinhalten (2010, 198). Den genannten Verzerrungen kann so entgegengewirkt werden, da eine internationale Anmeldung mit höheren Kosten und Aufwand verbunden ist, sodass hier die Anzahl erfolgsversprechender Anmeldungen höher ist. Entsprechend werden bei dem Vergleich geografischer Reichweiten, ausschließlich Transnationale Patente berücksichtigt.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Publikationen sind eine weitere wichtige Datengrundlage für die strukturelle und funktionale

Analyse. Es werden Daten über die Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen, die beteiligten Autoren und Institutionen sowie über die Fördermittelgeber ausgewertet (vgl. OECD 2002, 204). Die Analyse kann Aufschluss über aktive Akteure und Netzwerke geben, die Forschung zur fokussierten Technologie betreiben. Neben Universitäten und Forschungsinstituten sind dies auch staatliche Organisationen und Akteure aus der Industrie (vgl. Bergek et al. 2008, 415).

Die genutzten Daten in dieser Arbeit stammen aus dem „Science Citation Index Expanded“, der über das Analysetool Web of Science nach weltweit relevanten Publikationen durchsucht werden kann. Die Ergebnisse umfassen neben dem Titel und den Autoren, Attribute wie das Veröffentlichungsjahr, die Institutionen, an denen die Autoren forschen und gegebenenfalls Organisationen, welche die jeweiligen Veröffentlichungen finanziell unterstützt haben (vgl. Clarivate 2018, o.S.).

Projekt- und Unternehmensdaten

Die genutzten Projekt- und Unternehmensdaten liegen vor allem in qualitativer Form vor, sodass mit deren Auswertung kein Vergleich über Länder oder Branchen stattfinden wird. Die Ergebnisse werden dazu dienen, einen Eindruck über die Förderung der fokussierten Technologie in bestimmten Bereichen zu erhalten. So werden beispielsweise Projekte und deren Volumen auf europäischer Ebene mit der Hilfe des „Community Research and Development Information Service“ (CORDIS) betrachtet. CORDIS ist die offizielle Quelle der Europäischen Kommission für Informationen über Projekte die mit Beteiligung der EU finanziert werden. Die Daten liefern Aufschluss über die Vorhaben der Projekte, die Höhe der Finanzierung und der teilnehmenden Organisationen (vgl. CORDIS 2017, o.S.)

Die Datenbanken von CB Insights sowie Bloomberg wurden zudem genutzt, um Unternehmensdaten zu recherchieren. Mit CB Insights können Unternehmensneugründungen und die Höhe des investierten Risikokapitals untersucht werden (vgl. CB Insights 2018, o.S.). Zur Recherche spezifischer Unternehmensdaten wie Rechtsform und Gründungsdatum wurde mit der Plattform „The Terminal“, von Bloomberg Professional Services gearbeitet (vgl. Bloomberg 2018, o.S.).

Marktdaten

Für die Analyse ist es nach Hekkert zudem wichtig, Informationen über den relevanten Markt zu betrachten (2011, 6). Von den in Tabelle zwei genannten Marktstudien aus den

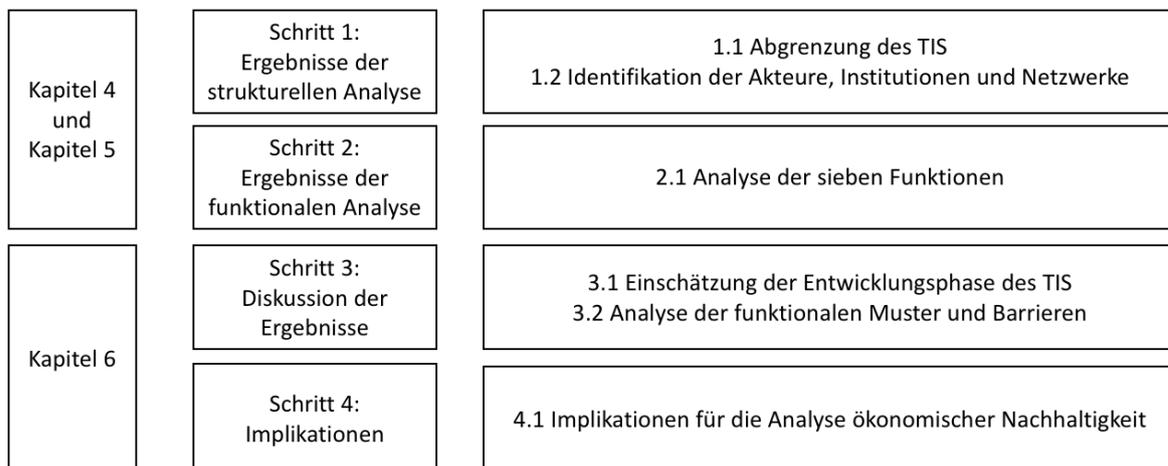
Jahren 2016 und 2017 können eine Vielzahl von Kennwerten entnommen werden. Dies betrifft im Folgenden überwiegend Informationen zur Marktgröße sowie den größten Marktteilnehmer.

3.4 Zwischenfazit

Zu Beginn der Analyse wird die Struktur des TIS untersucht. Dies beinhaltet dessen Abgrenzung, die Einschätzung der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit der fokussierten Technologie und die Identifikation der Akteure, Institutionen und Netzwerke. Daran anschließend kann die Funktionale Analyse genutzt werden um, die Entwicklung der Strukturelemente über die Zeit zu untersuchen. Die Ergebnisse aus der empirischen Analyse werden schließlich diskutiert, um Erkenntnisse über die Entwicklungsphase der Technologie zu erhalten und das funktionale Muster zu bestimmen. So können schließlich relevante Barrieren sichtbar werden und Erkenntnisse über die ökonomische Nachhaltigkeit der Technologie gewonnen werden.

Zuletzt werden Rückschlüsse aus den Ergebnissen, über die Bedeutung der Systemfunktionen in Abhängigkeit der Entwicklungsphasen des TIS und in Abhängigkeit nachhaltiger Innovationen gezogen (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Analyse und Diskussion der Ergebnisse



Quelle: eigene Erstellung

Für die Analyse werden Patentdaten, wissenschaftliche Veröffentlichungen, Projekt-, Unternehmens- und Marktdaten verwendet. Die Quantitative Datenbeschaffung erfolgt über PatentInspiration und Web of Science. Zudem werden qualitative Daten über die Angebote CORDIS, CB Insights und Bloomberg Professional Services gesammelt (vgl. Tabelle 1). Die verwendeten Marktdaten stammen aus den in Tabelle zwei genannten Studien.

Tabelle 1: Verwendete Programme und Datenbanken

Tool	relevante Datenbank	Anbieter	Datengrundlage
PatentInspiration	DOCDB	AULIVE Software NV	84 Millionen Patente aus 104 Ländern*
Web of Science	Science Citation Index Expanded	Thomson Reuters Corp.	Arbeiten aus über 30.000 Journals*
CORDIS	F&E Projekte der EU	Europäische Kommission	über 117.000 Projekte*
CB Insights	Venture Capital Database	CB Information Services Inc.	quantitative Daten aus über 130.000 Quellen*
Professional Services	Bloomberg Terminal	Bloomberg L.P.	qualitative Daten aus 1.500 Quellen*

*Stand: Januar 2018

Quelle: PatentInspiration 2018, Clarivate 2018, CORDIS 2017, CB Insights 2018, Bloomberg 2018.

Tabelle 2: Verwendete Studien

Herausgeber	Titel	Veröffentlicht	Anzahl der Seiten
The Insight Partners	UV LED Market to 2025	21.11.17	148
Yole	UV LED - Technology, Manufacturing and Application Trends	27.07.16	420
LEDinside	2017 UV LED vs. UV LED Module Market Report	05.10.17	210

Quelle: The Insight Partners 2017, Yole 2016, LEDinside 2017.

4 Ergebnisse der strukturellen Analyse

Die strukturelle Analyse wird die Grundlage für die weitere Untersuchung darstellen. Um dies transparent darstellen zu können, wird zunächst das betrachtete TIS abgegrenzt. Im Zuge dessen wird die fokussierte Technologie auf ihre soziale und ökologische Wirkung untersucht. Daraufhin können die Strukturelemente des fokussierten TIS und somit die entscheidenden Einflussfaktoren auf die Entwicklung identifiziert werden.

4.1 Abgrenzung des TIS

Im Vordergrund dieses Kapitels steht die Beschreibung der betrachteten Technologie. Um die strukturelle Analyse durchführen zu können, muss zunächst das zu untersuchende TIS abgegrenzt werden. Entsprechend wird die Abgrenzung des fokussierten TIS im folgendem Kapitel transparent dargestellt. Gleichzeitig kann die Technologie dabei auf soziale und ökologische Nachhaltigkeit hin überprüft werden.

4.1.1 Soziale und ökologische Nachhaltigkeit

Unter UV-Strahlung wird kurzwelliges Licht mit einem Spektralbereich zwischen 100nm und 400nm verstanden. In den 1950er Jahren wurden UV-Lampen erstmalig für die Aufbereitung von Wasser genutzt (vgl. The Insight Partners 2017, 47). Die Strahlung zerstört die Fähigkeit von Zellen sich reproduzieren zu können (vgl. Close & Lam 2006, 1660). Nach den „Guidelines for water reuse“, der United States Environmental Protection Agency (EPA), können mit UV-Strahlung 99,999% (5 log Stufen) aller bakteriellen Keime und Viren unschädlich gemacht werden (vgl. EPA 2012, 240-241). Ursächlich hierfür ist, dass Strahlung in einem Spektralbereich zwischen 100nm und 280nm (UVC-Strahlung) in der Atmosphäre absorbiert wird. Organismen bzw. organische Strukturen können daher keine Resistenzen bilden, so dass die Bestrahlung mit UVC Licht die Desoxyribonukleinsäure (DNS) der Keime an der Replikation hindert (vgl. Close & Lam 2006, 1660).

Quecksilberlampen können Strahlung im Spektralbereich von 254nm aussenden und sind daher eine verbreitete Technologie, um die genannten Resultate zu erzielen (vgl. Vilhunen et al. 2009, 439). Die Anwendung dieser Methode hat jedoch ihre Grenzen. Die Lampen sind von ihrer Bauart lang und unflexibel, sodass deren Einsatz in jeweiligen Systemen stets an bautechnische Eigenschaften der Quecksilberlampen gebunden ist (vgl. Close & Lam 2006,

1661). Dies beschränkt die Nutzungsmöglichkeiten der Wasseraufbereitung, da keine individuellen Anpassungen der Anwendungen möglich sind. Zudem benötigt die Inbetriebnahme der Lampen lange und es entsteht eine hohe Hitzeentwicklung, die mit einem entsprechenden Energieverbrauch einhergeht (vgl. The Insight Partners 2017, 47). Überdies geht die Verwendung von Quecksilber mit Gefahren für die Umwelt und die Gesundheit einher. Nach der „Minamata-Konvention“ wird daher der Verkauf und die Produktion von quecksilberhaltigen Lampen ab 2020 verboten sein (vgl. United Nations Environment Programme (UNEP) 2017, 54).

UV LEDs stellen eine alternative und umweltfreundliche Möglichkeit dar, um UV-Strahlung künstlich aussenden zu können. Der Spektralbereich von UV LEDs ist individuell einstellbar. Im Gegensatz zu Quecksilberlampen kann so die optimale Wellenlänge zur Wasseraufbereitung genau bestimmt werden. Diese liegt in etwa bei 269nm und somit im Bereich der UVC-Strahlung (vgl. Vilhunen et al. 2009, 440-441). UVC LEDs sind jedoch weniger weit entwickelt als beispielsweise LED Lampen mit einer Wellenlänge im Bereich der UVA und UVB-Strahlung. Aufgrund dessen ist die Fertigung der UVC LEDs noch mit hohen Kosten verbunden und der Gesamtwirkungsgrad, der das Verhältnis der Nutzenergie zur zugeführten Energie angibt, im Vergleich zu Quecksilberlampen geringer (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Gegenüberstellung von UVC LED und Quecksilber Lampen

	UVC LED Lampen	Quecksilber Lampen
Größe der Lampe	maximal 1cm ²	Röhren von mehr als 1m
Toxizität	nicht toxisch	hochtoxisch
Lebensdauer	1000 bis 10000 Stunden; künftig 20000 Stunden erwartet	durchschnittlich 2000 Stunden
Aufwärmzeit	keine	bis zu 10min
Spektralbereich	individuell einstellbar	254nm
Gesamtwirkungsgrad (wall-plug efficiency)	zurzeit wenige %	10% bis 45%

Quelle: Yole 2016, 61

Das Potential hinter der UVC LED Technologie zur Wasseraufbereitung ist nichtsdestotrotz groß. Sie ermöglicht die Entwicklung von Systemen zur Wasseraufbereitung, welche mit klassischen UV-Lampen nicht realisierbar wären. Die Aussicht Wasseraufbereitungsanlagen mit Solarenergie betreiben zu können sowie die kompakte und robuste Bauweise der UV LEDs begünstigen die Realisierung von mobilen Anwendungen (vgl. The Insight Partners 2017, 52).

Die Möglichkeit UV LED basierte Wasseraufbereitungssysteme in mobilen und flexibleren Anwendungen zu nutzen, erhöht die Möglichkeit zur flächendeckenden Bereitstellung von sauberem Trinkwasser, da insbesondere in abgelegenen Krisen- und Katastrophenregionen dieses Grundbedürfnis oft nicht erfüllt wird. Der direkte Nutzen der UV LED Technologie wirkt sich demnach positiv auf die soziale Nachhaltigkeit aus. Neben dem direkten Nutzen, der Technologie, ist deren Nachhaltigkeitsperformance in der Herstellung, Nutzung und Entsorgung entscheidend.

Bei der Herstellung und Anwendung von UV LED Systemen besteht die Möglichkeit, dass die menschliche Haut oder das Auge mit UV-Strahlung in Berührung kommt. Die zuvor beschriebene Schädigung der DNS kann beim Menschen krebsauslösend wirken und die Netzhaut im Auge schädigen (vgl. Udovičić 2013, 23). Dazu bedarf es jedoch einer hohen Intensität und einer langen Bestrahlungsdauer. Die kurzwelligen UVC LEDs, die bei der Wasseraufbereitung zum Einsatz kommen, besitzen zudem eine geringe Eindringtiefe. Die Strahlung wird bereits in den Oberschichten der Haut und des Auges absorbiert, sodass beim Menschen keine Schädigung zu befürchten ist (vgl. Udovičić 2013, 23-26). Der Verzicht auf toxische Materialien und die geringe Hitzeentwicklung von UV LEDs wirken sich hingegen im Vergleich zu Quecksilberlampen positiv auf die soziale Nachhaltigkeit aus. Al-Batanony et al. haben nachgewiesen, dass Symptome wie Zittern, emotionale Labilität, Gedächtnis und neuromuskuläre Veränderungen bei Arbeitern, die mit Quecksilberlampen in Berührung kommen, signifikant oberhalb des Durchschnittes der Kontrollgruppe von Arbeitern ohne direkten Kontakt liegen (2013, 151-153).

Schließlich kann davon ausgegangen werden, dass die Lebensqualität aufgrund eines geringeren Gefahrenpotentials bei der Nutzung der UV LED Lampen und einer höheren Arbeitssicherheit bei der Herstellung langfristig zunimmt und sich die erfolgreiche Etablierung der UV LED Technologie zur Wasseraufbereitung positiv auf die soziale Nachhaltigkeit auswirken würde.

Eine flächendeckende und effektive Möglichkeit zur Aufbereitung von verunreinigtem Wasser und Abwasser kann als schonender Umgang mit der natürlichen Ressource Wasser verstanden werden. Demnach hat die Technologie einen direkten Nutzen für die ökologische Nachhaltigkeit.

Der Verzicht auf Quecksilber und die längere Lebensdauer der UVC LEDs wirken sich überdies positiv auf die Umweltwirkung der Technologie in der Herstellung, Nutzung und Entsorgung aus. Die Ökobilanzergebnisse von UV LEDs übersteigen daher die der Quecksilberlampen (vgl. EPA 2014, 91). Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die zunehmende Effizienz der Lampen die Ergebnisse der Ökobilanzen weiter verbessert (vgl. Udovičić 2013, 18).

Der direkte Nutzen der Technologie ist zusammenfassend sowohl der sozialen als auch der ökologischen Nachhaltigkeit zuträglich. Die notwendige Bedingung, der Verbesserung der sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit bei der Entwicklung, Nutzung und Entsorgung ist gegenüber quecksilberbasierte Anwendungen ebenfalls gegeben. Im Mittelpunkt der Analyse stehen daher alle technologischen Artefakte zur Wasseraufbereitung mittels UV-Strahlung.

4.1.2 Breite und Tiefe des TIS

Das vorherige Kapitel hat einen allgemeinen Überblick über die Wasseraufbereitung mittels UV-Strahlung gegeben. Im Folgenden wird die UV LED Technologie abgegrenzt. Damit werden die Grenzen des TIS definiert und die in der Arbeit verwendeten Begrifflichkeiten festgelegt. Um die relevanten Anwendungen abgrenzen zu können, werden die Anwendungsbereiche von UV LED Technologien und deren Wertschöpfungskette betrachtet.

Startpunkt um ein TIS abzugrenzen ist nach Carlsson et al. das vorrangige Interesse, welches mit der Analyse verfolgt wird (2002, 237-239). Da hier die ökonomische Nachhaltigkeit der UV LED basierten Wasseraufbereitung betrachtet wird, stehen die entsprechenden technologischen Artefakte im Mittelpunkt des Interesses. Der Fokus liegt folglich nicht auf einer einzelnen Anwendung, sondern auf einer Gruppe von Produkten die auf der gleichen Technologie beruhen.

Im Folgenden wird definiert, wann Anwendungen dieser Produktgruppe zuzuordnen sind. Ausgangspunkt für die Analyse ist die Verwendung von UV LEDs. Deren Nutzung ist vielfältig und kommt beispielsweise bei der medizinischen Phototherapie, in analytischen Instrumenten oder bei der Aushärtung von Klebstoffen zum Einsatz. Die Analyse wird sich auf die Eigenschaft der UVC-Strahlung zur Desinfektion beschränken. Dabei ist die Aufbereitung von Wasser, von der Desinfektion von Oberflächen und Luft abzugrenzen. Dies bedeutet, dass potentielle Anwendungen wie beispielsweise Produkte zur Reinigung von Smartphones, Kontaktlinsen oder Zahnbürsten nicht Bestandteil des TIS sind. In Abbildung

drei sind die im fokussierten TIS enthalten Anwendungsbereiche grün markiert. Dazu gehören alle UVC LED basierten Systeme zur Aufbereitung und Desinfektion von Wasser.

Abbildung 3: Abgrenzung der Anwendungsgebiete



Quelle: eigene Darstellung

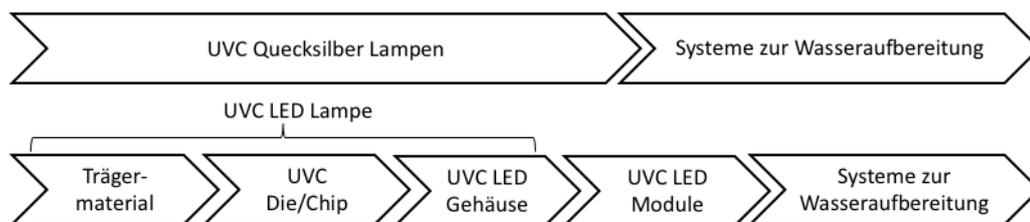
Es lassen sich Low-, Medium-, und High-Power Anwendungen unterscheiden. Low-power Anwendungen benötigen eine Leistung der UVC LEDs von bis zu zehn Watt und können ca. zwei Liter Wasser pro Minute aufbereiten. Damit ist vor allem die Entwicklung mobiler Produkte möglich, die an verschiedenen Verwendungsorten zum Einsatz kommen können. (vgl. Yole 2016, 36). Medium-power-Anwendungen erlauben mit bis zu 500 Watt Nutzenergie einen Volumenstrom von 200 Litern pro Minute und sind damit für den festinstallierten Einsatz zur Wasseraufbereitung am Punkt des Einstiegsortes verwendbar. Zur industriellen und flächendeckenden, kommunalen Nutzung der Technologie sind UVC Lampen mit einer Ausgangsleistung von 1000 Watt von Nöten (vgl. Yole 2016, 195). Aktuell ist es mit UVC LED noch nicht möglich diese Nutzenergie zu erreichen. Die Analyse wird gleichermaßen alle Anwendungen zur Wasseraufbereitung unabhängig von deren Leistung einbeziehen. Wenngleich High-power Anwendungen einen entscheidenden Schritt zu einer höheren Nachhaltigkeit beitragen können, ist die Verbreitung von Anwendungen mit einer geringeren Leistung ebenso förderlich. Dies ermöglicht die Erschließung eines Nischenmarktes und fördert somit vor allem die ökonomische, aber auch bereits die ökologische und soziale Nachhaltigkeit.

Eine Kritik des TIS Ansatz besagt, dass die Sichtweise oft zu sehr nach innen gerichtet ist (vgl. Markard & Truffer 2008, 610). Demnach werden Kontextstrukturen, die Einfluss auf die Entwicklung des TIS ausüben, unzureichend betrachtet. Bergek et al. schlagen daher vor, bei der strukturellen und funktionalen Analyse auch Einsicht in maßgebliche Strukturen zu geben, die außerhalb des definierten TIS Rahmens liegen (2015, 61). Die vorgenommene

Abgrenzung der Technologie gilt unabhängig davon weiterhin für das fokussierte TIS, so dass insbesondere die Ergebnisse der Analyse nur für die beschriebenen Anwendungen Gültigkeit besitzen. Einige Kontextstrukturen die im vorliegenden Fall von außen auf das TIS einwirken, werden durch die Betrachtung der Wertschöpfungskette deutlich.

Kern der Technologie zur Wasseraufbereitung ist die UVC LED Lampe. Hierunter wird die Einheit aus Trägermaterial, UVC-LED-Chip und die Ummantelung der Elemente verstanden. Die UVC-LED Lampen können in vielfältiger Weise zu UV Modulen zusammengesetzt und in entsprechend individuellen Systemen zur Wasseraufbereitung angewandt werden (vgl. Yole 2016, 79). Diese Systeme zur Wasseraufbereitung stehen am Ende einer erfolgreichen Wertschöpfungskette und stellen in ihrer Gesamtheit die zuvor genannte Produktgruppe dar, die im Mittelpunkt der Analyse steht.

Abbildung 4: Abgrenzung entlang der Wertschöpfungskette



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Yole 2016, 73

Die UV LED Technologien besitzen eine andere Wertschöpfungskette als Quecksilberlampen. Während bei den bisher etablierten UV-Lampen die Systeme um die Lampe herum entworfen werden, kann die Anordnung der UV LEDs an das entsprechende System angepasst werden (vgl. Yole 2016, 79). Abbildung vier verdeutlicht, dass sich daraus eine veränderte Wertschöpfungskette ergibt. Die Effizienz der finalen Anwendung hängt hier sowohl von der Leistung der UVC LED Lampe, als auch von der Effizienz des Moduls und der Bauweise des Systems ab. So hat deren Design etwa Einfluss darauf, wie gleichmäßig und schnell die Desinfektion stattfindet und wie die entstehende Wärme abgeleitet werden kann. Im Folgenden wird zwischen UVC LED Lampen, Modulen und Systemen zur Wasseraufbereitung unterschieden. Gemeinsam bilden die Elemente die finale Anwendung.

Diese Anwendungen zur Wasseraufbereitung bilden den Kern des fokussierten TIS. Deren Entwicklung kann durch vorgelagerte Prozesse in der Wertschöpfungskette und konkurrierende Technologien beeinflusst werden. Im vorliegenden Fall hängt die Funktionalität der Anwendungen beispielsweise entscheidend von den Vorprodukten in Form der UVC LED Lampen ab. Ebenso gilt, dass Quecksilberanwendungen als Konkurrenzprodukt Einfluss auf

das fokussierte TIS ausüben können, was in der folgenden Analyse entsprechend zu berücksichtigen ist.

4.1.3 Geografische Abgrenzung

Technologische Innovationssysteme haben grundsätzlich einen globalen Charakter. Dennoch können Gründe existieren, weshalb die Betrachtung eines bestimmten, lokal begrenzten Bereiches von besonderem Interesse für einen Teil der Analyse ist. Um dem gerecht zu werden, werden die Akteure des TIS zunächst möglichst auf globaler Ebene erfasst. Dabei wird sich im Folgenden zeigen, dass Unternehmen, Forschungseinrichtungen und öffentliche Organe innerhalb des TIS, vor allem aus Europa, Nordamerika und Ostasien (China, Taiwan, Korea und Japan) stammen. Bei der strukturellen Analyse der Institutionen und bei vereinzelt Systemfunktionen wird daher ein Fokus auf diesen Regionen liegen. Die geografische Begrenzung wird jedoch nicht allgemeingültig für das gesamte TIS sein. Insbesondere eine nachhaltige Entwicklung kann nicht ohne Verständnis für den internationalen Kontext untersucht werden.

4.2 Strukturelemente des TIS

Nachdem das fokussierte TIS eingegrenzt wurde, besteht der nächste Schritt darin, die Strukturelemente des Systems zu identifizieren und zu analysieren. Bei den Akteuren wird zwischen Herstellern (produzierende Akteuren), Akteuren die F&E betreiben sowie Akteuren aus der Finanzierung unterschieden. Es werden Institutionen mit Bezug zu Quecksilberanwendungen und zu UV LED basierten Anwendungen der Wasseraufbereitung betrachtet. Bei der Analyse der Netzwerke werden Zusammenschlüsse von Akteuren aus der angewandten Forschung sowie der experimentellen Entwicklung untersucht.

4.2.1 Akteure

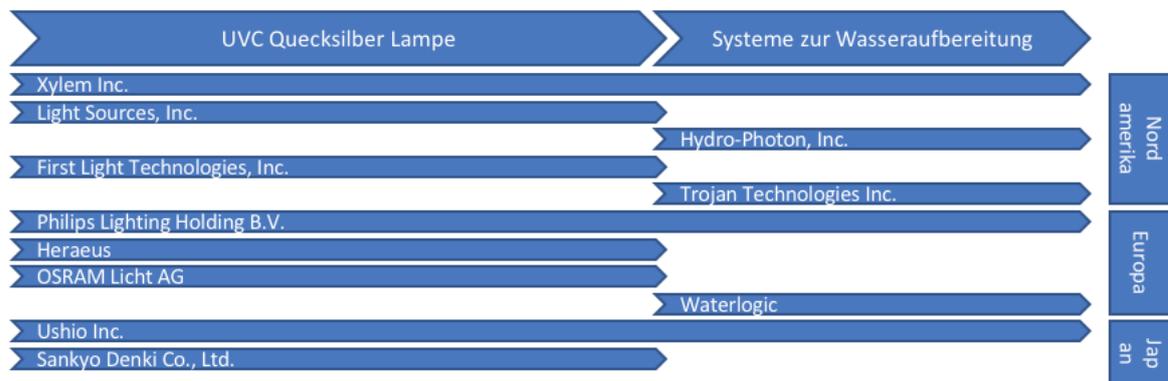
Produzierende Akteure

Zunächst werden die produzierenden Firmen betrachtet. Eine Betrachtung der Hersteller entlang der Wertschöpfungskette ist nach Hekkert et al. zielführend, da anhand der jeweiligen Unternehmensgröße und Branchenherkunft erkennbar werden kann, wo bereits Firmen etabliert sind und wo die Verbreitung unzureichend ist (2011, 6).

In Abbildung fünf werden zunächst die größten Hersteller von quecksilberbasierten Anwendungen zur Wasseraufbereitung identifiziert. Die Daten stammen aus den Studien von Yole

(2016), LEDinside (2017) und The Insight Partners (2017). Zudem wurden die Ergebnisse durch Recherchen auf der Plattform von Bloomberg L.P. bereitgestellten Daten ergänzt.

Abbildung 5: Produzenten von UV Quecksilberanwendungen zur Wasseraufbereitung



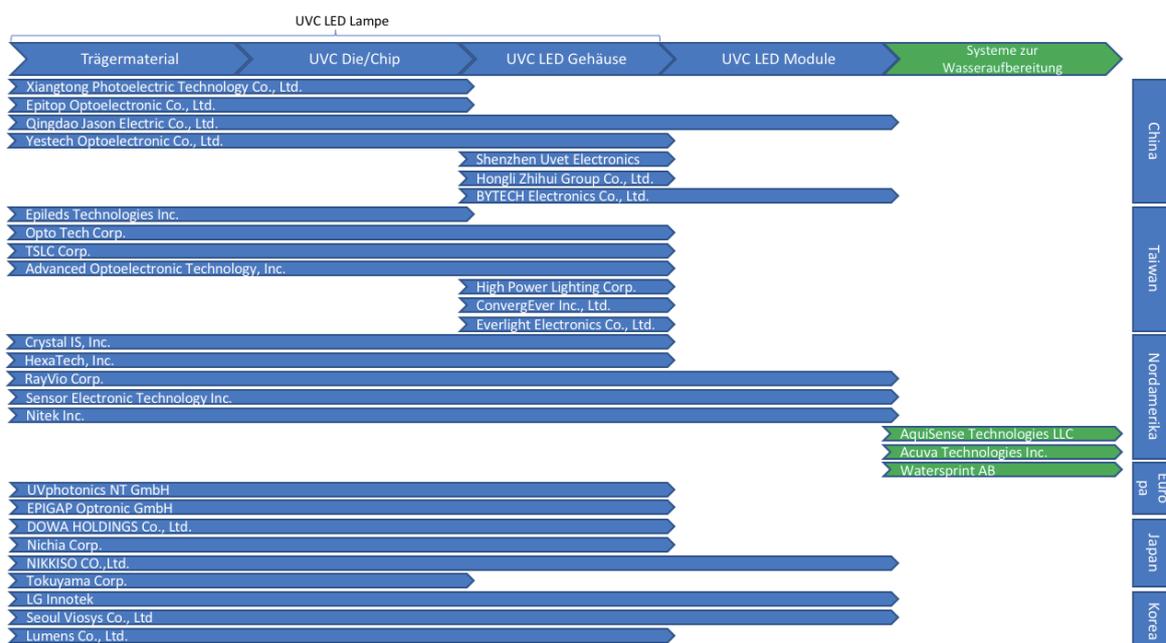
Quelle: eigene Darstellung, nach Daten von Yole 2016, LEDinside 2017, The Insight Partners 2017, Bloomberg

Bei der Herstellung von Low-power Quecksilberlampen sind Philips Lighting und Sankyo Denki Marktführer. Hydro-Photon und Waterlogic führen den Markt in der Herstellung der entsprechenden Systeme für Low-power Lampen an (vgl. Yole 2016, 67). Bei Medium- und High-power Lampen sind Heraeus und Ushio Marktführer. Trojan UV sowie Xylem (ehemals Wedeco) haben sich auf die Herstellung dazugehöriger Systeme spezialisiert (vgl. Yole 2016, 199). Zusammenfassend sind hier vor allem große Hersteller aktiv, die bereits lange bestehen (vgl. Appendix, Tabelle 6). Der Markt für die Herstellung der Quecksilberanwendungen zur Wasseraufbereitung scheint entsprechend etabliert und segmentiert zu sein. Unabhängig von der Position in der Wertschöpfungskette, haben nahezu alle Produzenten der Quecksilberanwendungen die Marktchance der UV LEDs erkannt und begonnen, Module und Systeme - jedoch keine UVC LED Lampen - zu entwickeln (vgl. The Insight Partners 2017, 106-143). Dabei beschränken sich die Unternehmen auf die UV Aushärtung oder auf Anwendungen im medizinischen Bereich. Keiner der Akteure aus Abbildung fünf hat bisher mit der Produktion von Systemen zur Wasseraufbereitung begonnen. Philips Lighting und OSRAM forschen zwar entlang der Wertschöpfungskette der UVC LEDs zur Wasseraufbereitung, stellen aber keine marktreifen Produkte her (vgl. LEDinside 2017, 185 und The Insight Partners 2017, 140-143).

In Abbildung sechs sind Firmen gelistet, die entlang der Wertschöpfungskette aus Kapitel 4.1.2 marktreife Anwendungen produzieren. Bei den LED Lampen werden ausschließlich Produzenten aufgeführt, die LEDs im Spektralbereich der UVC-Strahlung herstellen, da diese für die Wasseraufbereitung geeignet sind. Aufgrund der frühen Entwicklungsphase ist es nicht möglich jedes Unternehmen zu identifizieren. Gleichzeitig kann jedoch aufgrund

der Überschaubarkeit der verarbeitenden Industrie davon ausgegangen werden, dass die wichtigsten Hersteller enthalten sind.

Abbildung 6: Produzenten von UVC LED Anwendungen zur Wasseraufbereitung



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Yole 2016, 305, nach Daten von Yole 2016, LEDinside 2017, Bloomberg L.P.

Die Wertschöpfungskette UVC LED basierter Anwendungen ist von quecksilberbasierten Anwendungen verschieden (vgl. Yole 2016, 16). Dies hat Auswirkungen auf die Branchenstruktur. Während bei quecksilberhaltigen Anwendungen, die Hersteller aus Nordamerika, Europa und Japan stammen, sind die Produzenten von UVC LED Lampen und Modulen zudem in China, Taiwan, und Südkorea ansässig (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6). Dies liegt auch daran, dass Produzenten von Quecksilberlampen nicht in die Herstellung von UVC LED Lampen eingestiegen sind. Diese stammen aus der Branche der LED Technik im Bereich sichtbarer Wellenlängen. Große LED Hersteller, wie LG Innotek und Nichia haben den Markt für UVC LEDs betreten und stellen entsprechende Lampen und Module im Low-bis Medium-power Bereich her (vgl. The Insight Partners 2017, 197-198). Ebenso haben einige Produzenten die ausschließlich auf die Produktion von LED Gehäusen spezialisiert sind, angefangen entsprechende Produkte für UVC LEDs herzustellen, die aufgrund der kürzeren Wellenlänge geänderte Anforderungen besitzen (vgl. Yole 2016, 305).

Bei der Produktion von Systemen zur Wasseraufbereitung, die auf UVC LED Lampen basieren, zeigen Firmen wie LG Innotek, Seoul Viosys, DOWA, Jason Electric sowie Produzenten von Quecksilberanwendungen wie OSRAM und Philips Lighting Interesse (vgl.

LEDinside 2017, 182). Unter den aktiven Herstellern der Systeme lassen sich bisher jedoch nur Neugründungen ab dem Jahr 2013 finden (vgl. Appendix, Tabelle 7).

Akteure aus F&E

Im Folgenden werden Akteure untersucht, die an Grundlagenforschung, angewandter Forschung und experimenteller Entwicklung mit Bezug zu dem fokussierte TIS beteiligt sind. Dabei wird zwischen Universitäten und öffentlich finanzierten Forschungsinstituten unterschieden. Darüber hinaus werden F&E Aktivitäten von Akteuren aus der Industrie betrieben, die damit vorhandenes Wissen erhöhen (vgl. Hekkert et al. 2011, 6-7).

Als Referenz für die weitere Untersuchung wird zunächst die Grundlagenforschung betrachtet. Die OECD definiert Grundlagenforschung wie folgt:

„Basic research is experimental or theoretical work undertaken primarily to acquire new knowledge of the underlying foundation of phenomena and observable facts, without any particular application or use in view.“ (OECD 2002, 30)

Für den vorliegenden Fall werden daher wissenschaftliche Publikationen im Bereich der UV LEDs unabhängig von deren Einsatzgebiet und Wellenlänge, ausgewertet, die im „Science Citation Index Expanded“ gelistet sind. Seit dem Beginn der 90er Jahre bis zum Ende des Jahres 2017 lassen sich dazu 2.748 Veröffentlichungen finden (vgl. Appendix, Tabelle 8).

Insgesamt stehen weltweit 1.607 Akteure, vor allem in Form von Universitäten und Forschungseinrichtungen hinter diesen Veröffentlichungen. Etwa 90% der Veröffentlichungen stammen aus Ostasien, Europa und Nordamerika. Bei der Analyse wurde darauf geachtet, dass alle beteiligten Organisationen an einer Arbeit berücksichtigt werden, aber keine Organisation doppelt gezählt wird.

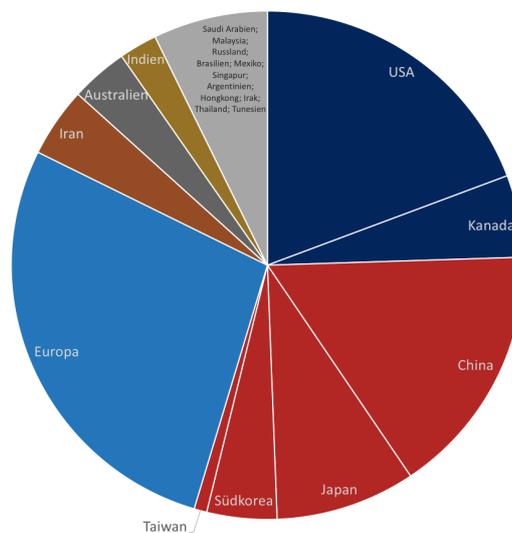
Akteure, die zur UV LED basierten Wasseraufbereitung forschen, wurden ebenfalls mittels Literaturrecherche identifiziert und der angewandten Forschung zugerechnet:

„Applied research is also original investigation undertaken in order to acquire new knowledge. It is, however, directed primarily towards a specific practical aim or objective.“ (OECD 2002, 30)

Die Akteure beeinflussen das fokussierte TIS direkt und befinden sich innerhalb der in Kapitel 4.1.2 gezogenen Grenzen. Der „Science Citation Index Expanded“ konnte dem Wissensgebiet erstmals ab dem Jahr 1999 bis Ende 2017 215 Arbeiten zuordnen (vgl. Appendix, Tabelle 9). Die Anzahl der beteiligten Organisationen übersteigt mit 249 die Anzahl der

Veröffentlichungen, sodass davon auszugehen ist, dass viele Arbeiten gemeinschaftlich veröffentlicht wurden. Überdies ist die anteilmäßige Herkunft der Akteure geografisch weniger fokussiert als in der Grundlagenforschung. Abbildung sieben zeigt, dass zwar weiterhin ca. 82% aus Nordamerika, Ostasien und Europa stammen. Zusätzlich sind jedoch etwa 10% der Akteure im Iran sowie in Indien und Australien angesiedelt (vgl. Appendix, Tabelle 10). 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).

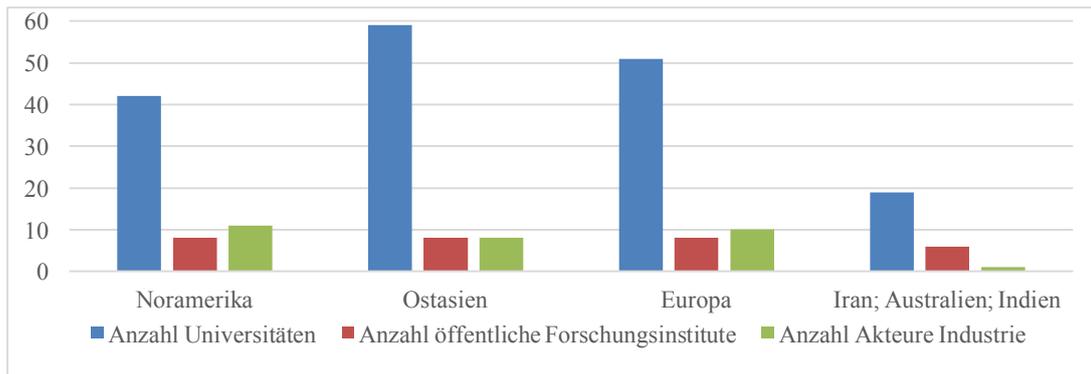
Abbildung 7: Akteure der angewandten Forschung nach Herkunft



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von web of science

Den Großteil der Akteure im Bereich der angewandten Forschung bilden mit 74% die Universitäten. Die restlichen Publikationen stammen in etwa gleichermaßen von öffentlich finanzierten Forschungsinstituten und Akteuren aus der Industrie (vgl. Appendix, Tabelle 10). Bei letzterem sind erneut mit OSRAM ein Produzent von Quecksilberlampen und mit Sensor Electronic Technology ein Produzent von UVC LED Lampen vertreten (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6). Naturgemäß übersteigt jedoch der Anteil der Universitäten und Forschungsinstitute in der Forschung deutlich den Anteil industrieller Akteure (vgl. Abbildung 8).

Abbildung 8: Anteil Akteure der angewandten Forschung nach Organisation und Region



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von web of science

Die Akteure der Grundlagen- und angewandten Forschung interagieren mit Anbietern sowie Nutzern und haben daher Einfluss auf den Markt, formen diesen in der Regel aber nicht selbst. Industrielle Akteure generieren Wissen häufiger durch experimentelle Entwicklung. Dieses Wissen kann hingegen unmittelbaren Einfluss auf die Formation des Marktes ausüben. (vgl. Bleda & del Rio 2013, 1042). Daher wird im Folgenden die experimentelle Entwicklung abgegrenzt:

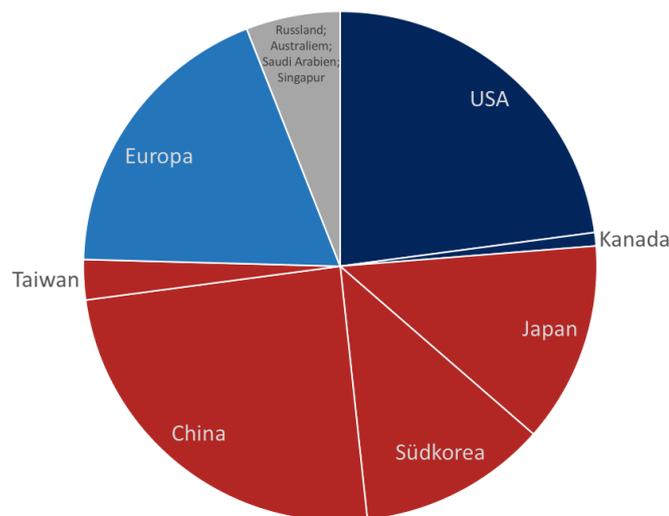
„Experimental development is systematic work, drawing on existing knowledge gained from research and/or practical experience, which is directed to producing new materials, products or devices, to installing new processes, systems and services, or to improving substantially those already produced or installed.“ (OECD 2002, 30)

Während wissenschaftliche Veröffentlichungen als Indikator in der Grundlagen- und angewandten Forschung genutzt werden, können Akteure aus der experimentellen Entwicklung mit der Hilfe von Patentdaten identifiziert werden (vgl. Järvenpää 2011, 284). Patente bilden F&E Ergebnisse ab und sind daher zur Identifikation von Akteuren geeignet, die experimentelle Entwicklung betreiben (vgl. Andersson & Jacobsson 2002, 1044). Bei Ko-Patenten werden alle Anmelder beachtet, wobei jedoch keine Organisation doppelt gezählt wird, da hier die Anzahl und Art der Akteure im Fokus steht. Insgesamt wurden bis zum Ende des Jahres 2017 532 Patentanmeldungen zum Bereich Wasseraufbereitung mittels UV LEDs identifiziert (vgl. Appendix, Tabelle 11). Diese stammen von 37 Forschungseinrichtungen und 167 Unternehmen (vgl. Appendix, Tabelle 12). Darunter befinden sich neun Firmen, die bereits UVC-LED Lampen produzieren sowie Hersteller von quecksilberhaltigen Anwendungen zur Wasseraufbereitung (vgl. Appendix, Tabelle 13). Die weiteren industriellen Akteure der experimentellen Entwicklung, stammen aus einer Vielzahl von Branchen. Neben Unternehmen aus der Luftfahrt sind Nahrungsmittel- und Kosmetikerhersteller vertreten.

Viele Unternehmen stammen zudem aus der klassischen LED Branche, produzieren jedoch noch keine marktreifen UVC LEDs.

Zur Betrachtung der geografischen Verteilung der Akteure werden ausschließlich Unternehmen und Forschungseinrichtungen mit transnationalen Patenten berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.3). Danach lassen sich 118 Akteure identifizieren, die in Abbildung neun nach ihrer Herkunft aufgeschlüsselt werden.

Abbildung 9: Akteure der experimentellen Entwicklung nach Herkunft



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von PatentInspiration

94% der Unternehmen und Forschungseinrichtungen haben ihren Sitz in Nordamerika, Ostasien und Europa (vgl. Appendix, Tabelle 14). Insgesamt wird deutlich, dass insbesondere Akteure, die aus der Industrie stammen, in diesen Regionen vertreten sind. Dies stimmt mit den Ergebnissen aus dem vorherigen Abschnitt überein, wonach alle aktiven Hersteller entlang der Wertschöpfungskette ebenfalls in diesen Ländern ansässig sind.

Akteure aus der Finanzierung

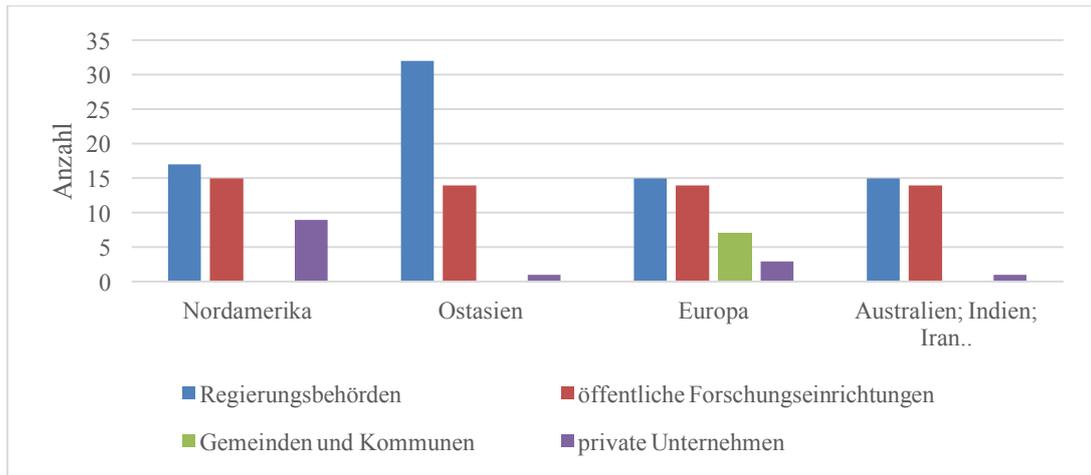
Damit die Akteure aus der Herstellung und Forschung agieren können, bedarf es Organisationen, welche die Produktion sowie die F&E unterstützen. Neben Humanressourcen sind dabei vor allem finanzielle Ressourcen ein grundlegender Input für nahezu alle Aktivitäten innerhalb des Innovationssystems. Jacobsson und Bergek betrachten daher Kapital neben Kompetenz, als die wichtigste Ressource innerhalb eines Innovationssystems (2004, 817-819). Eine entscheidende Gruppe an Akteuren zur Bereitstellung finanzieller Ressourcen ist die Venture-Capital Industrie, die Wagniskapital für neue Technologien anbietet. Bei ökologisch und sozial nachhaltigen Innovationen sind überdies insbesondere Regierungen bedeutende Anbieter finanzieller Ressourcen, da wirtschaftliche Anreize aufgrund des

Zielkonfliktes zur ökonomischen Nachhaltigkeit 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 voranzubringen. Aufgrund des wirtschaftlichen Risikos, welches mit ökologischen und sozialen Innovationen sowie der frühen Entwicklungsphase einhergeht, bedarf es vor allem der Bereitstellung öffentlicher Gelder. Im Folgenden werden daher zunächst Akteure untersucht, welche die Finanzierung der angewandten Forschung unterstützen.

Web of Science erlaubt es, vorhandene Förderagenturen (Funding Agencies) hinter den wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu bestimmen. Die Ergebnisse aus der angewandten Forschung wurden im Hinblick auf die jeweilige Organisation, deren Herkunft und Trägerschaft analysiert. Insgesamt konnten den 215 Arbeiten so 157 Geldgeber zugeordnet werden (vgl. Appendix, Tabelle 15). 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 US-Militär vertreten. 36% der finanzierenden Akteure sind Forschungseinrichtungen und –verbände wie beispielsweise die Helmholtz-Gemeinschaft, deren Budget zu mindestens 50% aus öffentlichen Mitteln stammt. Etwa 4,5% sind Gemeinden, Kommunen und Provinzen, die Fördergelder für angewandte Forschung der Wasseraufbereitung mit UV LEDs ausgeben. Dabei stammen diese Fördermittel im vorliegenden Fall ausschließlich von europäischen Gemeinden und Kommunen (vgl. Abbildung 10). Insgesamt befinden sich hier somit 91% der Akteure, welche die angewandte Forschung unterstützen in öffentlicher Trägerschaft. Die Anzahl der privaten Investoren in der angewandten Forschung ist wie erwartet gering. Eine Ausnahme bilden die USA, in der 20% der Akteure private Unternehmen sind (vgl. Appendix, Tabelle 15).

Abbildung 10: Anzahl Akteure die die angewandte Forschung finanziell unterstützen

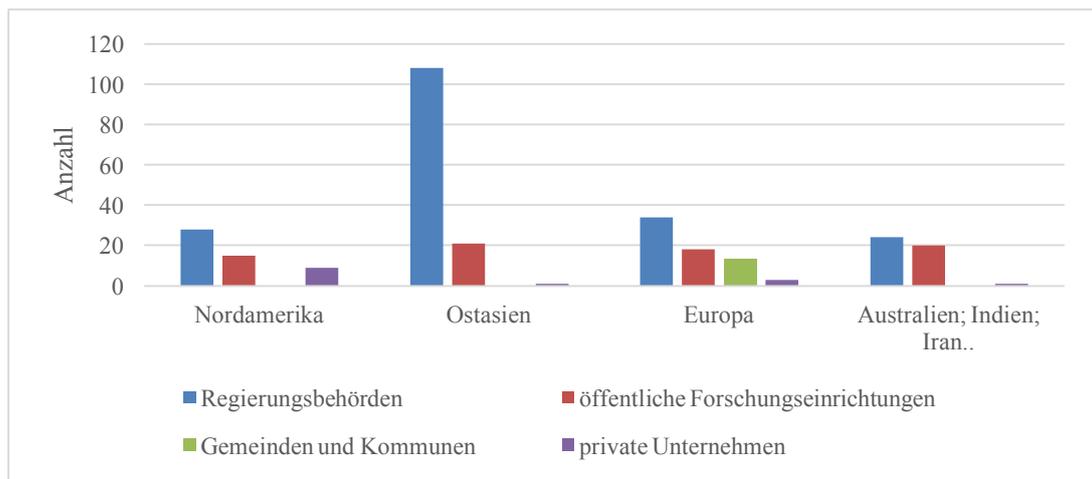


Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von web of science

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 (vgl. Appendix, Tabelle 15). Die geografische Verteilung der Funding Agencies ist ähnlich wie die Verteilung der Akteure die angewandte Forschung betreiben in Abbildung sieben. Dies spricht dafür, dass die Organisationen überwiegend die Forschung im heimischer Akteure unterstützen. Da die meisten Akteure Regierungsbehörden unterstellt sind, ist dies naheliegend.

Es ist nicht möglich, die Höhe der insgesamt gezahlten Fördergelder zu beziffern. Als Indikator kann jedoch die Anzahl der geförderten wissenschaftlichen Arbeiten betrachtet werden. Dabei ist allerdings anzumerken, dass eine Publikation von mehreren Organisationen gleichzeitig unterstützt werden kann. Die Anzahl der geförderten Publikation lässt demnach nicht direkt auf die Höhe des zur Verfügung gestellten Budgets schließen. Abbildung elf zeigt im Vergleich zur vorherigen Abbildung dennoch deutlich, dass insbesondere Regierungsorganisationen, die überwiegende Anzahl der wissenschaftlichen Arbeiten fördern (vgl. Appendix, Tabelle 16). Somit ist es wahrscheinlich, dass in der angewandten Forschung auch ein Großteil der Fördergelder von ihnen stammt.

Abbildung 11: Anzahl der geförderten Publikationen in der angewandten Forschung



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von web of science

Im besonderen Maße gilt dies für China, dessen Staatsrat durch die „National Natural Science Foundation (NSFC)“ Arbeiten mit dem Ziel unterstützt, Technologien zur Wasserdesinfektion und -aufbereitung hervorzubringen:

„Research on environmental engineering will emphasize key scientific issues related to new theories and technical bases of new high-efficiency and low-consumption technologies, which include water purification, wastewater treatment and utilization, municipal water supply and drainage system [...] and renovation of the polluted water environment.“
(NSFC 2017, 63)

Außerhalb von China ist die Europäische Kommission maßgeblich an der Förderung von UV LED basierten Wasseranwendungen beteiligt. Über CORDIS konnten drei Projekte mit einem Bezug zur fokussierten Technologie identifiziert werden, bei denen die EU Beteiligung insgesamt bei etwa acht Millionen Euro liegt (vgl. Appendix, Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26) Das Programm „Photocatalysis with UV LED Sources for Efficient Water Purification“ wurde im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms finanziert und lief bis 2013 (vgl. Cordis 2015, o.S.). Aktuell ist zudem das Projekt zum Thema „Eco-innovative UV water disinfection“ im Förderprogramm „Horizon 2020“ der EU eingegliedert (vgl. Cordis 2017a, o.S.). Die Fördergelder fließen nicht ausschließlich in die angewandte Forschung, sondern werden ebenso für die experimentelle Entwicklung in Unternehmen vergeben. Deutlich wird dies am Projekt „Water - Sustainable Point-Of-Use Treatment Technologies“, das ebenfalls aus dem Horizon 2020 Programm stammt und in der Wertschöpfungskette an der Entwicklung der Systeme ansetzt, die für UVC LEDs geeignet sind (vgl. Cordis 2017b, o.S.).

Im Gegensatz zu Fördergeldern wird Wagniskapital von Investoren vergeben, die sich mittelfristig einen Kapitalertrag aus der Anlage erhoffen. Dies können Venture-Capitalist-Gesellschaften, Business Angels oder spezialisierte Bankinstitute sein. Entsprechend fließen diese Gelder nicht in die Forschung, sondern überwiegend zu bereits produzierenden Akteuren. Insbesondere Unternehmensneugründungen besitzen oft nicht ausreichend Eigenkapital und sind daher auf Investitionen angewiesen. Akteure die in dieser frühen Phase Wagniskapital investieren, gehen ein hohes Risiko ein, haben aber gleichzeitig die Möglichkeit auf eine hohe Rendite.

Im Abschnitt zu den produzierenden Akteuren wurde deutlich, dass die Hersteller von UVC LED Lampen große Unternehmen sind, die bereits ausreichend Eigenkapital besitzen und somit ein überschaubares Risiko eingehen. Hersteller von Systemen zur Wasseraufbereitung mittels UV LEDs sind im Vergleich dazu bisher kaum am Markt vertreten und frühestens seit 2013 aktiv (vgl. Appendix, Tabelle 7). Insgesamt konnten hierzu weltweit drei Unternehmen identifiziert werden. Bei der Recherche zu der Vergabe von Risikokapital in der Datenbank von CB Insights wurden im fokussierten TIS zwei Unternehmen gefunden, die Investitionen erhalten haben. Aquisense Technologies LLC aus den USA und Acuva Technologies Inc. aus Kanada haben gemeinsam etwa 3,6 Millionen US\$ Wagniskapital erhalten (vgl. Appendix, Tabelle 17). Ein Großteil der Gelder stammen von der National Science Foundation in den USA, der University of British Columbia und der Business Development Bank of Canada (BDC) und somit erneut von öffentlichen Trägern. Im Gegensatz zu den Fördergeldern erwarten die Akteure hier jedoch eine Rückzahlung. Etwa zwei Millionen US\$ stammen von einem Business Angel und somit von einem privaten Investor.

4.2.2 Institutionen

Institutionen gestalten maßgeblich das Zusammenspiel der Akteure eines TIS. Da informelle Institutionen nicht systematisch abgebildet werden können, wird sich der folgende Absatz auf formelle Institutionen fokussieren (vgl. Hekkert et al. 2011, 5). Zudem bedarf es bei der Analyse einer geografischen Fokussierung, da es nicht möglich ist, alle weltweit relevanten Gesetze, Regeln und Normen aufzulisten. Das Ziel der nachhaltigen Entwicklung muss ein globales Vorhaben sein. Dennoch entwickeln sich Nischenmärkte zunächst meist in lokal abgegrenzten Gebieten (vgl. Kapitel 4.1.3). Die dort vorhandenen Institutionen haben entsprechend hohe Relevanz für die Etablierung der Technologie.

Grundsätzlich müssen vorhandene Institutionen zunächst an eine neue Technologie angepasst werden, sobald diese sich verbreitet (vgl. Freeman & Louca 2002). Dies ist jedoch kein

automatisierter Prozess, vielmehr hängt die Ausgestaltung von den Akteuren des TIS und deren Durchsetzungsvermögen ab. Die produzierenden Akteure von Quecksilberanwendungen und UV LED Anwendungen stehen nicht nur über den Markt im Wettbewerb zueinander, sondern auch darüber, wie die institutionelle Ausrichtung ausgestaltet werden soll (Jacobsson & Lauber 2006, 258-259). Dies betrifft vor allem Regelungen und Gesetze, die den Wettbewerb zwischen etablierten Technologien und den neuen Technologien beeinflussen. Weiterhin haben Vorschriften und Normen die sich innerhalb des TIS befinden, entscheidenden Einfluss auf dessen Ausgestaltung und Funktion. Im Folgenden sind dies Regeln, die die Anwendungen zur Wasseraufbereitung mittels UV LEDs direkt betreffen. Befindet sich ein TIS in einer frühen Entwicklungsphase, existieren solche spezifischen Institutionen möglicherweise noch nicht (vgl. Bergek et al. 2008, 414). Entsprechend gewinnen dann Vorschriften und Normen an Bedeutung, die allgemeingültiger sind (*lex generalis*) und daher auf das TIS angewandt werden.

Institutionen mit Bezug zu Quecksilber

Etablierte Technologien haben oft einen Vorteil gegenüber neuen Innovationen, da bereits Gesetze und Normen bestehen. Diese können den Umgang mit der Technologie legitimieren und aufgrund von allgemeingültigen Standards die Nutzung erleichtern. Sozial und ökologisch nachhaltige Technologien wie die UV LED Anwendungen haben in der gesetzlichen Legitimation jedoch trotz ihrer Neuartigkeit einen Vorteil gegenüber etablierten, weniger nachhaltigen Technologien wie den Quecksilberlampen. Eine nachhaltige Entwicklung hat sich weltweit über die Jahre zu einem zentralen Anliegen unter der Bevölkerung entwickelt. Dies hat im weiteren Verlauf zu der Entwicklung vieler öffentlich initiierten Politiken wie dem Minamata Übereinkommen geführt. Der Völkerrechtliche Vertrag aus dem Jahr 2012 besagt, dass ab 2020 quecksilberhaltige Produkte nur noch mit Einschränkung verkauft oder verboten werden sollen (vgl. UNEP 2017, 54-55). 128 Länder haben das Abkommen bisher unterzeichnet. Darunter befinden sich die USA, Kanada, die Länder der Europäischen Union, China und Südkorea. Mit Ausnahme von Südkorea wurde das Minamata Übereinkommen von den genannten und insgesamt 88 Ländern ratifiziert (vgl. United Nations 2017, Chapter XXVII). Regierungen und private Organisationen auf der ganzen Welt unterstützen daher die Einführung von UV LEDs in UV-Lampen über alle Industrien hinweg. So hat beispielsweise die EU-Kommission mittels der Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS), die

Verwendung von Quecksilber in elektronischen Geräten ab Juli 2019 verboten (vgl. Europäisches Parlament und Rat 2011, o.S.). Gleichzeitig wird auf der Grundlage dieser Richtlinie der Fortschritt bei den Fähigkeiten der UV LEDs konstant beobachtet (vgl. The Insight Partners 2017, 34).

Institutionen mit Bezug zur Wasserqualität

Im vorangegangenen Abschnitt wurden Institutionen betrachtet, die das TIS indirekt, etwa über komplementäre Güter, beeinflussen. Im Folgenden stehen Institutionen im Mittelpunkt, die direkten Einfluss ausüben.

Der Zugang zu sauberem Trinkwasser, ist ein Grundbedürfnis des Menschen. Entsprechend sind Regelungen zur Gewährleistung einer ausreichenden Wasserqualität in allen Industrieländern und den meisten Entwicklungsstaaten existent. In Tabelle vier sind zunächst nationale Gesetze und Richtlinien in Nordamerika, Ostasien und Europa aufgeführt, die als Grundlage für Qualitätsstandards von Trinkwasser dienen. Daraus können Grenzwerte für im Wasser enthaltene Mikroorganismen abgeleitet werden, sodass keine Gefahr zur Schädigung der menschlichen Gesundheit besteht. Nach Angaben des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches wird dies erreicht, wenn mindestens 99,99 % (4 log Stufen) der im Wasser befindlichen Keime abgetötet werden (vgl. Eggers 2018, 4). Daraus werden technologiespezifische Vorgaben abgeleitet, die bei der Nutzung verschiedener Anwendungen zur Wasseraufbereitung eingehalten werden müssen. In Deutschland wird beispielsweise nach §11 der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) das Bundesministerium für Gesundheit damit beauftragt diese Vorgaben zu erstellen (Bundesministerium der Justiz und Verbraucherschutz 2001, o.S.). Mit der Hilfe technologiespezifischer Normen kann dies schließlich für individuelle Produkte nachgewiesen werden.

Die Desinfektionswirkung hängt im vorliegenden Fall neben der Effizienz der UVC LED Lampe entscheidend von der Effizienz des Systems und dessen Gestaltung ab (vgl. Yole 2016, 4). Die UVC LEDs sind technisch dazu in der Lage die benötigten vier log Stufen zu erreichen (vgl. EPA 2012, 240-241).¹ Bei den bereits existierenden Point-Of-Use Anwendungen zur Wasseraufbereitung garantiert AquiSense Technologies vier log Stufen und A-cuva Technologies drei log Stufen (vgl. Appendix, Abbildung 27 und Abbildung 28). Dies

¹ Verschiedene Hersteller, wie RayVio geben zudem an mit ihren UVC LED Lampen/Modulen bis zu sechs log Stufen erreichen zu können (vgl. LEDinside 2017, 186).

kann bisher jedoch nicht zertifiziert werden, da alle bestehenden Prüf- und Überwachungskonzepte auf etablierten UV Strahlungsquellen basieren und keine UVC LED spezifische Eigenschaften berücksichtigen (vgl. Eggers 2018, 26).

Tabelle 4: Institutionen zur Gewährleistung einer ausreichenden Wasserqualität

Institution	Typ	Land
Safe Drinking Water Act (SDWA)	Gesetz	USA
Canadian Drinking Water Guidelines	Gesetz	Kanada
Circular Economy Promotion Law	Gesetz	China
Agreed Method of Water Examination	Gesetz	Japan
Management of Drinking Water Act	Gesetz	Südkorea
Drinking Water Quality Standards	Gesetz	Taiwan
Richtlinie über die Qualität von Wasser	EU-Richtlinie	Europa
Trinkwasserverordnung - TrinkwV	Gesetz	Deutschland

Quelle: eigene Erstellung

Institutionen mit Bezug zur Sicherheit

Zuletzt werden Vorgaben betrachtet, die die Sicherheit bei der Entwicklung und die Verwendung der Technologie betreffen und somit das TIS ebenfalls direkt beeinflussen.

LEDs und folglich auch UV LEDs gelten als Beleuchtungseinrichtung. Daher ist die CE-Kennzeichnung für Anwendungen die innerhalb der Europäischen Union verkauft werden erforderlich (vgl. Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie 2014, 5-6)². Mit der FCC Kennzeichnung in den USA, CSA in Kanada, CCC in China, NCC in Taiwan und dem KC in Südkorea bestehen ähnliche Siegel, die auf den entsprechenden nationalen Gesetzen beruhen. Die Höhe des jeweiligen Standards kann dabei im internationalen Vergleich deutlich abweichen. In Japan existiert zudem nur eine freiwillige Zertifizierung. Nichtsdestotrotz muss der jeweils höchste Standard eingehalten werden, sofern die Produkte in den betreffenden internationalen Märkten gehandelt werden. Zusätzlich gelten in den meisten Ländern Richtlinien, die bei der Arbeitssicherheit eingehalten werden müssen. In der EU betrifft dies etwa die EU-Richtlinie über „Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen

² Dies betrifft die Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit (2014/30/EU) und die Niederspannungsrichtlinie (2014/35/EU).

(künstliche optische Strahlung)“ (vgl. Europäisches Parlament und Rat 2006, o.S.). Die genannten Gesetze und Zertifizierungen werden mit der Hilfe von Normen überprüft und vergeben.³ Diese sind erneut weder national noch international auf UV-LEDs ausgelegt. Die angewandten Normen stammen hier vor allem aus dem Bereich sichtbarer LED Strahlung (vgl. Jacobs 2016, 5).

Aufgrund der kurzwelligen UVC LEDs und der geringen Eindringtiefe in die Haut ist die Einhaltung bestehender Vorschriften bezüglich Arbeitssicherheit und Nutzung wahrscheinlich (vgl. Udovičić 2013, 23-26). Problematisch scheint hier vielmehr, dass aufgrund der fehlenden spezifischen Normen, die relevanten Institutionen zur Herstellung und Nutzung der UVC LED Lampen und Systeme, unübersichtlich und unklar sind (vgl. Jacobs 2016, 5).

4.2.3 Netzwerke

Unter Netzwerken wird 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 das Wissen zwischen den Akteuren des TIS verbreitet werden kann.

Die Akteure können dabei sowohl aus der Forschung, als auch der Entwicklung stammen. Zudem sind staatliche Einrichtungen oftmals bei der finanziellen Unterstützung der Netzwerke beteiligt. Ein Beispiel aus der qualitativen Recherche sind die bereits genannten Programme „Eco-UV“ und „Waterspoutt“ im Rahmen von Horizon2020, in dem sowohl europäische Unternehmen wie auch Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten (vgl. Cordis 2017a, o.S. und Cordis 2017b, o.S.). Im Netzwerk „Advanced UV for Life“ aus dem Jahr 2012 haben sich im Arbeitsfeld Wasser vier Unternehmen und drei Forschungseinrichtungen unter anderem das Ziel gesetzt, die Desinfektionswirkung der UVC LED basierter Anwendungen messbar zu machen (vgl. Appendix, Abbildung 29). Im Rahmen des Projektes „Unique“, das von OSRAM koordiniert wird und von 2016 bis 2019 läuft, sollen massentaugliche High-Power UVC LEDs für die Desinfektion entwickelt werden (vgl. Appendix, Abbildung 30). Eine strategische Allianz mit Lieferabkommen und der gegenseitigen Lizenzierung von geistigem Eigentum besteht zwischen OSRAM und HexaTech

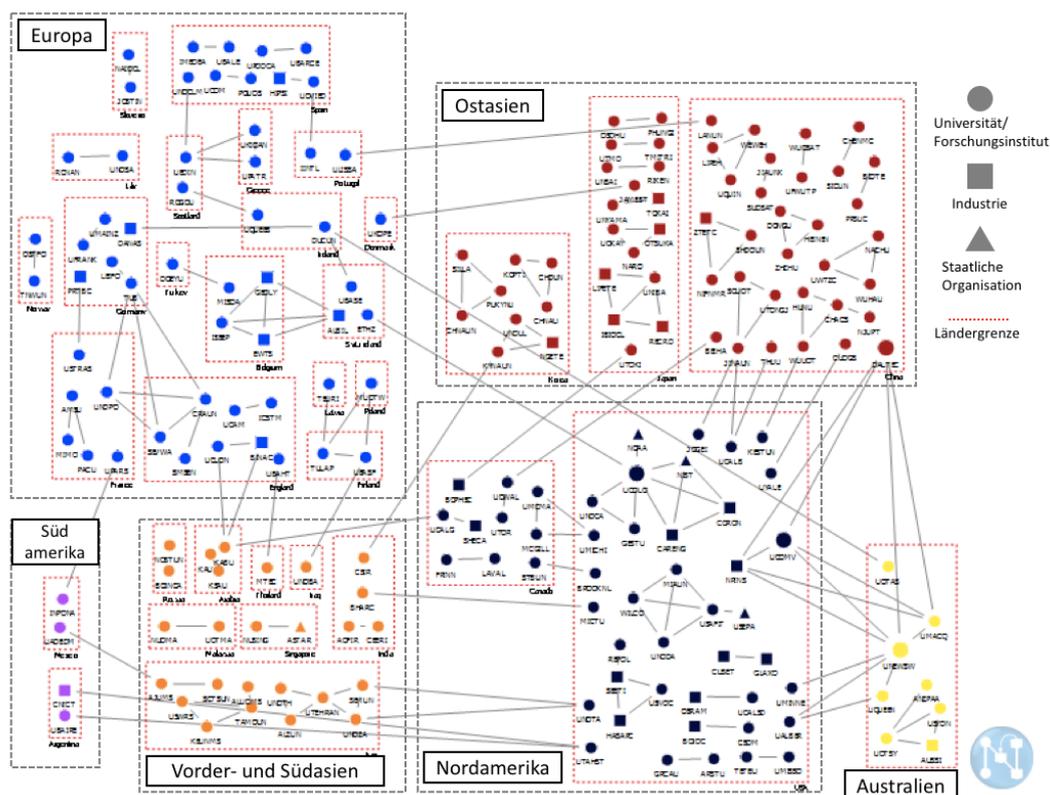
³ In Europa sind dies DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009-02, DIN EN 60335-2-27, DIN EN 12198-1:2000-10 und DIN EN 12198-1:2000-10.

(vgl. Appendix, Abbildung 31). Konsortien, die ausschließlich aus industriellen Akteuren bestehen, scheinen bisher jedoch weniger verbreitet.

Um Aussagen über die Häufigkeit und Muster der Netzwerke treffen zu können, werden im Folgenden quantitative Daten untersucht. Die Analyse unterscheidet dabei Knotenpunkte und Verbindungen. Die Knotenpunkte stellen dabei jeweils individuelle Akteure da, welche über die Verbindungen miteinander in Beziehung stehen (vgl. Hekkert et al. 2011, 8).

In der angewandten Forschung konnten 203 solcher Knotenpunkte gefunden werden, woraus geschlossen werden kann, dass der Großteil der insgesamt 249 Akteure in Netzwerken organisiert ist (vgl. Appendix, Tabelle 19 und Tabelle 10). In Anlehnung an Binz und Tuffer wurden die Knotenpunkte und Verbindungen mit Hilfe einer Netzwerkanalyse untersucht (2011, 258). Abbildung zwölf 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.

Abbildung 12: Netzwerke der angewandten Forschung

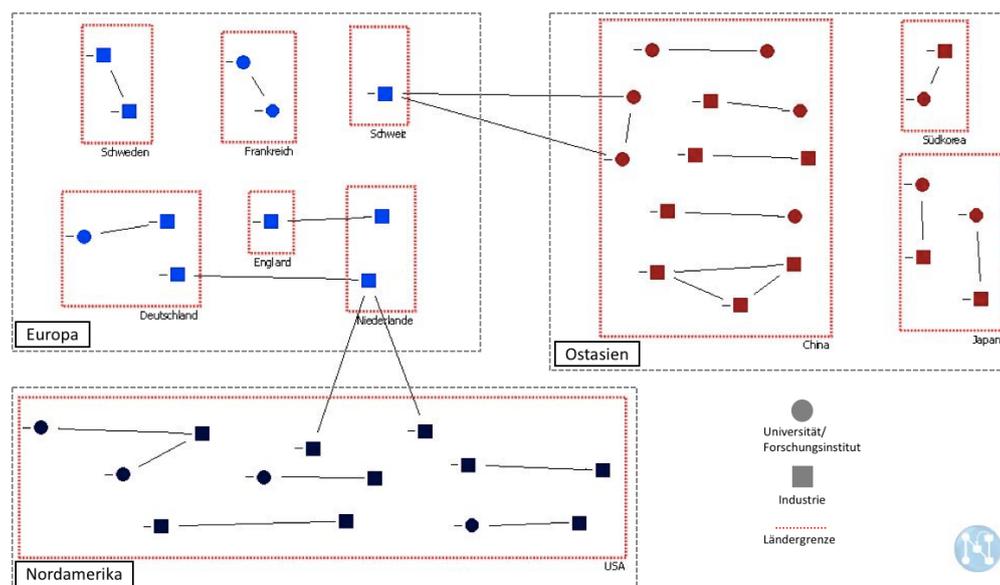


Insgesamt sind hier 29 Unternehmen vernetzt, sodass nahezu alle industriellen Akteure der angewandten Forschung in Netzwerken organisiert sind (vgl. dazu Appendix, Tabelle 10). Die Akteure aus Südamerika, Vorderasien, Südasiens und Australien haben im Gegensatz zu

den anderen Regionen einen positiven „External-Internal-Index“.⁴ Dies scheint insofern plausibel, da die Mehrzahl der Akteure aus Ostasien, Nordamerika und Europa stammt (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 9). Entsprechend bedarf es zur erfolgreichen Generierung von Wissen, Beziehungen in diese Regionen.

Mit Hilfe der untersuchten Patentdaten aus der experimentellen Entwicklung, konnten zudem 43 Organisationen identifiziert werden, die in 19 Netzwerken aktiv sind. Im Vergleich zu den insgesamt 204 Akteuren die bisher Patente angemeldet haben und den Netzwerken in der angewandten Forschung, ist die Zusammenarbeit hier bisher gering. Abbildung dreizehn zeigt, dass sich diese Netzwerke ausschließlich innerhalb von Ostasien, Nordamerika und Europa befinden und global weniger stark vernetzt sind. Dies stimmt mit den bisherigen Beobachtungen überein, wonach Akteure aus der Entwicklung und Herstellung geografisch stärker fokussiert sind, als Akteure aus der Forschung.

Abbildung 13: Netzwerke der experimentellen Entwicklung



Quelle: eigene Erstellung mit NetMiner, nach Daten von PatentInspiration

4.3 Zwischenfazit

UVC LED basierte Anwendungen zur Wasseraufbereitung gehen im Vergleich zu etablierten Anwendungen mit einer veränderten Wertschöpfungskette einher. Dies hat die Branche im Hinblick auf relevante Akteure in der Produktion verändert. Geografisch ist eine Verschiebung von Herstellern aus Nordamerika und Europa, in Richtung Ostasien zu erkennen.

⁴ Der External-Internal Index geht auf Krackhardt and Stern zurück und liegt zwischen -1 und 1 (1988). Je niedriger der Index ist, desto mehr Verbindungen liegen innerhalb einer Gruppe.

Zudem findet bisher eine klare Trennung bei der Herstellung von UVC LED Lampen zu der Herstellung entsprechender Systeme statt.

In ersteren Teil der Wertschöpfungskette sind Anbieter klassischer LED Produkte eingestiegen. Diese produzieren bereits marktreife UVC Lampen und Module im Low- und medium-power Bereich. Marktreife Systeme zur Wasseraufbereitung werden hingegen bisher nur im geringen Maße von Unternehmensneugründungen angeboten.

Bei den Akteuren aus der angewandten Forschung und der Grundlagenforschung handelt es sich zum Großteil um Universitäten und Forschungseinrichtungen, die geografisch weniger fokussiert sind als die Akteure der experimentellen Entwicklung. Letztere stammen überwiegend aus der Industrie und sind in einer Vielzahl von Branchen tätig.

Finanziell wird die Forschung vor allem von staatlichen Organisationen unterstützt. Daneben investieren Kommunen und einige Unternehmen in die angewandte Forschung der UV LED basierten Wasseraufbereitung. Wagniskapital für Unternehmensneugründungen wird von einzelnen Privatinvestoren und erneut von Organisationen in öffentlicher Trägerschaft vergeben.

Institutionen wie das Minamata Übereinkommen haben auf nationaler Ebene zu Gesetzesinitiativen geführt, die die Verwendung von Quecksilber einschränken oder verbieten und somit indirekt die UV LED Technologie fördern. Vorschriften zur Wasserqualität und des Verbraucherschutzes sowie der Arbeitssicherheit werden auf nationaler Ebene mit der Einhaltung von Normen durchgesetzt. Bisher existieren jedoch keine spezifischen Zertifizierungen die Aufschlüsse über die Qualität und die Sicherheit UV LED basierter Systeme zur Wasseraufbereitung geben.

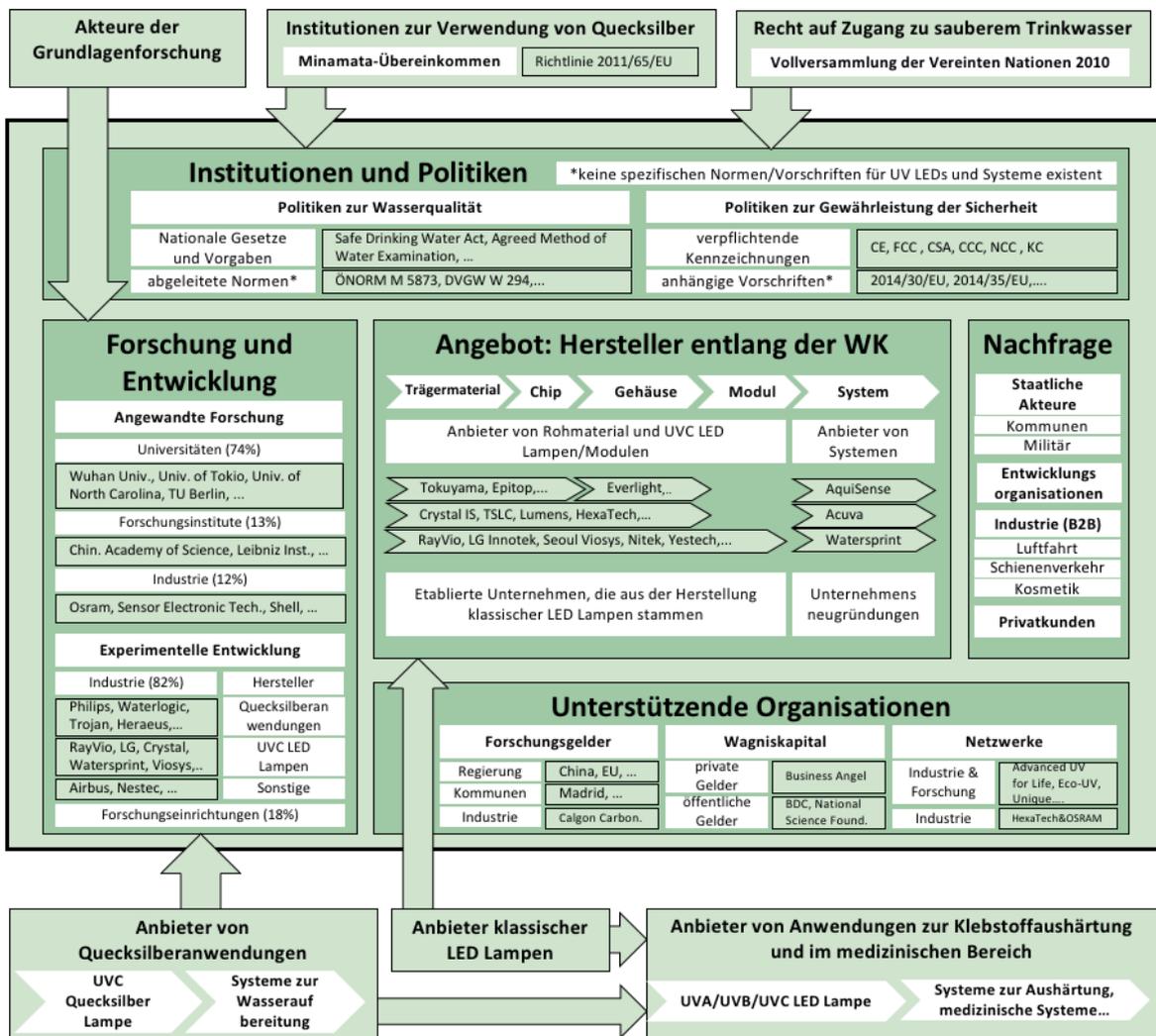
Netzwerke haben sich bisher insbesondere in der angewandten Forschung gebildet. Dort findet unter anderem der Austausch von Wissen mit dem Ziel statt, High-Power UVC LEDs zu entwickeln und die Desinfektionswirkung einheitlich messbar zu machen. Kooperationen zwischen industriellen Akteuren, beispielsweise zur Entwicklung gemeinsamer Patente, konnten hingegen seltener identifiziert werden.

Aufgrund der geringen Verkaufszahlen von UV LED basierten Anwendungen zur Aufbereitung von Wasser, können Nachfrager innerhalb des TIS empirisch nicht erfasst werden. Aufgrund der identifizierten Akteure in der Produktion, Forschung und Unterstützung können jedoch Rückschlüsse gezogen werden. Neben Privatkunden zeigen europäische Kommunen

und Provinzen sowie das US Militär Interesse an der Technologie. In der Industrie sind Unternehmen aus dem Transportwesen, der Kosmetik und Nahrungsmittelindustrie an der Entwicklung UV LED basierter Systeme zur Wasseraufbereitung interessiert.

Die nachfolgende Abbildung fasst die identifizierten Elemente aus der strukturellen Analyse grafisch zusammen. Dabei werden die einzelnen Akteure, Institutionen und Netzwerke nicht vollständig genannt. Vielmehr soll ein schematischer Überblick über das gegenwärtige TIS geschaffen werden.

Abbildung 14: Schematische Darstellung der Struktur des Innovationssystems



Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an Hekkert et al. 2011, 5

5 Ergebnisse der funktionalen Analyse

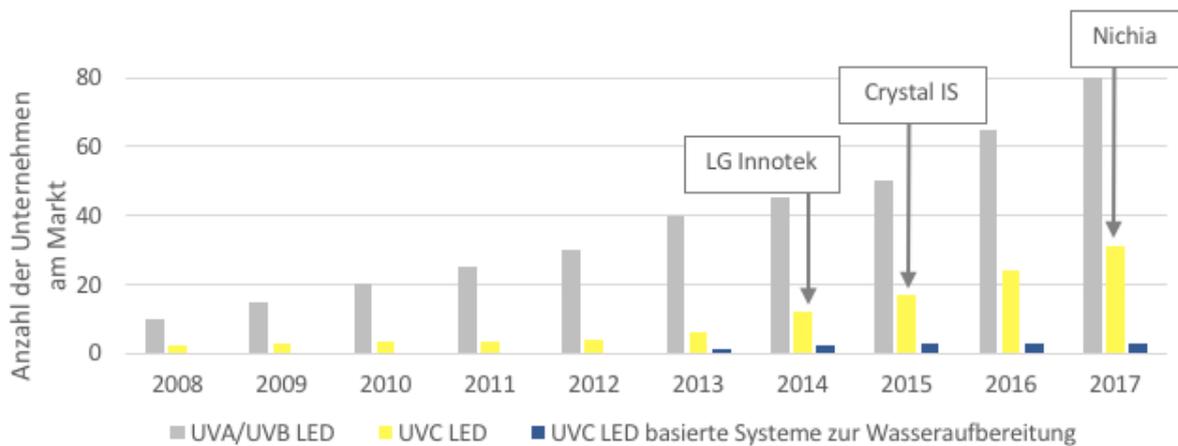
Ziel dieses Kapitels wird es sein, die Ergebnisse aus der strukturellen Analyse im zeitlichen Kontext zu betrachten. Dabei sollen Trends deutlich werden, die entscheidende Einblicke in die Prozesse und Dynamiken des fokussierten TIS liefern sodass schließlich mögliche Barrieren identifizieren können.

5.1 Unternehmerische Aktivitäten

Die Anzahl der Hersteller dient als Indikator für die unternehmerische Aktivität innerhalb des TIS. In der strukturellen Analyse wurden zwei relevante Gruppen von Herstellern entlang der Wertschöpfungskette unterscheiden.

Zunächst konnten 31 Unternehmen identifiziert werden, die aktuell marktreife UVC Lampen entwickeln. Die Produktion von UVC Lampen ist ein vorgelagerter Prozess in der Wertschöpfungskette der Erstellung von LED basierten Anwendungen der Wasseraufbereitung. Entsprechend ist hier eine ausreichende unternehmerische Aktivität die notwendige Voraussetzung für die Fertigung LED basierter Innovationen zur Aufbereitung von Wasser. Bei den identifizierten Unternehmen handelt es sich meist um Firmen, die bereits länger am Markt sind und aus der klassischen LED Herstellung stammen (vgl. Appendix, Tabelle 7). Die erste UV LED wurde 1998 entwickelt, gefolgt von der ersten UVC LED im Jahr 2002 (vgl. Mu et al. 2011, 1687). Abbildung fünfzehn zeigt die Anzahl der Hersteller von kommerziellen UV und UVC Lampen. Mit LG Innotek in 2014, Crystal IS in 2015 und Nichia in 2017 sind bereits Großunternehmen in die Fertigung der UVC Lampen eingestiegen (vgl. Yole 2016, 39). Zudem wird deutlich, dass die Anzahl der Unternehmen am Markt, welche in der Lage sind UVA und UVB LEDs zu produzieren, stets größer als die Zahl der UVC LED Hersteller ist (vgl. Yole 2016, 38). Dies ist auf höhere technische Hürden bei der Produktion der kurzwelligen LEDs zurückzuführen. Dennoch ist die Aktivität bei den Unternehmen gestiegen, sodass Low-power UVC LEDs marktreif sind und die Fertigung von Systemen zur Wasseraufbereitung technisch möglich ist.

Abbildung 15: Anzahl aktiver Hersteller von UV LEDs und Systemen zur Wasseraufbereitung



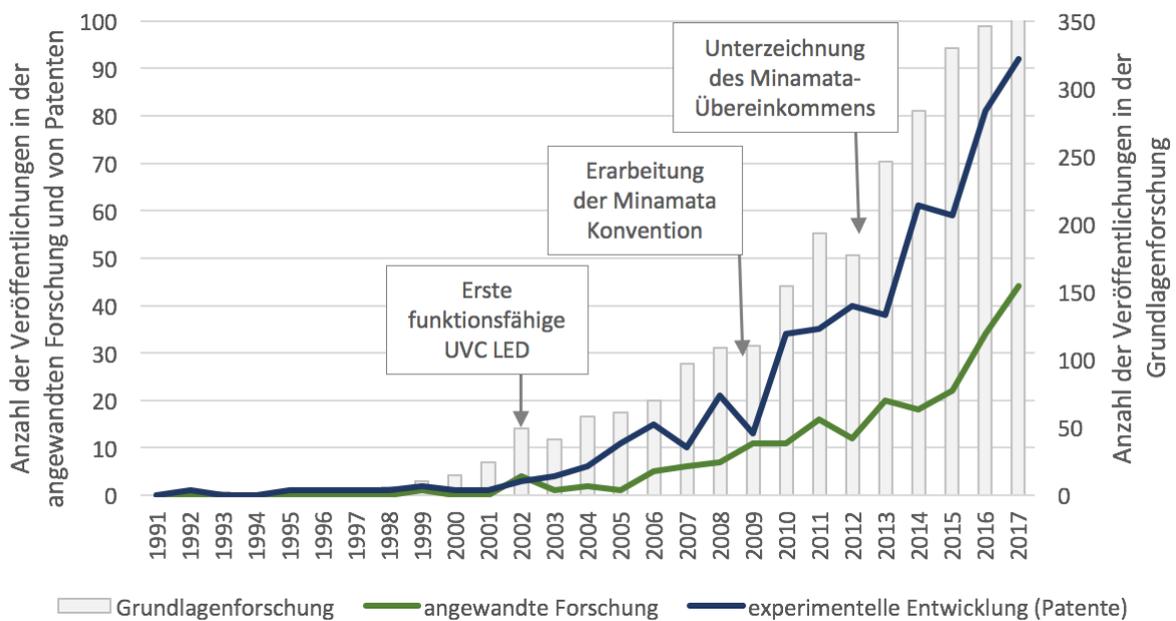
Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von Yole 2016, LEDinside 2017, The Insight Partners 2017, Bloomberg

Die zweite entscheidende Gruppe mit Relevanz für das fokussierte TIS sind Hersteller von Systemen zur Wasseraufbereitung. Gegenwärtig konnten weltweit lediglich drei Hersteller identifiziert werden. Dabei handelt es sich um Unternehmensneugründungen aus den Jahren 2013, 2014 und 2015 (vgl. Appendix, Tabelle 6), die Point-Of-Use Anwendungen produzieren. Die unternehmerische Aktivität dieser Akteure stellt eine Voraussetzung dar, damit ein ausreichendes Marktwachstum stattfinden kann und sich das TIS weiterentwickelt. Gegenwärtig ist die unternehmerische Aktivität bei der Produktion LED basierter Systeme zur Wasseraufbereitung, gemessen an der Anzahl der Hersteller, gering.

5.2 Generierung von Wissen

Im Folgenden werden Ertragsindikatoren genutzt, die es erlauben, Ergebnisse aus F&E zu messen. Erträge die aus F&E entstehen, werden als Resultat der Generierung von Wissen betrachtet. Empirisch gemessen wird dies in Anlehnung an Bergek et al. anhand der Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen und der Anzahl der veröffentlichten Patente (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.

Abbildung 16: Anzahl der Veröffentlichung wissenschaftlicher Arbeiten und Patente pro Jahr



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von web of science und PatentInspiration

Abbildung 16 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 (vgl. Appendix, Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 11). Dabei ist die Anzahl der Veröffentlichungen in der Grundlagenforschung stets am höchsten. Da es sich hier um eine wissensbasierte Technologie handelt, ist dies plausibel, da insbesondere in den anfänglichen Entwicklungsphasen des TIS, grundlegende Forschung von Nöten ist. 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. Auch nach der erstmaligen Erarbeitung der Minamata Konvention im Jahr 2009 sowie deren Unterzeichnung 2012, ist die Zahl der Veröffentlichungen wissenschaftlicher Arbeiten und Patente erkennbar gestiegen (vgl. UNEP 2017, 54-55). Insgesamt ist die Generierung von relevantem Wissen mit Einfluss auf das fokussierten TIS seit 2012 deutlich vorangeschritten. Dies betrifft sowohl die Wissensgenerierung mit Bezug zu UV und UVC

LEDs in der Grundlagenforschung, als auch bei der Schaffung von technischen und angewandten Wissen mit Bezug zu entsprechenden Systemen. Damit dies ausreichend geschieht, scheinen jedoch externe Anreize nötig zu sein.

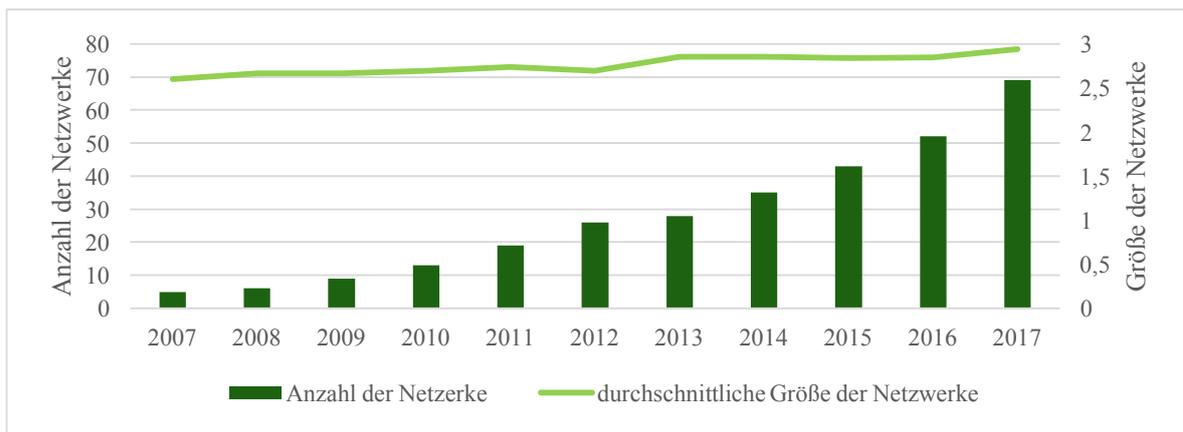
5.3 Wissensverbreitung

Die Verbreitung von Wissen aus der F&E, kann anhand der Größe und der Anzahl bestehender Netzwerke gemessen werden. Eine allumfassende Auswertung ist hier 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.

Im Rahmen des Projektes „Aqua-Pulse“ wurde 2011 erstmals ein Netzwerk von der Europäische Kommission gefördert, dessen Ziel die Entwicklung von UVC LED basierten Low-Power Anwendungen zur Wasseraufbereitung waren. Das Projekt lief bis zum Jahr 2013 unter der Beteiligung von drei europäischen Unternehmen und drei Forschungseinrichtungen (vgl. Cordis 2015, o.S.). Zwei ähnliche Kooperationen aus Wissenschaft und Wirtschaft werden gegenwärtig im Rahmen des Förderprogramms Horizon2020 über die Projekte „Eco-UV“ seit 2015 und „Waterspoutt“ seit 2016 unterstützt (vgl. Cordis 2017a, o.S. und Cordis 2017b, o.S.). Mit den Projekten „Advanced UV for Life“ aus dem Jahr 2012 und UNIQUE aus dem Jahr 2016 haben sich zwei weitere Netzwerke geformt, die unter anderem die Desinfektionswirkung und die Leistung der UVC LEDs untersuchen und verbessern wollen (vgl. OSRAM GmbH 2017, o.S und Advanced-UV 2018, o.S.)

Mit Hilfe der Daten aus dem „Science Citation Index Expanded“ kann die Anzahl von Netzwerken in der angewandten Forschung untersucht werden. Abbildung siebzehn verdeutlicht, dass hierbei die Zahl das Zusammenarbeiten 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 weniger als drei Akteuren, eher gering (vgl. Appendix, Tabelle 19).

Abbildung 17: Anzahl und Größe der Netzwerke in der angewandten Forschung



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von web of science, analysiert mit NetMiner

Zusammenarbeiten zwischen industriellen Akteuren, etwa in Form von strategischen Allianzen, konnten bisher seltener identifiziert werden. Zur gemeinschaftlichen Entwicklung von Patenten ließen sich bisher 19 Netzwerke finden, wobei sieben Netzwerke ausschließlich aus industriellen Akteuren bestehen (vgl. Abbildung 13).

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Anzahl der wissensbasierten Netzwerke seit 2007 deutlich zugenommen hat, wobei die Netzwerke eher klein sind. Dabei wird Wissen verbreitet, das zur Förderung höherer Standards und einer höheren Leistung der Anwendungen beiträgt. In der experimentellen Entwicklung und bei der Zusammenarbeit zwischen industriellen Akteuren findet eine Vernetzung statt, die bisher jedoch deutlich geringer ist.

5.4 Steuerung der Forschung

Die Funktion der Steuerung der Forschung beinhaltet, dass eine vereinende Zielsetzung vorhanden ist, sodass verfügbare Ressourcen effizient genutzt werden. Im vorliegenden Fall ist der Wandel zu einer höheren Nachhaltigkeit durch die Verbreitung ökologisch und sozial nachhaltiger Technologien das übergreifende Leitbild. Manifestiert wurde dieses Ziel erstmals 1987 in dem Brundtland-Bericht „Our Common Future“ der Vereinten Nationen und auf der Rio-Konferenz 1992 präzisiert (vgl. WCED 1987 und UNCED 1992). Dies setzte Anreize für internationale Übereinkünfte wie die Minamata-Konvention oder das Recht auf Zugang zu sauberem Wasser durch die Vollversammlung der Vereinten Nationen 2010 (vgl. United Nations 2010, 1-3). Daraus können schließlich nationale Gesetze sowie Regulierungen abgeleitet werden, die das fokussierte TIS direkt oder indirekt beeinflussen.

Bei der Funktion der Wissensgenerierung (F2) wurde deutlich, 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 (vgl. Abbildung 16). Dies und die daraus resultierten nationalen Gesetze zum Verbot von Quecksilber, können als Steuerung der F&E im fokussierten TIS betrachtet werden.

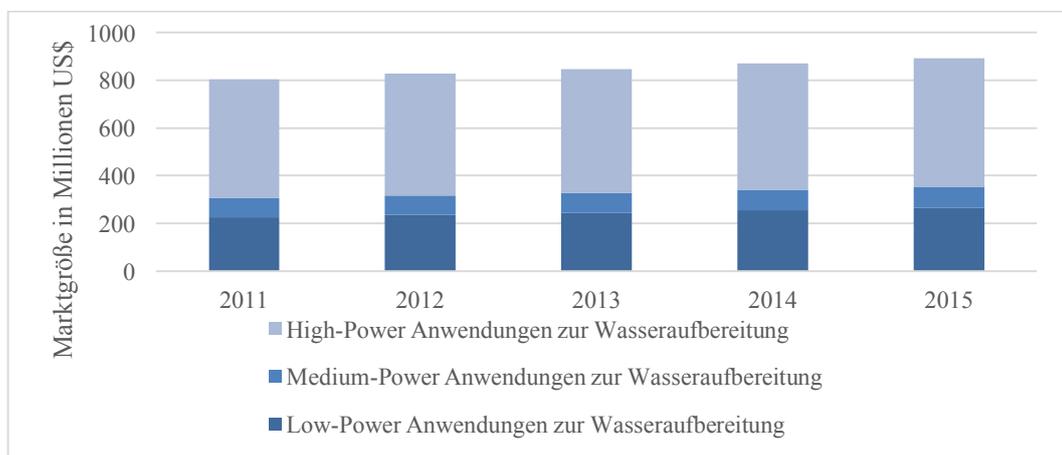
Die veröffentlichten Arbeiten zur LED basierten Wasseraufbereitung bescheinigen der Technologie zudem grundsätzlich ein hohes Potential und forschen nach Möglichkeiten der weiteren Effizienzsteigerung.

5.5 Marktformation

Die Möglichkeit zur Aufbereitung von Wasser mittels UV-Strahlung ist nicht neu. Aufgrund der Verwendung von Quecksilberlampen ist hier bereits ein Markt vorhanden. Die Verwendung von UVC LEDs als Strahlungsquelle unterscheidet sich jedoch technisch, in der Herstellung, in den Anwendungsmöglichkeiten und in den Umweltwirkungen entscheidend von der etablierten Verfahrensweise.

Dennoch wird im Folgenden zur ersten Einschätzung des Marktpotentials zunächst die Marktgröße quecksilberbasierter Anwendungen zur Wasseraufbereitung betrachtet.

Abbildung 18: Marktgröße bestehender UVC Anwendungen zur Wasseraufbereitung



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von Yole 2016, 192

Aufgrund der Unterschiede zwischen den beiden Technologien, entspricht die Größe des bestehenden Marktes nicht unmittelbar dem Marktpotential der UVC LED basierten Wasseraufbereitung. Dennoch können zwei Erkenntnisse aus Abbildung 18 für die Funktion der Marktformation der fokussierten Technologie gewonnen werden. Trotz des künftig absehbaren Verbotes von Quecksilber, ist die Marktgröße im betrachteten Zeitraum kontinuierlich gestiegen. Dies spricht dafür, dass die Nachfrage nach UVC basierter Wasseraufbereitung

grundsätzlich vorhanden ist. Die zweite Erkenntnis liegt darin, dass High-Power Anwendungen mit etwa 60% den größten Anteil stellen. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass auch bei der UVC LED Technologie ein Großteil des Marktpotentials in den High-Power Anwendungen liegt. Die Leistung der gegenwärtig marktreifen UVC LEDs ist zu gering für die Realisierung solcher High-Power Anwendungen und die Aufbereitung großer Wassermengen (vgl. Yole 2016, 193). Nach Schätzungen von Yole wird die Fertigung entsprechender Lampen und Anwendungen nicht vor 2021 hinreichend möglich sein (2016, 195).

Demgegenüber hat die strukturelle Analyse gezeigt, dass Low-Power Systeme bereits produziert werden. Dies ist für die Marktformation entscheidend, da so Nischenmärkte entstehen können. Dadurch kann sich die Technologie etablieren und es entstehen geschützte Räume für die Entwicklung von effizienteren Anwendungen mit einer höheren Leistung (vgl. Kemp 2000, 49). Aufgrund zunehmender Skalenerträge könnte zudem die Preise der Anwendungen sinken. Gegenwärtig liegt der durchschnittliche Verkaufspreis von Low-Power Anwendungen laut Yole zwischen 50 und 500 US\$ (2016, 36). Entsprechende Quecksilberanwendungen kosten hingegen durchschnittlich zwischen 1 und 20 US\$ und sind damit noch deutlich billiger (vgl. Yole 2016, 15).

Eine quantitative Messung der bestehenden Marktgröße ist aufgrund der geringen Anzahl der Hersteller schwierig. In der Studie von Yole wurden die Markterlöse für UVC Lampen, die ausschließlich in Systemen zur Wasseraufbereitung angewandt werden, geschätzt (2016, 23). Abbildung 19 zeigt hier einen deutlichen Anstieg im weltweiten Umsatz der UVC LED Lampen im Jahr 2016. 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 (2017, 52). Im Vergleich zu den vorher betrachteten quecksilberbasierten Anwendungen ist der Markt bisher sehr klein.

Abbildung 19: Marktumsatz von UVC LED Lampen und Anwendungen zur Wasseraufbereitung



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten The Insight Partners 2017, 52 und Yole 2016, 23

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Marktformation bisher, im Vergleich zum bestehenden Markt für Quecksilberanwendungen, nicht weit vorangeschritten ist. Dennoch scheint Marktpotential vorhanden, dass überwiegend bei High-Power Anwendungen liegt.

5.6 Ressourcenmobilität

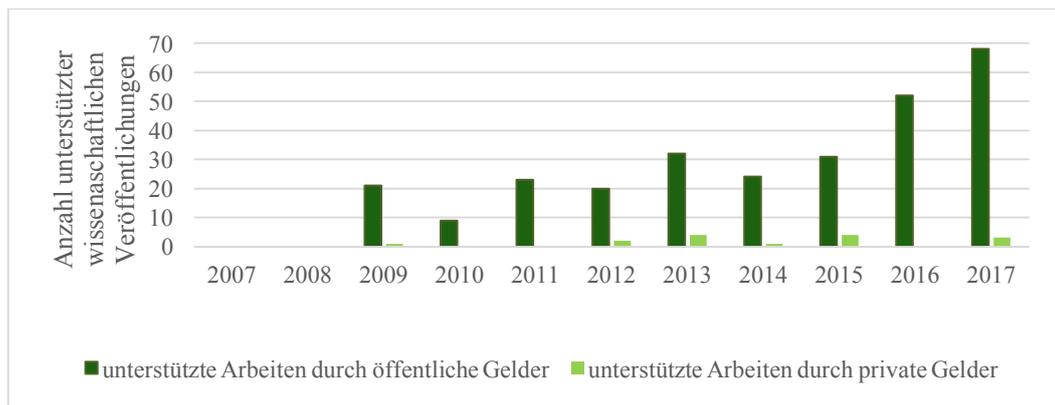
Bei der Erfüllung der Ressourcenmobilität kann nach Kapital-, Humanressourcen und physischen Ressourcen unterschieden werden (vgl. Hekkert et al. 2011, 10). Letzteres wird hier vor allem durch die ausreichende Bereitstellung notwendiger Vorerzeugnisse gewährleistet. Im betrachteten TIS sind UVC LED Lampen, als vorgelagerter Wertschöpfungsprozess, notwendig für die Fertigung entsprechender Anwendungen. Bei der Marktformation (F5) wurde erwähnt, dass bisher keine funktionsfähigen High-Power-Lampen gefertigt werden können. Von Low- und Medium-Power UVC LED Lampen wurden 2015 insgesamt hingegen 11,1 Millionen Stück hergestellt (vgl. Yole 2016, 15).⁵ Das Angebot von Low-Power Anwendungen wird somit in der Lage sein, die bisher geringe Nachfrage der Hersteller finaler Anwendungen bedienen zu können. Die Mobilität von Vorerzeugnissen für Anwendungen mit einer höheren Leistung ist nicht ausreichend, da entsprechende UVC LEDs noch nicht marktreif sind.

Ausreichend Finanzkapital wird sowohl in der Forschung als auch in der Fertigung benötigt. In der strukturellen Analyse wurden Organisationen betrachtet, welche die angewandte Forschung finanziell unterstützen. Abbildung 20 zeigt die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen pro Jahr, die durch diese Organisationen mit öffentlichen und privaten

⁵ Die Lampen sind dabei nicht zwangsläufig in Anwendungen zur Wasseraufbereitung zum Einsatz gekommen.

Geldern unterstützt wurden. Dies soll als Indikator für die Bereitstellung finanzieller Ressourcen in der Forschung dienen. Die ersten identifizierten Arbeiten in der angewandten Forschung, 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.

Abbildung 20: Anzahl der geförderten wissenschaftlichen Veröffentlichungen

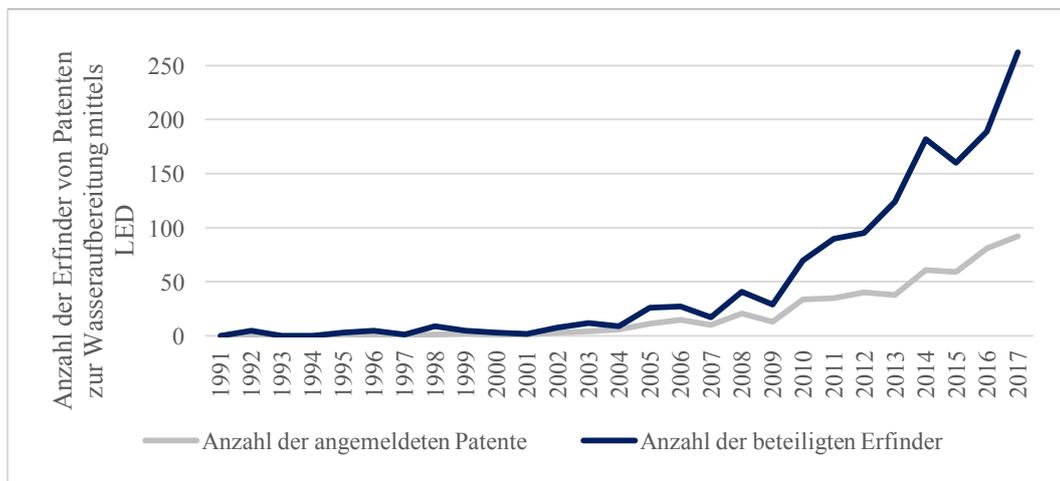


Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von web of science

Die Betrachtung der Mobilität von Kapital- und Humankapitalressourcen in der Herstellung, bedarf erneut einer Unterscheidung entlang der Wertschöpfungskette. Bei der Herstellung von UVC Lampen wurden überwiegend etablierte Unternehmen aus der LED Branche identifiziert. Folglich kann davon ausgegangen werden, dass hier ausreichend Eigenkapital und Humankapital zur Entwicklung und Produktion der UVC LEDs bereitsteht. Die Hersteller der Systeme zur Wasseraufbereitung sind hingegen Unternehmensneugründungen und auf Wagniskapital und qualifizierte Fachkräfte angewiesen. Insgesamt konnten etwa 3,6 Millionen US\$ Wagniskapital für zwei Unternehmen ab dem Jahr 2014 gefunden werden. Das Kapital wurde überwiegend von Organisationen in öffentlicher Trägerschaft vergeben (vgl. Appendix, Tabelle 17).

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. Für die 532 analysierten Patente konnten insgesamt 1.374 Erfinder identifiziert werden (vgl. Appendix, Tabelle 18). Abbildung 21 zeigt einen deutlichen Anstieg der Erfinder ab 2009, sodass auch von einem Anstieg des Potentials an Humankapital ausgegangen werden kann.

Abbildung 21: Anzahl der Erfinder von Patenten zur LED basierten Wasseraufbereitung



Quelle: eigene Erstellung, nach Daten von PatentInspiration

Zusammenfassend zeigt sich, dass physisches Kapital in Form von UVC Lampen bei Low und Medium Power Anwendungen ausreichend vorhanden ist. High Power Anwendungen sind hingegen nicht realisierbar. Die finanzielle Förderung von angewandter Forschung sowie von Unternehmensneugründungen findet vor allem durch öffentliche Geldgeber statt. Seit 2009 lässt sich zudem ein deutlicher Anstieg des Potentials an Humankapital erkennen.

5.7 Legitimation

Die Legitimation betrifft die gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber der Technologie und der damit einhergehenden Institutionen. Im vorliegenden Fall betrifft dies die Bereitstellung von nachhaltig aufbereitetem Trinkwasser und die Akzeptanz gegenüber der verwendeten Aufbereitungsmethode mittels UV LEDs.

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.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Legitimation für sauberes Trinkwasser sowie das Bewusstsein für nachhaltige Technologien in der Bevölkerung vorhanden ist. Die Akzeptanz gegenüber der betrachteten Technologie, kann aufgrund des geringen Angebotes nicht abschließend bewertet werden. Fehlende Standards machen gegenwärtig eine Beeinträchtigung in der Legitimation der Technologie wahrscheinlich.

5.8 Zwischenfazit

Mit der Hilfe der Systemfunktionen wurden Prozesse, die innerhalb des Innovationssystems stattfinden, bewertet. Daraus kann schließlich mögliche Barrieren innerhalb des fokussierten TIS und somit die Möglichkeit auf ökonomische Nachhaltigkeit der Technologie untersucht werden. In Tabelle fünf sind die identifizierten Chancen und Risiken, die mit der jeweiligen Funktion einhergehen, abgebildet. Unter Chancen wird dabei verstanden, dass die entsprechende Funktion aufgrund von Wechselwirkungen dazu in der Lage sein kann, die ökonomische Nachhaltigkeit des untersuchten TIS zu fördern. Die Risiken können im Gegensatz dazu Barrieren formen, welche die Entwicklung des TIS hemmen. In Abhängigkeit der Entwicklungsphase und der damit einhergehenden kritischen Funktionen und funktionalen Muster wird im folgenden Kapitel diskutiert, wie sich die Chancen und Risiken auf das untersuchte TIS auswirken.

Die identifizierten Chancen und Risiken sind in der nachstehenden Tabelle jeweils mit römischen Zahlen nummeriert, um in der weiterführenden Diskussion der Ergebnisse eine bessere Übersicht zu ermöglichen.

Tabelle 5: Chancen und Risiken in den Systemfunktionen

	Chance	Risiko
F1	Hohe unternehmerische Aktivität bei der Herstellung der UVC LED Lampen (i)	Geringe unternehmerische Aktivität bei der Herstellung der Systeme (I)
F2	Wissensgenerierung in der F&E seit 2009 deutlich gestiegen (ii)	
F3	Die Verbreitung von Wissen in der angewandten Forschung hat seit 2007 zugenommen (iii)	In der experimentellen Entwicklung ist die Zusammenarbeit der Unternehmen bisher gering (III)
F4	Die Steuerung der Forschung ist durch politische Zielsetzungen beeinflussbar (iv)	
F5	Nachfrage nach UVC basierten Anwendungen zur Wasseraufbereitung vorhanden (v)	Marktformation bisher sehr gering (V)
F6	Humankapital und überwiegend öffentliches Finanzkapital zur Forschung und Herstellung vorhanden (vi)	Physische Ressourcen, in Form von High-Power UVC LEDs, sind bisher nicht realisierbar (VI)
F7	Legitimation für Zugang zu sauberem Trinkwasser und nachhaltige Technologien gegeben (vii)	Fehlende Standards erschweren Legitimation der Anwendungen in Bezug auf Sicherheit und Qualitätsansprüche (VII)

Quelle: eigene Erstellung

6 Diskussion der Ergebnisse

Die Chancen und Risiken die sich aus der funktionalen Analyse ergeben haben, werden in diesem Kapitel auf ihre Bedeutung für die Entwicklung des TIS und die ökonomische Nachhaltigkeit der Technologie diskutiert. Dafür wird zunächst die Entwicklungsphase untersucht, innerhalb dessen sich das TIS befindet. Im Anschluss daran kann das individuelle, funktionale Muster abgeleitet werden, das für die gegenwärtige und künftige Entwicklung des TIS entscheidend ist.

6.1 Entwicklungsphase des TIS

Um zunächst die Entwicklungsphase des TIS einschätzen zu können, werden mit Hilfe der Ergebnisse aus der strukturellen Analyse, Eigenschaften des TIS untersucht, die Aufschluss über den Stand der Entwicklung geben.

Das zentrale Merkmal, dass mit dem Fortschritt eines TIS einhergeht, ist die Höhe der Unsicherheit. Bergek et al. merken an, dass Unsicherheit in jeder Entwicklungsphase des TIS eine Rolle spielt, wobei diese zu Beginn der Entwicklung insbesondere im Zusammenhang mit den technologischen Anwendungen und dem Markt auftritt (2008, 414).

Ein Indikator für die Existenz von Unsicherheiten mit Bezug zur Rentabilität der Technologie ist das Verhalten der Investoren. Bei den Akteuren aus der Finanzierung übersteigt laut struktureller Analyse die Anzahl öffentlicher Organisationen die Zahl privater Investoren. In der Grundlagenforschung ist dies zunächst nicht erstaunlich, da hier keine unmittelbare Rendite zu erwarten ist. Die Vergabe von Wagniskapital zur Herstellung erfolgt jedoch ebenso überwiegend durch Akteure, die sich in öffentlicher Trägerschaft befinden. Zudem wurde insgesamt bisher kaum Risikokapital für die Entwicklung der Systeme vergeben. Ein weiteres Indiz für bestehende Unsicherheiten in Bezug auf die Technologie und den Markt ist die bisher geringe Zusammenarbeit der industriellen Akteure untereinander in der angewandten Forschung und der experimentellen Entwicklung. Eine Ursache dafür könnte darin liegen, dass die Geheimhaltung des innerbetrieblichen technischen Wissens, die Aussicht auf die Vorteile, die mit der Wissensverbreitung einhergehen würden, übersteigt. Dies deutet auf eine Ungewissheit der industriellen Akteure bezüglich des Verhaltens potentieller Wettbewerber und des internen technologischen Fortschritts hin.

Zur weiteren Eingrenzung wird die bisherige Entwicklung des Marktes betrachtet. Damit können die in Kapitel 2.2.3 gelisteten Fragen von Hekkert beantwortet werden, die Aufschluss über die konkrete Entwicklungsphase geben sollen. Demnach entstehen in der Aufbauphase erste Prototypen und in der Take-Off Phase erste kommerzielle Anwendungen (vgl. Hekkert et al. 2011, 9). Das heißt, es formiert sich ein Nischenmarkt, bevor in der Beschleunigungsphase das Marktwachstum zunimmt und sich die Technologie in der Stabilisierungsphase schließlich etabliert. Nischenmärkte zeichnen sich nach Bergek et al. dadurch aus, dass erste Akteure den Markt betreten, jedoch erst ein Bruchteil des geschätzten Marktpotentials abgedeckt wird und sich erste Netzwerke bilden (2008, 419). In der strukturellen Analyse wurde deutlich, dass dies im fokussierten TIS zutrifft. Unternehmensneugründungen bieten erste kommerzielle, LED basierte Anwendungen zur Wasseraufbereitung an. Darüber hinaus liegt deren Umsatz jedoch deutlich unterhalb des Marktumsatzes quecksilberbasierter Anwendungen. Zuletzt haben sich erste Netzwerke gebildet, wenngleich die Anzahl und Größe überschaubar ist.

Die Ergebnisse aus der strukturellen Analyse sprechen dafür, dass Unsicherheiten bei den Akteuren bezüglich des Marktes und der Technologie bestehen. Da der Markt bereits betreten wurde und sich erste Netzwerke gebildet haben, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich ein Nischenmarkt gebildet hat und somit die Aufbauphase des TIS bereits abgeschlossen ist. Aufgrund bestehender kommerzieller Anwendungen, hat das TIS nach den diagnostischen Fragen von Hekkert zudem die Take-Off Phase erreicht. Das Marktwachstum hat zuletzt zugenommen, ist jedoch noch sehr gering. Daher ist davon auszugehen, dass die Beschleunigungsphase noch nicht erfüllt ist. Die Entwicklungsphasen lassen sich dabei nicht klar voneinander trennen. Vielmehr kann aufgrund der Beobachtungen in der strukturellen Analyse davon ausgegangen werden, dass sich das TIS im Übergang von der Take-Off Phase zur Beschleunigungsphase befindet. Um untersuchen zu können, wo Barrieren bestehen und wie diese den Übergang zur Beschleunigungsphase beeinflussen, wird im Folgenden das relevante funktionale Muster und dessen Wirkung auf die kritischen Funktionen identifiziert.

6.2 Funktionale Muster des TIS

Übergang von der Aufbauphase zur Take-Off Phase

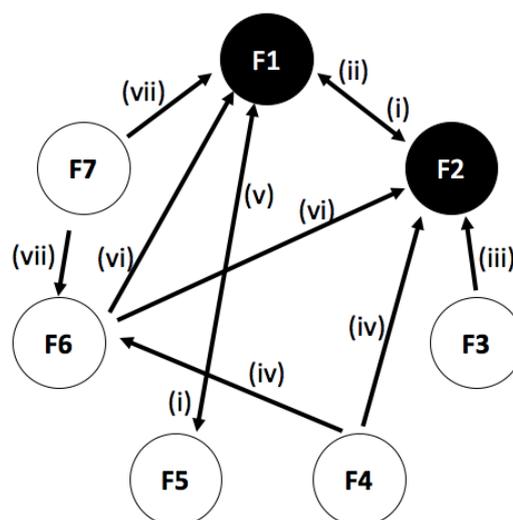
Für das bessere Verständnis wird zunächst der Übergang von der Aufbauphase in die Take-Off Phase betrachtet, der sich durch das Aufkommen erster kommerzielle Anwendungen

und der Schaffung eines Nischenmarktes kennzeichnet. Damit Nischenmärkte entstehen können, und somit der Übergang in die Take-Off Phase gelingt, ist ausreichendes Wissen über die Technologie sowie die Herstellung erster kommerzieller Anwendungen eine notwendige Voraussetzung. Die kritischen Funktionen sind daher die Generierung von Wissen (F2) und die Unternehmerischen Aktivitäten (F1) (vgl. Alkemade und Hekkert 2009, Hekkert et al. 2011 und Bergek et al. 2008).

Beide Funktionen beeinflussen sich dabei gegenseitig. Ohne ausreichendes Wissen über UVC LEDs und deren Desinfektionswirkung ist es nicht möglich, entsprechende Anwendungen zu entwickeln. Umgekehrt erhöht die experimentelle Entwicklung der Unternehmer den Wissensstand. Insbesondere die unternehmerische Aktivität bei der Herstellung der UVC LED Lampen wird dem gerecht (i). So sind die seit 1999 vorhandenen Aktivitäten in der F&E, laut funktionaler Analyse, ab 2009 erneut deutlich gestiegen (ii). Dies führte zu der Entwicklung der ersten UVC LEDs und schließlich zu den ersten kommerziellen Anwendungen im Jahr 2015 (vgl. Appendix, Tabelle 7).

Abbildung 22 zeigt das entsprechende funktionale Muster und stellt den Einfluss der weiteren Funktionen grafisch dar.

Abbildung 22: Funktionales Muster zur Erreichung der Take-Off Phase



Quelle: eigene Erstellung, in Anlehnung an Hekkert et al. 2011, 12

Die Wissensgenerierung (F2) wird neben den unternehmerischen Aktivitäten vor allem durch drei weitere Funktionen positiv beeinflusst. Die Funktionale Analyse hat gezeigt, dass seit 2007 eine zunehmende Verbreitung des Wissens (F3) in der angewandten Forschung über die Netzwerke stattfindet (iii). Die gemeinsame Forschung erhöht somit das insgesamt vorhandene Wissen innerhalb des TIS. Die Steuerung der Forschung (F4), etwa in Form der

Unterzeichnung des Minamata Abkommens, hat einen indirekten und direkten Effekt auf die Wissensgenerierung. Durch die Schaffung einer höheren Relevanz nachhaltiger Technologien in der öffentlichen Wahrnehmung, werden weitere Anreize für die Forschung und somit die Generierung von Wissen gesetzt (iv). Zusätzlich werden hierdurch Ressourcen mobilisiert (F6), die in Form von finanziellem Kapital in die Forschung fließen (vi).

Die unternehmerischen Aktivitäten (F1) zur Entwicklung erster kommerzieller Produkte werden ebenfalls durch drei Funktionen beeinflusst. Die grundsätzliche Legitimation (F7) von nachhaltigen Technologien zur Wasseraufbereitung (vii) setzt direkte Anreize für die ersten Entwicklungen entsprechender Produkte. Zudem wird die Ressourcenmobilität (F6) durch die Legitimation erneut positiv beeinflusst. Das gestiegene Humankapital und die zunehmende finanzielle Förderung experimenteller Entwicklung (vi) wirken sich ebenfalls positiv auf die unternehmerischen Aktivitäten aus. Zuletzt setzt das Marktpotential (F5) in Form vorhandener Nachfrage (v), Anreize zur Fertigung entsprechender Produkte.

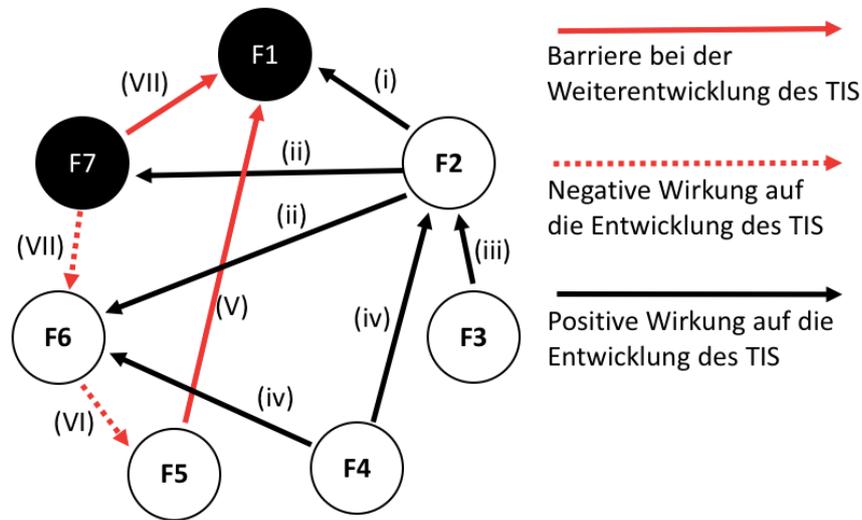
Aus den positiven Wechselwirkungen des funktionalen Musters folgt schließlich die Schaffung eines Nischenmarktes und somit gelingt der erfolgreiche Übergang des TIS in die Take-Off Phase.

Übergang von der Take-Off Phase zur Beschleunigungsphase

Der Wechsel zur Beschleunigungsphase zeichnet sich nach Hekkert et al. durch ein zunehmendes Marktwachstum aus, damit sich in der Stabilisierungsphase schließlich ein Massenmarkt formieren kann (2011, 11-12). Die Kritischen Funktionen, um von der Take-Off Phase in die Beschleunigungsphase zu gelangen, sind erneut die unternehmerischen Aktivitäten sowie die Legitimation (vgl. Alkemade & Hekkert 2009, 1-14). Damit ein deutliches Marktwachstum eintreten kann, muss bestehender Skepsis entgegengewirkt werden und das Vertrauen potentieller Kunden in die Technologie gegeben sein, weshalb die Legitimation eine notwendige Voraussetzung darstellt. Ziel der unternehmerischen Aktivitäten in der Aufbau-phase war es, erste kommerzielle Anwendungen zu entwickeln, sodass sich ein Nischenmarkt formieren kann. Damit es diesem nun möglich ist zu wachsen, muss sich das Angebot entsprechend erhöhen. In Abbildung 23 sind die dafür entscheidenden Wechselwirkungen des fokussierten TIS abgebildet. Zudem sind die Zusammenhänge aus der vorherigen Abbildung weiter existent. Aufgrund des veränderten Entwicklungsstadiums und der kritischen Funktionen, verschiebt sich jedoch die Relevanz der Funktionen und das entscheidende

funktionale Muster ändert sich. Die vorherigen Zusammenhänge wirken im Hintergrund und werden zur besseren Übersicht nicht erneut abgebildet.

Abbildung 23: Funktionales Muster zur Erreichung der Beschleunigungsphase



Quelle: eigene Erstellung, in Anlehnung an Hekkert et al. 2011, 12

Die vorangegangene Analyse hat verdeutlicht, dass die Marktgröße der UVC LED basierten Anwendungen zur Wasseraufbereitung im Vergleich zum Marktpotential, trotz der technologischen, ökologischen und sozialen Vorteile der neuen Technologie, bisher sehr gering ist. Daher werden im Folgenden die Funktion der Legitimation (F7) und der unternehmerischen Aktivitäten (F1) sowie die maßgeblichen Wechselwirkungen genauer betrachtet.

Die strukturelle Analyse hat gezeigt, dass spezifische Standards bezüglich der qualitativen Wirkungsweise und der Sicherheit der LED basierten Anwendungen fehlen. Dies schwächt das Vertrauen potentieller Kunden in die neue Technologie (VII). Damit ein ausreichendes Marktwachstum eintreten kann, bedarf es einer breiteren gesellschaftlichen Akzeptanz, die über die Akteure in den Nischenmärkten hinausgeht. Daher wird die notwendige Voraussetzung der Legitimation (F7) hier bereits erschwert.

Dies hat zudem negative Auswirkungen auf die Ressourcenmobilität (F6). Die grundsätzliche Legitimation nachhaltiger Technologien (vii), wirkte im fokussierten TIS zunächst positiv auf die Ressourcenmobilität. Die fehlende Möglichkeit zur Zertifizierung der Wirkungsweise und Sicherheit der Technologie (VII) führt jedoch dazu, dass insbesondere private Investoren die Technologie weniger unterstützen und die Marktformation (F5) gehemmt wird.

Die fehlende Zertifizierung der LED basierten Wasseraufbereitung (VII) wirkt zusätzlich negativ auf die unternehmerischen Aktivitäten (F1), da dies einen Wettbewerbsnachteil gegenüber etablierten Technologien darstellt. Dies hemmt die unternehmerischen Anreize zur Entwicklung entsprechender Systeme.

Im Übergang zur Beschleunigungsphase wirkt neben der Legitimation, die Marktformation (F5) negativ auf die unternehmerischen Aktivitäten. Eine Ursache dafür liegt in der fehlenden Bereitstellung physischer Ressourcen in Form effizienter High-Power UVC LEDs (VI). Folglich konnte sich kein Markt für industrielle und kommunale Aufbereitungsanlagen bilden. Da hier ein Großteil des Marktpotentials liegt, werden die Anreize zur Fertigung von LED basierten Systemen zusätzlich gebremst. Eine weitere Ursache für die geringe Marktformation und deren negative Wirkung auf die unternehmerischen Aktivitäten liegt darin, dass die Low- und Medium-Power Lampen bisher teurer sind als quecksilberbasierte Lampen. Die Möglichkeit, die Kosten externer Effekte externalisieren zu können, führt oftmals dazu, dass weniger nachhaltige Konkurrenztechnologien billiger hergestellt werden können.

Es zeigt sich, dass die fehlende Legitimation und die fehlende Marktformation in ihrer Wirkung auf die unternehmerischen Aktivitäten jeweils eine Barriere darstellen, die das Marktwachstum begrenzen. Gleichzeitig bestehen jedoch positive Wechselwirkungen, die den Barrieren entgegenwirken.

Die Steuerung der Forschung setzt Anreize für die Entwicklung von High-Power UVC LEDs (iv). Dies geschieht direkt durch die Bereitstellung entsprechender finanzieller Ressourcen sowie indirekt über die Anreizsetzung in der Wissensgenerierung. Die überwiegend forschungsorientierten Netzwerke wirken zudem weiterhin positiv auf die Generierung von Wissen (iii). Die funktionale Analyse hat etwa gezeigt, dass Wissen zur Fertigung effizienter UVC LEDs (ii) sowie Wissen über die Desinfektionswirkung der Anwendungen (ii) generiert wird. Dadurch kann die Legitimation und die fehlende Ressourcenmobilität direkt beeinflusst werden.

Dennoch wird zusammenfassend deutlich, dass aufgrund des geringen Marktwachstums die Barrieren überwiegen und die Beschleunigungsphase bisher nicht erreicht wurde. Folglich konnte sich die Technologie bisher ökonomisch nicht nachhaltig etablieren.

Durch Einflussnahme auf die Ressourcenmobilität (F6), die Steuerung der Forschung (F4) und die Legitimation (F7) kann das funktionale Muster direkt von außen beeinflusst werden. Die Steuerung der Forschung (F6), hat sich in der funktionalen Analyse des fokussierten TIS

bereits als erfolgreich erwiesen. Die Unterzeichnung des Minamata Abkommens und das daraus abzusehende Verbot von Quecksilber haben positiven Einfluss auf die Wissensgenerierung ausgeübt (vgl. Abbildung 16). Bei der strukturellen Analyse konnte gezeigt werden, dass vor allem Gelder von Organisationen in öffentlicher Trägerschaft zur F&E vergeben werden. Durch die Schaffung einer einheitlich anerkannten Zertifizierung der Anwendungen sowie gezielter Förderung der F&E zur Realisierung leistungsstärkerer UVC LEDs ist es möglich, die positiven Wechselwirkungen zu stärken. So können die Barrieren überwunden und ein höheres Marktwachstum erzielt werden.

6.3 Implikationen

Die vorangegangene Diskussion hat gezeigt, dass die Wirkung der Funktionen auf das TIS nicht allgemeingültig bestimmbar ist. Die selben Funktionen können sowohl eine Barriere formen als auch eine Chance zur Weiterentwicklung darstellen. Der Einfluss der Funktionen auf die Entwicklung des TIS und die Erzielung der ökonomischen Nachhaltigkeit erfolgt in Abhängigkeit der Wechselwirkung der Funktionen untereinander, der jeweiligen Entwicklungsphase und der individuellen Eigenschaften des TIS.

Je nach Entwicklungsphase des TIS ist die Erfüllung kritischer Funktionen relevant, damit sich die Technologie weiter etablieren kann (vgl. Hekkert et al. 2011, 11-12). Dabei ist die Vorstellung zielführend, dass sich das TIS im Übergang zwischen zwei Phasen befindet. In Abhängigkeit des Fortschritts, ergibt sich ein individuelles Muster. Funktionen, die zuvor positiv auf das TIS gewirkt haben, können angesichts der sich ändernden Ansprüche in einer anderen Entwicklungsphase eine Barriere formen. Aufgrund der Wechselwirkungen müssen die Funktionen, welche die Entwicklung entscheidend voranbringen oder Barrieren bilden, zudem nicht zwangsläufig mit den kritischen Funktionen übereinstimmen.

Dabei sei hier anzumerken, dass in der Literatur die Einteilung der Entwicklungsphasen nicht einheitlich ist. Ebenso kann über die jeweils kritischen Funktionen zur Weiterentwicklung des TIS diskutiert werden. Unabhängig davon ist für die Analyse jedoch entscheidend, dass die Existenz von Wechselwirkungen berücksichtigt wird und deren Relevanz und Verlauf in Abhängigkeit des Fortschritts des TIS zu untersuchen ist.

Neben der Entwicklungsphase sind zudem die individuellen Eigenschaften des TIS entscheidend für die Wechselwirkungen der Funktionen. Daraus ergibt sich, dass funktionale Muster nicht allgemeingültig definiert werden können, sondern zahlreiche Formen möglich sind. So haben beispielsweise ökologisch und sozial nachhaltig Technologien oftmals Nachteile bei

der Anreizsetzung für unternehmerische Aktivitäten gegenüber weniger nachhaltigen Technologien.

Durch gezielte staatliche Einflussnahme, können relevante Wechselwirkungen beeinflusst und verstärkt werden mit deren Hilfe es möglich ist, die Barrieren zu überwinden. Grundsätzlich gilt hier jedoch zu beachten, dass die Förderung im Sinne der Neuen Missionsorientierung technologieoffen zu gestalten ist, sodass hier keine spezifischen Maßnahmen vorgeschlagen werden (vgl. Gassler et al. 2008, 10-12). Um Politikempfehlungen aussprechen zu können, bedarf es weiterer Analysen zur ökonomischen Nachhaltigkeit von sozial und ökologisch nachhaltigen technologischen Innovationen der Wasseraufbereitung.

7 Fazit

Die Motivation zu dieser Arbeit liegt in der Gestaltung einer zunehmend nachhaltigen Entwicklung durch die Etablierung technologischer Innovationen. Dabei wurde die Nachhaltigkeit als ein Gesamtkonzept mit Bezug auf die Umwelt, Gesellschaft und die Wirtschaft definiert. Daraus hat sich im vorliegenden Fall das Ziel der ökonomischen Etablierung von sozial und ökologisch nachhaltigen Technologien ergeben. Zielkonflikte zur Wirtschaft können so überwunden werden, während gleichzeitig die ökologische und soziale Nachhaltigkeit gefördert werden.

Im Mittelpunkt der Arbeit steht daher eine Fallstudie zur ökonomischen Nachhaltigkeit von Anwendungen, die mittels UV LEDs dazu in der Lage sind, Trinkwasser aufzubereiten. Neben dem direkten Nutzen der Wasseraufbereitung, stellt diese Technologie eine Verbesserung der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit gegenüber etablierten Quecksilberanwendungen dar. Um die ökologische Nachhaltigkeit analysieren zu können, hat sich der Ansatz der evolutorischen Innovationsökonomie und das Konzept der technologischen Innovationssysteme als opportun erwiesen. Unter Zuhilfenahme der strukturellen und funktionalen Analyse wurden die Strukturelemente und Systemfunktionen des fokussierten TIS identifiziert. Mit Hilfe dieser Ergebnisse konnte die aufgestellte Hypothese, wonach die ökonomische Nachhaltigkeit entscheidend von den funktionalen Mustern, der Entwicklungsphase und den individuellen Eigenschaften des TIS abhängt, verdeutlicht werden.

Zunächst wurde der erfolgreiche Übergang des TIS von der Aufbauphase zur Take-Off Phase betrachtet. Demnach sind die Systemfunktionen des TIS aufgrund der Wechselwirkungen dazu in der Lage, Anreize für ausreichende unternehmerisch Aktivitäten und die Wissensgenerierung zu schaffen. Dies hat zur Folge, dass Nischenmärkte entstehen konnten und erste LED basierte Produkte zur Wasseraufbereitung verkauft werden. Die ökonomische Nachhaltigkeit erfordert ein zunehmendes Marktwachstum und somit den Übergang in die Beschleunigungsphase. Dies ändert die Anforderungen an die Funktion des TIS. Ausreichende unternehmerische Aktivitäten sowie die gesellschaftliche Legitimation der technologischen Anwendungen sind Voraussetzung für ein schnelles Marktwachstum. Fehlende Zertifizierungsmöglichkeiten und eine unzureichende Marktformation stellen in ihrer Wirkung auf die unternehmerischen Aktivitäten jeweils eine Barriere dar. Das fokussierte TIS

befindet sich daher noch im Übergang von der Take-Off-Phase zur Beschleunigungsphase und die UV LED basierte Technologie zur Wasseraufbereitung konnte sich bisher nicht ökonomisch nachhaltig etablieren. Durch die Schaffung einer einheitlichen Zertifizierung und durch die Förderung von effizienteren sowie leistungsstärkeren UVC LEDs können Anreize für die unternehmerischen Aktivitäten gesetzt werden, sodass es möglich ist diese Barrieren zu überwinden.

Für den untersuchten Fall konnte gezeigt werden, dass bei einer ganzheitlichen Betrachtung zur Identifikation der ökonomischen Nachhaltigkeit neben der strukturellen und funktionalen Analyse die relevanten funktionalen Muster einbezogen werden müssen. Diese ändern sich in Abhängigkeit der Entwicklungsphase und der individuellen Eigenschaften des TIS und sind daher nicht allgemeingültig bestimmbar. Eine umfassende Analyse zur Identifikation möglicher Barrieren und der ökonomischen Nachhaltigkeit einer technologischen Innovation, sollte dies berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

Advanced-UV (2018): Desinfektion. Online verfügbar unter <https://www.advanced-uv.de/de/themenfelder/desinfektion/>, zuletzt geprüft am 02.04.2018.

Acuva Technologies Inc. (2017): Safe Drinking Water. Online verfügbar unter <https://acuvatech.com>, zuletzt geprüft am 19.03.2018.

Al-Batanony, M. A.; Abdel-Rasul, G. M.; Abu-Salem, M. A.; Al-Dalatony, M. M.; Allam, H. K. (2013): Occupational exposure to mercury among workers in a fluorescent lamp factory, Quisna Industrial Zone, Egypt. In: *The international journal of occupational and environmental medicine* 4 (3), 149–156.

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).

Andersson, B. A.; Jacobsson, S. (2000): Monitoring and assessing technology choice. The case of solar cells. In: *Energy Policy* 28 (14), 1037–1049.

AquiSense Technologies LLC (2018): Stand-Alone UV-C LEDs vs. Advanced UV-C LED Systems by AquiSense. Online verfügbar unter <https://www.aquisense.com/uv-led-system-design>, zuletzt geprüft am 19.03.2018.

Ayres, R. (1991): Evolutionary economics and environmental imperatives. In: *Structural Change and Economic Dynamics* 2 (2), 255–273.

Bergek, A.; Hekkert, M. P.; Jacobsson, S.; Markard, J.; Sandén, B.; Truffer, B. (2015): Technological innovation systems in contexts. Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 16, 51–64.

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.

Binz, C.; Truffer, B. (2011): Technological innovation systems in multi-scalar space. In: *Geographica Helvetica* 66 (4), 254–260.

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.

Bloomberg (2018): The Terminal. Online verfügbar unter <https://www.bloomberg.com/professional/solution/bloomberg-terminal/>, zuletzt geprüft am 21.03.2018.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Trinkwasserverordnung - TrinkwV.

- Business Wire Inc. (2017): HexaTech und OSRAM kündigen strategische Beziehung an. Online verfügbar unter <https://www.businesswire.com/news/home/20170216005459/de>, zuletzt geprüft am 02.04.2018.
- Carlsson, B.; Jacobsson, S.; Holmén, M.; Rickne, A. (2002): Innovation systems. Analytical and methodological issues. In: *Research Policy* 31 (2), 233–245.
- Carlsson, B.; Stankiewicz, R. (1991): On the nature, function and composition of technological systems. In: *J Evol Econ* 1 (2), 93–118.
- CB Insights (2018): Comprehensive Venture Capital Data. Online verfügbar unter <https://www.cbinsights.com/venture-capital-database>, zuletzt geprüft am 21.03.2018.
- Chandrappa, R.; Das, D. B. (2014): Sustainable and water engineering. Theory and practice. Chichester: John Wiley & Sons Inc.
- Clarivate (2018): Web of Science: Summary of Coverage. Online verfügbar unter <https://clarivate.libguides.com/webofscienceplatform/coverage>, zuletzt geprüft am 21.03.2018.
- Close, J.; Ip, J.; Lam, K. H. (2006): Water recycling with PV-powered UV-LED disinfection. In: *Renewable Energy* 31 (11), 1657–1664.
- CORDIS (2017a): Eco-innovative UV water disinfection. Online verfügbar unter https://cordis.europa.eu/project/rcn/196806_en.html, zuletzt aktualisiert am 20.02.2017, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- CORDIS (2017b): Water - Sustainable Point-Of-Use Treatment Technologies. Online verfügbar unter https://cordis.europa.eu/project/rcn/202632_en.html, zuletzt aktualisiert am 10.07.2017, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- CORDIS (2015): Photocatalysis with UV LED Sources for Efficient Water Purification. Online verfügbar unter https://cordis.europa.eu/project/rcn/100222_en.html, zuletzt aktualisiert am 10.03.2015, zuletzt geprüft am 16.03.2018.
- CORDIS (2017): Community Research and Development Information Service. Online verfügbar unter https://cordis.europa.eu/guidance/home_en.html, zuletzt geprüft am 21.03.2018.
- Crawford, S. E. S.; Ostrom, E. (1995): A Grammar of Institutions. In: *Am Polit Sci Rev* 89 (03), 582–600.
- Dachs, B.; Dinges, M.; Weber, K. M.; Zahradnik, G.; Warnke, P.; Teufel, B. (2015): Herausforderungen und Perspektiven missionsorientierter Forschungs- und Innovationspolitik. Studien zum deutschen Innovationssystem. Berlin.
- Eggers, J. (2018): Workshop UV -Desinfektion. Desinfektion und UV-Behandlung von Wasser – Prüfung und Überwachung von UV-Geräten. DVGW -Technologiezentrum Wasser. Karlsruhe, 2018.

- Empacher, C. & Wehling, P. (2002): Soziale Dimensionen der Nachhaltigkeit. Theoretische Grundlagen und Indikatoren. Frankfurt am Main (ISOE-Studentexte, 11).
- EPA Office of Research and Development (2012): 2012 Guidelines for Water Reuse. Washington.
- EPA Office of Research and Development (2014): Environmental and Cost Life Cycle Assessment of Disinfection Options for Municipal Drinking Water Treatment 2014. Washington.
- Eppinger, E.; Tauber, A.; Jarotschkin, V. (2017): Ein Praxisleitfaden - Technologieentwicklung erkennen und Steuern. Teil 1: Indikatoren zur Informationserfassung und Technologiebewertung. Freie Universität Berlin.
- Erdmann, G.; Nill, J.; Sartorius, C.; Zundel, S.: Time strategies in innovation policy. In: Pyka, H. (Ed.) 2007 – Elgar companion to neo-Schumpeterian economics, 978–989.
- Europäisches Parlament und Rat (2006): Richtlinie 2006/25/EG Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung).
- Europäisches Parlament und Rat (2011): Richtlinie 2011/65/EU: Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.
- Freeman, C.; Louçã, F. (2002): As time goes by. From the industrial revolutions to the information revolution. Publ. new as paperback. Oxford u.a.: Oxford Univ. Press.
- Frietsch, R.; Schmoch, U. (2010): Transnational patents and international markets. In: *Scientometrics* 82 (1), 185–200.
- Gassler, H.; Polt, W.; Rammer, C. (2008): Priority setting in technology policy - historical development and recent trends. Working Paper No. 36-2007.
- Haupt, R.; Kloyer, M.; Lange, M. (2007): Patent indicators for the technology life cycle development. In: *Research Policy* 36 (3), 387–398.
- 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.
- Hillenbrand, T.; Hiessl, H.; Klug, S.; Lüninck, B.; Niederste-Hollenberg, J.; Sartorius, C.; Walz, R. (2013): Herausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.

- Jacobs, K. (2016): Gesetzliche und Normative Regelungen für UV-LEDs und deren Verwendung in Leuchten und damit ausgestatteten Produkten. Berlin.
- Jacobsson, S.; Bergek, A. (2004): Transforming the energy sector. The evolution of technological systems in renewable energy technology. In: *Industrial and Corporate Change* 13 (5), 815–849.
- Jacobsson, S.; Johnson, A. (2000): The diffusion of renewable energy technology. An analytical framework and key issues for research. In: *Energy Policy* 28 (9), 625–640.
- Jacobsson, S.; Lauber, V. (2006): The politics and policy of energy system transformation—explaining the German diffusion of renewable energy technology. In: *Energy Policy* 34 (3), 256–276.
- Järvenpää, H. M.; Mäkinen, S. J.; Seppänen, M. (2011): Patent and publishing activity sequence over a technology's life cycle. In: *Technological Forecasting and Social Change* 78 (2), 283–293.
- Kemp, R. (2000): Technology and Environmental Policy. Innovation effects of past policies and suggestions for improvement. In: *Innovation and Environment*. Paris: OECD Publishing, 35–62.
- 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.
- Krackhardt, D.; Stern, R. N. (1988): Informal Networks and Organizational Crises. An Experimental Simulation. In: *Social Psychology Quarterly* 51 (2).
- LEDinside (2017): 2017 UV LED v.s UV LED Module Market Report.
- 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.
- Markard, J.; Truffer, B. (2008): Technological innovation systems and the multi-level perspective. Towards an integrated framework. In: *Research Policy* 37 (4), 596–615.
- Mu, Z.; Hu, Y.; Chen, L.; Wang, X. (2011): Enhanced luminescence of Dy³⁺ in Y₃Al₅O₁₂ by Bi³⁺ co-doping. In: *Journal of Luminescence* 131 (8), 1687–1691.
- National Natural Science Foundation of China (NSFC) (2017): National Natural Science Fund Guide to Programs.

- Negro, S.; Suurs, R.A.A.; Hekkert, M. P. (2008): The bumpy road of biomass gasification in the Netherlands. Explaining the rise and fall of an emerging innovation system. In: *Technological Forecasting and Social Change* 75 (1), 57–77.
- Nelson, R. R. (2009): Building Effective ‘Innovation Systems’ versus Dealing with ‘Market Failures’ as Ways of Thinking About Technology Policy. In: D. Foray (Hg.): *The New Economics of Technology Policy*: Edward Elgar Publishing.
- Nelson, R. R.; Winter, S. G. (1982): *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University.
- O'Connor, M. (1993): Entropic irreversibility and uncontrolled technological change in economy and environment. In: *Journal of Evolutionary Economics* 3 (4), 285–315.
- OECD (1994): *The Measurement of Scientific and Technical Activities*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2002): *Frascati manual 2002. The measurement of scientific and technological activities; proposed standard practice for surveys of research and experimental development*. [6. ed]. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2017): *Water Risk Hotspots for Agriculture*. Paris: OECD Publishing.
- OSRAM GmbH (2017): UNIQUE project for developing mass market UV LEDs for disinfection. Online verfügbar unter https://www.osram.com/os/press/press-releases/unique_project_for_developing_mass_market_uv_leds_for_disinfection.jsp, zuletzt geprüft am 02.04.2018.
- PatentInspiration (2018): Which patent data does your database contain. Online verfügbar unter <https://support.patentinspiration.com/hc/en-gb/articles/207203473-Which-patent-data-does-your-database-contain->, zuletzt geprüft am 20.01.2018.
- Romeiro, A. R. (2012): Sustainable development: an ecological economics perspective. In: *Estudos Avançados* 26 (74), 65–92.
- Sabatier, Paul A. (2011): The advocacy coalition framework. Revisions and relevance for Europe. In: *Journal of European Public Policy* 5 (1), 98–130.
- Sartorius, C. (2006): Second-order sustainability—conditions for the development of sustainable innovations in a dynamic environment. In: *Ecological Economics* 58 (2), 268–286.
- Schumpeter, J. A. (1912): *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Leipzig: Duncker & Humblot.
- Steden, S. (2015): *Das System der Finanzierung von Technologieentwicklung am Beispiel der Photovoltaik-Industrie*. Zugl.: Dortmund, Techn. Univ., Diss., 2014. Wiesbaden: Springer VS.
- 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.

The Insight Partners (2017): UV LED Market to 2025. Global Analysis and Forecasts by Technology, Applications.

Udovičić, L. (Hg.) (2013): Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund: Baua.

United Nations (2010): The human right to water and sanitation -Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010.

United Nations (2015): Millennium development goals report. New York: United Nations Publications.

United Nations (2017): 17. Minamata Convention on Mercury. CHAPTER XXVII. New York.

United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) (1992): The Rio Declaration on Environment and Development. Rio de Janeiro.

United Nations Environment Programme (UNEP) (2017): Minamata Convention on Mercury. text and annexes. Nairobi.

Vilhunen, S.; Särkkä, H.; Sillanpää, M. (2009): Ultraviolet light-emitting diodes in water disinfection. In: Environmental science and pollution research international 16 (4), 439–442.

Wieczorek, A. J.; Hekkert, M. P. (2012): Systemic instruments for systemic innovation problems. A framework for policy makers and innovation scholars. In: Science and Public Policy 39 (1), 74–87.

World Commission on Environment and Development (WCED) (1987): Our common future. Oxford: Oxford University Press.

Yole (2016): UV LEDs - Technology, Manufacturing and Application Trends. From Technology to Market.

Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. (2014): Blaulichtgefährdung. Fotobiologische Sicherheit in der Beleuchtung. Frankfurt am Main.

Appendix

Tabelle 6: Produzenten entlang der Wertschöpfungskette von UV Quecksilberanwendungen

Unternehmen	Gründung	Land	Lampe	System	Forschung UVC LED
Xylem Inc.	2011	USA	x	x	
Light Sources, Inc.	1983	USA	x		
Hydro-Photon, Inc.	2003	USA		x	
First Light Technologies, Inc.	1994	USA	x		
Trojan Technologies Inc.	1976	Kanada		x	
Philips Lighting Holding B.V.	1891	Niederlande	x	x	x
Heraeus	1851	Deutschland	x		
OSRAM Licht AG	1919	Deutschland	x		x
Waterlogic	1992	Irland		x	
Ushio Inc.	1963	Japan	x	x	
Sankyo Denki Co., Ltd.	1952	Japan	x		

Quelle: Yole 2016, LEDinside 2017, Bloomberg L.P.

Tabelle 7: Produzenten entlang der Wertschöpfungskette von UVC LED Anwendungen

Unternehmen	Gründung	Land	1	2	3	4	5
Photoelectric Technology Co., Ltd.	2001	China	x	x			
Epitop Optoelectronic Co., Ltd.	2010	China	x	x			
Qingdao Jason Electric Co., Ltd.	2001	China	x	x	x	x	
Yestech Optoelectronic Co., Ltd.	2001	China	x	x	x		
Shenzhen Uvet Electronics Co. Ltd	2010	China			x		
Hongli Zhihui Group Co., Ltd.	2004	China			x		
BYTECH Electronics Co., Ltd.	2013	China			x	x	
Epileds Technologies Inc.	2006	Taiwan	x	x			
Opto Tech Corp.	1983	Taiwan	x	x	x		
TSLC Corp.	2013	Taiwan	x	x	x		
Advanced Optoelectronic Technology, Inc.	1999	Taiwan	x	x	x		
High Power Lighting Corp.	2005	Taiwan			x		
ConvergEver Inc., Ltd.	2005	Taiwan			x		
Everlight Electronics Co., Ltd.	1983	Taiwan			x		
Crystal IS, Inc.	1997	USA	x	x	x		
HexaTech, Inc.	2001	USA	x	x	x		
RayVio Corp.	2013	USA	x	x	x	x	
Sensor Electronic Technology Inc.	1999	USA	x	x	x	x	
Nitek Inc.	2004	USA	x	x	x	x	
AquiSense Technologies LLC	2015	USA					x
Acuva Technologies Inc.	2014	Kanada					x

Watersprint AB	2013	Schweden				x
UVphotonics NT GmbH	2015	Deutschland	x	x	x	
EPIGAP Optronik GmbH	1995	Deutschland	x	x	x	
DOWA HOLDINGS Co., Ltd	1937	Japan	x	x	x	
Nichia Corp.	1956	Japan	x	x	x	
NIKKISO Co., Ltd.	1950	Japan	x	x	x	x
Tokuyama Corp.	1918	Japan	x	x		
LG Innotek	1970	Südkorea	x	x	x	x
Seoul Viosys Co., Ltd	2001	Südkorea	x	x	x	x
Lumens Co., Ltd.	1996	Südkorea	x	x	x	

1=Trägermaterial; 2=UVC DIE; 3=UVC LED Gehäuse; 4=UVC LED Module; 5=Systeme

Quelle: Yole 2016, LEDinside 2017, Bloomberg L.P.

Tabelle 8: Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen in der Grundlagenforschung nach Jahr

Jahr der Veröffentlichung	Anzahl der Veröffentlichungen	Anteil der Veröffentlichungen
1988	1	0,04%
1993	2	0,07%
1994	1	0,04%
1995	0	0,00%
1996	3	0,11%
1997	2	0,07%
1998	6	0,22%
1999	10	0,36%
2000	15	0,55%
2001	24	0,87%
2002	49	1,78%
2003	41	1,49%
2004	58	2,11%
2005	61	2,22%
2006	70	2,55%
2007	97	3,53%
2008	109	3,97%
2009	110	4,00%
2010	154	5,60%
2011	193	7,02%
2012	177	6,44%
2013	246	8,95%
2014	284	10,33%
2015	330	12,01%
2016	346	12,59%
2017	359	13,06%
Summe	2.748	100%

Quelle: Web of Science; Abruf: 22.03.18

Query: TS=("UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" OR "UV-LEDs" OR "UV LEDs" OR "UV Light emitting diodes" OR "UV Light-emitting diodes " OR "Ultraviolet Light emitting diodes" OR "Ultraviolet LEDs")

Tabelle 9: Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen in der angewandten Forschung nach Jahr

Jahr der Veröffentlichung	Anzahl der Veröffentlichungen	Anteil der Veröffentlichungen
1999	1	0,47%
2000	0	0,00%
2001	0	0,00%
2002	4	1,86%
2003	1	0,47%
2004	2	0,93%
2005	1	0,47%
2006	5	2,33%
2007	6	2,79%
2008	7	3,26%
2009	11	5,12%
2010	11	5,12%
2011	16	7,44%
2012	12	5,58%
2013	20	9,30%
2014	18	8,37%
2015	22	10,23%
2016	34	15,81%
2017	44	20,47%
Summe	215	100%

Quelle: Web of Science; Abruf: 10.02.2018

Query: TS=("UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" OR "UV-LEDs" OR "UV LEDs" OR "UV Light emitting diodes" OR "UV Light-emitting diodes " OR "Ultraviolet Light emitting diodes" OR "Ultraviolet LEDs") AND TS=water

Tabelle 10: Anzahl Akteure in der angewandten Forschung nach Herkunft und Sektor

Zeilenbeschrif- tungen	Anzahl Universitä- ten	Anzahl öffentliche Forschungsinstitute	Anzahl Akteure Industrie	Summe
USA	31	8	9	48
Kanada	11	0	2	13
China	36	3	1	40
Japan	12	4	6	22
Südkorea	9	1	1	11
Taiwan	2	0	0	2
Spanien	10	2	1	13
England	6	0	3	9
Schottland	2	0	0	2
Frankreich	6	0	1	7
Finnland	4	0	0	4
Niederlande	3	0	0	3

Deutschland	3	1	1	5
Belgien	2	1	2	5
Irland	2	0	0	2
Schweiz	2	0	1	3
Dänemark	1	0	1	2
Portugal	2	1	0	3
Polen	2	0	0	2
Griechenland	2	0	0	2
Türkei	2	0	0	2
Slowenien	0	2	0	2
Italien	1	1	0	2
Lettland	1	0	0	1
Iran	11	0	0	11
Australien	7	1	1	9
Indien	1	5	0	6
Saudi-Arabien	3	0	0	3
Brasilien	1	0	0	1
Malaysia	2	0	0	2
Russland	1	1	0	2
Mexiko	2	0	0	2
Hongkong	1	0	0	1
Argentinien	1	0	1	2
Tunesien	1	0	0	1
Singapur	1	1	0	2
Irak	1	0	0	1
Thailand	0	1	0	1
Summe	185	33	31	249

Quelle: Web of Science; Abruf: 10.02.18

Query: TS=("UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" OR "UV-LEDs" OR "UV LEDs" OR "UV Light emitting diodes" OR "UV Light-emitting diodes " OR "Ultraviolet Light emitting diodes" OR "Ultraviolet LEDs") AND TS=water

Tabelle 11: Anzahl der Patentanmeldungen zur Wasseraufbereitung mittels UV LED nach Jahr

Jahr der Veröffentlichung	Anzahl der Patente	Anteil der Patente
1991	0	0,00%
1992	1	0,19%
1993	0	0,00%
1994	0	0,00%
1995	1	0,19%
1996	1	0,19%
1997	1	0,19%
1998	1	0,19%

1999	2	0,38%
2000	1	0,19%
2001	1	0,19%
2002	3	0,56%
2003	4	0,75%
2004	6	1,13%
2005	11	2,07%
2006	15	2,82%
2007	10	1,88%
2008	21	3,95%
2009	13	2,44%
2010	34	6,39%
2011	35	6,58%
2012	40	7,52%
2013	38	7,14%
2014	61	11,47%
2015	59	11,09%
2016	81	15,23%
2017	92	17,29%
Summe	532	100%

Quelle: Patentinspiration; Abruf: 20.01.18

Query: Patents with C02F children included in IPC Codes AND Patents with "UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" in Title, Abstract, Claims or Description

Tabelle 12: Anzahl Akteure mit Patentanmeldungen zur Wasseraufbereitung mittels UV LED nach Herkunft

Land	Anzahl der Unternehmen	Anzahl der Forschungseinrichtungen	Summe
USA	44	3	47
Kanada	1	0	1
Japan	26	3	29
Südkorea	17	6	23
China	37	13	50
Taiwan	3	1	4
Niederlande	3	0	3
England	10	0	10
Schweiz	5	0	5
Deutschland	10	2	12
Schweden	3	0	3
Frankreich	1	3	4
Österreich	1	0	1
Tschechien	2	0	2

Irland	1	0	1
Dänemark	0	1	1
Russland	1	1	2
Australien	1	1	2
Israel	1	0	1
Saudi-Arabien	0	1	1
Mexiko	0	1	1
Indien	0	1	1
Summe	167	37	204

Quelle: Patentinspiration; Abruf: 20.01.18

Query: Patents with C02F children included in IPC Codes AND Patents with "UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" in Title, Abstract, Claims or Description

Tabelle 13: Hersteller von UVC LEDs und Quecksilberanwendungen die experimentelle Entwicklung betreiben

Unternehmen	Anzahl Patente	Land	Wasseraufbereitungsmittels
Philips Lighting Holding B.V.	23	Niederlande	Quecksilber
Hydro-Photon, Inc.	12	USA	Quecksilber
Trojan Technologies Inc.	4	Kanada	Quecksilber
Heraeus	1	Deutschland	Quecksilber
Waterlogic	1	Irland	Quecksilber
Seoul Viosys Co., Ltd	17	Südkorea	UV LED
RayVio Corp.	10	USA	UV LED
Sensor Electronic Technology Inc.	9	USA	UV LED
Tokuyama Corp.	7	Japan	UV LED
LG Innotek	5	Südkorea	UV LED
Qingdao Jason Electric Co., Ltd.	4	China	UV LED
AquiSense Technologies LLC	2	USA	UV LED
Watersprint AB	2	Schweden	UV LED
Crystal IS, Inc.	2	USA	UV LED
NIKKISO Co., Ltd.	1	Japan	UV LED

Quelle: Patentinspiration; Abruf: 20.01.18

Query: Patents with C02F children included in IPC Codes AND Patents with "UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" in Title, Abstract, Claims or Description

Tabelle 14: Anzahl Akteure mit Transnationalen Patentanmeldungen zur Wasseraufbereitung mittels UV LED nach Herkunftsland

Land	Anzahl der Akteure	Anteil
USA	27	22,88%
Kanada	1	0,85%
Japan	15	12,71%

Südkorea	14	11,86%
China	29	24,58%
Taiwan	3	2,54%
Niederlande	4	3,39%
England	7	5,93%
Schweiz	4	3,39%
Deutschland	5	4,24%
Frankreich	1	0,85%
Österreich	1	0,85%
Russland	3	2,54%
Australien	1	0,85%
Saudi-Arabien	1	0,85%
Singapur	2	1,69%
Summe	118	100%

Quelle: Patentinspiration; Abruf: 20.01.18

Query: Patents with C02F children included in IPC Codes AND Patents with "UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" in Title, Abstract, Claims or Description

Tabelle 15: Anzahl der "Funding Agencies" die Veröffentlichungen in der angewandten Forschung gefördert haben

Land	Regierungsbehörden	öff. Forschungseinrichtungen	Gemeinden und Kommunen	private Unternehmen	Gesamtanzahl Akteure
USA	15	13	0	7	35
Kanada	2	2	0	2	6
China	18	12	0	1	31
Japan	3	2	0	0	5
Südkorea	9	0	0	0	9
Taiwan	2	0	0	0	2
Europa	1	0	0	0	1
Belgien	0	1	0	0	1
Deutschland	1	2	0	0	3
England	2	1	0	2	5
Finnland	1	3	2	0	6
Frankreich	4	2	2	1	9
Italien	0	1	0	0	1
Niederlande	2	0	2	0	4
Schottland	0	1	0	0	1
Slowenien	1	0	0	0	1
Spanien	2	2	1	0	5
Türkei	1	1	0	0	2

Australien	5	2	0	0	7
Brasilien	2	2	0	0	4
Indien	2	0	0	0	2
Irak	0	1	0	0	1
Iran	1	6	0	0	7
Israel	0	0	0	1	1
Malaysia	2	1	0	0	3
Mexiko	1	1	0	0	2
Russland	2	0	0	0	2
Saudi-Arabi.	0	1	0	0	1
Summe	79	57	7	14	157

Quelle: Web of Science; Abruf: 10.02.18

Query: TS=("UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" OR "UV-LEDs" OR "UV LEDs" OR "UV Light emitting diodes" OR "UV Light-emitting diodes " OR "Ultraviolet Light emitting diodes" OR "Ultraviolet LEDs") AND TS=water

Tabelle 16: Anzahl geförderter Publikationen in der angewandten Forschung nach Förderorganisation

Land	Regierungsbehörden	öff. Forschungseinrichtungen	Gemeinden und Kommunen	private Unternehmen	Anzahl geförderter Arbeiten
USA	17	13	0	7	37
Kanada	11	2	0	2	15
China	77	15	0	1	93
Japan	7	6	0	0	13
Südkorea	22	0	0	0	22
Taiwan	2	0	0	0	2
Europa	9	0	0	0	9
Belgien	0	1	0	0	1
Deutschland	1	2	0	0	3
England	3	1	0	2	6
Finnland	1	5	4	0	10
Frankreich	4	2	2	1	9
Italien	0	1	0	0	1
Niederlande	4	0	4	0	8
Schottland	0	1	0	0	1
Slowenien	1	0	0	0	1
Spanien	10	4	3	0	17
Türkei	1	1	0	0	2
Australien	8	3	0	0	11
Brasilien	2	2	0	0	4
Indien	8	0	0	0	8
Irak	0	1	0	0	1
Iran	1	9	0	0	10

Israel	0	0	0	1	1
Malaysia	2	1	0	0	3
Mexiko	1	1	0	0	2
Russland	2	0	0	0	2
Saudi-Arab.	0	3	0	0	3
Summe	194	74	13	14	

Quelle: Web of Science; Abruf: 10.02.18

Query: TS=("UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" OR "UV-LEDs" OR "UV LEDs" OR "UV Light emitting diodes" OR "UV Light-emitting diodes " OR "Ultraviolet Light emitting diodes" OR "Ultraviolet LEDs") AND TS=water

Tabelle 17: Investition von Wagniskapital in UV LED basierte Anwendungen zur Wasseraufbereitung

begünstigtes Unternehmen	Förderung (US\$)	Runde	Investor
AquiSense Technologies LLC	510.000	Grant	National Science Foundation
AquiSense Technologies LLC	140.000	Grant - II	National Science Foundation
Acuva Technologies Inc.	2.090.000	Series A	Undisclosed Angel Investors
Acuva Technologies Inc.		Seed	BDC
Acuva Technologies Inc.	850.000*	Seed	Undisclosed Angel Investors
Acuva Technologies Inc.		Seed	University of British Columbia

*gemeinsame Investition der BDC, des Angel Investors und der Univ. of British Columbia

Quelle: CB Insights; Abruf: 16.03.18

Query: UV LED AND water purification

Tabelle 18: Anzahl der Erfinder von Patenten zur Wasseraufbereitung mittels UV LED nach Jahr

Jahr der Patentveröffentlichung	Anzahl der Erfinder	Anteil der Erfinder
1992	5	0,36%
1993	0	0,00%
1994	0	0,00%
1995	3	0,22%
1996	5	0,36%
1997	1	0,07%
1998	9	0,66%
1999	5	0,36%
2000	3	0,22%
2001	2	0,15%
2002	8	0,58%
2003	12	0,87%
2004	9	0,66%
2005	26	1,89%
2006	27	1,97%

2007	17	1,24%
2008	41	2,98%
2009	29	2,11%
2010	70	5,09%
2011	90	6,55%
2012	95	6,91%
2013	124	9,02%
2014	182	13,25%
2015	160	11,64%
2016	189	13,76%
2017	262	19,07%
Summe	1374	100%

Quelle: Patentinspiration; Abruf: 20.01.18

Query: Patents with C02F children included in IPC Codes AND Patents with "UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" in Title, Abstract, Claims or Description

Tabelle 19: Anzahl der Netzwerke und der beteiligten Akteure in der angewandten Forschung

Jahr	Anzahl der Netzwerke	Anzahl Akteure in Netzwerken	durchschnittliche Größe der Netzwerke
2007	5	13	2,60
2008	6	16	2,67
2009	9	24	2,67
2010	13	35	2,69
2011	19	52	2,74
2012	26	70	2,69
2013	28	80	2,86
2014	35	100	2,86
2015	43	122	2,84
2016	52	148	2,85
2017	69	203	2,94

Quelle: Web of Science; Abruf: 10.02.18, Auswertung mit NetMiner

Query: TS=("UV-LED" OR "UV LED" OR "UV Light emitting diode" Or "UV Light-emitting diode" OR "Ultraviolet Light emitting diode" OR "Ultraviolet LED" OR "UV-LEDs" OR "UV LEDs" OR "UV Light emitting diodes" OR "UV Light-emitting diodes " OR "Ultraviolet Light emitting diodes" OR "Ultraviolet LEDs") AND TS=water

Abbildung 24: AQUA-PULSE Projekt

AQUA-PULSE
Project ID: 286641
Funded under: FP7-SME

Photocatalysis with UV LED Sources for Efficient Water Purification

From 2011-09-01 **to** 2013-08-31, closed project

Project details

Total cost: EUR 1 415 933	Topic(s): SME-2011-1 - Research for SMEs
EU contribution: EUR 1 117 218	Call for proposal: FP7-SME-2011 See other projects for this call
Coordinated in: Ireland	Funding scheme: BSG-SME - Research for SMEs

Quelle: Cordis 2015, o.S., Abruf: 16.03.18

Abbildung 25: Eco-UV Projekt

Eco-UV
Project ID: 641702
Funded under:
H2020-EU.3.5.4. - Enabling the transition towards a green economy and society through eco-innovation

Low carbon footprint and eco-innovative UV water disinfection

From 2015-06-01 **to** 2018-05-31, ongoing project | [Eco-UV Website](#)

Project details

Total cost: EUR 4 494 948,50	Topic(s): WATER-1a-2014 - First application and market replication
EU contribution: EUR 3 949 129	Call for proposal: H2020-WATER-2014-two-stage See other projects for this call
Coordinated in: United Kingdom	Funding scheme: IA - Innovation action

Quelle: Cordis 2017a, o.S., Abruf: 16.03.18

Abbildung 26: Wasserspoutt Projekt

The screenshot shows the project details for WATERSPOUTT. At the top, there is a blue header with the European Commission logo. Below this, the project name 'WATERSPOUTT' is displayed in large blue letters. To the left of the name is a 'HORIZON 2020' logo. The project ID is 688928. It is funded under H2020-EU.3.5.4, which focuses on enabling the transition towards a green economy and society through eco-innovation. The project title is 'Water - Sustainable Point-Of-Use Treatment Technologies'. The project period is from 2016-06-01 to 2020-05-31, and it is an ongoing project. The project details are presented in a table with two columns: 'Total cost' and 'EU contribution' on the left, and 'Topic(s)', 'Call for proposal', and 'Funding scheme' on the right. The total cost is EUR 3 571 945,83 and the EU contribution is EUR 3 084 351,25. The project is coordinated in Ireland. The topic is WATER-5c-2015 - Development of water supply and sanitation technology, systems and tools, and/or methodologies. The call for proposal is H2020-WATER-2015-two-stage, with a link to see other projects for this call. The funding scheme is RIA - Research and Innovation action.

Total cost: EUR 3 571 945,83	Topic(s): WATER-5c-2015 - Development of water supply and sanitation technology, systems and tools, and/or methodologies
EU contribution: EUR 3 084 351,25	Call for proposal: H2020-WATER-2015-two-stage See other projects for this call
Coordinated in: Ireland	Funding scheme: RIA - Research and Innovation action

Quelle: Cordis 2017b, o.S., Abruf: 16.03.18

Abbildung 27: log Stufe Aquisense Technologies

The screenshot shows the website for Aquisense Technologies. The header includes the company logo and a navigation menu with links for HOME, COMPANY, TECHNOLOGY, PRODUCTS, and CONTACT. The main content area features a central image of a white, cylindrical water filter with a blue tube. Surrounding the image are several bullet points listing product features: Compact Design, 10,000 Hour LED Life, Easy Installation, Customizable, Low Maintenance, User Friendly, 99.99% Kill Rate (circled in red), and Low Power Consumption.

- Compact Design
- 10,000 Hour LED Life
- Easy Installation
- Customizable
- Low Maintenance
- User Friendly
- 99.99% Kill Rate
- Low Power Consumption

Quelle: Aquisense Technologies LLC 2018, o.S., Abruf: 19.03.18

Abbildung 28: log Stufe Acuva Technologies

Don't Settle For Less

We provide the safest, most efficient way to purify your water.

- Kills 99.9% of bacteria and viruses
- Minimal power consumption with UV-LED
- Eliminates need of hundreds of thousands of plastic water bottles over lifetime
- No maintenance
- 10+ year lifetime

[EXPLORE PRODUCTS](#)



Quelle: Acuva Technologies Inc. 2017, o.S., Abruf: 19.03.18

Abbildung 29: Netzwerk - Advanced UV for Life

Das zur Gründung des Konsortiums konzipierte Arbeitsfeld Wasser ist im Mai 2017 formal und offiziell im Arbeitsfeld Desinfektion aufgegangen. Damit wurde sowohl dem internationalen als auch dem konsortiumsinternen wissenschaftlich-technischen Fortschritt bei UV-LEDS für den kurzweiligeren UVC-Bereich entsprochen. Desinfektion, Photochemie im UVC-Bereich, Reinigung und Aufbereitung von Prozesswässern sowie die Entwicklung und Verbesserung dafür geeigneter UVC-LEDS stellen entsprechend allen internationalen Prognosen den am stärksten wachsenden Anteil im Bereich der UV-LED-basierten Technologien dar, der in Kürze den bisher umsatzmäßig wie auch in den Stückzahlen dominierenden UVA-LED-Bereich übertreffen wird.

Daher bündeln die Partner des Arbeitsfeldes ihre Kompetenzen für die Entwicklung von UVC-LED-basierten Anwendungen im Bereich der Wasser-, Luft- und Oberflächendesinfektion und -reinigung. Die Partner haben sich darüber hinaus das Ziel gesetzt, die Desinfektionswirkung auch messbar zu machen und eine fluoreszenzbasierte Keimdetektion zu entwickeln.

Partner im Arbeitsfeld Desinfektion sind:

- Fraunhofer IOSB, Institutsteil Angewandte Systemtechnik
- Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e.V.
- Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie e.V., Hans-Knöll-Institut
- PURION GmbH
- Silicann Systems GmbH
- TZW: DVGW - Technologiezentrum Wasser
- Xylem

»Entwicklung UVC-LED-basierter Desinfektionstechnologien für die Wasserdesinfektion

Kontakt Sitemap Impressum Datenschutz EN

© 2018 Advanced-UV

Quelle: Advanced-UV 2018, o.S., Abruf: 02.04.18

Abbildung 30: Netzwerk - UNIQUE

Applications Products News & Events Tools & Services 

UNIQUE project for developing mass market UV LEDs for disinfection

New developments by the Bavarian partners cover the entire value added chain

11.05.2017 | Regensburg

Eco-friendly purification of water – UV light is already being used to kill water-borne germs but the light sources used for this purpose are still predominantly mercury vapor lamps. UV LEDs have so far proved unattractive for reasons of cost. The aim of the UNIQUE project funded by the Bavarian Ministry for Economic Affairs, Media, Energy and Technology is therefore to develop high-power UV LEDs for industrial use. The project, which is being coordinated by Osram Opto Semiconductors, involves five Bavarian companies and research institutions.

In the UNIQUE project, mercury-free LED-based UVC high-power light sources with wavelengths in the 260 to 280 nanometer range are being developed for industrial disinfection processes. There is a wide variety of potential applications – from domestic water purification to industrial disinfection of food packaging. Aluminum gallium nitride light emitting diodes (AlGaIn LEDs), a further development of the white, blue or green indium gallium nitride LEDs currently in use, provide the basis. Meeting this objective requires fundamental material, technology and system developments along the entire value added chain.

Quelle: OSRAM GmbH 2017, o.S., Abruf: 02.04.18

Abbildung 31: Netzwerk - HexaTech und OSRAM

HexaTech und OSRAM kündigen strategische Beziehung an

Langfristiges Lieferabkommen und Lizenzierung von geistigem Eigentum bilden die Grundlage der Zusammenarbeit

February 16, 2017 03:05 AM Eastern Standard Time

MORRISVILLE, North Carolina (USA)--(BUSINESS WIRE)--HexaTech Inc. hat heute die Unterzeichnung von zwei strategischen Vereinbarungen mit der OSRAM Opto Semiconductors GmbH aus der süddeutschen Stadt Regensburg bekannt gegeben. Die Vereinbarungen betreffen eine langfristige Lieferverpflichtung für Aluminiumnitrid- beziehungsweise AlN-Substrate von HexaTech, die direkte Unterstützung des Entwicklungsprogramms von HexaTech für Substrate mit 2 Zoll Durchmesser sowie die Lizenzvergabe in Bezug auf bestimmtes geistiges Eigentum von HexaTech.

„Wir erachten diese Partnerschaft mit OSRAM als eine echte Win-win-Situation für beide Unternehmen“

 [Tweet this](#)

HexaTech, der weltweit führende Zulieferer von AlN-Einkristallsubstraten, hat sich einzigartiges und wertvolles Grundlagenwissen für Optoelektronik-, Hochleistungs- und Hochfrequenzanwendungen auf Grundlage seiner gesetzlich geschützten Werkstoffe angelegt und fördert dadurch eine signifikante Nachfrage auf dem Markt nach der zugrunde liegenden Substrattechnik.

Quelle: Business Wire Inc. 2017, o.S., Abruf: 02.04.18

