

Monitoring urbaner Technologien

Ein Modell zur Abschätzung
der Reife soziotechnischer
Innovationen für die
Stadt der Zukunft

M. Ornetzeder
L. Capari
A. Gutting

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

18/2016

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Monitoring urbaner Technologien

Ein Modell zur Abschätzung der Reife
soziotechnischer Innovationen für die Stadt der Zukunft

Michael Ornetzeder, Leo Capari, Alicia Gutting
Institut für Technikfolgen-Abschätzung
Österreichische Akademie der Wissenschaften

Wien, März 2016

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des bmvit publiziert und elektronisch über die Plattform www.HAUSderZukunft.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
Abstract.....	3
1 Einleitung.....	5
1.1 Aufgabenstellung.....	6
1.2 Verwendete Methoden.....	6
1.2.1 Literaturarbeit.....	6
1.2.2 Fallstudien.....	6
1.3 Stand der Technik.....	7
1.3.1 Geschichtlicher Hintergrund der Technology Readiness Levels (TRLs)	7
1.3.2 Der Technology Readiness Level als Planungswerkzeug für technische Entwicklungsprojekte.....	9
1.3.3 Anwendungsfelder der TRLs	11
1.3.4 Vorteile und Nachteile der Technologiereifebewertung mittels TRL.....	12
1.3.5 Andere Methoden zur Reifebewertung von Technologien	13
1.3.6 Resümee: Methoden zur Reifebewertung von Technologien.....	19
2 Ergebnisse	20
2.1.1 Soziotechnische Systeme	20
2.1.2 Modell zur Abschätzung der Reife soziotechnischer Innovationen	22
2.1.3 Fallstudien.....	26
3 Schlussfolgerungen	81
4 Ausblick und Empfehlungen	83
5 Verzeichnisse	85
5.1 Abbildungsverzeichnis	85
5.2 Tabellenverzeichnis	85
5.3 Literaturverzeichnis.....	85

Kurzfassung

Motivation

Missionsorientierte Forschungsprogramme, wie *Stadt der Zukunft*, beabsichtigen eine gezielte Förderung nachhaltiger, systemtransformierender Technologien. Damit geht die Herausforderung einher, Ziele, Umfang und Grenzen neuer Technologien und technischer Systeme zu definieren und in weiterer Folge auf dieser Grundlage Handlungsspielräume, bestehende Defizite sowie Stärken und Schwächen des Innovationssystems zu identifizieren. Für die Bewertung der Reife von Technologien stehen zwar bereits eine Reihe von Konzepten und Methoden zu Verfügung. Für die Abschätzung des Entwicklungsniveaus umfassender, gesellschaftlich eingebetteter Systemlösungen für die nachhaltige Stadt der Zukunft greifen diese Ansätze allerdings zu kurz.

Inhalte und Zielsetzungen

Die vorliegende Studie verfolgt drei Ziele: Erstens werden bisher verwendete Methoden zur Technologiereifebewertung dargestellt und auf ihre Eignung zur Abschätzung der Reife von soziotechnischen Systemlösungen hin untersucht. Zweitens wird auf dieser Grundlage ein neues, auf die Komplexität soziotechnischer Systemlösungen abgestimmtes Bewertungsmodell entwickelt. Drittens wird dieses Modell anhand von fünf exemplarisch ausgewählten urbanen Innovationen auf seine Praxistauglichkeit hin getestet.

Methodische Vorgehensweise

Im Rahmen des Projekts wurde Fachliteratur recherchiert und ausgewertet. Das Modell zur Abschätzung der Reife soziotechnischer Innovationen baut auf Konzepte aus der Technikphilosophie, der Soziologie und der Wissenschafts- und Technikforschung auf. Die fünf Fallstudien basieren auf umfangreichen Internetrecherchen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Auseinandersetzung mit den bestehenden Methoden zur Bewertung der Reife von Technologien zeigt, dass diese nur in Ansätzen dazu geeignet sind, den Anwendungskontext und das Marktumfeld bei der Reifebewertung von Technologien zu berücksichtigen. Für eine angemessene Einschätzung von Innovationen eignen sie sich nicht.

Das im Rahmen des Projekts entwickelte Modell stellt daher den Begriff der *soziotechnischen Innovation* in den Mittelpunkt. Darunter verstehen wir neue Kombinationen von Elementen zur Lösung von Nachhaltigkeitsproblemen in der Stadt. Eine soziotechnische Innovation umfasst folgende heterogene Elemente: Technik, Regeln, Nutzerpraktiken und Märkte, kulturelle Bedeutungen, Infrastrukturen, Produktions- und Wartungsnetzwerke.

Das vorgestellte Modell stellt einen ersten Entwurf dar. Die Reife der einzelnen Elemente wird dabei qualitativ, in drei Stufen (gering, mittel, hoch), abgeschätzt.

Auf der Grundlage dieses einfachen Modells wurden fünf Fallstudien zu den folgenden Themen ausgearbeitet:

- Abwasserwärmerückgewinnung
- Städtisches Hybridnetz (Power-to-Heat)
- Elektrofahrzeugflotte
- Radschnellweg
- Reparaturinitiative mit 3D-Drucker

Die Fallstudien zeigen, dass das vorgeschlagene und getestete Bewertungsmodell bereits in der hier verwendeten rudimentären Form im Stande ist, neues Orientierungswissen über den Entwicklungsstand von nachhaltigen Innovationen zu generieren.

Ausblick

Aufbauend auf die bisherigen Erfahrungen mit der Abschätzung der Reife von sozio-technischen Innovation werden drei mögliche alternative Optionen für die weitere Auseinandersetzung mit dem hier erarbeiteten und angewandten Modell vorgeschlagen: (1) Weiterentwicklung des bisherigen qualitativen Modells; (2) Weiterentwicklung des bisher verfolgten Ansatzes in Richtung semi-strukturiertes Modell; (3) Entwicklung einer standardisierten Methode zur Erstellung von Grobanalysen.

Abstract

Motivation

Mission-oriented research programmes, such as *Stadt der Zukunft*, aim to promote sustainable technologies that bring about transformative change. Thus, the challenge is to define objectives, scope and limits of new technologies and technical systems, to identify strengths and weaknesses in the innovation system and, based on this analysis, to create more room for manoeuvre in shaping sustainable cities. Today, a number of concepts and methods for assessing the readiness of technologies are available. However, these approaches are not able to assess the level of development of comprehensive, socially embedded system solutions for the sustainable city of the future.

Contents and Objectives

This study has three objectives: First, it presents existing methods to measure the readiness of technologies and discusses their ability for assessing the maturity of socio-technical system solutions. Second, starting from this, it develops a new model that is able to handle the complexity of socio-technical system solutions. Third, it validates the basic functionality of this model on the basis of five qualitative cases studies.

Methods

The project is founded on extensive literature reviews. The framework of the new model to assess the maturity of socio-technical innovations is composed of concepts from philosophy and sociology of technology, and science and technology studies. Information on the five case studies is based on extensive Internet search and analysis of documentary materials.

Results

The review of existing methods for assessing the readiness of technologies shows that these approaches are able to consider contexts of use and market environments only to a small extent. In general, they are not qualified to produce comprehensive assessments of innovations.

Thus, the project developed a new model based on the concept of socio-technical innovation. In our context, a socio-technical innovation is a new combination of elements to solve sustainability problems in the city. The concept comprises seven heterogeneous elements: technology, rules, user practices and markets, cultural meanings, infrastructure, as well as production and maintenance networks.

So far the model presented is a first draft. It applies three qualitative levels (low, medium, high) to assess the maturity of the individual elements.

Based on this simple model five case studies have been conducted covering the following topics:

- Wastewater heat recovery
- Urban power-to-heat system
- Electric vehicle fleet
- Cycle superhighways
- Repair initiative with 3D-printer

The case studies show that the proposed and tested model is capable of producing new orientational knowledge describing the state of development of sustainable innovations.

Suggestions for future research

Based on previous experience with the study of maturity levels of socio-technical innovations we propose three alternative options for the further development of the existing model: (1) To extend and improve the qualitative model; (2) to advance the previously pursued approach towards a semi-structured model; (3) to develop a standardized method suitable for rough assessments.

1 Einleitung

In der Diskussion um eine stärker auf Nachhaltigkeit ausgerichtete gesellschaftliche Entwicklung kommt Städten und urbanen Ballungsgebieten aufgrund steigender Bevölkerungszahlen eine zentrale Bedeutung zu. Im Anschluss an die UN Konferenz zu Umwelt und Entwicklung in Rio 1992 wurden weltweit lokale Agenda 21 Initiativen gestartet, einige Jahre später im Rahmen der Charta von Aalborg Zielsetzungen für den europäischen Kontext formuliert und im Rahmen des Klimabündnisses wurden erste konkrete Schritte für einen lokal verankerten Klimaschutz gesetzt. Seit einigen Jahren wird nun auch verstärkt der Versuch unternommen, die Entwicklung von Technologien unter einer spezifisch urbanen Perspektive voranzutreiben. Städte rücken damit nicht nur als Brennpunkte der Entwicklung moderner Gesellschaften sondern auch als Testfeld und soziales Labor für neue Technologien und Dienstleistungen in den Mittelpunkt.

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie unterstützt diesen Perspektivenwechsel mit der Programmlinie *Stadt der Zukunft* und fördert gezielt die Entwicklung zukunftsfähiger Stadt-Technologien mit Energie- und Umweltbezug.

Die materielle Ausstattung und soziale Organisation unserer Städte haben einen entscheidenden Einfluss auf die Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft. Um von nicht-nachhaltigen zu nachhaltigen Systemen zu gelangen, sind grundlegende Veränderungen – sogenannte Systeminnovationen – erforderlich (Elzen et al. 2004). Missionsorientierte Forschungsprogramme versuchen daher, gezielt die Entwicklung nachhaltiger, systemtransformierender Technologien zu fördern.

Eine derartige Ausrichtung der Forschungsförderung auf urbane Technologien und Infrastrukturen steht allerdings vor der Herausforderung, Umfang und Grenzen solcher Technologien und technischer Systeme angemessen zu definieren und in weiterer Folge auf dieser Grundlage Handlungsspielräume, bestehende Defizite sowie Stärken und Schwächen des österreichischen Innovationssystems in diesen Feldern zu identifizieren.

Der vorliegende Bericht soll dazu einen Beitrag leisten, indem er der Frage nachgeht, wie Technologien in einem umfassenden Sinn beschrieben werden können und mit welchen Methoden ihr Entwicklungsstand abgeschätzt werden kann. Dazu wurde aufbauend auf das Konzept des soziotechnischen Systems ein Modell zur Beschreibung und Abschätzung der Reife von soziotechnischen Systemen entworfen und anhand von fünf Fallstudien getestet. Für die Fallstudien wurden realistische Beispiele mit starkem Nachhaltigkeitsbezug ausgewählt, die in Zukunft potenziell systemtransformierend wirken können. Dabei hat sich gezeigt, dass der eingeschlagene Weg durchaus im Stande ist neue Perspektiven aufzuzeigen. Mit der gewählten Vorgangsweise lassen sich bislang kaum beachtete Elemente von Innovationen erfassen und einschätzen. Es hat sich aber auch gezeigt, dass das Modell noch am Beginn seiner Entwicklung steht.

1.1 Aufgabenstellung

Mit diesem Bericht werden drei Ziele verfolgt. Zunächst geht es darum, (1) bisher verwendete Methoden zur Bewertung der Entwicklungsreife neuer Technologien auf ihre Eignung zur Bewertung der Reife von übergreifenden, soziotechnischen Systemlösungen für die nachhaltige Stadt der Zukunft hin zu überprüfen. (2) Auf dieser Grundlage wird ein auf die Komplexität soziotechnischer Systemlösungen abgestimmtes Bewertungsmodell entwickelt und (3) im Anschluss daran wird dieses Modell anhand von fünf exemplarisch ausgewählten, bereits in Grundzügen bekannten und daher beschreibbaren soziotechnischen Innovationen auf seine Praxistauglichkeit hin getestet.

1.2 Verwendete Methoden

Im vorliegenden Projekt wurde ein Modell zur Abschätzung der Reife von soziotechnischen Innovationen entwickelt und anhand von fünf Fallstudien getestet. Zu diesem Zweck wurde Fachliteratur recherchiert und ausgewertet. Die Fallstudien basieren auf umfangreichen Internetrecherchen.

1.2.1 Literaturarbeit

Die Literatursuche konzentrierte sich auf zwei Themenbereiche: (1) Erstens sollten die wichtigsten bestehenden Ansätze und Methoden zur Reifebewertung von Technologien dargestellt werden; (2) ging es um die Erörterung des Begriffs der soziotechnischen Innovation.

Die Auswertung der Literatur zum Thema Technologiereifebewertung ist in Abschnitt 1.3 dargestellt. Die Grundlage dafür bildeten Fachliteratur, Handbücher und sonstige Methoden-anleitungen sowie wissenschaftliche Veröffentlichungen, die sich in der Regel kritisch mit Theorie und Praxis der Technologiereifebewertung auseinandersetzen.

Die Literatur zum Begriff „soziotechnisches System“, das hier als Grundlage für den Begriff der soziotechnischen Innovation gewählt wurde, findet sich in Disziplinen wie der Technikphilosophie, der Soziologie und der Wissenschafts- und Technikforschung. Sowohl bei der Recherche als auch bei der Auswertung der Literatur haben wir versucht, die historische Entwicklung dieses Begriffs und seine jeweils spezifischen Bedeutungen herauszuarbeiten.

1.2.2 Fallstudien

Für die fünf Fallstudien wurden soziotechnische Innovationen definiert, beschrieben und hinsichtlich ihrer Reife bewertet. Alle drei Arbeitsschritte basieren auf umfangreichen Internetrecherchen. Aufgrund der Neuartigkeit des Vorhabens haben wir einen iterativen Arbeitsprozess angewandt. Nach ersten Ideen für mögliche Fallstudienbeispiele – nachhaltige Innovationen für den urbanen Raum, per Brainstorming ermittelt – wurden kurze Internetrecherchen durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurden die Beschreibungen konkretisiert und das Innovationspotenzial abgeschätzt. Aussichtsreiche Beispiele wurden für die weitere Bearbeitung ausgewählt, Beispiele mit bereits zu hoher oder zu geringer Reife hingegen nicht weiter verfolgt. Danach wurden in mehreren, internetbasierten Rechercherunden

Informationen zu den sieben Elementen soziotechnischer Innovationen gesammelt und im Rahmen der Fallstudien in Textform aufbereitet. Zentrale Ergebnisse wurden zudem in Tabellenform dargestellt.

1.3 Stand der Technik

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über die bislang genutzten Methoden zur Bewertung der Reife von Technologien. Als Ausgangspunkt dient ein kurzer geschichtlicher Exkurs zur Entwicklung des Konzepts der *Technology Readiness Levels* (TRLs). Danach folgt eine Darstellung verschiedener Verfahren zur Bewertung der Technologiereife die bis dato entwickelt wurden. Dabei orientieren wir uns an einer von Azizian et al. (2009) vorgeschlagenen Systematik und gehen näher auf qualitative, quantitative und automatisierte Bewertungsmethoden ein.

Dieser „Stand der Technik“ im Bereich der Technologiereifebewertung dient als Grundlage für die von uns vorgeschlagene Methode zur Reifeabschätzung von urbanen Technologien (siehe Kapitel 2, Ergebnisse).

1.3.1 Geschichtlicher Hintergrund der Technology Readiness Levels (TRLs)

Die ersten Ansätze zur Reifebewertung von Technologien wurden für F&E Programme in der Luftfahrt entwickelt. Bereits in den 1960er Jahren hat die National Aeronautics and Space Administration (NASA) den Begriff der Technologiereife (*Technology Readiness*) geprägt. Es entstand aus der Idee heraus den damals etablierten *Flight Readiness Review* (FRR)¹, weiterzuentwickeln und durch den noch nicht in die Praxis umgesetzten *Technology Readiness Review* zu ergänzen (Mankins 2009). In den 1970er Jahren wurde das Konzept der *Technology Readiness* weiterentwickelt. Damals wurden die einzelnen Stufen von Reifegraden definiert und kurz (in jeweils einer Zeile) beschrieben (*Technology Readiness Levels*). Diese frühe Version der TRLs stammt im Wesentlichen von Stan Sadin, einem Mitarbeiter des Office of Aeronautics and Space Technology (OAST). Bei diesem frühen Konzept kam eine siebenstufige Skala zur Anwendung (Mankins 2002, 2009).

Der Absturz der Challenger-Raumfähre 1986 gilt als Anlass TRLs intensiver in Technologieentwicklungsprogramme im Bereich der Raumfahrt zu implementieren. Eines der wesentlichen Ziele hinter der Entwicklung des TRL-Konzeptes bestand darin, ein Werkzeug zur Kommunikation und zur Koordination der F&E Tätigkeit – zunächst nur innerhalb der NASA – zur Verfügung zu haben. Projektmanager, Forscher und Entwickler stand nun durch die TRLs eine gemeinsame „Sprache“ zur Verfügung. Diese gemeinsame Sprache war für die interdisziplinäre Arbeit und die erfolgreiche Absolvierung von Raumfahrtprogrammen von wesentlicher Bedeutung. Im Rahmen der *Space Exploration Initiative* (SEI) gewann die Anwendung der TRLs noch weiter an Bedeutung.² Zu dieser Zeit wurde aus der damals noch siebenstufigen Skala die heute bekannte neunstufige TRL-Skala entwickelt. Der *Integrated*

¹ Der FRR dient im Wesentlichen dazu, die Bereitschaft eines Flugsystems für Testflüge zu erheben.

² Quelle: <http://history.nasa.gov/seisummary.htm>; abgerufen im März 2016

Technology Plan for the Civil Space Program aus 1991 leistete einen weiteren wichtigen Beitrag zur Entwicklung des TRL Konzeptes (Mankins 2009). Erst im Jahr 1995 wurden die einzelnen Reifestufen (*Readiness Levels*) erstmals detailliert definiert und anhand von Beispielen exemplarisch verdeutlicht (Mankins 1995). Die ursprüngliche NASA Definition der neun TRL Stufen ist seitdem von vielen Behörden (Raumfahrtbehörden und andern) und Unternehmen übernommen und dabei in der Regel an die spezifischen Anforderungen angepasst worden (General Accountability Office, U.S. Department of Defense³, U.S. Department of Energy⁴). Abbildung 1 zeigt eine graphische Darstellung der Entwicklungsgeschichte der TRLs innerhalb der NASA.

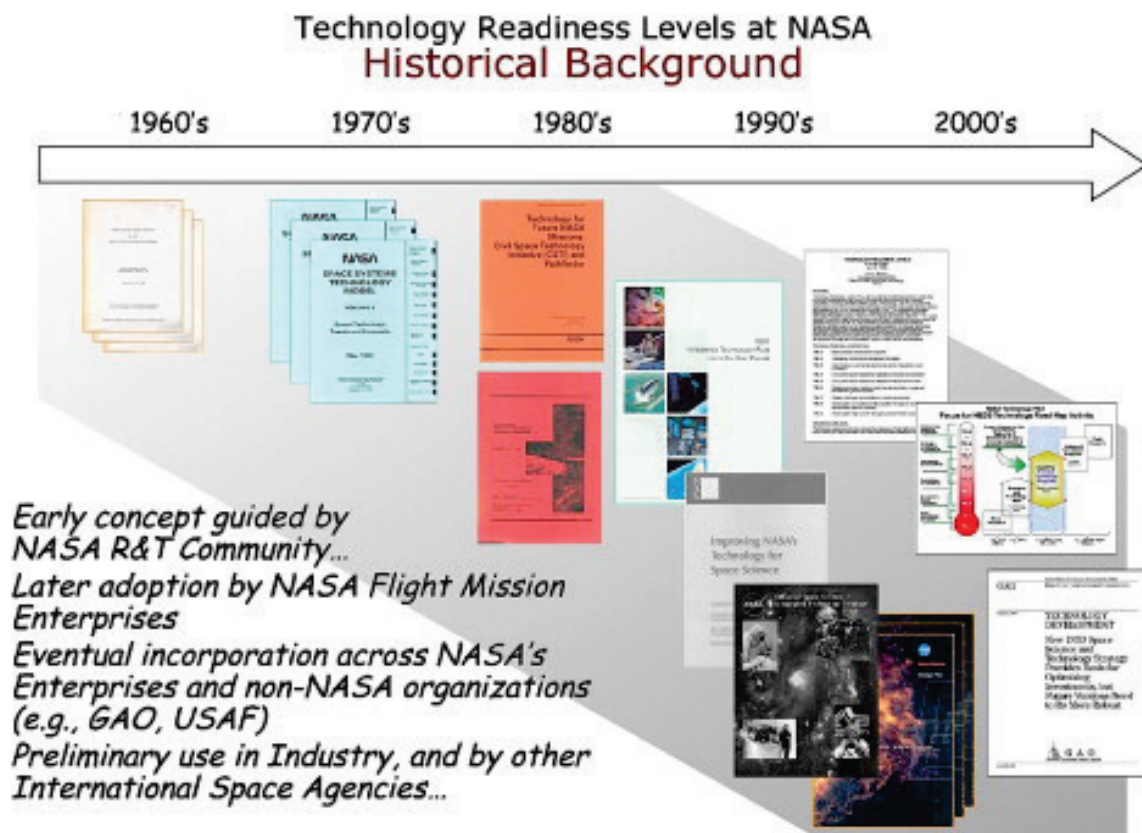


Abbildung 1: Verlauf der TRL Entwicklung in der NASA (aus: Mankins 2009)

³ Quelle: <http://www.acq.osd.mil/chieftechologist/publications/docs/TRA2011.pdf>; abgerufen im März 2016

⁴ Quelle: <http://www2.lbl.gov/dir/assets/docs/TRL%20guide.pdf>; abgerufen im März 2016

1.3.2 Der Technology Readiness Level als Planungswerkzeug für technische Entwicklungsprojekte

Im TRL-White Paper aus dem Jahr 1995 wird das Konzept der *Technology Readiness Levels* folgendermaßen definiert: *“Technology Readiness Levels (TRLs) are a systematic metric/measurement system that supports assessments of the maturity of a particular technology and the consistent comparison of maturity between different types of technology”* (Mankins 1995: 1). *Technology Readiness Levels* sind demnach in erster Linie als ein systematisches Monitoring- und Planungswerkzeug zu verstehen, das Auskunft über die Reife einer Technologie gibt. Hierzu wird der *Technology Readiness Level* als dimensionslose Leistungszahl einer neunstufigen Skala angegeben (Mankins 2009). Durch die Bestimmung der Technologiereife erhält man also eine Lokalisierung der Technologie auf dieser neunstufigen Skala. Der TRL ermöglicht auch einen Vergleich der Reife unterschiedlicher Technologien. Durch die Anwendung von TRLs kann aber auch die Effektivität der F&E-Leistungen erhöht werden, indem Wissenslücken aufgezeigt werden. Auf Basis der identifizierten Wissenslücken können Entscheidungen (z.B. von Regierungen, Projektmanagern, Förderinstitutionen etc.) auf einer profunderen Basis getroffen werden (Azizian et al. 2009). Der TRL-Ansatz soll in diesem Fall eine bessere Kontrolle der Risiken einer Technikentwicklung ermöglichen. Somit kann der TRL-Ansatz auch als Werkzeug für das Risikomanagement in der Technologieentwicklung angesehen werden (Moorehouse 2002).

Grundsätzlich wird der TRL einer Technologie im Rahmen von sogenannten *Technology Readiness Assessments* (TRAs) erhoben. TRAs sind formale, systematische und auf Metriken basierte Verfahren, die von Organisationen (z.B. Department of Defense, Department of Energy, NASA) angewendet werden, um die Reife einer Technologie (Teil), die in einem bestimmten System (Ganzes) angewendet werden soll, zu bestimmen. Technologien im Kontext eines TRA-Verfahrens werden als *Critical Technology Elements* (CTEs)⁵ bezeichnet (Department of Defense TRA-Deskbook 2009). Bei einem Drehflügelflugzeug (z.B. Hubschrauber) lassen sich solche *Critical Technology Elements* zum Beispiel bei den Rotorenlagern und bei den einzelnen Rotoren identifizieren, da diese Elemente, neben der Aerodynamik und der Flugwerksstruktur, wesentlich zur Funktionsweise bei dieser Art von Luftfahrzeugen beitragen.

Die Reife solcher CTEs wird ebenfalls anhand der neunstufigen TRL-Skala operationalisiert. Abbildung 2 zeigt eine graphische Darstellung der neunstufigen Skala und beschreibt kurz die wesentlichen Charakteristika jeder Stufe. Die einzelnen Reifegrade reichen dabei von TRL 1 (Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips) bis hin zu TRL 9 (Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes). Jeder Reifegrad ist durch bestimmte Charakteristika definiert. Eines der verwendeten Charakteristika ist der Anwendungsmaßstab. Dieser reicht von der Anwendung der untersuchten Technologie in einer Komponente, einem Gerät bis hin zu Subsystemen und Systemen. Ein weiteres Merkmal

⁵ Eine Technologie wird dann als „kritisch“ eingestuft, wenn diese Technologie als wichtige Komponente identifiziert wurde, um die operationellen Anforderungen des zu entwickelnden Systems zu erfüllen. Die Technologie wird auch dann als kritisch eingestuft, wenn diese Technologie neuartig ist oder in einem Bereich mit hohen technologischen Risiken zum Einsatz kommt (DoD TRA Deskbook 2009, S. 6).

stellt die Umwelt oder Umgebung dar, in welcher die Technologie zum Einsatz kommt. Als Umwelt bezeichnet man z.B. das Labor, mathematische Modelle, physikalische Simulationen, Feldversuche bzw. den Betrieb in der intendierten Einsatzumgebung (Department of Defense TRA-Deskbook 2009). Betrachtet man exemplarisch die Stufe 7 der TRL Skala, so stellt sich heraus, dass ein wesentliches Kriterium zum Erreichen der TRL 7 darin besteht, die bewertete Technologie in ihrer Einsatzumgebung zu demonstrieren. Die Definition der Einsatzumgebung kann sich je nach zu untersuchender Technologie unterscheiden. In der Raumfahrt ist es das Weltall, wohingegen die Einsatzumgebung bei der Schifffahrt Binnengewässer oder Meere sind.

Diese Eigenschaft macht es notwendig, die Definition der TRLs an das anzuwendende Technologiefeld anzupassen. Standards, so wie sie bereits für die Reifebewertung in der Raumfahrt vorherrschen (ISO 16290 2013)⁶, sind hierbei wichtig, da sie eine sektorenspezifische Definition der TRLs beinhalten. Dieser ISO-Standard wurde von den europäischen und internationalen Raumfahrtagenturen in Kooperation mit dem Department of Defense und der Industrie erarbeitet.

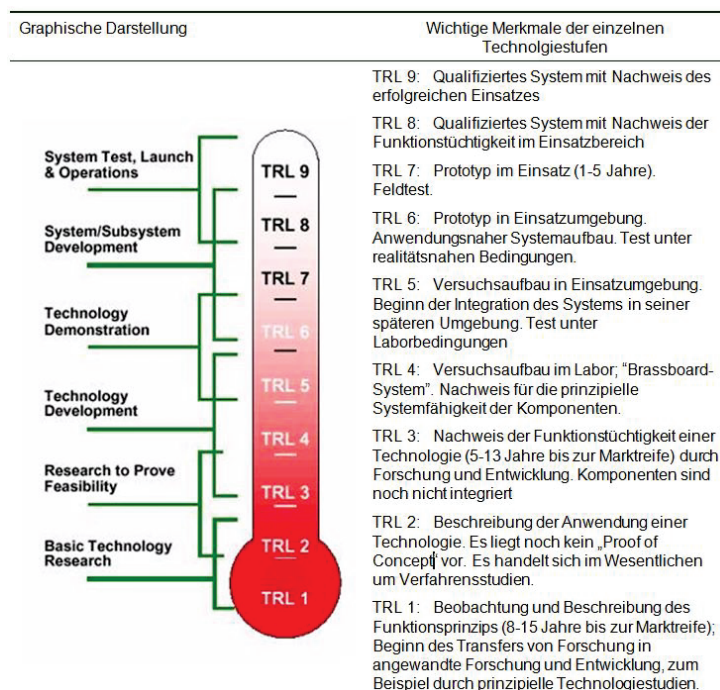


Abbildung 2: Definition der Technologiereifegrade in Anlehnung an die TRL-Definition der NASA⁷

⁶ Quelle: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=56064; abgerufen im März 2016

⁷ Quelle: <http://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/Forschung/BGE/Brennstoffzellenseiten/Systementwicklung/Systementwicklung.html>

1.3.3 Anwendungsfelder der TRLs

Die Bewertung der Technologiereife mittels TRLs erfolgt nicht nur im Bereich der internationalen Luft- und Raumfahrt, das Verfahren wird mittlerweile auch in anderen Kontexten genutzt. In den USA wird das TRL-System unter anderem vom Department of Defense⁸, dem Department of Energy⁹ und dem Department of Homeland Security¹⁰ genutzt. Neben dieser formellen Anwendung von TRLs, die in *Technology Readiness Assessment* Handbüchern detailliert beschrieben ist, erfolgt zunehmend auch eine informelle Nutzung von TRLs im Rahmen von Forschungsförderungsprogrammen. Informell bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Bewertung kein dezidiertes Handbuch bzw. Verfahren zugrunde gelegt wird. In diesen Anwendungsfeldern wird beispielsweise ein Antragsteller aufgefordert, anhand der TRL-Skala, wie sie in Abbildung 2 dargestellt ist, den Reifegrad der geplanten Kerninnovation zu Projektbeginn und zu Projektende abzuschätzen. Exemplarische Beispiele dafür finden sich bei Förderprogrammen der Europäischen Union (H2020)¹¹, des deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Energie¹² sowie bei nationalen Programmen der FFG¹³ oder des Klima und Energiefonds¹⁴. Im Gegensatz dazu verwendet etwa die New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA) auch im Zuge von Projektanträgen eine formelle, systematisierte Methode zur Technologiereifebewertung. Antragsteller im Programm zu neuen und innovativen Energiespeichersystemen (Project Opportunity Notice 2458) mussten die Reife der in den Anträgen beschriebenen Technologien mit einem zur Verfügung gestellten Berechnungsinstrument (NYSERDA TRL-Calculator)¹⁵ ermitteln und das Ergebnis der Auswertung dem Antrag beilegen¹⁶.

Die European Association of Research and Technology Organisations (EARTO) hat sich im Jahr 2014 in einem Kurzbericht mit der Verwendung von TRLs als F&I Policy Tool in der europäischen Forschungslandschaft auseinandergesetzt und Empfehlungen ausgesprochen. Im Bericht wird auch festgestellt, dass relevante F&E-Akteure (EntscheidungsträgerInnen, ForscherInnen, Förderinstitutionen etc.) bislang nicht ausreichend über das Instrument der

⁸ Quelle: <http://www.acq.osd.mil/chieftechologist/publications/docs/TRA2011.pdf>, zuletzt abgerufen im März 2016

⁹ Quelle: <http://www2.lbl.gov/dir/assets/docs/TRL%20guide.pdf>, zuletzt abgerufen im März 2016

¹⁰ Quelle: http://www.homelandsecurity.org/docs/reports/DHS_ST_RL_Calculator_report20091020.pdf; zuletzt abgerufen im März 2016

¹¹ Quelle: http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf, abgerufen im März 2016

¹² Quelle: http://www.tuvpt.de/fileadmin/downloads/TRL_NFST_PT-TUEV.pdf, abgerufen im März 2016

¹³ http://www.eco.at/news/docs/31734_02%20Graz_Produktion_2015.pdf, abgerufen im März 2016

¹⁴ Quelle: https://www.awsg.at/Content.Node/files/ergaenzendeinfos/study2market_Leitfaden.pdf, abgerufen im März 2016

¹⁵ Der NYSERDA TRL Kalkulator besteht in seiner ursprünglichen Version aus 137 Ja/Nein Fragen, deren Beantwortung zu einem Ergebnis (TRL 1-9) führt. Mittlerweile wurde dieser Kalkulator überarbeitet und ist in der ursprünglichen Form nicht mehr zum Herunterladen verfügbar. Der neue Kalkulator besteht aus 35 Fragen und umfasst nun neben dem TRL auch die Reife der Kommerzialisierung (CRL). Dieser Kalkulator ist unter folgendem Link verfügbar: <http://www.nyserda.ny.gov/-/media/Files/FO/Current%20Funding%20Opportunities/PON%203198/3198attc3.xlsx>

¹⁶ Quelle: <http://www.nyserda.ny.gov/-/media/Files/FO/Closed-Opportunities/2015/2458summary.pdf>; abgerufen im März 2016

TRLs informiert sind. Zudem enthält der Bericht einen Vorschlag zur Präzisierung der TRL-Skala, die im Annex G¹⁷ der H2020 Arbeitsprogramme angeführt ist (EARTO 2014: 14).

1.3.4 Vorteile und Nachteile der Technologiereifebewertung mittels TRL

Die Bewertung der Technologiereife mittels TRLs hat wie andere Werkzeuge sowohl Vor- als auch Nachteile. Kritiker des TRL-Systems meinen, dass das Konzept subjektiv, ungenau und unzureichend definiert ist. Entscheidungen, die auf Basis von Ergebnissen einer TRL-Bewertung getroffen werden, haben deshalb nur eine begrenzte Validität (Cornford 2004). Als positives Argument kann man anführen, dass TRLs als gemeinsame „Sprache“ innerhalb eines interdisziplinären Teams dienen kann. Das wiederum kann zu besserer Planung und Kostenkontrolle führen (DoD 2005, GAO 1999). Aufgrund dieser Ambivalenz haben wir nachfolgend einen kurzen Überblick über die bislang diskutierten Vor- und Nachteile des TRL-Systems zusammengestellt.

Vorteile des TRL-Systems

- TRLs können zu einer besseren Kostenkontrolle während des Entwicklungsprozesses führen (Azizian et al. 2009).
- TRLs können bei der Einhaltung von Zeitplänen unterstützen (Azizian et al. 2009).
- TRLs können Wissenslücken aufzeigen und regen zur Kommunikation zwischen unterschiedlichen Stakeholdern an.
- TRLs ermöglichen eine genaue und effektive Abschätzung der Technologiereife von Komponenten (DoD 2005; Smith 2004; Mankins 2002; GAO 1999).
- Die Vernetzung von Stakeholdern während der Bestimmung der Technologiereife unterstützt die Entwicklung einer reflexiven Sichtweise auf das analysierte „Technikfeld“ (Graettinger et al. 2002).
- Es handelt sich um ein relativ schnell durchführbares und iteratives Verfahren. Es kann mehrmals begleitend während des Technologieentwicklungsprozesses durchgeführt werden (DoD 2005; Graettinger et al. 2002).

Nachteile des TRL-Systems

- Die Reife von technischen Systemen (wie z.B. eines Smartphones) kann mittels TRL nicht angemessen ermittelt werden (Smith 2004; Graettinger et al. 2002; Valerdi & Kohl 2004).
- Integrationsproblem: Die Integration einer Technologie in ein System erfordert mehr als nur die Reife der zu integrierenden Technologie. Dieser Aspekt wird durch TRLs nicht abgedeckt. Sobald eine reife Technologiekomponente in ein System integriert werden soll, kann es zu so genannten Integrationsproblemen kommen (Smith 2004; Valerdi & Kohl 2004; Graettinger et al. 2002, Cornford et al. 2004).
- Subjektivität: Die einzelnen TRL-Stufen lassen einen gewissen Interpretationsspielraum zu (Cornford et al. 2004).

¹⁷ Quelle: http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2016-2017/annexes/h2020-wp1617-annex-ga_en.pdf, zuletzt abgerufen im März 2016

- Der TRL gibt keine Auskunft darüber, wie eine bestimmte Technologie gemessen an vorgegeben Leistungskriterien abschneidet, sondern im Wesentlichen nur, ob sie überhaupt funktioniert (Mahafza 2005).
- Viele, sehr verschiedene Aspekte der Technologieentwicklung werden in einer einzigen Metrik ausgedrückt (Smith 2004). Diese Kritik wird auch als „Eindimensionalität des TRL“ bezeichnet.
- Unsicherheiten, die den Entwicklungsprozess und die Integration einer Technologie begleiten, bleiben durch den TRL unbeachtet (Smith 2004; Valerdi und Kohl 2004).

Die oben angeführten Nachteile des ursprünglichen TRL-Systems haben zu einer Reihe von Weiterentwicklungen und Adaptionen geführt (z.B. Reifebewertung von Software, Integration Readiness Level). Im folgenden Abschnitt gehen wir auf verschiedene Methoden ein, die im Kontext der Technologiereifebewertung entwickelt wurden.

1.3.5 Andere Methoden zur Reifebewertung von Technologien

Die zunehmende Verwendung der TRLs in Bereichen, die vom ursprünglichen Entstehungskontext (Raumfahrt) der Methode abweichen, hat zu einer Reihe von Ergänzungen und Adaptierungen des TRL-Konzeptes geführt. Azizian et al. (2009) konnten nach einer umfassenden Literaturrecherche zu methodischen Ansätzen zur Reifebewertung von Technologien zeigen, dass man diese Ansätze grob in folgende drei Gruppen unterteilen kann: (1) qualitative Methoden, (2) quantitative Methoden und (3) „automatisierte“ Methoden oder Kalkulatoren.

Da sich diese Klassifizierung als praktikabel und nachvollziehbar erweist, nutzen wir sie, um die unterschiedlichen methodischen Adaptierungen und Erweiterungen des TRL-Systems kurz zu skizzieren.

Bevor wir auf die drei Klassen näher eingehen, wollen wir zunächst schildern, wie bei der Reifebewertung von Technologien vorgegangen wird. Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, erfolgt die Reifebewertung von Technologien mittels TRLs meistens im Rahmen von sogenannten *Technology Readiness Assessments* (TRA). Wir illustrieren einen solchen TRA-Prozess am Beispiel des Department of Energy (DoE TRA Guide 2011) und des Department of Defense Verfahrens (DoD TRA Deskbook 2009). Zunächst wird ein Zeitplan erstellt, in welchem Meilensteine und Programmziele definiert werden. Mit der Identifikation von *Critical Technology Elements* (CTEs) durch die Beantwortung einer Anzahl von Fragen, beginnt auch der Prozess des TRA. Zur Identifikation von CTEs werden beispielsweise folgende Fragen verwendet (nach DoD TRA Deskbook 2009, nur eine Auswahl der Fragen):

1. Ist davon auszugehen, dass die Technologie einen signifikanten Einfluss auf die Funktionsfähigkeit, die Kosten oder den Zeitplan hat?
2. Stellt diese Technologie eine hohes Entwicklungs- oder Demonstrationsrisiko dar?
3. Ist die Technologie neu bzw. neuartig?

Falls die erste Frage und zusätzlich zumindest eine der anderen Fragen mit „Ja“ beantwortet wird, handelt es sich nach dieser Definition um eine CTE. Für die identifizierten CTEs wird anschließend auf ähnliche Weise durch die Beantwortung einer Anzahl von Fragen der TRL anhand der bereits weiter oben erwähnten neunstufigen Skala bestimmt. Falls das TRL-Ergebnis den Reifeanforderungen, die zu diesem Zeitpunkt erreicht sein müssen, nicht entspricht, spricht man von einem „Reifegraddefizit“. Dieses Defizit wird in Folge mittels weiteren Evaluationen, Tests oder zusätzlicher Entwicklungsarbeit überbrückt. Das Ziel besteht darin, dass die Technologie die geforderte Reife erlangt. Sogenannte *Technology Maturation Plans* (TMPs) können dazu verwendet werden, die notwendigen Schritte zu identifizieren, um unreife CTEs auf den gewünschten TRL zu bringen. Der Bewertungsprozess wird üblicher Weise von Teams durchgeführt und erfolgt begleitend zur Entwicklungstätigkeit im Rahmen eines Projekts.

In den folgenden Abschnitten stellen wir drei Klassen von Methoden und die dabei jeweils verwendeten Ansätze kurz vor. Nähere Details zu den einzelnen Methoden können der angeführten Literatur entnommen werden.

1.3.5.1 Qualitative Methoden zur Reifebewertung

Bei diesen Methoden werden die einzelnen Stufen der Technologiereife qualitativ beschrieben. Die deskriptive Beschreibung der einzelnen Reifestufen ermöglicht einen gewissen Interpretationsspielraum. Der Interpretationsspielraum der Gutachter kommt vor allem dann zum Tragen, wenn die erhobenen „Leistungen“ und „Evidenzen“ im Rahmen eines Bewertungsverfahrens nicht eindeutig einer Reifestufe zuzuordnen sind (DoD 2009). Ein weiteres Merkmal qualitativer Methoden ist die Simplifizierung der Reife. Das bedeutet, dass die Reife mit einem einzigen Wert auf einer Skala von 0-X angegeben wird. Neben TRLs werden auch MRLs (*Manufacturing Readiness Levels*) und IRLs (*Integration Readiness Levels*) zu den qualitativen Methoden gezählt. Sie dienen dazu, die Reife des Produktionsprozesses (MRL) bzw. die Integrationsreife von mehreren Technologien zu bestimmen. MRLs und IRLs basieren ähnlich wie TRLs auf mehrstufigen deskriptiv-qualitativen Skalen und zeichnen sich damit ebenfalls durch einen entsprechenden Interpretationsspielraum aus.

Tabelle 1 listet Ergänzungen, Adaptionen und Weiterentwicklungen des ursprünglichen TRL-Systems, die beispielsweise dazu dienen, die Integration mehrerer Technologien (IRL) oder die Reife von Produktionsprozessen (MRL) zu bestimmen. Neben diesen Weiterentwicklungen des ursprünglichen TRL-Ansatzes in Richtung einer systemischen Perspektive, haben auch Anpassungen hinsichtlich der Anwendungsfelder stattgefunden (z.B. TRLs für Software). Darüber hinaus wurden auch Metriken entwickelt, die zum Ziel haben, mögliche Schwierigkeiten beim Wechsel von einem niedrigen auf einen höheren Reifegrad zu quantifizieren (Research and Development Degree of Difficulty RD³).

Tabelle 1: Qualitative Methoden der Technologiereifebewertung

Methode	Kurzbeschreibung und Referenz
Technology Readiness Level (TRL) für nicht systembasierte Technologien	Erweiterung der ursprünglich von der NASA definierten TRL-Beschreibung, die darauf abzielt, auch nicht systembasierte Technologien, wie zum Beispiel Prozesse, Methoden, Algorithmen und Architekturen, zu erfassen (Graettinger et al. 2002).
TRL für Software	Erweiterung der ursprünglich von der NASA definierten TRL-Metrik, um Software adäquat bewerten zu können (DoD Deskbook 2009).
Manufacturing Readiness Level (MRL)	Der MRL ist eine 10-stufige Skala. Sie wird verwendet, um den aktuellen Reifegrad eines Produktionsprozesses zu bewerten. Er identifiziert Defizite in der Reife und damit assoziierte Risiken (GAO 2010).
Integration Readiness Level (IRL)	Der IRL ist eine 9-stufige Skala, die darauf abzielt, die Reife, Kompatibilität und Bereitschaft von Schnittstellen zwischen verschiedenen Technologien zu bewerten. Der IRL beinhaltet zudem Instrumente, die die Unsicherheit bei der Integration und den Reifeprozess von Technologien in einem System minimieren (Gove 2007).
Technology Readiness Transfer Level (TRTL)	Der TRTL ist eine 9-stufige Skala, die die Entwicklung des Technologietransfers hin zu einer neuen Anwendung beschreibt. Die klassische TRL-Definition ist hier erweitert und modifiziert, um die Reife in Bezug auf den Transfer von Raumfahrttechnologien in andere Anwendungsgebiete abzubilden (Holt 2007 in Azizian et al. 2009).
Moorehouse Risiko versus TRL Metrik	Moorehouse Risiko versus TRL-Metrik ist eine 9-stufige Skala, die die Risikoentwicklung analog zur Reifeentwicklung abbildet. Die TRL-Beschreibung ist speziell auf UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) zugeschnitten (Moorehouse 2002).
Advanced Degree of Difficulty (AD2)	Mit dem Advanced Degree of Difficulty (AD2) werden die Entwicklungsziele bewertet, die erreicht werden müssen, um ein System, ein Subsystem oder eine Komponente von einem TRL zu einem höheren (antizipierten) TRL zu heben. Der Advanced Degree of Difficulty beruht ebenfalls auf einer adaptierten 9-stufigen TRL-Skala (Bilbro 2002, 2006, 2007). Der AD2 basiert zum Teil auch auf dem Prinzip des RD3 (siehe nachfolgend).
Research and Development Degree of Difficulty (RD3)	Der RD3 ist eine Ergänzung zur TRL Metrik und weist eine 5-Stufige Skala auf. Er misst den Grad der Schwierigkeit (Degree of Difficulty), welcher beim Übergang von einem bestimmten TRL zu einem höheren TRL auftritt (5= sehr schwierig, 1 = am wenigsten schwierig) (Mankins 2002).

1.3.5.2 Quantitative Methoden zur Reifebewertung

Quantitative Methoden wurden entwickelt, um die Reifebewertung von Technologien zu objektivieren. Die Gemeinsamkeit der quantitativen Methoden liegt darin, dass ihnen mathematische Modelle zugrunde liegen. Die Bewertung der Reife erfolgt demnach über einen mathematischen Berechnungsschritt und nicht wie bei den qualitativen Methoden über die Einstufung anhand deskriptiver Kriterien. Das Ergebnis der quantitativen Reifebewertung ergibt sich aus Operationen zwischen zwei oder mehreren System-Metriken. Daher ist das Ergebnis nicht zwangsläufig ein Technologie- bzw. Systemreifegrad. Zum Teil gibt das Ergebnis Auskunft über die Risiken, die bei der Entwicklung eines Produkts auftreten können. Beispielsweise zielt die Reifebewertung nach ITAM (*Integrated Technology Analysis Methodology*) auf die Quantifizierung der kumulierten „Systemherausforderungen“. Die Systemherausforderungen ergeben sich aus den einzelnen „technologischen Herausforderungen“ (Risiken), welche im System auftreten (Mankins 2002). Die reife Technologie ergibt sich also auf Basis des identifizierten Risikos der Technologieentwicklung. Je reifer die Technologie, desto geringer ist demnach das Risiko.

Ein Nachteil der quantitativen Methoden liegt darin, dass ihre Anwendung mit einem höheren Aufwand verbunden ist und sie dadurch weniger gut dafür geeignet sind, iterativ eingesetzt zu werden. Des Weiteren können Rechenfehler zu maßgeblichen Ungenauigkeiten bei der Reifebewertung führen (Azizian et al. 2009).

Tabelle 2: Quantitative Methoden der Technologiereifebewertung

Methoden	Kurzbeschreibung und Referenz
System Readiness Level (SRL)	Der SRL ist eine normierte Matrix von paarweisen Vergleichen von TRLs und IRLs eines Systems. Es ist eine quantitative Methode, die Einblicke in die Systemreife über das Produkt von IRLxTRL ermöglicht (Sauser et al. 2006, 2007, 2008).
SRL Max	Der SRL Max ist ein mathematisches Modell, um den SRL unter limitierten Ressourcen zu maximieren. Das Ziel ist es, die höchstmögliche Systemreife unter eingeschränkten Ressourcen (Zeit oder Geld) zu erreichen (Ramirez-Marquez et al. 2009).

Methoden	Kurzbeschreibung & Referenz
Technology Readiness and Risk Assessment (TRRA)	Das TRRA ist ein quantitatives Risikomodell, das den TRL, den Degree of Difficulty (RD3) und den Technology Need Value (TNV ¹⁸) miteinander verknüpft. Der TRRA erweitert die Risikomatrix dahingehend, dass auf der y-Achse die „Wahrscheinlichkeit des Scheiterns“ und auf der x-Achse die „Konsequenzen des Scheiterns“ abgebildet sind (Mankins 2009).
Integrated Technology Analysis Methodology (ITAM)	Das ITAM ist ein quantitatives mathematisches Modell, welches unterschiedliche Systemmetriken integriert und die kumulative Reife des Systems basierend auf der Reife der einzelnen technischen Systemkomponenten kalkuliert. Die Systemmetriken inkludieren das TRL, delta TRL, RD3, und den Technology Need Value (TNV) (Mankins 2002).
TRL für Non-Developmental Item (NDI) Software	Hierbei handelt es sich um ein mathematisches Modell, welches sich auf die Reifebewertung von Software bezieht, da klassische TRLs für die Bewertung der Softwarereife nur bedingt nutzbar sind (Smith 2004).
Technology Insertion (TI) Metrik	Die Technology Insertion (TI) kombiniert verschiedene Metriken, die sich mit der Einführung (Insertion) von Technologien und Subsystemen in ein bereits bestehendes System beschäftigt. Ziel ist es, ein verbessertes Gesamtsystem zu entwickeln (Dowling and Pardo 2005).
TRL Schedule Risk Curve	Mit der TRL Schedule Risk Curve werden die Risiken einer Zeitplanverzögerung im Projektverlauf identifiziert. Das Wissen über potentielle Verzögerungen kann genutzt werden, um weitere darauf basierende Schritte zu setzen. (Dubos et al. 2007).

1.3.5.3 Automatisierte Methoden zur Reifebewertung (Kalkulatoren)

Automatisierte Methoden zur Reifebewertung von Technologien bestehen aus einer Software (z.B. Excel-Tabelle), die die Berechnung von Kennzahlen (bzw. einer Kennzahl) übernimmt. Grundlage für die Berechnung bilden Fragen zu den verschiedenen Stufen der Technologiereife oder zu Entwicklungs- und Designrisiken einer Technologie. Typischerweise werden diese Fragen jeweils mit Ja oder Nein beantwortet. Im Hintergrund der Software arbeitet ein Algorithmus, der am Ende der Eingabe ein Ergebnis berechnet. Der Unterschied zu den quantitativen Methoden besteht darin, dass keine manuellen Berechnungen durchgeführt werden müssen. Diesen Schritt übernimmt das Programm. Ein Vorteil von automatisierten Methoden ist, dass der Aufwand für die Berechnung der Kennzahlen entfällt. Dadurch

¹⁸ Der TNV ist eine Gütezahl, die ausdrückt, wie wichtig eine bestimmte technische Lösung ist, um die minimalen Anforderungen eines gegebenen Systems zu erreichen. Es korreliert mit der Idee, dass Technologien „Enablers“ sind. Die Nutzung des TNV ermöglicht ein differenzierteres Bild davon, welche technologischen Alternativen in einem bestimmten Fall zur Verfügung stehen (Mankins 2009).

kann Zeit gespart werden und wiederholte Berechnungen sind einfacher und miteinander vergleichbar. Zudem sind auf diese Weise Berechnungsfehler ausgeschlossen. Die automatisierten Methoden zur Reifebewertung lassen allerdings keine Aussagen über mögliche Potentiale zur Erreichung höherer Reifegrade, mögliche Risiken auf dem Weg zu höheren Reifegraden und über die Wahrscheinlichkeit des Erreichens höherer Reifegrade zu (Azizian et al. 2009).

Tabelle 3: Automatisierte Methoden der Technologiereifebewertung

Methode	Kurzbeschreibung und Referenz
Technology Readiness Level (TRL) Kalkulator	Beim TRL-Kalkulator handelt es sich um eine Excel-basierte Anwendung. Der erste TRL-Kalkulator wurde vom Air Force Research Laboratory (AFRL) ¹⁹ im Jahr 2004 entwickelt (Nolte et al. 2004). Auch die NASA hat einen eigenen TRL-Kalkulator. ^{20,21} Oft beinhalten die unterschiedlichen TRL-Kalkulatoren nicht nur die Berechnung des TRL, sondern auch weitere Metriken, wie z.B. MRL, <i>Advanced Degree of Difficulty</i> (AD2). ²² Mittlerweile haben auch andere Institutionen solche Kalkulatoren entwickelt, die zum Teil frei zugänglich sind. Ein Beispiel dafür ist die New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA), die einen TRL- bzw. CRL- (<i>Commercialization Readiness Level</i>) Kalkulator für Antragsteller entwickelt hat. ²³
Manufacturing Readiness Level (MRL) Kalkulator	Der MRL-Kalkulator ist ebenfalls ein in Excel umgesetztes Berechnungsprogramm zur Bewertung des Reifegrades eines Produktionsprozesses. Manche TRL-Kalkulatoren haben zusätzlich auch einen MRL-Kalkulator implementiert, wie beispielsweise der Kalkulator des Department of Homeland Security. ²⁴

¹⁹ Download unter: <https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiYmf2n1LXKAhXC7w4KHZUYCFcQFggfMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cesames.net%2Ffichier.php%3Fid%3D48&usg=AFQjCNE9Uy01bERQtmuOUzSBo5b4gkJMw&cad=rja>

²⁰ Download unter: <https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&sqi=2&ved=0ahUKEwiirZiD2bXKAhXHjQ8KHel5CiYQFghKMAY&url=https%3A%2F%2Facc.dau.mil%2Fadl%2Fen-US%2F320593%2Ffile%2F46756%2FTRL%2520Calculator%2520Ver%2520Bl.1%2520beta.xls&usg=AFQjCNEqnf2eAk6J6VYhgswS7oeyNXLUww&bvm=bv.112064104,d.ZWU&cad=rja>

²¹ Download unter: https://esto.nasa.gov/files/TRL_Worksheet_11-30-10.xls

²² Download unter: https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=17&ved=0ahUKEwifqonq27XKAhVHvA8KHSHVA404ChAWCE4wBg&url=http%3A%2F%2Faccnotes.com%2FAttachments%2FTechnology%2520Readiness%2520Calculator.xls&usg=AFQjCNFr9SoYZPbwcQGN3_tihKybOAIW&bvm=bv.112064104,d.ZWU&cad=rja

²³ Download unter: <http://www.nyserda.ny.gov/-/media/Files/FO/Current%20Funding%20Opportunities/PON%202606/2606attac2.xlsm>

²⁴ Download unter: https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&sqi=2&ved=0ahUKEwiirZiD2bXKAhXHjQ8KHel5CiYQFghFMAU&url=http%3A%2F%2Fwww.homelandsecurity.org%2Fdocs%2FDHS_RL_Calculator_Excel_2007_v1-1.xlsm&usg=AFQjCNGCo1iYGyloF_H3UiPZrwWRX4sfnA&bvm=bv.112064104,d.ZWU&cad=rja

Technology Program Management Model (TPMM)	Das TPMM nutzt sowohl quantitative als auch qualitative Methoden. Beim TPMM handelt es sich um ein Technologieentwicklungsmodell, das in unterschiedliche Phasen gegliedert ist. Jeder TRL wird hier als eine Stufe definiert die so genannte „Exit Kriterien“ beinhaltet. Anhand einer Checkliste wird ermittelt, ob alle Kriterien erfüllt sind oder nicht. Bei Erfüllung der Kriterien wird die nächste Stufe (=nächster TRL) erreicht. TPMM basiert auf einem Systemingenieuransatz und wurde vom Space and Missile Defense Technical Center im Jahr 2006 entwickelt. ²⁵
--	---

1.3.6 Resümee: Methoden zur Reifebewertung von Technologien

Dieser Überblick zeigt, dass mittlerweile eine breite Palette an Methoden zur Bewertung der Reife von Technologien existiert. Die meisten der hier kurz dargestellten Methoden sind Modifikationen oder Erweiterungen des ursprünglichen TRL-Konzepts (z.B. Manufacturing Readiness Level, Integration Readiness Level). Die Entwicklung der quantitativen Methoden sollte eine objektivere, weniger durch subjektive Einschätzungen geprägte Bewertung der Reife von Technologien ermöglichen. Zum Teil scheint dies auch tatsächlich gelungen zu sein, da die Einschätzung der Reife bei diesen Ansätzen aus der Beantwortung einer großen Anzahl von Detailfragen resultiert. Kalkulatoren bauen auf diesen quantitativen Ansätzen auf, erhöhen die Benutzerfreundlichkeit und tragen zu einer Reduktion möglicher Berechnungsfehler bei. Gemeinsam ist den hier beschriebenen Methoden die Orientierung am TRL-Konzept, das ursprünglich als ein Monitoring- und Managementwerkzeug zur effektiven und sicheren Technikentwicklung im Bereich der Raumfahrt entwickelt wurde. Die starke Ausdifferenzierung der Methoden zeigt, dass die Reifebewertung von Technologien eng mit dem jeweiligen Technologiefeld und der jeweiligen Zielsetzung verknüpft ist. Der Anwendungskontext und das Marktumfeld werden bei der Reifebewertung von Technologien bislang nicht oder bestenfalls in Ansätzen berücksichtigt.

Die Anwendung von TRL-Methoden im Zusammenhang mit urbanen Technologien ist problematisch. Dies liegt zum einen an der notwendigen Einbettung der Technologien in das städtische „Ökosystem“ und zum anderen an den unterschiedlichen Anforderungen und Zielen, die mit urbanen Technologien adressiert werden. Neue Technologien sollen die Ressourcen- und Energieeffizienz erhöhen, innovative Mobilitätslösungen unterstützen oder einen Beitrag zur Erhöhung der Lebensqualität leisten. Die Realisierung dieser Ziele hängt stark von Geschäftsmodellen, Regeln und kulturellen Wertvorstellungen ab. Das breite Anforderungsprofil urbaner Technologien verlangt daher nach einer Methode, die dieser Bandbreite an Bedeutungen gerecht werden kann.

²⁵ Quelle: <http://www.tpmm.info/index.html>; abgerufen im März 2016

2 Ergebnisse

Die wesentliche Aufgabe dieser Studie besteht darin, ein Modell zur Bewertung der Reife soziotechnischer Innovationen im urbanen Kontext zu entwerfen und exemplarisch zu testen. Vorhandene Ansätze und Methoden zur Bewertung der Reife von Technologien wurden bereits in Kapitel 1.3 dargestellt. Im Vergleich dazu wählt das hier vorgeschlagene Modell eine andere, in einem gewissen Sinn breitere, die gesellschaftliche Anwendung und Durchsetzung von Technik einschließende Perspektive. Dazu beschäftigen wir uns zunächst etwas näher mit einigen zentralen Konzepten zur theoretischen Bestimmung soziotechnischer Systeme, bevor wir unser Modell zur Bewertung soziotechnischer Innovationen darstellen. Im Anschluss daran präsentieren wir fünf Fallstudien, die dazu dienen, das Modell zu testen und in weiterer Folge zu verbessern.

2.1.1 Soziotechnische Systeme

Der Begriff „soziotechnisches System“ (*socio-technical system*) wurde in den 1950er Jahren im Zusammenhang mit industriesoziologischen Untersuchungen am Tavistock Institute of Human Relations in London geprägt (Jackson 2009). Die zentrale Idee dabei war, Organisationen, Unternehmen oder Teilbereiche von Unternehmen (z.B. Arbeitsgruppen in der Industrie) als soziotechnische Systeme zu betrachten. Solche Systeme bestehen demnach aus einer technischen und einer sozialen Teilkomponente (z.B. Maschinen und Menschen), die, in Hinblick auf ihre Aufgabenstellung, nicht voneinander getrennt sondern als miteinander verbundene und gegenseitig abhängige Subsysteme betrachtet werden müssen (Emery 1972). Eine zentrale Konsequenz dieser Sichtweise besteht darin, dass die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems nicht zwingend durch die Verbesserung der beiden Subsysteme hergestellt werden kann. Die bahnbrechenden Forschungen des Tavistock Institutes bildeten Jahre später die Grundlage für Bestrebungen zur Demokratisierung der Industrie in Norwegen oder für die richtungweisenden Experimente mit semi-autonomen Arbeitsgruppen beim schwedischen Autohersteller Volvo in den 1970er Jahren (Jackson 2009).

In Anlehnung an diese frühen industriesoziologischen Arbeiten entwarf der deutsche Technikphilosoph Günter Ropohl eine Systemtheorie der Technik (Ropohl 1979), in der er die Analyse soziotechnischer Zusammenhänge in den Mittelpunkt stellt. Ein soziotechnisches System ist bei Ropohl als Handlungs- oder Arbeitssystem konzipiert, in dem menschliche und sachtechnische Subsysteme eine integrale Einheit eingehen (ibidem 141). Artefakte und technische Sachsysteme entstehen in bereits existierenden soziotechnischen Systemen. Jede Sachverwendung bedeutet die Bildung eines soziotechnischen Systems, in dem menschliche Funktionsträger mit sachtechnischen Funktionsträgern zu einer Handlungseinheit verschmelzen (ibidem 241). Erst in der Anwendung von Sachtechnik realisiert sich die Funktion des Sachsystems, die zuvor nur als „Potenzialfunktion“ angelegt war. Dementsprechend umfasst Technik nach Ropohl nicht nur die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme), sondern auch die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und

die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden (Ropohl 1979, 31). Ropohl verortet soziotechnische Systeme auf drei unterschiedlichen Hierarchiestufen: Auf der Handlungsebene charakterisiert er soziotechnische Systeme als Mensch-Maschine-Einheiten; auf der Ebene von Organisationen haben wir es mit soziotechnischen Mesosystemen zu tun (ein Beispiel dafür wäre der Industriebetrieb); und auf der Ebene der Gesellschaft sind es soziotechnische Makrosysteme, exemplarisch vergegenständlicht als große Infrastrukturen wie etwa das Internet.

In einer späteren Publikation argumentiert Ropohl (1999) auf der Grundlage seiner Systemtheorie, dass die technische Entwicklung im Grunde als die Bildung von neuen soziotechnischen Systemen interpretiert werden muss. In einem ersten Schritt besteht dieser Prozess in der Schaffung einer ständig steigenden Anzahl an neuen technischen Objekten, die in einem zweiten Schritt in menschliche Handlungsbeziehungen eingeführt werden.

Soziotechnische Denkweisen finden sich auch in den Forschungen zu großen technischen Systemen (Mayntz und Hughes 1988) und in der Akteur-Netzwerk-Theorie (Latour 1987). Hughes (1986) hat den Begriff des *seamless web* geprägt, um auf den heterogenen Charakter von großen technischen Systemen hinzuweisen. Das von Hughes untersuchte Beispiel ist das Elektrizitätssystem, bei dem technische Artefakte, technische Infrastrukturen, Regeln, Verträge, soziale Praktiken, ökonomische Transaktionen und vieles mehr fließend ineinandergreifen. Die Vertreter der Akteur-Netzwerk-Theorie gehen noch einen Schritt weiter. Hier werden die Unterschiede zwischen Natur, Gesellschaft und Technik zur Gänze aufgehoben. Mit dieser Prämisse versucht die Akteur-Netzwerk-Theorie zu erklären, wie Netzwerke aus menschlichen und nicht-menschlichen Elementen entstehen, um als Ganzes zu handeln. Soziotechnische Systeme erscheinen in dieser Forschungsperspektive als Netzwerke, in denen die Zahl an Elementen erhöht und die Beziehungen zwischen den heterogenen Elementen durch beständige Tätigkeit integriert und stabilisiert werden. Netzwerkmuster, die beständig wiederholt werden und sich damit verfestigen, etwa in Form von Routinen, bilden sogenannte Netzwerkpakete. Solche „Pakete“ tragen dazu bei, die Komplexität von Innovationsprozessen zu reduzieren, indem sie weitgehend unhinterfragt in neue Netzwerke eingebaut werden. Dieser Prozess wird in der Akteur-Netzwerk-Theorie als Punktualisierung (*punctualisation*) bezeichnet (Law 1992). Jede Innovation besteht auch aus solchen verfestigten und damit weitgehend ausgereiften Elementen.

Mittlerweile hat sich in der Wissenschafts- und Technikforschung, wie Walker und Cass (2007) feststellen, generell die Ansicht durchgesetzt, Technik nicht einfach als konstruierte und produzierte materielle Objekte aufzufassen, sondern als eingebettete Elemente soziotechnischer Systeme, die neben der eigentlichen Sachtechnik auch Produzenten, Infrastrukturen, Nutzer, Konsumenten, Regulatoren und andere intermediäre Akteure einschließen. Besondere Bedeutung kommt dabei der sogenannten Transitionsforschung zu, die sich mit dem grundlegenden Wandel von großen, für moderne Gesellschaften zentralen soziotechnischen Systemen auseinandersetzt (Elzen et al. 2004). Beispiele dafür sind etwa Verkehrs- und Energiesysteme oder Kommunikationsnetze. Der Begriff soziotechnisches System bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Gesamtheit der konkreten Elemente,

die für die Erfüllung einer dieser zentralen gesellschaftlichen Funktionen notwendig sind (Geels und Kemp 2007, 442). Nach Geels (2005, 446) setzen sich soziotechnische Systeme aus Technologien, Regeln, Nutzungspraktiken und Märkten, kulturellen Bedeutungen, Infrastrukturen, Wartungsnetzwerken und Produktions- und Versorgungsnetzwerken zusammen. Es handelt sich dabei also um Systeme, die auf der Makroebene angesiedelt sind und sich durch eine hohe Komplexität und eine große Stabilität (gegenüber Veränderungen) auszeichnen. Einzelne technische Innovationen haben aus Sicht der Transitionsforschung jedoch das Potenzial, weitreichende Veränderungen von soziotechnischen Systemen anzustoßen, wenn sie integriert werden, breite Anwendung finden und in weiterer Folge bisherige Technologien verdrängen.

Walker und Cass (2007) sowie Miller et al. (2015) wählen einen vergleichbaren deskriptiven Zugang wie Geels (2005), konzentrieren sich jedoch auf soziotechnische Systeme, die eher auf der gesellschaftlichen Mesoebene angesiedelt sind. Auf Grundlage des Systembegriffs von Ropohl (1979) können wir argumentieren, dass unterschiedliche Hierarchieebenen keinen wesentlichen Einfluss auf die prinzipiellen Eigenschaften (bzw. auf die zu berücksichtigenden Elemente) soziotechnischer Systeme haben. Aus Sicht der Akteur-Netzwerk-Theorie lassen sich zwar keine hierarchischen Ebenen definieren, möglich wäre hier allerdings eine Unterscheidung hinsichtlich der Komplexität und Stabilität von Netzwerken. Gemeinsam ist allen Ansätzen die Vorstellung, dass heterogene Elemente zu etwas Ganzem verbunden sind, das dazu dient, bestimmte Ziele zu verfolgen und Funktionen zu erfüllen. Dieses „Ganze“ wird in weiterer Folge, da wir uns in dieser Studie auf die Entstehung von neuen Konfigurationen konzentrieren, als soziotechnische Innovation bezeichnet.

2.1.2 Modell zur Abschätzung der Reife soziotechnischer Innovationen

Das im Folgenden angedachte Modell soll eine Bewertung des Entwicklungsgrades von soziotechnischen Innovationen ermöglichen. Zweck der Reifeabschätzung ist, ähnlich wie bei der Reifebewertung von Technologien, die Identifikation von Entwicklungspotenzialen bzw. Entwicklungsdefiziten.

Anlass und Kontext für die Auseinandersetzung mit der Reife von urbanen Innovationen sind die vielfältigen Aktivitäten rund um das Thema nachhaltige Stadtentwicklung (European Union 2011). Die europäische Stadt steht vor einer Reihe von Aufgaben und Herausforderungen. Innovationen im urbanen Kontext kommt dabei eine ganz wesentliche Bedeutung zu. Daraus resultiert auch die Verlagerung der Perspektive von der Reife von Technologien hin zu einer Abschätzung des Entwicklungsstandes soziotechnischer Innovationen.

Unter einer soziotechnischen Innovation verstehen wir in Rahmen dieses Modells die neue Kombination von Elementen zur Lösung von Nachhaltigkeitsproblemen in der Stadt. Hinsichtlich ihrer Größe und Reichweite sind dabei keine Grenzen gesetzt. In Anlehnung an die von Geels (2005) eingeführte Klassifikation sind folgende Elemente zu berücksichtigen:

- Technik (Hard- und Software)
- Regeln (Gesetze, Verordnungen, Normen, Förderungen, zukünftige Regeln etc.)
- Nutzerpraktiken und Märkte (Nutzererwartungen, -gewohnheiten, -erfahrungen, -praktiken, Werbung, Kosten und Preise, Verbreitungsraten etc.)
- Kulturelle Bedeutungen (Bezug zu allgemeinen Werten wie individuelle Freiheit, Unabhängigkeit, Autarkie etc.)
- Infrastruktur (Welche Infrastrukturen sind involviert? Müssen neue aufgebaut werden oder reichen die bestehenden aus? Welche Bedeutung haben sie für das Funktionieren der soziotechnischen Lösung? etc.)
- Produktionsnetzwerke (Hersteller der notwendigen Komponenten, bestehende oder neue Unternehmen etc.)
- Wartungsnetzwerke (Wer sorgt für Aufrechterhaltung der Funktion der soziotechnischen Lösung? etc.)

Wir gehen davon aus, dass sich soziotechnische Innovationen aus den obengenannten heterogenen Elementen zusammensetzen, in ko-evolutionärer Weise entstehen und in bzw. durch die jeweilige Konstellation von Elementen eine typisch städtische Funktion erfüllen. Innovationen können auf der Mikro-, Meso- oder Makroebene angesiedelt sein. Die Funktionserfüllung kann jedoch, und das ist wesentlich, nicht auf einzelne Elemente reduziert werden.

Mit dem folgenden Beispiel wollen wir diese Sichtweise kurz verdeutlichen. In Hinblick auf eine nachhaltige Energieversorgung in der Stadt ist es sinnvoll, wenn ein möglichst hoher Anteil an Elektrizität vor Ort aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird. Strom aus Windkraft ist eine von mehreren Optionen, die dafür in Frage kommen. Suma et al. (2012) schlagen in diesem Zusammenhang ein neuartiges Konzept einer dachintegrierten Windkraftanlage vor, das speziell auf den Einsatz in höheren Gebäuden im urbanen Umfeld abzielt. Im Kern besteht das Konzept aus einer Reihe von trichterförmigen Einlassöffnungen zur Erhöhung der Windgeschwindigkeit – hier nutzt man den sogenannten Venturi-Düsen-Effekt – und einem innenliegenden horizontalen Rotor, der einen Generator antreibt. Die Funktionstüchtigkeit dieses Systems wurde bereits mit einer Pilotanlage an einem Gebäude der Technischen Universität Eindhoven demonstriert. Versucht man nun, sich die dachintegrierte Windkraftanlage als soziotechnische Innovation vorzustellen, kommen gemäß unserer Definition neben der Technik an sich eine Reihe zusätzlicher, äußerst unterschiedlicher Elemente in Betracht. Die technischen Anlagen müssen zunächst konstruiert, hergestellt und vor Ort zusammengebaut werden. Im Zuge der Planung und Genehmigung eines Gebäudes mit integrierter Windkraftanlage kommen eine Reihe von Regeln und Verordnungen ins Spiel; unter Umständen ergibt sich dabei auch ein Bedarf an neuen Regeln (etwa in Bezug auf die max. zulässige Lärmentwicklung oder die durch die Drehbewegung erzeugten Vibrationen). Die Anlage braucht einen Betreiber sowie jemanden, der sie wartet und repariert. Es bilden sich spezifische Nutzungspraktiken. Notwendig sind überdies Betriebsgenehmigungen und Verträge mit dem zuständigen Netzbetreiber. Auch physisch wird jede einzelne Anlage Teil der bereits weitgehend bestehenden Strominfrastruktur. In weiterer Folge werden der Innovation kulturelle Bedeutungen zugeschrieben oder bereits vorhandene Bedeutungen mit ihr

in Verbindung gebracht. Auch kann sich ein öffentlicher Diskurs entwickeln, der sich unter Umständen positiv oder negativ auf die Zukunft der Innovation auswirkt. Betrachtet man die dachintegrierte Windkraftanlage als soziotechnische Innovation, sind es heterogene Elemente wie diese, die gemeinsam in wechselseitiger Abhängigkeit und Abstimmung letztlich ein „funktionierendes Ganzes“ (*seamless web*) ergeben. Die gewünschten positiven Effekte (ebenso wie alle unerwünschten Nebenfolgen, die stets einkalkuliert werden sollten) entstehen letztlich nur durch das Zusammenwirken dieser Elemente.

Die Reife einer soziotechnischen Innovation resultiert – analytisch gesehen – aus dem Entwicklungsstand der Einzelelemente und deren Integration. Um die Reife einer Innovation abschätzen zu können, sind demnach zwei weitgehend voneinander unabhängige Schritte notwendig. Zuerst müssen die zentralen Elemente der jeweiligen Innovation bestimmt werden. Danach kann auf dieser Grundlage versucht werden, die Reife dieser Elemente abzuschätzen.

Für das soeben angesprochene Beispiel der dachintegrierten Windkraftanlage könnte eine solche Abschätzung etwa folgendermaßen ausfallen: Die Technik an sich ist bereits relativ weit entwickelt, denn sie wird seit einigen Jahre in einer realitätsnahen Einsatzumgebung getestet (daraus resultiert eine Einstufung gemäß TRL zwischen 6 und 7). Auch die notwendige Infrastruktur (Stromnetz) ist vorhanden und ausgereift. Hingegen existiert bislang kein Markt für dachintegrierte Windkraftanlagen, es gibt keine HerstellerInnen, keine NutzerInnen, keine Wartungs- und Reparaturnetzwerke. Allerdings bedeutet dies nicht, dass etwa das Element Hersteller nicht bereits über eine gewisse Reife verfügt. Wesentlich ist hier nämlich die Frage, wie leicht oder schwer es für bestehende Hersteller (etwa von bestimmten Komponenten der dachintegrierten Windkraftanlage) wäre, die notwendigen Teile und Produkte am Markt anzubieten. Regeln für den Betrieb von Windkraftanlagen im städtischen Kontext sind zumindest teilweise vorhanden, denn andere technische Varianten (z.B. Horizontalläufer auf Flachdächern) sind bereits seit einigen Jahren in Anwendung. Ähnliches gilt für die normative bzw. politische Erwünschtheit (festgeschrieben etwa in städtischen Energieleitbildern) von Windenergie-technik in der Stadt. Dies wird von Fall zu Fall unterschiedlich sein. Eine hohe Zustimmung müsste aus Sicht der Innovation als hohe Reife im Bereich der Regeln gewertet werden.

Bislang handelt es sich bei diesem Entwurf um ein rein qualitatives Modell, d.h. die Reife der einzelnen Elemente kann nur qualitativ abgeschätzt werden. Darum unterscheidet das Modell bislang auch nur zwischen den drei Stufen (1) geringe, (2) mittlere und (3) hohe Reife. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die jeweilige Bedeutung der drei Reifegrade für die einzelnen Elemente.

Tabelle 4: Elemente soziotechnischer Innovationen und Definition von Reifegraden

Elemente	geringe Reife	mittlere Reife	hohe Reife
Technik	Beschreibbares Funktionsprinzip, Nachweis der Funktionstüchtigkeit (TRL 1-3)	Prototyp im Einsatz, Demonstrationsanlage (TRL 4-7)	Qualifiziertes System, marktgängige Lösung (TRL 8-9)
Regeln	Normative Zielsetzungen kaum vorhanden Keine Regulierung	Normative Zielsetzungen teilweise vorhanden Rahmen für Regulierung vorhanden	Normative Zielsetzungen und Regelungsrahmen weitgehend ausformuliert
Nutzerpraktiken und Märkte	Weder Nutzer noch Märkte vorhanden	Lead-user und Nischenmärkte	Unterschiedliche Nutzertypen und Erfahrungen, entwickelte Märkte
Kulturelle Bedeutungen	Kulturelle Bedeutung ist artikulierbar jedoch nicht akzeptiert	Bedeutung in zumindest einer Sub-Kultur artikuliert und akzeptiert	Allgemeine hohe Bedeutung artikuliert und akzeptiert
Infrastruktur	Wesentliche Anpassungen bzw. neue Infrastruktur notwendig, jedoch nicht vorhanden	Anpassungen bzw. neue Infrastruktur teilweise notwendig und teilweise bereits vorhanden	Wesentliche Anpassungen bzw. neue Infrastruktur nicht notwendig oder bereits weitgehend angepasst
Produktionsnetzwerke	Einzelanfertigung für Forschungszwecke möglich	Produktion für Demo- und Pilotanlagen bzw. kleine Stückzahlen vorhanden, Ausweitung der Produktion möglich	Funktionsfähige Wertschöpfungs- und Lieferkette vorhanden
Wartungsnetzwerke	Nicht vorhanden	In Einzelfällen vorhanden bzw. wird von bereits bestehenden Netzwerken teilweise durchgeführt	Zwei oder mehr alternative Anbieter

Damit wird auch deutlich, dass eine Bewertung der Reife soziotechnischer Innovationen nur kontextbezogen erfolgen kann. Die Bewertung von Märkten, Regeln oder der kulturellen Bedeutung als konstitutive Elemente von Innovationen macht vermutlich erst in einem abgegrenzten sozio-politischen Kontext Sinn. Im Rahmen dieser Studie haben wir Österreich (österreichisches Staatsgebiet, österreichischer Rechtsrahmen, österreichisches Innovationssystem etc.) als Kontext zur Bewertung von soziotechnischen Innovationen gewählt.

2.1.3 Fallstudien

Nachdem wir im vorigen Abschnitt erste Grundzüge eines Modells zur Bewertung von soziotechnischen Innovationen skizziert haben, wird dieses vorläufige Konzept nun anhand von fünf Fallstudien getestet. Durch die konkrete Anwendung des Modells wollen wir mehr über seine Möglichkeiten und Grenzen erfahren und konkrete Hinweise auf Probleme und Verbesserungspotenziale erschließen.

Für die Fallstudien haben wir die folgenden fünf Beispiele ausgewählt:

- Abwasserwärmerückgewinnung
- Städtisches Hybridnetz (Power-to-Heat)
- Elektrofahrzeugflotte
- Radschnellweg
- Reparaturinitiative mit 3D-Drucker

Diese Beispiele decken unterschiedliche Themenfelder (Energie, Mobilität, Ressourceneffizienz) ab, beziehen sich auf verschiedene Funktionen der Stadt, weisen ein Nachhaltigkeitspotenzial auf und befinden sich in einem frühen bis mittleren Entwicklungsstadium.

In den Fallstudien haben wir versucht, diese Beispiele als semi-generische soziotechnische Innovationen zu beschreiben. Der Begriff „semi-generisch“ soll darauf hindeuten, dass die Beispiele auf einem mittleren Abstraktionsniveau, d.h. jeweils zwischen konkret umsetzbaren Lösungen und allgemein-abstrakten Beschreibungen angesiedelt sind.

Die Fallstudien sind folgendermaßen aufgebaut: In ersten Teil erfolgt eine allgemeine Beschreibung der Innovation. Dabei gehen wir auch kurz auf das jeweilige Nachhaltigkeitspotenzial und auf bereits umgesetzte Beispiele (national, international) ein. Im zweiten Teil wird die Reife der Innovation hinsichtlich der im Modell definierten Elemente abgeschätzt. Im dritten Teil werden die Ergebnisse im Überblick dargestellt und zusammengefasst.

2.1.3.1 Fallbeispiel Abwasserwärmerückgewinnung

Allgemeine Beschreibung

Einführung: In städtischen Abwasserströmen steckt ein beträchtliches Potenzial an thermischer Energie, das bislang weitgehend ungenutzt der Kanalisation zugeführt wird. In Hinblick auf eine effiziente Nutzung von Energie ist es sinnvoll, dieses Potenzial, das vor allem in dicht bebauten Gebieten aufgrund eines höheren Aufkommens von Abwasser ausreichend vorhanden ist, technisch zu erschließen und wirtschaftlich zu nutzen. Entsprechende Verfahren werden unter dem Begriff der Abwasserwärmerückgewinnung zusammengefasst. Der Einsatz solcher Verfahren erfordert oft nur geringe Änderungen an den bereits vorhandenen Infrastrukturen.²⁶ In der Schweiz und Deutschland aber auch in den skandinavischen Län-

²⁶ Quelle: http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf, abgerufen im Jänner 2016

dem werden solche Technologien bereits seit Jahrzehnten genutzt. In Österreich gibt es erst seit einigen Jahren Aktivitäten in diesem Bereich.²⁷

Definition: Anlagen zur Abwasserwärmerückgewinnung (AWRG) nutzen die im Abwasser enthaltene thermische Energie mittels Wärmetauscher oder Wärmepumpentechnik. Die da-

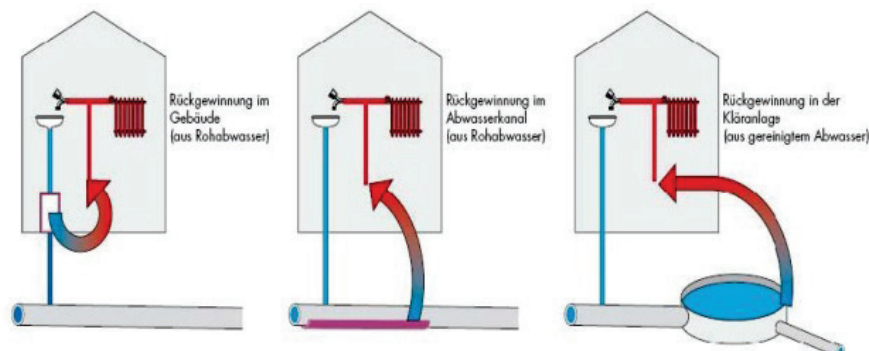


Abbildung 3: Drei mögliche Formen der Energienutzung aus dem Abwasser (Müller et al., 2005)

mit gewonnene Energie kann als Wärme oder Kälte genutzt werden. Technisch gesehen kann die Wärmerückgewinnung an verschiedenen Stellen des Kanalsystems erfolgen. Die Varianten reichen von sogenannten Inhouse-Systemen (Wärmerückgewinnung im Gebäude) bis hin zu Systemen, die erst nach der Kläranlage Energie aus bereits gereinigtem Abwasser beziehen (siehe Abbildung 3²⁸). Als soziotechnische Innovation betrachtet umfassen Systeme zur Abwasserwärmerückgewinnung neben den notwendigen technischen Anlagen eine Reihe von weiteren Elementen: rechtliche Genehmigungen, wirtschaftliche Rahmenbedingungen, InvestorInnen und BetreiberInnen, Planungsunternehmen, Baufirmen, KundInnen für die gewonnene Energie, das Kanalnetz, Abwasserverbände und vieles mehr.

Nachhaltigkeitspotenzial: Die Innovation ermöglicht die Verwendung von Energie, die sonst ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Durch die Rückgewinnung und Nutzung von Energie aus Abwärme kann die Verwendung von Primärenergie eingespart werden. Besonders geeignet sind dabei dichtverbaute städtische Gebiete, wo größere Mengen an potenziell zu nutzender Abwärme mit einer entsprechend großen Nachfrage an Wärme (bzw. Kälte) korrespondieren.²⁹ Schätzungen zufolge wäre es technisch möglich, rund 500.000³⁰ Wohnungen in Österreich mit Heizwärme aus Abwasser zu versorgen.³¹

Anwendungsbeispiele: Nachfolgend wird eine Auswahl an internationalen und nationalen Beispielen vorgestellt. Wie bereits erwähnt, gibt es in der Schweiz und in Deutschland seit mehr als 30 Jahren Aktivitäten in diesem Bereich. Bei den weiter unten angeführten Bei-

²⁷ Quelle: <https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Erneuerbare-Energien/2012-2013/BGR0022013EEneueEnergien2020.pdf>, abgerufen im Jänner 2016

²⁸ Quelle: http://rabtherm.com/documents/brosch_web.pdf, abgerufen im Jänner 2016

²⁹ Quelle: http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf, abgerufen im Jänner 2016

³⁰ Quelle: http://www.abwasserenergie.at/fileadmin/energie_aus_abwasser/user_upload/Praesentation_BOKU_-_Energie_aus_Abwasser.pdf, abgerufen im Jänner 2016

³¹ Quelle: <http://www.e5-salzburg.at/downloads/downloads-events-news/folder-energie-aus-abwasser.pdf>, abgerufen im Jänner 2016

spielen aus Österreich handelt es sich zum Teil um Pilotprojekte unter Beteiligung einer Forschungseinrichtung und zum Teil um Projekte, die von Unternehmen realisiert wurden (z.B. Anlagen von RAIN-O-TEC³²).

Realisierte Projekte im deutschsprachigen Raum:

- Berlin (DE): Der im Jahr 2010 in Berlin-Lichtenberg eröffnete, weltweit zweitgrößte Standort des multinationalen Einrichtungskonzerns IKEA ist mit einer Reihe von umweltfreundlichen Technologien ausgestattet.³³ Von zentraler Bedeutung für die Energieversorgung ist dabei die bislang größte Anlage zur Abwasserwärmerückgewinnung in Europa (Durchflussmenge von ca. 8.300 bis 23.300 l/s und einer Heizleistung der Wärmepumpe von 1.500kW). Zum Einsatz kommt Wärmepumpentechnik aus Österreich (Fa. Ochsner³⁴). Laut Angaben von IKEA ergibt sich durch die Nutzung der Abwasserenergie eine jährliche CO₂ Einsparung von bis zu 770 Tonnen. Die Amortisierung des Gesamtsystems soll bei sieben Jahren liegen.³⁵
- Berlin (DE): Auch das Gebäude des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ist mit einem Abwasserwärmesystem ausgestattet. Hier wurde ein sogenannter Direktverdampfer realisiert. Bei diesem System wird das Abwasser direkt durch die Wärmepumpe geleitet und überträgt ohne weiteren Energieaufwand die Energie im Verdampfer auf die Wärmepumpe.³⁶
- Speyer (DE): Im Yachthafen der Stadt Speyer ist seit 2010 eine Abwasserwärmanlage in Betrieb. Sie ermöglicht eine Energieeinsparung von rund 30 % und eine CO₂-Reduktion von 34 %. Die Anlage soll sich laut Angabe der Projektbetreiber in weniger als 15 Jahren amortisieren.³⁷
- Stuttgart-Bad Cannstatt (DE): Ebenfalls seit 2010 gibt es in Stuttgart eine Wohnsiedlung, bei der ein Abwasserwärmesystem mit einem Blockheizkraftwerk kombiniert wurde. Hier liegt die Energieeinsparung bei rund 40 %.³⁸
- Mannheim (DE): Im Pumpwerk Ochsenperch wurde 2011 eine bivalente AWN-Anlage (alter Ölkessel ist noch Teil des Systems) mit einer Abwasserdurchflussmenge von 400 l/s und einer Entzugsleistung im Kanal von 76 kW installiert. Durch die neue Anlage werden jährlich Energiekosten von 11.000 € gespart. Die Amortisation der Anlage wird mit 8 Jahren angegeben.
- Winterthur (CH): Seit 2010 ist in einer Wohnsiedlung mit rund 400 Wohnungen am Stadtrand von Winterthur eine Abwasserwärmanlage in Betrieb. Die Anlage weist

³² Quelle: <http://www.rain-o-tec.at/referenzen.html>, abgerufen im Februar 2016

³³ Quelle: http://www.ikea.com/ms/de_DE/about_ikea/newsroom/press_releases/BerlinLichtenbergUmwelt.pdf, abgerufen im Jänner 2016

³⁴ Quelle: <http://ochsner-energietechnik.com/portfolio-item/ikea-berlin-lichtenberg/>, abgerufen im Jänner 2016

³⁵ Quelle: http://www.rabmer.at/fileadmin/user_upload/rabmer/greentech/aquabion/rg_eaa_ppt.pdf, abgerufen im Jänner 2016

³⁶ Quelle: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/gebauter_nachhaltigkeit_broschuere_bf.pdf, abgerufen im Jänner 2016

³⁷ Quelle: <http://www.ikt.de/website/klima2012/biesalski.pdf>, abgerufen im Jänner 2016

³⁸ Quelle: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/Abwasserwaermenutzung/Tagungsunterlagen/Nutzung_der_Abwasserenergie_FaUhrig.pdf, abgerufen im Jänner 2016

eine Durchflussmenge von min. 500 l/s und einer Entzugsleistung von 400 kW auf. Die für die Anlage benötigten Umbauten im Kanalsystem wurden im Zuge von Sanierungsarbeiten des Hauptabwasserkanals durchgeführt. Durch das implementierte System kann der jährliche Wärmebedarf in den Wohnungen zu 80 % aus dem Abwasser gedeckt werden.³⁹

Die oben angeführten Beispiele stellen nur einen kleinen Ausschnitt der in den letzten Jahren im deutschsprachigen Raum umgesetzten Projekte dar. Darüber hinaus wurden ähnliche Projekte auch in Frankreich (z.B. Palais de l'Élysée & Schwimmbad „Marrane“) oder in Norwegen realisiert. Ein Vorort der Stadt Oslo (Sandvika) wird beispielsweise bereits seit über 15 Jahren zum Teil mit der Energie (Wärme und Kälte) aus Abwasser versorgt. Mit der gewonnenen Energie werden 56 Gebäude mit Wärme und 18 Gebäude mit Kälte versorgt. Die im Einsatz befindlichen Wärmepumpen verfügen über eine Leistung von 13 MW und decken 80 % der Energieproduktion ab. PlanerInnen haben berechnet, dass die zehnfache Menge an Strom nötig wäre, wenn die Kälte dezentral mit Air-Conditioning Anlagen hergestellt werden würde.⁴⁰

Pilotprojekte in Österreich:

- Amstetten: Das Gebäude der Stadtwerke Amstetten wird seit Oktober 2012 mit Abwasserenergie geheizt und gekühlt. Entstanden ist dieses Projekt auf Basis einer Machbarkeitsstudie im Rahmen des Forschungsprojektes „Energie aus Abwasser“. Technisch realisiert wurde hier ein 42 m langer Wärmetauscher (Entzugsleistung 186 kW) im Kanalsystem (Abwassermenge von 130 l/s bis 342 l/s). Einer der Haupteinleiter in das Abwassersystem Amstetten ist eine Papierfabrik, weshalb die Abwassertemperatur in der Regel 20-27 °C aufweist.⁴¹ Im Vergleich zu einer Gasheizung produziert das neue System um ca. 70 % weniger CO₂-Emissionen und leistet damit einen relevanten Beitrag zur CO₂-Bilanz von Amstetten. Wirtschaftlich betrachtet soll sich die Anlage innerhalb von 12 Jahren amortisieren.⁴²
- Weiz: Seit 2009 werden in der steirischen Stadt Weiz ein Autohaus und ein Bürogebäude mit Energie aus Abwasser versorgt. Im Winter werden die Gebäude geheizt, im Sommer gekühlt. Diese Anlage ist ein Beispiel für die Nutzung von Abwärme nach der Reinigung in der Kläranlage. Solche Anlagen haben den Vorteil, dass bei der Entnahme der Energie aus dem Abwasser nicht mehr auf die Reinigungsleistung der Kläranlage zu achten ist, denn die Reinigungsleistung in der Kläranlage hängt aufgrund der Mikroorganismen in den Klärbecken von der Temperatur des Abwassers ab. Ein weiterer Vorteil dieser Systemlösung liegt darin, dass der Wärmetauscher nicht so rasch verschmutzt. Jedoch besteht die Anforderung, dass sich die

³⁹ Quelle:

http://www.infrawatt.ch/sites/default/files/2009_12_28_Spektrum%20Geb%C3%A4udeTechnik_Saubere%20Energie%20aus%20Abwasser%20gewinnen.pdf, abgerufen im Jänner 2016

⁴⁰ Quelle: http://www.eco-s.net/ECOS_Broschuere_AbWWP.pdf, abgerufen im Jänner 2016

⁴¹ Quelle: <http://www.efficient.eu/news/heisse-quellen-in-der-kanalisation>; abgerufen im Jänner 2016

⁴² Quelle: <http://www.e5-salzburg.at/downloads/downloads-events-news/folder-energie-aus-abwasser.pdf>, abgerufen im Jänner 2016

AbnehmerInnen der Energie in geographischer Nähe zur Kläranlage befinden müssen, was in diesem Fall gewährleistet ist.

- Graz: In einer Krankenhauswäscherei in Graz ist ebenfalls ein System zur Rückgewinnung von Abwasserwärme in Betrieb. Dabei wird das 38°C warme Wasser des Ablaufs dazu genutzt, um das zirka 14°C kalte Frischwasser des Zulaufs zu erwärmen. Die thermische Wärmeleistung der Anlage beträgt 180 kW. Pro Tag werden mit diesem System 2400 kWh (aus Erdgas) eingespart.⁴³
- Wien: Ein Betriebsgebäude der MA30 wird über eine Abwasserenergieanlage mit Kälte und Wärme versorgt. Die Anlage wurde für Forschungszwecke gemeinsam mit der TU-Wien realisiert. Die Durchflussmenge beträgt zwischen 150 bis 800 l/s bei einer Wärmeleistung von 190 kW und einer Kälteleistung von 148 kW. Die erzeugte Energie führt pro Jahr zu einer Betriebskostensparnis von rund 12.000 € und einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes von ca. 47 t pro Jahr.⁴⁴
- Salzburg: Zwei Sparfilialen in Salzburg nutzen das Abwasser aus dem historischen und unter Denkmalschutz stehenden Almkanal, um die Kühl- und Gefriergeräte mit Kühl-Energie zu versorgen. Durch die installierte 100 kW Anlage werden im Vergleich zur Ausgangssituation 40 % Energie eingespart. Das entspricht einer CO₂ Reduktion von 32 t pro Jahr. Diese Initiative wurde 2013 mit dem Energy Globe Award im Bereich Wasser ausgezeichnet.⁴⁵
- Linz, Zwettl und Ybbs: Im Waldbad Hummelhof Linz, Hallenbad Zwettl und im Hallenbad Ybbs wurden AWRG-Anlagen installiert, um das kühlere Frischwasser mit dem warmen Abwasser vorzuwärmen. Für das Hallenbad Linz ergibt sich dadurch eine tägliche Energierückgewinnung von 500-800 kWh und eine jährliche Kostensparnis von 7.000-9.000 €. Im Hallenbad Zwettl werden täglich zirka 220 kWh Energie rückgewonnen und jährlich 4.700 € eingespart. Das Hallenbad Ybbs hat in den ersten 6 Monaten nach Inbetriebnahme der Anlage bereits 38.000 kWh Energie eingespart.⁴⁶
- Krems: Im Krankenhaus Krems (Großküche) wird mittels einer AWRG-Anlage Energie aus dem Abwasser genutzt, um das Frischwasser vorzuwärmen. Täglich können so 120-150 kWh eingespart werden.⁴⁷ Weitere Umsetzungen der AWRG-Nutzung in Österreich finden sich im AKH Linz, im Otto-Wagner-Spital in Wien, im Internat der Höheren Lehranstalt für Umwelt und Wirtschaft im Yspertal und bei einem Cateringunternehmen in Wien mit 12.000 Menüs pro Tag.^{48,49}

⁴³ Quelle: http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf, abgerufen im Jänner 2016

⁴⁴ http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf, abgerufen im Jänner 2016

⁴⁵ Quelle: https://www.spar.at/de_AT/index/nachhaltigkeit/klima_und_umwelt/energie/almkanal_kuehlung.html, abgerufen im Februar 2016

⁴⁶ Quelle: <http://www.rain-o-tec.at/referenzen>; abgerufen im Februar 2016

⁴⁷ Quelle: <http://www.rain-o-tec.at/referenzen>; abgerufen im Februar 2016

⁴⁸ Quelle: http://www.rain-o-tec.at/pdf/Praesentationsmappe_Rain-O-Tec_V21052014.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁴⁹ Quelle: <http://www.rain-o-tec.at/referenzen>; abgerufen im Februar 2016

Bisherige Verbreitung der Abwasserwärmerückgewinnung: Außerhalb von Österreich wird die Technik bereits seit vielen Jahren (30 Jahren) eingesetzt⁵⁰. Die technischen und wirtschaftlichen Potenziale werden jedoch auch in Ländern, in denen bereits früh solche Anlagen realisiert wurden, bislang nur ansatzweise ausgenutzt. In Österreich beschränkt sich die Verbreitung von Anlagen zur Abwasserwärmerückgewinnung bislang im Wesentlichen auf die hier vorgestellten Projekte. Interessant ist allerdings die Tatsache, dass viele Systemkomponenten, die in internationalen Anlagen Verwendung finden, von österreichischen Unternehmen kommen (z.B. Wärmepumpen der Firma Ochsner aus Linz). Zwei österreichische Forschungsprojekte sollen allerdings dazu beitragen, die Nutzung der im Abwasser gespeicherten Energie auch in Österreich voranzutreiben. Das im Jahr 2013 abgeschlossene Projekt „Energie aus Abwasser - Abwasserwärme- und -kältenutzung mittels hocheffizienter Großwärmepumpen“ beschäftigte sich mit dem Potential der Abwasserenergie in Österreich.⁵¹ Das Folgeprojekt mit dem Titel „Einbindung der abwassertechnischen Infrastruktur in regionale Energieversorgungskonzepte“ soll dazu beitragen, Österreich als Kompetenzzentrum für die Nutzung von Abwasserenergie zu etablieren.⁵²

Abschätzung der Reife

Technik: Technisch gesehen benötigt man für eine Anlage zur Abwasserwärmerückgewinnung im Wesentlichen folgende Elemente: Abwasserwärmetauscher, Wärmepumpen sowie Wärmeverteiler- und Wärmeabgabesysteme. Diese Systemkomponenten existieren bereits in unterschiedlichen Ausführungen und sind am Markt erhältlich. Wie die folgende Aufstellung zeigt, umfasst das Angebot an Wärmetauschern, die speziell für den Einsatz im Bereich der Abwasserwärmerückgewinnung konstruiert sind, bereits eine beachtliche Bandbreite. Beispiele dafür sind:

- Sole- und Rinnenwärmetauscher (z.B. Firma Rabtherm AG, Schweiz und Uhrig Kanaltechnik GmbH, Deutschland)
- integrierte Wärmetauscher (Rabtherm AG, Schweiz und Rabmer Management & Beteiligungs GmbH, Österreich)
- Siebstufen-System (Firma Hans Huber AG, Deutschland)
- Sammelschachtwärmetauscher (FEKA Energiesysteme AG, Schweiz)
- Abwasser Druckrohrleitungen mit Doppelmantelrohr-Wärmetauscher (Rabmer Management & Beteiligungs GmbH, Österreich)

Diese Wärmetauscher eignen sich für neue Anlagen, es können damit aber auch bereits bestehende Kanalsysteme nachgerüstet werden. Eine andere technische Umsetzung des

⁵⁰ Quelle: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/Abwasserwaermenutzung/Fachartikel/201005_KA_Abwasserwaermenutzung_in_Deutschland.pdf; abgerufen im Jänner 2016

⁵¹ Quelle: https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt_uebersicht?sprache_in=de&menue_id_in=300&id_in=7904, abgerufen im Jänner 2016

⁵² Quelle: https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt_uebersicht?sprache_in=de&menue_id_in=300&id_in=9645, abgerufen im Jänner 2016

Wärmetauschers wäre ein so genannter externer Abwasserwärmetauscher, wie er zum Beispiel von der Firma RAIN-O-TEC aus Österreich hergestellt und vertrieben wird. Hierbei handelt es sich um einen Wärmetauscher der nicht in der Kanalisation installiert, sondern in die Gebäudeinstallation integriert wird. Dem Abwasser wird bei diesem Verfahren die Wärme vor der Einleitung in das Abwassersystem entzogen und beispielsweise zum Aufwärmen des Frischwassers genutzt.

Auch bei der zweiten wichtigen Systemkomponente, der Wärmepumpe, handelt es sich um eine weitgehend ausgereifte Technik. Bereits im Jahr 1912 erhielt der Ingenieur Heinrich Zoelly ein Patent für eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe. Der österreichische Marktführer in diesem Segment, die Firma Ochsner Wärmepumpen GmbH, produziert seit 1978 Wärmepumpen in Oberösterreich. Die Technik ist in Österreich, vor allem im Bereich der Raumheizung, weit verbreitet. Laut Schätzungen von Biermayr et al. (2014) waren in Österreich im Jahr 2013 rund 208.000 Wärmepumpen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen in Betrieb. Im Bereich der thermischen Abwassernutzung kommen im Normalfall handelsübliche Wärmepumpen zum Einsatz.

Bei der Realisierung von konkreten Anlagen ist es wichtig, die verschiedenen technischen Komponenten optimal aufeinander und auf die jeweiligen gegebenen Voraussetzungen (Abwasserdurchflussmenge, Wärmebedarf, Ökonomie, Abwassertemperatur, Gefälle, Kanaldimension, Einspeisung in bestehende Netze etc.) abzustimmen. Da das Thema Anlagendimensionierung in Österreich bis vor Kurzem im Rahmen von öffentlich finanzierten Machbarkeitsstudien behandelt wurde (z.B. Zach et al. 2012⁵³), gehen wir davon aus, dass in diesem Bereich noch am ehesten Entwicklungspotenzial besteht.

Regeln: Die wichtigste rechtliche Rahmenbedingung zur Nutzung der Wärmeenergie aus dem Abwasser stellt das österreichische Wasserrecht mit ergänzenden Verordnungen (z.B. Abwasseremissionsverordnung AAEV⁵⁴, Indirekteinleitverordnung) dar. So ist zum Beispiel beim Einbau einer AWRG-Anlage in ein bestehendes Kanalsystem darauf zu achten, dass die Siedlungshygiene, der Hochwasser- und der Gewässerschutz nicht beeinträchtigt werden. Im Wasserrechtsgesetz WRG 1959 i.d.g.F. §32, Absatz 3 ist folgendes festgeschrieben: „Einer Bewilligung bedarf auch die ohne Zusammenhang mit einer bestimmten Einwirkung geplante Errichtung oder Änderung von Anlagen zur Reinigung öffentlicher Gewässer oder Verwertung fremder Abwässer.“⁵⁵ Damit unterliegt jede AWRG-Anlage, die in ein öffentliches Kanalnetz eingebaut wird, einer Bewilligungspflicht, da die Verwertung von fremden Abwässern auch die Nutzung thermischer Energien beinhaltet. Die Bewilligungspflicht entfällt, wenn der Eigentümer des Abwassers selbst die Anlage errichtet und wenn die

⁵³ Quelle: http://www.abwasserenergie.at/fileadmin/energie_aus_abwasser/downloads/Bericht-Energie-aus-Abwasser-WP3-Zach-Endversion.pdf, abgerufen im Februar 2016

⁵⁴ Quelle: https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserrecht_national/abwasser_emissionsbegrenzung0/Abwasser_AAEV.html, abgerufen im Jänner 2016

⁵⁵ Quelle: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010290>, abgerufen im Jänner 2016

Anlage keine Auswirkungen auf den konsensgemäßen Betrieb der Kläranlage hat.⁵⁶ Eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung ist auch einzuholen, wenn es durch die Nutzung des Abwassers Auswirkungen auf fremde oder öffentliche Wasserrechte bzw. Gewässer gibt, jedenfalls aber auch, wenn bauliche Maßnahmen erforderlich sind. Ein Beispiel dafür wäre die Einleitung des gereinigten und thermisch genutzten Abwassers in ein öffentliches Gewässer, wenn dabei die Gefahr besteht, dass die thermische Homöostase eines Gewässers beeinträchtigt wird. In der Abwasseremissionsverordnung (AAEV 1996, Anlage A) ist klar geregelt, welche Temperaturen das Abwasser bei der Einleitung in das Abwassersystem bzw. in Fließgewässer aufweisen darf.⁵⁷ Das österreichische Wasserrechtsgesetz 1959 ist ein Bundesgesetz.

Werden Abwässer aus dem öffentlichen Kanalnetz genutzt, muss der Errichter einer thermischen Abwassernutzungsanlage Nutzungsvereinbarungen mit dem Kanal- und/oder dem Kläranlagenbetreiber sowie mit eventuell betroffenen Grundeigentümern schließen. Entsprechende Vorlagen zur vertraglichen Nutzungsvereinbarung der Abwasserenergie liegen aus der Schweiz und aus Deutschland vor und könnten für Österreich adaptiert werden⁵⁸.

Nutzerpraktiken und Märkte: In Österreich befindet sich der Markt für die thermische Abwassernutzung in einem sehr frühen Stadium. Realisiert wurden bislang nur einige AWRG-Anlagen, etwa im Rahmen von Forschungs- und Demonstrationsprojekten, in öffentlichen Gebäuden oder im gewerblichen Bereich (siehe Pilotprojekte Österreich). Die Angebotsseite (PlanerInnen, Anlagenbauer, Erzeuger von Komponenten) scheint bereits besser entwickelt zu sein als die Nachfrageseite. Während es in Österreich bereits Unternehmen gibt, die komplette Lösungen für den Bereich Energie aus Abwasser anbieten (Planung, Umsetzung, Wartung und Betrieb, z.B. Firma Rabmer, Linz), stehen Kanalbetreiber der Technik bislang eher skeptisch gegenüber (Zach et al. 2012). Zudem gibt es, abgesehen von Neubauprojekten bei denen hausinterne Abwässer genutzt werden, bislang kein klares Kundenprofil. Mögliche, bislang in Österreich kaum erreichte Kundengruppen werden von der Anbieterseite in den folgenden Bereichen identifiziert: Gemeinden, institutionelle Bauherren, Bäder und Sportstätten, Hotellerie, Wellnessparks, Großküchen, Krankenhäuser, Lebensmittelverarbeitende Industrie, Wäschereien, Wohnanlagen, Seniorenheime und ähnliches.⁵⁹ Aufgrund der sehr geringen Verbreitung der Technik ist bislang auch nur wenig über mögliche Nutzungspraktiken bekannt. Die Errichtung einer AWRG-Anlage kann auch aus Sicht eines sogenannten Contractors interessant sein. Bei einem Contracting-Modell, plant, baut, finanziert und betreibt der Contractor die AWRG-Anlage und verkauft die Wärme an die Abnehmer. Dieses Modell wurde bereits erfolgreich in der Schweiz und in Deutschland um-

⁵⁶ Quelle: <https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Erneuerbare-Energien/2012-2013/BGR0022013EneueEnergien2020.pdf>, abgerufen im Jänner 2016

⁵⁷ Quelle: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1996_186_0/1996_186_0.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁵⁸ Quelle: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/Abwasserwaermenutzung/Leitfaden_Ratgeber/Leitfaden_Waerme_aus_Abwasser.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁵⁹ http://www.rabmer.at/fileadmin/user_upload/rabmer/greentech/Download_NEU/eea_folder.pdf

gesetzt. In den angesprochenen Fällen fungierten Unternehmen aus der Elektrizitätsbranche als Contracting-Anbieter.⁶⁰

Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, dass die durchschnittliche Amortisationszeit einer AWRG-Anlage je nach Anlagengröße und spezifischen Standortbedingungen zwischen 10 und 15 Jahren liegt. Am Beispiel der in Amstetten errichteten Anlage bedeutet dies in konkreten Zahlen etwa Folgendes: Die Investitionskosten betragen ca. 240.000 €. Gemessen an den Energiepreisen zum Zeitpunkt der Errichtung (Okt. 2012) ergibt sich dadurch eine Ersparnis der Energiekosten von ca. 20.000 € pro Betriebsjahr. Damit ergibt sich eine Amortisationsdauer von knapp 12 Jahren.⁶¹

Kulturelle Bedeutung: In Österreich wird Abwasser in erster Linie als „schmutziges Wasser“ gesehen, das gesammelt und gereinigt werden muss. Diese Bedeutung hat eine lange Geschichte. Archäologische Funde belegen, dass Kanalisationssysteme ganz eng mit der Entstehung von Städten verknüpft sind.⁶² Die zentralen kulturellen Bedeutungen der Kanalisation liegen in der Siedlungshygiene, dem Gewässerschutz und zum Teil auch im Bereich des Hochwasserschutzes. Der im Abwasser enthaltenen thermischen Energie kommt im Vergleich dazu, wie sich auch im Rahmen des Projekts Energie aus Abwasser gezeigt hat, bislang kaum eine Bedeutung zu.⁶³ Auch Anbieter von AWRG-Anlagen berichten über Erfahrungen mit österreichischen Kläranlagen- und Kanalbetreibern, die in eine ähnliche Richtung zeigen.⁶⁴ Die wenigen vorhandenen Hinweise deuten darauf hin, dass das Thema, abgesehen von lokalen Bedeutungen, die möglicherweise im direkten Umfeld einiger Pilotanlagen entstanden sind, kaum in der Öffentlichkeit bekannt und von untergeordneter Bedeutung ist.

Infrastruktur: Die für die thermische Abwassernutzung notwendige Infrastruktur ist in Form der Kanalisation nahezu flächendeckend vorhanden. Die Abwasserentsorgung in Österreich ist kleinteilig organisiert. Etwa die Hälfte der Gemeinden ist Mitglied in einem der rund 190 Abwasserverbände. Zum Teil verfügen größere Industriebetriebe über eine firmeneigene Abwasserbehandlung.⁶⁵

Bauliche Eingriffe in die Kanalisation können je nach technischer Systemlösung in unterschiedlicher Art und Weise realisiert werden. Wärmetauscher können zum Beispiel in bereits bestehende Abwasserkanäle nachgerüstet werden. Auch ist es möglich, bereits im Zuge von Kanalsanierungsmaßnahmen die Anforderungen für die Nutzung der Abwärme (bzw. Abkälte) mit zu berücksichtigen (auch wenn sie erst in Zukunft genutzt werden sollte). Bei der

⁶⁰ Quelle: <http://www.e5-salzburg.at/downloads/downloads-events-news/folder-energie-aus-abwasser.pdf>, abgerufen im Februar 2016

⁶¹ Quelle: <http://www.e5-salzburg.at/downloads/downloads-events-news/folder-energie-aus-abwasser.pdf>, abgerufen im Jänner 2016

⁶² Quelle: <http://www.digital.wienbibliothek.at/wbrobv/content/titleinfo/1438945>

⁶³ Zitat: „Auch viele Gespräche mit dem Gemeindeabwasserverband (GAV), Gemeindevertretern und den STADTwerken waren nötig, um das Bewusstsein zu stärken, dass Abwasser eine wertvolle Energiequelle darstellt, die mit einer Wärmepumpe als „Recyclingmotor“ effizient und wirtschaftlich genutzt werden kann“
Quelle: <http://www.e5-salzburg.at/downloads/downloads-events-news/folder-energie-aus-abwasser.pdf>, [Seite 6], abgerufen im Jänner 2016

⁶⁴ Quelle: http://www.rabmer.at/fileadmin/user_upload/rabmer/greentech/aquabion/rg_eaa_ppt.pdf, abgerufen im Jänner 2016

⁶⁵ Quelle: <http://www.politikberatung.or.at/uploads/media/WasserundAbwasser.pdf>

Planung muss auch die Wartung des Systems berücksichtigt werden (d.h. dass z.B. Wartungsöffnungen mitgeplant werden müssen).⁶⁶ Bauliche Eingriffe in die Kanalisation sind rechtlich klar geregelt und müssen entsprechend berücksichtigt werden (siehe Punkt Regeln).

Produktionsnetze: Die bereits realisierten Pilotprojekte zeigen, dass sich rund um die Innovation der thermischen Abwassernutzung bereits ein funktionsfähiges Produktionsnetzwerk etabliert hat. Dieses Netzwerk umfasst Planungsbüros, Anlagenbauer, Komponentenhersteller und Forschungseinrichtungen.

Nationale Unternehmen, die Erfahrungen im Bereich der AWRG haben sind:

- FA. Rabmer: Projektplanung und Umsetzung
- Fa. Ochsner: Herstellung von Wärmepumpen, Planung und Umsetzung; u.a. Konsortialpartner in Forschungsprojekten,
- Fa. RAIN-O-TEC: Herstellung von Wärmetauscher (In-House-Nutzung), Planung und Umsetzung
- Fa. Fercher: Herstellung von Abwasserwärmetauschern

Neben diesen heimischen Unternehmen sind auch bereits einige ausländische Anbieter und Produzenten in Österreich aktiv. Beispiele hierfür wären Huber Technology, Rabtherm AG, Uhrig Kanaltechnik GmbH und FEKA Energiesysteme AG. Die Anzahl an Akteuren ist zwar gering, das Produktionsnetzwerk verfügt jedoch über alle notwendigen Akteure und Kompetenzen.

Wartungsnetze: Wärmetauschersysteme sind bei AWRG-Anlagen meist so konstruiert, dass sie nahezu wartungsfrei sind. Dennoch muss in regelmäßigen Abständen die sogenannte Sielhaut (Anhaftung von Bakterien) von der Tauscheroberfläche durch z.B. Hochdruckreinigung entfernt werden.⁶⁷ Eine andere Möglichkeit zur Reinigung der Wärmetauscher ist die sogenannte Schwallspülung mit Abwasser.⁶⁸ Bei der Installation von Solewärmetauschern werden an den beiden Enden des Wärmetauscherabschnittes Montage- und Wartungsschächte errichtet, die eine leichte Zugänglichkeit ermöglichen.

In der Vereinbarung über die Abwasserwärmenutzung mit dem Kläranlagenbetreiber (Kanalnetzeigentümer) kann festgehalten werden, wer für die Wartung zuständig ist und in welchen Abständen diese vorgenommen werden muss. Wartungsarbeiten, die Installationen im Haus betreffen (Wärmepumpe), können im Zug der Serviceintervalle für Heizungssysteme erfol-

⁶⁶ Quelle: http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf, abgerufen Jänner 2016

⁶⁷ Quelle: http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf, abgerufen im Jänner 2016

⁶⁸ Quelle: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/Abwasserwaermenutzung/Leitfaden_Ratgeber/Leitfaden_Waerme_aus_Abwasser.pdf, abgerufen im Jänner 2016

gen. Solche Leistungen werden beispielsweise auch von einigen Wärmepumpenherstellern angeboten.⁶⁹

Zusammenfassend können wir festhalten, dass die Wartung von AWRG-Anlagen bzw. einzelne technische Elemente von bereits existierenden Betrieben (z.B. Kanalbetreiber, externe Dienstleister) durchgeführt werden kann. Auch wenn sich aufgrund der geringen Verbreitung der Innovation noch keine spezifischen Wartungsnetze etabliert haben, können wir in diesem Bereich bereits von einer mittleren Reife sprechen.

Fazit: Abwasserwärmerückgewinnung

In den letzten Jahren wurden in Österreich mehrere Pilot- und Demonstrationsanlagen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern errichtet. Langsam etablieren sich einige Nischenmärkte für AWRG-Anlagen. Charakteristisch für die gegenwärtige Situation sind jedoch die großen Reifeunterschiede zwischen einigen Elementen der Innovation. Diese Unterschiede zeigen sich vor allem beim Vergleich der Angebots- und Nachfrageseite. Während sich die Technik, die Produktion und Wartung der Anlagen und die vorhandene und zusätzlich notwendige Infrastruktur bereits durch eine hohe Reife auszeichnen, sind Märkte und Nutzungspraktiken und die kulturelle Bedeutung der Innovation kaum entwickelt. Mit einer durchschnittlichen Amortisationszeit zwischen 10 und 15 Jahren liegen AWRG-Anlagen auf einem vergleichbaren Niveau wie andere Ökotechniken (Photovoltaik, Wärmedämmung), ein unmittelbarer betriebswirtschaftlicher Anreiz zur Investition resultiert daraus jedoch nicht. Contracting-Modelle für AWRG-Anlagen wurden bereits ausgearbeitet, in Österreich gibt es aber bislang keine Umsetzungsbeispiele. Neben dem Markt und den Nutzererfahrungen ist auch die kulturelle Bedeutung der Abwasserwärmenutzung bislang kaum vorhanden. Im Gegenteil, seit vielen Jahrhunderten bestimmen die Siedlungshygiene, der Gewässerschutz und der Hochwasserschutz die kulturelle Bedeutung der Kanalisation. Die rechtliche Seite der Innovation ist hingegen weitgehend geklärt. Zu offenen Fragen, etwa hinsichtlich unterschiedlicher Eigentumsverhältnisse (Erzeuger von Abwasser, Gebietskörperschaft, Abwasserverbände), kann es auf Projektebene kommen, diese können jedoch vor Projektbeginn vertraglich geregelt werden.

Tabelle 5: Überblick über die Reife der Innovation „Abwasserwärmerückgewinnung“

Element der STI	Beschreibung	Reife
Technik	<ul style="list-style-type: none"> • Es existieren mehrere technisch weitgehend ausgereifte Systeme. • Alle notwendigen Systemkomponenten sind am Markt erhältlich. • Entwicklungspotenzial besteht im Bereich der Anlagen-dimensionierung. Dieses Thema wird in Forschungsprojekten und Leitfäden bereits thematisiert. 	hohe

⁶⁹ Quelle: <http://www.ochsner.com/de/service/kundendienst/leistungen-kundendienst/>, abgerufen im Jänner 2016

Regeln	<ul style="list-style-type: none"> • Bauliche Eingriffe in die Kanalisation, wie sie auch bei AWRG-Anlagen vorgenommen werden, sind im Wasserrecht geregelt. • Auch der Gewässerschutz muss beachtet werden. • Rechtliche Herausforderungen ergeben sich durch unterschiedliche Eigentumsverhältnisse (Erzeuger von Abwasser, Gebietskörperschaft, Abwasserverbände). Eigentums- und Nutzungsrechte können vorab vertraglich geregelt werden. 	mittlere bis hohe
Nutzerpraktiken und Märkte	<ul style="list-style-type: none"> • In Österreich sind mehrere Pilot- und Demonstrationsanlagen in Betrieb. Nutzererfahrungen beschränken sich bislang auf diesen engen Bereich. • Mehrere Anbieter von technischen Systemlösungen und wenige Nachfrager bilden einen Nischenmarkt, wobei sich die Angebotsseite als besser entwickelt darstellt als die Nachfrageseite. • Contracting als mögliches Marktmodell für AWRG-Anlagen wurde in Österreich bislang nicht umgesetzt. • Die durchschnittliche Amortisation bereits realisierter Anlagen liegt je nach Anlagengröße zwischen 8 und 20 Jahren. 	geringe bis mittlere
Kulturelle Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> • Abwasser wird primär als Abfall und nicht als Energie-Ressource gesehen. • Zu den zentralen kulturellen Bedeutungen der Kanalisation zählen die Siedlungshygiene, der Gewässerschutz und der Hochwasserschutz. • Bewusstseinsbildung bei Kläranlagenbetreibern (oft Gemeinden), Bauträgern und weiteren relevanten Gruppen wird gefordert. 	geringe
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Die dazu notwendige Infrastrukturen (v.a. Kanalnetz aber auch Elektrizität) sind weitgehend vorhanden. • Unterschiedliche technische Umsetzungen sind möglich (In-House oder im Kanalsystem). • Neue Infrastruktur zur Verteilung von Wärme- und Kälte aus AWRG-Anlagen sind Stand der Technik. 	hohe
Produktionsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • Es existiert ein vollständiges Produktionsnetzwerk. Es umfasst Planungsbüros, Anlagenbauer, KomponentenhHersteller und Forschungseinrichtungen. • Anbieter aus Deutschland und der Schweiz sind in Österreich aktiv. 	hohe
Wartungsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • AWRG-Anlagen gelten als wartungsarm. • Unternehmen, die solche Systeme installieren, bieten auch Wartungsleistungen an. • Die Wartung von AWRG-Anlagen kann auch von bereits existierenden Betrieben (z.B. Kanalbetreiber, externe Dienstleister) durchgeführt werden. 	mittlere bis hohe

2.1.3.2 Städtisches Hybridnetz (Power-to-Heat)

Allgemeine Beschreibung

Einführung: Hybridnetze gelten als wesentliche Bestandteile zukünftiger, auf erneuerbaren Energieformen basierender Energiesysteme. Auch im städtischen Kontext kommt ihnen auf Grund der räumlichen Nähe und Vielfalt unterschiedlicher Nachfrager eine wichtige Rolle zu. Sie ermöglichen eine „intelligente“ Verschränkung unterschiedlicher Energiesysteme und Infrastrukturen und tragen somit einerseits zu einer Steigerung der Systemeffizienz und andererseits zu einer besseren Nutzung erneuerbarer Energien bei. Die intersektorische Interoperabilität, die Wirtschaftlichkeit der Kopplungsprozesse, technische Flexibilisierung und die Entwicklung eines Energieinformationsnetzes sind wichtige Voraussetzungen für Hybridnetze.⁷⁰

In der vorliegenden Fallstudie wird der Teilbereich des sogenannten Power-to-Heat (P2H) Konzeptes näher betrachtet. Bei P2H wird erneuerbarer Überschussstrom (z.B. aus Windkraftwerken oder PV-Anlagen) in Form von Wärme genutzt oder in Pufferspeichern zwischengespeichert. Die Wärme kann sowohl zentral für ganze Quartiere oder Städte (Einspeisung in Fernwärmenetz) als auch dezentral in den Gebäuden, in denen der Strom in Wärme umgewandelt wird, genutzt werden. Der Vorteil dieser Technik ist, dass Strom, der bisher aufgrund mangelnder Abnehmer abgeregelt werden musste, nun genutzt werden kann. Des Weiteren wird durch die P2H Anwendung die Flexibilität des Strommarktes erhöht, da mehr (negative) Regelleistung zur Verfügung steht.⁷¹

Die Verschränkung des Stromnetzes mit dem Wärmenetz erfordert auch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Die einzelnen Verbraucher sind über Netzwerke miteinander verbunden und können über eine zentrale Steuerungseinheit bei günstigen Strompreisen (=Überangebot an Strom) automatisch hochgefahren werden, um den Überschussstrom in Form von Wärme zu speichern oder direkt zu nutzen.

Definition: Ein Hybridnetz im weiteren Sinne ist ein sektoren- und infrastrukturübergreifendes Gesamtnetz zur Verteilung, Speicherung und Umwandlung von Energie. Ein solches Hybridnetz kann sowohl Gas-, Strom-, Wärme- und Kältenetze als auch kommunale Infrastrukturen (Wasser und Abwasserinfrastrukturen, Verkehrssysteme, Straßenbeleuchtung etc.) umfassen⁷².

Wir definieren P2H als ein Teilsystem eines Hybridnetzes, welches elektrische Energie in Wärmeenergie umwandelt und sofort nutzt oder speichert. Im urbanen Kontext sehen wir P2H-Systeme als Bestandteil einer dezentralen (für Gebäude) oder zentralen (für Städte und

⁷⁰ Quelle:

http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Materialienbaende/acatech_Materialband_Hybridnetze_WEB_01.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁷¹ Quelle: [http://www.agora-](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Studien/Power_to_Heat/Agora_PtH_Langfassung_WEB.pdf)

[energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Studien/Power_to_Heat/Agora_PtH_Langfassung_WEB.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Studien/Power_to_Heat/Agora_PtH_Langfassung_WEB.pdf); abgerufen im Februar 2016

⁷² Quelle:

http://download.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/kurzbeschreibung_arbeitsgruppehybridnetze_updatejuni13.pdf, abgerufen im Februar 2016

Quartiere) „hybriden“ Wärmebereitstellungsanlage, die ergänzend zu unabhängigen Energieträgern fungiert (z.B. Erdgas oder Biogas). Dadurch kann Strom bei günstigen Tarifen genutzt werden und bei ungünstigen Tarifen wird auf den unabhängigen Energieträger zurückgegriffen.²

Zur Kopplung der Strom- und Wärmenetze und deren Integration in ein Hybridnetz sind folgende Teiltechnologien notwendig⁷³:

- Wärmepumpen
- Elektrodenheizkessel, Elektroboiler, Heizpatronen
- Wärmespeicher/Pufferspeicher (v.a. zur Flexibilisierung des Netzes)

Als soziotechnische Innovation betrachtet, zählen zu P2H-Anlagen auch Unternehmen, die die notwendigen Einzeltechnologien bereitstellen, rechtliche Bedingungen, die dabei zu beachten sind, weitere Akteure, die als AnbieterInnen oder NachfragerInnen von Energie über Verträge und sonstige Vereinbarungen miteinander verbunden sind, Energiemärkte, die sich auf die Wirtschaftlichkeit auswirken und viele mehr.

Nachhaltigkeitspotenzial: P2H-Anlagen tragen zu einer Steigerung der Systemeffizienz bei. Zudem kann damit erneuerbarer Überschussstrom weitgehend genutzt werden. Szenarien, wie das Abschalten von Windkraftanlagen bei starkem Wind und die gleichzeitige Produktion von Wärme in kalorischen Kraftwerken, würden durch die Verbreitung von P2H-Anlagen seltener werden. Die effizientere Nutzung des erneuerbaren Überschussstromes, würde zu seiner Senkung der CO₂-Emissionen führen.

In einer Studie des deutschen Instituts für Energie- und Klimapolitik kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Nutzung des erneuerbaren Überschussstroms zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme über das Prinzip von P2H für Deutschland vorteilhaft wäre. Durch den Einsatz von Wärmespeichern könnte diese Nutzungsform des Überschussstroms sinnvoll ergänzt werden.⁷⁴

Eine Studie der TU Graz kommt zu folgendem Schluss: Ausgehend von der Annahme eines 90 % Dekarbonisierungsszenarios bis 2050 konnte anhand von Modellen gezeigt werden, dass P2H einen Beitrag zur Nachfrageflexibilisierung leisten kann. Des Weiteren ergaben die Berechnungen, dass diese Emissionsreduktion im österreichischen und deutschen Stromnetz auch ohne den Einsatz von neuen Speichersystemen erreicht werden kann.⁷⁵

Forschungs- und Demonstrationsprojekte: Nachfolgend wird eine Auswahl an Forschungs- und Demonstrationsprojekten vorgestellt, die in unterschiedlicher Form Bezug zu P2H nehmen. Einige Projekte behandeln technische Aspekte von P2H und urbanen Hybridnetzen, andere Projekte beleuchten eher die rechtlichen, wirtschaftlichen oder energiepolitischen

⁷³ Quelle: http://www.orpheus-project.eu/images/pdf/D3_2_revised.pdf; [Seite 46] abgerufen im Februar 2016

⁷⁴ Quelle: http://www.arrhenius.de/uploads/media/arrhenius_DP_9_-_Power-to-heat.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁷⁵ Quelle: http://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2014/files/pr/PR_Totschnig.pdf; abgerufen im Februar 2016

Gesichtspunkte. Es werden Beispiele für zentrale großtechnische Anwendungen von P2H-Anlagen (z.B. P2H-Pilotanlagen der Salzburg AG) als auch dezentrale in-House Lösungen (z.B. Rosa-Zukunft) vorgestellt.

International:

- Power-to-Heat Anlage in Berlin Adlershof (2013-2015)⁷⁶: Die P2H-Demonstrationsanlage in städtischen Ballungsgebiet Berlin Adlershof wurde im Rahmen des transnationalen Projektes INFRA-PLAN (D-A-CH) errichtet. Ziele dieses Demonstrationsprojektes waren: die Wirtschaftlichkeit einer P2H-Anlage im MW-Bereich am Standort Berlin Adlersdorf zu testen, die Integration einer solchen Anlage in die bestehende Kraftwerksinfrastruktur zu überprüfen und eventuelle Hindernisse bei der Realisierung am Standort Berlin Adlersdorf zu identifizieren. Die Ergebnisse des Projektes deuten darauf hin, dass P2H-Anlagen zur Bereitstellung der Sekundärregelenergie (Regelenergie) am Standort Adlershof wirtschaftlich betrieben werden können. Die Kombination aus einer 6 MW P2H Anlage, einer KWK-Anlage und eines Wärmespeichers erlaubt es, die notwendige Pufferung des Stromsystems zu übernehmen. Des Weiteren konnten relevante regulatorische Umsetzungshindernisse zur Verwertung von erneuerbarem Überschussstrom identifiziert und Lösungsvorschläge erarbeitet werden. In weiteren Demonstrationsprojekten am Standort Berlin Adlershof sollen die erforderlichen neuen Organisationsformen zwischen Anlagen- und Netzbetreibern sowie neue Markt- und Kommunikationsformen entwickelt und getestet werden.
- Power-to-Heat Anlage Neumünster (Inbetriebnahme 2016)⁷⁷: In Neumünster soll Mitte 2016 eine 20 MW P2H-Anlage in Betrieb genommen werden. Ziel dieser Anlage ist es, überschüssigen Strom aus Windkraftanlagen effizienter zu nutzen. Ein Elektrodenverdampfer erzeugt mit dem Überschussstrom Dampf, welcher in das Fernwärmenetz eingeleitet wird. Der hohe Wirkungsgrad von nahezu 100 Prozent ist eine überaus effektive Nutzungsart für Stromüberschuss im Netz. P2H-Anlagen stellen für die nördlichen deutschen Bundesländer, wie in diesem Fall in Schleswig-Holstein, eine Möglichkeit zum Ausgleich der großen Differenzen zwischen Stromerzeugung und Verbrauch dar. Die Planung und Umsetzung der Anlage erfolgt durch ein auf P2H-Anlage spezialisiertes Unternehmen.^{78,79}
- OrPHEuS-Optimizing Hybrid Energy Grids for Smart Cities (2013-2016)⁸⁰: Das EU-Projekt OrPHEuS hat zum Ziel, ein Hybrid Energy Network Control System für Smart Cities zu entwickeln. Durch das System soll die Interaktion zwischen unterschiedlichen Netzen optimiert werden. Anhand von zwei Städten (Ulm, Skellefteå), die be-

⁷⁶ Quelle:

http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2015/uploads/abstracts/A_18_Hinterberger_Robert_23-Dec-2014_13-10.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁷⁷ Quelle: <http://enerstorage.de/pth-anlage-bei-den-swn-stadtwerken-neumunster/>; abgerufen im Februar 2016

⁷⁸ Quelle: <http://www.kn-online.de/News/Nachrichten-aus-Neumuenster/Stadtwerke-Neumuenster-Bau-einer-Power-to-Heat-Anlage-fuer-Fernwaerme>, abgerufen im februar 2016

⁷⁹ Quelle: <http://www.renewablesinternational.net/power-to-heat-gets-going-in-germany/150/537/88373/>, abgerufen im Februar 2016

⁸⁰ Quelle: <http://www.orpheus-project.eu/>; abgerufen im Februar 2016

reits über einen sehr hohen Anteil an erneuerbaren Energien verfügen, soll das entwickelte Hybrid Energy Network Control System getestet und optimiert werden.

- Hybride Stadtspeicher (2011-2014)⁸¹: In diesem vom Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik durchgeführten Projekt wird der urbane Raum als hybrider Speicher gesehen. Städte verfügen über ein hohes Potential zur Speicherung von Energie, wodurch sie als Puffer zwischen Energieangebot und Energienachfrage fungieren können. Ein großer Vorteil von den sogenannten hybriden Stadtspeichern besteht darin, dass viele Anlagen bereits installiert sind. Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke können mit geringen Umbaumaßnahmen (Speicher erweitern) als Stromspeicher genutzt werden. Durch die zentrale Steuerung dieser Anlagen kann aus Netzsicht je nach Bedarf Strom erzeugt oder verbraucht werden. Dieses Prinzip ermöglicht es, viele einzelne kleinere Speicher mit intelligenten Stromerzeugern oder Wärmepumpen im Bereich von 5 bis 50 Kilowatt zu einem virtuellen Gesamtspeicher, der im drei- bis vierstelligen Kilowattbereich liegt, miteinander zu vernetzen.⁸²
- Energiespeicherung und Stromnetzregelung mit hocheffizienten Gebäuden (2012-2014)⁸³: Dieses deutsche P2H-Leitprojekte zielte darauf ab, das Potential der energetischen Pufferwirkung von hoch effizienten Gebäuden (Passivhausstandard) zu erheben. Das Untersuchungsgebäude weist hierfür eine angepasste Bauweise, d.h. große Speichermasse und stark verzögertes Auskühlverhalten, auf. Zur Erprobung der Netzentlastung durch die Stromabnahme zur Wärmeproduktion, wurde eine intelligente Steuerungstechnik und die dazu passenden Steuerungssignale entwickelt. Die P2H-Technik ist im Gebäude integriert. Zentraler Aspekt der P2H-Anlage ist ein Durchlauferhitzer mit einer separaten Steuerung. Diese ist für die optimale Ausnutzung des Schichtungsverhaltens und der Temperaturspreizung des Pufferspeichers verantwortlich. Mittels Powerline-Kommunikationstechnik wird das Signal des Stromversorgers über die Ortsnetzstation ins Gebäude geleitet und ausgewertet. Das Signal des Netzbetreibers wird mit dem aktuellen Beladungszustand des Pufferspeichers, den Nutzeransprüchen und den Komfortbedingungen abgeglichen. Je nach Beladungszustand des Pufferspeichers kann so Strom über die P2H-Anlage gespeichert werden. Die Projektergebnisse zeigen, dass weitere Optimierungspotentiale im Bereich der Steuerungssignale (Marktsignal, Windsignal) und im Bereich der Steuerungs- und Regelsysteme vorhanden sind.
- From Wind Power to Heat pumps (2013)⁸⁴: Dieses Demonstrationsprojekt wird vom dänischen Übertragungsnetzbetreiber Energinet durchgeführt. Ziel ist es den erneuerbaren Überschussstrom aus Windkraft mittels 300 miteinander intelligent vernetzten Wärmepumpen zu nutzen um damit 300 Haushalte zu beheizen. Die

⁸¹ Quelle: http://hybrider-stadtspeicher.de/images/stories/hybrider_stadtspeicher.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁸² Quelle: <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsfelder/energie-rohstoffe/energie-speichern-und-managen/hybride-stadtspeicher.html>, abgerufen im Februar 2016

⁸³ Quelle: http://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2014/files/lf/LF_Pommer.pdf, abgerufen im Februar 2016

⁸⁴ Quelle: <http://www.energinet.dk/EN/FORSKNING/Energinet-dks-forskning-og-udvikling/Sider/Fra-vindkraft-til-varmepumper.aspx>, abgerufen im Februar 2016

Wärmepumpen bilden zusammen einen virtuellen Speicher, der die erneuerbare Überschussenergie für die Haushalte nutzbar macht. Zusätzlich wird auch die Netzflexibilisierung erhöht.

Österreich:

- Power-to-Heat Anlagen Salzburg (2015, 2016)⁸⁵: Die Salzburg AG hat 2015 österreichweit die erste P2H-Anlage (Elektrodenkessel) im Heizkraftwerk Salzburg Mitte errichtet. 2016 wurde eine zweite Anlage im Heizkraftwerk Nord mit 15 MW Leistung errichtet. Die durch erneuerbarer Überschussenergie (Windenergie) produzierte Wärme wird in das Fernwärmenetz eingespeist. Laut Salzburg AG Vorstand soll sich die Anlage Salzburg Nord bereits nach 3 bis 5 Jahren amortisieren und jährlich 3.000 t CO₂ einsparen.
- Power-to-Heat Hall in Tirol (2016)⁸⁶: Im Herbst 2016 wird der Vollbetrieb von Tirols erster P2H-Anlage aufgenommen. Es handelt sich um eine 20 MW Regelenergieanlage, die, ebenso wie in Salzburg, erneuerbaren Überschussstrom nutzen wird, um daraus Wärme zu erzeugen und diese in das Fernwärmenetz einzuspeisen. Die erzeugte Wärmeenergie gewährt einerseits die Versorgungssicherheit in Hall und andererseits trägt sie zur Erhöhung der Effizienz des Stromnetzes bei, da der Überschussstrom genutzt wird. Laut Anlagenbetreiber können jährlich etwa 1.000 t CO₂ eingespart werden.
- P2H-Pot (laufend)⁸⁷: Im Projekt P2H-Pot werden thermodynamische Simulationen unterschiedlicher P2H-Systemkonfigurationen mit Praxiserfahrungen aus Skandinavien verknüpft und verglichen. Basierend auf den Ergebnissen des Vergleichs zielt das Projekt darauf ab, die technischen und wirtschaftlichen Potentiale von P2H-Anwendungen im urbanen Raum zu erheben und neben den technischen und wirtschaftlichen auch die dazu notwendigen regulatorischen, steuerlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu identifizieren.
- Hybrid Grids Demo Hartberg (2014-2018)^{88,89}: Die steirische Kleinstadt Hartberg hat rund 6.500 Einwohner und war seit 2010 in drei Smart City Projekte involviert.⁹⁰ Im Projekt Hybrid Grids Demo Hartberg soll das städtische Energiesystem in einen funktionalen Energiespeicher umgewandelt werden. Urbane Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetze sollen intelligent miteinander verknüpft werden und somit ein integriertes „Energieschwammsystem“ bilden. Die Energieflüsse sollen netz- und energieträgerübergreifend in Echtzeit optimiert werden. Die Funktionsweise des Systems beruht

⁸⁵ Quelle: <http://www.salzburg.com/nachrichten/salzburg/wirtschaft/sn/artikel/salzburg-ag-ueberfluessiger-windstrom-liefert-waerme-185163/>; abgerufen im Februar 2016

⁸⁶ Quelle: <http://www.hall.ag/Media-Presse/Archiv-2015/Tirols-erste-Power-To-Heat-Anlage-wird-in-Hall-i.-T.-Realitaet?%2FNews%2FTirols-erste-Power-To-Heat-Anlage-wird-in-Hall-i.-T.-Realitaet>; abgerufen im Februar 2016

⁸⁷ Quelle: <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id7756>, abgerufen im Februar 2016

⁸⁸ Quelle: <http://www.smartgrids.at/index.php?download=372.pdf>, abgerufen im Februar 2016

⁸⁹ Quelle: <http://www.smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/hybrid-grids-demo-hartberg-/>; abgerufen im Februar 2016

⁹⁰ Quelle:

<https://www.klimafonds.gv.at/assets/ScienceBrunch/Energieforschung/Presentations/150602InfotagKlienSmart-City-HBsw.pdf>; abgerufen im Februar 2016

auf einer zentralen Steuerungseinheit, die parallel zur vorhandenen Regelinfrastruktur installiert wird. Diese Einheit versorgt die Erzeuger und Verbraucher mit Informationen und Empfehlungen die automatisiert oder manuell übernommen werden können. Im Demonstrationsprojekt Hartberg wird nicht nur das Teilsystem des Strom- und Wärmenetzes betrachtet. Vielmehr werden mittels intelligenter Verknüpfung der urbanen Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetze die Potentiale von funktionalen Stromspeichern erhoben.

- Wohnhausanlage Rosa Zukunft⁹¹ (2011-2015): Die Wohnhausanlage Rosa Zukunft wurde in den Jahren 2012/2013 in Salzburg als Demonstrationsprojekt errichtet und vereint Generationenwohnen mit einem hybriden Energiekonzept. In der Wohnhausanlage wird mittels Blockheizkraftwerk (BHKW) und Photovoltaikanlage Elektrizität erzeugt. Eine zweistufige Wärmepumpe versorgt einen 90 m³ großen Pufferspeicher. Das speziell für die Rosa Zukunft entwickelte Energiemanagementsystem optimiert die Energieerzeugung und den Verbrauch. Durch dieses Energiekonzept kann die vor Ort aus erneuerbaren Ressourcen erzeugte Energie optimal genutzt werden. Zusätzlich kann die Wohnhausanlage je nach Bedarf und aktuellem Strommarktpreis auf das überregionale Angebot von regenerativen Energien reagieren.
- Open Heat Grid⁹² (2014-2016): Im Projekt Open Heat Grid soll erforscht werden, welche Rahmenbedingungen für ein gekoppeltes Strom-, Gas- und Wärmenetz geschaffen werden müssen. So soll zum Beispiel ein Vorschlag für die „Öffnung“ des bislang monopolistischen Wärmenetzes erstellt werden. Es sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie dezentral betriebene Mikro-KWK Anlagen in ein Hybridnetz integriert werden könnten. Das offene Wärmenetz soll in ein urbanes Hybridsystem eingebettet werden. Anhand des im Projektes erarbeiteten Open Heat Grids Konzepts sollen wirtschaftliche Aspekte, technische Entwicklungen, rechtliche und politische Risiken für die Umsetzung sowie volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen aufgezeigt und diskutiert werden.

Abschätzung der Reife

Technik: Die Hardwarekomponenten (Elektrodenheizkessel, Widerstandsheizung, Wärmepumpe, Heizpatrone, Pufferspeicher etc.) für P2H-Anlagen können durchgehend als reif angesehen werden.⁹³ Die Beispiele aus Salzburg und Hall in Tirol zeigen, dass auch der Betrieb einer P2H-Anlage mit Einspeisung in das Fernwärmenetz funktioniert und demnach als technisch weitgehend ausgereift bezeichnet werden kann. Auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht scheinen diese Anlagen rentabel zu sein.

⁹¹ Quelle: <http://www.smartcities.at/assets/03-Begleitmassnahmen/ProjektficheHiTRosazukunftfinal.pdf>; abgerufen im Februar 2016

⁹² Quelle: <http://www.energieinstitut-linz.at/v2/portfolio-item/open-heat-grid/>; abgerufen im Februar 2016

⁹³ Quelle: http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/e2050_pdf/events/20140305_fti_smartgrids2020_expws_flexibilitaet_als_schluesel_03_hinterberger.pdf; abgerufen im Februar 2016

Zentrale P2H-Anlagen erfüllen meist den Zweck der Sekundärregelung. Sie gehen nur dann in Betrieb, wenn Überschussstrom aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung steht. Damit tragen sie, ähnlich wie Pumpspeicherkraftwerke, zur Flexibilisierung des Stromnetzes bei.

Betrachtet man die technische Reife dezentraler P2H-Anlagen, also Anlagen, die nicht zentral Wärme aus Überschussstrom produzieren und anschließend in das Fernwärmenetz einspeisen, sondern nahe an den Verbrauchern installiert sind, dann besteht noch Entwicklungspotential hinsichtlich der Vernetzung und Steuerung. Beispiele dafür sind die Demonstrationsprojekte Hybrid Grid Hartberg oder Rosa Zukunft, in denen solche Fragen adressiert werden.

Regeln: Der Betrieb von P2H-Anlagen in urbanen Hybridnetzen stellt neue Herausforderungen an die rechtlichen Rahmenbedingungen des Energiemarktes. Bisher getrennt betrachtete Regulierungsregimes (Strom-, Gas-, Wärme- und Informationsnetze) müssen integriert betrachtet werden. Es gilt hierbei zunächst die rechtlichen Hindernisse zu identifizieren, um sie in einem nächsten Schritt adäquat anpassen zu können. Erfahrungen aus Dänemark zeigen, dass die Beseitigung regulatorischer Hindernisse im Jahr 2008 zu einer Zunahme der P2H-Anlagen geführt hat. In Deutschland hat sich diese Wirkung bislang nicht gezeigt. Vielmehr ergeben sich durch hohe Steuern, Abgaben und Umlagen auf erneuerbaren Strom, Markthemmnisse für den Betrieb von P2H-Anlagen.⁹⁴ Für Österreich wird davon ausgegangen, dass P2H-Ansätze deutlich von einer Anpassung der Netzentgelte und Steuern profitieren könnten.⁹⁵

Handlungsbedarf scheint zudem im Bereich der Fernwärmenetze zu bestehen, die in Österreich als natürliches „unreguliertes Monopol“ gelten. Bis auf die Möglichkeit des Preisgesetzes gibt es keine weiteren Regulierungsinstrumente.⁹⁶ So ist zum Beispiel die dezentrale Einspeisung und die Nutzung industrieller Abwärme stark eingeschränkt. Das österreichische Forschungsprojekt Open Heat Grid widmet sich diesen rechtlichen und ökonomischen Fragestellungen im Kontext urbaner Hybridnetze.⁹⁷ Ergebnisse liegen bislang allerdings noch keine vor.

Nutzerpraktiken und Märkte: Bezogen auf Österreich lassen sich zwei wirtschaftliche Arten des Einsatzes von P2H-Anlagen identifizieren. Zum einen besteht die Möglichkeit der Regelenenergiebereitstellung (negative Sekundärregelleistung). Diese wird von zentralen Anlagen im Rahmen der Austrian Power Grid (APG) Präqualifikationsbedingungen erbracht. Zum anderen kann erneuerbarer Überschussstrom direkt genutzt und in Wärme umge-

⁹⁴ Quelle:
http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/e2050_pdf/events/20140305_fti_smartgrids2020_expws_flexibilitaet_als_schluesel_03_hinterberger.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁹⁵ Quelle:
<http://www.uma.or.at/assets/userFiles/Veranstaltungen/Fachdialoge2015/SpeicherungNetze221121015/Totschnig.pdf>; abgerufen im Februar 2016

⁹⁶ Quelle: https://media.arbeiterkammer.at/stmk/Fernwaerme_2014.pdf; abgerufen im Februar 2016

⁹⁷ Quelle: <http://www.energieinstitut-linz.at/v2/portfolio-item/open-heat-grid/>; abgerufen im Februar 2016

wandelt werden.⁹⁸ Die Inbetriebnahme der P2H-Anlagen in Salzburg und in Hall in Tirol lassen darauf schließen, dass die Energielieferanten die wirtschaftlichen Potentiale wahrnehmen und nutzen. Die Amortisationszeiten am Beispiel der Salzburger P2H-Anlage werden auf 3 bis 5 Jahre geschätzt.⁹⁹ Bei diesen beiden Beispielen muss jedoch berücksichtigt werden, dass die BetreiberInnen der Anlagen gleichzeitig auch die Eigentümer der Fernwärmenetze sind, in welche die P2H-Wärme eingespeist wird.^{100,101} Auch dezentral betriebene P2H-Anlagen können durch die Bereitstellung negativer Regelleistung über einen ca. 1.000 Liter fassenden Pufferspeicher, wirtschaftlich betrieben werden.¹⁰²

Im deutschen Energiesektor bestehen Markthemmnisse für P2H-Anlagen aufgrund hoher Steuern und Umlagen etc. (Kosten >130€/MWh).¹⁰³ Derartige Zahlen sind für Österreich nicht verfügbar.

Die bisher in Österreich umgesetzten P2H-Anlagen haben durchwegs Pilot- oder Demonstrationscharakter. Der Markt für P2H-Anlagen befindet sich in einer sehr frühen Phase. Erste Nutzererfahrungen werden zum Teil im Rahmen von wissenschaftlichen Begleitstudien erhoben.¹⁰⁴

Kulturelle Bedeutung: Das Thema P2H wird bislang nur von einem eingeschränkten Fachpublikum diskutiert.¹⁰⁵ Interessengruppen, die erneuerbare Energien unterstützen, betonen vor allem das Potenzial der Technik, die Flexibilität der Stromerzeugung zu erhöhen. Die Nutzung elektrischer Energie zur Erzeugung von Wärme wird aber auch kritisch gesehen.¹⁰⁶ Grund dafür ist die Tatsache, dass die physikalisch „hochwertige“ Energieform Strom in die weniger „wertvolle“ Energieform Wärme umgewandelt wird. Zudem wird diskutiert, dass der Einsatz von P2H in Konkurrenz mit der energetischen Sanierung von Gebäuden steht, denn je höher die thermischen Standards von Gebäuden sind, desto geringer ist auch ihr Wärmebedarf.

Zusammenfassend können wir festhalten, dass dem Thema P2H bisher nur in einigen wenigen disziplinären Kontexten kulturelle Bedeutungen, die zum Teil im Widerspruch zueinander stehen, zugeschrieben werden. Zudem muss hier angemerkt werden, dass zur Frage der

⁹⁸ Quelle:

http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2015/uploads/fullpaper/P_18_Hinterberger_Robert_30-Jan-2015_18:25.pdf, abgerufen im Februar 2016

⁹⁹ Quelle: <http://www.salzburg.com/nachrichten/salzburg/wirtschaft/sn/artikel/salzburg-ag-ueberfluessiger-windstrom-liefert-waerme-185163/>; abgerufen im Februar 2016

¹⁰⁰ Quelle: <http://www.hall.ag/Media-Presse/Archiv-2015/Tirols-erste-Power-To-Heat-Anlage-wird-in-Hall-i.-T.-Realitaet?%2FNews%2FTirols-erste-Power-To-Heat-Anlage-wird-in-Hall-i.-T.-Realitaet>; abgerufen im Februar 2016

¹⁰¹ Quelle: <http://www.salzburg.com/nachrichten/salzburg/wirtschaft/sn/artikel/salzburg-ag-ueberfluessiger-windstrom-liefert-waerme-185163/>; abgerufen im Februar 2016

¹⁰² Quelle: <https://www.zukunftsheizen.de/technik/power-to-heat/studien-zu-power-to-heat.html>, abgerufen im Februar 2016

¹⁰³ Quelle:

http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2015/uploads/fullpaper/P_18_Hinterberger_Robert_30-Jan-2015_18:25.pdf; abgerufen im Februar 2016

¹⁰⁴ <http://www.cure.at/researchprojects#HiT-Begleitforschung>; abgerufen im März 2016

¹⁰⁵ <https://www.efzn.de/veranstaltungen/powertoheat/p2h-2015/>; abgerufen im März 2016

¹⁰⁶ Quelle: http://www.arrhenius.de/uploads/media/arrhenius_DP_9_-_Power-to-heat.pdf; abgerufen im Februar 2016

kulturellen Bedeutung von P2H bislang keine Untersuchungen vorliegen und auch die sonstige Quellenlage kaum eine belastbare Einschätzung zulässt.

Infrastruktur: Die weitere Infrastruktur für den Einsatz von P2H-Anlagen ist vielfach bereits vorhanden. Bestehende Elektrizitäts-, Wärme- und Informationsnetze können genutzt werden, müssen allerdings miteinander auf energetischer und informativer Ebene vernetzt werden, damit eine auf Hybridnetze optimierte Nutzung der vorhandenen Infrastruktur stattfinden kann. Generell gehen die Netzbetreiber in Österreich davon aus, dass der Ausbau der bestehenden Elektrizitätsnetze mit IKT, um einen höheren Anteil an volatilen erneuerbaren Energiequellen zu ermöglichen, mit hohen Kosten verbunden sein wird.¹⁰⁷ In diesem Bereich erfordern P2H-Anlagen am ehesten technische Anpassungen bzw. zusätzliche Investitionen.

Produktionsnetze: Es gibt Anbieter von Elektrodenheizkesseln (Fa. Parat¹⁰⁸, Fa. Mainova¹⁰⁹), die bereits auf P2H-Anwendungen spezialisiert sind. In welchem Ausmaß österreichische Unternehmen an der Errichtung bisheriger Pilotanlagen beteiligt waren, konnte im Rahmen dieser Studie nicht umfassend recherchiert werden. An der Demonstrationsanlage in Hartberg sind neben österreichischen Forschungseinrichtungen auch heimische Ingenieurbüros und Anlagenbauer (GE Austria GmbH) beteiligt. Produktionsnetze, die sich auf die Planung- und Errichtung ganzer P2H-Anlagen beziehen, sind demnach bislang nur in Ansätzen vorhanden.¹¹⁰

Einzelne Systemkomponenten sind hingegen bereits lange am österreichischen Markt erhältlich. Pufferspeicher, die bei P2H-Anlagen meist zum Einsatz kommen, werden von einer Vielzahl von Unternehmen produziert (Fa. Austria Email, Fa. Wolf GmbH, Fa. Buderus etc.). Gleiches gilt für Wärmepumpen (Fa. Ochsner, Fa. Heliotherm, Fa. Weider Wärmepumpen etc.).

Wartungsnetze: Wenn P2H-Anlagen, wie an den Beispielen von Hall in Tirol oder Salzburg, von Stadtwerken errichtet werden, kann die Wartung der Anlagen im Rahmen der unternehmensinternen Wartungsabläufe durchgeführt werden. Auch zukünftige Anlagen werden meist von bestehenden Energiedienstleistungsunternehmen errichtet und gewartet.

Für die technischen Systemkomponenten von P2H (Elektrodenheizkessel, Widerstandsheizung, Wärmepumpen, Heizpatrone, Pufferspeicher etc.) existieren standardisierte Wartungsprotokolle, da diese Technologien bereits seit vielen Jahren auf dem Markt erhältlich sind.

¹⁰⁷ Quellen: <http://oesterreichsenergie.at/energiepolitik/einfuehrunggrundlagen-netze/netzbetreiber-stehen-vor-grossen-investitionsherausforderungen.html>; aufgerufen im Februar 2016

¹⁰⁸ Quelle: <http://www.parat.no/de>; aufgerufen im Februar 2016

¹⁰⁹ Quelle: https://www.mainova.de/ueber_uns/presse/18158.html; aufgerufen im Februar 2016

¹¹⁰ <http://www.smartcities.at/assets/Uploads/Projektbeschreibung-Hartberg-Hybrid-grids-Demo-846142-Stand-Februar-2016.pdf>, aufgerufen im März 2016

Fazit: Power-to-Heat

Zusammenfassend betrachtet ist P2H in Österreich eine soziotechnische Innovation mit relativ geringer Gesamtreife. Während für die Elemente Technik und Infrastruktur bereits eine eher hohe Reife diagnostiziert werden kann, ist der Entwicklungsstand bei den meisten anderen Elementen deutlich geringer einzuschätzen. Die bestehenden Regeln auf den Energiemärkten werden von ExpertInnen als eher hinderlich für die Verbreitung von P2H-Anlagen angesehen. Insbesondere durch die Verknüpfung von zwei (oder mehr) Infrastrukturen, die bislang verschiedenen Regulierungsregimes unterliegen, resultiert ein entsprechender Anpassungsbedarf im Bereich des Energierechts. Einzelne Studien weisen auch darauf hin, dass veränderte Netzentgelte und Steuern die Bedingungen für P2H-Anlagen deutlich verbessern könnten. Dazu passt, dass sich der heimische Markt für P2H-Anlagen in einer sehr frühen Phase befindet. Bei den heute bereits umgesetzten Projekten handelt es sich ausschließlich um Pilot- oder Demonstrationsanlagen. Dokumentierte Erfahrungen aus der Nutzung dieser Anlagen liegen bislang keine vor, in einigen Fällen sind allerdings entsprechende Begleitstudien in Ausarbeitung. Produktions- und Wartungsnetzwerke entsprechen in etwa dem Niveau der Marktentwicklung. Heimische Unternehmen sind zumindest zum Teil im Rahmen der Demonstrationsprojekte eingebunden. Kulturelle Bedeutung kommt dem Thema P2H bislang nur in Fachkreisen zu. Auffallend ist dabei, dass die zugeschriebenen Bedeutungen zum Teil in Widerspruch zueinander stehen.

Tabelle 6: Überblick über die Reife der Innovation „Power-to-Heat“

Element der STI	Beschreibung	Reife
Technik	<ul style="list-style-type: none">• Zentrale P2H-Anlagen mit anschließender Einspeisung in ein Fernwärmenetz verfügen bereits über einen hohen Reifegrad (TRL 7-8).• Dezentrale Systeme gelten als komplexer, da Feedbackmechanismen zwischen dezentralen Akteuren und Netzbetreibern notwendig sind. Intelligente und vernetzte Steuerungsmechanismen werden in Pilotprojekten erprobt und getestet.	mittlere bis hohe
Regeln	<ul style="list-style-type: none">• Die Verknüpfung von zwei (oder mehr) Infrastrukturen, die bislang verschiedenen Regulierungsregimes unterliegen, erfordern Anpassungen im Energierecht, die bis dato nicht durchgeführt wurden.• Die Einspeisung von Wärme aus P2H-Anlagen durch Dritte in Fernwärmenetze ist nicht (ausreichend) geregelt.• Optimierung der Netzentgelte und Steuern zur weiteren Nachfrageflexibilisierung wird als notwendig erachtet.	geringe bis mittlere

Nutzerpraktiken und Märkte	<ul style="list-style-type: none"> • Der heimische Markt für P2H-Anlagen befindet sich in einer sehr frühen Phase. Bisher wurden in Österreich nur Pilot- oder Demonstrationsanlagen umgesetzt. • Sowohl die zentrale als auch die dezentrale Nutzung von P2H zur Bereitstellung negativer Regelleistung kann unter bestimmten Bedingungen wirtschaftlich sein. • Erfahrungen in Bezug auf Nutzerpraktiken liegen bislang keine vor. Zum Teil sind Nutzerpraktiken jedoch Gegenstand laufender wissenschaftlicher Begleitstudien. 	geringe bis mittlere
Kulturelle Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> • Das Thema P2H ist bislang nur in Fachkreisen von Bedeutung. • Die zugeschriebenen Bedeutungen stehen zum Teil in Widerspruch zueinander (Umwandlung von Strom in Wärme prinzipiell negativ vs. P2H ermöglicht höhere Ausnutzung von erneuerbaren Energien). • Die Quellenlage lässt darüber hinaus keine belastbare Einschätzung zu. 	geringe
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Notwendige Anschlussinfrastrukturen existieren in der Regel bereits (Wärmenetz, Stromnetz, Informationsnetz, Wärmespeicher). • Eine zusätzliche Verknüpfung der Infrastrukturen auf energetischer und informationstechnischer Ebene wird als notwendig erachtet. 	mittlere bis hohe
Produktionsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • Ausländische Unternehmen wie Mainova oder Parat bieten spezifische Systemlösungen für P2H-Anwendungen an. • Heimische Produktionsnetze sind kaum vorhanden und existieren bislang nur im Zusammenhang mit geförderten Demonstrationsanlagen. • Produktionsnetze für einzelne Komponenten (Wärmepumpen, Pufferspeicher etc.) gelten als weitgehend ausgereift. 	mittlere
Wartungsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • Zu den technischen Systemkomponenten von P2H existieren Wartungsprotokolle (z.B. Elektrodenheizkessel, Widerstandsheizung, Wärmepumpen, Heizpatrone, Pufferspeicher etc.) • Unternehmen die P2H-Systemlösungen anbieten, bieten auch Wartungsleistungen an. • Anlagenbetreiber führen auch Wartungsarbeiten aus. 	mittlere bis hohe

2.1.3.3 Elektrofahrzeugflotte

Allgemeine Beschreibung

Einführung: Elektromobilität gilt als nachhaltige Variante des motorisierten Individualverkehrs.¹¹¹ Elektrische Fahrzeugflotten im städtischen Bereich sind eine konkrete Anwendung von Elektromobilität. Aufgrund spezifischer Anforderungen von Fahrzeugflotten (meist im Vorhinein planbare Routen, gemeinsame Anschaffung und Wartung der Fahrzeuge etc.) könnte sich dieser Bereich gut für die frühe Einführung von Elektromobilität eignen.

Definition: Unter einer elektrischen Fahrzeugflotte verstehen wir einen Fuhrpark, der ausschließlich aus elektrisch betriebenen Fahrzeugen (ein- und zweispurig) besteht. Betrachtet als soziotechnische Innovation umfasst ein solcher Fuhrpark neben den Elektrofahrzeugen eine entsprechende Ladeinfrastruktur sowie sämtliche Einrichtungen, die dem Management der Fahrzeugflotte dienen (Verwaltung, Planung, Steuerung und Kontrolle). Investition, Service, Zuteilung, Versicherung der Fahrzeugflotte usw. werden zentral abgewickelt. Die Fahrzeuge können gekauft oder geleast sein. Der Fuhrpark kann sowohl für den Personentransport als auch für den Transport von Waren dienen. Darüber hinaus gehören zum soziotechnischen System „Elektrofahrzeugflotte“ Regeln, Märkte, Infrastrukturen, Hersteller und Wartungsnetzwerke.

Nachhaltigkeitspotenzial: Elektrische Fahrzeugflotten ermöglichen eine lokal emissionslose, energieeffiziente und geräuscharme Mobilität bzw. Citylogistik. Diese Merkmale treten vor allem in dichtverbauten Siedlungsgebieten besonders positiv hervor. Zudem können von elektrischen Fahrzeugflotten als klar definierte Nischenmärkte wichtige Impulse (steigende Verkaufszahlen, Sichtbarkeit von E-Fahrzeugen im Straßenverkehr, Praxiserfahrungen für die Technikentwicklung etc.) für die weitere Durchsetzung von Elektromobilität ausgehen.

Forschungs- und Demonstrationsprojekte: Die folgenden Projektbeispiele sollen einen exemplarischen Einblick in die Bandbreite von Pilotprojekten geben, die im europäischen Raum bzw. in Österreich bereits initiiert wurden. Mittlerweile gibt es zahlreiche Initiativen, die an dieser Stelle nicht erschöpfend aufgelistet werden können.

Internationale Projekte:

- InFLott: Im deutschen Forschungsprojekt InFlott wurde der Einsatz von Elektrofahrzeugen in Flotten untersucht. Das Projekt soll wettbewerbsfähige Einsatzbereiche von Elektroautos in Fahrzeugflotten aufzeigen und den Beitrag elektrischer Fahrzeugflotten für die Umsetzung zukünftiger Energieversorgungssysteme mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energiequellen darstellen. Das Pilotprojekt wurde in Stuttgart und Karlsruhe in den Jahren 2013 bis 2015 durchgeführt.¹¹²
- Shared E-Fleet: Shared E-Fleet ist ein Pilotprojekt des Fraunhofer Instituts, in dem erforscht wird, wie sich Unternehmen eine Elektrofahrzeugflotte mit Hilfe einer Cloud-

¹¹¹ Siehe beispielsweise Hawkins et al. (2012) Quelle: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x/epdf>, abgefragt im Februar 2016

¹¹² Quelle: <http://www.livinglab-bwe.de/projekt/inflott/>, abgefragt im November 2015.

basierten IKT-Lösung teilen können. Modellversuche werden in München¹¹³, Stuttgart¹¹⁴ und Magdeburg¹¹⁵ durchgeführt.¹¹⁶

- UPS lässt seit 2010 von der deutschen Firma Elektro-Fahrzeuge-Schwaben (EFA-S) gebrauchte Dieselfahrzeuge auf Elektropaketzustellwagen umrüsten. Zu Beginn waren es 7,5-Tonner des Typs P80E, seit 2014 auch 3,5-Tonner des Typs P45E. In London waren im Jahr 2014 bereits 28 derartige Elektro-LKW im Einsatz. Im restlichen Europa nutzt UPS insgesamt 80 weitere Elektrolieferwagen im regulären Betrieb. Der Einsatz von Elektrofahrzeugen von UPS ist auf einzelne Projekte zurückzuführen. In London kollaboriert UPS mit dem EU-Projekt Freight Electric Vehicles in Urban Europe (FREVIEWE) und seit dem Jahr 2014 mit dem World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) im Projekt Zero Emission Cities (ZEC).¹¹⁷

Österreich:

- E-LOG Klagenfurt ist ein Geschäftsmodell, das für ein Fuhrparkmanagement von 200 E-Nutzfahrzeugen ein dezentrales Logistikzentrum und eine Werkstätten-Halle am Stadtrand von Klagenfurt errichtet. Die E-Fahrzeuge werden an Logistik- und Dienstleistungsunternehmen in Klagenfurt und Umgebung einschließlich einer Ladebox vermittelt. Drei innovative CityLogs (Transportzüge) mit Wasserstoff-Brennstoffzellen pendeln zwischen Sammelzentrum und Innenstadt. Geplant ist die Anschaffung von 20 Renault Twizy 80, 20 Renault Zoe, 100 Renault Kangoo, 40 Renault Kangoo Maxi, 6 Renault Maxity, 6 Evans, 5 e-Velotaxi Delivery Cruiser und 3 CityLogs. Die benötigte Energie soll aus erneuerbaren Quellen aufgebracht werden und der für die E-Fahrzeuge zusätzliche Strombedarf wird mittels neu zu errichtender Photovoltaik Anlagen produziert. Das Projekt wird vom Österreichischen Klima- und Energiefonds gefördert und befindet sich zur Zeit in Umsetzung.¹¹⁸
- VLOTTE ist ein Forschungsprojekt aus Vorarlberg das ebenfalls im Rahmen der Förderaktion Modellregion Elektromobilität des Klima- und Energiefonds gefördert wird. Das Projekt fungiert als eine Art zentrale Anlaufstelle für die Elektromobilität in Vorarlberg. VLOTTE umfasst mittlerweile über 400 Elektroautos (Stand Februar 2014). Offeriert wird beispielsweise ein Pauschangebot, das die Finanzierung des Elektrofahrzeugs, eine Jahreskarte des Verkehrsverbunds Vorarlberg (VVV), eine ÖAMTC-Mitgliedschaft, den Zugang zu den öffentlichen Ladesäulen sowie die technischen Wartung für die Batterie umfasst.¹¹⁹ Im Rahmen des Projekts wurden zusätzlich drei Photovoltaikanlagen und eine Kleinwasserkraftanlage errichtet, die über das Jahr gesehen mehr Energie liefern, als die Fahrzeuge der VLOTTE aktuell benötigen

¹¹³ Seit Juli 2014 am MTZ (Münchener Technologiezentrum).

¹¹⁴ Seit Juni 2014 am STEP (Stuttgarter Engineering Park).

¹¹⁵ Der Start ist auf das erste Quartal 2015 terminiert (Stand Dezember 2015).

¹¹⁶ Quelle: <http://www.shared-e-fleet.de/>, abgefragt im November 2015.

¹¹⁷ Quelle: <http://sustainability.ups.com/media/UPS-2014-Corporate-Sustainability-Report.pdf>, abgefragt im November 2015.

¹¹⁸ Quelle: <http://www.e-connected.at/content/e-log-klagenfurt-0>, abgefragt im Dezember 2015.

¹¹⁹ Quelle: <http://www.vlotte.at/>, abgefragt im November 2015.

(Stand August 2012). Die Ladeinfrastruktur soll durch weitere Kooperationen mit z.B. Gastronomiebetrieben weiter ausgebaut werden, wobei das Projekt VLOTTE den Aufbau, die Wartung sowie die Instandhaltung übernimmt.¹²⁰

Verbreitung von elektrischen Fahrzeugflotten: Gut geeignet für den Einsatz von Elektrofahrzeugen sind Taxi- und Carsharingflotten, da sich die aktuell noch hohen Anschaffungskosten durch eine hohe Laufleistung bei niedrigen Betriebskosten ausgleichen lassen.¹²¹ In Wien wurde im Jahr 2014 das erste rein elektrisch betriebene Taxi in Betrieb genommen, das über die Taxifunkzentrale 40100 bestellt werden kann. Bei diesem Fahrzeug handelt es sich um ein Model S der Firma Tesla. Im Rahmen der Initiative „Green Taxi“ der Taxifunkzentrale 40100, die mittlerweile über drei derartige Fahrzeuge in ihrer Flotte verfügt, ist geplant, die Anzahl der Elektrofahrzeuge in den kommenden Jahren auf 20 Fahrzeuge auszuweiten. Darüber hinaus kann über die Homepage der Firma e.Taxi.com ein Nissan des Typs E-NV200 gebucht werden. Im Jahr 2014 wurde im 23. Bezirk die erste Taxi-Elektrotankstelle eröffnet.¹²² Bisher entwickelt sich die Elektro-Taxi-Branche aber nur sehr langsam. Für das Jahr 2016 planen die Wiener Stadtwerke ein größeres Elektro-Taxi-Projekt. Im ersten Jahr sollen 150 Elektro-Taxis auf Wiens Straßen unterwegs sein und im zweiten Jahr bereits 250. Die Gesamtlaufzeit des Projekts wird drei Jahre betragen.¹²³

Auch in New York soll zukünftig auf Elektromobilität gesetzt werden. Der Bürgermeister von New York stellte am 1. Dezember 2015 einen Plan vor, der vorsieht, dass bis zum Jahr 2025 2000 der rund 11.000 städtischen Fahrzeuge durch Elektroautos ersetzt werden. Langfristig ist geplant, einen noch größeren Anteil an Fahrzeugen durch Elektroautos zu ersetzen. Damit würde die Stadt New York über die größte Elektroautoflotte der Vereinigten Staaten verfügen.¹²⁴

Auch der Bürgermeister von London hat angekündigt, ab 2018 nur noch emissionsfreie Taxis zuzulassen. Bisher sind 20 Elektrofahrzeuge von BYD im Einsatz sowie 21 E-Taxis des Typs Nissan Leaf.¹²⁵

Kleinere Elektro-Flotten-Projekte gibt es auch in Rotterdam und Amsterdam. In Rotterdam sind aktuell zwei Elektrotaxis der Marke BYD e6 im Einsatz und es ist vorgesehen, die Flotte um weitere zwanzig Elektrotaxis auszuweiten.¹²⁶ In Amsterdam wurden 350 Elektrobusse der Firma BYD in Betrieb genommen, die für den Transport der Fluggäste im Einsatz sind. Im Rahmen des Projekts Sustainable Bus System of Schiphol (SUBSS) werden ältere gasbe-

¹²⁰ Quelle: <http://www.e-connected.at/content/auftakt-zu-vlotte-ii-0>, abgefragt im November 2015.

¹²¹ Pillei, M. et al. 2015, Elektromobilität 2014. Monitoringbericht, Austriatech Wien, abgefragt im November 2015, <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf>, S. 16.

¹²² Quelle: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf, abgefragt im November 2015.

¹²³ Quelle: http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20150521_OTS0057/wiener-stadtwerke-starten-eines-der-weltweit-groessten-e-taxi-projekte-bild, abgefragt im Dezember 2015.

¹²⁴ Quelle: http://www.nytimes.com/2015/12/02/nyregion/new-york-city-aims-for-a-vast-electric-car-fleet-by-2025.html?ref=nyregion&_r=1, abgefragt im Dezember 2015.

¹²⁵ Quelle: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf, abgefragt im November 2015.

¹²⁶ Quelle: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf, abgefragt im November 2015.

triebene Busse des Flughafens ersetzt. Momentan ist ein zehnjähriger Einsatz der neuen, elektrisch betriebenen Busse geplant.¹²⁷

Auch an anderen Flughäfen werden vermehrt Elektro-Vorfelddbusse eingesetzt. Der Flughafen Stuttgart hat seine Flotte erst im November 2015 um sechs Elektrobusse des Typs eCobus 3000 erweitert. Damit fährt jetzt knapp die Hälfte der Vorfelddbusse elektrisch. Ursprünglich wurde in Stuttgart nur ein Elektrobuss eingesetzt, nach dem sich dieses Fahrzeug in der Testphase bewährt hatte, wurde die Flotte erweitert.¹²⁸ Der Vorfelddbushersteller Cobus verkauft nicht nur neue Elektro-Modelle, sondern bietet auch die Generalüberholung gebrachter Busse inklusive Einbau eines Elektroantriebs. Nach Angaben der Firma Cobus amortisiert sich diese Investition ab einer Nutzungsdauer von etwa zehn Jahren. Ein Elektrobuss kostet zur Zeit etwa doppelt so viel wie ein Modell mit Dieselantrieb.¹²⁹

In Großbritannien verwenden Milchlieferantenfirmen seit 1889 Elektrofahrzeuge. Die elektrischen *Milk Floats* wurden im 19. Jahrhundert eingeführt, weil sie eine geräuscharme Lieferung von Waren des täglichen Bedarfs in den frühen Morgenstunden ermöglichen. Diese Nische für Elektrofahrzeuge hat sich bis heute erhalten. Die Fahrzeuge bewegen sich im Schnitt mit 20 bis 30 km/h und können mit einer Aufladung bis zu 130 km pro Tag zurücklegen. Die Lebensdauer der Fahrzeuge beträgt bis zu 30 Jahre.¹³⁰ Bis heute gibt es in Großbritannien Milchlieferanten, die ihren KundInnen Milch, Brot und andere Güter mit dem *Milk Float* direkt an die Tür liefern.¹³¹

Abschätzung der Reife

Technik: Die auf Mobilität spezialisierte Bundesgesellschaft AustriaTech hat im Rahmen des Projekts ENCLOSE eine umfassende Liste von verfügbaren Elektronutzfahrzeugen in Österreich erstellt, in der vom Zweisitzer bis zum LKW (bis 10t) sämtliche Elektrofahrzeuge angeführt sind, die als Nutzfahrzeuge zugelassen werden können. Laut Liste (Stand Dezember 2013) waren in Österreich 31 Fahrzeuge erhältlich.¹³² Eine aktuelle Suchanfrage auf der Auto-Info¹³³ Seite des Österreichischen Automobil-, Motorrad- und Touringclubs (ÖAMTC) ergab 49 Treffer in der Kategorie Elektrofahrzeug. Allgemein können wir also davon ausgehen, dass sich Elektrofahrzeuge heute durch einen hohen Reifegrad auszeichnen.

Im Folgenden gehen wir etwas genauer auf jene Elektrofahrzeuge ein, die auch in den zuvor beschriebenen Pilotprojekten zu Einsatz kommen.

¹²⁷ Quelle: <http://www.gizmag.com/byd-schiphol-electric-bus/28404/>, abgefragt im Dezember 2015.

¹²⁸ Quelle: <http://www.flughafen-stuttgart.de/das-unternehmen/presse/pressemittelungen/2015/10/landesflughafen-setzt-sechs-weitere-elektrobusse-ein/>, abgefragt im Dezember 2015.

¹²⁹ Quelle: <http://airsideint.com/previous-issues/airside-summer-2014/airport-bus-operators-look-to-go-green>, abgefragt im Dezember 2015.

¹³⁰ Quelle: <http://www.treehugger.com/cars/electric-milk-trucks-still-working-jolly-old-england.html>, abgefragt im Dezember 2015.

¹³¹ Quelle: <http://www.milkandmore.co.uk/About/OurServices>, abgefragt im Dezember 2015.

¹³² Quelle: <http://www.austriatech.at/news/aktuelles/e-nutzfahrzeuge-in-oesterreich>, abgefragt im Dezember 2015.

¹³³ Quelle: <http://www.oeamtc.at/ai-webapp/>, abgefragt im Dezember 2015.

Das Model S der Firma Tesla ist laut ÖAMTC momentan das alltagstauglichste Elektroauto auf dem österreichischen Markt. Bis zu 500 Kilometer können mit einer Akkuladung zurückgelegt werden. Der Automobilclub schätzt diesen Wert als realistisch ein. Damit beträgt die Reichweite mehr als das Dreifache im Vergleich zu anderen Fahrzeugen. Die meisten anderen Modelle erreichen kaum mehr als 100 Kilometer. Die bisherige Rekord-Reichweite eines Model S erzielte ein Tesla-Testfahrer, der mit einer Akkuladung 637 Kilometer zurücklegte. In einer Stunde kann das Fahrzeug der Firma Tesla mittels Schnellladung voll geladen werden. Wird über eine herkömmliche Haushaltssteckdose geladen, sind es 12 Stunden.¹³⁴ Ein Vergleichstest von sechs Elektrofahrzeugen der deutschen Zeitschrift auto-motor-und-sport, der in Kooperation mit dem TÜV Süd durchgeführt wurde, ergab, dass das Model S seine überragenden Leistungen bei Kälte und Hitze nicht halten kann. Die Reichweite brach bei konstant 120 km/h um die Hälfte ein und die Leistung schwankte mit der Temperatur des Antriebssystems.¹³⁵

Der Mitsubishi i-MiEV wird unter anderem in verschiedenen Pilotprojekten im Großraum Graz eingesetzt. 2010 kam dieses Elektroauto als eines der ersten Serien-Elektroautos der Welt auf den Markt. Der ÖAMTC unterzog den i-MiEV zusammen mit der TU Wien über drei Jahre hinweg einem Langzeittest. Nach den drei Jahren ist die nutzbare Batterie-Kapazität des Fahrzeugs um 17 Prozent gesunken. Für den Alltag bedeutet das, dass mit einer Ladung nur mehr 90 statt ursprünglich 108 Kilometer zurückgelegt werden können. Auf den ersten Blick erscheinen 17 Prozent wenig, jedoch kann die Batterie nicht bis zum Ende ihrer Reserven im Einsatz bleiben, soll ein Totalausfall während der Fahrt vermieden werden. Im Regelfall schlagen die Hersteller bei 20 bis 30 Prozent Kapazitätsverlust den Tausch einzelner Zellen oder des ganzen Akkupacks vor. Problematisch daran ist, dass ein Batterietausch sehr teuer werden kann, sollte dieser außerhalb der Garantiezeit nötig werden. Im Fall der Firma Mitsubishi beträgt die Garantiezeit fünf Jahre.¹³⁶

Tests von Elektrobussen gibt es bisher kaum, aber der Flughafen Stuttgart sowie der Flughafen Schiphol in Amsterdam haben beide beschlossen, ihre Elektrobussflotte nach einer Testphase zu erweitern. Das Magazin Airside International berichtet, dass Cobus bereits Anfragen von Flughäfen in Genf, Wien, Dresden, München, Frankfurt und Paris erhalten hat.¹³⁷

Im Projekt E-LOG Klagenfurt kommen Elektro-PKW's und Wasserstoff-LKW's zum Einsatz.¹³⁸ Bisher ist die Entwicklung von elektrisch betriebenen schwerem Nutzverkehr noch nicht mit

¹³⁴ Quelle: <http://www.oeamtc.at/portal/tesla-model-s+2500+1399465>, abgefragt im Dezember 2015.

¹³⁵ Quelle: <http://www.auto-motor-und-sport.de/vergleichstest/elektroautos-6-modelle-im-haertetest-8498096.html>, abgefragt im Dezember 2015.

¹³⁶ Quelle: <http://www.oeamtc.at/portal/e-auto-batterie-verliert-nach-drei-jahren-17-prozent-kapazitaet+2500+1619041>, abgefragt im Dezember 2015.

¹³⁷ Quelle: <http://airsideint.com/previous-issues/airside-summer-2014/airport-bus-operators-look-to-go-green>, abgefragt im Dezember 2015.

¹³⁸ Quelle: http://www.e-connected.at/userfiles/Statusbericht_E-LOG%20KLAGENF%20f%C3%BCr%20NOV%202015_final.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

der Entwicklung von Elektro-PKW vergleichbar (dazu mehr im Abschnitt Nutzerpraktiken und Märkte). Einzelne Hersteller bieten jedoch auch in diesem Bereich erste Produkte an.¹³⁹

Regeln: Ein wichtiges Instrument zur Verringerung von Umweltbelastungen durch den Verkehr sind regulatorische Rahmenbedingungen. CO₂-Flottenlimits sind eines der Hauptkriterien für Automobilhersteller, überhaupt Fahrzeuge mit alternativen und insbesondere Elektroantrieben in ihre Modellpalette aufzunehmen. Darüber hinaus können auch finanzielle Anreize und steuerliche Vergünstigungen attraktiv auf Hersteller sowie Käufer wirken.¹⁴⁰

Die Europäische Union hat sich im Jahr 2008 auf ein Richtlinien- und Zielpaket für Klimaschutz und Energie geeinigt. Demnach gelten europaweit folgende Vorgaben: 20 % weniger Treibhausgasemissionen als 1990, 20 % Anteil an erneuerbaren Energien, 20 % mehr Energieeffizienz.¹⁴¹

Das unverbindliche EU-Empfehlungspapier „Weißbuch Verkehr der Europäischen Kommission“ („Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem“) stellt zehn Ziele für ein wettbewerbsorientiertes und ressourcenschonendes Verkehrssystem vor. Von diesen zehn Zielen bezieht sich eines direkt auf das Thema Elektromobilität: „Entwicklung und Einführung neuer und nachhaltiger Kraftstoffe und Antriebssysteme (1) Halbierung der Nutzung „mit konventionellem Kraftstoff betriebener PKW“ im Stadtverkehr bis 2030; vollständiger Verzicht auf solche Fahrzeuge in Städten bis 2050; Erreichung einer im Wesentlichen CO₂-freien Stadtlogistik in größeren städtischen Zentren bis 2030.“¹⁴² Im Oktober 2014 wurde von der EU die Richtlinie 2014/94/EU über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe verabschiedet, die allerdings keine Vorgaben für die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge bis 2020 enthält.¹⁴³

Zum Teil werden die Richtlinien der Europäischen Kommission in Österreich bereits erfüllt. Im Abschnitt Forcierung der schrittweisen flächendeckenden Einführung von Elektromobilität in Österreich der Energiestrategie Österreich 2020¹⁴⁴ werden die Umsetzungsschritte dargestellt wie z.B.:

- Erstellung eines Masterplans für Elektromobilität als Roadmap für Österreich durch die Zusammenarbeit der betroffenen Ressorts, der Länder, Gemeinden und Unternehmen
- Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle und Einsatzbereiche durch die Schaffung von Marktregeln für die Bereitstellung und Nutzung von Elektrizität und Ladeinfrastruktur

¹³⁹ <http://www.golem.de/news/40-tonner-bmw-nimmt-schweren-elektro-lkw-in-betrieb-1507-115151.html>

¹⁴⁰ Quelle: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf, abgefragt im November 2015.

¹⁴¹ Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008435.pdf>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁴² Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008435.pdf>, abgefragt im November 2015.

¹⁴³ Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008435.pdf>, abgefragt im November 2015.

¹⁴⁴ Quelle:

<http://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/Documents/Eckpunkte%20Energiestrategie.pdf>, abgefragt im Dezember 2015.

- Schaffung steuerlicher Anreize für die Forcierung von Beschaffung und Vertrieb von Elektrofahrzeugen
- Information, Motivation, Ausbildung und Bewusstseinsbildung.¹⁴⁵

Darüber hinaus können auch Umweltzonen und Fahrverbote regulatorische Maßnahmen darstellen. In Wien wurde beispielsweise bislang keine Citymaut eingeführt, da die seit September 2007 existierende Parkraumbewirtschaftung in den Innenbezirken bereits eine verkehrsreduzierende Maßnahme darstellt. In der E-Mobilitätsstrategie STEP 2025 der Stadt Wien wird argumentiert, dass Elektromobilität als ergänzendes Angebot zum öffentlichen Verkehr gesehen wird und der öffentliche Verkehr in eng bebauten urbanen Gebieten priorisiert werden soll. Somit wird es auch in Zukunft keine Ausnahmeregelungen in der Parkraumbewirtschaftung geben und auch keine Mitbenutzung von Trassen des öffentlichen Verkehrs, wie z.B. Busspuren.¹⁴⁶ Der Verkehrsclub Österreich (VCÖ) fordert nicht nur für Wien sondern hat auch für Städte wie Salzburg oder Graz eine Citymaut, bislang wurde diese Forderung aber nicht umgesetzt.¹⁴⁷

Nutzerpraktiken und Märkte: Das Angebot an Elektrofahrzeugen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. 2012 konnten interessierte KäuferInnen zwischen 12 Modellen auswählen, Ende 2013 standen bereits 18 verschiedene Modelle zur Auswahl, Ende 2015 waren es 49.¹⁴⁸

Die Kosten der Batterien sind in den letzten Jahren stark gesunken. Das Managementberatungsunternehmen Horváth und Partner¹⁴⁹ geht davon aus, dass die kWh Batteriekapazität im Jahr 2020 im Schnitt nur noch 150 € kosten wird. Zur Zeit sind die Kosten noch etwa dreimal so hoch. Die Mehrkosten von Elektro-Fahrzeugen sind im Jahr 2013 im Vergleich zum Jahr 2010 um knapp 60 % gesunken. Berücksichtigt man nur Elektrofahrzeuge, die 2013 neu auf den Markt gekommen sind, so sind diese im Durchschnitt nur noch knapp 45 Prozent teurer als vergleichbare konventionelle Fahrzeuge. Würde sich der Trend der letzten drei Jahre fortsetzen, so läge der Aufpreis für Elektrofahrzeuge bis 2020 deutlich unter 10%.¹⁵⁰

Ende 2014 waren in Österreich 4.694.921 Fahrzeuge der Klasse M1 (Fahrzeug zur Personenbeförderung mit maximal acht Sitzplätzen exklusive des Fahrersitzes) zugelassen. Davon fuhren 3.386 Fahrzeuge rein batterieelektrisch. Dies entspricht einem Anteil von 0,07 % am Gesamtbestand. Verglichen mit dem Elektro-Fahrzeugbestand im Jahr 2013 (in Österreich: 2.070 BEVs¹⁵¹) kam es zu einer Steigerung von 63,6 %, während über alle Fahrzeuge

¹⁴⁵ Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008435.pdf>, abgefragt im November 2015.

¹⁴⁶ Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008435.pdf>, abgefragt im November 2015.

¹⁴⁷ Quelle: <http://derstandard.at/1358304609606/Die-Londoner-Citymaut-als-Mutprobe-fuer-Oesterreichs-Staedte>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁴⁸ Quelle: <http://www.oeamtc.at/ai-webapp/>, abgefragt im Dezember 2015

¹⁴⁹ Quelle: <http://www.horvath-partners.com/de/publikationen/studien/detail/fakten-check-mobilitaet-30/>, abgefragt im November 2015.

¹⁵⁰ Quelle: <http://www.horvath-partners.com/de/publikationen/studien/detail/fakten-check-mobilitaet-30/>, abgefragt im November 2015.

¹⁵¹ Batterieelektrisches Fahrzeug

der Klasse M1 nur eine Steigerung von 1,15 % zu verzeichnen war. 2013 gab es 654 Neuzulassungen von Elektroautos in Österreich, 2014 bereits 1.281 (+96%).

In Wien wurden 2014 insgesamt 303.318 PKW neu zugelassen, davon waren 176 reine Elektroautos (0,06 %). Unter den neu zugelassenen Fahrzeugen befanden sich 389 PKW der Marke Renault (30,3 %), 296 BMW (23,11 %), 231 VW (18,03 %), 136 Tesla (10,62%) und 132 Nissan (10,3 %).¹⁵²

Die Verfügbarkeit elektrischer Nutzfahrzeuge lässt sich momentan noch nicht mit der von Elektro-PKW gleichsetzen. Die Auswahl an Modellen ist beschränkt. Im Rahmen des Projekts E-Logistics für regionale Güterverteilerverkehre zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Kombinierten Verkehrs (ELOKOV)¹⁵³ ließ sich die Wirtschaftlichkeit von Elektro-LKW im Vergleich zu LKW mit Dieselantrieb nicht nachweisen.¹⁵⁴ Möglicherweise liegt die Problematik in der mangelnden Gesetzgebung (wie z.B. CO₂-Limits für schwere Nutzfahrzeuge), die die Nachfrage und in Folge dessen die Entwicklung von alternativen Antriebsmodellen im schweren Nutzverkehr vorantreiben könnte.¹⁵⁵

Bisher konnte sich die Elektromobilität noch nicht auf dem Markt behaupten. Im Statusbericht des Projekts e-mobility on demand heißt es, dass sich der Markt für Elektromobilität bisher nur langsam entwickle, die Preise für Elektrofahrzeuge zwar gesunken seien, jedoch noch immer ein signifikanter Preisunterschied zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor bestehe. Während der Laufzeit des Projekts (November 2013 bis Oktober 2015) zeigte sich auch, dass angekündigte Markteintritte von Elektro-Fahrzeugen immer wieder verschoben wurden, es zwar eine größere Auswahl an leichten Nutzfahrzeugen gibt, jedoch weiterhin nur das untere Größensegment abgedeckt wird, einzelne Hersteller aktuell Lieferzeiten von mehr als 6 Monaten aufweisen, einzelne Fahrzeugtypen bereits wieder vom Markt genommen oder zumindest nicht mehr aktiv vertrieben werden und der Beratungsaufwand für Elektro-Fahrzeuge vom Fahrzeughandel meist als zu hoch angesehen wird.¹⁵⁶

Die Alphabet Austria Fuhrparkmanagement GmbH ist ein Tochterunternehmen der BMW AG. Mit dem AlphaElectric eMobility Concept wird ein Elektroautoleasing für Firmen angeboten, das den Aufbau und die Wartung der Ladeinfrastruktur beinhaltet. Darüber hinaus wird eine Mischung aus firmeneigener Flotte sowie Carsharingpool angeboten, mit dem MitarbeiterInnen das Elektroauto sowohl dienstlich als auch privat nutzen können.¹⁵⁷

Kulturelle Bedeutung: Die Entkarbonisierung des Verkehrs ist ein erklärtes Ziel der Europäischen Union. Auch Österreich bekennt sich zu diesem Ziel. Die kulturelle Bedeutung von

¹⁵² Quelle: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf, abgefragt im November 2015.

¹⁵³ <https://www.elokov.wiwi.uni-due.de/>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁵⁴ Quelle: Cinibulak, P & Zelewski, S 2015, „Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse für den Einsatz von Elektro-LKW im Bereich des City-nahen Güterverkehrs“ in H. Proff, Entscheidungen beim Übergang in die Elektromobilität, Springer, Wiesbaden, S. 429-444.

¹⁵⁵ Quelle: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf, abgefragt im November 2015.

¹⁵⁶ Quelle: http://www.e-connected.at/userfiles/Statusbericht_WIEN%20f%C3%BCr%20NOV%202015_final.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁵⁷ Quelle: <https://www.alphabet.com/de-de/AlphaElectric-eMobility>, abgefragt im November 2015.

Elektromobilität zeigt sich beispielsweise in der E-Mobilitätsstrategie im Rahmen des Stadtentwicklungsplans (STEP) 2025 der Stadt Wien. Die Stadt Wien sieht Flotten als idealen Ansatzpunkt für den dringend notwendigen Wandel. In Zusammenarbeit mit der Logistikbranche arbeitet die Stadt an einer Optimierung von Güter- und Verkehrsströmen unter Einbindung der Elektromobilität. Darüber hinaus wird in dem Konzeptpapier STEP 2025 herausgestellt, dass Elektromobilität ein Partner des Umweltverbundes ist und durch die konsequente Umsetzung innovativer Mobilitätsdienstleistungskonzepte intelligente Mobilitätslösungen etabliert werden können, die sowohl die Nutzung von Elektrofahrzeugen als auch andere Angebote des Umweltverbundes attraktiver machen. Der Fokus des Umweltverbundes liegt darin, die vielfältigeren und komplexeren zur Verfügung stehenden Mobilitätslösungen im Sinne der Multimodalität für die KundInnen zu einfachen Paketen zusammenzuführen und einen mühelosen, niederschweligen Zugang anzubieten.¹⁵⁸

Einzelne Unternehmen überführen dieses Konzept in ihre Kommunikationsstrategie, wie z.B. die Österreichische Post AG, die mit ihrem Projekt E-Mobility Post eine „Modellregion“ Österreichs darstellt. Auf den Postfahrzeugen wird damit geworben, dass die Postsendungen mit ebenjenem Fahrzeug CO₂-neutral zugestellt wurden. Darüber hinaus können sich KundInnen auf der Homepage der Post informieren, ab wann die Post in ihrem Wiener Bezirk „grün“ zustellt und wie viele Elektrofahrzeuge mittlerweile für das Unternehmen im Einsatz sind.¹⁵⁹

Auch Fahrzeughersteller werben medienwirksam mit ihren Elektromobilitätsangeboten. Renault inseriert auf sueddeutsche.de und preist in einem Advertorial den Umstieg auf Elektromobilität in Firmenflotten an. Gleich zu Beginn der Anzeige wird auf die schlagkräftigsten Vorteile von Elektrofahrzeugen hingewiesen: „Emissionsfrei, steuerlich attraktiv und sparsam im Unterhalt“.¹⁶⁰ Mit diesem Advertorial betreibt das Unternehmen nicht nur Werbung, sondern auch Öffentlichkeitsarbeit und mit unterschiedlichen Artikeln sollen unterschiedliche Zielgruppen angesprochen werden. Neben diesem für Firmen interessanten Artikel gibt es noch weitere Artikel, wie z.B. „Mit 16 unterwegs auf vier Rädern: Ein Stromer macht's möglich“¹⁶¹, der jungen potenziellen KundInnen die Vorteile von Elektrofahrzeugen näher bringen soll.

Für den städtischen Energieversorger Wien Energie ist Elektromobilität vor allem ein Zukunftsthema. Für diese Zukunft versucht man Kinder als Zielgruppen frühzeitig anzusprechen: „Die Kinder und Jugend von heute gestaltet unser Morgen. In ihren Händen liegt es, wie in Zukunft mit Energie umgegangen wird. Wien Energie spricht junge Menschen deshalb ganz gezielt an.“¹⁶² Zum Thema Elektromobilität wurde beispielsweise ein Pixi-Buch mit dem Titel *Ida und das leise Auto* herausgebracht.

¹⁵⁸ Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008435.pdf>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁵⁹ Quelle: <https://www.post.at/gb2013/de/elektromobilitaet.html>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁶⁰ Quelle: <http://www.sueddeutsche.de/app/templates/iqdigital/advertorial/#/iq/aid/123/cid/390/>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁶¹ Quelle: <http://www.sueddeutsche.de/app/templates/iqdigital/advertorial/#/iq/aid/0/cid/389/>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁶² Quelle: <http://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do?channelId=-51086&programId=68383#68383>, abgefragt im Dezember 2015.

Infrastruktur: In Österreich gibt es mehrere Unternehmen, die sich um eine flächendeckende Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge bemühen. Ende des Jahres 2014 haben sich die Energieversorgungsunternehmen der Länder zum Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ) zusammengeschlossen. Am BEÖ sind elf Energieversorgungsunternehmen beteiligt, deren primäres Ziel die Weiterentwicklung und der Ausbau eines überregionalen Ladestationsnetzes ist. Dabei setzt sich der Bundesverband für eine kosteneffiziente und flächendeckende, offene und interoperable Versorgung mit Elektromobilität aus erneuerbarer Energie in Österreich ein.¹⁶³ Nach eigenen Angaben betreibt die BEÖ 80 % der Ladeinfrastruktur in Österreich¹⁶⁴, genauere Informationen zu Anzahl und Standorten sind auf der Webseite momentan nicht verfügbar.

Eine Übersicht über Ladestationen in Österreich geben andere Plattformen im Internet, wie z.B. e-tankstellen-finder, Smatrics, ELLA-Schnellladenetz etc. Manche geben nur öffentliche Ladestationen an, andere hingegen verzeichnen öffentliche und private Ladestationen. Da es kein öffentliches Melderegister für Ladestationen in Österreich gibt, existieren momentan auch keine verlässlichen Zahlen.¹⁶⁵

In der Wiener Modellregion e-mobility on demand sollen in Zukunft 440 Ladepunkte installiert werden. Bisher gibt es 350, die sich aus 198 öffentlich zugänglichen und 152 betrieblich oder privat genutzten Ladestationen zusammensetzen. Die Koordination sämtlicher Angebote übernimmt die Neue Urbane Mobilität Wien GmbH (NeuMo).¹⁶⁶ Die Kombination aus öffentlichen und halböffentlichen Ladestationen findet man auch in anderen Modellregionen. Im Rahmen des Projekts Electrodrive Salzburg wurden 185 Elektrotankstellen errichtet. 59 davon werden öffentlich oder mit Partnern im halböffentlichen Bereich (Einkaufsmärkte, Gastronomiebetriebe etc.) betrieben. Insgesamt stehen im Land Salzburg 427 Ladepunkte zur Verfügung.¹⁶⁷

Diese Angebote richten sich nur bedingt an Elektroflotten. In der Modellregion E-Mobility Post wird der Strom für die CO₂-neutral betriebenen Fahrzeuge der Österreichischen Post aus erneuerbaren Energiequellen bezogen. Dazu wurde auf dem Briefzentrum Wien eine der größten Aufdach-Photovoltaikanlagen in Österreich errichtet. Eine weitere Anlage entstand am Logistikzentrum Allhaming. Die beiden Anlagen werden die gesamte E-Flotte der Post, die bis 2016 auf über 1.300 E-Fahrzeuge anwachsen soll, mit emissionsfreier Sonnenenergie versorgen.¹⁶⁸

¹⁶³ Quelle: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf, abgefragt im November 2015.

¹⁶⁴ Quelle: <http://beoe.at/>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁶⁵ Quelle: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/emobil_monitoring_2014.pdf, abgefragt im November 2015.

¹⁶⁶ Quelle: <http://www.e-connected.at/content/e-mobility-demand-wien>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁶⁷ Quelle: http://www.e-connected.at/userfiles/Statusbericht%20SBG%20AG%20OKTOBER%202015_final.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁶⁸ Quelle: http://www.e-connected.at/userfiles/Statusbericht_E-Mobility%20POST%20fuer%20NOV%202015_final.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

Wartungs- und Produktionsnetzwerke: In einigen Modellregionen wurden bisher Gesamtpakete angeboten, die nicht nur das Leasing von Elektrofahrzeugen beinhalteten, sondern auch die Errichtung sowie Instandhaltung von Fahrzeug und Ladeinfrastruktur.

Die ElectroDrive Salzburg GmbH bietet im Rahmen ihres Geschäftsmodells „Mobilität im Abo“ solche Gesamtpakete an. KundInnen erhalten dabei Elektrofahrzeuge gemeinsam mit dem Ladestrom aus öffentlichen Ladestationen sowie optionalen Versicherungs- und Serviceangeboten zu einer fixen monatlichen Rate. Bei Elektroautos werden ergänzend zum E-Auto Ladepakete angeboten, die neben einer Heimpladestation samt Montage auch die Überprüfung der Elektroinstallation, die Belieferung mit Ökostrom und den Zugang zur öffentlichen Ladeinfrastruktur bieten. Zu Beginn des Projekts in 2010 gab es Mietangebote für Elektroautos. Da mittlerweile aber mehr Elektrofahrzeuge auf dem Markt verfügbar sind, wurde die Kernkompetenz in den Ausbau von Ladestationen im Raum Salzburg verlagert. Darüber hinaus wird weiterhin stark mit dem Autohandel kooperiert. Der Fahrzeughandel bleibt nach wie vor Ansprech- und Anlaufstelle für die Elektrofahrzeuge. ElectroDrive Salzburg stellt im Zuge der Verkaufsgespräche dem Fahrzeughandel ihr Know-how im Bereich der Förderungen von Elektroautos zur Verfügung und bietet zudem die nötige Ladeinfrastruktur (Ladestationen „safe home“ und „green home“) inklusive Ökostromversorgung an. Finanzierungen, Versicherungen, sicheres und schnelleres Laden können somit in Gesamtpaketen angeboten werden.¹⁶⁹

Für das Projekt VLOTTE in Vorarlberg zeichneten die Illwerke verantwortlich, die gemeinsam mit anderen Unternehmen ein Produktions- und Wartungsnetzwerk aufgebaut haben. Das Autohaus Rohrer übernahm die Elektrifizierung der Fiat 500 in Vorarlberg und produzierte somit die ersten elektrischen Fiat 500 weltweit. Mit dem technischen Support wurden verschiedene Werkstätten beauftragt, auf die im Statusbericht nicht näher eingegangen wird. Darüber hinaus kooperiert das Projekt mit Mitsubishi und der PSA-Gruppe. Womit innerhalb des Projekts nicht nur eine flächendeckende Werkstätteninfrastruktur etabliert, sondern auch ein Produktionsnetzwerk aufgebaut wurde. Bei VLOTTE standen von Beginn an Betriebe und Institutionen als Kunden im Fokus. Das Komplettangebot erleichtert Firmen den Umstieg auf eine Elektroflotte.¹⁷⁰

169 Quelle: http://www.e-connected.at/userfiles/Statusbericht%20SBG%20AG%20OKTOBER%202015_final%281%29.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

170 Quelle: http://www.e-connected.at/userfiles/201504%20Statusbericht_VLOTTE_final.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

Fazit: Elektrofahrzeugflotten

Elektrische Fahrzeugflotten gibt es in Österreich bislang nur im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsprojekten. Die meisten Elemente dieser soziotechnischen Innovation weisen allerdings bereits eine mittlere oder sogar hohe Reife auf. So gelten etwa die dafür notwendigen Fahrzeuge als weitgehend ausgereift. Das Angebot umfasst eine breite Palette und reicht von einspurigen Fahrzeugen über PKW und Bussen bis hin zu schweren Nutzfahrzeugen. Die momentane Verbreitung von Elektrofahrzeugen – unter anderem aufgrund von relativ hohen Anschaffungskosten – ist zwar sehr gering, der Markt entwickelt sich aber dynamisch. Seit kurzem ist in Österreich ein Unternehmen aktiv, das speziell auf das Marktsegment der elektrischen Fahrzeugflotten abzielt und entsprechende Gesamtpakete offeriert. Das Angebot am heimischen Markt greift auf gut entwickelte Produktionsnetzwerke im In- und Ausland zurück. Der Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Österreich hat bereits vor Jahren begonnen. Standorte potenzieller Elektrofahrzeugflotten könnten ohne Probleme mit Ladestationen ausgerüstet werden. Aufgrund der geringen Verbreitung von Elektrofahrzeugen in Flotten sind die Nutzererfahrungen bislang sehr begrenzt. Politische Leitbilder empfehlen zwar den Ausbau der Elektromobilität, verbindliche Regeln, die etwa Elektrofahrzeuge in der Stadt bevorzugen (z.B. Citymaut), existieren allerdings nicht. Die kulturelle Bedeutung der Elektromobilität in Hinblick auf die Entkarbonisierung des Verkehrs ist in Österreich bislang nur schwach ausgeprägt.

Tabelle 7: Überblick über die Reife der Innovation „Städtische Elektrofahrzeugflotten“

Element der STI	Beschreibung	Reife
Technik	<ul style="list-style-type: none"> Die Technik der Elektrofahrzeuge ist weitgehend ausgereift. Das Angebot reicht von einspurigen Fahrzeugen über PKW und Bussen bis hin zu schweren Nutzfahrzeugen. In unabhängigen Fahrzeugtests konnten Batterien bei starker Kälte oder Hitze die von den Herstellern angegebenen Werte nicht erreichen. 	hohe
Regeln	<ul style="list-style-type: none"> Politische Leitbilder empfehlen den Ausbau von Elektromobilität im Stadtverkehr. Die EU-Richtlinie 2014/94/EU beschränkt sich auf den Ausbau von alternativen Kraftstoffen und beinhaltet bisher keine Vorgaben zum Ausbau der Ladeinfrastruktur von Elektrofahrzeugen. In der Energiestrategie Österreich 2020 werden allgemeine Umsetzungsschritte für die Einführung von Elektromobilität angeführt. Verbindliche Regeln, die Elektrofahrzeuge in der Stadt bevorzugen (z.B. Citymaut) existieren nicht. 	mittlere
Nutzerpraktiken und Märkte	<ul style="list-style-type: none"> Es gibt ein breites Angebot an Elektrofahrzeugen. Die momentane Verbreitung von Elektrofahrzeugen ist sehr gering, der Markt entwickelt sich aber dynamisch. Die Mehrkosten von Elektro-PKW sind zwischen 2010 und 2013 um 60% gesunken. Zum Teil wird die Anschaffung von E-Fahrzeugen von der öffentlichen Hand gefördert. Seit kurzem ist in Österreich ein Unternehmen aktiv, das Gesamtpakete für Elektrofahrzeugflotten anbietet. Erfahrungen mit Elektrofahrzeugflotten sind auf wenige geförderte Pilotprojekte beschränkt. 	geringe bis mittlere
Kulturelle Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> Die Entkarbonisierung des Verkehrs ist ein weitgehend akzeptiertes Ziel. Die kulturelle Bedeutung der Elektromobilität in Bezug auf dieses Ziel ist in Österreich bislang schwach ausgeprägt. Institutionen und Unternehmen nutzen unterschiedliche Strategien, um die Akzeptanz von Elektromobilität zu erhöhen und somit auch die kulturelle Bedeutung dieser Option zu stärken. 	geringe bis mittlere

Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • In Österreich arbeiten mehrere Konsortien am Aufbau einer Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. • Verschiedene Internet-Plattformen informieren über den Standort von Ladestationen. • Es gibt kein zentrales Melderegister für Ladestationen, und daher auch keinen umfassend Überblick über den Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur. • Standorte von Elektrofahrzeugflotten können problemlos mit Ladestationen ausgestattet werden. 	mittlere
Produktionsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • Die inländische Produktion beschränkt sich auf Elektro-Kleinfahrzeuge und die Umrüstung von konventionellen Fahrzeugen. • Weitgehend ausgereifte Produktionsnetzwerke für zweispurige Elektrofahrzeuge gibt es im Ausland. • Mehrere inländische Unternehmen stellen Ladestationen her. 	hohe
Wartungsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • Die Wartung von Fahrzeugen erfolgt im Wesentlichen in den lokalen Niederlassungen der Fahrzeughersteller. • Die Wartung der Ladeinfrastruktur wird von den Betreiber-gesellschaften durchgeführt. • In den Modellregionen für Elektromobilität wird der Fokus auf Gesamtpakete gelegt. Die Projekte kooperieren mit Herstellern und Werkstätten und bieten den Kunden ein umfassendes Service. 	hohe

2.1.3.4 Radschnellweg

Allgemeine Beschreibung

Einführung: Elektrofahräder werden immer beliebter und somit steigt auch der Bedarf an leistungsfähigen Verkehrswegen. Eine adäquate Infrastruktur erhöht nicht nur die Verkehrssicherheit, sondern macht das Fahrrad auch für längere Strecken attraktiv. Radschnellwege können einen Beitrag zur Ökologisierung des Verkehrs leisten.

Definition: Unter einem Radschnellweg verstehen wir vom sonstigen Verkehr abgetrennte Fahrradwege, auf denen der Radverkehr außerhalb der Hauptverkehrsstraßen generell Vorfahrt hat und der über eine Länge von mindestens 3 km verfügt. Es sollten möglichst viele Siedlungen an die Hauptroute angeschlossen sein, um den Radschnellweg als Alternative zum Autofahren zu etablieren. Um eine möglichst reibungslose Nutzung zu gewährleisten, ist der Radschnellweg mit einem Auf- und Ausfahrtsystem ausgestattet. Wichtig ist ebenfalls ein witterungsunabhängiger Belag, der auch bei hohen Geschwindigkeiten sicher befahrbar ist.

Um die Sicherheit und den Komfort zu erhöhen, sollte es begleitend Rastplätze, Beleuchtung, Fahrradwegweiser und Informationstafeln zu den Zielen geben.¹⁷¹

Nachhaltigkeitspotenzial: Laut Verkehrsclub Österreich (VCÖ) ist fast jede zweite Autofahrt in Österreich kürzer als fünf Kilometer und jede zehnte Autofahrt kürzer als einen Kilometer.¹⁷² Für diese Strecken könnte problemlos das Fahrrad genutzt werden. Die wachsende Beliebtheit von Elektrofahrrädern könnte AutofahrerInnen den Umstieg auf das Fahrrad erleichtern. Mittels Radschnellwegen können hoch frequentierte Pendlerstrecken entlastet resp. der Ausbau des Straßennetzes vermieden und somit auch die Staugefahr minimiert werden. Weitere Vorteile sind die Entlastung des ÖPNV, die Vermeidung von Unfällen, die Minderung von Lärm und die Reduktion des CO₂-Austoßes. Ein erhöhter Radverkehr unterstützt auch politische Ziele im Bereich der Bewegungs- und Gesundheitsförderung.

Forschungs- und Demonstrationsprojekte: Die folgenden Projektbeispiele sollen einen Einblick in bereits realisierte bzw. projektierte Radschnellwege im europäischen sowie österreichischen Raum geben. Mittlerweile gibt es zahlreiche Initiativen, die an dieser Stelle nicht erschöpfend aufgelistet werden können.

International:

- In London gibt es zur Zeit fünf Cycle Superhighways. Diese zwischen 7 und 14 Kilometer langen Superhighways verbinden Stadtrandgebiete mit dem Zentrum und sollen für mehr Sicherheit und ein zügigeres Vorankommen sorgen. Der Errichtung weiterer Strecken ist geplant. Die Radinfrastruktur für RadfahrerInnen in und um London soll damit weiter verbessert werden.¹⁷³
- Im Oktober 2015 wurde in der deutschen Stadt Göttingen der bundesweit erste Radschnellweg offiziell eröffnet, der direkt durch ein Stadtzentrum führt. Der Weg verläuft entlang zentraler Arbeits- und Ausbildungsstätten der Stadt und verbindet den Göttinger Bahnhof mit dem Nordcampus der Georg-August-Universität. Im Rahmen eines Begleitprojekts, das in Kooperation mit an der Strecke angesiedelten ArbeitgeberInnen durchgeführt wird, werden zusätzlich Leihräder (Pedelects) angeboten. Damit soll untersucht werden, welchen Effekt derartige Infrastrukturverbesserungen auf die Verkehrsmittelwahl der Berufspendler haben und wie Arbeitnehmer an die Zweiradelektromobilität herangeführt werden können. Zudem sollen mit diesem öffentlichkeitswirksamen Projekt neue Bevölkerungsgruppen für die Elektromobilität interessiert werden. Zurzeit verhandelt die Stadt Göttingen mit dem Land Niedersachsen über den weiteren Ausbau des Radschnellwegs.¹⁷⁴

¹⁷¹ Quelle: http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/transferstelle/downloads/for_i-04_radschnellwege.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁷² Quelle: <http://www.vcoe.at/news/details/vcoe-im-eu-vergleich-wird-in-oesterreich-noch-wenig-rad-gefahren>, abgefragt im Jänner 2016.

¹⁷³ Quelle: <https://tfl.gov.uk/modes/cycling/routes-and-maps/cycle-superhighways>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁷⁴ Quelle: <http://www.eradschnellweg.de/?p=331>, abgefragt im Dezember 2015.

- In Kopenhagen gab es Ende 2015 zwei Radschnellwege (Supercykelstierne). Sie verbinden Vororte mit dem Zentrum von Kopenhagen und sind 18 bzw. 22 Kilometer lang. Neun weitere Routen sollen in den kommenden Jahren errichtet werden.¹⁷⁵

Österreich:

- In Salzburg wurde im Jahr 2014 eine Machbarkeitsstudie für einen Radschnellweg von Freilassing (D) nach Salzburg (AT) in Auftrag gegeben. Die Machbarkeitsstudie ist laut Radlobby Salzburg bereits seit April 2014 fertig, bislang wurde sie aber noch nicht veröffentlicht. Angeblich haben sich bereits alle Partner bis auf die Stadt Salzburg für die Umsetzung des Projekts ausgesprochen.¹⁷⁶ Laut Auskunft der Radverkehrskordinatorin der Stadt Salzburg (E-mail), war die Studie für die geplante Premium-Radroute (so wird der Radschnellweg in Salzburg bezeichnet) Ende 2015 noch nicht zur Gänze abgeschlossen. Auf der Homepage des länderübergreifenden Städte- und Gemeindebundes (EUREGIO) steht, dass die Machbarkeitsstudie wie geplant erstellt wurde und es sich zeigte, dass „der Bau der Radhaupttroute ein entscheidendes Vorhaben ist, um die Münchner Bundesstraße zwischen Salzburg und Freilassing zu entlasten.“¹⁷⁷ Die weitere Entwicklung in diesem Fall ist offen.
- Die Stadt Wien befasst sich bereits seit 2011 mit der Projektierung von so genannten Rad-Langstreckenverbindungen, die das Umland an die Stadt anbinden sollen. Die geplanten Angebote werden sich dezidiert an PendlerInnen richten. Dabei soll der Radverkehr auf der Langstreckenverbindung nach Möglichkeit Vorfahrt haben, es sollen wenige Kurven oder enge Strecken vorhanden sein, die Wartezeit an Ampeln soll minimiert werden und die Radstrecke soll so breit sein, dass ein Überholen problemlos möglich ist.¹⁷⁸ Allerdings ist geplant, streckenweise einen Mischverkehr von Rad/Fuß sowie Rad/Kraftfahrzeug zuzulassen, was nicht dem Standard anderer Radschnellwege entspricht. Somit sind die drei geplanten Strecken zwar einem Radschnellweg ähnlich, bergen aber weiterhin ein vergleichbares Konfliktpotenzial wie die bereits bestehenden Radanlagen in Wien.

Bisherige Verbreitung von Radschnellwegen: Ihren Ursprung haben Radschnellwege in den Niederlanden. Bereits zu Anfang der 1980er-Jahre wurden in Tilburg und Den Haag durchgängige, schnelle Fahrradrouen erprobt, um stauanfällige Straßennetze zu entlasten. Diese ersten Radschnellwege sollten es PendlerInnen aus einem Umkreis von 15 Kilometern ermöglichen, sicher und schnell mit dem Fahrrad ihr Ziel zu erreichen. Dieses Konzept erfreut sich mittlerweile auch in anderen europäischen Städten zunehmender Beliebtheit:¹⁷⁹ In Ant-

¹⁷⁵ Quelle: <http://www.cykelsuperstier.dk/publikationer>, abgefragt im Jänner 2016

¹⁷⁶ Quelle: https://www.radlobby.at/salzburg/DEBeilageSbg_20153_3_03, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁷⁷ Quelle: <http://www.euregio-salzburg.eu/system/web/projekte2.aspx?detailonr=224911714>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁷⁸ Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/radwege/langstrecken/index.html>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁷⁹ Quelle: http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/transferstelle/downloads/for_i-04_radschnellwege.pdf, abgefragt im November 2015.

werfen gibt es die Fiets-o-strade¹⁸⁰, in Kopenhagen den CykelSuperstier¹⁸¹, der durch seine orangefarbene Markierung optisch hervorgehoben ist, und in London die Cycle Super Highways.¹⁸² Diese Beispiele haben gemeinsam, dass sie sich in erster Linie an PendlerInnen richten und den motorisierten Verkehr in und aus der Stadt reduzieren sollen.

In den einzelnen europäischen Städten sind Radschnellwege grundsätzlich ähnlich gestaltet. In den Niederlanden und in Dänemark sind Radschnellwege farblich in Rot oder Orange hervorgehoben. Sie weisen eine Breite von 4 bis 4,5 m auf und bieten somit ausreichend Platz zum Überholen. Um Kreuzungen und somit Konflikte möglichst gering zu halten, hat der Radverkehr Vorrang durch Über- oder Unterführungen. Sollte es doch Kreuzungen geben, werden vornehmlich Grüne Wellen eingerichtet und im Nebenstraßennetz Vorfahrtsregelungen. Informationstafeln, Rastplätze und Beleuchtung erhöhen den Komfort und die Sicherheit entlang des Radschnellwegs. Der Belag des Weges soll bei jeder Witterung sicher zu befahren sein. Zusätzlich wird empfohlen, zu Bäumen einen Abstand von 2,5 bis 3 m einzuhalten, um Wurzelaufrüchen der Fahrbahn vorzubeugen.¹⁸³

Abschätzung der Reife

Technik: Radschnellwege befinden sich in Österreich bisher in der Planungsphase und wurden noch nicht umgesetzt. Das technisch-bauliche Element weist in Österreich demnach eine mittlere Reife auf.

Anders verhält es sich mit Elektrofahrrädern und Pedelecs. Elektrofahrräder sind Fahrräder, die mit einem Elektromotor ausgestattet sind und das Fahrrad ohne Muskelkraft bewegen. Da Elektrofahrräder in den meisten Fällen über 25 km/h fahren, gehören sie gesetzlich gesehen zur Klasse der Mopeds und benötigen einen Typenschein. Pedelecs hingegen sind Fahrräder, die nicht ausschließlich mit dem Elektromotor angetrieben werden können. Der Motor hat hier nur unterstützende Funktion, er schaltet sich von selbst ab, wenn die Grenze von 25 km/h erreicht wird resp. wenn aufgehört wird zu treten. Pedelecs gehören zu der Klasse der Fahrräder.¹⁸⁴ Beide Fahrradtypen sind am Markt in großer Vielfalt erhältlich. Die Technologie kann als ausgereift bezeichnet werden.

Regeln: Das Bundesland Salzburg räumt dem Radverkehr mit der im Jahr 2014 von der Landesregierung beschlossenen Radverkehrsstrategie („Fahr Rad in Salzburg!“)¹⁸⁵ eine besondere Rolle ein. Salzburg hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 klimaneutral, energieautonom und nachhaltig zu sein. Daher ernannt Salzburg das Radfahren auf kurzen Strecken zum Verkehrsmittel der Zukunft. Bis 2025 soll der Anteil des Radverkehrs um 20 Prozent gesteigert werden und somit fast jeder achte Weg im Bundesland mit dem Fahrrad

¹⁸⁰ Quelle: <http://www.provincieantwerpen.be/aanbod/drem/dienst-mobiliteit/fietsbeleid/fietsostrades.html>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁸¹ Quelle: <http://www.cykelsuperstier.dk/concept>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁸² Quelle: <https://tfl.gov.uk/modes/cycling/routes-and-maps/cycle-superhighways>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁸³ Quelle: http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/transferstelle/downloads/for_i-04_radschnellwege.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁸⁴ Quelle: http://www.gopedelec.at/gopedelec-at/index.php?option=com_content&view=article&id=135&Itemid=81, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁸⁵ Quelle: http://www.salzburg.gv.at/leitbild_fahr_rad_in_salzburg.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

zurückgelegt werden. Ein wichtiger erster Schritt dazu ist die Gleichberechtigung von RadfahrerInnen, sowohl im Verkehr als auch bereits in der Planung.¹⁸⁶ Mit dieser politischen Zielvorgabe zeigt sich Salzburg im Vergleich zu den anderen Bundesländern in Bezug auf den Fahrradverkehr am fortschrittlichsten. Ist eine adäquate Fahrradinfrastruktur innerorts vorhanden, entscheiden sich PendlerInnen eher für die regelmäßige Nutzung des Rads. Demnach ist der weitere Ausbau einer Radinfrastruktur in der Stadt Salzburg ein wichtiger Schritt, darauf aufbauend soll die Errichtung des ersten Radschnellwegs erfolgen, um den Anteil der RadfahrerInnen am Verkehr weiter zu erhöhen.

Die Stadt Wien geht in ihrem Stadtentwicklungsplan STEP 2025 auf die Regeln und Zielvorgaben der Europäischen Union und der Bundesregierung näher ein. Für die Implementierung von Radschnellwegen sind diese Regeln und Zielvorgaben von Bedeutung, weil Radschnellwege stark frequentierte Pendler Routen entlasten können.¹⁸⁷ Darüber hinaus sind die Verkehrsmittel des Umweltverbundes (Zufußgehen, Radfahren und der öffentliche Verkehr) besonders raum- und energieeffizient und verursachen keine oder vergleichsweise geringe Emissionen. Laut STEP 2025 kommt den Zielsetzungen des von der Europäischen Kommission im März 2011 vorgelegten „Weißbuch Verkehr“ eine besondere Bedeutung zu. Diese Zielsetzung der Europäischen Union ist von der Stadt Wien in die Smart City Wien Strategie¹⁸⁸ übernommen worden. Im Bereich Mobilität gibt die Smart City Wien Rahmenstrategie folgenden Auftrag: Bis 2030 soll ein größtmöglicher Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) auf den öffentlichen Verkehr und nicht-motorisierte Verkehrsarten verlagert werden oder mit neuen Antriebstechnologien (wie Elektromobilität) erfolgen. Darüber hinaus werden konkrete Zielwerte vorgeschlagen, unter anderem soll der bereits heute hohe Anteil des öffentlichen Verkehrs gehalten und gleichzeitig der Anteil des MIVs im Binnenverkehr auf 20 % bis 2025, 15 % bis 2030 und auf unter 15 % bis 2050 gesenkt werden.

Das 2009 fortgeschriebene Klimaschutzprogramm der Stadt Wien (KliP II)¹⁸⁹ beinhaltet als Ziel die Reduktion der Treibhausgasemissionen pro Kopf für das Jahr 2020 im Vergleich zu 1990 um 21 %. Der größte Anteil der Treibhausgasemissionen in der Stadt Wien stammt aus dem Verkehr. Damit sind Maßnahmen in diesem Bereich besonders relevant. Vom Klimaschutzprogramm wird der Schwerpunkt „Weitere Forcierung des Umweltverbundes“ in das Fachkonzept Mobilität übernommen.

In Modal Split-Kennzahlen ausgedrückt lautet die Zielsetzung des STEP 2025 „80:20“. Das bedeutet, dass die Wienerinnen und Wiener bis 2025 80 % der Wege mit öffentlichen Verkehrsmitteln, mit dem Rad oder zu Fuß zurücklegen sollen, während der derzeitige Anteil des motorisierten Individualverkehrs auf 20 % zurückgehen soll. Blicke der Anteil des

¹⁸⁶ Quelle: http://www.salzburg.gv.at/leitbild_fahr_rad_in_salzburg.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁸⁷ Beispielsweise berichtete in den Salzburger Nachrichten ein Nutzer des Radschnellwegs RS1 im Ruhrgebiet, dass er zwar in der Nähe des Hauptbahnhofs wohne, jedoch mit dem Fahrrad im Vergleich zur Fahrt mit dem Zug um einiges schneller an seiner Arbeitsstelle sei. Quelle: <http://www.salzburg.com/nachrichten/welt/chronik/sn/artikel/keine-autos-keine-fussgaenger-eine-schnellstrasse-fuer-radfahrer-174995/>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁸⁸ Quelle: https://smartcity.wien.gv.at/site/wp-content/blogs.dir/3/files/2014/08/Langversion_SmartCityWienRahmenstrategie_deutsch_doppelseitig.pdf, abgefragt im Jänner 2016.

¹⁸⁹ Quelle: <https://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/programm/>, abgefragt im Dezember 2015.

motorisierten Individualverkehrs am Modal Split unverändert, würde aufgrund der prognostizierten Bevölkerungszunahme die Zahl der mit dem Auto zurückgelegten Wege bis zum Jahr 2025 um 12 % steigen.¹⁹⁰

Auch in der Stadt Graz ist Nachhaltigkeit das zentrale Ziel der Verkehrspolitik. In der „Verkehrspolitischen Leitlinie 2020 für Graz“ legt die Stadt ein entsprechendes Konzept vor. Leitende Faktoren sind dabei die Grundsätze „Stadt der kurzen Wege“ sowie „Mobilität im urbanen Raum bedeutet Vorrang für die Sanfte Mobilität“. Konkret heißt das im Fall Graz, dass im Nahversorgungsbereich in Zukunft alle Ziele auf attraktiven Wegen auch für den nichtmotorisierten Verkehr erreichbar sein sollen. Ein Fuß- und Radverkehrsnetz soll die Stadtbezirke und ihre Zentren intern sowie an das Stadtzentrum anschließen und alle Bereiche sollen ohne mehrfaches Umsteigen oder lange Fußwege mit Straßenbahn oder Bus erreichbar sein. Weiters wird die Verkehrspolitik flächenübergreifend und nicht mehr sektoral begriffen, d.h. dass die wechselseitigen Beziehungen zwischen den Verkehrsmitteln, auch über die Stadtgrenze hinausführend, betrachtet werden sollen. Folgende Maßnahmen werden in der Leitlinie angeführt:

- Bis zum Jahr 2021 wird ein Verhältnis zwischen MIV und Umweltverbund von 45:55 (2008) auf 37:63 angestrebt.
- Den Verkehrsarten des Umweltverbundes als nachhaltige Verkehrsformen ist langfristig konsequent Priorität gegenüber dem motorisierten Individualverkehr einzuräumen. Innerhalb des motorisierten Individualverkehrs ist anzustreben, umweltfreundliche Antriebstechnologien (emissionsarme Fahrzeuge) zu fördern.
- Maßnahmen der Effizienzsteigerung der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur haben Priorität vor dem Ausbau neuer Verkehrsinfrastruktur, da dieser den kostenintensivsten Maßnahmenbereich darstellt. Das Zusatzwachstum der Mobilität soll in Richtung Stärkung des Umweltverbundes über den öffentlichen Verkehr, Fuß- und Fahrradverkehr abgedeckt werden.
- Öffentlichkeitsarbeit und Bewusstseinsbildung zur Veränderung des Verkehrsverhaltens werden im Sinne eines stadtverträglichen Verkehrs sowie Mobilitätsmanagements im weitesten Sinne, wie beispielsweise die Einbindung von Mobilitätskonzepten in Nutzungsentwicklungen, zunehmend zu einem unverzichtbaren Bestandteil einer modernen Verkehrsplanung.¹⁹¹

Die Durchsicht ausgewählter Entwicklungspläne und politischer Konzepte zeigt, dass dem weiteren Ausbau der Radinfrastruktur eine große Bedeutung zukommt. Aus diesem Blickwinkel scheinen wichtige Voraussetzungen für die Errichtung von Radschnellwegen bereits weitgehend erfüllt.

Ob und in welchem Ausmaß mit der Errichtung von Fahrradschnellwegen die Veränderung von bestehenden gesetzlichen Bestimmungen oder die Entwicklung neuer Regeln verbun-

¹⁹⁰ Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008390b.pdf>, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁹¹ Quelle: http://www.stadtentwicklung.graz.at/cms/dokumente/10136205_2858244/3621bf2b/Leitlinie2020.pdf, abgefragt im Dezember 2015.

den sind, konnte im Rahmen der vorliegenden Fallstudie nicht untersucht werden. Es ist anzunehmen, dass sich ein dahingehender Bedarf erst im Zuge einer konkreten Planung zeigen wird. Daraus resultiert eine gewisse Unschärfe in Bezug auf die Einschätzung des Entwicklungsstandes in der Kategorie Regeln.

Nutzerpraktiken und Märkte: In den letzten Jahren wurden in vielen europäischen Städten Radschnellwege errichtet. Vielfach ist ein weiterer Ausbau geplant. Damit entstehen zusätzliche Angebote für PendlerInnen und ein Markt für jene Unternehmen, die solche Radwege errichten. Erfahrungen von NutzerInnen werden bei Pilotprojekten meist wissenschaftlich evaluiert (siehe oben).

In Österreich gibt es noch keinen Markt für Radschnellwege und damit auch keine Erfahrungen in Hinblick auf ihre Nutzung. Ein Bedarf für die Errichtung von Radschnellwegen wird jedoch auch für Österreich gesehen. Laut einer im Auftrag des Verkehrsclub Österreich durchgeführten Studie wohnt mehr als ein Drittel der Beschäftigten weniger als fünf Kilometer vom Arbeitsplatz entfernt.¹⁹² Das theoretische Potenzial an Personen, die mit dem (Elektro-)Fahrrad zu ihrem Arbeitsplatz pendeln könnten, ist demnach beträchtlich.

Bereits im Jahr 2010 berichtete der ARGUS Ratgeber E-Bike von dem damals beginnenden Boom auf dem Elektrofahrradmarkt. Zuvor war das Problem, dass E-Bikes für SeniorInnen konzipiert wurden, aber seit 2009 gibt es auch dynamische Modelle auf dem Markt, die sich primär an jüngere Generationen richten, wie z.B. Trekking-, City-, Mountainbike-, Lasten-, Liege- sowie Falträder.¹⁹³ Wurden im Jahr 2010 noch 20.000 Elektrofahrräder verkauft, stiegen die Verkaufszahlen im Jahr 2014 auf 50.000. Insgesamt waren 2014 bereits 200.000 Elektrofahrräder auf Österreichs Straßen unterwegs und laut VCÖ hatte jedes achte neu gekaufte Fahrrad einen elektrischen (Zusatz-)Antrieb.¹⁹⁴

Kulturelle Bedeutung: Bisher hat das Fahrradfahren in Österreich noch nicht den kulturellen Stellenwert wie z.B. in Deutschland oder in den Niederlanden. Fahren in den Niederlanden bereits 36 % der Bevölkerung mit dem Rad, sind es in Deutschland immerhin 12 %, in Österreich hingegen nur 6 %.¹⁹⁵ Jedoch zeigen die verkehrspolitischen Programme von Salzburg, Graz oder Wien, dass die Bedeutung des Fahrradverkehrs als umweltfreundliche Mobilitätsform verstärkt werden soll. Dies zeigt sich beispielsweise auch an Projekten wie BIKEline, durch das SchülerInnen dazu animiert werden sollen, mit dem Fahrrad zur Schule zu fahren.¹⁹⁶ Mit solchen Projekten wird versucht, bereits frühzeitig eine positive Einstellung zum Radfahren im Alltag zu vermitteln, denn laut einer Umfrage des VCÖ fahren zwar 65 % der Kinder im Alter von 5 bis 15 Jahren in ihrer Freizeit mit dem Rad, jedoch nur 15 % auch zur Schule. Problematisch ist nach Ansicht der Eltern, dass die Straßen für fahrradfahrende

¹⁹² <http://www.vcoe.at/news/details/vcoe-im-eu-vergleich-wird-in-oesterreich-noch-wenig-rad-gefahren>

¹⁹³ Quelle: http://www.argus.or.at/sites/default/files/_neue_struktur/info_e-bike/ratgeber_e_bike.pdf, abgefragt im Jänner 2016.

¹⁹⁴ Quelle: <http://www.topprodukte.at/de/News-Detail/Mobilitaet-im-urbanan-Bereich.html>, abgefragt im Jänner 2016.

¹⁹⁵ Quelle: <http://www.vcoe.at/news/details/vcoe-im-eu-vergleich-wird-in-oesterreich-noch-wenig-rad-gefahren>, abgefragt im Jänner 2016.

¹⁹⁶ Quelle: <http://www.purkersdorf-online.at/verkehr/rad/bikeline.php>, abgefragt im Dezember 2015.

Kinder nicht sicher genug sind.¹⁹⁷ Prinzipiell zeigt sich jedoch vor allem bei jüngeren Generationen eine positive Werthaltung gegenüber dem nachhaltigen Fortbewegungsmittel Fahrrad. Die Stadt Graz geht in ihrem Mobilitätskonzept Graz 2020¹⁹⁸ davon aus, dass das eigene Auto aus Umweltschutzgesichtspunkten und Kostengründen im städtischen Bereich in den kommenden Jahren an Relevanz verlieren wird. Insbesondere jüngere Menschen tendieren bereits heute in diese Richtung.¹⁹⁹ Auch der VCÖ sieht auf der Basis von Umfragedaten eine derartige Trendverschiebung und erklärt dies mit der zunehmenden Urbanisierung, die den Menschen das umweltfreundliche Mobilitätsverhalten erleichtert. In den dichterverbauten Städten fällt es leichter, Ziele zu Fuß oder mit dem Rad zu erreichen. Da in Wien täglich mehr als 500.000 Menschen die Stadtgrenzen überqueren, plädiert der VCÖ für stärkere Kooperationen zwischen Stadt und Umland.²⁰⁰

Auch die Bedeutung der Elektrofahrräder hat sich gewandelt. Waren sie ursprünglich als Technik für ältere Personen gedacht, hat sich herausgestellt, dass sie mittlerweile hauptsächlich von jüngeren, sportlich orientierten Personen gekauft werden; damit hat sich auch die kulturelle Bedeutung und das Image der Technik verändert. Dies könnte in Zukunft ein wichtiger Aspekt für den Bau von Radschnellwegen sein.

Infrastruktur: Radschnellwege sind als eine Erweiterung der bereits bestehenden Radinfrastruktur im urbanen Raum zu sehen. Salzburg beispielsweise bezeichnet sich als „Radlerhauptstadt“. Das Radewegenetz verfügt mittlerweile über 183 km.²⁰¹ In Wien verfügt das Radfahrnetz über 1270 km und soll auch in Zukunft weiter ausgebaut werden.²⁰² Durch den weiteren Ausbau könnte sich auch die Anzahl der Radfahrenden im Stadtverkehr erhöhen. Das bestehende Straßennetz und die herkömmliche Radinfrastruktur in den größeren Städten können als ausgereift angesehen werden, auch wenn noch Ausbau- und Optimierungspotenzial besteht.

Wartungs- und Produktionsnetzwerke: Die Herstellung von Radschnellwegen erfolgt von etablierten Unternehmen, die im Bereich des Straßenbaus tätig sind. Wir können davon ausgehen, dass in Österreich die für die Errichtung von Radschnellwegen notwendigen Produktionsnetzwerke ausreichend vorhanden sind und sich durch eine hohe Reife auszeichnen.

Größere Städte in Österreich verfügen über Radverkehrsbeauftragte. In Wien gibt es einerseits die Mobilitätsagentur²⁰³, die mit dem Fußgänger- und Radverkehr in der Stadt betraut ist

¹⁹⁷ Quelle: <http://www.vcoe.at/news/details/vcoe-bedingungen-zum-radfahren-weiter-verbessern>, abgefragt im Jänner 2016.

¹⁹⁸ Quelle:

http://www.graz.at/cms/dokumente/10029462_415662/3af424f6/20150622_ENDBERICHT_MOKO2020_MASSN_AHMEN_BESCHLUSSFASSUNG_NOV.2015.PDF, abgefragt im Dezember 2015.

¹⁹⁹ Quelle:

http://www.graz.at/cms/dokumente/10029462_415662/3af424f6/20150622_ENDBERICHT_MOKO2020_MASSN_AHMEN_BESCHLUSSFASSUNG_NOV.2015.PDF, abgefragt im Dezember 2015.

²⁰⁰ Quelle: <http://www.vcoe.at/news/details/vcoe-factsheet-2015-12-gesellschaft-im-wandel-veraendert-die-mobilitaet>, abgefragt im Jänner 2016.

²⁰¹ Quelle: [https://www.stadt-](https://www.stadt-salzburg.at/internet/wirtschaft_umwelt/verkehr/verkehrsplanung/radverkehr_423335.htm)

[salzburg.at/internet/wirtschaft_umwelt/verkehr/verkehrsplanung/radverkehr_423335.htm](https://www.stadt-salzburg.at/internet/wirtschaft_umwelt/verkehr/verkehrsplanung/radverkehr_423335.htm), abgefragt im Jänner 2016.

²⁰² Quelle: <https://www.wien.gv.at/verkehr/radfahren/bauen/>, abgefragt im Jänner 2016.

²⁰³ Quelle: <http://www.mobilitaetsagentur.at/>, abgefragt im Jänner 2016.

und die Magistratsabteilung 46 mit der Gruppe Verkehrssicherheit²⁰⁴, bei der es einen Projektkoordinator für die Radinfrastruktur der Stadt gibt. Wir gehen davon aus, dass dies in anderen Städten ähnlich organisiert ist. Die Kommunen sind auch für das Baustellenmanagement, den Winterdienst und die Reinigung von Radwegen zuständig. Auch dieser Bereich zeichnet sich durch einen hohen Reifegrad aus.

Fazit: Radschnellweg

Der Radschnellweg ist eine in Österreich bislang nicht realisierte Variante des Radweges. Er kann als eine inkrementelle soziotechnische Innovation beschrieben werden, die erst durch die Verbreitung herkömmlicher Radwege möglich wurde. Viele der dazu erforderlichen Elemente weisen auch in Österreich bereits einen hohen Reifegrad auf. Die notwendige Infrastruktur steht in Form des bestehenden Straßen- und Radwegenetzes zur Verfügung. Produktions- und Wartungsnetzwerke sind vorhanden und auch der normative Kontext favorisiert den weiteren Ausbau der Radinfrastruktur. Das Fahrradfahren hat in Österreich im Vergleich zu anderen europäischen Ländern zwar einen geringeren kulturellen Stellenwert, es wird jedoch bereits seit Jahren der Versuch unternommen, dies mittels Informationskampagnen zu verändern. Elektrofahrräder, die besonders gut für den Einsatz auf Radschnellwegen geeignet sind, werden mittlerweile von vielen Zielgruppen als attraktives Angebot gesehen. Momentan werden Pedelecs sogar zu einem großen Teil von jüngeren, sportlich orientierten Personen gekauft. Das Angebot an Elektrofahrrädern ist groß, die Technik gilt als weitgehend ausgereift. Die Verkaufszahlen in diesem Segment haben in letzten Jahren stark zugenommen. In Österreich befinden sich einige Radschnellwege in Planung, es wurde jedoch noch kein Projekt realisiert. Damit gibt es in Österreich bislang auch keine Nutzungserfahrungen.

²⁰⁴ Quelle:

<https://www.wien.gv.at/advuew/internet/AdvPrSrv.asp?Layout=personen&Type=K&PERSONCD=2001071713151786>, abgefragt im Jänner 2016.

Tabelle 8: Überblick über die Reife der Innovation „Radschnellwege“

Element der STI	Beschreibung	Reife
Technik	<ul style="list-style-type: none"> • Die Technik der Elektrofahrräder ist weitgehend ausgereift. • In Österreich wurden bislang keine Radschnellwege realisiert. Es liegen jedoch bereits konkrete Pläne vor. • Erfahrungen aus dem Ausland sind verfügbar. 	mittlere bis hohe
Regeln	<ul style="list-style-type: none"> • Politische Leitbilder und Programme empfehlen den Ausbau der Radinfrastruktur. • In Salzburg und Wien gibt es konkrete Pläne für die Errichtung von Radschnellwegen. • Ob Radschnellwege eine Veränderung bestehender gesetzlichen Bestimmungen oder die Entwicklung neuer Regeln erfordern, konnte im Rahmen der vorliegenden Fallstudie nicht untersucht werden. 	mittlere
Nutzerpraktiken und Märkte	<ul style="list-style-type: none"> • Bisher gibt es keine Radschnellwege in Österreich. • Es liegen keine Nutzerpraktiken vor. Im europäischen Ausland richtet sich das Angebot der Radschnellwege vornehmlich an PendlerInnen. • Studien sehen tendenziell einen Bedarf für die Errichtung von Radschnellwegen in Österreich. • Das Angebot an Elektrofahrrädern ist groß, der Markt hat sich den letzten Jahren dynamisch entwickelt. 	geringe bis mittlere
Kulturelle Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrradfahren hat in Österreich eine geringeren kulturellen Stellenwert als beispielsweise in den Niederlanden oder in Deutschland. • Informationskampagnen zielen darauf ab, das Image des Fahrradfahrens in der Stadt zu verbessern. • Elektrofahrräder werden zu einem großen Anteil von jüngeren, sportlich orientierten Personen gekauft. 	mittlere
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Das bestehende Straßen- und Radwegenetz, an das neu zu errichtende Radschnellwege angeschlossen werden, stellt eine ausgereifte Infrastruktur dar. 	hohe
Produktionsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • In jeder größeren Stadt in Österreich gibt es Radverkehrbeauftragte und Magistratsabteilungen, die für die Radinfrastruktur zuständig sind. • Die für die Errichtung von Radschnellwegen notwendigen Produktionsnetzwerke sind ausreichend vorhanden sind und zeichnen sich durch eine hohe Reife aus. 	hohe
Wartungsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • Für die Wartung und Instandhaltung von Radschnellwegen ist die öffentliche Hand zuständig. Entsprechende Leistungen werden von kommunalen Einrichtungen und/oder von Subunternehmen erbracht. 	hohe

2.1.3.5 Reparaturinitiative mit 3D-Drucker

Allgemeine Beschreibung

Einführung: Das additive Fertigungsverfahren 3D-Druck weist im Gegensatz zu herkömmlichen Fertigungsverfahren eine Reihe von Vorzügen auf. Es wird beispielsweise nur so viel Material verwendet, wie auch tatsächlich benötigt wird, es kann dezentral und nur bei Bedarf (wodurch Lagerungskosten entfallen) gefertigt werden und die Bauteile können leichter sein als Bauteile aus anderen Materialien. Aufgrund dieser Eigenschaften könnte der 3D-Druck in Zukunft stärker für die Herstellung von Ersatzteilen eingesetzt werden. Ein konkretes Anwendungsbeispiel von Reparaturservices mit 3D-Druckern sind Reparaturcafés. Diese Innovation könnte insbesondere in dichtbesiedelten urbanen Regionen einen Beitrag zu einem nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen und Produktion leisten.

Definition: Reparaturcafés sind Veranstaltungen, die es Interessierten ermöglichen, defekte Elektrogeräte, Fahrräder, Kleidung oder andere alltägliche Gegenstände mit Unterstützung von ehrenamtlichen Fachkräften zu reparieren. Material und Werkzeuge sind an den Orten der Reparaturcafés vorhanden, die zu reparierenden Gegenstände bringen Interessierte von zu Hause mit. Reparaturcafés verfolgen auch das Ziel, den Reparaturgedanken in das Bewusstsein der Gesellschaft zurückzubringen. Dazu ist es auch notwendig, dass Menschen wieder lernen, Gegenstände wertzuschätzen und damit einen Beitrag zu einer Mentalitätsveränderung in der Gesellschaft zu leisten. Die Initiative Repaircafé geht auf die niederländische Journalistin Martine Postma zurück, die 2009 das erste Repaircafé in Amsterdam veranstaltete.²⁰⁵

Unter 3D-Druck versteht man ein additives Fertigungsverfahren, bei dem im Gegensatz zu herkömmlichen Produktionstechniken der Werkstoff schichtweise zum Bauteil hinzugefügt wird. Bei den klassischen Fertigungsverfahren wie Fräsen, Bohren und Drehen wird Material abgetragen, um das Bauteil zu formen. Durch das Schichtbauprinzip des 3D-Drucks ist es möglich, komplexe geometrische Strukturen zu fertigen, die mit herkömmlichen Methoden nicht oder nur sehr aufwändig hergestellt werden könnten. In der Öffentlichkeit werden sämtliche additive Fertigungsverfahren als 3D-Druck bezeichnet.²⁰⁶ Eine weit verbreitete Methode ist die Fused Filament Fabrication (FFF, Schmelzschichtung), bei der mit dem Schmelzen von Materialien gearbeitet wird. Die Technik ist mit der einer Heißklebepistole zu vergleichen. Ein 3D-Objekt wird auf einer beweglichen Platte, die dazu oftmals noch beheizt ist, um Verzug und Lösung von der Fläche zu vermeiden, aufgetragen. Der Druckkopf ist ein beheizter Extruder, der das zugeführte Material schmilzt. Die Geschwindigkeit des Druckvorgangs wird an das Material angepasst, denn erst wenn die untere Schicht abgekühlt ist,

²⁰⁵ Quelle: <http://repaircafe.org/de/was-ist-ein-repair-cafe/>, abgefragt im Februar 2016.

²⁰⁶ Quelle: https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/VDI_Statusreport_AM_2014_WEB.pdf, abgefragt im Jänner 2016.

kann die nächste Schicht aufgetragen werden. Neben Kunststoff können auch andere zähflüssige Materialien wie Lebensmittel, Beton oder Gips verwendet werden.²⁰⁷

Nachhaltigkeitspotenzial: Bei vielen herkömmlichen Fertigungsverfahren wird Material abgetragen. Die Späne, die dabei entstehen, sind mit Kühlschmierstoffen verschmutzt und müssen erst gereinigt werden, bevor sie als Altmetall weiter verwendet werden können. Bei den additiven Fertigungsverfahren kommt nur Material zum Einsatz, das ohnehin zur Produktion des Bauteils benötigt wird. Darüber hinaus haben diese Produkte ein geringeres Gewicht und durch die geringere Masse wird Energie gespart, z.B. bei der Nutzung in Autos oder in Flugzeugen. Produkte können dezentral und bei Bedarf hergestellt werden, womit sich auch das Frachtaufkommen reduziert.²⁰⁸ Ein wesentlicher Vorteil aus Sicht einer nachhaltigen Gesellschaft ergibt sich jedoch durch die Möglichkeit, Ersatzteile nach Bedarf zu produzieren, Gegenstände damit zu reparieren und letztlich die Lebensdauer von Produkten deutlich zu erhöhen. Allgemein können Reparaturcafés darüber hinaus als Beitrag zur Entwicklung einer neuen Reparaturkultur gesehen werden, die sich bewusst gegen Strategien der Wegwerfgesellschaft, wie der geplanten Obsoleszenz, wendet und konkrete Alternativen anbietet.

Forschungs- und Demonstrationsprojekte: Die folgenden Projektbeispiele sollen einen Einblick in bereits realisierte und sich in Planung befindliche Reparaturcafés im europäischen sowie österreichischen Raum geben, die die Möglichkeit der Reparatur mit 3D-Druckern anbieten. Mittlerweile gibt es im europäischen Raum bereits zahlreiche Initiativen, die an dieser Stelle nicht erschöpfend aufgelistet werden können.

International:

- Das Repaircafé in Kuringen (BE) verfolgt das Ziel, Menschen eine andere Beziehung zu Gegenständen zu vermitteln und sie zu einem umweltfreundlichen Leben anzuregen. Seit 2014 stehen auch 3D-Drucker zur Verfügung.²⁰⁹
- Das Repaircafé in Mainz (DE) hat im Sommer 2015 erstmals einen Workshop zu den Möglichkeiten und Grenzen von 3D-Druckern abgehalten. Interessierte konnten kleinere Bauteile mit dem CAD-Konstruktionssystem DesignSpark Mechanical erstellen und danach ausdrucken.²¹⁰
- Auch in Harkstede (NL) wird mittlerweile mit Hilfe eines 3D-Druckers repariert. Das defekte Original wird dabei zunächst gescannt und anschließend wird mittels 3D-Drucker eine intakte Kopie gedruckt, die zu Reparaturzwecken verwendet werden kann.²¹¹

²⁰⁷ Quelle: <http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-2-uebersicht-der-aktuellen-3d-druckverfahren-462146/>, abgefragt im Jänner 2016.

²⁰⁸ Quelle: https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/VDI_Statusreport_AM_2014_WEB.pdf, abgefragt im Jänner 2016.

²⁰⁹ Quelle: <http://do.vlaanderen.be/repair-caf%C3%A9-zet-3d-printer>, abgefragt im Jänner 2016.

²¹⁰ Quelle: <http://repaircafemainz.blogspot.co.at/2015/07/3-d-druck-die-reparaturtechnik-von.html>, abgefragt im Jänner 2016.

²¹¹ Quelle: <http://www.hskrant.nl/nieuws/27070/3d-printer-bij-repair-cafe-harkstede/>, abgefragt im Jänner 2016.

Österreich:

- Der 3DEE-Store in Wien bietet seinen Kunden die Möglichkeit Ersatzteile für sie zu drucken. Gedruckt werden können u.a. Funktionsmuster, Designmuster, Prototypen und Kleinserien. Dieser Service wird ab 7 € pro Stunde angeboten.²¹²
- Auch RepRap Austria druckt Ersatzteile. Bei RepRap Austria handelt es sich um einen Hersteller von 3D-Druckern, der auch Workshops zum Bau und der Nutzung von 3D-Druckern bietet. Im Gegensatz zu einem Reparaturcafé oder FabLab handelt es sich auch hierbei um ein Geschäftsmodell.²¹³
- Die Webseite 3Dhubs.com ermöglicht es KundInnen, private 3D-Drucker-BesitzerInnen aus ihrer Umgebung mit einem 3D-Druck zu beauftragen. Das Portal fungiert an dabei nur als Vermittler.

Bisherige Verbreitung von Reparaturcafés in Österreich: Auf der Webseite repaircafe.org, die von Martine Postma betrieben wird, sind elf Reparaturcafés in Österreich gelistet: Ausserfern, Ebenau, Graz, Nenzing, Salzburg, Salzburger Seenland, Tirol, Villach, Vösendorf, Weiz und Wien.²¹⁴ Die einzelnen Homepages der Initiativen informieren über die nächsten Termine und darüber, was jeweils repariert werden kann. Da viele Reparaturcafés an wechselnden Standorten stattfinden, verfügen sie nicht über eine feste Werkstatt. Dies könnte ein Grund dafür sein, dass bislang (noch) keine Reparatur mit 3D-Druck möglich ist. Darüber hinaus versteht sich die Initiative als Hilfe zur Selbsthilfe, d.h. Interessierte werden nach Möglichkeit bei der Reparatur unterstützt, repariert werden muss jedoch selbst. Da das 3D-Druckverfahren im Hausgebrauch bisher noch recht aufwendig ist, könnte dies ein weiterer Grund dafür sein, dass diese Technik in Reparaturcafés in Österreich noch nicht zum Einsatz kommt.

Abschätzung der Reife

Technik: Additive Fertigungstechnologien gibt es mittlerweile in den unterschiedlichsten Ausführungen. Im industriellen Bereich sind sie mit Kunststoffen und Metallen als Werkstoff Stand der Technik, jedoch ist die Bedeutung dieser Technologie für die industrielle Produktion momentan noch gering.²¹⁵

ASTM International differenziert bei den additiven Fertigungstechnologien zwischen verschiedenen Verfahren, die sich teilweise sehr ähnlich sind und sich nur durch einige wenige (patentierte) Unterschiede auszeichnen. Auf der Webseite 3druck.com²¹⁶ findet sich eine

²¹² Quelle: <https://www.3dee.at/3d-dienstleistungen/3d-druck/>, abgefragt im Jänner 2016.

²¹³ Quelle: <http://www.reprap.cc/shop/de>, abgefragt im Jänner 2016.;
s.a. <http://futurezone.at/digital-life/otelo-wenn-das-dorf-ploetzlich-3d-druckt/24.591.102>, abgefragt im Jänner 2016.

²¹⁴ Quelle: <http://repaircafe.org/de/besuchen/>, abgefragt im Februar 2015.

²¹⁵ Quelle:
https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/VDI_Statusreport_AM_2014_WEB.pdf,
abgefragt im Jänner 2016.

²¹⁶ Quelle: <http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-2-uebersicht-der-aktuellen-3d-druckverfahren-462146/>,
abgefragt im Jänner 2016.

detaillierte Erklärung der einzelnen Verfahren. Der folgende Überblick stammt aus dieser Quelle:

- 3D-Druck mit Pulver (3DP) aus dem Bereich Additive Layer Manufacturing: Der Druck funktioniert ähnlich wie bei einem Tintenstrahldruck: Flüssiger Kleber wird als Bindemittel mittels Druckkopf auf eine Pulverschicht aufgetragen. Der Drucker zeichnet ein 2D-Bild der ersten Schicht auf das Pulverbett und verklebt die einzelnen Materialpartikel miteinander. Danach wird automatisch eine frische, hauchdünne Pulverschicht über das erste Bild gezogen und der Vorgang wiederholt sich mit dem 2D-Bild der zweiten Schicht. Stück für Stück werden so die einzelnen Schichten in das Pulverbett gezeichnet und ein 3D-Modell entsteht aus der Summe der zusammengeklebten Pulverteilchen. Pulver und Kleber können aus unterschiedlichen Materialien bestehen, oftmals wird mit Gips und Kunststoffpulver gedruckt, verwendet werden aber auch Keramik, Glas und andere pulverförmige Materialien.
- Electron Beam Melting (Elektronenstrahlschmelzen – EBM): Hierbei werden pulverförmige Metalle über einen gut steuerbaren Elektronenstrahl unter Vakuum verschmolzen. Das Vakuum verhindert einen Einschluss von Sauerstoff in das Objekt. Dadurch entstehen sehr feste metallische Objekte, die über einen komplexen Aufbau verfügen können. Das Verfahren ermöglicht auch das Verarbeiten von Metallen mit einem höheren Schmelzpunkt, wie beispielsweise Titan.
- Fused Filament Fabrication (Schmelzschichtung – FFF): Diese Methode ist sehr populär und beinhaltet das Drucken mit geschmolzenen Materialien. Die Technik ist mit der einer Heißklebepistole zu vergleichen. Ein 3D-Objekt wird auf einer beweglichen Platte, die dazu oftmals noch beheizt ist, um Verzug und Lösung von der Fläche zu vermeiden, aufgetragen. Der Druckkopf ist ein beheizter Extruder, der das zugeführte Material schmilzt. Die Geschwindigkeit des Druckvorgangs wird an das Material angepasst, denn erst wenn die untere Schicht abgekühlt ist, kann die nächste Schicht aufgetragen werden. Neben Kunststoff können auch andere zähflüssige Materialien wie Lebensmittel, Beton oder Gips von Nutzen sein. Auf dieser Technologie basieren fast alle momentan populären 3D-Drucker.
- Stereolithografie (STL, SLA): Dieses Verfahren gilt als Mutter des 3D-Drucks und wurde von Chuck Hull entwickelt. Die Basis ist ein mit flüssigem Photopolymer gefülltes Becken. Dieser Kunststoff erstarrt nach einer gewissen Belichtungszeit. Für den 3D-Druck werden einzelne Layer eines 3D-Modells mit einem Laser auf die Oberfläche des flüssigen Kunststoffs projiziert unter dessen Oberfläche ein bewegliches Druckbett positioniert wurde. Die erste Schicht erstarrt und befestigt das Objekt an dem unterliegenden Druckbett. Danach zieht ein mechanischer Arm das Modell um die Höhe eines Layers nach unten, damit sich darüber wieder flüssiges Material sammeln kann. Darauf wird der nächste Layer projiziert. Anschließend wird das gehärtete Objekt aus dem Bad genommen und in einer Belichtungskammer bis zur vollständigen Aushärtung nachbelichtet.

Die gängigste Methode ist die Fused Filament Fabrication (FFF), die auch bei den momentan sehr populären 3D-Druckern für Privatanwender zum Einsatz kommt. Additive Ferti-

gungsverfahren gelten als weitgehend ausgereift und werden teilweise auch in der Industrie eingesetzt, wo sie bislang aber noch von geringer Bedeutung sind. Viele 3D-Drucker sind so konstruiert, dass sie sehr leise operieren und auch kaum Schadstoffe produzieren, die in geschlossenen Räumen problematisch sein könnten.

Regeln: Die Initiatorin der Repaircafé-Bewegung, Martine Postma, bietet auf ihrer Webseite ein Starterpaket für den Aufbau eines Reparaturcafés an. Um ein Reparaturcafé nach ihrem Standard zu gründen, muss eine Franchiselizenz erworben werden. Nach der Gründung wird das Reparaturcafé in das Netzwerk repaircafe.org aufgenommen.²¹⁷

Zu Rechtsverstößen kann es bei der Nutzung der additiven Fertigungstechnologie kommen, wenn Muster gedruckt werden, die urheberrechtlich geschützt sind und die Replika verschenkt oder verkauft werden. Druckt man, z.B. eine Spielzeug-Figur eines Herstellers, sind Rechtsverstöße eher unwahrscheinlich, so lange diese Figur nicht öffentlich im Internet ausstellt oder angeboten wird. Auch bei Nachdrucken von Modellen der Webseite Thingivers sollte es keine Probleme geben, da diese unter einer Creative Commons Lizenz veröffentlicht werden.²¹⁸ Verstoßen werden kann gegen das Urheber-, Geschmacksmuster-, Marken- und/oder Patentrecht.²¹⁹ Darüber hinaus werden diese Bauteile im Hausgebrauch in den meisten Fällen aus Kunststoff reproduziert. Hier besteht das Risiko, dass die verwendeten Materialien nicht dem vorgeschriebenen Standard entsprechen und somit weder zertifiziert noch zugelassen sind.²²⁰

Nutzerpraktiken und Märkte: Bei den 3D-Druckern gibt es mittlerweile ein großes Angebot. Die erhältlichen Modelle verfügen über unterschiedliche Leistungsdaten und zeichnen sich durch große preisliche Unterschiede aus. Einzelne Händler bieten Komplettpakete mit unterschiedlichen Abstufungen an, wie z.B. der 3Dee-Store in Wien. Die Palette reicht vom Aufbau und der Inbetriebnahme des 3D-Druckers zu Hause bis hin zu E-Mail- und Telefonsupport.²²¹ Versierte Bastler können sich ihren Drucker auch selbst bauen. Anleitungen dazu sind im Internet zu finden, die im Sinne der Open-Source-Kultur frei verfügbar sind.²²² Die österreichische Firma RepRap bietet 3D-Drucker-Selbstbau-Kits für rund 600 € an, allerdings ist auch hier ein technisches Vorwissen notwendig.²²³ Bei fast allen für private NutzerInnen angebotenen Druckern handelt es sich um Kunststoffdrucker, die momentan auch für den Einsatz in Reparaturcafés am interessantesten sind.

In Reparaturcafés wird das 3D-Druckverfahren in Österreich bislang nicht eingesetzt. Es hat sich jedoch eine dezentrale Marktnische für 3D-Drucke entwickelt. Auf der Webseite www.3dhubs.com können sich BesitzerInnen von 3D-Druckern registrieren lassen und

²¹⁷ Quelle: <http://repaircafe.org/de/starten/>, abgefragt im Februar 2016.

²¹⁸ Quelle: <http://derstandard.at/1319182755410/DIY-3D-Druck-Darf-man-Lego-Steine-und-Co-nachdrucken>, abgefragt im Februar 2016.

²¹⁹ Ausführliche Erklärung hier: <http://www.wirtschaftsanwaelte.at/geistigen-eigentum-vs-innovation-der-3d-druck-und-seine-juristischen-stolperfallen/>, abgefragt im Jänner 2016.

²²⁰ Quelle: <http://3druck.com/featured/dr-eric-klemp-ueber-die-zukunft-von-additiven-fertigungsverfahren-1613852/>, abgefragt im Jänner 2016.

²²¹ Quelle: <https://www.3dee.at/3dee-service-paket/>, abgefragt im Jänner 2016.

²²² Quelle: <http://www.instructables.com/id/eWaste-60-3DPrinter/>, abgefragt im Jänner 2016.

²²³ Quelle: <http://www.reprap.cc/shop/de/shop/produkte/38>, abgefragt im Jänner 2016.

KundInnen aus ihrem Umfeld einen 3D-Druckservice anbieten. Potenzielle KundInnen müssen auf der Webseite lediglich eine 3D-Datei hochladen, die sie gedruckt haben möchten. Es kann zwischen unterschiedlichen Kunststoffmaterialien und Liefermöglichkeiten als auch zwischen unterschiedlichen Druckermodellen gewählt werden.²²⁴

NutzerInnen von Reparaturcafés sind nach Angaben von repaircafe.org in den meisten Fällen Menschen, die defekte Gegenstände wegwerfen würden und sich nicht an einen professionellen Reparaturbetrieb wenden.²²⁵ Die Initiative zieht also neue Interessierte an und sorgt so für eine Weiterverbreitung des Grundgedankens der Weiterverwendung von Gegenständen.

Kulturelle Bedeutung: Reparaturcafés sind zur Bewegung des Postkonsums zu zählen, bei der nach der Devise „Teilen statt Besitzen“ gehandelt wird. Diese Bewegung transportiert ein neues Verhältnis zu Besitz und Status und sie steht dem Wertemodell der kapitalistischen Gesellschaft mit ihrer Konsumorientierung und dem unbedingten Wachstum kritisch gegenüber.²²⁶ Im Gegensatz zur Sharing Economy, die den Nachhaltigkeitsgedanken in das Zentrum eines kommerziellen Interesses stellt, geht es bei Reparaturcafés um einen breiteren gesellschaftlichen Wandel und um den altruistischen Grundgedanken. Insbesondere junge Menschen fühlen sich von dieser Form des Ko-Konsums angesprochen. Eine Studie der Leuphana Universität Lüneburg kam zu dem Schluss, dass es sich beim Ko-Konsum (kollaborativer Konsum) nicht mehr um ein Nischenphänomen handle, sondern um eine breitere Bewegung, die sich gerade formiere. Die so genannte „Generation Internet“ lege demnach viel Wert auf Vernetzung und Kollektivismus. Junge Menschen hätten den Eindruck, dass sie mit ihrem Handeln nicht nur etwas für sich selbst tun können, sondern auch im Sinne der Gesellschaft und insbesondere im Sinne einer zukünftigen Gesellschaft handeln.²²⁷ Ähnliche Tendenzen können, eingeschränkt auf bestimmte Jugendmilieus, auch für Österreich angenommen werden.²²⁸

Infrastruktur: Reparaturcafés sind in vielen Fällen Initiativen von Privatpersonen und organisieren sich in der Form eines Vereins. Finanziert werden diese Vereine über Mitgliedsbeiträge, Spenden und teilweise werden sie auch durch Fördermittel lokaler Kommunen unterstützt, wie dies z.B. beim Repaircafé Salzburg der Fall ist, das von der Stadt Salzburg initiiert wurde.²²⁹ Reparaturcafés finden oftmals an unterschiedlichen Standorten statt, nicht nur in Cafés sondern auch in Pfarreien oder anderen öffentlich zugänglichen Orten. Wichtig ist, dass es je nach Reparaturbedarf Zugang zu Strom, Wasser, dem Internet und Werkzeugen gibt. Darüber hinaus wird Wert auf eine gemütliche Atmosphäre gelegt. Das Repaircafé Villach bietet auch Kaffee und Tee sowie Bücher zu den Themen Handwerken und

²²⁴ Quelle: <https://www.3dhubs.com/>, abgefragt im Februar 2016.

²²⁵ Quelle: <http://repaircafe.org/de/was-ist-ein-repair-cafe/>, abgefragt im Februar 2016.

²²⁶ Quelle: <https://www.wien.gv.at/statistik/pdf/big-transformers.pdf>, abgefragt im Jänner 2016.

²²⁷ Quelle: <http://www.leuphana.de/news/meldungen/titelstories/2013/sharing-economy.html>, abgefragt im Jänner 2016.

https://media.arbeiterkammer.at/stmk/Sharing_Economy_2013.pdf, abgefragt im Jänner 2016.

²²⁸ http://jugendkultur.at/wp-content/uploads/Dossier_Sharing.pdf

²²⁹ Quelle: <http://repaircafe.org/de/locations/repair-cafe-salzburg/>, abgefragt im Februar 2016.

<https://www.wien.gv.at/menschen/frauen/foerderungen/vereine.html>, abgefragt im Jänner 2016.

<http://www.makeraustria.at/>, abgefragt im Jänner 2016.

Reparatur an.²³⁰ Reparaturcafés knüpfen also sowohl an technische als auch an soziale Infrastrukturen an, die in Österreich einen hohen Entwicklungsstand aufweisen.

Wartungs- und Produktionsnetzwerke: Je nach Organisation des Reparaturcafés müssen die Kosten für die Realisierung und die Wartung von privaten Initiatoren, Sponsoren oder der öffentlichen Hand getragen und durchgeführt werden.

Auf der Webseite 3druck.com sind drei österreichische Hersteller von 3D-Druckern gelistet (die Firmen Hage in Obdach, EVO-tech in Schörfing am Attersee und Reprap Austria in Kremsmünster).²³¹ Hage hat sich auf die Technologie der FDM Rapid Prototyping Prozesse (Schmelzschichtverfahren) spezialisiert und bietet 3D-Drucker für die industrielle Anwendung an.²³² EVO-tech bietet ein 3D-Druckermodell für den Bürobetrieb an, das nach eigenen Angaben das einzige Modell ist, das zu 100% in Österreich gefertigt wird. Hier wird auf das FFF-Druckverfahren gesetzt.²³³ Zudem verkauft EVO-tech auch Druckmaterial aus eigener Produktion.²³⁴ Reprap Austria bietet sowohl fertige 3D-Drucker, die sich nach Herstellerangaben für den Hausgebrauch sowie die Anwendung in der Industrie eignen, als auch Druckerbausätze an.²³⁵ Auch dieser Hersteller vertreibt unterschiedliche Druckmaterialien auf Kunststoffbasis. In Österreich ist Fused Filament Fabrication die am weitesten verbreitete Methode.

Neben dem Vertrieb von 3D-Druckern und dem benötigten Zubehör, bieten sämtliche in Österreich tätige Hersteller einen Wartungsservice an. Der Hersteller EVO-tech wirbt auf seiner Webseite damit, dass seine Produkte auch „lange nach dem Kauf mit aktuellster Technologie ausgerüstet werden kann.“²³⁶

Für die Verbreitung von Reparaturinitiativen in Österreich zeichnet sich einerseits repair-cafe.org von Martine Postma verantwortlich als auch im Wiener Raum die Umweltberatung mit ihrem Reparaturnetzwerk²³⁷ sowie die Initiative „natürlich weniger Mist“²³⁸ der Wiener Umweltstadträtin. Das Reparaturnetzwerk versendet regelmäßig Informationsbroschüren zu professionellen Reparaturdiensten. Die Initiative „natürlich weniger Mist“ wird u.a. auf Fahrzeugen des Magistrats 48 beworben. Damit soll ein Beitrag zu einem Mentalitätswandel der Bevölkerung geleistet werden. Die Initiativen kooperieren miteinander und versuchen damit für eine flächendeckende Verbreitung zu sorgen.

²³⁰ Quelle: <http://www.unruhestandaktiv.at/3-repaircafe.html>, abgefragt im Februar 2016.

²³¹ Quelle: http://3druck.com/3d-drucker-hersteller/?zoom=15&is_mile=0&directory_radius=0&sort=random&keywords=%C3%B6sterreich&category=0, abgefragt im Februar 2016.

²³² Quelle: <http://www.hage.at/de/highlight/HAGE-3D-Drucker.php>, abgefragt im Februar 2016.

²³³ Quelle: <http://evo-tech.eu/de/evolizer>, abgefragt im Februar 2016.

²³⁴ Quelle: <http://evo-tech.eu/de/druckmaterial>, abgefragt im Februar 2016.

²³⁵ Quelle: <http://www.reprap.cc/shop/de/shop/produkte/49>, abgefragt im Februar 2016.

²³⁶ Quelle: <http://evo-tech.eu/de/evolizer>, abgefragt im Februar 2016.

²³⁷ Quelle: <http://www.reparaturnetzwerk.at/>, abgefragt im Februar 2016.

²³⁸ Quelle: <http://www.wenigermist.at/>, abgefragt im Februar 2016.

Fazit: Reparaturinitiative mit 3D-Drucker

Die Innovation „Reparaturinitiative mit 3D-Drucker“ ist in Österreich bislang de facto nicht vorhanden. Dies ist erstaunlich, weil die dafür notwendigen soziotechnischen Elemente bereits überwiegend eine mittlere bis hohe Reife aufweisen. Die Technik des 3D-Drucks gilt als weitgehend ausgereift. Neben einem breiten internationalen Angebot gibt es auch mehrere österreichische Hersteller, die sowohl Geräte für den 3D-Druck als auch Druckmaterial für Endverbraucher anbieten. Auch die Reparaturcafés-Bewegung hat sich, neben einer Reihe von bereits länger bestehenden Initiativen, hierzulande bereits ansatzweise etabliert. Das 3D-Druckverfahren wird in Reparaturcafés zwar bislang nicht eingesetzt, es existiert jedoch eine von privaten Anbietern betriebene Marktnische für 3D-Drucke. Die für die Innovation notwendigen technischen und sozialen Infrastrukturen sind weitgehend vorhanden und weisen in Österreich einen hohen Entwicklungsstand auf. Der Aufbau einer neuen Infrastruktur ist nicht erforderlich. Der Innovation kommt bislang aber nur in subkulturellen Nischen (z.B. Ko-Konsum-Bewegung) eine hohe Bedeutung zu. Einige offene Fragen bestehen in rechtlicher Hinsicht.

Tabelle 9: Überblick über die Reife der Innovation „Reparaturinitiative mit 3D-Drucker“

Element der STI	Beschreibung	Reife
Technik	<ul style="list-style-type: none"> • Die additive Fertigungstechnologie ist in der Industrie mittlerweile Stand der Technik. • Es gibt verschiedene technische Ausführungen und unterschiedliche Verfahren. • Die gängigste Methode ist die Fused Filament Fabrication. Sie kommt bei den momentan populären 3D-Druckern für Privatanwender zum Einsatz. 	hohe
Regeln	<ul style="list-style-type: none"> • Mitglieder des europäischen Reparaturcafé-Netzwerks (repaircafe.org) arbeiten mit einer Franchiselizenz nach einheitlichem Standard. • Durch 3D-Druck kann es zu Verstößen gegen das Urheber-, Geschmacksmuster-, Marken- und/oder Patentrecht kommen, wenn Modelle nachgedruckt und verkauft oder verschenkt werden. 	mittlere
Nutzerpraktiken und Märkte	<ul style="list-style-type: none"> • In Österreich gibt es elf Reparaturcafés und eine Reihe von ähnlichen Initiativen. • Reparaturcafés sprechen neue Zielgruppen an. • Das 3D-Druckverfahren wird in Reparaturcafés bislang nicht eingesetzt, es existiert jedoch eine von privaten Anbietern betriebene Marktnische für 3D-Drucke. • Verschiedene Firmen bieten 3D-Drucker-Komplettpakete aber auch Selbstbausätze an. 	geringe bis mittlere
Kulturelle Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> • Reparaturcafés korrespondieren mit den Werthaltungen der Postkonsum- bzw. Ko-Konsum-Bewegung, die insbesondere bei der jüngeren Generation breite Unterstützung findet. 	mittlere
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Reparaturcafés finden bislang in Regel an wechselnden Orten statt. • Reparaturcafés sind stark auf technische (Strom, Wasser, Internet) und soziale Infrastrukturen (bestehende Netzwerke) angewiesen. • Diese Infrastrukturen weisen in Österreich einen hohen Entwicklungsstand auf. 	hohe
Produktionsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • In Österreich gibt es drei Hersteller von 3D-Druckern. • Reparaturcafés sind im europäischen Netzwerk (repaircafe.org) organisiert. • Reparaturinitiativen werden auch von anderen Organisationen unterstützt/initiiert (z.B. Umweltberatung, Stadtverwaltungen). 	hohe
Wartungsnetzwerke	<ul style="list-style-type: none"> • Die drei in Österreich aktiven Hersteller von 3D-Druckern bieten auch Wartungsdienstleistungen. 	hohe

3 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse aus diesem Projekt zeigen, dass es möglich ist, soziotechnische Innovationen zu definieren und deren Entwicklungsgrad (oder Reife) abzuschätzen.

Die Erweiterung der Perspektive von der Technik hin zur soziotechnischen Innovation erfordert die Auseinandersetzung mit Fragen, die im Rahmen bisheriger Bewertungsmodelle nicht oder höchstens in Ansätzen berücksichtigt werden. Dies kann besonders dann von Bedeutung sein, wenn es weniger um das Auffinden technischer Entwicklungsdefizite geht, als um die tatsächliche Umsetzung und Verbreitung von neuen Lösungen in konkreten gesellschaftlichen Anwendungsfeldern.

Dies basiert auf der Erkenntnis, dass gesellschaftliche Funktionen von Technologien nur erfüllt werden können, wenn sie in soziotechnische Zusammenhänge integriert werden. Das hier zugrunde gelegte Konzept des soziotechnischen Systems weist darauf hin, dass für gelingende Innovation eine Reihe von heterogenen Elementen auf spezifische Weise miteinander verknüpft werden müssen. Anhand der Fallstudien konnten wir beispielsweise zeigen, dass bestimmte Innovationen eine geringe bis mittlere Reife aufweisen, obwohl die dabei involvierten Technologien bereits als weitgehend ausgereift gelten (z.B. Elektrofahrzeugflotte, Radschnellweg). Das Modell liefert zwar (in seiner bisherigen Form) keine detaillierten Reifegrade, es ermöglicht aber einen Überblick über den Entwicklungsstand einer Innovation und Hinweise darauf, ob und welche Unterschiede hinsichtlich der Reife der verschiedenen Elemente bestehen.

Bei der Durchführung der Fallstudien haben wir Folgendes festgestellt:

- Die Anwendung des Modells in seiner derzeitigen Form erfordert einen hohen Rechercheaufwand. Zudem müssen verwendete Quellen in Hinblick auf ihre Glaubwürdigkeit bewertet werden.
- Bestimmte Informationen (etwa über die kulturelle Bedeutung von Innovationen oder über Nutzerpraktiken) sind nicht oder nicht in ausreichender Qualität verfügbar, wodurch Aussagen über die Reife dieser Aspekte entsprechend eingeschränkt sind.
- Bei den ausgewählten Beispielen handelt es sich um dynamische Prozesse, was dazu führt, dass vermutlich auch einige Entwicklungen verdeckt passieren (etwa in Unternehmen), und entsprechende Informationen nur eingeschränkt oder erst zu einem späteren Zeitpunkt zugänglich sind. D.h. auch, dass sich der Status der Reife einzelner Elemente relativ rasch ändern kann.
- Die Bedeutungen der einzelnen Elemente ist nicht eindeutig genug (etwa zwischen Regeln und der kulturellen Bedeutung oder zwischen Infrastruktur und Technik). Daraus resultieren Abgrenzungsprobleme die in weiterer Folge zu Unsicherheiten bei der Einschätzung der Reife führen.
- Die Kriterien für die Einstufung der Reife der Elemente haben bislang eher vorläufigen Charakter und lassen einen Interpretationsspielraum bei der Einstufung.

- Die Reife einer soziotechnischen Innovation kann nur dann sinnvoll abgeschätzt werden, wenn diese Innovation bereits angemessen beschrieben werden kann. Diese Beschränkung trifft in ähnlicher Weise auf Methoden zur Bewertung der Reife von Technologien (TRL-Ansätze) zu.
- Die Reifeeinschätzung hängt stark vom gewählten Beobachtungsraum ab. Die Suche nach internationalen Demonstrationsprojekten hat gezeigt, dass die im Rahmen des Projekts exemplarisch untersuchten Fälle in jeweils anderen Kontexten über eine bereits höhere Reife verfügen.

Wir konnten zeigen, dass das im Rahmen dieses Projekts vorgeschlagene und getestete Bewertungsmodell bereits in dieser rudimentären Form ermöglicht, relevantes Orientierungswissen über den Entwicklungsstand denk- und beschreibbarer Innovationen zu generieren. Wissen dieser Art und in dieser Form ist sicherlich neuartig. Das Modell führt zu umfassenden Beschreibungen von (potenziellen) Innovationen. Informationen über die Entwicklung der verschiedenen Elemente von Innovationen können systematisch dargestellt und Entwicklungsunterschiede sichtbar gemacht werden.

Ob die im Rahmen der exemplarischen Fallstudien erzielten Ergebnisse in dieser Form bereits von Nutzen für die Innovationspolitik sein können, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht gesagt werden. Außer Frage steht hingegen, dass das Modell auf Basis der bisher gemachten Erfahrungen weiterentwickelt werden kann. Einige Vorschläge dazu werden im abschließenden Kapitel kurz vorgestellt.

4 Ausblick und Empfehlungen

Das vorliegende Projekt stellt einen ersten Versuch zur Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Reife soziotechnischer Innovationen dar. Geht man davon aus, dass Wissen über die Reife von Innovationen von strategischer Bedeutung sein kann und das vorgeschlagene Modell als eine sinnvolle Möglichkeit zur Erzeugung eines solchen Wissens erachtet wird, kann empfohlen werden, weiter an der Entwicklung dieses Ansatzes zu arbeiten.

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen sehen wir drei alternative Optionen: (1) Weiterentwicklung des bisherigen qualitativen Modells; (2) Weiterentwicklung des bisher verfolgten Ansatzes in Richtung semi-strukturiertes Modell; (3) Entwicklung einer quantitativen Methode zur Erstellung von Grobanalysen.

Option 1 schließt direkt an die bisher geleistete Arbeit an und zielt darauf ab, ein tieferes Verständnis für soziotechnische Innovationen zu schaffen. Die bereits durchgeführten Fallstudien könnten dafür eine wichtige Grundlage bilden. Ein erster Schritt würde in der weiteren Ausarbeitung des Konzepts der semi-generischen Beschreibung soziotechnischer Innovationen bestehen. Die Aussagekraft der Reifeabschätzung einer Innovation steht, das haben die Fallstudien gezeigt, in einem engen Zusammenhang mit ihrer Definition – sie sollte möglichst präzise sein. Zudem könnten im Zuge der weiteren Beschäftigung mit dem qualitativen Modell die bisher für die einzelnen Elemente verwendeten Bewertungskriterien konkretisiert und ausführlicher beschrieben werden (v.a. in Bezug auf die Bedeutung von „Reife“ in den einzelnen Kategorien). Auch die intensive Beschäftigung mit den möglichen Beziehungen zwischen den untersuchten Elementen (Interdependenzen) und die Auseinandersetzung mit Fragen der Integration von Elementen (Sind ausgereifte Innovationen möglich, auch wenn nicht alle Elemente gleichermaßen ausgereift sind?) fallen unter diese Option. Empirisch und methodisch könnte das qualitative Modell schließlich durch eine Vertiefung einer oder mehrerer bereits vorhandener Fallstudien (z.B. Interviews mit ExpertInnen, Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen) weiter profitieren.

Option 2 baut ebenfalls auf das vorhandene Wissen auf, versucht jedoch, das bestehende Modell zu standardisieren. Auch hier würde es zunächst darum gehen, die bislang verwendeten Definitionen und Kriterien zu überarbeiten. Der nächste Schritt würde jedoch darin bestehen, die Reifedefinitionen der einzelnen Elemente in Forschungsfragen zu übersetzen (operationalisieren). Die bereits ausgearbeiteten Fallstudien, und zwar insbesondere die Darstellung in Tabellenform, wären dafür eine wichtige Grundlage. Ziel wäre es, einen allgemein einsetzbaren Fragenkatalog zu entwickeln. In weiterer Folge könnte dieser Katalog mit einer Gebrauchsanleitung (Handbuch) ergänzt werden.

Bei Option 3 steht die Entwicklung einer quantitativen Methode zur Reifeabschätzung von soziotechnischen Innovationen im Mittelpunkt. Eine solche Methode könnte sich zur Erstellung von Grobanalysen eignen. Damit wäre vermutlich auch die Bewertung einer größeren Anzahl von potenziellen Innovationen möglich. Die Arbeit im Rahmen dieser dritten Option könnte stark auf die Erfahrungen aus der TRL-Diskussion aufbauen. Ziel müsste es

sein, ein stark vereinfachtes Modell zu entwerfen, mit dem nur wenige, dafür aber in jeder Kategorie (Element) aussagekräftige Fragen erhoben werden. Vorstellbar wäre hier auch ein Ansatz, der quantitative Ergebnisse liefert, die sich grafisch darstellen lassen (z.B. Netzdiagramm). Diese Option würde sich am deutlichsten vom bisher verfolgten Ansatz unterscheiden. Daher sind Aussagen über die Erfolgsaussichten dieser Option zum gegenwärtigen Zeitpunkt hypothetisch.

5 Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf der TRL Entwicklung in der NASA	8
Abbildung 2: Definition der Technologiereifegrade in Anlehnung an die TRL-Definition der NASA	10

5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Qualitative Methoden der Technologiereifebewertung	15
Tabelle 2: Quantitative Methoden der Technologiereifebewertung	16
Tabelle 3: Automatisierte Methoden der Technologiereifebewertung.....	18
Tabelle 4: Elemente soziotechnischer Innovationen und Definition von Reifegraden.....	25
Tabelle 5: Überblick über die Reife der Innovation „Abwasserwärmerückgewinnung“	36
Tabelle 6: Überblick über die Reife der Innovation „Power-to-Heat“	47
Tabelle 7: Überblick über die Reife der Innovation „Städtische Elektrofahrzeugflotten“	61
Tabelle 8: Überblick über die Reife der Innovation „Radschnellwege“	71
Tabelle 9: Überblick über die Reife der Innovation „Reparaturinitiative mit 3D-Drucker“	80

5.3 Literaturverzeichnis

Azizian Nazanin, Sarkani Sharahm, Mazzuchi Thomas: A Comprehensive Review and Analysis of Maturity Assessment Approaches for Improved Decision Support to Achieve Efficient Defense Acquisition. In: Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 Vol II, San Francisco 2009.

Bilbro James, Sackheim Robert: Managing a Technology Development Program In: White Paper des George C. Marshall Space Flight Center, 2002.

Bilbro James: Mitigating the Adverse Impact of Technology Maturity. In: Präsentation bei der Project Management Challenge 200, 4. Jährliche Konferenz des NASA Projektmanagements. Galveston Februar 2007.

Bilbro James: Technology Assessment Requirements for Programs and Projects. In: Präsentation während des Multi-Dimensional Assessment of Technology Maturity Workshops, Fairborn Mai 2006.

Cornford Steven, Sarsfield Liam: Quantitative methods for maturing and infusing advanced spacecraft technology. In: Proceedings der IEEE Aerospace Konferenz. 2004.

Department of Defense (DoD): Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook, 2005 und 2009.

Department of Energy (DoE): Technology Readiness Assessment Guide. 2011.

Dubos Gregory, Saleh Joseph, Braun Robert: Technology Readiness Level, Schedule Risk and Slippage in Spacecraft Design: Data Analysis and Modeling. In AIAA SPACE 2007 Konferenz und Ausstellung, Kalifornien 2007.

Elzen Boelie, Geels Frank, Green Ken: System innovation and the transition to sustainability: theory, evidence and policy. Edward Elgar, Cheltenham/Northampton 2004.

Emery F. E.: Characteristics of Socio-Technical Systems. In: Davis L. E. und Taylor J. C. (Hrsg.): Design of Jobs. Penguin Books, Harmondsworth 1972: 157-186.

Engle Mike, Sarkani Shahram, Mazzuchi Thomas: Technical Maturity Evaluations for Sensor Fusion Technologies. In: Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPRW), Proceedings der IEEE Konferenz Washington 2009.

European Union (Hrsg.): Cities of tomorrow Challenges, visions, ways forward. European Commission, Directorate General for Regional Policy, Luxembourg 2011.

Fernandez Joseph: Contextual Role of TRLs and MRLs in Technology Management. SANDIA national Library Report SAND2010-7595, Albuquerque 2010.

Geels Frank, Kemp Rene: Dynamics in socio-technical systems: Typology of change processes and contrasting case studies. In: Technology in Society 29, 2007: 441-455.

Geels Frank: The Dynamics of Transitions in Socio-technical Systems: A Multi-level Analysis of the Transition Pathway from Horse-drawn Carriages to Automobiles (1860 – 1930). In: Technology Analysis & Strategic Management 17(4), 2005: 445-476.

Gove Ryan: Development of an Integration Ontology for Systems Operational Effectiveness. Stevens Institute of Technology. New York 2007

Graettinger Caroline, Garcia Suzanne, Sivy Jeannine, Schenk Robert, Van Syckle Peter: Using the Technology Readiness Levels Scale to Support Technology Management in the DoDs ATD/STO Environments. A Findings and Recommendations Report Conducted for Army CECOM. Carnegie Mellon Software Engineering Institute, CMU/SEI-2002-SR-027. Pittsburgh 2002.

Hughes Thomas, Mayntz Renate: The development of large technical systems. Campus-Verlag, Köln/Frankfurt am Main 1988.

Hughes Thomas: The seamless web: technology, science, etcetera, etcetera. In: Social Studies of Science 16, 1986: 281-292.

Jackson M. C.: Fifty Years of Systems Thinking for Management. In: The Journal of the Operational Research Society 60, Supplement 1: Milestones in OR, 2009: 24-32.

Latour Bruno: 1987, Science in action how to follow scientists and engineers through society. Harvard University Press, Cambridge/Massachusetts 1987.

Mahafza Sherry, Compton Paul, Tippett Donald: A Performance-Based Technology Assessment Methodology to Support DoD Acquisition. In: Defense Acquisition Review Journal, Vol. 11, Nr. 3, S.269-282. 2005

Mankins John: Approaches to Strategic Research and Technology (R&T) Analysis and Road Mapping. In: Acta Astronautica, Vol. 51, S. 3-21. 2002.

Mankins John: Technology Readiness and Risk Assessment: A New Approach. In Acta Astronautica, Vol. 65, Iss. 9-10, S.1208-1215. Elsevier 2009

Mankins John: Technology readiness assessments: A retrospective, Acta Astronautica Vol. 65, Iss. 9-10 S.1216-1223. Elsevier 2009

Mankins John: Technology Readiness Levels – A White Paper. Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, National Aeronautics and Space Administration. 1995.

Miller C. A., Richter J., O’Leary J.: Socio-energy systems design: A policy framework for energy transitions. In: Energy Research & Social Science 6, 2015: 29-40.

Moorehouse David: Detailed Definitions and Guidance for Applications of Technology Readiness Levels. In: Journal of Aircraft, Vol. 39, Nr.1, S. 190-192. American Institute of Aeronautics and Astronautics 2002.

Nolte William, Kennedy Brian, Dziegeil Roger: Technology Readiness Calculator: White Paper des Air Force Research Laboratory. 2004.

Ramirez-Marquez Jose, Sauser Brian: System Development Planning via System Maturity Optimization. In: IEEE Transaction on Engineering Management, Vol. 56, Nr. 3, S. 533-548. IEEE 2009.

Ropohl Günter: Eine Systemtheorie der Technik zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie. Hanser, München/Wien 1979.

Ropohl Günter: Philosophy of Socio-Technical Systems. In: Society for Philosophy and Technology 4(3), 1999.

Sauser Brian, Gove Ryan, Forbes Eric, Ramirez-Marquez Jose: Integration Maturity Metrics: Development of an Integration Readiness Level. In Information Knowledge Systems Management, Vol. 9, S. 17-46. IOS Press 2010.

Sauser Brian, Ramirez-Marquez Jose, Magnaye Romulo, Tan Weiping: A Systems Approach to Expanding the Technology Readiness Level within Defense Acquisition, In: International Journal of Defense Acquisition Management, Vol. 1, S 39-58. 2008

Sausser Brian, Ramirez-Marquez Jose, Verma Dinesh, Gove Ryan: From TRL to SRL: The Concept of Systems Readiness Levels. In: Proceedings of the Conference on System Engineering Research. Paper Nr. 126, S.1-10. Los Angeles 2006

Sausser Brian, Ramirez-Marquez Jose: A System Maturity Index for Decision Support in Life Cycle Acquisition. Präsentation bei der AFRL Technology Maturity Conference. Virginia Beach 2007.

Schinasi Katherine, Rodrigues Louis, Francis Pau (GAO 1999): Best Practices: Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes. U.S. Government Accountability Office (GAO) NSIAD-99-162. 1999.

Smith Jim: An Alternative to Technology Readiness Levels for Non-Developmental Item (NDI) Software. In: Technical Report CMU/SEI-2004-TR-013, ESC-TR-2004-013, Carnegie Mellon Software Engineering Institute. 2004.

Sullivan Michael (GAO 2010), Department of Defense can Achieve Better Outcomes by Standardizing the Way Manufacturing Risks Are Managed, U.S. Government Accountability Office GAO-10-439. (2010)

Suma A. B., Ferraro R. M., Dano B., Moonen S. P. G.: Integrated roof wind energy system, EPJ Web of Conferences, 2nd European Energy Conference, 2012.

Valerdi Richard, Kohl Ron: An Approach to Technology Risk Management. In: Engineering Systems Division Symposium. MIT Cambridge 2004.

Walker Gordon, Cass Noel: Carbon Reduction, 'The Public' and Renewable Energy: Engaging with Socio-Technical Configurations. In: Area 39(4), 2007: 458-469.