



KIT SCIENTIFIC REPORTS 7605

# Zukünftige Themen der Innovations- und Technikanalyse

Methodik und ausgewählte Ergebnisse

Michael Decker, Torsten Fleischer,  
Jens Schippl, Nora Weinberger (Hrsg.)



Michael Decker, Torsten Fleischer, Jens Schippl,  
Nora Weinberger (Hrsg.)

## **Zukünftige Themen der Innovations- und Technikanalyse**

Methodik und ausgewählte Ergebnisse

**Karlsruhe Institute of Technology**  
**KIT SCIENTIFIC REPORTS 7605**

# Zukünftige Themen der Innovations- und Technikanalyse

Methodik und ausgewählte Ergebnisse

Michael Decker  
Torsten Fleischer  
Jens Schippl  
Nora Weinberger  
(Hrsg.)

**Report-Nr. KIT-SR 7605**

Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben.  
Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des BMBF übereinstimmen.

### **Impressum**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
KIT Scientific Publishing  
Straße am Forum 2  
D-76131 Karlsruhe  
[www.ksp.kit.edu](http://www.ksp.kit.edu)

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales  
Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft



Diese Veröffentlichung ist im Internet unter folgender Creative Commons-Lizenz  
publiziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>

KIT Scientific Publishing 2012  
Print on Demand

ISSN 1869-9669  
ISBN 978-3-86644-802-5

## Vorwort

Technikfolgenforschung ist problemorientierte Forschung. Damit unausweichlich verbunden ist, dass am Anfang einer Technikfolgenforschung die Problemlage beschrieben werden muss. Ausgehend von solchen gesellschaftlichen Problemlagen kann ein Forschungsvorhaben entwickelt werden, welches die Erarbeitung von Lösungsvorschlägen für eben diese Problemlage erlaubt, beziehungsweise, genauer formuliert und auch das mögliche Scheitern eines Forschungsvorhabens berücksichtigend, welches erfolversprechend erscheint, adäquate Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Dafür müssen im Allgemeinen verschiedene wissenschaftliche Disziplinen zusammenarbeiten, denn „echte“ Probleme, wie auch adäquate Vorschläge zu deren Lösung, fallen nicht in den Zuständigkeitsbereich einzelner wissenschaftlicher Disziplinen; sie bedürfen inter- und transdisziplinärer Forschung.

Der vorgelagerten Frage, welcher Problemstellungen sich Technikfolgenforschung denn in Zukunft annehmen könnte oder sollte, geht das 2008 begonnene, durch das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierte Projekt „Identifizierung neuer Themen für die Innovations- und Technikanalyse (ITA-Monitoring)“ nach. Das damit verbundene frühzeitige und spezifische Identifizieren und Formulieren konkreter (technischer und gesellschaftlicher) Problemstellungen erfordert einen systematisch angelegten Suchprozess, für den die Bündelung der Einzelkompetenzen – d.h. eine kollektive Expertise – und das Einbinden verschiedener Fachkollegen im Sinne einer Konsens suchenden „Schwarmintelligenz“ unabdingbar sind.

Darüber hinaus gewinnt die genannte Fragestellung besondere Brisanz, wenn vor dem Hintergrund begrenzter finanzieller Ressourcen davon auszugehen ist, dass nicht alle Problemstellungen bearbeitet werden können. Es müssen somit Problemlagen in ihrer Relevanz vergleichend beurteilt werden und das über die volle Bandbreite technischer Entwicklungen hinweg. Selbst wenn entsprechende Relevanzkriterien entwickelt wurden, wie in *Teil Eins: Einführung*, Kapitel 3 dargestellt, und über diese auch Einvernehmen erzielt wurde, bleibt beispielsweise ein Vergleich von medizintechnischen Anwendungen mit Techniken zur Speicherung elektrischer Energie in ihren jeweiligen gesellschaftlichen Anwendungskontexten schwierig. Der diskursive Aushandlungsprozess verläuft nicht nur quer zu den wissenschaftlichen Disziplinen sondern auch quer zu jeglichen inhaltlich strukturierten Forschungsbereichen in Forschungseinrichtungen.

Vor diesem Hintergrund möchten wir allen diskursiven „Sparringspartnern“ danken, ohne die eine solche Entscheidungsfindung nicht möglich gewesen wäre. Das sind zunächst die Expertinnen und Experten des Auswahlworkshops (*Lothar Belau, Stephan Bröchler, Manfred Euler, Dirk Fornahl, Walter Ganz, Armin Grunwald, Rebecca Harding, Pauline Mattson, Sybille Meyer, Walter Peissl, Ortwin Renn, Arie Rip, Ingo Rollwagen, Uwe Schneidewind, Raymund Werle* und *Axel Zweck*), die sich auf ein methodisch komplexes Auswahlverfahren eingelassen haben, sowie die Kolleginnen und Kollegen aus der Zukünftigen Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH und aus unserem Institut, dem Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am Karlsruher Institut für Technologie, die sowohl beim Themenfindungsprozess als auch bei der Beurteilung der Relevanz der Themen von unschätzbarem Wert waren.

Karlsruhe, im Januar 2012

Michael Decker,  
Torsten Fleischer,  
Jens Schippl und  
Nora Weinberger





# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	V
Tabellenverzeichnis .....	IX
Abbildungsverzeichnis .....	XI
Danksagung.....	XIII
Zusammenfassung .....	XV
Abstract.....	XVII

## **TEIL EINS: EINFÜHRUNG**

*Michael Decker, Torsten Fleischer, Jens Schippl und Nora Weinberger*

1. Einleitung.....	1
2. Technikfolgenabschätzung – Problemorientierte Forschung .....	3
3. Identifizierung neuer Themen für die Innovations- und Technikanalyse .....	7
4. Literaturverzeichnis .....	15

## **TEIL ZWEI: KURZSTUDIEN**

### **Elektromobilität**

*Oliver S. Kaiser, Sarah Meyer und Jens Schippl .....* 19

### **Intelligente Stromnetze**

*Daniel Pathmaperuma und Jens Schippl.....* 85

### **„Klebrige Informationen“**

*Nora Weinberger, Arnd Weber und Sven Reisch .....* 121

### **Nichtmedizinische Anwendungen der Neurowissenschaften**

*Leonhard Hennen und Christopher Coenen .....* 171

Abkürzungsverzeichnis.....	223
Autorenverzeichnis.....	227
Kontaktdaten .....	229



## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Themenbezogene Literaturvorschläge .....	67
Tab. 2: Überblick über Modelle, Projekte, Kooperationen, formulierte Ziele und Strategien verschiedener Hersteller im Bereich der elektrischen Antriebe (inklusive Brennstoffzellen) .....	77



## **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Struktur eines TA-Prozesses (Quelle: Decker, Ladikas 2004; modifiziert) .....	3
Abb. 2: Monitoring-Prozess im Überblick .....	13



## Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Finanzierung des Projekts „ITA-Monitoring“ (Förderkennzeichen 16I1594) und dem Forschungspartner Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) der VDI Technologiezentrum GmbH für die Koordination der Aktivitäten aus der Technology-Push-Perspektive. Im Rahmen dieses Projektes ist bis zu diesem Zeitpunkt über die hier dargestellten Kurzstudien hinaus noch eine weitere Kurzstudie zum Thema „Crowdsourcing“ entstanden (*Werner, T.; Malanowski, N. (2011): Crowdsourcing: Lösen von schwierigen Problemen durch Menschenmassen im Internet, ITA-Kurzstudie, ZTC-Schriftenreihe „Zukünftige Technologien“, Band Nr. 92. Düsseldorf.*





## Zusammenfassung

Technikfolgenabschätzung (TA) wird gemeinhin als problemorientierte und damit transdisziplinäre Forschung eingeordnet. Das ist der Tatsache geschuldet, dass TA Problemlösungen für außerwissenschaftliche Probleme erarbeiten möchte, um beratend für die Adressaten Politik, Wissenschaft und Gesellschaft im Allgemeinen tätig sein zu können, und diese bei Entscheidungen hinsichtlich Forschung, Technologie und Innovation zu unterstützen. In diesem Report schlagen wir vor, die Problemorientierung auch als Basis für die Entscheidung, wann und welche TA in einer bestimmten Situation durchgeführt werden soll, heranzuziehen. Hierfür werden zunächst sehr breit, in einer Art Grobradar, sehr viele Themen bzw. Problemskizzen erstellt, die dann als Grundlage für einen diskursiven Aushandlungsprozess dienen, welche Themen in detaillierte Problemanalysen ('Feinradar') überführt werden sollen. Diese, für transdisziplinäre Forschung wichtigen detaillierten Problemanalysen, stellen ihrerseits kleine Forschungsprojekte (Vorprojekte) dar, die darüber hinaus erste Hinweise für ein methodisch erfolgversprechendes Projektdesign liefern.

Der hier beschriebene methodische Ansatz wird aktuell in einem Themen-Monitoring-Prozess für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Projekts „Identifizierung neuer Themen für die Innovations- und Technikanalyse (ITA)“ getestet. Dieser Prozess ist so angelegt, dass kontinuierlich, d.h. in drei Zyklen innerhalb des Projekts, mögliche Themen für die Innovations- und Technikanalyse aufbereitet werden. Die Auswahl der Themen nach Relevanz und Dringlichkeit wurde von dem Projektteam in enger Abstimmung mit dem BMBF unter Berücksichtigung von Expertenmeinungen getroffen. Die detaillierte Prozessbeschreibung ist in Kapitel 3 (*Teil Eins*) des vorliegenden Bandes beschrieben. Folgende Themen wurden ausgewählt: 1) Elektromobilität, 2) Intelligente Stromnetze, 3) „Klebrige Informationen“ und 4) Nichtmedizinische Anwendungen der Neurowissenschaften. Für die identifizierten Themen wurden Kurzstudien ausgearbeitet, die neben der transdisziplinären Situationsbeschreibung auch Empfehlungen für eine problemadäquate methodische Vorgehensweise zur Erarbeitung von Problemlösungen enthalten. Somit trägt dieses Projekt zur Entwicklung strategischer Themen für die Innovations- und Technikanalyse (beispielsweise des BMBF) bei und bietet Möglichkeiten, Schlussfolgerungen und Orientierungen für Förderinitiativen einzelner Fachreferate an.

Im zweiten Teil des vorliegenden Reports werden zu diesen vier Themen detaillierte Problemanalysen zu möglichen Chancen und Risiken bzw. Potentialen und Optionen dargestellt und eine Früherkennung von möglichen Hemmnissen und fördernden Faktoren für Innovationen geleistet. Auf der Basis dieser Problemanalysen werden konkrete Vorschläge für eine methodische Umsetzung des identifizierten Bedarfs an ITA entwickelt. In diesem Sinne stellen die Studien Vorarbeiten für konkrete ITA-Projekte dar, sind aber selbst keine ITA-Studien.



## Abstract

Technology assessment (TA) is generally classified as problem-oriented and thus transdisciplinary research. This is due to the fact that the aim of TA is to work out solutions for problems outside science in order to offer advice to its addressees, namely those working in politics and science and members of society in general, on the one hand, and to support them when taking relevant decisions concerning research, technology and innovation. In this Scientific Report, we propose that the problem-oriented approach also be used as the basis for the decision regarding when a TA should be conducted in a particular situation, and which TA should be used. As a first step to this end, a broad range – almost like a kind of “coarse radar” – and large number of topics or problem sketches are created, which then serve as a basis for a discursive process of negotiation, during which topics are to be carried over into a detailed problem analysis (“fine radar”). These detailed problem analysis, which are important for transdisciplinary research, do not represent innovation- and technology analysis, but small research projects (pre-projects). They provide, in addition, some initial indications for a methodologically promising project design.

The methodological approach described here is currently being tested in the project “Identifying new topics for the Innovation and Technology Analysis (ITA)” in which TA topics are being monitored for the German Federal Ministry of Education and Research (Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF). The entire process is coordinated in such a manner that possible topics are continuously, that is in three cycles, prepared for ITA. The selection of topics by relevance and priority was made in close coordination with the BMBF taking the expert opinions into account. In the first paragraph of the present volume the detailed process description is given. The following topics have been selected: 1) Electric Mobility, 2) Smart Grids, 3) “Sticky information” and 4) Non-medical use of neurosciences. For these identified topics “brief exploratory studies” have been drawn up, which comprise besides a transdisciplinary problem description recommendations for a problem-adequate methodical procedure. Hence, the project contributes to the development of strategic issues for the innovation- and technology analysis inter alia for a “topic field” call of papers (e.g. of the BMBF) and offers opportunities, conclusions and orientations for the funding initiatives of individual departments.

In this Scientific Report detailed problem analysis to potential chances and risks respectively potentials and options were represented for these four topics. Based on this problem analysis concrete recommendations for methodological proposals of the identified need of an ITA were developed. In this sense, the studies represent preliminary work for concrete ITA-projects. However, they are no ITA-studies themselves.



**TEIL EINS**

*EINFÜHRUNG*



# 1 Einleitung

*Michael Decker, Torsten Fleischer, Jens Schippl und Nora Weinberger*

Entstanden in den 1960er Jahren in den USA verfolgt die Technikfolgenabschätzung das Ziel Politiker, Wissenschaftler und – in einem breiteren Kontext – die Öffentlichkeit bei Fragen zu ‚sozialen‘ Aspekten von Technologie zu beraten. Damit trägt die TA zur Bewältigung bestimmter gesellschaftlicher Herausforderungen durch Technik und Technikfolgen bei und befasst sich mit der Beobachtung und Analyse von Trends in Wissenschaft und Technik bzw. Technologie und den damit zusammenhängenden gesellschaftlichen Entwicklungen, insbesondere der Abschätzung von Chancen und Risiken. Zudem kann die TA einen Beitrag zu politischen Handlungsempfehlungen oder Richtlinien für die Vermeidung dieser identifizierten Risiken und eine verbesserte Nutzung der Chancen leisten. Wesentlicher Hintergrund ist hierbei die ambivalente Rolle von Technik, denn Technik-Anwendungen „erfüllen niemals nur ihr Arbeitsziel, sondern haben darüber hinaus weitere Nebenwirkungen für die natürliche und soziale Umwelt“ (Grunwald 2002). Bei TA handelt es sich demnach um die Generierung prospektiven Wissens durch eine wissenschaftliche, wertfreie Beobachtung, Erfassung und Darstellung technischer Trends und technologiepolitisch relevanter gesellschaftlicher Entwicklungen und die Diagnose von Ambivalenzen und Spannungsfeldern. Diese Diagnosen zielen darauf ab, die öffentliche und politische Meinungsbildung mit Hilfe von TA-relevanten Methoden (u.a. partizipative Verfahren wie Bürgerbeteiligungen, Experteninterviews und Delphi- oder Foresight-Studien) zu stützen.

Handlungsempfehlungen und Beratung auf Basis derartiger Beobachtungen und Diagnosen sind besonders bei der Lösung von konkreten Problemen oder Herausforderungen notwendig; aus diesem Grund wird TA gemeinhin als problemorientierte Forschung bezeichnet (Bechmann, Frederichs 1996; Gethmann 1999). Es sollen durch Forschung, Lösungsbeiträge für gesellschaftliche und politische Probleme erarbeitet werden. Diese Problemlagen lassen sich gemeinhin nicht in den „Zuständigkeitsbereich“ einer wissenschaftlichen Disziplin allein zuordnen. Es bedarf der Integration aller wissenschaftlichen Disziplinen, die für die Erarbeitung von Problemlösungen als relevant eingestuft werden. Vor diesem Hintergrund kommt der Problemanalyse, die die Basis für diese Relevanzentscheidungen darstellt, eine zentrale Bedeutung zu. Diese Wahrnehmung deckt sich mit den Erkenntnissen zur problemorientierten Forschung im Allgemeinen. Schon die Begriffe „knowledge production in mode 2“ (Gibbons et al. 1994; Nowotny et al. 2001), „technoscience“ oder „post-normal science“ (Funtowicz, Ravetz 1993; Ravetz, Funtowicz 1999; Funtowicz, Ravetz 2001, S. 22; Ravetz 2006) suggerieren, dass Beurteilungsverfahren bzw. Risikobeurteilungen in der Wissenschaft, die Beziehung zwischen Wissenschaft und Technologie und die Beziehung zwischen Wissenschaft und Gesellschaft im Wandel sind und somit eine „normale“ wissenschaftliche Betrachtung von nichtwissenschaftlichen Fragen möglicherweise unzureichend ist. Damit liegt nahe, dass Wissenschaft in einen anderen Modus („Mode2“) übergehen oder Wissenschaft „post normal“ werden muss. Somit ist eine Wissenschaft(sproduktion) erforderlich, in der gesellschaftlich-politische und wissenschaftlich-analytische Wissensressourcen integriert werden können und in denen „Feedback-Schleifen“ durch unabhängige Experten unerlässlich sind. Methodisch ist folglich eine transdisziplinäre Forschung gefragt, die sich klar von der „innerwissenschaftlichen“ interdisziplinären Forschung abgrenzt (Nowotny et al. 2001) und sich weniger an den epistemischen Vorgaben der akademischen Wissenschaft ausrichtet, sondern stattdessen ein Auflösen der Grenzen von Wissenschaft und Praxis postuliert. „Trans“ verdeutlicht hierbei, dass integrative, universell theoretische Lösungen erarbeitet werden müssen, die in der Lage sind ihr Problemlösungspotential außerhalb der Wissenschaft zu beweisen (Mittelstraß 2003; Horlick-Jones, Sime 2004, S. 442), also wissenschaftliches Wissen und praktisches Wissen zu verbinden, Disziplingrenzen zu überschreiten, und Forschung im gesellschaftlichen Umfeld einzubetten.

In diesem Verständnis von transdisziplinärer Forschung haben sich TA und interdisziplinäre Technikforschung, wie in der Literatur beschrieben, als einschlägige integrative Instrumente etabliert (Nowotny et al. 2001; Decker 2007). Ebenso wurden bereits Vorschläge zur methodischen Umsetzung der beschriebenen problemorientierten transdisziplinären Forschung veröffentlicht. Daneben finden sich konkrete Leitlinien zu schrittweisen transdisziplinären Forschungsprozessen, um u.a. anwendungsbezogene Prozesse und Vorgehensweisen zu ermöglichen (Schonhaus, Schön, Dienel 2004; Pohl, Hirsch Hadorn 2006).

Im Folgenden wird eine generelle Struktur zur methodischen Umsetzung von TA-Projekten vorgestellt, die als eine Operationalisierung transdisziplinärer TA verstanden werden kann. Sie wurde in dem EU-Projekt „Technology Assessment in Europe: Between Method and Impact (TAMI)“ entwickelt. Die Struktur unterstreicht, mit ihrem Fokus auf der Beschreibung des zu untersuchenden gesellschaftlichen oder politischen Problems, dieses zentrale Element transdisziplinärer Forschung (Pohl, Hirsch Hadorn 2006). Die TAMI-Struktur beginnt ab der Entscheidung einer TA-Institution, zu einem bestimmten Thema ein TA-Projekt durchzuführen. Dieser Entscheidung vorausgehend muss aber z.B. geklärt werden, mit welchen Kriterienrastern und auf welche Weise TA dringliche Problemlagen identifizieren kann und zu welchem Zeitpunkt diese gesellschaftlich und politisch relevant werden.

Diesem methodischen Schritt, dem in der Literatur bisher wenig Beachtung geschenkt wird, kommt für TA-Institutionen indessen aus zweierlei Gründen eine besondere Bedeutung zu. Der erste Grund liegt in der fraglichen Dringlichkeit der konkret vorliegenden Problemlage. Denn die Fragen, wann ein Problem als ein TA-Thema aufgegriffen werden sollte und ob Handlungsempfehlungen für Politiker, Wissenschaftler und die Öffentlichkeit erarbeitet werden müssen, sind nicht leicht zu beantworten. Ausnahme ist die sog. parlamentarische TA, bei der konkrete Anfragen von politischen Akteuren (z.B. des Parlaments, seiner Komitees und Mitglieder) gestellt werden. Dadurch ist die Frage, wann TA eingreifen soll, bereits beantwortet und TA-Institutionen können direkt mit einer eingehenden Analyse der Problemstellung zur Gestaltung von Handlungsempfehlungen und Richtlinien für die Politik beginnen. Außerhalb der parlamentarischen TA ist der Handlungsspielraum dagegen viel größer; TA-Institutionen können selbstständig ohne politische Vorgaben TA-Themen identifizieren, systematisieren und initiieren. Der ursprünglich angenommene wissenschaftliche bzw. nicht-wissenschaftliche Beratungsbedarf muss dann erst begründet werden. Der zweite Grund ist auf die limitierten Ressourcen von TA-Institutionen oder Forschungseinrichtungen für TA-Projekte zurückzuführen, denn die Frage, zu welchem Zeitpunkt TA sich einschalten soll, wird hier um eine Vergleichsdimension erweitert: Wenn mehrere gesellschaftliche Probleme auf die Entwicklung einer Lösungsstrategie warten, ist eine Entscheidung notwendig, welche Themen vorrangig bearbeitet werden sollen. Die „Wichtigkeit“ oder „Relevanz“ einer konkreten gesellschaftlichen Situation ist hierbei generell durch die Beurteilung der „Dringlichkeit“ zu erweitern. Um die Entscheidungsfindung auf Basis der Kriterien Wichtigkeit und Dringlichkeit zu verdeutlichen, wird in Kapitel 3 das Projekt „ITA-Monitoring: Identifizierung neuer Themen für die Innovations- und Technikanalyse“, gefördert durch das BMBF, dargestellt.



## 2 Technikfolgenabschätzung – Problemorientierte Forschung

Michael Decker, Torsten Fleischer, Jens Schippl und Nora Weinberger

Betrachtet man die Entwicklung der TA, so hat sie sich in den letzten Jahren in Europa stark weiterentwickelt. Sowohl für den „klassischen“ TA-Bereich als auch im partizipativen Bereich, bei dem es um die Beteiligung von Bürgern, Interessensvertretern und Laien geht, wurden und werden unterschiedlichste Methoden zur Beurteilung von wissenschaftlichen und technischen Innovationen erarbeitet. Diese neu entstandene methodische Vielfalt hat eine Debatte über die Vor- und Nachteile einzelner Methoden ausgelöst. Bisher wurden hierbei Fragen zu geeigneten Kriterien für die Wahl eines Themas als TA-Thema und zum „richtigen“ Zeitpunkt zum Aufgreifen eines Themas in einer TA nur gestreift. Falls das Ausmaß einer Anfangs nur hypothetischen Problemdefinition, gegliedert nach verschiedenen Relevanzkriterien ausreichend genug ist, um festzulegen, dass ein Thema für eine TA geeignet ist (vgl. dazu Bütschi et al. 2004), dann könnte man sich vorstellen, dass diese Kriterien auch zum Vergleich verschiedener Problemstellungen herangezogen werden können. Dies ist aber im Allgemeinen nicht der Fall, denn die Kriterien werden lediglich bei der Überprüfung der TA-Relevanz eines Themas einbezogen. Diese Kriterien, die im EU-Projekt TAMI zur Beurteilung der Relevanz eines Themas entwickelt wurden, werden in den folgenden Abschnitten neben einem gemeingültigen TA-Prozess aufgezeigt.

Ziele des Forschungsprojektes TAMI waren unter anderem, neben einer Kategorisierung und Evaluierung des State-of-the-Arts aktuell eingesetzter TA-Methoden, die Beziehung zwischen „Methode und Auswirkung (Impact)“ von TA unter systematischen und strategischen Gesichtspunkten, zu untersuchen. Diese Ziele konnten in zwei Leitfragen dargestellt werden. Aus der Sicht von TA-Experten und -Akteuren lautete eine Frage: Welche Methode muss gewählt werden, um die gewünschte Auswirkung von TA als Politikberatung zu erreichen? Die andere Frage wurde wie folgt formuliert: Wie kann eine TA-Einrichtung in einem Projekt die ‚ideale‘ Methode wählen bzw. welche Kriterien zieht man sinnvollerweise für eine solche Entscheidung heran?

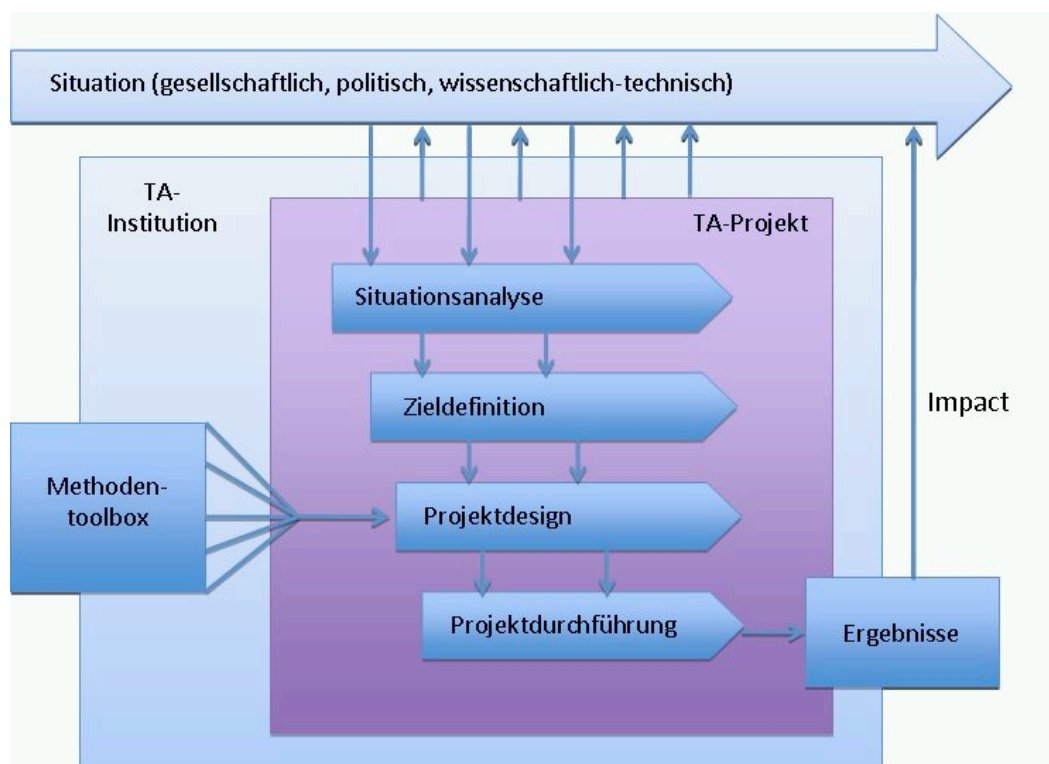


Abb. 1: Struktur eines TA-Prozesses (Quelle: Decker, Ladikas 2004; modifiziert)

Um die komplexen Zusammenhänge zwischen Methodik auf der einen Seite und Auswirkung auf der anderen Seite, diskutieren zu können, stellt Abb. 1 einen Vorschlag zur Systematisierung dar. Wie die Übersicht zeigt, hängt die potentielle Auswirkung von TA-Aktivitäten dabei von einer Vielzahl von Variablen ab, wie z.B. von der konkreten Situation, von den angestrebten (Projekt-)Zielen, der Auswahl der Methode(n) und dem Projektmanagement. Diese vorgeschlagene Struktur kann als eine Art „Referenz-System“, also eine gemeingültige Handlungsempfehlung für TA-Prozesse bzw. TA-Experten angesehen werden:

Am Anfang eines TA-Projekts steht immer die Analyse der gesellschaftlichen, politischen, ökologischen oder technischen Situation. Da sich derartige Situationen im Verlauf des Projektes ändern können, sollte, um auf unerwartete Änderungen der Situation adäquat reagieren zu können, ein Monitoring der Prozesse implementiert und das Projektdesign hinreichend flexibel gestaltet werden. „Änderungen dieser Art können neue wissenschaftliche Erkenntnisse, die plötzliche (und häufig kurze) Aufmerksamkeit der Medien, eine politische Aktion oder ähnliches sein“ (Decker, Ladikas 2004). Auf Basis der detaillierten Situationsanalyse sollten dann realistische Zielstellungen definiert, über die angestrebte Rolle der TA im gesellschaftlichen Diskurs und die gewünschten Auswirkungen nachgedacht werden, weil hiervon das Projektdesign und die Wahl und Kombination der TA-Methoden, auf die im folgenden Absatz näher eingegangen wird, abhängt. Aufgrund dieser engen Verknüpfung von Situationsanalyse, gewählter Zielsetzung und der im TA-Projekt verwendeten Methodik und der angestrebten Auswirkung, sollte ein kontinuierlicher Anpassungsprozess ggf. zur Einleitung von Maßnahmen zur Neuausrichtung bei der Realisierung des Projekts eingerichtet werden.

Um TA-Projekte umzusetzen, können verschiedene wissenschaftliche, interaktive und kommunikative Methoden zum Einsatz kommen, wobei sich unter diesen Überschriften jeweils eine Vielzahl von methodischen Ansätzen finden: Wissenschaftliche Methoden beinhalten Status-Quo-Analysen, Experteninterviews, -Diskussionen, Delphi-Umfragen, Ökobilanzen, Lebenszyklusanalysen etc., interaktive Methoden legen einen Schwerpunkt im diskursiven Bereich mit Interessenvertretern, Bürgern, und/ oder Laien. Konsensus-Konferenzen, Fokus-Gruppen und Bürgerpanel oder -dialoge können hier exemplarisch genannt werden. Kommunikative Methoden schließlich decken die Bandbreite von „wissenschaftlicher Endbericht“ über Pressemitteilungen bis hin zu „Science-Theater“ ab, wenn es darum geht, die Projektergebnisse in adressatengerechter Form zur Diskussion zu stellen. Meist können die für die konkrete Situation formulierten Zielstellungen nur durch eine adäquate Kombination verschiedener oder sogar durch Entwicklung von neuen Methoden erreicht werden. Das Projektdesign wird von einer TA-Institution so geplant, dass die Methoden ausgewählt werden, mit denen das größte Erfolgspotential, die formulierten Ziele und damit den größt möglich erreichbaren ‚Impact‘, verbunden ist. Natürlich muss ein Projektdesign nicht eine Reihe von Methoden beinhalten, wenn sich zeigt, dass nur eine Methode z.B. die Ökobilanzierung einen ‚Blick aufs Ganze‘ verspricht. Dennoch ist das Ausmaß des Erfolgspotentials lediglich ein Kriterium für die Wahl einer Methodenkombination: Das Projektdesign sollte auch generische TA-Qualitätskriterien wie Inter- und Transsubjektivität, wissenschaftliche Unabhängigkeit oder die Gleichbewertung von Wechselwirkungen berücksichtigen.

Nach der Entscheidung für ein Projektdesign, also der faktischen Realisierung des Projekts, muss dann nicht mehr länger von idealen Methoden, aber von konkret angewandten Verfahren gesprochen werden. In diesem Fall greifen Variablen wie das Projektmanagement, Unabhängigkeit, Kommunikation und andere Qualitätskriterien. Diese Phase ist sicherlich von entscheidender Bedeutung. Selbst wenn eine TA-Einrichtung die Situation ‚richtig‘ bewertet, die ‚richtigen‘ Ziele formuliert, das ‚richtige‘ Methodenset wählt und das ‚perfekte‘ Projekt plant, kann das ganze Projekt scheitern, wenn das Projektmanagement schlecht ist oder eins der genannten TA-Qualitätskriterien nicht eingehalten wird. Eine hohe Qualität nach wissenschaftlichen, interaktiven und kommunikativen Kriterien bei der Ergebnisproduktion ermöglicht es TA-Institutionen aber sowohl kurzfristige, als auch langfristige Auswirkungen zu erzielen.

Die Stärke der im Projekt TAMI vorgeschlagenen Struktur liegt darin, dass sie die Außenwelt als einen durch eine TA-Einrichtung beobachteten, sich laufend ändernden Zustand beschreibt. Durch diesen Beobachtungsprozess kann der Startpunkt für ein TA-Projekt (siehe Abb. 1) ermittelt werden. Die TAMI-Kriterien bzw. die fünf sog. Dimensionen, die diese Entscheidung stützen und eine Situationsanalyse ermöglichen, werden im Folgenden beschrieben.

### 1. Dimension der ursprünglichen Problematik

Typischerweise lässt sich eine konkrete wissenschaftlich-technische Entwicklung identifizieren, die mit Hilfe eines TA-Prozesses beurteilt werden soll. Die Situationsanalyse hängt von dieser wissenschaftlich-technischen Entwicklung ab. Es ist ein Unterschied, ob man eine dezentral entwickelte Technik, wie bspw. das Internet und die damit verbundenen Nutzungsmöglichkeiten untersucht, oder ob man eine so genannte ‚Großtechnik‘ wie eine Raumstation oder einen Fusionsreaktor beurteilt. Die Situation ändert sich mit dem Grad der Möglichkeiten, den Entwicklungsprozess gestalten zu können („Technologie-orientierte Dimension“). Das ist auch der Fall, wenn man statt einer konkreten wissenschaftlich-technischen Entwicklung eine bestimmte „Domäne“ wie z.B. ‚E-Commerce‘, ‚e-health‘ und ‚zukünftige Energiesysteme‘ mit einem TA-Prozess untersucht, innerhalb derer dann verschiedene technische Entwicklungen und damit unterschiedliche Problemlagen beurteilt werden („Domän-orientierte Dimension“). Letztendlich könnte aber der „Folgen-orientierte Ansatz“, der am besten geeignet sein. Bei diesem Ansatz wird nicht die Technologie, sondern der gesellschaftliche Trend oder die gesellschaftliche Veränderung, die mit dem Einsatz der Technologie einhergehen, in den Vordergrund gestellt. Typische Beispiele sind Projekte, die Fragen zur Privatsphäre, nachhaltiger Entwicklung, Geschlechterverteilung oder zum Nord-Süd-Verhältnis adressieren.

### 2. Politische Dimension

Die Problemlage hängt auch von der konkreten politischen Situation ab, in der sich eine technische Entwicklung vollzieht, denn von TA adressierte Problemlagen sind generell politisch relevant. Die Relevanz ist dabei vom Stadium des politischen Entscheidungsprozesses und von der Natur des anhaltenden politischen Diskurses abhängig. Das wird besonders dann deutlich, wenn eine technische Entwicklung bereits auf der politischen Agenda ist und fundamentale Entscheidungen getroffen werden müssen (Entscheidungsfindungsphase). In diesem Fall kann eine Strukturierung der Debatte zur Vorbereitung der politischen Entscheidung als Beratungsbedarf konstatiert werden. Die politische Dimension kann sich aber auch dadurch auszeichnen, dass eine technische Entwicklung durch TA überhaupt erstmal in die Wahrnehmung der Politik gerückt werden muss (Phase des Agenda-Setting). In der politischen Implementierungsphase hingegen, in der bereits klare politische Strategien bzw. Leitlinien zu der Problemlage (z.B. Fördern von ‚e-Learning‘) formuliert sind, müssen erst noch Erfolg versprechende Umsetzungsoptionen erarbeitet werden. Es ist aber auch eine politische Situation vorstellbar, in der z.B. keine Lösungen in Sicht sind, also eine politische Sackgasse erreicht ist. Beispiele hierfür sind verhärtete Fronten zwischen (gesellschaftlichen) Verhandlungspartnern bei der europäischen Debatte zu gentechnisch veränderten Nahrungsmitteln („Genfood“) und die gegenwärtige Diskussion in vielen Ländern zu Atommüllendlagern.

### 3. Gesellschaftliche Dimension

Ein anderer charakteristischer Aspekt ist die gesellschaftliche Perspektive auf eine technische Entwicklung oder ein technisches Gebiet (Domäne); hierbei ist die Beziehung zur Öffentlichkeit von entscheidender Bedeutung. Zunächst stellt sich die Frage, ob die Problemlage/ Technik schon von öffentlichem Interesse ist? Wenn dieses Interesse erkennbar ist, wie wird es dann geäußert? Ist es mit Faszination, Ablehnung oder Misstrauen verbunden?

Wenn die Problemlage oder Technik bereits gesellschaftlich breit diskutiert wird, stellt sich die Frage nach den tonangebenden Akteuren: Wer führt die gesellschaftliche Diskussion? Sind sich große Organi-

sationen (Parteien, Kirchen, soziale Bewegungen) dieser Problemlage bewusst? Welche gesellschaftlichen Werte sind im Spiel und wie ist mit gesellschaftlichen Konfliktsituationen umzugehen? In diesem Zusammenhang sind bspw. gesellschaftliche Rollen- und -beziehungsmodelle zu berücksichtigen. Demnach kann das Design einer TA-Studie entscheidend von der Einschätzung der Rolle der Experten, Entscheidungsträger und Laien und ihrer gegenseitigen Beziehungen in dem zugehörigen Feld abhängen.

#### 4. Innovationsdimension

Da sich TA-relevante Fragen sich mit den verschiedenen Phasen des Innovationszyklus ändern und sich damit auch jeweils andere Problembereiche identifizieren lassen und verschiedene Stakeholder und soziale Gruppen involviert sind, hat TA entlang der Innovations-Trajektorie einer dedizierten Technologie ganz unterschiedliche Einstiegspunkte. In Anlehnung an das weit verbreitete Modell der Innovationskette sind folgende Entwicklungsstufen identifizierbar: a) Frühe Forschungs- und Entwicklungsphase, b) Industrielle Forschung, c) Markteinführung, d) Diffusionsphase und e) gesellschaftlich verwurzelte Technologien. Die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit nimmt typischerweise mit dem Fortschreiten der Innovationskette zu und auch die Möglichkeiten der Gestaltung von Technik verändern sich drastisch. Aufgrund dessen sind Entwicklungsphasen-abhängige Fragen und entsprechende Entscheidungskriterien essentielles Element bei der Situationsanalyse.

#### 5. Verfügbarkeit von Wissen

Zentrale Aufgaben von TA sind Wissensgenerierung und Wissensmanagement. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Tatsache dar, dass bei TA vorausschauendes Wissen gefragt ist – TA muss antizipativ Wissen über gegenwärtige Zukünfte produzieren – und damit TA-Forschung besonders durch ihre unsichere Wissensbasis gekennzeichnet ist. Damit hängt das Design einer TA-Studie von der Menge und der Qualität verfügbaren Wissens und von den identifizierten Wissensdefiziten und -lücken ab; eine Diversifizierung der Verfügbarkeit von Wissen gehört deswegen zu jeder Vorbereitungsphase von TA. Unterschiedliche Ausgangspunkte in diesem Feld sind: Verfügbares qualitativ hochwertiges Wissen; hoher Grad von Konsens zwischen Experten und Wissenschaftlern; qualitativ hochwertiges Wissen, das nur zu einigen relevanten Felder vorhanden ist mit zusätzlichen Feldern von Unwissenheit oder hoher Unsicherheit; verfügbares Wissen zu Wissenslücken („bekanntes Unbekanntes“, „anerkannte Unwissenheit“ oder „gewusstes Nichtwissen“).

Mit diesen oder verwandten Dimensionen lässt sich – nach konzeptionellen Vorarbeiten des Projekts TAMI – eine konkrete gesellschaftliche, politische, ökologische oder technische Situation beurteilen und ihre potentielle Relevanz für TA in einem allgemeinen Sinn charakterisieren. Im folgenden Kapitel wird beispielhaft das im Projekt „Identifizierung neuer Themen für die Innovations- und Technikanalyse (ITA-Monitoring)“ installierte Monitoring, die Methodenauswahl und der Entscheidungsfindungsprozess auf Basis der Kriterien ‚Wichtigkeit‘ und ‚Dringlichkeit‘ anhand der Fragestellung, „welches TA-Projekt zu welchem Zeitpunkt aufgegriffen werden soll?“ detaillierter beschrieben.

### 3 Identifizierung neuer Themen für die Innovations- und Technikanalyse

Michael Decker, Torsten Fleischer, Jens Schippl und Nora Weinberger

Das Projekt „Identifizierung neuer Themen für die Innovations- und Technikanalyse (ITA-Monitoring)“ ist ein Forschungsprojekt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit dem Ziel, neue strategische Themen für die Innovations- und Technikanalyse (ITA) zu identifizieren und die jeweils damit verbundenen Forschungsfragen herauszuarbeiten, gefördert wurde<sup>1</sup>. Weiterhin sollte eine Orientierung für zukünftige Maßnahmen des BMBF in diesem Themenbereich geboten werden. Der Begriff „neue Themen“ impliziert dabei, dass es sich um noch unzureichend oder gar nicht untersuchte Fragestellungen handelt. Diese sollten sich abgrenzend zu langfristig ausgerichteten Foresight-Prozessen<sup>2</sup> (vgl. auch Cuhls 2000 und Zweck et al. 2004), die sich auf einen Zeithorizont von rund 15 Jahren beziehen, auf einen mittelfristigen Zeithorizont von fünf bis zehn Jahren konzentrieren. Entscheidend ist dabei aber nicht nur die zeitliche Abgrenzung, sondern auch der andere Fokus: Bei ITA-Prozessen geht es insbesondere darum, konkrete Problemstellungen zu identifizieren und zu formulieren, und daraus bearbeitbare Fragestellungen zu entwickeln.

Mit dem Ansatz der Innovations- und Technikanalyse des BMBF ist die Aspiration verbunden, den Akteuren im Innovationsprozess Informationen und Reflexionen verfügbar zu machen, um deren Handlungssicherheit bei Entscheidungen hinsichtlich Forschung, Technologie und Innovation zu erhöhen. Mit ITA werden mögliche Chancen und Risiken identifiziert, Potentiale und Optionen aufgezeigt und eine Früherkennung von möglichen Hemmnissen und fördernden Faktoren für Innovation geleistet. In der Konzeptbrochure des BMBF heißt es:

*„Das Politikkonzept „Innovations- und Technikanalyse“ (ITA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zielt darauf ab, Felder des gesellschaftlich erwünschten technologischen Fortschritts zu identifizieren, Gestaltungspotentiale aufzuzeigen sowie politische Handlungsspielräume und -optionen zu benennen. ITA soll in einer hoch technisierten Welt Gesellschaft Orientierung bieten und einen Beitrag zur Förderung einer menschen- und sozialgerechten sowie umweltverträglichen Technikgestaltung leisten. Anknüpfend an die bewährten Methoden und Studien der Technikfolgenabschätzung (TA) ist ITA ein strategisches Konzept für die Analyse und Bewertung von Technologien, das in seinem übergreifenden Ansatz Forschung und Praxis verbindet.“ (BMBF 2001, S. 7)*

Damit die Innovations- und Technikanalyse dem selbst gewählten Anspruch eines „mittelfristigen Radars“ (Bode 2007) Rechnung tragen kann, ist eine systematische Erkundung der relevanten Zeit- und Suchräume unerlässlich. Die frühzeitige und opportune Erkundung von relevanten Themen der Innovations- und Technikanalyse ist angeraten, um das BMBF in die Lage zu versetzen, strategische Förderung so zu betreiben,

---

<sup>1</sup> Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Karlsruhe Institut für Technologie koordiniert die Aktivitäten mit Demand-Pull-Perspektive und organisiert die Administration des Projektes, und die Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) der VDI Technologiezentrum GmbH ist als Forschungspartner für die Koordinierung der Aktivitäten mit Technology-Push-Perspektive integriert. Die Ausführungen in diesem Kapitel basieren in Teilen auf den gemeinsam mit dem VDI Technologiezentrum ausgearbeiteten Projektantrag "Identifizierung neuer Themen für die Innovations- und Technikanalyse (ITA-Monitoring)", eingereicht beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

<sup>2</sup> Nähere Informationen zum Foresight-Prozess des BMBF sind unter <http://www.bmbf.de/de/12673.php> zu finden.

dass der Grundgedanke der TA mit den Erfordernissen einer zunehmend frühzeitig gestaltenden Innovationspolitik und neuen Formen von „Governance“ verbunden wird (Meyer-Kramer 1999; Malanowski, Zweck 2008).

Dieses Vorhaben stellt damit hohe Anforderungen an die Breite des erforderlichen Monitorings, die Bestimmung relevanter Felder für solche vertieften Untersuchungen, die Taxierung der zukünftigen Relevanz unterschiedlicher vorstellbarer Themen und das notwendige Zukunftswissen. Im Rahmen der im Projekt TAMI entwickelten Struktur gibt es keinerlei Einschränkungen bzgl. der allgemeinen Situation oder des sozialen Kontextes. Aus pragmatischen Gründen (Aktualität der Forschungsergebnisse, beschränkte Kapazitäten in TA-Institutionen, Effizienz) kann daher das Monitoring möglicher TA-Themen über die gesamte Bandbreite nicht durch eine detaillierte, individuelle Analyse auf Basis von Kriterien (wie bspw. den TAMI-Kriterien) realisiert werden. Deswegen wurde das Vorgehen im Projekt „ITA-Monitoring“ in drei Prozessebenen unterteilt (siehe auch Abb. 2):

- Prozessebene A) Monitoring, d.h. ein *Grobradar*/ Screening potentieller Themen, dessen Hauptaufgabe ó neben einer Erstellung eines entsprechenden Überblickwissens ó darin besteht, Vertiefungsfelder für die zweite Ebene zu identifizieren.
- Prozessebene B) Ein von externen Experten/ Stakeholdern und in enger Kooperation mit dem BMBF durchgeführter *Selektionsprozess* bzw. eine Themenauswahl zur Weiterbearbeitung im Rahmen des ITA-Monitorings (oder auch außerhalb des ITA-Monitoring z.B. im Rahmen von Fachprogrammen oder Foresight).
- Prozessebene C) Erforschung der ausgewählten Themen in größerer Detailtiefe (Themenvertiefung oder *Feinradar*) zur Integration in eine nachfolgende Innovations- und Technikanalyse und Aufbereitung der Themen für geeignete Instrumente (z.B. ITA-Kurzstudien, ITA-Studien, Themenfeld- oder Projektausschreibungen oder Einbringen der Themen in die Fachprogramme des BMBF).

Die gesamte thematische Breite des *Grobradars* folgt einer klassischen Unterscheidung der Innovationsforschung<sup>3</sup> zwischen einer Technology-Push- und einer Demand-Pull-Perspektive, welche auf die Identifizierung neuer Themen für die Technikfolgenabschätzung übertragen wird: Einerseits sollten bei der beständigen Weiterentwicklung neuer Technologien, deren intendierte und nicht-intendierte Nebenfolgen im sozialen Kontext mit ihrer Anwendung geprüft werden (Technology-Push-Perspektive, technikinduzierte TA), und andererseits können gesellschaftliche Bedarfe oder Herausforderungen identifiziert werden, welche möglicherweise durch die Nutzung technischer Prozesse gelöst oder ihre Folgen zumindest abgemildert werden (Demand-Pull-Perspektive, probleminduzierte TA). Auch wenn diese Unterscheidung zunächst eine artifizielle Teilung generiert ó letztendlich wird diese<sup>4</sup> durch das originäre Ziel einer umfassenden TA, die Beurteilung der Chancen und Risiken technischer Verfahren und ihrer gesellschaftlichen Anwendung überwunden ó bietet sie dennoch eine gute Möglichkeit, die Recherche im Grobradar zu initiieren und entsprechende Suchstrategien und -räume bereitzustellen.

Für einen erfolgreichen ITA-Monitoring-Prozess ist die Auswahl der Informationsquellen entscheidend. Im Rahmen der technologieorientierten Herangehensweise beginnt deswegen die Suche nach potentiell relevanten TA-Themen zum Teil bei der technologischen Entwicklung selbst. Hierbei können u.a. einschlägigen Wissenschafts- und Technikfachzeitschriften, Beiträge und Berichte von Fachkonferenzen, -messen, -kongressen, Berichte von Expertenkommissionen und Förderprogramme ausgewertet werden. Die Aus-

---

<sup>3</sup> Bei Nemet (2009) finden sich ein historischer Abriss und eine kritische Beleuchtung der Technology-Push- und Demand-Pull-Perspektiven.

<sup>4</sup> Dies wurde auch im Rahmen mit Innovationsforschung vorgeschlagen (vgl. dazu z.B. Nelson und Winter 1977)

wertung der genannten Typen von Informationsquellen wird nach Bedarf durch bibliometrische und Patentanalysen flankiert. Die Basis dieses Screenings ist somit eine umfassende Suche nach dokumentierten Aussagen zu neuen Technologieentwicklungen und zur Beurteilung ihrer, durch die Entwickler versprochenen, Relevanz, die insbesondere durch, mit gesellschaftlichen und politischen Trends, Entwicklungen, Bedarfen und Herausforderungen verbundenen, Erwartungen verifiziert werden. Die Erforschung der gesellschaftlichen und politischen Bedarfe mit Wissenschafts- und Technikbezug wird basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche zu Aussagen über politische/ gesellschaftliche Trends, Entwicklungen, Bedürfnisse und Probleme durchgeführt. Diese Recherche wird auf drei Säulen aufgebaut. Die erste Säule ist die systematische Analyse und Bewertung von allgemeinen Trendanalysen. Hierzu zählen u.a. Veröffentlichungen von einschlägigen Institutionen der Zukunftsforschung und von Unternehmensberatungen (z.B. Z-Punkt, The Foresight Company in Berlin, Zukunftsinstitut in Kelkheim und die PROGNOSE AG in Basel). Zudem sind Berichte des Club of Rome oder des National Intelligence Council (NIC) für internationale Zusammenhänge exemplarisch. Ebenso gehören dazu Ergebnisse von Bevölkerungsbefragungen zu Erwartungen an und Einstellungen zu Wissenschaft und Technik (bspw. Eurobarometer). Die zweite Säule ist die Analyse von Foresight-Studien und Roadmaps. Die einführenden Kapitel von Foresight-Studien, insbesondere wenn es sich um Roadmaps handelt, beziehen sich gemeinhin auf gesellschaftliche und politische Trends. Die Roadmap wird dann entwickelt, um entweder diesem Trend gerecht zu werden oder diesem Trend entgegen zu wirken (Kostoff, Schaller 2001; Fleischer et al. 2005). Die dritte Säule, die Analyse von Studien der Marktforschung, wird herangezogen, da im Bereich der Marktforschung ebenfalls Trendanalysen entwickelt werden. Diese dienen als betriebswirtschaftliche Entscheidungsbasis, wie z.B. der Trendletter<sup>5</sup> vom Fachverlag für Marketing- und Trendinformationen oder Industrial Market Trends (IMT)<sup>6</sup> veröffentlicht von ThomasNet (New York). Zusätzlich zu allgemeinen Marktanalysen werden auch branchenspezifische Markttrends erforscht. Siemens beispielsweise veröffentlicht regelmäßig Trends für die Elektronikindustrie; und die Organic Trade Association<sup>7</sup> erarbeitet Markttrends für den ökologischen und fairen Handel. Die Methodik fußt also auf der Annahme, dass ó von den jeweiligen Verfassern angenommene ó gesellschaftliche Bedarfe und Problemlagen und die Potentiale technischer Entwicklungen bereits untersucht und veröffentlicht sind.

Im zweiten methodischen Schritt des *Grobradars* wird die Aufteilung zwischen der Technology-Push- und der Demand-Pull-Perspektive aufgegeben. Ein durch diese Suchaufteilung gefundenes Thema wird im weiteren Projektprozess nur dann weiterentwickelt, wenn es mit Aspekten der jeweils anderen Perspektive angereichert werden kann. Eine technische Entwicklung muss demnach, von relevanten Akteuren geäußerte Hinweise auf gesellschaftliche, politische und ökonomische Folgen mit sich bringen (Bröchler, Simonis 1998; Gethmann, Sander 1999). Im Gegenzug muss es Indizien für die Entwicklung bestimmter technologischer Lösungen zur Befriedigung gesellschaftlicher Bedarfe geben, d.h. es muss also möglich sein, eine Beziehung zu einer technischen Lösung des gesellschaftlichen Konflikts oder Bedarfs zu identifizieren oder zumindest zu konstruieren. Am Ende des *Grobradars*/ Screenings werden die Themen in einem Themenpool gesammelt und danach nach ihrer ITA-Relevanz geordnet (ŠRankingø). Dafür werden die im begleitenden Methodenmodul, basierend auf dem Projekt TAMI, erarbeiteten Kriterien, die so genannten ITA-Dimensionen herangezogen (vgl. hierzu S. 7f.):

#### 1. Technisch-wissenschaftliche Dimension

Generell liegt einem TA-Prozess immer eine zu beurteilende Technologie zugrunde. Die Analyse hängt von dieser wissenschaftlich-technischen Entwicklung ab und soll u.a. den Nutzen der Technologie und

<sup>5</sup> [www.trendletter.de](http://www.trendletter.de)

<sup>6</sup> Weitere Informationen unter <http://news.thomasnet.com/IMT/>

<sup>7</sup> Näheres unter <http://www.ota.com/organic/mt.html>

ihr Problemlösungspotential genauso darstellen, wie den Entwicklungsstand, die wissenschaftlichen Erkenntnisse und die potentiellen Folgen.

## 2. Ökonomische Dimension

Daneben ist eine Analyse der derzeitigen oder zukünftigen ökonomischen Bedeutung der identifizierten Technologie auf nationaler und internationaler Ebene von Bedeutung (Marktpotential, Einsparpotential, Arbeitsmarkteffekte etc.). Im Rahmen dieser Analyse sollten auch Wertschöpfungs- und Verwertungsketten bewertet und z.B. untersucht werden, welche Hinweise es auf mögliche Verwertungshindernisse (Verfahren, Produkte, Patente etc.) oder Markttreiber in Verbindung mit der identifizierten Technologie gibt. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Betrachtung von Wettbewerb und Marktregulierung.

## 3. Ökologische Dimension

Ein anderer charakteristischer Aspekt ist die Bewertung der ökologischen Dimension, bei der umweltrelevante Lösungsansätze wie z.B. die Umweltverträglichkeit von Produkten und Herstellungsverfahren, die Recyclebarkeit von Produkten im Mittelpunkt stehen. Dabei sollten auch mögliche Konfliktpotentiale z.B. Pro- und Contra-Aussagen von Umweltverbänden im Bezug auf die identifizierte Technologie in den Fokus gerückt werden.

## 4. Soziale bzw. gesellschaftliche Dimension

Entscheidend bei der Innovations- und Technikanalyse ist außerdem die gesellschaftliche Perspektive auf eine technische Entwicklung oder ein technisches Gebiet. Zunächst stellt sich die Frage, inwiefern die identifizierte Technologie zu einer Erhöhung der Lebensqualität/ des Wohlstands beiträgt, Bedarf in Bezug auf Lebensqualität und Wohlstand geäußert wird und ob dieser öffentlich wahrgenommen wird. Da bei der Marktdurchdringung einer Technologie auch die Zustimmung und Ablehnung in der Gesellschaft eine wichtige Rolle spielt, sollte u.a. auch untersucht werden, ob und von wem im Zusammenhang mit der Bedarfsäußerung oder der Technologie gesellschaftliche Folgen diskutiert werden und Konflikt- und Konsenspotentiale genauso wie gesellschaftlich relevante Unsicherheiten/ Risiken bzw. Chancen erkennbar sind. Im Rahmen einer ITA sollte zudem untersucht werden, ob kulturell geprägte und überlieferte Verhaltensmuster (Bildungs-, Mediennutzungs-, Mobilitätsverhalten) durch die technische Entwicklung beeinflusst werden.

## 5. Politische Dimension

Die Bewertung der technologischen Lösung hängt auch von der konkreten politischen Situation ab, in der sich die technische Entwicklung vollzieht, denn von ITA adressierte Problemlagen sind generell politisch relevant. Die Relevanz ist dabei vom Stadium des politischen Entscheidungsprozesses und von der Natur des anhaltenden politischen Diskurses abhängig. Wenn eine Technik oder ein Bedarf bereits auf politischer Ebene wahrgenommen ist, stellt sich die Frage nach den politischen Akteuren, die sich an der politischen Diskussion beteiligen. Hier geht es vor allem um die Konstellation bzw. um Allianzen von Akteuren und, ob das Thema als Konflikt oder im Konsens diskutiert wird. In diesem Kontext ist auch der Regulierungs-, Gesetzgebungs- und Förderbedarf zu analysieren. Außerdem sollte beleuchtet werden, inwieweit das Thema weitgehend nationalen Charakter besitzt oder internationale Zusammenhänge eine Rolle spielen. Der potentielle Einfluss der politischen Ebene (Land, Bund, EU, UNO) ist ebenso zu untersuchen, wie die Bezüge des Themas zur geopolitischen Situation aus der sich geänderte Rahmenbedingungen für Deutschland ergeben könnten.

## 6. Gesundheitliche Dimension

Nichtzuletzt sind in Verbindung mit der identifizierten Technologie Hinweise zu Lösungsansätzen bzw. -versprechen in Bezug auf Gesundheitsaspekte zu betrachten. Dazu gehört auch die Analyse der potentiellen gesundheitlichen Folgen und Gefährdungspotentiale (z.B. Welche Hinweise gibt es auf eine mögliche Humantoxizität in Verbindung mit der identifizierten Technologie?) sowie u.a. mögliche positive und negative Äußerungen von Gesundheits- und Patientenverbänden zu der Technologie.



Für die ausgewählten Themen werden im nächsten Prozessschritt sog. ITA-Themenprofile erstellt, bei denen inhaltlich auf die ITA-Dimensionen eingegangen wird. Diese Themenprofile stellen dabei keine Kurzbewertung des Themas, sondern Begründungen für die (I)TA-Relevanz des Themas dar.

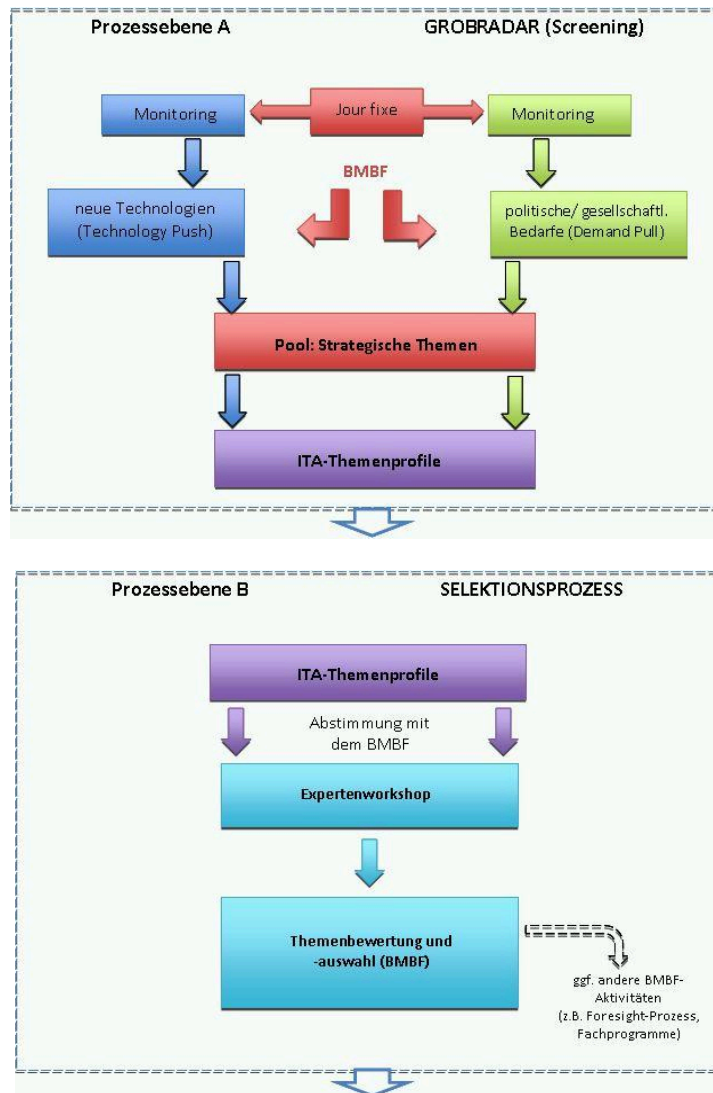
In der Prozessebene B, dem Selektionsprozess, wird entschieden, welches Themenprofil in einer so genannten „Kurzstudie“ weiterentwickelt wird. Diese Selektion wird durch „externe“ Experten/ Stakeholder in einem methodisch zweistufigen Prozess beratend unterstützt. In diesem Prozess wurde ein diskursiv angelegter Expertenworkshop als zentrales Element des Auswahlprozesses durchgeführt. Es wurde hierbei besonderer Wert darauf gelegt, dass die Experten auch inhaltliche Aussagen zu den Themenprofilen machen konnten, indem sie u.a. Argumente für ihre Einschätzung der vorgelegten Themen äußerten, diese beispielsweise ergänzten, auf thematisch angrenzende Gebiete und bereits erfolgte Studien hinwiesen. Um diese Diskussionsatmosphäre zu schaffen, wurden sowohl so genannte „Generalisten für ITA-Fragestellungen“ als auch Experten für die einzelnen ITA-Dimensionen (als „Advokaten“ dieser Dimension) eingeladen. Alle Experten bekamen die ausgewählten Themenprofile vor dem Workshop zugesandt, mit der Bitte vorab die Themen auszuwählen, die ihnen persönlich am wichtigsten erscheinen [auf der Skala 0 (unwichtig) bis 3 (sehr wichtig), wobei jeder Experte nur eine begrenzte Punkteanzahl vergeben durfte]. Die Ergebnisse wurden anonymisiert aggregiert. Dieses „Vorabranking“ der Themen stellte den methodischen Anfangspunkt des Expertenworkshops dar<sup>8</sup>. Der Workshop selbst war so konzipiert, dass von dem Ausgangsthemenpool Schritt für Schritt Kandidaten diskursiv „verabschiedet“ wurden, bis letztendlich nur mehr die anvisierte Anzahl Themen übrig blieb.

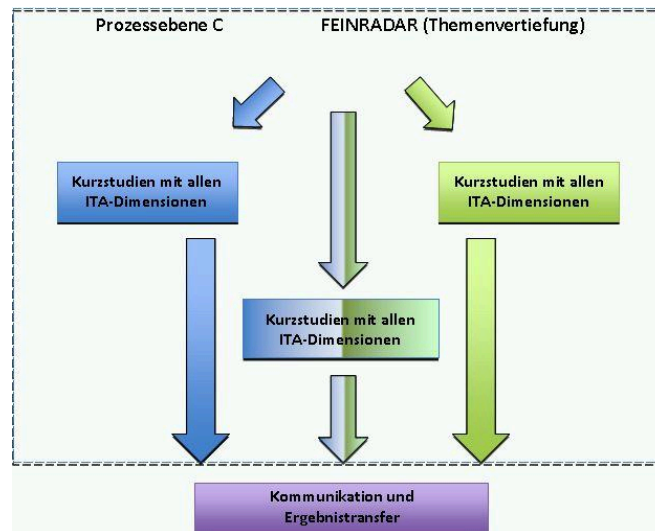
Die Grundidee des Workshops war, das „Vorabranking“, also eine Themenbewertung durch die Experten vor ihrem persönlichen Erfahrungshorizont, einer gemeinsamen Beurteilung der Themen während des Workshops gegenüberzustellen. Das heißt, beim Vorabranking wurde mit den je eigenen Argumenten beurteilt und diese Argumente sollten in dem Workshop mit den anderen Experten ausgetauscht werden. Dadurch sollte die Möglichkeit eröffnet werden, dass sich die Teilnehmer das Argument eines anderen Experten zueigen machten und damit ihre eigene Bewertung eines Themas anpassen. Um das methodisch zu ermöglichen, wurde der Workshop so konzipiert, dass auch ein Thema, welches im Vorabranking unter den als wenig relevant erachteten Themen eingruppiert wurde, im Verlauf der Diskussion bis in die Top 10 der Themen „aufsteigen“ konnte. Aus der Perspektive des Projektteams ist es von höchstem Interesse, mit welchen Argumenten ein solcher „Aufstieg“ begründet wurde. Die Diskussion wurde darüber hinaus dadurch angeregt, dass die Experten, wenn sie für ein bestimmtes Thema und dessen weiteren Aufstieg im Ranking argumentierten, auch ein weiter oben platziertes Thema als „Abzuwertendes“ auswählen mussten. Das methodische Ziel, eine möglichst dichte Diskussion während des Workshops in Gang zu bringen und die Argumente der Expertinnen zu oder gegen einzelne Themen für das Projekt zu gewinnen, wurde erreicht. Es wurde ein Verlaufsprotokoll des Workshops erstellt, so dass diese Argumente auch für das Projektteam erhalten sind. Das Resultat des Workshops setzt sich nun aus zwei Aspekten zusammen. Zum einen wurden Themen identifiziert, die von den Experten als wichtig für die Innovations- und Technikanalyse eingeschätzt werden. Zum anderen wurde innerhalb dieser Themen nochmals die Dringlichkeit einer Befassung durch ITA bewertet. Der Selektionsprozess wurde durch einen Workshop des Projektteams mit dem BMBF abgeschlossen, in dem die durch die Expertinnen und Experten bewerteten Themenprofile nochmals auf ihre „Passfähigkeit“ für das BMBF hin beurteilt wurden.

---

<sup>8</sup> Nebenbei stellte das „Vorabranking“ ein erstes Feedback von den Experten an das ITA-Monitoring- Projektteam dar. Dieses war positiv. Vor beiden Auswahlworkshops wurde keines der Themen mit 0 Punkten bewertet und selbst die Themen mit den niedrigsten Punktzahlen wurden von dem einen oder anderen Experten als wichtig erachtet. Besonders interessant waren die Punkteverteilungen, die auf einen Dissens im Expertenkreis hinwiesen, nämlich eine bipolare Verteilung mit vielen „Drei“- und „Null“-Voten.

Nur für die durch diesen Selektionsprozess identifizierten Themen erfolgt in Projektphase C in Kurzstudien eine detaillierte Aufbereitung der wesentlichen Fragestellungen und Herausforderungen ó genannt *Feinradar* ó, wobei die Struktur auf den ITA-Dimensionen basiert. Das Ziel der Kurzstudien ist es deshalb, zum einen ITA-relevante Problem-/ Fragestellungen möglichst umfangreich und frühzeitig darzustellen. Zum anderen sollen verfügbare Informationen sowie die Einschätzung von Experten/ Stakeholdern an unterstützenden und Vorsorge orientierten Maßnahmen (z.B. Vertiefungsstudien oder Themenfeldausschreibungen) prägnant und eingebettet in den deutschen Kontext aufbereitet werden (TA-Vorstudie). Dies macht eine Kurzstudie nicht zu einer TA-Studie, sondern vielmehr ó bezogen auf die Ergebnisse von TAMI ó zu einer umfassenden Situationsanalyse mit konkreten Vorschlägen zur methodischen Fortschreibung oder zur Festlegung der Ziele einer TA. Die Prozessebene C wird in dem Projekt dreimal zyklisch durchlaufen, jedoch unterscheidet sich die Themenauswahl in Projektebene B im zweiten Projektzyklus methodisch von den anderen beiden Zyklen (1. und 3. Zyklus). Im 2. Zyklus wurden die relevanten und dringlichen Themen durch eine Kombination aus einer internen Abstimmung in den beiden beteiligten Institutionen, ITAS und VDI-ZTC, mithilfe eines Fragebogens (Vorabranking) und einem projektinternen, diskursiven Workshop mit Beteiligung des Auftraggebers BMBF, identifiziert. Das *Grobradar/ Screening* (Prozessebene A) wird sowohl in der Technology-Push- als auch in der Demand-Pull-Perspektive begleitend zur Erstellung der Kurzstudien bis zum Ende des 3. Zyklus fortgeführt (siehe Abb. 2).





**Abb. 1: Monitoring-Prozess im Überblick**

Die im folgenden Teil des Reports vier dargestellten Studien stellen Kurztudien in diesem Sinne dar. Die Themen dieser Kurztudien wurden neben 15 weiteren Themen während eines Expertenworkshops im ersten Projektzyklus als wichtig für die Innovations- und Technikanalyse ausgewählt. Diese insgesamt 19 Themen wurden anschließend von den Experten nochmals auf ihre Dringlichkeit und Relevanz hin bewertet. Danach wurden im nächsten Prozessschritt aus diesem Themenpool in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber sieben špassfähigeō Themen mit politischer Relevanz ausgewählt. Dies waren (in alphabetischer Reihenfolge): 1) Crowdsourcing: Lösen von schwierigen Problemen durch Menschenmassen im Internet<sup>9</sup>, 2) Ernährung: Technologische Trends und Innovationen, 3) Elektromobilität, 4) Intelligente Stromnetze, 5) šKlebrige Informationenō, 6) Nicht-konventionelle fossile Energieträger (Arbeitstitel) und 7) Nichtmedizinische Anwendungen der Neurowissenschaften. In den folgenden Kapiteln werden zu vier ausgewählten Themen (Elektromobilität<sup>10</sup>, Intelligente Stromnetze, šKlebrige Informationenō und Nichtmedizinische Anwendungen der Neurowissenschaften) detaillierte Problemanalysen zu möglichen Chancen und Risiken bzw. Potentialen und Optionen dargestellt und eine Früherkennung von möglichen Hemmnissen und fördernden Faktoren für Innovationen geleistet. Auf der Basis dieser Problemanalysen werden konkrete Vorschläge für eine methodische Umsetzung des identifizierten Bedarfs an ITA entwickelt. In diesem Sinne stellen die folgenden Studien Vorarbeiten für konkrete ITA-Projekte dar, sind aber selbst keine ITA-Studien.

<sup>9</sup> Diese Kurztudie ist unter *Werner, T.; Malanowski, N.* (2011): Crowdsourcing: Lösen von schwierigen Problemen durch Menschenmassen im Internet, ITA-Kurztudie, ZTC-Schriftenreihe šZukünftige Technologienō, Band Nr. 92. Düsseldorf, erschienen.

<sup>10</sup> Diese Kurztudie ist bereits identisch unter *Kaiser, O. S.; Meyer, S.; Schippl, J.* (2011): Elektromobilität ó Kurztudieō, ZTC-Schriftenreihe šZukünftige Technologienō, Band Nr. 93. Düsseldorf, erschienen.



## 4 Literaturverzeichnis

- Bechmann, G., Frederichs, G.* (1996): Problemorientierte Forschung: Zwischen Politik und Wissenschaft. In: Bechmann, G. (Hg.) (1996): *Praxisfelder der Technikfolgenforschung. Konzepte, Methoden, Optionen*. Frankfurt/M, S. 11–37
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Hg.)* (2001): *Innovations- und Technikanalyse. Zukunftschancen erkennen und realisieren*. Bonn
- Bode, O. F.* (2007): Wissenschaftsbasierte Beratung für politische Entscheidungsfindung und/oder für die Exekutive. In: Bora, A.; Bröchler, S.; Decker, M. (Hg.) (2007): *Technology Assessment in der Weltgesellschaft*. Berlin, S. 51–60
- Bröchler, S.; Simonis, G.* (1998): Konturen des Konzepts einer innovationsorientierten Technikfolgenabschätzung und Technikgestaltung. In: *TA-Datenbank-Nachrichten* 7(1); S. 31–40
- Bütschi, D.; Carius, R.; Decker, M.; Gram, S.; Grunwald, A.; Machleidt, P.; Steyaert, S.; van Est, R.* (2004): The practice of TA. Science, interaction and communication. In: Decker, M., Ladikas, M. (Hg.) (2004): *Bridges between science, society and policy. Technology assessment-methods and impact*. Berlin, S. 13–55
- Cuhls, K.* (2000): „Wie kann ein Foresight-Prozess in Deutschland organisiert werden?“. Friedrich Ebert Stiftung. Bonn
- Decker, M.; Ladikas, M.* (2004): EU-Projekt: Technology Assessment in Europe; Between Method and Impact (TAMI). In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis (TATuP)* Nr. 1, 13. Jahrgang (2004), S. 71–80
- Decker, M.* (2007): *Angewandte interdisziplinäre Forschung in der Technikfolgenabschätzung Graue Reihe* 41. Bad Neuenahr, Ahrweiler
- Fleischer, T.; Hocke, P.; Kastenholz, H.; Krug, H. F.; Quendt, C.; Spangenberg, A.* (2010): Evidenzbewertung von gesundheitsrelevanten Auswirkungen synthetischer Nanopartikel. Ein neues Verfahren für die Unterstützung von Governance-Prozessen in der Nanotechnologie? In: Aichholzer, G.; Bora, A.; Bröchler, S.; Decker, M.; Latzer, M. (Hg.): *Technology Governance. Der Beitrag der Technikfolgenabschätzung*. Berlin
- Gethmann, C. F.* (1999): Rationale Technikfolgenbeurteilung. In: Grunwald, A. (Hg.) (1999): *Rationale Technikfolgenbeurteilung. Konzepte und methodische Grundlagen*. Berlin, S. 1–10
- Gethmann, C. F.; Sander, T.* (1999): Rechtfertigungsdiskurse. In: Grunwald, A.; Saupe, S. (Hg.) (1999): *Ethik in der Technikgestaltung*. Berlin, S. 117–151
- Gibbons, M.; Limoges, C.; Nowotny, H.; Schwartzman, S.; Scott, P.; Trow, M.* (1994): *The new production of knowledge: dynamics of science and research in contemporary societies*. SAGE, London
- Grunwald, A.* (2002): *Technikfolgenabschätzung – Eine Einführung*. Berlin
- Funtowicz, S.; Ravetz, J. R.* (1993): Science for the post-normal age. In: *Futures* 25 (1993), S. 739–755
- Funtowicz, S.; Ravetz, J. R.* (2001): Post-Normal Science. Science and Governance and Conditions of Complexity. In: Decker, M. (Hg.): *Interdisciplinarity in Technology Assessment: Implementation and its Chances and Limits*. Heidelberg/ Berlin, S. 15–24
- Horlick-Jones, T.; Sime, J.* (2004): Living on the border: knowledge, risk and transdisciplinarity. In: *Futures* 36 (2004), S. 441–456
- Kostoff, R. N.; Schaller, R. R.* (2001): Science and technology roadmaps. In: *IEEE Trans Eng Manag* 48(2), S. 132–143
- Malanowski, N., Zweck, A.* (2008): Identifikation neuer Themen im Bereich Politikberatung. In: Bröchler, S.; Schützeichel, R. (Hg.): *Politikberatung*. Stuttgart

- Meyer-Krahmer, F.* (1999): Technikfolgenabschätzung im Kontext von Innovationsforschung und Globalisierung. In: Petermann, T.; Coenen, R. (Hg.): Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Frankfurt/M, S. 197–216
- Mittelstraß, J.* (2003): Transdisziplinarität - wissenschaftliche Zukunft und institutionelle Wirklichkeit. Konstanz
- Nemet, G. F.* (2009): Demand-pull, technology push, and government-led incentives for non-incremental technical change. In: Res. Policy 38, S. 700–709
- Nowotny, H.; Scott, P.; Gibbons, M.* (2001): Re-thinking science. Knowledge and the public in an age of uncertainty. Polity. Cambridge
- Pohl, C.; Hirsch Hadorn, G.* (2006): Gestaltungsprinzipien für transdisziplinäre Forschung. München
- Ravetz, J. R.; Funtowicz, S.* (1999): Post-Normal-Science – an insight now maturing, In: Futures 31 (1999), S. 641-646
- Ravetz, J. R.* (2006): Post-Normal Science and the complexity of transitions towards sustainability. In: Ecological Complexity 3 (2006), S. 275-384
- Schophaus, M.; Schön, S.; Diemel, H.-L.* (Hg.) (2004): Transdisziplinäres Kooperationsmanagement. München
- Zweck, A.; Albertshausen, U.; Baron, W.; Braun, M.; Krück, C.; Reuscher, G.; Seiler, P.* (2004): Technikentwicklung – Herausforderungen und Gestaltung: Innovations- und Technikanalyse als Plattform für Wirtschaft, Wissenschaft und Politik im Innovationsprozess. Vjlen

## **TEIL ZWEI**

### *KURZSTUDIEN*





# **Elektromobilität**

ITA-Kurzstudie

*Oliver S. Kaiser*

Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH

*Sarah Meyer*

*Jens Schippl*

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse  
am Karlsruher Institut für Technologie

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:  
Dipl.-Phys. Oliver S. Kaiser  
E-Mail: [kaiser@vdi.de](mailto:kaiser@vdi.de)  
Telefon: +49 (0) 211 / 62 14 - 207

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>23</b>
<b>1 Aufbau der Studie.....</b>	<b>27</b>
<b>2 Einführung in das Thema .....</b>	<b>29</b>
<b>3 Themen für die ITA-Forschung .....</b>	<b>31</b>
3.1 Technik und Infrastruktur.....	31
3.1.1 Verbesserung der Batterien in der Vergangenheit.....	32
3.1.2 Vergleich mit Flüssigtreibstoffen .....	32
3.1.3 Neue Konzepte für reine Elektro-Pkw .....	33
3.1.4 Das Aufladen der Pkw-Traktionsbatterie .....	34
3.1.5 Alternative Batteriekonzepte .....	35
3.1.6 Zukünftige Weiterentwicklung der Batterien .....	36
3.1.7 Hybridantriebe.....	37
3.1.8 Plug-In-Hybridfahrzeuge .....	37
3.1.9 Elektrofahrzeuge mit Range Extender .....	38
3.1.10 Elektromobilität und intelligente Stromnetze.....	39
3.2 Sozio-ökonomische und ökologische Aspekte .....	40
3.2.1 Erwartete Zielgruppen und Mobilitätsmuster .....	41
3.2.2 Geschäftsmodelle/ Nutzungskonzepte .....	46
3.2.3 Sicherheit und Handhabung .....	51
3.2.4 Politische Rahmenbedingungen .....	53
3.2.5 Umweltauswirkungen.....	55
3.2.6 Rohstoffe und Recycling .....	57
<b>4 Offene ITA-Fragestellungen .....</b>	<b>59</b>
4.1 Technik und Infrastruktur.....	59
4.2 Einfluss auf Wirtschaftsstruktur und Ausbildung .....	60
4.3 Entwicklung von Präferenzen und Mobilitätsmustern.....	60
4.4 Fördermöglichkeiten und politische Rahmenbedingungen.....	61
4.5 Ökologische Fragen, „Sauberkeit“ und Elektromobilität .....	62
4.6 Siedlungsstruktur.....	62
<b>5 Vorschläge zur methodischen Umsetzung .....</b>	<b>63</b>
5.1 Meta-Szenarien zur Integration verschiedener Wissensstände .....	63

5.2 Empirische Untersuchungen zu Nutzereinstellungen und Mobilitätsmustern.....	63
5.3 Unterstützung innovativer Geschäftsmodelle .....	64
5.4 Stärkung der Intermodalität .....	65
5.5 Entwicklung von Roadmaps und Tests in Modellregionen .....	65
5.6 Stärkere Integration von BEV-Technik in die Ausbildung von Fachkräften .....	65
<b>6 Weiterführende Literatur.....</b>	<b>67</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
<b>8 Anhang .....</b>	<b>77</b>

## Zusammenfassung

Die Studie berücksichtigt, gemäß der Vorgaben des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der Bundesregierung, nicht nur Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV), sondern auch Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung („Range Extender“) und Plug-in-Hybridfahrzeuge. Bei Autos mit „Range Extender“ kann die Batterie bei Bedarf durch einen kleinen Verbrennungsmotor während der Fahrt nachgeladen werden. Plug-in-Hybridfahrzeuge werden je nach Fahrsituation von einem Verbrennungs- oder Elektromotor angetrieben. Die Batterie wird während der Fahrt aus der Bremsenergie aufgeladen, zusätzlich beim abgestellten Fahrzeug aus einer 230-Volt-Steckdose („plug“).

Die Batterieelektrischen Fahrzeuge (BEV) stehen im Fokus des allgemeinen Interesses. Sie sollen die Öl-abhängigkeit sowie die Emission von Schadstoffen reduzieren. Mit den Modellen, die zusätzlich einen Verbrennungsmotor an Bord haben, können elementare Herausforderungen bewältigt werden. Verbrennungsmotoren setzen nicht einmal ein Drittel der im Kraftstoff enthaltenen Energie in Bewegung um, ein System aus Elektromotoren und Batterie nutzt dagegen über 90 Prozent der gespeicherten Energie zum Antrieb. Obwohl Verbrennungsmotoren vergleichsweise ineffizient arbeiten, profitieren sie aber vom hohen Energieinhalt des Benzins bzw. Dieselmotors. Hier liegt also der entscheidende Nachteil von BEV: Selbst moderne Lithium-Ionen-Batterien haben im Vergleich eine sehr kleine Energiedichte, was die geringe Reichweite von rund 100 Kilometern rein elektrisch angetriebener Autos erklärt. Zudem dauert das Aufladen mehrere Stunden, also ein Vielfaches des gewöhnlichen Nachtankens von Flüssigtreibstoff.

Zukünftige Batterieentwicklungen werden die Situation verbessern. Jedoch sind bei der Batterie, an die die Automobilindustrie hohe Sicherheitsanforderungen stellt, keine sprunghaften Änderungen zu erwarten. Das erklärt die Entwicklung von Fahrzeugen mit Range-Extendern und Hybridantrieben, die das Beste „aus beiden Welten“ verbinden, mit dem Nachteil höherer Komplexität und entsprechenden Kosten.

Diese technischen Einschränkungen und Entwicklungen stehen in Wechselwirkung mit zahlreichen anderen Faktoren, die teilweise Bedingung und teilweise Folge einer stärkeren Marktdurchdringung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen darstellen. Die Forschung und Entwicklung von Technologien ist eingebettet in die Gesellschaft und abhängig von deren Voraussetzungen, Leitbildern, Paradigmen oder Nachfragestrukturen, so dass eine Ko-Evolution technischer und sozio-ökonomischer Faktoren stattfindet.

Die Elektromobilität stellt nicht nur Hersteller, Zulieferer und Infrastrukturanbieter vor Herausforderungen, letztlich werden sich alle Mitglieder der Gesellschaft mit Fragen bezüglich der Ausgestaltung der eigenen Mobilität, der Sicherheit und der Bedienung der neuen Technologie, veränderter Infrastruktur etc. auseinander setzen müssen.

Wie sich BEV am Markt durchsetzen werden, hängt also neben dem technischen Fortschritt von unterschiedlichen sozio-ökonomischen Faktoren ab. Dabei spielen Erwartungen und Einstellungen der Verbraucher eine wichtige Rolle. Untersuchungen zeigen, dass viele Menschen sich grundsätzlich den Kauf eines Elektrofahrzeuges vorstellen können. Erwartungsgemäß spielen dabei der Preis sowie Komfortansprüche eine große Rolle. Neben den Anschaffungskosten scheint auch der hohe Wertverlust der Batterie die Verbraucher abzuschrecken. Dennoch würden, vor der Wahl unterschiedlicher Geschäftsmodelle gestellt, viele der Befragten den Besitz eines Elektrofahrzeugs anderen Formen, wie z.B. Leasing, vorziehen. Bei einer Kaufentscheidung wird die Verfügbarkeit einer geeigneten Infrastruktur ebenfalls als wichtig angesehen. Gleichzeitig gehen viele Autofahrer davon aus, dass die Batterie zu Hause geladen werden kann. Auch der Umweltschutz kann die Kaufentscheidung beeinflussen.

Die geringen Reichweiten um 100 Kilometer und die Ladezeiten über Stunden werden als großer Nachteil von BEV wahrgenommen, obwohl der durchschnittliche Autofahrer in Deutschland an achtzig Prozent der

Tage im Jahr, weniger als 40 km zurücklegt. Studien zeigen zudem, dass zumindest Pilotnutzer sich relativ schnell an die neuen Bedingungen gewöhnen. Das Laden wird als kontinuierlicher Prozess in die Alltagsroutinen integriert, also in den Zeiten, wenn das Fahrzeug ruht und eine Ladestation vorhanden ist.

Mobilitätsmuster sind nicht starr, sondern verändern sich im Lauf der Zeit, was für die Akzeptanz, Ausgestaltung und Marktdurchdringung der Elektromobilität relevant sein wird. Die Nutzung von Verkehrsmitteln ist von vielen Faktoren abhängig. Individualisierung und die Alterung der Gesellschaft sind wichtige Entwicklungen. Vielfach fungiert das Auto auch als Statussymbol. Es wird davon ausgegangen, dass die Nachfrage nach individueller Mobilität im Alter ansteigt, sich gleichzeitig jedoch die finanzielle Situation der Senioren eher verschlechtern wird. Das könnte Alternativen zum persönlichen Besitz von Fahrzeugen fördern. Ergebnisse von Befragungen bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen deuten an, dass sich bei einer wachsenden Gruppe „junger Städter“ eine pragmatische Einstellung zu Mobilität und Automobil entwickelt. In urbanen Räumen scheint das Auto als Statussymbol bei den Jugendlichen an Bedeutung zu verlieren, an dessen Stelle treten Smartphones und Internetpräsenz. Die jungen Großstadtbewohner wechseln am häufigsten zwischen verschiedenen Mobilitätsangeboten und, so wird vermutet, scheinen am ehesten bereit zu sein, sich mit neuen Mobilitätskonzepten auseinander zu setzen.

Gerade über neue Geschäftsmodelle könnten Elektrofahrzeuge in Zukunft ein wichtiger Baustein für eine bessere Verknüpfung von öffentlichen Verkehrsmitteln und Individualverkehr sein („Multimodaler Verkehr“). Die Überbrückung der „Letzten Meile“ zwischen Start- bzw. Zielpunkt und den öffentlichen Verkehrsmitteln ist für den Nutzer bequem und vermeidet den hohen Schadstoffausstoß von Autos mit Verbrennungsmotor auf Kurzstrecken.

Vor diesem Hintergrund lassen sich in den ausgewerteten Studien zur zukünftigen Entwicklung der Elektromobilität zwei grundsätzliche Erwartungshaltungen ausmachen:

- Eine Erwartungshaltung geht davon aus, dass elektrische Fahrzeuge die bisherigen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ersetzen müssen, ohne dass sich die heutigen Mobilitätsmuster wesentlich verändern. Das bedeutet, dass die elektrisch betriebenen Fahrzeuge in punkto Kosten, Reichweite und Ladezeit in Bereiche kommen müssen, die mit den bisherigen Fahrzeugen vergleichbar sind. Individuelle Mobilität wäre demnach auch weiterhin durch individuellen Autobesitz geprägt.
- Eine andere richtet sich daran aus, dass sich Mobilitätsmuster und Präferenzen immer im Wechselspiel mit den technologischen Entwicklungen verändert haben; demnach wäre davon auszugehen, dass sich auch in Zukunft die Mobilitätsmuster zumindest bis zu einem gewissen Grad den neuen technischen Settings anpassen.

Für die letztgenannte Erwartungshaltung, die teilweise Anpassung der Mobilitätsmuster an die technischen Möglichkeiten, spielen Geschäftsmodelle eine wichtige Rolle, die die enge Bindung zwischen Autobesitz und individueller Mobilität auflösen könnten, wie Car-Sharing und Leasing. Diese Geschäftsmodelle erlauben die flexible, an den Bedarf angepasste Fahrzeugwahl und die damit verbundene Auswahl des erforderlichen Motorisierungsgrades, wie Verbrennungsmotor, Hybridantrieb oder rein elektrischer Antrieb. Zahlreiche weitere Geschäftsmodelle lassen sich beobachten. Beispielsweise verfolgt „Better Place“ den Ansatz, dass das Fahrzeug zwar dem Kunden gehört, die Batterie aber im Besitz des Unternehmens bleibt und lediglich verleast wird. Einrichtungen zum schnellen Austausch der Batterie als Alternative zum Aufladen sind ebenfalls Teil des Konzepts.

Unabhängig vom Geschäftsmodell setzt eine steigende Marktdurchdringung voraus, dass die Nutzer den Umgang mit batterieelektrischen Fahrzeugen erlernen. Typische Themen sind dabei die neuen Fahreigenschaften und die Geräuscharmheit. Es wird diskutiert, ob BEV künstliche Geräusche erzeugen sollen, damit sie von Fußgängern gehört werden. So gibt es ein Dilemma zwischen der gesellschaftlich gewünschten

Lärmreduzierung, die das Elektroauto potentiell bietet, und den Risiken, die mit dieser Lautlosigkeit einhergehen können.

Die offenen Fragen dieser ITA-Kurzstudie resultieren zum einen aus der Vorausschau zukünftiger technischer Entwicklungen, wie Batterien oder Ladezeit, und zum anderen aus den Ausgestaltungsmöglichkeiten von Konzepten, die den Markt erreichen können, wie z.B. verschiedene Hybridsysteme, Ladeinfrastruktur und Abrechnungssysteme. Weitere Fragen betreffen die Geschäftsmodelle sowie das Nutzerverhalten: etwa Mobilitätsmuster und deren Veränderung und die ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen, sowie die Integration von Elektrofahrzeugen in ein „intelligentes Stromnetz“. Bei der Wertschöpfungskette stellt sich besonders die Frage nach der zentralen Rolle der Automobilhersteller und deren Verschiebung in Richtung Zulieferer bzw. Veränderung als neuartige Mobilitätsanbieter. Gleichzeitig wird deutlich, dass es hier vielfach um Fragen geht, die methodisch schwer zu fassen sind. Beispielsweise können keine langjährigen Nutzer zu ihren Erfahrungen und Einstellungen im Bereich Elektromobilität befragt werden, weil es noch keine langjährigen Nutzer gibt. In der ITA-Kurzstudie werden eine Reihe von Vorschlägen wie eine methodische Herangehensweise an die identifizierten Forschungsfragen aussehen könnte, skizziert.

- Der Innovationsprozess von BEV ist nur in seinen Wechselwirkungen mit zahlreichen anderen Faktoren zu verstehen und zu gestalten. Die Potentiale und Grenzen vieler Einzelfaktoren werden von verschiedenen Akteuren unterschiedlich eingeschätzt. Da die Akteure, wie z.B. Wissenschaftler, Stakeholder, Behörden und Bürger, in diesem breit angelegten Feld auf verschiedene Wissensbestände aus unterschiedlichen Disziplinen Bezug nehmen, die teilweise nur wenig miteinander verknüpft sind, empfiehlt sich methodisch, zunächst ein Überwinden dieser Heterogenität anzustreben. Geeignet erscheint dafür die Entwicklung von Meta-Szenarien, um die Wissensbestände der vielen verschiedenen beteiligten Akteure zu integrieren und hierauf aufbauend Widersprüche in Argumentationslinien aufzudecken sowie Wissenslücken zu identifizieren.
- Die Entwicklungen von Nutzerpräferenzen und Mobilitätsmustern spielen eine entscheidende Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit der Elektromobilität. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, die empirische Basis in Bezug auf Nutzereinstellungen, Präferenzen und Mobilitätsmuster weiter zu entwickeln. Hierzu sind großflächige Versuche in Modellgebieten mit unterschiedlicher Nutzungsstruktur anzustreben, mit einer kontinuierlichen, standardisierten Nutzerbefragung über den zeitlichen Verlauf hinweg. Auf dieser Basis sind bestimmte Fragestellungen und die Antworten von ausgewählten gesellschaftlichen Gruppen näher zu betrachten, wie beispielsweise die der jungen Erwachsenen.
- In einigen Großstädten lassen sich Pilotprojekte mit neuen Geschäftsmodellen beobachten, die zunächst auf das kurzzeitige Mieten von Autos und Fahrrädern abzielen, aber in vielen Studien auch als Möglichkeit diskutiert werden, die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen zu fördern. Da innovative Geschäftsmodelle in der Lage sind, einige der genannten Schwächen der Elektromobilität, wie etwa Reichweite, Ladedauer und Wertverlust der Batterie, abzumildern, sollten sie verstärkt erprobt und miteinander verglichen werden. Eine begleitende Forschung der vielfältigen, derzeit erprobten Geschäftsmodelle erscheint sinnvoll, um ihre potentiellen Auswirkungen auf Mobilitätsmuster zu erfassen, und Differenzierungen für bestimmte Kundensegmente entwickeln zu können.
- Der elektromobile Individualverkehr steht einerseits in Konkurrenz mit den öffentlichen Verkehrsmitteln. Andererseits können Batterieelektrische Fahrzeuge auch als ein Baustein in multimodalen Mobilitätsmustern gesehen werden. Projekte in Modellregionen könnten deshalb nicht nur die Elektrifizierung von Fahrzeugen, z.B. Hybridbussen, im Blick haben; es ließen sich auch die Kombinationsmöglichkeiten von individueller Elektromobilität und öffentlichen Verkehrsmitteln verbessern. Hierzu wäre eine intensive Verständigung der Akteure anzustreben, um aktiv intermodale Konzepte entwickeln und anbieten zu können.

- Bisher werden in Deutschland bzw. in Europa verschiedene nicht-Öl-basierte Antriebstechnologien gefördert. Es scheint sinnvoll, die verschiedenen nicht-Öl-basierten Antriebstechnologien wie Biomasse, Elektromobilität, Wasserstoff- und Brennstoffzellen in eine Gesamtstrategie einzuordnen. Hierzu ist die Entwicklung von Roadmaps geeignet. Diese Roadmaps sollten eine Analyse und Bewertung der verschiedenen Technologien vornehmen, um darauf aufbauend die Verteilung von Fördermitteln zu strukturieren, und eine transparente Förderstrategie entwickeln zu können.
- In Autowerkstätten stehen bisher kaum ausgebildete Fachkräfte für die neuen Antriebe zur Verfügung. Neben dem Bereich der Weiterbildung ist auch im Bereich der Ausbildung für Techniker und Ingenieure ein Wandel zu erwarten, um auf diese Entwicklung eingehen zu können. Hier sollen Konzepte entwickelt werden, wie die neuen Ausbildungsinhalte zu vermitteln sind. Vor diesem Hintergrund bietet es sich an, einen besseren Austausch zwischen Forschern, Entwicklern und Mechatronikern zu ermöglichen.



# 1 Aufbau der Studie

Vor dem Hintergrund der Zielstellung ist der Aufbau der Studie wie folgt angelegt:

Nach einem kurzen Rückblick auf die Entwicklung der Elektromobilität (Kapitel 2), widmet sich Kapitel 3 der mittlerweile umfangreichen wissenschaftlichen Literatur. Besonders im Jahr 2010 wurde eine Vielzahl von Studien zu dem Thema publiziert, die im Hinblick auf ITA-relevante Fragestellungen ausgewertet werden. Im ersten Teil des Kapitels wird dabei auf die technischen Komponenten der Elektromobilität und die entsprechende Infrastruktur eingegangen. Der zweite Teil des Kapitels fokussiert auf die sozio-ökonomische Einbettung und die ökologischen Implikationen. Dazu gehört eine Darstellung des veröffentlichten Wissens zu Nutzereinstellungen und Mobilitätsmustern, ebenso wie eine Diskussion von neuen Geschäftsmodellen sowie von politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.

Ausgehend von den Darstellungen in Kapitel 3 benennt Kapitel 4 offene ITA-Fragestellungen, die sich aus dem recherchierten Stand des Wissens ergeben und sich als Untersuchungsgegenstand fortschreibender TA-Studien anbieten. Dabei folgt es weitgehend der Gliederung des vorhergehenden Kapitels.

Konkrete Vorschläge, wie die in Kapitel 4 identifizierten „Wissenslücken“, beispielsweise im Rahmen einer Themenfeldausschreibung geschlossen werden könnten und welche Methoden hierfür geeignet wären, gibt Kapitel 5.

Das folgende Kapitel (Kapitel 6) enthält weiterführende Literatur zu Unterthemen in annotierter Form. Die Studie schließt mit einer tabellarischen Darstellung zu deutschen und einigen ausgewählten ausländischen Automobilherstellern, und gibt einen Überblick über deren aktuelle und geplante Modelle im Bereich der elektrischen Antriebe (inklusive Brennstoffzellen), sowie Forschungsprojekte, Kooperationen, formulierte Ziele und eine Zusammenfassung der Herstellerstrategie (Kapitel 8).

In dieser Studie wurde durchgängig das Maskulinum in seiner generischen Funktion verwendet. Dieses Dokument spricht somit sowohl das weibliche als auch das männliche Geschlecht an. Auf ein Gendering wurde zugunsten der Lesbarkeit verzichtet.



## 2 Einführung in das Thema

Seit dem Beginn der Massenfertigung von Automobilen vor fast 100 Jahren werden vorherrschend Verbrennungsmotoren (Otto- und Dieselmotoren) eingesetzt; diese haben seitdem die Automobiltechnik maßgeblich beeinflusst. Elektrische Pkw-Antriebe, wie sie besonders in der Frühzeit des manufakturartigen Automobilbaus eine Rolle spielten, haben sich nicht durchgesetzt. Ein wesentlicher Grund dafür ist die geringe Kapazität der damals verfügbaren Batterien, die sehr schwer waren und dennoch nur geringe Reichweiten des Fahrzeugs ermöglichten. Hinzu kam die lange Ladedauer der Batterien. Die umfassende Kommerzialisierung des Erdöls tat ihr übriges dazu.

Obwohl die Geschichte des Elektromobils also schon sehr alt ist – die ersten Elektrofahrzeuge mit wieder aufladbaren Batterien wurden in den 1880er Jahren gebaut – hat es sich bisher nicht gegen den Verbrennungsmotor durchsetzen können. Die Ökonomen Robin Cowan und Staffan Hulten beschreiben diese Tatsache als „technological lock-in“ und versuchen den Gründen hierfür auf die Spur zu kommen (Cowan, Hulten 1996). Die Geschichte des Automobils erscheint als ein andauernder Wettstreit zwischen den drei Technologien des Dampfwagens, des Benzin- und des Elektroautos, wobei die Bedeutung der Dampfwagenindustrie relativ früh, ab etwa 1920, zurückging. In mehreren Phasen hat sich daraufhin die weitere Entwicklung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (ICE, internal combustion engine) und Elektrofahrzeugen (EV, electric vehicle) fortgesetzt. Nach einer Phase der Koexistenz beider Technologien ohne eine klare Dominanz bis 1905, setzte sich die Verbrennungstechnologie ab 1920 klar durch und festigte ihre dominante Position bis etwa 1973. Erst danach begann man die Verbrennungstechnologie aufgrund zunehmend wahrgenommener unerwünschter Nebeneffekte wie Unfällen, verstopfter Innenstädte, Luftverschmutzung und nicht zuletzt der Ölkrise, in Frage zu stellen.

Damit eine Technologie von einer anderen abgelöst wird und damit dem „technological lock-in“ entkommt, sehen Cowan und Hulten mehrere potentielle Faktoren als notwendig an: es kann eine Krise der existierenden Technologie geben, gesetzliche Regelungen greifen ein, technologische Durchbrüche werden erzielt, ein Geschmackswandel tritt ein, es entstehen Nischenmärkte oder neue wissenschaftliche Erkenntnisse tauchen auf. Einige dieser Faktoren wirken sich fördernd auf die Verbreitung der Elektromobilität aus, wie gesetzliche Regelungen (so geschehen in Kalifornien) oder das steigende Umweltbewusstsein; andere Faktoren stehen ihr entgegen. Es besteht keine wirkliche Krise der existierenden Verbrennungstechnologie an sich, es wird weiterhin viel Geld in die Entwicklung und Verbesserung derselben investiert und die Entwicklung in der Batterietechnologie hinkt den Erwartungen hinterher. Nischenmärkte, wie die der kleinen elektrischen Golfautos, sind technologisch wenig anspruchsvoll und zu klein, um zur Fortentwicklung von schnellen leistungsstarken Autos wirklich beizutragen.

Seit einigen Jahren wächst das Interesse an so genannten alternativen Treibstoffen und Antriebstechnologien wieder sehr stark an. Dafür sind verschiedene Treiber verantwortlich, insbesondere der verstärkte Klimaschutz und der damit verbundene Druck, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren, die Abhängigkeit vom endlichen Rohstoff Erdöl, die Luftverschmutzung in Städten der Dritten Welt und das Streben der Industrie nach Wettbewerbsvorteilen. Dazu kommen als technische Treiber vor allem die Weiterentwicklung im Bereich Batterietechnologie und Leichtbau. Die Bedeutung dieser Faktoren wird von Experten unterschiedlich gewichtet, sicher tragen aber alle zu den beobachtbaren „Hypes“ in den Bereichen Biokraftstoffe, Wasserstoff und Brennstoffzelle und jetzt Elektromobilität bei. Einer Art Wasserstoffboom Anfang der Jahrtausendwende folgend, wird besonders die Elektromobilität seit einigen Jahren mit großen Hoffnungen auf eine CO<sub>2</sub>-freie und umweltschonende Mobilität verbunden, obwohl sich alle Akteure einig sind, dass bis zu einer signifikanten Marktdurchdringung noch erhebliche Hürden zu überwinden sind, wie die vorliegende Studie zeigen wird. Mittlerweile liegt eine große Zahl an Veröffentlichungen zum Thema Elektromobilität vor, fast wöchentlich kommen neue Studien und Berichte dazu. So ist es Ziel dieser Kurzstudie,

den Stand des Wissens, die zentralen Fragen und den wesentlichen Forschungsbedarf in diesem hochdynamischen Feld komprimiert aufzuzeigen und dabei Fragestellungen heraus zu arbeiten, die für die Innovations- und Technikanalyse (ITA) von besonderem Interesse sind.

## 3 Themen für die ITA-Forschung

### 3.1 Technik und Infrastruktur

Wie in der Einleitung skizziert, werden von der Automobilindustrie weltweit „alternative Antriebskonzepte“ seit längerem verfolgt und entwickelt. Dazu gehören, zum einen der sog. batterieelektrische Antrieb, und zum anderen Brennstoffzellenfahrzeuge. Beide benutzen zum Antrieb Elektromotoren anstelle von Verbrennungsmotoren; sie unterscheiden sich aber in der Bereitstellung der dafür nötigen elektrischen Energie: Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV, Battery Electric Vehicle) beziehen diese aus einer wiederaufladbaren, elektrochemischen Batterie (der umgangssprachliche Begriff „Akku“ wird hierbei nicht verwendet). Brennstoffzellenfahrzeuge hingegen wandeln Wasserstoff oder Methanol in einer sog. Brennstoffzelle in elektrischen Strom um. Dieser wird seinerseits in einer Batterie zwischengespeichert, da die Brennstoffzelle eine eher konstante Leistung bereitstellt, die nicht für alle Geschwindigkeitsprofile ausreicht.

Im Nationalen Entwicklungsplan (NEP) Elektromobilität der Bundesregierung<sup>11</sup> finden folgende Fahrzeugtypen Berücksichtigung:

- Elektrofahrzeuge (BEV, Battery Electric Vehicle),
- Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung (REEV, Range Extended Electric Vehicle),
- Plug-In-Hybridfahrzeug (PHEV, Plug-In Hybrid Electric Vehicle).

Fahrzeuge mit reinem Brennstoffzellenantrieb werden also ausdrücklich nicht berücksichtigt, sondern lediglich Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung durch eine Brennstoffzelle an Bord. Damit fallen die ausschließlich mit Wasserstoff angetriebenen Fahrzeuge nicht unter die Definition „Elektromobilität“ im Sinne des Nationalen Entwicklungsplans, auch wenn sich einzelne Akteure dafür einsetzen.<sup>12</sup> Hierfür ist jedoch das bereits gestartete Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) maßgeblich.

Grundsätzlich ist Elektromobilität auf den Straßenverkehr ausgerichtet, und nicht auf Schienen-, Wasser- und Luftverkehrsmittel. Einbezogen werden

- Personenkraftwagen (Pkw),
- leichte Nutzfahrzeuge,
- Zweiräder (Elektroroller, Elektrofahrräder) und
- Leichtfahrzeuge.
- Stadtbusse und andere Fahrzeuge kann die Strategie zur Elektromobilität ebenfalls umfassen.

Elektromobilität ist also nicht nur mit den häufig im Fokus des Interesses stehenden batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) umzusetzen, sondern auch mit weiteren Fahrzeugkonzepten. Bei den Pkw sind das Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung („Range Extender“), bei denen ein kleiner Verbrennungsmotor an Bord die Batterie bei Bedarf nachlädt. Plug-in-Hybridfahrzeuge sind eine Weiterentwicklung der bereits am Markt befindlichen Hybridfahrzeuge mit einer Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor, erlauben aber zusätzlich, das Nachladen der Bordbatterie aus der Steckdose<sup>13</sup>. Auf diese Konzepte wird später im Kapitel noch einmal ausführlich eingegangen.

---

<sup>11</sup> Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, August 2009

<sup>12</sup> Befürworter der Wasserstofftechnik sehen sich auf der Überholspur, VDI Nachrichten, 21.05.2010

<sup>13</sup> engl.: to plug in, etwas anschließen

### 3.1.1 Verbesserung der Batterien in der Vergangenheit

Die wesentliche technische Weiterentwicklung der letzten Jahre betrifft bei batterieelektrischen Fahrzeugen die Batterie als Energiespeicher. Waren vor zwanzig Jahren noch Blei-Akkus, wie sie auch heute noch als Starterbatterie und für die Bordnetzversorgung Standard sind, für die elektrische Traktion zuständig, so sind nach Nickel-Metallhydrid- und Natrium-Nickelchlorid-Batterien inzwischen Lithium-Ionen-Batterien Stand der Technik.

Bei der Bewertung dieser Batteriesysteme ist auf eine sprachliche Besonderheit zu achten: umgangssprachlich wird von der „Leistungsfähigkeit“ einer Batterie gesprochen. Im physikalischen Sinne erinnert dieser Begriff an die „Leistungsdichte“, also wie viel Energie pro Zeiteinheit abgegeben (oder aufgenommen) werden kann, bezogen auf ein Kilogramm Masse der Zelle. Für das Gesamtsystem Batterie kommen u.a. noch das Gewicht des Gehäuses („Packaging“) sowie der Sensorik und Kühlung hinzu.

Entscheidender Parameter für die Reichweite und somit für die „Leistungsfähigkeit“ von Elektrofahrzeugen ist jedoch die Energiedichte, also die entnehmbare elektrische Energiemenge pro Kilogramm Zelle. Um eine unscharfe sprachliche Bewertung zu vermeiden, sollte nur mit den Begriffen Energiedichte und Leistungsdichte gearbeitet werden.

Aus den technisch verfügbaren Energiedichten der Batterien erklärt sich das in den letzten Jahren erneut gestiegene Interesse an Elektrofahrzeugen. Mit der kommerziellen Einführung von Lithium-Ionen-Batterien stieg die Energiedichte dramatisch: sind mit Bleibatterien nur rund 35 Wh/kg (Wattstunden pro Kilogramm) verfügbar<sup>14</sup>, ermöglichen Lithium-Ionen-Zellen nun 110 Wh/kg, je nach System sogar 200 Wh/kg<sup>15</sup>. Dieser Faktor drei bis fünf in der Energiedichte hat entscheidend dazu beigetragen, dass das in einem Pkw mitgeführte Batteriegewicht nur noch um 200 kg liegt. So wiegt eine Batterie mit 16 kWh Kapazität in den ersten Serienfahrzeugen Mitsubishi i-MiEV und Opel Ampera nur noch 160 kg<sup>16</sup> bzw. 200 kg<sup>17</sup> und damit nur rund ein Sechstel des für Kleinwagen üblichen Leergewichts.

Für den Einsatz in der Automobiltechnik wurden auch Natrium-Nickelchlorid-Hochtemperatur-batterien (unter der Bezeichnung „ZEBRA-Batterie“) mit etwa der dreifachen Energiedichte von Bleibatterien in Betracht gezogen. Diese Batterien sind für Privatkunden jedoch schwierig handhabbar, da sie nur bei Betriebstemperaturen um 300 °C funktionieren<sup>18</sup> und deshalb bei über mehrere Tage abgestellten Fahrzeugen zum Nachheizen ständig an eine Stromquelle angeschlossen werden müssen. Dadurch wird beispielsweise das Parken auf öffentlichen Parkplätzen über die Dauer eines Wochenendes hinaus unmöglich.

### 3.1.2 Vergleich mit Flüssigtreibstoffen

Die Konzentration des technisch-wissenschaftlichen, aber auch öffentlichen Interesses an der Steigerung der Energiedichte von Traktionsbatterien ist nachvollziehbar, wenn man die Energiedichte von Flüssigtreibstoffen wie Dieselmotorkraftstoff und Motorenbenzin als Maßstab heranzieht: Diese beiden erreichen eine Energiedichte von etwa 12 kWh/kg, also weit mehr, als die besten kommerziellen Batterien mit 0,2 kWh/kg. Berücksichtigt werden muss allerdings, dass im Verbrennungsmotor nur etwa 36 % (Ottomotor) bzw. 43 % (Dieselmotor) dieser Energie für den Vortrieb umgesetzt wird und der Rest u.a. als Abwärme

<sup>14</sup> Jürgen Garcke, „Elektrochemische Energiespeicher: Stand, Technik, Probleme, Perspektiven“. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 10/2006, S. 61-66

<sup>15</sup> Denis Dilba, „Die Spannung steigt“, in: Technology Review (dt.), Mai 2008

<sup>16</sup> <http://www.mitsubishi-motors.ch/site.asp?sid=0,896450218.06.20100,929867&dex=1&bkey=0&nid=5633&lid=0>, Aufruf am 20.09.2010

<sup>17</sup> <http://ampera.opel.info/de/home/neue-batterie-technologie.html>, Aufruf am 20.09.2010

<sup>18</sup> Daimler-Pressemappe: „Alternative Antriebe bei der Daimler AG für die Mobilität von morgen“, 15.11.2007, <http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-614820-49-988121-1-0-0-988384-0-0-11702-614318-0-1-0-0-0-0-0.html>

verlorengeht bzw. im besten Fall der Beheizung der Fahrgastzelle dient.<sup>19</sup> Trotz dieser relativ uneffizienten Ausnutzung der in Flüssigtreibstoffen enthaltenen Energiemenge können also einem Kilogramm Benzin für den Antrieb rund 4000 Wh entnommen werden, was im besten Fall einem Kilogramm Batterie mit 200 Wh entgegensteht – nur ein Zwanzigstel der Energiemenge des Flüssigtreibstoffs.

Anders formuliert bedeutet dies: während ein Pkw mit 50 kg (ca. 66 Liter) Benzin eine Fahrstrecke von 880 km zurücklegen kann (bei einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch im Pkw-Bestand von 7,5 l/100 km<sup>20</sup>), ist in 50 kg Batterie nur Energie für eine Reichweite von 33 km enthalten (bei einer typischen Energiedichte des Batteriesystems von 100 Wh/kg, wie etwa im Mitsubishi i-MiEV, und einem Verbrauch von 15 kWh/100 km für einen Kleinwagen<sup>21</sup>). In dieser Übersichtsrechnung sind verschiedene Rahmenbedingungen zwar nicht berücksichtigt, etwa die zusätzlichen Masse eines Tankbehälters, oder dass Elektrofahrzeuge konstruktionsbedingt ein geringeres Leergewicht (ohne Energiespeicher) haben als solche mit Verbrennungsmotoren. Zudem sollten Batterien zur Verlängerung der Lebensdauer nicht vollständig entladen werden; sie werden außerdem von weiteren Verbrauchern wie Beleuchtung und Heizung in Anspruch genommen. Dennoch zeigt der Faktor 26 im Vergleich von 880 km zu 33 km Reichweite bei vergleichbarem Gewicht des „Energiespeichers“ die Bedeutung der Verbesserung der Batterietechnologie deutlich auf.

### 3.1.3 Neue Konzepte für reine Elektro-Pkw

Nun ist es eine Möglichkeit, den Faktor 26 durch verbesserte Batterietechnologien zu verringern und die Reichweite der Elektrofahrzeuge dadurch zu erhöhen. Grundlage dieser Strategie wäre es, das Konzept der – von Umweltverbänden so titulierten<sup>22</sup> – „Rennreiselimousine“ beizubehalten: ein Pkw für vier bis fünf Erwachsene, in dem weite Strecken über 500 km bequem und mit Geschwindigkeiten von über 160 km/h zurückgelegt werden und natürlich der Stadtverkehr ebenso komfortabel bewältigt werden kann. Mit dem Aufkommen der Elektromobilität stellt sich jedoch auch die Frage, ob dieses Fahrzeugkonzept nicht durch ein Weiteres ergänzt werden kann, ähnlich, wie mit dem Kleinwagen „smart“, trotz der Einschränkung auf zwei Passagiere, eine Marktlücke geschlossen wurde.

Mit BEVs sind weitere Fahrzeugdesigns außerhalb der „Rennreiselimousine“ möglich. Der gängige Zentralmotor, derzeit mehrheitlich ausgeführt als Frontmotor, kann bei Elektroantrieb durch so genannte Radnabenmotoren ersetzt werden. Hierbei sind in zwei oder vier Rädern Elektromotoren eingebaut, so dass die gängige Kraftverteilung des Zentralmotors über den klassischen Antriebsstrang mit Getriebe, Antriebswellen und Differential entfallen kann, was den mechanischen Aufwand reduziert. Nachteilig wirkt sich die Zunahme der ungefederten Massen in den Rädern selbst aus, was den Fahrkomfort reduziert. Da bei Elektroautos Nebenaggregate wie Ölschmierung und Wasserkühlung entfallen, wird der Gesamtaufbau schlanker, und die Verlagerung des Zentralmotors in die Räder erlaubt eine große Designfreiheit. Dabei muss allerdings auch berücksichtigt werden, dass die Sicherheitskonzepte für die Insassen zum Teil auf der abschirmenden Wirkung des Zentralmotors beruhen.

Exemplarisch sei das Konzeptfahrzeug BB1 von Peugeot genannt, das zwar kürzer ist als ein zweisitziger Smart, durch die raumsparenden Radnabenmotoren jedoch vier Passagieren Platz bietet.<sup>23</sup> Zulieferfirmen

<sup>19</sup> Hans-Hermann Braess, Ulrich Seiffert: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Wiesbaden 2005, S. 145

<sup>20</sup> Shell Pkw-Szenarien bis 2030, Hamburg 2009, <http://www.shell.de/pkwszenarien>

<sup>21</sup> Dietrich Naunin: Hybrid-, Batterie- und Elektrofahrzeuge, Renningen 2007, S. 34

<sup>22</sup> Verschiedene Pressemitteilungen des Verkehrsclub Deutschland e.V., Berlin: „VCD: Elektroautos werden Klima auf absehbare Zeit nicht retten“, 19.08.2009, [http://www.vcd.org/pressemitteilung.html?&no\\_cache=1&scale=0&=&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=649](http://www.vcd.org/pressemitteilung.html?&no_cache=1&scale=0&=&tx_ttnews%5Btt_news%5D=649)

<sup>23</sup> Tom Grünweg: Zerknautscht nach Morgen, SPIEGEL online, 10.06.2010; <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,699396,00.html>

wie Continental in Deutschland und Michelin in Frankreich arbeiten an Radnabenmotoren<sup>24</sup>, hingegen rückte Mitsubishi beim seit Anfang 2010 in Japan erhältlichen Elektro-Pkw i-MiEV in der Serienfertigung wieder vom Radnabenmotor ab.<sup>25</sup>

### 3.1.4 Das Aufladen der Pkw-Traktionsbatterie

Die Energiedichte der Traktionsbatterie ist für ein Elektrofahrzeug besonders dann wichtig, wenn auf eine große Reichweite gesetzt wird. Anders ist das bei Hybridfahrzeugen, bei denen der Elektroantrieb unterstützend wirkt – hier soll der reichweitenstarke Verbrennungsmotor gerade kurzfristig mit hohen Leistungen unterstützt werden; eine Batterie mit großer Leistungsdichte ist hier Voraussetzung. Wie häufig in physikalisch-chemischen Systemen, können viele Batteriesysteme alternativ auf Energie- oder Leistungsdichte optimiert werden; beides zusammen lässt sich kaum realisieren.

Dennoch ist auch für Elektrofahrzeuge eine hohe Batterie-Leistungsdichte von Interesse, und zwar weniger wegen der raschen Energieabgabe und des daraus folgenden fahrdynamischen Verhaltens, sondern wegen der schnellen Energieaufnahme beim Laden der Fahrzeugbatterie. Nicht nur der bereits besprochene Nachteil des geringen Energieinhalts von Batterien im Vergleich zu Mineralöl wirkt einer Kommerzialisierung entgegen, auch die Ladezeiten unterscheiden sich um Größenordnungen, vom Betanken des Flüssigkraftstoffes in weit weniger als fünf Minuten an einer Tankstelle. Generell herrscht hier immer der Eindruck, es dauere Stunden, bis eine Fahrzeugbatterie aufgeladen sei. Dies ist unter den üblichen Bedingungen auch richtig, vor allem bei den in Haushalten verbauten, einphasigen Steckdosen. Diese geben eine Leistung von maximal 3,6 kW ab, so dass das Nachladen einer typischen Traktionsbatterie mit 16 kWh ca. 4,5 Stunden dauert. Verkürzt wird diese Dauer dadurch, dass die Batterie im Normalfall nicht vollständig entladen wird, um die Batterielebensdauer zu erhöhen. Mehrere Stunden dauert ein Ladevorgang an einer Haushaltssteckdose in jedem Fall, weil sie nur begrenzt Leistung abgeben kann.

Anders sieht das bei „Drehstromanschlüssen“ aus, wie sie in Industrie und Gewerbe üblich sind, aber auch bei „Ladesäulen“ für Elektrofahrzeuge zum Einsatz kommen. Bei diesen ist rund das sechsfache an Leistung entnehmbar, etwa 22 kW, so dass die Fahrzeugbatterie in weniger als einer Stunde vollständig aufgeladen wäre; ein Nachladen von etwa 4 kWh würde unter 15 Minuten dauern.

Diese Angaben berücksichtigen zwar die Leistungsfähigkeit des öffentlichen Stromnetzes, nicht aber die der Batterie. Jeder Schnellladevorgang belastet die Zellen, und das erst recht, wenn die Batterie auf Energie-, nicht aber auf Leistungsdichte optimiert ist. Das vollständige Wiederaufladen in weniger als einer Stunde belastet das Batteriesystem. Nicht nur, weil bei Schnellladung höhere Verluste entstehen und somit die Effizienz sinkt, sondern auch, weil die Zellen rascher altern und sich die Lebensdauer der Batterie verkürzt. Das punktuelle Aufladen der Batterien an Ladesteckdosen könnte auch durch eine drahtlose Stromzuführung von außen erfolgen, etwa durch Induktionsschleifen, wie sie unter anderem die Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr (IAV) erforscht (IAV 2010). Induktionsschleifen in der Fahrbahn erzeugen ein Magnetfeld, am Unterboden des EVs befindet sich als Gegenstück eine weitere Drahtspule, in welcher in Anwesenheit des Magnetfeldes berührungsfrei Strom induziert wird. Dies kann beim Parken oder sogar während der Fahrt geschehen (ebd.). Das Prinzip der elektromagnetischen Induktion bietet zahlreiche Vorteile gegenüber der direkten Stromübertragung per Kabel oder gegenüber Batteriewechseln. Probleme mit der Normung von Steckern entfallen. Der öffentliche Raum wird nicht durch Ladestationen belegt, Fremdzugriffsmöglichkeiten von außen entfallen und es existieren keine Stolperstellen. Außerdem ist die Technologie für Verschleiß und Witterung deutlich weniger anfällig. Wären ausgewählte Straßen mit Induktions-

<sup>24</sup> Wolfgang Stieler: Radnabenmotor im Aufwind?, heise online, 20.03.2008;

<http://www.heise.de/newsticker/meldung/Radnabenmotor-im-Aufwind-191908.html>

<sup>25</sup> Markus Schöttle: Elektroauto i-MiEV am Start: Lehrstück für konsequente Umsetzung, 31.07.2009;

<http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/10185/>



schleifen ausgestattet, würde das Problem der begrenzten Reichweite reduziert. Die Ingenieure des IAV gehen davon aus, dass die Technologie in den nächsten Jahren zur Serienreife kommt. Bisher funktioniert das System bereits im Modellversuch im Maßstab 1:28; eine Versuchsstrecke im Maßstab 1:1 ist in Planung (ebd.).

Nachteilig an der Technologie sind die auftretenden Übertragungsverluste bei der Induktion, die IAV mit 10 % beziffert. Da diese vom Abstand zwischen Fahrzeug und Fahrbahn abhängen, wird daran geforscht, diese Distanz zu optimieren. Denkbar sind aktive Fahrwerke, welche die optimale Distanz einstellen (ebd.).

Nach einer Studie von Nissan wird dem Thema Ladekomfort beim Kunden große Bedeutung zugeschrieben. Viele Experten sehen die Probleme auch rund um Kabel- und Steckerstandards als großen Schwachpunkt der Elektromobilität an (Graunitz 2009). Nissan reagierte entsprechend und setzte auf die Induktionsladung für die Zukunft, ein kabelloses Ladesystem ist bereits entwickelt und soll im neuen Zero Emission Vehicle zum Einsatz kommen (Van der Zee, Vaughan 2009).

In Deutschland hat sich zu dem Thema ein Arbeitskreis „Berührungsloses Laden von Elektrofahrzeugen“ angesiedelt im Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE) gegründet (DKE 2009). Aufgehängt unter dem Nationalen Entwicklungsplan wird in Deutschland an dem Thema Energieübertragung per Induktion für den Betrieb von Elektroautos in den Projekten „IndiOn“, „W-Charge“ und „Conductix“ geforscht (VDI/VDE-IT IndiOn o.J.). Während IndiOn vor allem die Übertragung möglichst großer Leistung zum Ziel hat, steht bei den anderen beiden Programmen die grundlegende Technologieentwicklung der induktiven Energieübertragung für 3,5 kW im Mittelpunkt (ebd.).

### 3.1.5 Alternative Batteriekonzepte

Um die geschilderte Batterieproblematik zu reduzieren, setzt das US-amerikanische Unternehmen „Better Place“ auf ein neuartiges Konzept mit Tauschbatterien. Der Batterietausch passiert vollautomatisch über den Fahrzeugboden an speziellen Servicestationen; anschließend wird die Batterie schonend geladen und in ein anderes Fahrzeug eingebracht. Neben der reinen Infrastruktur muss hierfür ein Fahrzeug-Standard vorliegen, der diese Art des Batterietauschs ermöglicht. Better Place arbeitet dazu u.a. mit Renault-Nissan zusammen, die in Zukunft reine Elektrofahrzeuge anstelle von Hybridfahrzeugen auf den Markt bringen möchten.<sup>26</sup>

Das Geschäftsmodell von „Better Place“ sieht vor, dass die Batterie vom Fahrzeugbesitzer geleast wird, was auch die Alterungsfrage abmildert. Der Fahrzeughalter zahlt nicht für die Dienstleistung des Batteriewechsels/ -ladens an sich, sondern einen streckenabhängigen Pauschaltarif. Kritisch ist natürlich die Dichte der Infrastruktur; mit den Pilotländern Israel, Dänemark und australische Ost-Küste (Melbourne/ Sydney/ Brisbane) sind Regionen mit praktikablen Reichweitenverhältnissen ausgewählt worden, in denen zudem eher Vielfahrer anstelle von Gelegenheitsnutzern angesprochen werden sollen.<sup>27</sup> In Deutschland wird Better Place allerdings nicht tätig werden.<sup>28</sup>

Deutsche Automobilhersteller wie BMW, Daimler und VW wollen sich in ihrer Flexibilität nicht einschränken lassen (Wirtschaftsblatt 2010). Ihre Gegenargumente lauten: zu teuer, technisch sehr aufwändig

<sup>26</sup> Christoph Ruhkamp: Renault verzichtet auf den Hybrid; FAZ.net, 06.09.2010, <http://www.faz.net/s/RubD16E1F55D21144C4AE3F9DDF52B6E1D9/Doc~E46CF3EB177424E8BAC3BD6376A7C6E27~ATpl~Ecommon~Scontent.html>

<sup>27</sup> Vortrag von Rolf Schumann (Better Place Deutschland): Lösungskonzept zur Skalierung von Elektrofahrzeugen in einen Massenmarkt, gehalten am 26.03.2009 in Fulda auf dem Seminar „Elektrische Energiespeicher“ des VDI Wissensforums

<sup>28</sup> Fahren ohne Nachladen – aber nicht in Deutschland; Handelsblatt.com, 30.08.2010, <http://www.handelsblatt.com/technologie/technik/elektroautos-fahren-ohne-nachladen-aber-nicht-in-deutschland;2644822;0>

und aufgrund der zu erwartenden Effizienzsteigerung der Batterien nicht unbedingt zur Reichweitenverlängerung notwendig.

Die Frage, ob ein Automobilhersteller die Batterie als Abgrenzungsmerkmal zu Wettbewerbern sieht oder nicht, ist sicherlich wichtig für seine Bereitschaft, sich auf eine solche Standardisierung festzulegen. Akteure wie Bosch oder Daimler haben bereits Hunderte von Millionen Euro in die Eigenentwicklung von Fahrzeugbatterien investiert und fürchten, dass sich diese Investitionen bei einer Standardisierung nicht mehr auszahlen werden (ebd.).

Auch Dr. Martin Wietschel vom Fraunhofer ISI sieht das Konzept der Einheitsbatterie bei den OEMs (Original Equipment Manufacturer, Erstausrüster) als kaum durchsetzbar an und weist auf die hohe Kapitalbindung durch die Batterien hin, deren Herstellung schon heute einen Engpass bedeutet (Wietschel 2010). Die heutige Identifikation der Nutzer mit Fahrleistung und -dynamik ihres Fahrzeuges könnte verloren gehen, wenn sich einheitliche Batterien durchsetzen würden.

### 3.1.6 Zukünftige Weiterentwicklung der Batterien

Doch auch mit der elementaren Lösung, der dem Fahrzeug fest zugeordneten Batterie, besteht natürlich Entwicklungspotential für die Zukunft. So kann das Lithium-Ionen-Batteriesystem weiter ausgereizt werden – die theoretische Grenze liegt bei rund 600 Wh/kg und kann in der Praxis etwa zur Hälfte erreicht werden<sup>29</sup>, so dass 300 Wh/kg realisierbar scheinen. Das sind 50 % mehr als beim heutigen energiedichtesten Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-System und etwa doppelt so viel wie bei durchschnittlichen Lithium-Systemen.<sup>30</sup> Im Gegensatz zum bekannten „Moore'schen Gesetz“, das die Verdopplung der Leistungsfähigkeit elektronischer Schaltkreise alle zwei Jahre prognostiziert, steigt die Energiedichte von Batterien eher langsam – über große Zeiträume betrachtet sind es etwa 5 % pro Jahr.<sup>31</sup> Demnach wäre die o.g. realisierbare Grenze in etwa 8 Jahren erreicht. Über die Energiedichte hinaus sind Verbesserungen bei den Kosten, der Leistungsdichte, der Sicherheit, dem Temperaturverhalten, der Lebensdauer und beim Recycling unabdingbar, sollen hier aber nicht detailliert dargestellt werden.

Derzeit stellt das Lithium-Ionen-Batteriesystem in seinen vielfältigen Varianten den einzigen kommerzialisierten Energiespeicher dar, der für Elektrofahrzeuganwendungen wirklich attraktiv ist. Eine neuartige Batterie und somit ein Hoffnungsträger befindet sich in der Erforschung, die Metall-Luft-Batterie. Diese profitiert davon, dass für eine der Elektroden der Reaktand Sauerstoff nicht in der Batterie mitgeführt werden muss, sondern der Umgebungsluft entnommen werden kann. Dementsprechend sinkt das Batteriegewicht und die Energiedichte erhöht sich. Als nicht-wiederaufladbare Hörgerätebatterien sind beispielsweise Zink-Luft-Batterien seit vielen Jahren in der Massenfertigung. Eine zu Flüssigtreibstoffen konkurrenzfähige Energiedichte von theoretisch 5000 Wh/kg und in der Praxis von weit über 500 Wh/kg scheint möglich. Bis zur Marktreife wird es aber noch über 10 Jahre dauern, für die sicherheitskritischen Automotive-Anwendungen ist die Serienreife u.U. erst in 20 Jahren gegeben.<sup>32, 33</sup>

<sup>29</sup> Vortrag von Margret Wohlfahrt-Mehrens (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung): Weltweite Entwicklungstrends für Energiespeicher, gehalten am 25.03.2009 in Fulda auf dem Seminar „Elektrische Energiespeicher“ des VDI Wissensforums

<sup>30</sup> Denis Dilba, „Die Spannung steigt“, in: Technology Review (dt.), Mai 2008

<sup>31</sup> Deborah Estrin et al. (2002): Connecting the physical world with pervasive networks, IEEE Pervasive Computing, vol. 1, no. 1, pp. 59-69, Jan.-Mar. 2002

<sup>32</sup> Katherine Bourzac: Neue Chance für die Luft-Batterie; Technology Review online, 19.06.2009, <http://heise.de/-276585>

<sup>33</sup> Vortrag von Margret Wohlfahrt-Mehrens (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung): Weltweite Entwicklungstrends für Energiespeicher, gehalten am 25.03.2009 in Fulda auf dem Seminar „Elektrische Energiespeicher“ des VDI Wissensforums

### 3.1.7 Hybridantriebe

Für rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge ist die Batterie das limitierende Element. Zwar sind in der Fahrzeugentwicklung eine Vielzahl weiterer Herausforderungen zu lösen, wie etwa der geschickte Einsatz von Elektromotoren oder die Auslegung der Leistungselektronik, hierbei handelt es sich jedoch um ingenieurwissenschaftliche Themen. Dennoch kann die dominierende Bedeutung der Batterietechnik durch Hybridantriebe reduziert werden, bei denen die Antriebsenergie auf zwei verschiedene Weisen bereitgestellt wird, sowohl über einen Verbrennungsmotor mit Flüssigkraftstoff, als auch über Elektromotoren mit Batteriespeisung.

Weithin bekannt sind Hybridautos der japanischen Hersteller Toyota und Honda, die seit über 10 Jahren in Serienfertigung am Markt erhältlich sind. Allein Toyota hat bis Juli 2010 weltweit 2,68 Millionen Hybridfahrzeuge abgesetzt, Honda kommt auf über 500.000 verkaufte Einheiten.<sup>34, 35</sup> Von deutschen Pkw-Herstellern sind seit dem Jahr 2009 der Mercedes S400 hybrid, BMW ActiveHybrid 7 und BMW ActiveHybrid X6 erhältlich (siehe Tabelle 2 im Anhang, S. 77ff.); nur in den USA wird der dort produzierte Mercedes ML 450 Hybrid angeboten.<sup>36</sup> Alle diese Modelle sind hauptsächlich auf den Betrieb mit dem Ottomotor ausgelegt, der Elektromotor wirkt nur unterstützend, also gerade in den Betriebsbereichen, in denen der Ottomotor prinzipbedingte Nachteile hat. Dieser Fahrzeugtyp ist nicht Bestandteil des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der Bundesregierung. Daher soll an dieser Stelle auf zwei weitere Hybridkonzepte im Sinne des Nationalen Entwicklungsplans eingegangen werden, deren Markteinführung in Europa von einigen Herstellern ab 2011 angekündigt ist: Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung (REEV) und Plug-In-Hybridfahrzeuge (PHEV).

### 3.1.8 Plug-In-Hybridfahrzeuge

Die Plug-In-Hybridfahrzeuge (PHEV) sind im Prinzip an die bereits genannten auf dem Markt befindlichen Parallelhybrid-Konzepte angelehnt. „Parallel“ bedeutet in diesem Fall, dass über ein komplexes Getriebe sowohl der Verbrennungsmotor als auch der Elektromotor das Fahrzeug antreibt – beides ist im mechanischen Sinne parallel möglich. Die in der Batterie gespeicherte elektrische Energie wird beim klassischen Parallelhybrid jedoch ausschließlich durch Rekuperation im Fahrzeug gewonnen, indem der Elektromotor beim Bremsen und bei Talfahrten als Generator geschaltet wird (elektromotorische Bremse). Die Batteriekapazität an Bord ist gering (etwa ein Zehntel eines rein elektrischen Fahrzeugs, BEV) und reicht aus, das Auto über wenige Kilometer im Stadtverkehr bis etwa 50 km/h rein elektrisch anzutreiben.

Die PHEVs basieren auf diesem Konzept, besitzen jedoch eine größer dimensionierte Batterie, die nicht mehr ausschließlich über Bordmittel geladen werden muss. Hier kommt das „Plug-in“, die Steckdose, ins Spiel, denn sie können über einen Anschluss ans öffentliche Stromnetz geladen werden. Ihre rein elektrische Reichweite ist daher größer als beim klassischen Hybridantrieb; sie beträgt z.B. beim für das Jahr 2012 avisierten Toyota Prius PHEV rund 20 km.<sup>37</sup> Damit können sich diese Fahrzeuge auch in Zonen strengster Abgasvorschriften uneingeschränkt bewegen. Dennoch sind sie über den Verbrennungsmotor mit einer hohen Reichweite von mehreren hundert Kilometern mobil, und auch hier wird die Batterie durch die elektromotorische Bremse nachgeladen. Die PHEV können also Strom aus der Steckdose laden, bewegen

<sup>34</sup> Toyota News Release, 05.08.2010: Sales in Japan of TMC Hybrids Top 1 Million Units, Global Sales Pass 2.68 Million Units; <http://www2.toyota.co.jp/en/news/10/08/0805.html>

<sup>35</sup> Jazz Hybrid feiert Weltpremiere auf dem Pariser Automobilsalon 2010, 25.08.2010; [http://www.honda.at/content/news/common\\_news\\_68910.php](http://www.honda.at/content/news/common_news_68910.php)

<sup>36</sup> Boris Schmidt: In Amerika beginnt die Zukunft des Autofahrens, Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 29.08.2010

<sup>37</sup> „Plug-In Hybride im Praxistest“, 27.04.2010; [http://www.toyota.de/about/news/details\\_2010\\_17.aspx](http://www.toyota.de/about/news/details_2010_17.aspx)

sich über mehrere Kilometer emissionsfrei und stellen dennoch für den Käufer eine „Rennreiselimousine“ mit gewohnter Reichweite und üblichem Komfort dar, was sie für Elektromobilität prädestiniert.

Obwohl der Verbrennungsmotor bei PHEV weiterhin ein wichtiges Element der Antriebstechnik bleibt, ist er üblicherweise anders ausgelegt als bei reinen Ottomotorfahrzeugen. So wird der Verbrennungsmotor in (Plug-In-)Hybridfahrzeugen häufig im so genannten Atkinson-Zyklus betrieben, der bei höheren Drehzahlen einen besseren Wirkungsgrad besitzt, jedoch wenig Drehmoment, also Beschleunigungsvermögen, auf die Straße bringt. Durch die Unterstützung des Elektromotors, der in fast jedem Betriebsbereich ein hohes Drehmoment generieren kann, wird dieser Nachteil ausgeglichen.<sup>38</sup>

### 3.1.9 Elektrofahrzeuge mit Range Extender

Bei den Autos mit Reichweitenverlängerung (REEV) ist die Konzeption anders; hier liegt der Schwerpunkt auf dem elektrischen Antrieb, denn der an Bord befindliche Verbrennungsmotor kann die Räder nicht direkt antreiben. Der Verbrennungsmotor ist mit seinem Generator „in Serie“ vor der an Bord befindlichen Batterie geschaltet: er soll dem Elektromotor Strom liefern, wenn die Batterie leer ist und kann die Batterie bei Bedarf während der Fahrt nachladen. Es handelt sich also um ein Elektroauto, das mit dem Verbrennungsmotor im Wortsinne zur Reichweitenverlängerung ausgerüstet ist, was den englischen Begriff „Range Extender“ erklärt. Prominentestes Beispiel des seriellen Hybridantriebs ist das von General Motors (GM) konzipierte und vor der Serienfertigung befindliche Modell Chevrolet Volt (US-Markt) bzw. Opel Ampera (europäischer Markt).

Für den Kunden handelt es sich beim Fahrgefühl also um ein echtes Elektrofahrzeug, bei dem der an Bord befindliche Verbrennungsmotor nur im Falle leerer Batterien gestartet wird. Der Verbrennungsmotor läuft dann stets mit konstanter Geschwindigkeit im optimalen Betriebspunkt und daher recht verbrauchsarm. Zudem kann es sich um einen kleinen Motor mit wenig Hubraum handeln. Dies ist beim ersten seriellen Hybridfahrzeug von GM allerdings noch nicht der Fall, da hier ein Motor aus der Serienproduktion verwendet werden sollte. Der kleinste GM-Motor mit 1 Liter Hubraum ist ein Dreizylinder mit eher unruhigem Laufverhalten, das gerade beim temporären Einsatz im Fahrzeug unangenehm auffallen würde, weshalb sich GM für einen überdimensionierten, aber wohlbekannteren 1,2-Liter-Ottomotor aus laufender Produktion entschieden hat.

Gerade für den Einsatz als Range Extender sind auch andere Motorkonzepte als der konventionelle Hubkolbenmotor denkbar, beispielsweise die SWingEngine oder der Hüttlin-Kugelmotor.

Die SWingEngine basiert auf dem SABET-Motor, der wie der Wankel-Motor zu den Rotationskolbenmotoren gehört. Gegenüber den üblichen Viertakt-Hubkolbenmotoren zeichnet sie sich bei gleicher Leistung durch einen kleineren Bauraum, geringeres Gewicht und geringere Herstellungskosten aus, da die Teilezahl kleiner ist. Die für den Einsatz in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen wichtigen Ansprüche an Laufruhe und Geräusentwicklung werden erfüllt.

Der Hüttlin-Kugelmotor ist ein Gegenkolben-Viertaktmotor, um den herum ein elektrischer Generator angeordnet ist. Das Konzept ist von vornherein nicht auf mechanischen Antrieb, sondern auf die Erzeugung elektrischen Stroms angelegt. Auch dieser Motor zeichnet sich durch ein geringes Gewicht und weniger als ein Drittel der Komponenten-zahl eines Vierzylinder-Ottomotors aus.

Die skizzierten und auch andere alternative Motorkonzepte haben es in der Anwendung in Nischenprodukten wie Elektrofahrzeugen mit Range Extender schwer. In die Weiterentwicklung des klassischen Hubkolbenmotors sind in den letzten Jahrzehnten große finanzielle Mittel investiert worden, dabei konnten Verbrauch und Abgasausstoß bei steigender Motorleistung stets gesenkt werden. Für neue Spezialanwendun-

---

<sup>38</sup> Hans-Hermann Braess, Ulrich Seiffert: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Wiesbaden 2005, S. 129

gen wie Range Extender sind aus klassischen Verbrennungsfahrzeugen „konvertierte“ Motoren rasch verfügbar, mittelfristig werden originär neu entwickelte Aggregate Wettbewerbsvorteile und Alleinstellungsmerkmale bieten.

### 3.1.10 Elektromobilität und intelligente Stromnetze

Neben der reinen Fahrzeugtechnik berücksichtigt der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung nicht nur die Fahrzeuge als Stromverbraucher, sondern auch die Integration der Batterien von Elektrofahrzeugen als Stromspeicher. Dieser Netzintegration liegt folgender Gedanke zugrunde: Elektrische Energie muss in den Kraftwerken in dem Moment erzeugt werden, wo sie von den Kunden verbraucht wird. Dies wird zunehmend schwieriger, da die bisherige Netzstruktur mit ihren zentralen Großkraftwerken durch die vermehrte Erzeugung regenerativer Energien (insbesondere Photovoltaik und Windkraftanlagen) an ihre Grenzen stößt. Nötig wäre also ein kostspieliger Ausbau der Stromnetze. Stattdessen soll nur ein punktueller Ausbau der Stromnetze erfolgen, wobei die Energieflüsse durch neu eingeführte Informations- und Kommunikationstechnologien intelligenter geregelt werden können – eine Art Engpassmanagement. Dazu gehören auch „intelligente Stromzähler“, die Privatkunden und Energieversorger zeitnah über den aktuellen Verbrauch informieren und wechselnde Tarife anbieten, zum Beispiel sinkende Preise bei einem Angebotsüberschuss der kaum steuerbaren regenerativen Energien. Im Umkehrschluss ist langfristig eine variable Einspeisevergütung für „grünen Strom“ denkbar, bei dem Stromeinspeisern ein fixer Sockelbetrag gezahlt wird, ergänzt um eine Zulage zu Zeiten großer Stromnachfrage.

Der Verschiebung zwischen Energieerzeugung und -verbrauch soll in Zukunft mit Hilfe der Batterien in Elektroautos als Puffer beizukommen sein. Bisher sind große Pumpspeicherwerke die einzige Möglichkeit, Strom zwischen zu speichern, mit begrenzter Kapazität und auch begrenzter Ausbaufähigkeit. Da das intelligente Stromnetz aber sowieso auf kleinteilig verteilte Elemente zielt<sup>39</sup>, ist eine Vielzahl von – privat betriebenen – Energiespeichern sinnvoll. Für den Pkw-Besitzer besteht allerdings ein Zielkonflikt: Jeder zusätzliche, allein durch den Bedarf des Stromnetzes induzierte Lade-/Entladezyklus lässt die Batterie rascher altern. Da diese jedoch die Achillesferse für Elektro-Pkw darstellt, wird ein Fahrzeugbesitzer abwägen müssen, ob die geringfügigen Einnahmen als Strompuffer den Wertverlust durch Verschleiß übersteigen (Buck 2009a).

Doch auch ohne Pufferfunktion der Batterie ist das intelligente Stromnetz für Elektrofahrzeuge von Bedeutung: es ermöglicht die zeitlich gezielte Steuerung des Ladevorgangs, dessen Dauer dann nicht allein vom Autobesitzer festgelegt wird. Die Stromnachfrage selbst wird durch Elektroautos nicht so stark erhöht, wie gemeinhin angenommen wird. In einer Modellrechnung wird bei einem Marktanteil von 10 % Elektrofahrzeugen eine um 1,6 % gestiegene Stromnachfrage prognostiziert, bei 30 % Marktanteil sind es 4,8 % mehr Strombedarf.<sup>40</sup>

Manche Regionen Europas, vor allem Dänemark und in Deutschland die Harzregion, beziehen bereits heute einen Großteil ihres Stroms aus erneuerbaren Energien, insbesondere Windenergie. Bei Starkwind übersteigt der produzierte Strom hier teilweise schon heute den Bedarf (Schröder 2010). Für diese Regionen sind „Smart Grid Services“, die sich durch Elektroautos ergeben, besonders attraktiv. An der Kopplung von schwankender Windenergie und Elektromobilität wird derzeit in Dänemark im Projekt EDISON gearbeitet. Der Projektname steht für „Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks“ und ist mit bekannten Partnern aus Industrie (IBM, Siemens), Energieversorgern (Dong Energy) und Forschung (DTU Technical University of Denmark) besetzt (DTU 2010). Bei dem

<sup>39</sup> Pressemitteilung (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE): Intelligente Vermarktung von Strom aus dezentralen Energiequellen, 02.09.2010; <http://idw-online.de/pages/de/news384761>

<sup>40</sup> Daniel Brumme, Wolfgang Schufft: Mögliche Auswirkungen zukünftiger Elektromobilität auf den Strompreis, in: ew – das Magazin für die Energiewirtschaft, 13/2009 (15.06.2010), S. 32ff

Projekt steht der bidirektionale Stromfluss im Mittelpunkt. Am Forschungszentrum Risø stehen Energieproduzenten (Windräder, Solarstromanlagen) und Energieverbraucher (Elektroheizungen in den Bürogebäuden, Hybridautos und mehrere weitere Batterien) zur Verfügung, um ein eigenständiges Stromnetz zu simulieren, und das Zusammenspiel der Komponenten zu testen. Ein Praxistest wird 2011 auf der Insel Bornholm starten (Schröder 2010).

Das vieldiskutierte Potential der Elektroautos, Regelleistung für kurzzeitig überschüssige Energie in den Netzen bereitzustellen, sei anhand eines Rechenbeispiels von Prof. Gernot Spiegelberg von Siemens Corporate Technology verdeutlicht (Buck 2009b): Danach sind 200.000 Elektrofahrzeuge, welche sich am Netz befinden und eine Einzelleistung von 40 kW haben, in der Lage, eine Regelleistung von 8 GW bereitzustellen, was laut Siemens mehr ist, als derzeit in Deutschland zur Abfederung von Lastspitzen an Regelleistung benötigt wird (Schröder 2009). In Japan werden Batterien als Puffer für die Netzversorgung bereits flächendeckend angewandt. Hier gleichen Natrium-Schwefel-Batterien, die in Containern nah bei den Endnutzern aufgestellt werden, Fluktuationen aus erneuerbaren Energiequellen aus und dienen in Ausnahmefällen auch der Notstromversorgung (Buck 2009a).

Die technischen Möglichkeiten, um Elektroautos möglichst wirtschaftlich in die bestehenden Energie- und Verkehrsnetze einzubinden, werden heute von vielen Akteuren erforscht. Auf Bundesebene wird das Thema durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und den Förderungsschwerpunkt „Intelligente Netze, erneuerbare Energien und Elektromobilität“ adressiert. Insgesamt sieben ausgewählte Modellprojekte werden hierfür im Rahmen des Förderprogramms „IKT für Elektromobilität“ mit rund 100 Millionen Euro gefördert.<sup>41, 42</sup> Ziel ist es, die Informations- und Kommunikationstechnologien, welche für das Laden, die Steuerung und die Abrechnung von Elektrofahrzeugen benötigt wird, sowie darauf aufbauende Geschäftsmodelle zu entwickeln und in Feldversuchen praktisch zu erproben.<sup>43</sup> Die Teilprojekte sind verschiedenartig gestaltet. So befasst sich eines insbesondere mit Elektromobilität in ländlichen Regionen. Um die hier auftretenden längeren Distanzen zu bewerkstelligen, wird ein Schwerpunkt auf den Batteriewechsel gesetzt. Das Teilprojekt „eTour-Allgäu“ hingegen befasst sich mit der Integration der Elektromobilität in eine ländliche Tourismus-Region mit bergiger Topographie. Hier werden Aspekte wie Erholungswert der Landschaft, aber auch das Bedürfnis der Urlauber nach individueller Mobilität berücksichtigt.<sup>44</sup>

### 3.2 Sozio-ökonomische und ökologische Aspekte

Die oben geschilderten technischen Entwicklungen stehen in Wechselwirkung mit zahlreichen anderen Faktoren, die teilweise Bedingung und teilweise Folge einer stärkeren Marktdurchdringung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen darstellen. Forschung und Entwicklung von Technologien findet keineswegs in einem abgeschlossenen Raum nach eigenen Gesetzen statt, sondern ist in die Gesellschaft eingebettet, von deren Voraussetzungen, Leitbildern, Paradigmen oder Nachfragestrukturen abhängig und wiederum selbst in der Lage, diese Voraussetzungen durch wissenschaftlich-technischen Fortschritt zu beeinflussen. Man spricht von einer Ko-Evolution sozio-ökonomischer und technischer Faktoren.

So stellt die Elektromobilität nicht nur die Akteure der OEMs, Zulieferer und Infrastrukturanbieter vor Herausforderungen, letztlich werden sich alle Mitglieder der Gesellschaft mit Fragen bezüglich der Ausgestaltung der eigenen Mobilität, der Sicherheit und der Bedienung der neuen Technologie, veränderter Infrastruktur etc. auseinandersetzen müssen. Im Folgenden soll ein Einblick gegeben werden, mit welchen sozio-ökonomischen Themenfeldern die Elektromobilität in enger Wechselwirkung steht und wie diese in der

---

<sup>41</sup> <http://www.futurefleet.de/>

<sup>42</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2010

<sup>43</sup> <http://www.ikt-em.de/>

<sup>44</sup> <http://www.ee-tour.de/>

Literatur und in Projekten behandelt werden. Dazu gehört auch ein Blick auf heutige Nutzer der Technologie wie auch auf Einschätzungen zu zukünftigen Nutzergruppen. Um die zukünftigen Nachfragemuster besser einschätzen zu können, müssen Änderungen im Mobilitätsverhalten, in der Einstellung zum Auto und auch demographische Entwicklungen berücksichtigt werden. Weiter spielt die Bedienbarkeit und Sicherheit der neuen Fahrzeuge eine wichtige Rolle. Ökonomische Faktoren wie Kaufpreis und Total Cost of Ownership (TCO) sind zu beachten. Zudem wird auf die Umweltwirkungen der Elektromobilität und auf die Abhängigkeit von Rohstoffen kurz eingegangen.

### 3.2.1 Erwartete Zielgruppen und Mobilitätsmuster

#### Heutige Einstellungen und Erwartungen der Verbraucher

Die großen Unterschiede in den Einschätzungen der Entwicklung der Zulassungszahlen von BEVs rühren nicht zuletzt daher, dass Prognosen zur Kaufentscheidung der Verbraucher sehr schwierig sind. Es gibt keine stabile empirische Basis, da BEVs bisher kaum im Markt sind. Vergleiche mit herkömmlichen Fahrzeugen können als Indikatoren verwendet werden, lassen sich aber nur bedingt auf die BEVs übertragen. Viele Studien versuchen dennoch das zukünftige Käuferverhalten besser zu verstehen. Dabei wird oft mit so genannten Stated-Preference-Methoden gearbeitet, d.h. eine Befragung die sich auf hypothetische Märkte bezieht (z.B. werden Verbraucher Fragen gestellt wie: Was wäre wenn ein BEV mit einem Preis von x Euro und einer Batteriereichweite von y km erhältlich wären? Würden Sie es kaufen?).

Umfragen z.B. von BITKOM (2010) oder TNS Infratest und RolandBerger (2010) kommen zu dem Ergebnis, dass viele Menschen (30 bis 40 %) am Kauf eines Elektroautos interessiert sind und sich den Kauf vorstellen können. Allerdings wird diese Kaufentscheidung vom Preis und Komfortansprüchen abhängig gemacht. Besonders hoch scheint die Kaufbereitschaft in der Gruppe der 30- bis 49-Jährigen zu sein, hier können sich laut BITKOM sogar 60 % einen Kauf vorstellen. Gefragt nach dem bevorzugten Geschäftsmodell für den Kauf, gaben in einer RolandBerger-Studie fast 80 % der Deutschen, aber nur 56 % der Franzosen an, den klassischen Kauf zu favorisieren. Das Leasing der Batterie war in beiden Ländern auf Platz 2, die Möglichkeit des klassischen Leasings (von Auto und Batterie) oder die Nutzung von Programmen, in denen der Kunde Mobilitätspunkte erwirbt und dann unterschiedliche Mobilitätslösungen nutzen kann, waren deutlich weniger attraktiv. Da einige der heute diskutierten Geschäftsmodelle für BEVs (vgl. Kapitel 3.2.2) das Leasing der Batterie oder des gesamten Paketes aus Fahrzeug und Batterie vorsehen, ist die hohe Tendenz zum eigenen Autobesitz unter den deutschen Befragten verstärkt zu beachten. Offen bleibt die Frage, ob die Akzeptanz von Geschäftsmodellen wie Leasing mit deren Verbreitung steigen würde, ob sich die Verbraucher also an solche Geschäftsmodelle gewöhnen könnten.

Damit stellt sich außerdem die Frage, ob und wie viel die heutigen Verbraucher bereit wären, für den vollständigen Besitz eines BEV zu bezahlen. Die Ergebnisse mehrerer Umfragen weisen darauf hin, dass einige Gruppen potentieller Käufer bereit sind, einen Mehrpreis von ca. 3000 Euro bei der Anschaffung zu akzeptieren (RolandBerger 2010). Für die meisten Verbraucher liegt der akzeptable Mehrpreis deutlich darunter (ebd.), andere sind gar nicht bereit, Mehrkosten für die neue Technologie in Kauf zu nehmen. Nach einer Befragung von Fraunhofer und PwC (2010) prophezeien viele Verbraucher dem Elektroauto eine wichtige Rolle in der Zukunft, wollen sich aber aus Kostengründen zunächst keines kaufen. Biere et al. (2009) schätzen ab, ab wann und für wen sich der Kauf eines EV lohnen wird. Neben den als fix angesehenen Ausgaben für Betrieb und Kauf, betrachten die Autoren insbesondere das Fahrprofil der Nutzer. Je nach Gesamtfahrleistung, insbesondere dem Anteil der elektrisch zurückgelegten und der Innerorts gefahrenen Kilometer ergeben sich 4 % der deutschen PKW-Nutzer als potentielle Erstnutzer, für die es wirtschaftlich wäre ab 2015 ein kleines, rein elektrisches Stadtfahrzeug zu kaufen. Befragt zu speziellen Serviceleistungen rund um die Elektromobilität, die erwünscht sind, wurden mehrheitlich Schnellladestationen, Hilfe bei

der Suche nach Auflademöglichkeiten durch Navigationssoftware und eine erweiterte Garantie (inklusive der Batterie) von deutschen Befragten genannt (RolandBerger 2010). Befragungsergebnisse weisen darauf hin, dass auch das Vorhandensein einer Ladeinfrastruktur ein wichtiges Kriterium für den Kauf eines Elektrofahrzeugs darstellt. In der gleichen Befragung zeigte sich aber auch, dass für die meisten Autofahrer bisher die Elektromobilität eng mit der Möglichkeit verknüpft ist, die Batterie zu Hause zu laden.

Neben den hohen Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen ist es auch der überproportional hohe Wertverlust der Fahrzeuge, der den Nutzern Angst macht. Focus Online (2010) schreckte seine Leserschaft im Sommer mit dem Titel „Elektroautos nach fünf Jahren fast wertlos“ auf. Gemeint war die Aussage einer Studie von Eurotax Glass`s (2010), dass Elektrofahrzeuge nach fünf Jahren nur noch einen Restwert von 10 % besitzen würden. Hauptgrund für den starken Wertverlust ist der Leistungsverlust der Batterien, verbunden mit einem potentiellen teuren Austausch derselben nach einigen Jahren. Nicht ganz so dramatisch quantifiziert das Risiko eines stark sinkenden Fahrzeug-Restwertes bzw. eines mehrere tausend Euro teuren Batterietauschs eine Studie von Eurotax-Schwacke BDW Automotive aus dem Jahr 2010: Ein im Jahr 2012 angeschafftes Elektrofahrzeug mit 30.000 Euro Neupreis hat demnach drei Jahre später nur noch einen Restwert von 31 %, während es bei einem vergleichbaren Benziner, Neupreis 20.000 Euro noch 43 % wären (Mayer 2010).

Damit die Total Costs of Ownership eines Elektrofahrzeuges auf ein vergleichbares Niveau mit dem konventioneller Fahrzeuge kommt, müssten die hohen Anschaffungspreise durch dauerhaft niedrigere Betriebskosten und einen höheren Restwert der Batterien ausgeglichen werden. Der letzt genannte Punkt wird durch Überlegungen wie der Zweitnutzung der Batterien als stationäre Stromspeicher aufgegriffen, daneben sind auch viele der in Kapitel 3.2.2 erwähnten Geschäftsmodelle oder auch Garantiekonditionen der Hersteller weitere Optionen, um den Wertverlust zu kompensieren.

Neben monetären Überlegungen und Leistungsaspekten können auch Umweltschutzaspekte eine wichtige Rolle beim Kauf von Elektrofahrzeugen spielen. In der oben erwähnten Befragung von Fraunhofer und PwC (2010) gab knapp jeder zweite Befragte an, Auswirkungen auf die Umwelt bei der privaten Verkehrsmittelwahl zu berücksichtigen. Eine Mehrheit von etwa zwei Drittel der Befragten macht sich um die negativen ökologischen Auswirkungen des Autofahrens Sorgen. Rund die Hälfte sieht das Elektroauto als eine Lösung zur Begrenzung der Umweltverschmutzung an, genauso Viele sind sich aber auch im Klaren darüber, dass dies nur gelingen kann, wenn der Strom für die Elektromobilität ebenfalls umweltfreundlich produziert wird.

Bereits heute gibt es trotz der genannten ökonomischen und technischen Hürden einige, allerdings wenige Nutzer von Elektrofahrzeugen, auf deren Charakterisierung im Folgenden kurz eingegangen wird. Eine Auswertung von Knie et al. (allerdings aus dem Jahr 1999) von verschiedenen veröffentlichten Befragungen in Deutschland mit insgesamt 1.700 privat genutzten Elektroautomobilen ergab als soziodemographisches Profil, dass die bisherigen Käufer überwiegend Männer (75 %), typischerweise zwischen 35 und 55 Jahre alt sind, zum überwiegenden Teil (71 %) einen Hochschulabschluss besitzen, ein recht hohes Einkommen haben und meist berufstätig (86 %) sind. Die befragten Nutzer kommen häufig aus technischen (39 %) oder sozialen Berufen (35 %) und sind Hauseigentümer (67 %), was den Ladevorgang erleichtert. Die durchschnittliche Haushaltsgröße der Untersuchungen lag bei 2,6 Personen, der typische Elektromobilitätsnutzer war also männlich, mittelalt, wohlverdienend mit eigenem Haus und Kindern. Gerade Familien haben ein hohes Mobilitätsbedürfnis und dürften besonders oft zu einem Zweitwagen tendieren. Knie et al. (1999) identifizieren vier typische Nutzergruppen: die „Öko-Promotoren“, die „Techno-Promotoren“, die „individuellen Stadtfahrer“ und die „wohlhabenden Neugierigen“, wobei letztere in BEVs vor allem einen Aufmerksamkeitserzeuger sehen. Damit ergeben sich zahlreiche Optionen für Geschäfts- und Fahrzeugmodelle. Bei den „Öko-Promotoren“ soll das Fahrzeug möglichst ökologisch sein, ein „normales“ Auto ersetzen und eine Ergänzung zum ÖPNV darstellen (ebd.). Die „Techno-Promotoren“ fühlen sich von den tech-



nischen Neuerungen angezogen, legen Wert auf Energieeffizienz und Fahrkomfort. Umweltschutzaspekte stehen hier nicht im Vordergrund, Spezialausstattungen und der neuesten Stand der Technik dürften hier verkaufsfördernd wirken. Beim „individuellen Stadtfahrer“ steht der persönliche Nutzen als flexibles Fortbewegungsmittel in der Stadt im Vordergrund, sie nutzen häufig den ÖPNV, leben meist in der Stadt, oft auch in Einpersonenhaushalten. Hier könnte die verstärkte Nutzung von Elektrofahrzeugen dazu führen, dass weniger ÖPNV in Anspruch genommen wird. Die letzte Gruppe der „wohlhabenden Neugierigen“ findet es „schick“, ein Elektromobil zu besitzen, hier sind also das Design und die Erkennbarkeit als Elektrofahrzeug für Andere wichtige Kriterien für den Käufer; der Preis dürfte eine untergeordnete Rolle spielen.

### Reichweite und Ladezeiten in der Problemwahrnehmung

Auf die Frage, welche Herausforderungen die Elektromobilität noch vor sich hat, kommt fast immer das Argument der geringen Reichweite auf. Obwohl der durchschnittliche Deutsche an 80 % der Tage im Jahr weniger als 40 km zurücklegt (Marwede, Knoll 2010), schrecken viele Kaufinteressenten vor einem Auto mit geringerer Reichweite als diejenige der heute üblichen Diesel- und Benzinfahrzeuge zurück. Gregor Matthis von der Beratungsfirma Bain spricht daher von „Range-xiety“:

*„Es gibt ein Range-xiety genanntes Phänomen. Das ist die Angst von Autofahrern, mit dem Wagen nicht weit genug zu kommen“ (Financial Times Deutschland 2010a). „Tatsächlich zeigen Tests etwa von Nutzern von E-Autos in London, dass die heute noch begrenzte Reichweite für sie nach kurzer Eingewöhnung kein Thema ist.“*

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Psychologen der TU Chemnitz, die das Pilotprojekt mit 50 MINI E von BMW in Berlin wissenschaftlich begleiten. Nach der Auswertung der ersten Testphase von 6 Monaten und 40 Probanden kommen sie zu dem Ergebnis, dass mehr als 90 % der Testpersonen die Reichweite von ca. 150 km als ausreichend empfanden (TU Chemnitz 2010). „Zwei Drittel der Nutzer fühlten sich mit dem MINI E genauso flexibel wie mit einem herkömmlichen Fahrzeug“ (ebd.). Lediglich 14 % der geplanten Fahrten konnten die Studienteilnehmer nicht antreten, wobei es hierfür verschiedene Gründe gab, wie zu geringen Stauraum, nicht genug Platz für Passagiere, zu geringe Reichweite oder unzureichend aufgeladene Batterien. Nicht immer war demnach die durch die Batterie begrenzte Reichweite Ursache für die Nicht-Nutzung.

Eine weitere Einschränkung gegenüber den gewohnten Verhaltensmustern betrifft die Ladezeiten, die zumindest an der heimischen Steckdose mehrere Stunden betragen können und damit in einer ganz anderen Größenordnung liegen, als die beim Betanken mit Diesel oder Benzin üblichen Zeiten. Es kann nur vermutet werden, dass ähnlich wie oben für die Reichweite beschrieben, auch hier eine Gewöhnung stattfinden könnte, zumal die Fahrzeuge in Deutschland im Schnitt ca. 23 Stunden am Tag ruhen, womit rein rechnerisch genug Ladezeit zur Verfügung steht (rechnerisch würde allerdings auch die Reichweite für diese ein Stunde durchschnittlicher Nutzungsdauer ausreichen). Die Ergebnisse aus den zahlreichen Pilotprojekten weisen auf einen „Bewusstseinswandel“ hinsichtlich des Tankvorgangs hin (vg. Farunhofer & PwC 2010): Die Batterie wird dabei nicht erst aufgeladen, wenn sie bis zu einem bestimmten Grad leer ist. Das Laden wird vielmehr als kontinuierlicher Prozess in die Alltagsroutinen eingebaut, also in den Zeiten, wenn das Fahrzeug ruht und eine Ladestation vorhanden ist, vollzogen.

Die unterschiedlichen technischen Möglichkeiten, um geringen Reichweiten und langen Ladezeiten entgegenzuwirken, wurden bereits in Kapitel 3.1 dargestellt. Innovative Geschäftsmodelle spielen dabei eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 3.2.2), so lässt sich das schnelle „Aufladen“ über den Austausch von Batterien nur zusammen mit einem entsprechenden Geschäftsmodell realisieren. Neben der Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik und Effizienzsteigerung der Batterie um die Reichweite von BEVs zu erhöhen, ist der

Umgang mit der realen oder gefühlten „Angst“ vor dem Liegenbleiben wegen einer leeren Batterie sicherlich ein Schlüsselement und wird von „künftigen Geschäftsmodellen adressiert werden müssen. Better Place (siehe 3.2.2) etwa sieht explizit einen Pannenservice vor, der einspringt, falls der Nutzer mit einer leeren Batterie liegen geblieben ist. Bei der Diskussion nicht zu vergessen ist aber auch, dass die Ansprüche der Kunden an die Reichweite eines Fahrzeuges länderabhängig, kulturell und generationsabhängig sehr unterschiedlich sein können. In China und Indien sind sie beispielsweise deutlich geringer als in den USA, wo große Distanzen üblich und die Menschen an eine schnelle und komfortable Mobilität gewöhnt sind (Agassi 2009).

Ein anderer Ansatz, um die Elektromobilität attraktiver zu machen und deren Alltagstauglichkeit trotz der als gering empfundener Reichweite zu verbessern, ist die Schaffung und gezielte Bereitstellung von intermodalen Ergänzungsangeboten, welche durchgehende Reiseketten für die Nutzer von Elektrofahrzeugen ermöglichen (Deutsches Verkehrsforum 2009). Hierfür sollten nach Meinung des Deutschen Verkehrsforums speziell öffentliche Verkehrsmittel in das Gesamtkonzept integriert und der Einsatz modernster Informationstechnologie und Echtzeit-Verkehrsinformationen verstärkt werden, um Elektrofahrzeuge optimal nutzbar zu machen.

### **Zur Entwicklung und Flexibilität von Mobilitätsmustern**

Die Deutschen reisen immer mehr, wechseln häufiger den Arbeitsplatz, führen Fernbeziehungen und nehmen für kulturelle Großveranstaltungen und Sport-Events weite Wege in Kauf. Die Initiative Sozialwissenschaftliche Mobilitätsforschung spricht der Individualisierung in der heutigen Gesellschaft eine große Bedeutung zu und sieht in ihr einen der Gründe für die hohe Attraktivität des privaten Pkw. Demnach lassen sich mit Hilfe des Autos bestimmte Lebensstile überhaupt erst verwirklichen (TU Chemnitz 2010). Die Individualisierung der Gesellschaft ist also eng verknüpft mit der Automobilisierung derselben (Canzler et al. 2004). Es ist anzunehmen, dass durch einen anhaltenden gesellschaftlichen Individualisierungsprozess in der EU auch die Nachfrage nach individuellen Verkehrsmitteln anhält (Dettner, Götz 2010).

Die heutigen Mobilitätsmuster haben sich zusammen mit den entsprechenden Technik-Infrastrukturen entwickelt. Neben den technischen Voraussetzungen ist das Mobilitätsverhalten von vielen weiteren Parametern abhängig, ökonomische Faktoren spielen ebenso eine wichtige Rolle wie persönliche Einstellungen und Präferenzen. Wie kein anderes Verkehrsmittel fungiert das Auto vielfach auch als Statussymbol. Die Mobilitätsmuster sind nicht starr, sondern haben sich im Lauf der Zeit immer verändert, so kann davon ausgegangen werden, dass sich diese auch in der Zukunft verändern werden, was für die Akzeptanz, Ausgestaltung und Marktdurchdringung der Elektromobilität relevant sein könnte.

Verändert sich beispielsweise die demographische Zusammensetzung einer Gesellschaft, hat dies Auswirkungen auf die Mobilitätsansprüche (qualitativ und quantitativ) derselben und damit auch auf die Verkehrsmittel, die zur Erfüllung dieser geeignet und nachgefragt sind. Für Europa wird mit einem stark ansteigenden Anteil der Über-65-Jährigen ausgegangen, der laut Eurostat bis 2060 auf 30 % ansteigen wird. Auch die Anzahl der Über-80-Jährigen wird sich bis 2060 nahezu verdreifachen (Giannakouris 2008). Gleichzeitig werden die Senioren mobiler (mehr Wege pro Tag zurücklegen) und besitzen häufiger und bis ins hohe Alter hinein einen Führerschein (BMVBS, infas, DLR 2009). Es wird davon ausgegangen, dass die Nachfrage nach individueller Mobilität im Alter ansteigt, sich gleichzeitig jedoch die finanzielle Situation der Senioren eher verschlechtern wird (Fiedler 2007). Denkbar wäre, dass die in Kapitel 3.2.2 dargestellten Geschäftsmodelle Senioren insofern entgegen kämen, dass zwar ein Auto nutzbar wäre, dessen Pflegen und Wartung aber nicht übernommen werden muss. Weiter könnte man argumentieren, dass die Mobilitätsmuster von Rentnern flexibler sein können als die von Berufstätigen, die vielleicht noch Kinder im Haus haben, wodurch die mit einer BEV-Nutzung einhergehenden Einschränkungen bei Reichweite und Ladezeit weniger ins Gewicht fallen würden. Auch die Möglichkeit das Elektromobil zu Hause zu „betan-

ken“, dürfte der Gruppe der Senioren entgegenkommen, eben wegen der oft höheren Flexibilität bei der Planung ihrer Fahrten.

**Elektrofahrräder** erfreuen sich einer immer größeren Beliebtheit, nicht nur in China wo bereits geschätzte 120 Millionen von ihnen auf den Straßen unterwegs sind (Goodman 2010). In den Niederlanden wurden 2009 ein Drittel der Ausgaben für Fahrräder in elektrisch betriebene Modelle investiert (ebd.), jedes zehnte verkaufte Fahrrad ist hier bereits ein Pedelec (Wüst 2009). Auch Deutschland, Frankreich und Italien werden insbesondere vor dem Hintergrund einer alternden Gesellschaft, als Wachstumsmärkte angesehen (Goodman 2010).

Zwei Trends sind zu verzeichnen, Pedelecs in Europa und den USA, sowie rein elektrisch betriebene Fahrräder, die stärker ausgelegt sind, ähnlich Motorrollern in China (ebd.). Die Verkaufszahlen von Pedelecs in Deutschland sind in den letzten Jahren stark angestiegen. Wurden 2005 rund 25.000 Stück verkauft, waren es 2008 schon viermal so viele (ADFC 2009) und 2010 200.000 Stück.<sup>45</sup> Obwohl sie damit bisher bei rund 4,3 Millionen verkauften Fahrrädern in Deutschland (für 2008) jährlich nur einen geringen Marktanteil haben, besitzen sie aufgrund ihres hohen Durchschnittspreises im Vergleich zu normalen Fahrrädern ein hohes Umsatzpotential (ADFC 2009) und sind für die Fahrradindustrie, auch weil sie mehr Wartungsserviceleistungen erfordern, ein attraktives neues Marktsegment.

So beliebt die oben erwähnten Elektrofahrräder auch sind, werfen sie doch aus juristischer Sicht Probleme auf. Gesetzgeber sind häufig unsicher, wie Elektrofahrräder behandelt werden sollen, viele empfinden sie als zu schnell und leistungsstark für Fahrradspuren und wiederum zu langsam für die Autofahrspur (Cherry 2007). Deshalb existieren heute viele verschiedene Regelungen hierzu. In China werden sie als Fahrräder behandelt und dürfen die Fahrradspuren benutzen (ebd.), andere Städte in Kanada hingegen erwägen aus Sicherheitsgründen ein Verbot von Elektrofahrrädern auf Fahrradwegen (ebd.). Ob Luftemissionen vermindert werden, hängt neben dem Strommix ganz entscheidend davon ab, welches Verkehrsmittel durch den Elektrofahrradgebrauch substituiert wird (ebd.).

Nicht nur bei den Senioren, auch bei Jugendlichen deutet sich an, dass sich die Einstellung zur Mobilität und damit auch die Mobilitätsmuster von denen vorhergehender Generationen unterscheiden. So gibt es Anzeichen, dass sich pragmatischere Einstellungen zur Mobilität und Automobil entwickeln. Ergebnisse der aktuellen Studie „Jugend und Automobil 2010“ des FHDW Center of Automotive (2010) legen einen beginnenden Bedeutungswandel zumindest nahe. Nach ihr geht die emotionale Bindung an das Auto bei der Gruppe der 18- bis 25-Jährigen Deutschen zurück. 30 % der jungen Leute würden eher auf ein Auto anstatt auf teure Dinge wie Urlaub, eigene Wohnung oder Ähnliches verzichten. Die Jugendlichen sehen das Auto rationaler als Fortbewegungsmittel an, die Rolle des Statusymbols verliert an Bedeutung und wird auf das Internet und Handy verlagert. Obwohl die Zahl der jungen Menschen (20- bis 29-Jährigen) mit Führerscheinbesitz mit 75 % recht hoch ist, fahren 45 % nur selten mit dem Auto und 80 % sind gar der Meinung, dass in der Stadt wegen des ÖPNV gar kein Auto notwendig ist, so Ergebnisse der aktuellen Jugendtrendstudie „Timescout“ (Rieckmann 2010). Ergebnisse einer von Fraunhofer IAO und PwC (2010) durchgeführten Umfrage unter 503 potentiellen Nutzern der „Elektromobilität“ identifizieren ebenfalls, die in urbanen Räumen wohnenden Unter-30-Jährigen als die Gruppe mit der niedrigsten Affinität zur Nutzung der privaten Pkw. Die jungen Großstandbewohner wechseln am häufigsten zwischen verschiedenen Mobilitätsangeboten und, so wird vermutet, scheinen am ehesten bereit zu sein, sich mit neuen Mobilitätskonzepten auseinander zu setzen.

Als Zwischenfazit lässt sich somit sagen, dass Elektrofahrzeuge in Zukunft ein wichtiger Baustein einer multimodalen Mobilität sein könnten, bei der die monomodale Nutzung eines konventionellen Autos von einer Form der Mobilität abgelöst wird, die verschiedene, möglichst gut aufeinander abgestimmte Ver-

<sup>45</sup> Zweirad-Industrie-Verband (ZIV), 25.03.2010

kehrsmittel miteinander kombiniert und vor allem die Überbrückung der „last mile“ für den Nutzer individuell, flexibel und schnell ermöglichen könnte.

Vor diesem Hintergrund lassen sich in den zahlreichen Studien zur zukünftigen Entwicklung der Elektromobilität zwei grundsätzliche Erwartungshaltungen ausmachen:

- Manche Argumentationen gehen davon aus, dass elektrische Fahrzeuge die bisherigen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ersetzen müssen, ohne dass sich die bisherigen Mobilitätsmuster wesentlich verändern. Das bedeutet, dass die elektrisch betriebenen Fahrzeuge in punkto Kosten, Reichweite und Ladezeit in Bereiche kommen müssen, die mit den bisherigen Fahrzeugen vergleichbar sind. Individuelle Mobilität würde demnach auch weiterhin durch individuellen Autobesitz geprägt. Vielen Experten sind laut einer Studie (Fraunhofer, PwC 2010) allerdings der Meinung, dass Elektroautos aus technologischen Gründen selbst in zehn Jahren noch nicht das Niveau herkömmlicher Autos erreichen – zumindest in Bezug auf Reichweite und die Gesamtkosten.
- Andere Argumentationen führen an, dass sich Mobilitätsmuster und Präferenzen immer im Wechselspiel mit den technologischen Entwicklungen verändert haben; demnach wäre davon auszugehen, dass sich auch in Zukunft die Mobilitätsmuster zumindest bis zu einem gewissen Grad den technischen Settings anpassen werden. Dazu gehört auch, dass sich die enge Bindung zwischen Autobesitz und individueller Mobilität etwas auflösen könnte. In vielen Argumentationen spielen dabei Geschäftsmodelle wie Car-Sharing oder das Leasen von Autobatterien eine zentrale Rolle.

Die beiden Optionen schließen sich keineswegs aus; bereits heute gibt es Mobilität ohne Autobesitz und Car-Sharing hat einen zwar kleinen, aber stetig wachsenden Marktanteil. Bei den genannten Perspektiven handelt es sich somit eher um zwei Extrempunkte zwischen denen sich ein Kontinuum aufspannt. In vielen Studien werden die Mobilitätsmuster mittlerweile nicht als starr und unflexibel betrachtet, sondern bis zu einem gewissen Grad flexibel. Oft wird den Geschäftsmodellen dabei große Bedeutung beigemessen. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die im Zusammenhang mit der Elektromobilität diskutierten Geschäftsmodelle.

### 3.2.2 Geschäftsmodelle/ Nutzungskonzepte

Bereits im vorhergehenden Kapitel wurde mehrfach auf die Bedeutung neuer Geschäftsmodelle für die Entwicklung der Elektromobilität eingegangen. In vielen Studien<sup>46</sup> werden solche Geschäftsmodelle diskutiert, da sie die Möglichkeiten eröffnen, die technischen Nachteile gegenüber herkömmlichen Kraftfahrzeugen, zumindest teilweise auszugleichen. Oft stehen dabei Alternativen zum Autokauf und Besitz im Vordergrund womit den hohen Anschaffungskosten oder der begrenzten Haltbarkeit der Batterien entgegen gewirkt werden kann.

Verschiedene Ansätze für Geschäftsmodelle lassen sich beobachten. Häufig spielt die Akteurskonstellation eine wichtige Rolle. Heutige Pilotprojekte zur Elektromobilität setzen sich in der Regel aus mehreren Akteuren zusammen wie Automobilherstellern, Energieversorgern, dem Staat und weiteren Technologiepartnern. Um solche Pilotprojekte in Richtung Kommerzialisierung weiter zu entwickeln, müssen aus ihnen heraus profitable, langfristige Geschäftsmodelle entstehen (RolandBerger 2009). Unterschiedliche Organisationsmodelle sind dabei denkbar: Ein Partner, zumeist ein OEM stellt das Auto bereit, ein anderer ist für die Infrastruktur zuständig. Ein Beispiel wäre das E-Mobility Projekt von Daimler und RWE in Berlin. Andere Modelle bestehen nur aus einem OEM, der sich auf die Produktion der Fahrzeuge konzentriert und keine eigene spezielle Ladeinfrastruktur zur Verfügung stellt. Wieder andere Ansätze wie „Better Place“

---

<sup>46</sup> Vgl. z.B. Fraunhofer, PwC 2010; Marwede, Knoll 2010

(s.u.) stellen vor allem die Infrastruktur bereit und legen hier ihren Schwerpunkt, das Auto ist weniger von Bedeutung und wird von einem Partner zur Verfügung gestellt.

Die Installation von Ladestationen und deren Finanzierung allein über die Stromkosten erscheint schwierig. Hierfür werden Investitionen von 1.000 € bis 7.000 € plus Wartungskosten von 150 € im Jahr angesetzt (Wietschel 2009). Bei täglich fünf zu ladenden Fahrzeugen mit je 12 kWh und 0,20 €/kWh entspräche das einem Umsatz von etwa 4.400 €/Jahr (Marwede, Knoll 2010). Bei Berücksichtigung der Stromgestehungskosten lassen sich Investition und Betrieb also nur langfristig finanzieren, und dies in einem durch zukünftige Technologieentwicklungen und bisher nicht definierende Standards noch nicht gefestigtem Marktumfeld. Dementsprechend stellen beispielsweise die Stadtwerke Düsseldorf Ladestationen nur dann auf, wenn sie von der öffentlichen Hand gefördert werden; aus dem Verkauf des Stroms wären sie nicht finanzierbar.<sup>47</sup>

Vielen Ansätzen ist gemein, dass der Verbraucher das Auto oder zumindest die Batterie nicht mehr kauft und besitzt, sondern vornehmlich nutzt und für diese Nutzung bezahlt. Eine Möglichkeit, die hohen Anschaffungskosten von Elektroautos für den Endnutzer zu umgehen, ist z.B. konventionelles Leasing, mit dem kompletten Elektroauto als Leasingobjekt. So wird der neue vollelektrische iON von Peugeot ab Ende 2010 für rund 500 Euro pro Monat auf den deutschen Markt kommen (Peugeot 2010). Im Folgenden werden einige Geschäftsmodelle skizziert, die in der Literatur häufig Erwähnung finden und teilweise bereits in der Praxis umgesetzt werden.

### Car-Sharing und Elektromobilität

Ein Geschäftsmodell, welches auf den Bereich der Elektromobilität ausgedehnt werden könnte und zumindest ansatzweise auch schon wird, ist das Car-Sharing. Car-Sharing bezeichnet die gemeinschaftliche Nutzung von Autos, welche heute professionell von Car-Sharing-Organisationen organisiert und angeboten wird. Die Fahrzeuge werden dabei, oft auf speziell angemieteten Parkplätzen, über eine gewisse Gegend an strategisch wichtigen Knotenpunkten wie Bahnhöfen, Straßenbahn- und Bushaltestellen verteilt. In der „klassischen“ Form des Car-Sharings buchen die Kunden die Fahrzeuge vorab und nutzen sie dann für einen festgelegten Zeitraum. Die Kosten setzen sich aus den gefahrenen Kilometern und der gebuchten Zeit zusammen, zudem fällt eine monatliche Grundgebühr von meist wenigen Euro an.

Car-Sharing versteht sich als Teil einer kombinierten Mobilität und ist eher für unregelmäßige Fahrten geeignet, als für regelmäßige Pendelfahrten. Autobesitzer ist die Car-Sharing-Organisation, auch Wartung und Reparaturen werden von ihr normalerweise durchgeführt. Ca. 160.000 Kunden nutzen diese klassische Form des Car-Sharings mittlerweile in Deutschland, bei stetigen und meist zweistelligen Wachstumsraten über die letzten 15 bis 20 Jahre.<sup>48</sup> Deutschland ist bereits heute mit insgesamt 270 Städten, in denen Car-Sharing angeboten wird, der größte Car-Sharing Markt Europas (Frost, Sullivan 2010). Nach einer Studie von Frost & Sullivan (2010) wird Car-Sharing in Europa weiter wachsen, die Unternehmensberatung geht von etwa 5,5 Millionen Nutzern europaweit bis 2016 aus, andere Schätzungen liegen niedriger (BCS 2010). Neuere Konzepte experimentieren mit frei zu wählenden Rückgabezeiten „open-end“, der Möglichkeit, das Fahrzeug nicht an seinen Ursprungsort zurückbringen zu müssen (one-way option), sowie mit der Möglichkeit das Fahrzeug ohne aufwändige Vorbuchung sozusagen spontan nutzen zu können (Instant Access option) (Loose, Mohr, Nobis 2004).

Car-Sharing bietet im Gegensatz zum privaten Autobesitz im Hinblick auf Elektromobilität einige Vorteile bzw. die prinzipiellen positiven Effekte des Car-Sharings kommen in diesem Kontext besonders gut zur

---

<sup>47</sup> persönliche Mitteilung Dr. Susanne Stark, Stadtwerke Düsseldorf AG, Leiterin Energiewirtschaftliche Projekte, Projektleiterin Elektromobilität

<sup>48</sup> Vgl. <http://www.carsharing.de>

Geltung. Diese Vorteile sind die Verteilung der Fixkosten (Kfz-Steuer, Versicherungen, Wartung und Reparatur sowie Wertverlust) auf mehrere Schultern, welche insbesondere unter dem Aspekt des hohen Wertverlustes von Elektroautobatterien besonders interessant werden könnte (ADAC Motorwelt 2010). Auch die flexible, an den Bedarf angepasste Fahrzeugwahl und die damit verbundene Auswahl des erforderlichen Motorisierungsgrades (ICE, HEV, BEV) kommt der Elektromobilität zu Gute. Werden nur geringe Reichweiten für Unternehmungen innerhalb der Stadt beispielsweise benötigt, kann sich der Kunde ein Elektroauto nehmen, für den Urlaub hingegen kann er auf ein Auto mit Range Extender oder konventionellem Verbrennungsmotor zurückgreifen. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Erneuerungsquote des Fahrzeugpools, welche den Einsatz neuer, verbrauchsarmer Technologien generell begünstigt (Wilke 2002). Die Tatsache, dass viele Car-Sharing-Organisationen bereits eigene Infrastruktur (z.B. Schlüsseltresore) in Betrieb haben und speziell für ihre Autos angemietete Parkplätze unterhalten, dürfte eine konzentrierte und bedarfsgerechte Bereitstellung von Ladeinfrastruktur für BEVs begünstigen. Zu diesen technischen Vorteilen kommt, dass viele Car-Sharing-Nutzer ein hohes Umweltbewusstsein besitzen.

Aus all diesen Gründen erscheint eine verstärkte Integration von BEVs in Car-Sharing-Flotten sinnvoll, und ist laut Frost & Sullivan (2010) auch zu erwarten. Sicherlich sehr „optimistische“ Schätzungen von Frost & Sullivan (2010) gehen für Europa davon aus, dass 2012 jeder dritte Neuwagen eines Car-Sharing-Fuhrparks ein BEV sein wird und damit 20 % aller Car-Sharing-Autos batteriebetrieben sein würden. Letztlich darf aber nicht übersehen werden, dass auch die Car-Sharing-Anbieter auf eine wirtschaftliche Beschaffung ihrer Fahrzeuge achten müssen. Auch wenn sich BEV ins Betriebskonzept sehr gut einfügen lassen, bleiben die hohen Anschaffungskosten eine Hürde.

Vieles spricht dafür, dass zukünftig zumindest einige BEV in die Car-Sharing-Flotten integriert werden. So könnte Car-Sharing dazu beitragen die Markteinführung und Durchdringung von BEV zu beschleunigen und den Kunden Alternativen zum Kauf eines eigenen BEV bieten. Nicht zu vernachlässigen ist der Demonstrationseffekt den Elektroautos im Car-Sharing-Betrieb sowohl nach außen auf Passanten als auch für die Fahrer selbst haben. Für viele Menschen in Deutschland dürfte dies heute, neben den seit kurzem existierenden Angeboten von Autovermietungen (z.B. Sixt, siehe unten) oder Teilnahme an Pilotprojekten, die einzige Möglichkeit sein auf günstige und organisatorisch einfache Weise einmal selbst ein Elektroauto Probe zu fahren. Beispiele zeigen (siehe Kasten), dass Car-Sharing inzwischen auch von etablierten Automobilherstellern angeboten wird, die damit einen Schritt in Richtung Mobilitätsdienstleister gehen.

#### Beispiele für Car-Sharing (und ähnliche Ansätze)

**Autolib:** In Paris ist ab September 2011 das wahrscheinlich größte Car-Sharing-Projekt mit Elektroautos geplant, welches sich „Autolib“ nennt (Hopkins 2010). Der Plan sieht vor 3.000 Elektroautos an Parkstationen in Paris und der näheren Umgebung aufzustellen und für ca. 5 € pro 30 min Nutzungsdauer zu vermieten mit einem monatlichen Grundbeitrag von 15 €. Mehrere Autobauer für die Flotte sind im Gespräch, darunter auch Renault (ebd.). Das Programm ist sehr ähnlich aufgebaut wie das Elektrofahrradprogramm von Paris namens „Vélib“. Kunden können ohne Reservierung ein Auto von einem beliebigen Standort nehmen und es an einem anderen wieder abstellen. Das Programm ist also mit Instant Access und one-way Option ausgelegt. Es gibt Befürchtungen, dass es zu Vandalismus und Diebstählen insbesondere der teuren Batterien kommen könnte, da man im Velib Programm schlechte Erfahrungen mit gestohlenen oder beschädigten Fahrrädern machen musste (ebd.).

**Car2Go und Mu by Peugeot:** Zwei Beispiele in denen Autohersteller mit der Rolle als Mobilitätsdienstleister experimentieren sind „Car2Go“ in Ulm und „Mu by Peugeot“ in Berlin. Car2Go ist ein 2009 von Daimler in Ulm und Neu-Ulm initiiertes Car-Sharing-Projekt mit 200 Smarts, die ohne Vorbuchung (Instant Access), open-end und one-way allen registrierten Nutzern zur Verfügung stehen. Interessant an dem Modell sind die einfache Handhabung, das Wegfallen von Kautions- oder Monatsgebühren, das sehr simple Tarifmodell und der einfach gehaltene Zugang. Bisher steht nur ein Fahrzeugtyp zur Verfügung (N24 2010). Das Projekt wird sehr gut angenommen und wurde 2010 nach einem

Jahr Laufzeit um zusätzliche 100 Smarts erweitert (Gebhardt 2010). Etwa zwei Drittel der Car2go-Nutzer sind jünger als 30 Jahre (Fraunhofer, PwC 2010). Der Einsatz von Elektrofahrzeugen ist laut Aussage des Projektleiters Robert Henrich für die nächsten 2 bis 3 Jahre aus Kostengründen jedoch nicht geplant (N24 2010). Das Konzept soll auf Hamburg übertragen werden. Peugeot startete das Projekt „Mu by Peugeot“ in Berlin. Das Projekt umfasst eine breitere Angebotspalette, welche nicht nur aus Autos sondern auch Rollern, Elektrofahrrädern, Fahrrädern und Zubehör wie Dachgepäckträgern, Kindersitzen etc. besteht. Der große Unterschied zu Car2Go besteht darin, dass die Fahrzeuge nur an vier Filialen von Peugeot ausgegeben werden und dorthin auch wieder zurückgebracht werden müssen. Die Nutzung ist für registrierte Kunden günstiger, kann aber auch von nicht registrierten Kunden erfolgen (Blumenstein 2010). Bezahlt wird ähnlich dem Pre-Paid-Konzept des Handys mit so genannten Mobilitätspunkten, welche man sich auf sein Konto lädt. Im Gegensatz zum Ulmer Konzept, bei dem das Auto von Servicearbeitern zwischen den Vermietungen aufgetankt wird, oder der Kunde eine Vergünstigung bekommt, wenn er dies selbst tut, muss der Kunde bei Peugeot den Akku der E-Bikes und den Tank des Autos vor der Rückgabe aufladen bzw. auffüllen. Peugeot hat angekündigt ab Winter 2010 einige seiner iOn-Modelle in die Flotte mit aufzunehmen, und damit Elektroautos in das Programm zu integrieren (ebd.).

### Better Place

Das wohl bekannteste derzeitige Geschäftsmodell im Bereich der Elektromobilität ist „Better Place“. Dies ist der Name einer 2007 von Ex SAP Manager Shai Agassi gegründeten Firma, deren Ziel es ist eine flächendeckende Infrastruktur für Elektroautos aufzubauen.<sup>49</sup> Die Autos kommen vom Partner Renault-Nissan, der hierfür Serienmodelle wie den Renault Mégane und Nissan Quashgai elektrifiziert hat (Laufmann 2009).

Gestartet in Israel, hat die Firma mittlerweile mit Dänemark, Japan, Australien, einigen Städten in den USA (inklusive San Francisco) und Hawaii Verträge zum Aufbau der Infrastruktur unterzeichnet (Anderson, Mathews, Rask 2009). Das Unternehmen verkauft in erster Linie keine Autos, sondern Mobilität und orientiert sich hierfür am Konzept von Mobilfunkverträgen. Der Kunde kauft ein Strom- und Batterieabonnement, wie beim Handy gibt es das Nutzergerät, das Auto, gratis oder verbilligt unter der Bedingung, dass ein mehrjähriger Vertrag abgeschlossen wird, dazu (Hillenbrand 2008). Die Idee ist, dass verschiedene Tarifmodelle zur Wahl stehen: Flatrates für Vielfahrer oder kilometergenaue Abrechnung für Gelegenheitsfahrer. Jeder Kunde soll Zugriff auf 2,5 Ladestationen haben, eine bei ihm zu Hause, eine am Arbeitsplatz, die übrigen 0,5 Ladestationen wie herkömmliche Tankstellen verteilt, um eine möglichst vollständige Versorgung zu gewährleisten (Anderson, Mathews, Rask 2009; Laufmann 2009). Für Israel sind 500.000 Ladestationen geplant, womit jeder sechste Parkplatz elektrifiziert wäre (Laufmann 2009).

Ein Schlüsselement des Projektes ist die getrennte Betrachtung von Batterie und Auto. Wird die Batterie als herausnehmbare Einheit realisiert, lassen sich einige grundlegende Probleme angehen. Erstens, die Reichweite kann durch einen Batterietausch kurzfristig verlängert werden, zweitens, die teure Batterie muss nicht mehr vom Kunden gekauft, sondern kann geleast werden, drittens: sobald neue, leistungsfähigere Batterien auf den Markt kommen, können – Batteriestandards vorausgesetzt – auch Kunden mit älteren Elektrofahrzeugen hiervon profitieren (Agassi 2009).

Gesteuert wird das Ganze über eine intelligente Elektronik, die im Auto lokalisiert ist. Die Ladesäulen selbst werden aus Kostengründen möglichst simpel gehalten (ebd.). Die Software teilt dem Nutzer mit, wie viel Energie noch in der Batterie ist, wie viele Kilometer noch gefahren werden können, wo sich die nächste Ladestation befindet und sogar, ob diese gerade belegt oder frei ist (Laufmann 2009). Die Identifizierung des Fahrzeugs und die Abrechnung erfolgen automatisch per Software und Funkchip (Hillenbrand

<sup>49</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Better\\_Place](http://de.wikipedia.org/wiki/Better_Place); <http://www.betterplace.com>

2008). Auch an den worst case ist gedacht worden: sollte der Wagen doch einmal komplett ohne Strom liegen bleiben, kommt ein Servicetechniker, welcher die Batterie wieder notdürftig auflädt (Laufmann 2009).

Neben der Aufladung an der Steckdose ist auch die Möglichkeit des Batteriewechsels (vgl. Kapitel 3.1.5) vorgesehen, um die Mobilitätsbedürfnisse von Über-Landfahrern/ Fernfahrern zu befriedigen (Anderson, Mathews, Rask 2009). Wird diese Infrastruktur realisiert, träte das Elektroauto aus seiner Rolle als reines Stadtauto heraus und würde eine stärkere Konkurrenz zum reinen Verbrennungsauto. Die Herausforderungen vor denen Better Place steht, sind vielfältig, Regierungen müssen überzeugt, Automobilhersteller für eine Standardisierung gewonnen und Kunden an das neue Nutzungsmodell mit der Bindung an einen Mobilitätsprovider gewöhnt werden. Für Dänemark, Israel und Australien ist der Markteintritt für Ende 2011 geplant. Kürzlich kündigte Better Place an, den Betrieb von BEV-Taxis in der Region San Fransisco aufzubauen, mit Batteriewechselstationen als zentralem Baustein.<sup>50</sup> Dabei sollten eine hohe Sichtbarkeit und der Nachweis der routinemäßigen Einsetzbarkeit über Kurzstrecken hinaus dem Image von BEV zuträglich sein.

### **Urban Commuter**

Ein weiteres Mobilitätskonzept mit Elektrofahrzeugen, welches das „Problem der Reichweite“ angeht, wurde 2009 von der Schweizer Firma Rinspeed vorgestellt. Es handelt sich um einen elektrischen Zweisitzer, der als Pendlerfahrzeug gedacht ist, deshalb der Name des Projekts: „Urban Commuter“ (Rinspeed 2010). Das Auto soll per speziellem Waggon-System auf einen Eisenbahn-Zug verfrachtet und dort geladen werden können, womit längere Strecken bequem, stau- und stressfrei überbrückbar würden. Eine Verzahnung von individueller Mobilität und dem öffentlichen Verkehr soll gelingen, Buchung und Platzreservierung für die Spezialwaggons soll aus dem Fahrzeug heraus online erfolgen können. Die Erfinder betonen den Komfortfaktor von ihrem Konzept, da es dem Fahrer während der Zugreise möglich wäre, sich entweder im Zug aufzuhalten oder im Auto, welches mit Videokonferenz, E-Mail und vielem mehr ausgestattet sein soll. Neben der Fahrzeugvariante für den Pendler ist auch ein spezielles Kurierfahrzeug genannt „Unlimited Commuter“ geplant.

### **Autovermietung**

Auch Autovermietungen beginnen die Elektromobilität für sich zu entdecken. Seit Mai 2009 bietet Sixt in Partnerschaft mit RWE in Deutschland an wechselnden Standorten verschiedene Elektrofahrzeuge (Karabag 500 E und Micro-Vett Fiorino E) in einem Pilotprojekt zur Vermietung an (Keilerman 2010). RWE stellt dabei die Ladesäulen zur Verfügung. Weitere Anbieter haben angekündigt in Zukunft auch Elektrofahrzeuge in ihr Angebot zu integrieren, beispielsweise Hertz mit dem Nissan Leaf oder Avis mit verschiedenen Renault Z.E. Fahrzeugen ab 2011 (Baumann 2010; Avis & Renault 2010).

Noch sind viele, der eben vorgestellten Geschäftsmodelle Nischenprodukte oder nicht in Deutschland verfügbar (Better Place, Urban Commuter). Welche Geschäftsmodelle sich durchsetzen werden, hängt neben der Entwicklung von Technik und Preis der BEV, sicherlich auch davon ab, ob sich die Mobilitätsmuster verändern werden, oder nicht. BEV haben heutzutage eindeutig eine eingeschränktere und unflexiblere Nutzbarkeit als „normale“ Autos. Wird diese Tatsache aber von den Nutzern als Nachteil wahrgenommen oder kann im Gegenteil sogar die Entstehung einer neuen Mobilitätskultur begünstigen, in der das BEV nach und nach immer mehr das konventionelle Fahrzeug verdrängt und Fahrten auf andere Verkehrsträger

---

<sup>50</sup> <http://www.betterplace.com>



verlagert werden oder sogar entfallen? Die heutige Vorstellung von Mobilität ist stark vom Auto und den Optionen, welche es eröffnet, geprägt.<sup>51</sup>

Selbst wenn es gelingt, Car-Sharing und den öffentlichen Verkehr flexibler und komfortabler zu gestalten bleibt die symbolische Besetzung des Automobils, die über dessen Funktion als Statussymbol hinausgeht.<sup>52</sup> Dazu gehört auch die hohe Bedeutung, die gerade deutsche Autonutzer (vgl. RolandBerger 2010), dem Besitz eines eigenen Autos zuweisen. Die Frage ist, ob und wann sich diese Rolle des eigenen Autos ändern wird. Wie oben erwähnt (Kapitel 3.2.1), scheint sich bei Jugendlichen eine pragmatischere Einstellung zur Mobilität zu entwickeln, bei der die symbolische Funktion des Autobesitzes an Bedeutung verliert. Nahe liegende Schlussfolgerung wäre, dass damit auch der Autobesitz weniger wichtig wird, und sich die Bereitschaft sich auf alternative Angebote einzulassen erhöht.

### 3.2.3 Sicherheit und Handhabung

Unter dem Aspekt der Sicherheit gibt es insbesondere bei der Batterie große Bedenken, sollte es zu einem Unfall oder Brand kommen. Der TÜV Süd beschreibt die Sicherheitsstandards für Lithium-Ionen-Batterien als lückenhaft und sieht erhöhten Handlungsbedarf in Sachen Normung von Crashtests und Prüfung (Härter 2009). So gebe es zwar Kriterien für Batterie-Crashtests hinsichtlich Brand- und Explosionsgefahr, toxische oder kanzerogene Stoffe seien jedoch nicht berücksichtigt. Des Weiteren werden Standards für den Verbau der Batterie gefordert und ein Heck-Crash für die Zulassung von Großserienfahrzeugen (die meisten Hersteller planen die Unterbringung der Batterie im Heck ein). Sie warnen vor den geringen Anforderungen, die an Kleinserienfahrzeuge gestellt werden und fordern internationale Sicherheitsstandards für alle Fahrzeuge.

Neben der Batteriesicherheit birgt die oftmals geringere Größe und das Gewicht, sowie die reduzierte Sicherheitsausstattung elektrischer Leichtfahrzeuge<sup>53</sup> (z.B. Twike, E-Scooter, Pedelecs usw.) ein Gefahrenpotential und schafft im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen ein Ungleichgewicht zwischen den Verkehrsteilnehmern, nicht unähnlich der Situation von Motorrädern. Benutzer von Leichtfahrzeugen berichten, dass sie sich ähnlich wie Fußgänger oder Radfahrer als relativ schwache Verkehrsteilnehmer empfinden (Knie et al. 1999). Die Begegnung von schweren Lkw und Elektrischen Leichtfahrzeugen auf ein und derselben Fahrspur wirft damit vergleichbare Fragen in punkto Sicherheit und Gesetzgebung auf, wie dies bei Elektrofahrrädern heute schon der Fall ist (siehe auch Box Kapitel 3.2.1 zu Elektrofahrrädern).

Neben den Sicherheitsrisiken im Auto wird auch das Thema Vandalismus in Bezug auf die öffentlichen Ladeeinrichtungen diskutiert. Da das Laden in der Öffentlichkeit im Normalfall nicht im Beisein des Fahrers stattfindet, eröffnen sich Möglichkeiten zur Beschädigung oder Manipulation von Stromquelle, der Verbindung zwischen Auto und derselben oder auch des Anschlusses am Auto selbst. Autohersteller und die Entwickler der Stromladeinfrastruktur scheinen das Thema im Blick zu haben, ob die bisherigen Konzepte sicher sind, die Entwickler alle Eventualitäten bedacht und entsprechende Vorkehrungen zum Schutz der Infrastruktur vor Sabotage und Zerstörung getroffen haben, wird aber erst die Zukunft zeigen.

Die technischen Veränderungen im Fahrzeug werden für die zukünftigen Nutzer das Erlernen neuer Bedienelemente und eine Anpassung des Fahrstils erfordern. Elektromotoren reagieren empfindlicher auf hochtouriges Fahren (VCÖ-Forschungsinstitut 2009) und die volle Beschleunigung steht bereits aus dem Stand heraus zur Verfügung. Nach einer kurzen Umstellphase werden diese Neuerungen vergleichbar der Umstellung zwischen Schalt- und Automatikgetriebe gut beherrschbar sein. Etwas anders sieht es mit der Umstellung des heutigen Tankvorgangs auf die Nachladung der Batterien per Kabel aus. Vergisst man

<sup>51</sup> Georg Wilke in (Wissenschaft im Dialog o.J.)

<sup>52</sup> Georg Wilke in (Wissenschaft im Dialog o.J.)

<sup>53</sup> Definiert als Fahrzeuge mit einer Leermasse < 350 kg und einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h

abends das Kabel einzustecken oder kommt der Kontakt nicht richtig zustande kann dieser „Fehler“ nicht so schnell behoben werden.

Unter dem Gesichtspunkt der Handhabung ist zudem relevant, dass sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Konzepte für die Ausgestaltung von Elektrofahrzeugen beobachten lassen. Zum einen die Fahrzeugkonzepte, die versuchen konventionelle Fahrzeuge weitgehend nachzubilden, zum anderen Konzepte, die sich äußerlich bewusst absetzen, meist extrem leicht und auch kleiner sind (Zweisitzer, Dreiräder...) und per se oftmals anderen Ansprüchen in punkto Komfort, Geschwindigkeit und Sicherheit genügen und dies auch so wollen (Knie et al. 1999). Wie Nutzer ihr Gefährt bewerten, hängt ganz entscheidend damit zusammen, welche „Fahrzeugphilosophie“ sie vertreten. Sehen sie das Elektrofahrzeug als konventionelles Auto an, welches „nur“ einen anderen Antrieb hat, oder gestehen sie ihm eine neue, eigene Identität zu und ziehen keinen direkten Vergleich zu den Leistungsmerkmalen der konventionellen Verbrennungsfahrzeuge. Neben dem schon erwähnten Aspekt des veränderten Fahrverhaltens ist vor allem die andere Wahrnehmung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ein Bereich, der Sicherheitsfragen aufwirft.

Hybrid- und Elektrofahrzeuge sind im Stand und bei niedrigen Geschwindigkeiten bis auf das Rollgeräusch praktisch lautlos. Diese Geräuscharmheit birgt Gefahren für den Fahrer (reduziertes Motorengeräusch verfälscht die Einschätzung wie schnell man selbst fährt, generell veränderte akustische Rückmeldung) und andere Verkehrsteilnehmer. Spielende Kinder können das Fahrzeug nicht wie gewohnt wahrnehmen und auch Fußgänger oder Radfahrer werden, wenn sie sich auf ihr Gehör verlassen, später von dessen Anwesenheit erfahren. Insbesondere für Blinde und Sehbehinderte, ältere Menschen, Kinder und unachtsame Fußgänger bestehen Sicherheitsbedenken. Mit der Tendenz zu immer leiser werdenden konventionellen Fahrzeugen kann sich diese Problematik auch auf die Fahrzeuggruppe der Verbrennungsfahrzeuge und Mopeds übertragen. Implikationen ergeben sich für die Verkehrserziehung von Kindern, aber auch für die Konditionierung der Gesellschaft insgesamt auf das „Verbrennergeräusch“ als akustisch wichtiges Signal zur Gefahrenerkennung im Straßenverkehr.

Die Frage, ob Hybrid- und Elektroautos tatsächlich ein erhöhtes Sicherheitsrisiko für andere Verkehrsteilnehmer darstellen, versucht ein Bericht der USA National Highway Traffic Safety Administration zu beantworten. Er kommt zu dem Schluss, dass Hybrid- und Elektroautos fast zweimal häufiger in Unfälle mit Radfahrern oder Fußgängern verwickelt sind als konventionelle Fahrzeuge (Thomas 2009). Untersucht wurden Eintrittswahrscheinlichkeiten von Fahrrad- und Fußgängerunfällen in Situationen mit niedrigen Geschwindigkeiten (Refaat 2009). Auch eine Studie der University of California (Robart, Rosenblum 2009) kommt zu dem Schluss, dass ein erheblicher Unterschied zwischen Autos mit Elektroantrieb und Verbrennungsmotor in punkto Hörbarkeit im Straßenverkehr besteht. In ihrer Studie konnte insbesondere die Richtung, aus der die Autos im Elektrobetrieb an die Testpersonen herankamen im Vergleich zu konventionellen Autos deutlich später wahrgenommen werden. Ein Ansatz, dass mit der Geräuscharmheit einhergehende Sicherheitsrisiko zu verringern, ist der Einsatz von künstlich hinzugefügten Geräuschen für Hybride und reine Elektroautos. Als notwendig erachtet wird dies nur unterhalb einer gewissen Geschwindigkeit von 20 km/h, andere Quellen gehen von 32 bis 40 km/h (u.a. Rosenblum 2008) aus. Oberhalb derselben werden Elektroautos wie konventionelle Fahrzeuge durch Nebengeräusche wie das Rollgeräusch oder den Fahrtwind deutlich wahrgenommen. An der Ausgestaltung des allgemein vorgeschlagenen Lösungsweges, die Sicherheit durch künstlich hinzugefügte Geräusche zu erhöhen, wird bereits von Autoherstellern (PSA Peugeot Citroen, Renault (Pearson 2010), Nissan, Toyota (Autoheise 2010)) und Forschern (Nyeste, Wogalter 2008) gearbeitet. Im neuen Nissan Leaf wird es einen eingebauten Sound, den sog. „Approaching Vehicle Sound for Pedestrians“ geben, welcher unterschiedliche Geräusche für Vorwärts- und Rückwärtsfahren aussendet (Motavalli 2010). Kritik kommt von der „National Federation of the Blind“ in den USA, da es dem Fahrer überlassen wird, das Geräusch ein- oder auszuschalten (ebd.).

Als Reaktion auf die geäußerten Sicherheitsbedenken, diskutieren verschiedene Länder auch über Gesetze und Richtlinien, um Elektroautos und Hybride für andere Verkehrsteilnehmer besser wahrnehmbar zu machen. Für die EU berichtet die Sunday Times, dass ein entsprechendes Gesetz bis 2012 geplant ist (Webster 2010). Die europäische Wirtschaftskommission (UN/ ECE) arbeitet an Richtlinien für Geräusch-Minimalstandards in diesem Zusammenhang (Europäische Kommission 2010; Pearson 2010). In den USA ist ein Gesetz in Arbeit, welches einen minimalen Geräuschpegel vorschreibt und in der „broader vehicle safety legislation“ untergebracht sein wird (Pearson 2010).

Insgesamt gibt es ein Dilemma zwischen den gesellschaftlich gewünschten Lärmreduzierungsmöglichkeiten, die das Elektroauto potentiell bietet, und den Gefahren, die mit dieser Lautlosigkeit einhergehen können.

Als letzter Aspekt zum Thema Sicherheit im Bereich der Elektromobilität soll der sensible Bereich des Datenschutzes erwähnt werden. Hier eröffnen sich, insbesondere auf Grund der Vernetzung von Fahrzeug, Stromabgabestelle und Netzbetreiber sowie eventuell dazwischen geschalteten Dienstleistern, Möglichkeiten, die Fülle von Informationen, welche ausgetauscht und gespeichert werden, auszuspionieren und nicht im Sinne des Nutzers zu verwenden. Um die Ausgestaltung des oft genannten „Internets der Energie“ datenschutzrechtlich und datengesichert zu gestalten, gibt es eine eigene Begleitforschung der Förderprojekte E-Energy und IKT für Elektromobilität (E-Energy 2010a).

### 3.2.4 Politische Rahmenbedingungen

Die Politik hat eine Vielzahl von Möglichkeiten die Elektromobilität zu fördern. Neben gesetzlichen Vorgaben zu CO<sub>2</sub>-Emissionen sind dies Strafen, falls Grenzwerte nicht eingehalten werden, steuerliche Voroder Nachteile, die Förderung von Forschung und Entwicklung durch Forschungsprogramme, Besteuerung von Kraftstoffen, einmalige Subventionen beim Fahrzeugkauf und weitere Privilegien für Elektroautofahrer, wie spezielle Parkmöglichkeiten, vergünstigte Auflademöglichkeiten, Befreiung von City-Maut und die Erlaubnis besondere Fahrstreifen zu nutzen. Solche Anreizmaßnahmen und elektromobilitätsfreundliche Rahmenbedingungen könnten ein wichtiger Schritt sein, um sowohl die Akzeptanz von Elektromobilität in der Bevölkerung als auch die Marktdurchdringung zu erhöhen.

Die Europäische Union veröffentlichte am 23. April 2009 neue Emissionsnormen für Personenkraftwagen. Darin wurde festgelegt, den Grenzwert im gesamten deutschen Flottendurchschnitt bei Neuwagen bis 2012 auf 130 g CO<sub>2</sub>/km zu senken (Umweltbundesamt 2009). Die Einführung erfolgt gestaffelt mit einer schrittweisen Erhöhung des Prozentsatzes der Neuwagenflotte, welche den Grenzwert einhalten muss, bis zum Jahre 2015. Festgelegt sind außerdem Strafzahlungen, welche, pro Gramm CO<sub>2</sub> über dem Grenzwert und pro verkauftes Auto, von den Autoherstellern zu entrichten sind. Kritisiert wird, dass die Strafzahlungen zu gering sind und nicht alle Fahrzeuge aus der Flotte in die Berechnung eingehen (ebd.).

### Förderung von Forschung und Entwicklung

Das Thema Elektromobilität wird in Deutschland von Seiten des Bundes, insbesondere durch den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“, angegangen. Gemeinsam mit dem Thema der Erneuerbaren Energien ist das Thema im „Integrierten Energie- und Klimaprogramm“ (IEKP) verankert und in den Ressorts des BMWi, BMVBS, BMU und BMBF untergebracht (Die Bundesregierung 2009). Der Nationale Entwicklungsplan ist auf zehn Jahre angelegt und soll den Rahmen für Forschung, Technologieentwicklung und die geplante Markteinführung von Plug-In-Hybriden und BEVs in Deutschland stecken.

Erste konkrete Ziele für die Marktdurchdringung der Elektromobilität wurden von der Bundesregierung 2007 im IEKP formuliert (Die Bundesregierung 2007). Zielvorgabe ist es, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge in Deutschland zu haben, deren Strombedarf durch Erneuerbare Energien gedeckt werden soll.

Gleichzeitig soll die Elektromobilität zur besseren Integration der fluktuierenden EE beitragen, indem die Batterien in Fahrzeugen als Zwischenspeicher für Phasen, in denen die regenerative Stromproduktion den Bedarf übersteigt, zur Verfügung stehen (Die Bundesregierung 2008).

Deutschland möchte die starke Rolle seiner Automobilindustrie auch bei neuen Antriebstechnologien beibehalten und wenn möglich ausbauen. Von Seiten der Politik wird dies durch die Forderung: „Deutschland soll zum Leitmarkt für die Elektromobilität werden“ ausgedrückt (ebd.). Neben der reinen Technologieentwicklung sollen neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen entwickelt werden und eine Stadt- und Raumplanung im Kontext der Elektromobilität entstehen.

Zur Umsetzung der genannten Ziele werden verschiedene Fördermaßnahmen aus Mitteln des Konjunkturpaketes II finanziert. Neben dem schon erwähnten Förderschwerpunkt „Intelligente Netze, erneuerbare Energien und Elektromobilität“ mit dem Focus auf IKT ist dies vor allem das Förderprogramm „Modellregionen Elektromobilität“ des BMVBS. Hier werden insgesamt 8 Regionen in Deutschland von 2009 bis 2011 mit ca. 115 Millionen Euro vom Bund gefördert (BMVBS 2010). Im Vordergrund der Programme steht die praktische Umsetzung der Elektromobilität im Alltag unter realen Bedingungen.

Die Verknüpfung der Elektromobilität mit dem Energiebereich wird explizit im „E-Energy“ Förderprogramm des BMWi und BMU adressiert. In sechs ausgewählten Modellprojekten wird an einem „Internet der Energien“ gearbeitet. Mit Hilfe von IKT sollen intelligente Energiesysteme entwickelt werden, die Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit miteinander vereinbaren (E-Energy 2010b). Die Elektromobilität ist hier insofern wichtig, da sie als Möglichkeit zur Zwischenspeicherung von Energie angesehen wird (Sovacool, Hirsh 2009).

Neben den gerade erwähnten Maßnahmen zur Forschungs- und Entwicklungsförderung, sind viele weitere Anreize denkbar, welche die Marktdurchdringung von EVs beschleunigen könnten. Eine häufig genannte Forderung an die Politik ist es, steuerliche Vergünstigungen oder Subventionen für den Autokauf bereitzustellen.

### **Subventionen & Steuern**

Viele Länder subventionieren bereits den Kauf von Elektrofahrzeugen. In Frankreich sind bis 2020 Kaufsubventionen von 5000 € pro Auto, eine kostenlose Zulassung des Autos und vergünstigte nächtliche Ladengebühren geplant (Bain & Company 2010). In Oslo werden nicht nur Kauf und Unterhalt vom Staat gefördert (Neuwagen- und Mehrwertsteuer entfallen, keine Kfz-Steuer); Elektroautos genießen auch anderweitige Privilegien im Alltag. Sie dürfen auf öffentlichen Parkplätzen kostenlos parken, sind von der City-Maut befreit und dürfen auf der Busspur fahren, was ihnen tägliche Staus im Berufsverkehr erspart (Krohn 2009). Einen Überblick über staatliche Förderung beim Kauf von Elektroautos weltweit gibt Bünnagel (2009).

In Deutschland sind Elektrofahrzeuge momentan für die ersten fünf Jahre nach Zulassung von der Kraftfahrzeugsteuer befreit, anschließend wird eine Besteuerung nach Fahrzeuggewicht vorgenommen. Andere Privilegien sind im Gespräch und werden sicherlich im Einzelfall in Pilotprojekten auch gewährt, sind aber nicht flächendeckend umgesetzt oder festgeschrieben.

Neben staatlicher Förderung auf Verbraucherseite kann der Staat auch selbst aktiv werden und durch den systematischen Einbau von Elektrofahrzeugen in die eigenen Fuhrparks ein Zeichen setzen, sowie zur Nachfrageförderung beitragen. Flottenfahrzeuge profitieren allgemein aufgrund ihrer relativ hohen Kilometerleistung von den niedrigeren Energiekosten oftmals stärker als private Pkw und haben daher, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, trotz des vergleichsweise hohen Anschaffungspreises das Potential, früher rentabel zu werden (Kolloosche, Schulz-Montag, Steinmüller 2010).

Zur Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen im Flottenbetrieb berichtet Technomar in Auszügen aus einer Studie von Barkawi Management Consultants. In ihr wird der Flottenbetrieb von Elektrofahrzeugen im Kurierbetrieb simuliert (Erfolg! 2010). Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass eine anfängliche Kostenersparnis von 1417 € pro Jahr gegenüber einem Dieselfahrzeug existiert. Diese Kostenersparnis kann, aufaddiert im Lauf der Jahre, eine Kaufpreisdifferenz von ungefähr 9500 € ausgleichen. Dadurch ist laut Aussage der Studie ein Betrieb zu identischen Kosten „ab einer Anschaffung im Jahr 2014/ 2015 mit dem gegebenen Lastprofil unter Berücksichtigung der Kaufpreisdifferenz möglich.“ Darin sind noch nicht potentielle Förderbeträge in der Anschaffung, komplette Kfz-Steuer-Befreiung und Vorteile aus dem CO<sub>2</sub>-Emissionshandel berücksichtigt.

Nicht nur steuerliche Anreize und Kaufsubventionen sind im Gespräch, auch Belastungen, um die erwarteten Ausfälle der Mineralölsteuer zu kompensieren. Hierzu wird eine Art Strom- oder Ladestromsteuer diskutiert. Ob, in welcher Form und ab wann, diese kommen könnte, dazu gibt es bisher keine Aussage der Bundesregierung. Das Thema wird kontrovers diskutiert. Der bayerische Umweltminister Söder fordert beispielsweise in einem Strategiepapier zur Elektromobilität „eine vollständige und unbefristete“ Steuerbefreiung für Elektroautos und einen Erlass der Kfz-Steuer (dpa 2010). Auch das Deutsche Verkehrsforum (2009) spricht sich in seinem Positionspapier zur Elektromobilität ausdrücklich gegen eine zusätzliche Besteuerung für Ladestrom aus. Eventuelle Prämien als Kaufanreiz sieht es nur vorübergehend als sinnvoll an und plädiert für bessere Abschreibemöglichkeiten im gewerblichen Bereich. Eine deutsch-französische Arbeitsgruppe aus Verbänden, OEMs, Ministerien und Energiekonzernen spricht sich in ihrem Positionspapier „Results of discussions of the French-German working group on infrastructure“ vom Februar 2010 ebenfalls gegen eine Fahrstromsteuer aus (BMW 2009). Das Papier wendet sich zwar gegen eine Besteuerung des Stromes, behandelt aber gleichzeitig das Thema Internationales Roaming als Geschäftsmodell und sieht dieses als notwendig an. Damit würde den Energiekonzernen die Möglichkeit eröffnet, ähnlich wie im Mobilfunksektor, erhöhte Preise von Kunden, die von anderen Anbietern kommen, einfordern zu können.

### 3.2.5 Umweltauswirkungen

Elektromobilität wird nicht zuletzt wegen ihrer erhofften positiven Auswirkung auf das Klima und die menschliche Gesundheit von Vielen als erwünschte und förderungswürdige Technologie eingestuft. Die Bundesregierung sieht in ihr das Potential, sowohl den Treibhauseffekt zu verringern und damit dem Klimaschutz zu dienen, also auch lokal die Umwelt von Schadstoffen, Feinstaub und Lärm zu befreien (Die Bundesregierung 2009). Die Möglichkeit des lokal CO<sub>2</sub>-freien Fahrens durch die Nutzung von elektrischen Antrieben erscheint insbesondere vor den hochgesteckten Zielen zum Klimaschutz der EU, aber auch des Weltklimarates (Europäische Kommission 2007), welche einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf zwei Grad Celsius im Vergleich zu vorindustrieller Zeit vorsehen, interessant.

#### Emissionen & Feinstaub

Da der Verkehrssektor einen erheblichen Anteil an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen hat – in Deutschland sind es für den Pkw-Verkehr Anteil alleine über 12 % (McKinsey & Company 2010) – und mit einer Optimierung des Verbrennungsmotors alleine die angestrebten Ziele nicht erreichbar scheinen, ist ein Einsatz von Fahrzeugen mit emissionsärmeren Antrieben unabdingbar.

Das Potential zur Verringerung der CO<sub>2</sub>- und anderer Emissionen ist also eines der Hauptargumente für die Förderung und den verstärkten Ausbau der Elektromobilität. Ob Elektrofahrzeuge aber tatsächlich insgesamt weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen als konventionelle Fahrzeuge, ist somit von entscheidender Bedeutung und wird konträr diskutiert. Während Wolfgang Lohbeck (Verkehrsexperte bei Greenpeace) in einem ZEIT-Artikel vom 27.08.2010 (Lohbeck 2010) äußert, dass Elektroautos „heute und auf lange Sicht [...] via Kraftwerk nicht weniger, sondern mehr CO<sub>2</sub> als ein vergleichbares Auto mit Verbrennungsmotor

nach dem aktuellen Stand der Technik“ emittieren, kommt eine Studie der Universität Stuttgart zu einem gegenteiligen Ergebnis. Laut der Stuttgarter Studie „Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität“ weisen Elektrofahrzeuge schon heute geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen auf als vergleichbare Referenzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Benzin als Treibstoff. Dieser positive Trend kann sich zukünftig durch eine angenommene Reduzierung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromherstellung noch verbessern. Dabei ist zu bedenken, dass auch bei konventionellen Verbrennungsmotoren noch Effizienzsteigerungen erwartet werden können.

Im Detail:

Die Studie der Universität Stuttgart untersucht die Well to Tank-(Emissionen die bei der Kraftstoffbereitstellung anfallen) und Tank to Wheel-(beim Kraftstoffverbrauch) CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener elektrischer und hybrider Antriebskonzepte im Vergleich zu konventionellen Referenzfahrzeugen (Blesl et al. 2010). Drei verschiedene Nutzertypen mit jeweils unterschiedlichen Fahranteilen Innerorts, Außerorts und täglichen Wegstrecken wurden dabei miteinander verglichen.

Folgende Ergebnisse werden vermittelt:

Erstens: Die Well to Tank-CO<sub>2</sub>-Emissionen hängen stark vom Produktionspfad der Stromproduktion ab. Wird dieser aus Erneuerbaren Energien gewonnen, fallen fast keine Well to Tank-Emissionen an, sind es fossile Energieträger sieht das Ergebnis deutlich schlechter aus. Für die Analyse wurde der deutsche Strommix des Jahres 2007 nach UBA (2009) angenommen.

Zweitens: Schon heute sind die Well to Wheel-CO<sub>2</sub>-Emissionen im Kleinwagenbereich unabhängig vom Nutzerprofil für alle alternativen Antriebskonzepte (BEV, HEV, PHEV und FCEV) geringer als diejenigen der Referenz-Benzinfahrzeuge, am kleinsten bei den BEVs und PHEVs. Das gleiche Muster für die Well to Wheel-Emissionen belegt die Studie auch für das Mittelklassesegment mit absolut gesehen höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die Studie Blick macht auch eine Schätzung für das Jahr 2030 und nimmt dafür die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionswerte für Stromerzeugung an, die im Rahmen der Studie „Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit herausgegeben werden (BMW I 2005). Demnach verringern sich die Emissionen der Referenzfahrzeuge aufgrund von sinkendem Kraftstoffverbrauch, die mit Abstand größte Reduktion bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen ist aber bei den BEVs zu finden. Der Grund hierfür ist vor allem die angenommene Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der deutschen Stromerzeugung von heute 173,3 kg/GJ auf 80,4 kg/GJ im Jahr 2030 (Blesl et al. 2010). Hiervon profitieren die BEVs am stärksten, aber auch die PHEVs, wobei hier nur der Fahranteil im elektrischen Modus betroffen ist.

Neben den CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen beim Verbrennungsprozess auch weitere unerwünschte Nebenprodukte wie Stickoxide. Sie sind für die menschliche Gesundheit schädlich und beeinträchtigen die Lungenfunktion, spielen aber auch bei der Versauerung und Eutrophierung von Gewässern und Böden eine Rolle (VCÖ-Forschungsinstitut 2009). Diese Emissionen fallen bei Elektrofahrzeugen im Betrieb weg und werden vor allem nicht wie bei konventionellen Autos, in unmittelbarer Nähe zum Menschen abgegeben.

Eine weitere Umweltbelastung, die man durch die Elektromobilität verringern möchte, ist der Feinstaub. Hier erhofft man sich eine deutliche Entlastung geplagter Innenstadtbereiche. Lediglich der Reifenabrieb,

der immerhin noch mit durchschnittlich knapp 5 % zu den gesamten Feinstaubemissionen im PM10<sup>54</sup> Bereich beiträgt, kann nicht auf diese Weise reduziert werden (Rosenow 2008). Grundsätzlich sind Elektrofahrzeuge damit gut geeignet, den Liefer- und Individualverkehr in Innenstadtbereichen abzudecken, wo aus Umweltschutzgründen schon heute andere Fahrzeuge ausgeschlossen sind.

Die Umweltauswirkungen von Elektroautos und ihre Energiebilanz hängen nicht nur von deren Herstellung, dem verwendeten Strommix und den nachgeordneten Recyclingprozessen ab (siehe Kapitel 3.2.6), sondern auch von deren Einsatz bzw. welche anderen Verkehrsmittel durch sie substituiert werden. Wird beispielsweise ein Elektroleichtfahrzeug als Fahrradersatz genutzt, steigt der Energieverbrauch, wird ein Elektroauto anstatt eines konventionellen Autos eingesetzt, eröffnet sich Potential zur Reduktion von Emissionen und Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr (Knie et al. 1999). Elektromobilität bedeutet also nicht grundsätzlich weniger Emissionen und weniger Energieverbrauch. Es besteht auch die Gefahr, dass aufgrund der niedrigen Grenzkosten und des „grünen Images“ Verbraucher verstärkt auf das Autofahren mit BEVs umsteigen könnten. Des Weiteren könnte der Druck auf Politik und Hersteller sinken, die Effizienzsteigerung der konventionellen Fahrzeuge voranzutreiben und das Verkehrssystem insgesamt neu zu strukturieren.

### 3.2.6 Rohstoffe und Recycling

Für die heutige Batterietechnologie spielt Lithium als Basismaterial eine herausragende Rolle (Angerer et al. 2009), da Lithium-Ionen-Batterien derzeit aufgrund von Größen und Gewichtsvorteilen, aber auch Lebensdauer und Zyklenfestigkeit (VCÖ-Forschungsinstitut 2009), die Nickel-Metallhydrid-Batterien verdrängen. Die Frage nach der Verfügbarkeit von Lithium ist daher von entscheidender Bedeutung (Angerer et al. 2009). Ein Großteil der bekannten Lithiumreserven (84 %) liegen in Südamerika, etwa zwei Fünftel davon in Bolivien (VCÖ-Forschungsinstitut 2009). Bolivien fördert derzeit kein Lithium und fällt deswegen zurzeit als Rohstoffquelle aus. Die Regierung hat jedoch angekündigt, es ab 2013 abzubauen, allerdings im Alleingang ohne Einbezug der Privatwirtschaft (Deutsche Bank 2008). Würde Bolivien seine Lithiumreserven weiterhin nicht zur Verfügung stellen, könnte nach Kalkulationen der Deutschen Bank schon 2017 die Nachfrage an die angenommene maximale jährliche Förderkapazität von 200.000 Tonnen stoßen (ebd.). Es wird aber davon ausgegangen, dass ein steigender Rohstoffpreis für Lithium die Entdeckung neuer Rohstoffvorkommen und die Entwicklung neuer Technologien zur Lithiumgewinnung fördern wird. Aufgrund dessen und unter Einbezug eines angenommenen zukünftigen großflächigen Batterierecyclings geht die Deutsche Bank davon aus, dass Lithium langfristig als Rohstoffquelle für die Automobilindustrie zur Verfügung stehen wird.

Auch nach einer Studie des Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) ist bis 2050 unter Einbeziehung der Bedarfsentwicklung auf dem Fahrzeugbatteriemarkt, welche mittels zweier Marktpenetrationsszenarien berechnet wurde, und der Verknüpfung mit Sammel- und Recyclingquoten nicht mit einem Engpass der Lithiumreserven zu rechnen (Angerer et al. 2009).

Vor dem Hintergrund der begrenzten Rohstoffverfügbarkeit, aber auch zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Elektromobilität, stellt sich die Frage nach dem Recycling. Welche Teile sollen recycelt werden, sind die Verfahren hierfür vorhanden und werden sie bereits angewandt? Bisher liegt der Schwerpunkt auf dem Recycling der Lithium-Ionen-Batterien und hier insbesondere auf der Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer (GRS Batterien 2007). Lithium-Ionen-Batterien von Elektro- und Hybridfahrzeugen enthalten eine nicht unerhebliche Menge von 2 bis 6 kg Lithium je nach Batteriekapazität (Angerer et al. 2009). Zu deren Recycling wären Sammelkonzepte vergleichbar dem der heutigen Starterbatterien

---

<sup>54</sup> PM10 bezeichnet die Masse aller im Gesamtstaub enthaltenen Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist

denkbar. Das Recycling von Lithium-Batterien an sich befindet sich derzeit noch in einem recht frühen Stadium, zwar werden bereits Lithium-haltige Batterien z.B. in Belgien von der Firma Umicore recycelt, hier steht bisher allerdings erst die Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer an. Eine Erweiterung auf Lithium ist geplant, das Verfahren hierzu ist aber noch in der Entwicklung (Umicore 2009). Bisher ist nur die Firma Toxco Inc. aus Kanada in der Lage, im kommerziellen Stil Lithium-Batterien mit Rückgewinnung von Lithium zu recyceln (Toxco 2003).

Handlungsbedarf ist von Rechtswegen auch dadurch notwendig, dass laut der EU-Richtlinie 66/2006 eine bestimmte Quote in der Sammlung und Rückführung von Altbatterien eingehalten werden muss.<sup>55</sup> Derzeit steht allerdings kein Verwertungsweg, der diesen Ansprüchen genügen würde, zur Verfügung (BMU 2006). Für Deutschland sieht das BMU das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus dem Fahrzeugbereich in einem frühen Entwicklungsstadium und fördert das Batterierecycling unter den Förderschwerpunkt Elektromobilität (BMU 2009). Das Projekt nennt sich LithoRec, ist ein Verbundprojekt von zehn Industriepartnern und sechs Hochschulinstituten und wird von 2009 bis 2011 mit insgesamt 8,4 Mio. Euro vom BMU gefördert. Zwar existieren heute bereits etablierte Lösungen für kleinere Batterien aus Handys, Laptops etc., aber keine Strukturen für Traktionsbatterien. Vor dem Hintergrund der angenommenen starken Zunahme von gealterten Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen, widmet sich das Projekt möglichen Rücknahme- und Recyclingkonzepten. Ein Schwerpunkt ist die Rückgewinnung von Lithium und Kobalt und ihre Rückführung als Sekundärrohstoff in die Herstellung neuer Batterien (Bärwaldt o.J.).

---

<sup>55</sup> VDI/VDE/IT Projekthomepage LiBRi



## 4 Offene ITA-Fragestellungen

Im vorhergehenden Kapitel wurden die wesentlichen technischen Entwicklungen, die vorhandenen und antizipierten sozio-ökonomischen Wechselwirkungen, sowie der Stand des Wissens im jeweiligen Bereich dargestellt. Dabei sind bereits an vielen Stellen offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf angesprochen worden. Diese offenen Fragen und der jeweilige Forschungsbedarf sollen in diesem Kapitel in komprimierter Form, gegliedert nach verschiedenen technischen und nicht-technischen Aspekten, skizziert werden.

### 4.1 Technik und Infrastruktur

Offen bleibt bisher, wie sich Technik und Infrastruktur weiter entwickeln, welche Entwicklungen für wen wünschenswert wären und welche als realistisch erachtet werden. Aus technischer Sicht gibt es mehrere Möglichkeiten, die Ladung der Batterie vorzunehmen. Je nachdem, welche Art der Aufladung (Laden per Kabel oder Induktion, Batterietausch) betrachtet wird, ergeben sich unterschiedliche Sicherheitsrisiken, Eignung zur Integration in Smart Grids, Implikationen für die Batterielebensdauer, Normung, Geschäftsmodelle, sowie Spielräume bzw. Einschränkungen für die Automobilhersteller. Im Folgenden werden einige Fragen hervorgehoben, denen besondere Bedeutung zukommt:

- Welche Antriebe werden sich mittelfristig durchsetzen; eher Hybridtechnik oder rein batteriebetriebene Fahrzeuge; Wird sich eine Koexistenz verschiedener Antriebstechnologien etablieren?
- Welche Entwicklungspotentiale lassen sich im Bereich der Batterieentwicklung identifizieren; Wo muss eine effektive Forschungsförderung ansetzen? Welche Akteure müssen einbezogen werden, welche Kooperationen sind erforderlich? Wie wahrscheinlich ist es, dass die Energiedichte der Batterien weiterhin steigt (um durchschnittlich ca. 5 %/Jahr wie bisher)?; Wie würde sich das auf die Nutzerakzeptanz und Marktdurchdringung auswirken?
- Welcher Fortschritt lässt sich bei der Reduktion der Ladezeit erzielen? Welche Technologien kommen wo zum Einsatz? Wie sieht es mit Ladepunkten im öffentlichen Raum aus? Welche Betreiberkonzepte und Geschäftsmodelle kommen für den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur in Frage? Welche Möglichkeiten bietet das kontaktlose Laden über Induktionsschleifen im öffentlichen Raum?
- Bei den Batterietauschkonzepten wird die Batterie nicht mehr über ihre gesamte Nutzungsdauer einem Fahrzeug zugeordnet, sondern vielmehr zwischen den Fahrzeugen gewechselt. Wichtige Frage wäre, ob sich hier einheitliche, herstellerübergreifende Standards formulieren lassen? Weiter wäre zu klären, wer für die Qualität und den Ladungszustand der Batterien garantiert? Letzteres führt wieder zu der Frage nach möglichen Betreiberkonzepten und Geschäftsmodellen.
- Damit der Kunde möglichst einfach alle Ladeinfrastrukturen nutzen kann, ist es entscheidend, die Standardisierung der beteiligten Komponenten (Stecker, Batterien...) voran zu treiben. Das betrifft auch die sehr grundsätzliche Frage, wo die Messung der Stromabnahme stattfindet: im Automobil oder in der Ladestation? Da hierbei noch keine Einigkeit besteht, ist die Frage, wo die Hürden liegen und welche Akteure sich sperren. Parallel betriebene Insellösungen technischer Natur reduzieren die Effektivität von Ladestationen verschiedener Betreiber und verschiedener Geschäftsmodelle. Inwieweit lassen sich hier negative Einflüsse auf das Marktgeschehen vermeiden?
- Welche Effekte werden bei den heutigen Automobilherstellern in Deutschland erwartet, werden sie sich umorientieren bzw. den technischen Vorsprung zu Asien schnell aufholen können?

Noch ist ungewiss, welche der angesprochenen Ladetechniken sich durchsetzen werden und wer in Zukunft die Infrastrukturbereitstellung für die Elektromobilität übernehmen wird. Viele Akteure sind hier aktiv, neben den Automobilherstellern vor allem die Energiekonzerne, der Staat und neuerdings eigens hierfür gegründete Organisationen und Unternehmen. Interessant wird sein, wer sich zum Mobilitätsdienstleister

entwickelt und ob hierfür bestehende Akteure verstärkt Kooperationen eingehen wie heute schon Daimler mit RWE oder BMW mit EON (siehe Tabelle 2 im Anhang, S. 77ff.).

In der öffentlichen Diskussion wird häufig die Bedeutung der Automobil-Traktionsbatterien als geeignete Energiespeicher für ein „intelligentes Stromnetz“ herausgestellt. Das scheint naheliegend, denn Batterien dieser Kapazität gibt es derzeit nicht in Haushalten und die Energieversorger – im Gegensatz z.B. zu Japan – haben bisher kein Interesse an zentral installierten Energiespeichern. Wenn aber schon dezentrale Energiespeicher in Elektro-Pkw gewünscht sind, haben diese den Nachteil, dass die Automotive-Batterien teurer sind als solche, die im Haus selbst installiert wären – Automotive-Batterien benötigen ein spezielles Packaging, um bei Verkehrsunfällen intakt zu bleiben, und eine ausgeklügelte Temperaturanpassung an die Umgebungstemperatur, in einem weit größeren Außentemperatur-Bereich als in einem Gebäudekeller. Dies alles erhöht die Kosten einer Elektroauto-Traktionsbatterie bedeutend. Daraus folgt die Frage, ob sich Automotive-Batterien überhaupt und in welchen Geschäftsmodellen als Energiespeicher in intelligenten Stromnetzen amortisieren.

## 4.2 Einfluss auf Wirtschaftsstruktur und Ausbildung

Die Herstellung von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben fügt sich nicht ohne weiteres in die etablierten Strukturen der Automobilhersteller und Zulieferer. Es stellt sich die Frage, welche Veränderungen hier stattfinden werden. Ein gravierender Strukturwandel ist im Gange und die „Claims“ für zukünftige Wertschöpfung werden abgesteckt. Gegenwärtig gehen diverse Experten davon aus, dass ein wesentlicher Anteil der Wertschöpfung an die Zulieferer für Batterien und IKT gehen wird, sowie an die Anbieter der Ladeinfrastruktur. Damit bleibt weniger für die Automobilhersteller übrig, die versuchen, sich in die letztgenannten Bereiche auszudehnen. Beispiele hierfür sind Daimler mit eigener Batterieherstellung oder Peugeot als Mobilitätsdienstleister (siehe Tabelle 2 im Anhang, S. 77ff.).

Autos müssen nicht nur hergestellt, sondern auch von geschultem Personal gewartet und repariert werden können. Wie sehr dieser letzte Aspekt noch zu berücksichtigen ist, verdeutlicht eine Umfrage des TÜV Süd bei Autohäusern und Kfz-Werkstätten in Deutschland.<sup>56</sup> Demnach hat ein Großteil der Werkstätten keinerlei praktische Erfahrung oder Schulung im Umgang mit Hybrid- und Elektrofahrzeugen, nur die befragten Toyota-Werkstätten bilden hier eine Ausnahme. Auch für die nahe Zukunft gab nur eine Minderheit nach dieser Befragung an, ihr Personal schulen lassen zu wollen. Besorgniserregend vor diesem Hintergrund ist, dass mehr als ein Fünftel der Werkstätten trotzdem bereit wäre, auch ohne Schulung ein Elektroauto zu reparieren. Der Grund liegt unter anderem darin, dass die meisten Befragten das Risiko im Umgang mit dem Elektroauto als deutlich geringer im Vergleich zu normalen Autos ansehen. Das Risiko von möglicherweise tödlichen Stromschlägen und Batteriebränden wurde nur von wenigen wahrgenommen. Das sind zu berücksichtigende Ergebnisse, bedenkt man, dass diese Batterien im Hochspannungsbereich arbeiten und ihr Umgang Spezialwissen erfordert (Der Tagesspiegel 2010).

## 4.3 Entwicklung von Präferenzen und Mobilitätsmustern

In Kapitel 3.2.1 sind bereits mehrere wichtige Einflussfaktoren auf Kaufentscheidung und Mobilitätsmuster angeführt worden. Dabei sind offene Fragen genannt worden, allen voran, diejenige, ob und wie viel die Nutzer bereit sind, für Elektromobilität zu bezahlen. Bisher ist unklar, wie sich die bisher vergleichsweise hohen Anschaffungs- und Unterhaltskosten entwickeln werden. Offene Fragen zum Thema Kaufentscheidung sind:

---

<sup>56</sup> [http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1270791259013646480118/4\\_TUV\\_SUD\\_AMI2010\\_Auswertung%20E-Auto-Werkstaettenenumfrage%202010.pdf](http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1270791259013646480118/4_TUV_SUD_AMI2010_Auswertung%20E-Auto-Werkstaettenenumfrage%202010.pdf), 29.09.2010

- Wie entwickelt sich die Preislücke zwischen herkömmlichen Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor und BEV? Unter welchen Gegebenheiten sind potentielle Kunden bereit zu kaufen?
- Welche Rolle spielen externe Faktoren z.B. ein Schwanken des Ölpreises auf die Total Cost of Ownership? Kann ein sprunghafter Anstieg des Ölpreises zu einem plötzlichen „Run“ auf Elektrofahrzeuge führen?
- In welcher Form und mit welchen Mitteln können Ingenieure und andere Experten im Unternehmen die Präferenzen der Kunden adäquat einschätzen und bewerten?

Batteriebetriebene Fahrzeuge, die nicht über einen Range Extender verfügen, werden nach heutiger Einschätzung in absehbarer Zeit nicht die Reichweiten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren erreichen. Wichtige Frage für die Marktdurchdringung in den nächsten Jahren ist demnach, wie diese technischen „Settings“ zu den etablierten Mobilitätsmustern passen. Werden die Mobilitätsmuster sich, zumindest bis zu einem gewissen Grad, auf das neue Technik-Infrastruktur-System E-Mobilität einstellen? Werden Range Extender die Übergangsphase dominieren? Sind hier modulare Lösungen vorstellbar, wie z.B. ein kleiner Verbrennungsmotor der, je nach aktuellem Bedarf, über eine (genormte) Schnittstelle angeschlossen oder abgenommen werden kann?

Nach wie vor ist der Automobilbesitz stark emotional geprägt und spielt in vielen gesellschaftlichen Gruppen als Statussymbol eine wichtige Rolle. Die Präferenzen der jungen Generation deuten hier vor allem in urbanen Räumen, auf einen Wertewandel hin. „Jüngere“ scheinen sich stärker über Handys, MP3-Player und andere Unterhaltungselektronik zu identifizieren. Verstärkt sich dieser Trend und überträgt sich auch auf das Elektroauto könnten Geschäftsmodelle, die nicht den Automobilbesitz beim Privatkunden sehen, davon profitieren. Generell gibt es viele Anzeichen, dass die Elektromobilität mit neuen Geschäftsmodellen einhergeht, wie beispielsweise dem Car-Sharing, welches dem Reichweitenproblem einen Pool an Fahrzeugen mit unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten entgegen stellen kann. Andere Ideen sind Batterien, ähnlich wie bei Mobilfunkverträgen, zur Nutzung anzubieten und nicht mit dem Auto zu verkaufen. Hier verbinden sich zahlreiche offene Fragen, die entscheidend für die zukünftige Ausprägung der Elektromobilität werden könnten:

- Welche Geschäftsmodelle sind denkbar und unter welchen Bedingungen wirtschaftlich? Mit welchen Technologien und mit welchem Nutzerverhalten sind sie verbunden, wo sind die Zielgruppen?
- Welchen Einfluss haben neue Geschäftsmodelle auf die Technikentwicklung (z.B. Austausch von Batterien, Design der Fahrzeuge etc.)?
- Wie sieht die weitere Entwicklung der jungen Generation zum Thema Automobilbesitz und Auto als mögliches Statussymbol aus? Was bedeutet dies für die Geschäftsmodelle und Mobilitätsmuster? Sind die „Jüngeren“ offener für eine flexible, verkehrsträgerübergreifende Mobilität als die „Älteren“? Wenn ja, bleibt das so oder ändert sich das in späteren Lebensphasen?
- Wie wirkt sich die Alterung der Gesellschaft auf die Entwicklung der Elektromobilität aus?

#### 4.4 Fördermöglichkeiten und politische Rahmenbedingungen

Die Frage, ob und an welchen Stellen die Politik mit Anreizen und Fördermitteln in die Entwicklung der Elektromobilität eingreifen soll, ist keineswegs unumstritten. Folgende Fragen werden in diesem Kontext diskutiert und bieten sich für eine Weiterverfolgung an:

- Wo soll gefördert werden? Bei der Entwicklung und Demonstration von Technik und Infrastruktur; bei Entwicklung von Geschäftsmodellen? Soll der Anschaffungspreis der Fahrzeuge über Fördermittel „künstlich“ gesenkt werden, um eine schnellere Marktdurchdringung, höhere Produktionszahlen, und damit Skaleneffekte zu erreichen?

- Wie lassen sich die bereits aufgelegten Förderprogramme ergänzen und erweitern?
- Mittelfristig würde zu diskutieren sein, wie Ausfälle aus der Mineralölsteuer zu kompensieren sind.
- „Vehicle-to-grid“-Ansätze lassen sich kaum mit der heutigen Situation der zentralistischen Stromerzeugung und -verteilung vereinen, zudem sind Energiemärkte und ihre Regulierung weitgehend europäisiert. Welche Einflussmöglichkeiten haben hier nationale politische Vorgaben?
- Wie kann der Energieverbrauch eines Modells für den Kunden sinnvoll angegeben werden? Bei rein elektrischen Batteriefahrzeugen ist eine Verbrauchsangabe wie „kWh/km“, Kilowattstunden pro Kilometer, nach der Definition eines Geschwindigkeitsprofils wie bei der heutigen Normverbrauchsbestimmung möglich. Bei Plug-In-Hybridfahrzeugen und solchen mit Range Extender, also beim „Mischbetrieb“ von Flüssigkraftstoffen und Strom, ist eine regulatorische Vorgabe der Verbrauchsbestimmung noch zu finden.

#### **4.5 Ökologische Fragen, „Sauberkeit“ und Elektromobilität**

Die ökologischen Effekte, allen voran der Ausstoß an Treibhausgasen, der Elektromobilität hängen zunächst davon ab, wie der Strom entstanden ist. Wie in Kapitel 3.2.5 ausgeführt, kommen hier verschiedene Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen, insbesondere hinsichtlich der Frage ob Elektromobilität auf Basis des aktuellen Strom-Mix mehr oder weniger CO<sub>2</sub> ausstößt, als herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Wenn sich die Mobilitätsmuster tatsächlich hin zu einer flexibleren Verkehrsmittelwahl ändern sollten, könnte eine gut ins Verkehrssystem integrierte Elektromobilität zu einer Reduktion der Verkehrleistung im Pkw-Sektor führen, z.B. weil längere Strecken eher mit der Bahn zurück gelegt werden und erst am Zielort wieder ein Pkw genutzt wird. Dieser Frage wäre weiter nach zu gehen.

Für beide hier angesprochenen Möglichkeiten, also sowohl für eine Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes pro Pkw-Kilometer als auch ein Modal Shift in Richtung öffentlicher Verkehr müssen eventuelle „Rebound-Effekte“ einbezogen werden. Sowohl ein „Sauberer“ fahren als auch frei werdende Kapazitäten auf den Straßen könnte Autofahren wieder attraktiver machen und zu zusätzlichen Emissionen führen.

#### **4.6 Siedlungsstruktur**

Verkehr ist ein bedingender und gleichzeitig ein abhängiger Faktor für die Entwicklung der Siedlungsstruktur. Veränderungen im Verkehrssystem können sich mittel- bzw. langfristig auch auf die Siedlungsstruktur auswirken. Diese Wechselwirkungen sollten gerade vor dem Hintergrund einer langfristigen Perspektive umfassender erörtert werden.

## 5 Vorschläge zur methodischen Umsetzung

Die inhaltliche Breite dieser ITA-Kurzstudie deutet bereits an, dass die Voraussetzungen und die möglichen Folgen von BEV von sehr unterschiedlichen Faktoren abhängen. Die Einschätzungen vieler Aspekte gehen noch deutlich auseinander, es besteht ein hohes Maß an Unsicherheit. Diese Anfangsphase ist im Hinblick auf ITA-relevante Arbeiten durch verschiedene wenig aufeinander abgestimmte methodische Vorgehensweisen geprägt. Teilweise wird bereits mit Szenarien gearbeitet, teilweise wurden erste empirische Untersuchungen durchgeführt; in anderen Studien wurden Experten befragt und stark auf die technischen Potentiale fokussiert. Daneben sind, gerade im letzten Jahr, eine ganze Reihe von Studien zum Thema erschienen. Diese sehr spezifische Situation führt dazu, dass die unten skizzierten methodischen Vorschläge sehr detailliert ausfallen können, da sie an umfangreiche Vorüberlegungen anschließen und es ermöglichen, die vorhandenen Wissenslücken sehr präzise zu adressieren.<sup>57</sup>

Vor diesem Hintergrund zielen die hier entwickelten Vorschläge zur methodischen Umsetzung auf zweierlei ab: Die Integration und kritische Reflexion bestehender Wissensstände und, teilweise darauf aufbauend, das Schließen bereits identifizierter Wissenslücken. In einer frühzeitigen Phase der Innovations- und Technikanalyse, in der die Wissensgenerierung eine besondere Rolle spielt, bietet sich noch eine parallel arbeitende Vorgehensweise an, wie sie sich beispielsweise in einer Themenfeldausschreibung umsetzen lässt. Folgende Aspekte sollten dabei erforscht werden.

### 5.1 Meta-Szenarien zur Integration verschiedener Wissensstände

Der Innovationsprozess von BEV wird nur in seinen Wechselwirkungen mit zahlreichen anderen Faktoren zu verstehen und gestalten sein. Die Potentiale und Grenzen vieler Einzelfaktoren werden von unterschiedlichen Akteuren unterschiedlich eingeschätzt. Da die Akteure in diesem breit angelegten Feld auf verschiedene Wissensbestände aus unterschiedlichen Disziplinen rekurrieren, die teilweise nur wenig miteinander verknüpft sind, wäre zunächst ein Überwinden dieser Heterogenität methodisch anzustreben.

*Vorgehensweise:* Um diese unterschiedlichen Wissensbestände zu integrieren und der Heterogenität gerecht zu werden, bietet sich das Arbeiten mit Meta-Szenarien an. Diese könnten bereits existierende Szenarien aufnehmen und durch weitere Informationen und Perspektiven verschiedener Akteure ergänzen. Die Szenarien würden damit als inter- oder transdisziplinärer Bezugspunkt in der Diskussion dienen und dazu beitragen, Widersprüche in Argumentationslinien aufzudecken und Wissenslücken zu identifizieren. Es wäre darüber nachzudenken, wie verschiedene Akteursgruppen (z.B. Wissenschaftler, Stakeholder, Bürger) in verschiedene Phasen des Szenarioprozesses sinnvoll eingebunden werden können.

Wie oben ausgeführt wurde, können solche Szenarien zu BEV zwei Aspekte besonders berücksichtigen, die ihrerseits noch ungewiss sind. Zum einen kann eine starke Verschränkung mit Entwicklungen an den Rohstoffmärkten angenommen werden, sodass es erforderlich scheint, diese Entwicklungen und ihre möglichen Auswirkungen ihrerseits über Szenarien mit abzubilden. Zum anderen wären mögliche Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Elektromobilität in den Szenarien zu berücksichtigen.

### 5.2 Empirische Untersuchungen zu Nutzereinstellungen und Mobilitätsmustern

Die Entwicklungen von Nutzerpräferenzen und Mobilitätsmustern spielen eine entscheidende Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit der Elektromobilität. Hier wäre es wichtig, die Ansprüche und Flexibilität der Nutzer

---

<sup>57</sup> Es nicht davon auszugehen, dass die anderen Kurzstudien des Projekts ITA-Monitoring im jeweiligen Kapitel zur methodischen Umsetzung den gleichen Grad an Differenzierung und Detailliertheit erreichen können.

präziser einschätzen zu können. Begleitforschung zu Pilotversuchen zeichnet meist ein positives und zufriedenes Bild der Nutzer von Elektroautos, die wenig vermissen und sich recht schnell an die veränderten Umstände anzupassen scheinen, was für „early adopters“ typisch ist. Die empirische Basis ist allerdings noch sehr schmal und zu erweitern. Gerade in frühen Phasen der Markteinführung neuer Produkte können die Einschätzungen der Nutzer noch durch die besondere Motivationslage dieser „Pionier-Nutzer“ geprägt sein.

*Vorgehensweise:* Solch eine Verbesserung der empirischen Basis zu Verhalten und Präferenzen von Nutzern könnte durch großflächige Versuche in Modellgebieten mit unterschiedlichen Nutzerstrukturen, d.h. in Wohngebieten mit freistehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern, in Stadtzentren mit dichter Gründerzeitbebauung, in Neubaugebieten etc. durchgeführt werden. Ebenfalls könnte eine eventuelle Förderung von Anschaffung und Nutzung der Elektromobilität verbunden mit der Bereitschaft, im Gegenzug Daten zur Verfügung zu stellen, enger verknüpft werden. Für die Erhebungen selbst kommen verschiedene methodische Ansätze in Frage. Grundsätzlich lassen sich über einen standardisierten Fragebogen wichtige Grundlagen erheben. Dabei sollte auch ein zeitlicher Verlauf Berücksichtigung finden, das heißt, dass mehrere Wellen der Befragung durchgeführt werden (vor, während, nach der Einführung). Gerade in frühen Phasen technischer Invention sind solche Umfrageergebnisse diskursiv zu bewerten, da die argumentative Gemengelage noch wenig strukturiert ist.

Auf dieser Basis sind entweder bestimmte Fragestellungen oder ausgewählte gesellschaftliche Gruppen näher zu beleuchten. Beispielsweise würde es sich anbieten, die Einstellungen junger Erwachsener in einem besonderen Modul zu erheben und eventuell tiefer auszuleuchten, da sich in dieser Gruppe eine Verschiebung der Präferenzen und Verhaltensmuster im Mobilitätsbereich andeutet. Aus ähnlichen Gründen könnte die Gruppe der Über-Sechzigjährigen gesondert betrachtet werden, da sich auch bei dieser Gruppe andeutet, dass die Mobilitätsmuster anders aussehen als bei Vergleichsgruppen vor 10 oder 20 Jahren. Ein Vergleich auf europäischer Ebene würde zu einem vollständigeren Bild beitragen, hier befinden sich wichtige zukünftige Märkte.

### **5.3 Unterstützung innovativer Geschäftsmodelle**

Ausgehend von den bereits seit längerem etablierten Geschäftsmodellen lassen sich in einigen Großstädten Pilotprojekte mit neuen Geschäftsmodellen beobachten, die zunächst auf das kurzzeitige Mieten von Autos und Fahrrädern abzielen, aber in vielen Studien auch als Möglichkeit diskutiert werden, die Marktdurchdringung von BEV zu fördern. Solch innovativen Geschäftsmodelle (z.B. Car2Go, Autolib) sind ein wichtiger Bestandteil der aktuellen Debatten um Elektromobilität, da sie die Nachteile wie geringe Reichweite, lange Ladezeiten, Fragen der Zuverlässigkeit oder hohe Anschaffungskosten zumindest teilweise ausgleichen bzw. abschwächen könnten. Dazu kommt das nachlassende Interesse vieler junger Erwachsener in urbanen Räumen am persönlichen Automobilbesitz, was neue Möglichkeiten für Geschäftsmodelle eröffnen könnte.

*Vorgehensweise:* Neue Geschäftsmodelle (Car-Sharing und verwandte Ansätze, Batterie-Leasing) sollten verstärkt erprobt und in ihren möglichen Auswirkungen auf Mobilitätsmuster zum einen und auf die Geschäftsmodelle zum anderen untersucht werden, um mögliche Implikationen neuer Geschäftsmodelle besser fassen zu können. Eine differenzierte Betrachtung, welche der neuen Geschäftsmodelle von welchen Kundensegmenten angenommen werden, wäre hier anzuraten und wurde von Unternehmensberatungen wie Roland Berger und anderen bereits ansatzweise vollzogen. Allerdings stehen alle diese Untersuchungen vor der Herausforderung, dass die heutigen Befragten oft keinerlei eigene praktische Erfahrung mit dem Thema Elektromobilität haben.

Nicht außer Acht gelassen werden sollten Ansätze, bei denen das Fahrzeug privat angeschafft, die Batterie aber geliehen oder geleast wird. Hier wären systematische Vergleiche zu Geschäftsmodellen und Nutzerverhalten in anderen Technikfeldern wünschenswert (Mobilfunkindustrie, Energiesektor).

#### **5.4 Stärkung der Intermodalität**

In den acht deutschen Modellregionen für Elektromobilität, die von der Bundesregierung im Konjunkturpaket II gefördert werden, findet eine Vernetzung mehrheitlich zwischen der Energiewirtschaft und der Automobilindustrie statt. Der Schwerpunkt dieser Einzelansätze liegt darauf, Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor durch solche mit Elektroantrieb zu substituieren und dazu entsprechend umgerüstete Fahrzeuge zur Verfügung zu stellen. In mehreren Modellregionen spielen die Entwicklung und der Einsatz von Hybridbussen im ÖPNV hauptsächlich unter fahrzeugtechnischen Gesichtspunkten eine Rolle (München, Stuttgart, Sachsen, Rhein-Ruhr, Hamburg, Rhein-Main). Außer in der Modellregion Rhein-Main wird kein Gewicht auf die kundenorientierte Frage gelegt, wie elektromobiler Individualverkehr mit der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel kombiniert werden kann. Diese Intermodalität könnte jedoch helfen, die Schwächen von Elektrofahrzeugen und der öffentlichen Verkehrsmittel auszugleichen.

*Vorgehensweise:* Die Nahverkehrsunternehmen stehen mit den neuen, an Elektrofahrzeugen orientierten Mobilitätskonzepten im Wettbewerb. Daher ist es für sie wichtig, von vornherein eigene intermodale Konzepte anzubieten. Diese können im Rahmen von Workshops, aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen der Modellregionen, erarbeitet werden. Dabei ist auf eventuelle Wettbewerbssituationen zu achten, Aufgabenträger sollten eine aktive Rolle übernehmen. Unverzichtbar ist jedoch die Verbreiterung der empirischen Datenbasis durch Projekte in Pilotgebieten mit unterschiedlichen Siedlungsstrukturen.

#### **5.5 Entwicklung von Roadmaps und Tests in Modellregionen**

Bisher werden in Deutschland bzw. in Europa verschiedene nicht Öl-basierte Antriebstechnologien gefördert. Dabei gibt es eigene Strategien für Biomasse, Elektromobilität, Wasserstoff- und Brennstoffzellen sowie Erdgas. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll die BEV mit ihren Grenzen und Möglichkeiten in eine Gesamtstrategie einzuordnen.

*Vorgehensweise:* Roadmaps sind eine geeignete Methode, um solch eine Einordnung zu realisieren und, darauf aufbauend, die mittelfristige Verteilung von Fördermitteln zu koordinieren. Eine Roadmap könnte zusammen mit Akteuren aus Wissenschaft, Industrie und Politik erstellt werden. Im Unterschied zu Szenarien kann eine Roadmap deutlich konkreter und umsetzungsorientierter sein und Angaben zu Zeitplänen, Meilensteinen und Budgetverteilungen machen. Ein Vergleich mit ähnlichen Roadmaps oder Förderstrategien aus anderen Ländern (insb. Frankreich, Italien, China, Indien, USA, Japan, Brasilien) könnte das Bild abrunden.

#### **5.6 Stärkere Integration von BEV-Technik in die Ausbildung von Fachkräften**

Das oben angesprochene Problem, dass in den Werkstätten kaum für Elektromobilität ausgebildete Fachkräfte verfügbar sind, leitet über zu der Frage, wie es mit den Angeboten für Weiterbildung im Umgang mit Hochvolt-Batterien und Elektrofahrzeugen allgemein aussieht. Der Zentralverband des deutschen Kfz-Gewerbes bietet eine eintägige Fortbildung zur Fachkraft für Hochvolt-Fahrzeug an und hat ein Handbuch zur Schulung von Elektrofachkräften für Hochvolt-Systeme in Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen vorgelegt. Dennoch bleibt offen, ob zum gegebenen Zeitpunkt genügend Kapazitäten existieren um entsprechende Fortbildungen anbieten zu können. Neben dem Bereich der Weiterbildung wird es auch im

Bereich der Ausbildung für Techniker und Ingenieure einen Wandel geben müssen, um auf diese Entwicklung einzugehen.

*Vorgehensweise:* Hier wären Konzepte zu entwickeln, wie diese neuen Ausbildungsinhalte vermittelt werden könnten. Es wäre zu klären, welche Inhalte vermittelt werden sollten und ob die heutigen ausbildenden Institutionen Hilfestellung benötigen, um entsprechend reagieren zu können. Es handelt sich um ein dynamisches Feld, in dem Weiter- und Neuentwicklungen zu erwarten sind. Vor diesem Hintergrund könnte es sich anbieten, einen besseren Austausch zwischen Forschern, Entwicklern und Mechanikern zu ermöglichen. So könnten Mechaniker über entsprechende Ausbildungsinhalte Einblick in die Forschungspraxis bekommen und andersherum ihre Erfahrungen in den FuE-Prozess rückspeisen.



## 6 Weiterführende Literatur

Tab. 1: Themenbezogene Literaturvorschläge

Thema	Abstract	Quelle
Einführung	Das Dossier gibt eine Einführung in die technischen Rahmenbedingungen, politische Aktivitäten und beleuchtet insbesondere die Situation und Möglichkeiten der Kommunen. Aktuelle Beispiele werden gegeben und ein Blick auf die Geschäftsmodelle geworfen.	<i>Marwede, M.; Knoll, M. (2010):</i> Dossier Elektromobilität und Dienstleistungen. IZT Arbeitsbericht Nr. 39. Berlin. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
Rohstoffsituation: Lithium	Bericht, der sich mit dem Lithium-Bedarf in verschiedenen Sparten beschäftigt, dessen Entwicklung, aber auch dessen Angebot unter Berücksichtigung von Recycling. Anhand zweier Szenarien für die Marktdurchdringung von Elektroautos wird hier die Bedarfssituation abgeschätzt, und geschaut, ob Engpässe zu erwarten sind.	<i>Angerer, G.; Marscheider-Weidemann, F.; Wendl, M.; Wietschel, M. (2009):</i> Lithium für Zukunftstechnologien - Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität. Fraunhofer ISI. Karlsruhe
Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit von EVs	Studie der Universität Stuttgart, die verschiedene elektrische Antriebskonzepte bezüglich ihrer heutigen und zukünftigen Investitionskosten, Emissionen und Kraftstoffverbrauchs im Pkw-Bereich untersucht. Betrachtet werden unterschiedliche Nutzerprofile und Fahrzeugklassen.	<i>Blesl, M.; Bruchof, D.; Hartmann, N.; Özdemir, D.; Fahl, U.; Eltrop, L.; Voß, A. (2009):</i> Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität Endbericht. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Universität Stuttgart
Auswirkungen der Elektromobilität auf die deutsche Automobilindustrie	Whitepaper des Marktforschungsinstitutes Technomar zur Situation der deutschen Automobilindustrie. Fazit: ihre Kernkompetenz ist stark gefährdet, andere Länder sind auf dem Vormarsch. Zwei Szenarien wie es der deutschen Automobilindustrie 2030 gehen könnte, werden entwickelt.	<i>Technomar (2010),</i> Whitepaper Elektromobilität Optionen für Deutschlands Automobilindustrie. <a href="http://www.technomar.de/downloads/whitepaperelektromobilitaetoptionenfuerdeutsch.pdf">http://www.technomar.de/downloads/whitepaperelektromobilitaetoptionenfuerdeutsch.pdf</a>
Soziale Barrieren	Der Artikel stellt in Frage, dass technische Barrieren für den geringen Erfolg von PHEV und der Vehicle-to-Grid-Technologie verantwortlich sind und beleuchtet andere Möglichkeiten, die sich aus kulturellen und sozialen Gründen ergeben.	<i>Sovacool, B.K.; Hirsh, R.F (2009):</i> Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. In: Energy Policy, Vol. 37, S. 1095-1103



## 7 Literaturverzeichnis

- ADAC Motorwelt* (2010): Die Spannung steigt; abgerufen am 26.08.2010 unter <http://adacemobility.files.wordpress.com/2010/07/elektromobilitaet1.pdf>
- ADFC* (2009): Was Sie wissen sollten und wie Sie ein gutes Elektro-Fahrrad finden. ADFC-Information zu Pedelecs und E-Bikes; abgerufen am 26.10.2010 unter [http://www.adfc.de/files/2/135/2009-12\\_ADFC-Information\\_Elektro-Fahrraeder.pdf](http://www.adfc.de/files/2/135/2009-12_ADFC-Information_Elektro-Fahrraeder.pdf)
- Agassi, S.* (2009): World Without Oil: Better Place Builds a Future for Electric Vehicles (Innovations Case Narrative: Better Place). In: *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, Vol.4 (4), S. 125-140.
- Akademie des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes GmbH* (2009): Handbuch zur Schulung von Elektrofachkräften für Hochvolt (HV) – Systeme in Kraftfahrzeugen; abgerufen am 29.09.2010 unter [http://www.hv-fahrzeuge.de/fileadmin/webstore/hv-fahrzeuge/Auszug\\_HV\\_Handbuch\\_2009.pdf](http://www.hv-fahrzeuge.de/fileadmin/webstore/hv-fahrzeuge/Auszug_HV_Handbuch_2009.pdf)
- Anderson, P.H.; Mathews, J.A.; Rask, M.* (2009): Integrating private transport into renewable energy policy: The strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles, In: *Energy Policy*, Vol. 37, S. 2481-2486.
- Angerer, G.; Marscheider-Weidemann, F.; Wendl, M.; Wietschel, M.* (2009): Lithium für Zukunftstechnologien, Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität. Fraunhofer ISI. Karlsruhe
- Autosheise* (2010): Toyota: künstliches Motorgeräusch für Elektroautos; abgerufen am 25.10.2010 unter <http://www.heise.de/autos/artikel/Toyota-kuenstliches-Motorgeraeusch-fuer-Elektroautos-1067863.html?artikelseite=2>
- Avis & Renault* (2010): Avis Introduces Electric Vehicles for hire together with its long-term partner Renault, Pressemitteilung; abgerufen am 19.10.2010 unter [http://www.media.renault.com//data/doc/mediarenaultcom/en/21832\\_100226\\_AVIS\\_EV\\_GB\\_1E121F57.pdf](http://www.media.renault.com//data/doc/mediarenaultcom/en/21832_100226_AVIS_EV_GB_1E121F57.pdf)
- Bady, R.; Renner, C.* (1997): Elektrofahzeugentwicklung in Japan/USA/Europa. Institut für Kraftfahrwesen. Aachen. abgerufen am 16.09.2010 unter <http://www.ika.rwth-aachen.de/forschung/veroeffentlichung/1997/20.-22.10/index.php>
- Bain & Company* (2010): Bain-Analyse zum Kanzlergipfel Elektromobilität: Höchste Zeit zu Handeln; abgerufen am 21.09.2010 unter [http://www.bain.de/home/presse/news\\_2010/bain-analyse\\_zum\\_kanzlergipfel\\_elektromobilit%C3%A4t:\\_h%C3%B6chste\\_zeit\\_zu\\_handeln.htm](http://www.bain.de/home/presse/news_2010/bain-analyse_zum_kanzlergipfel_elektromobilit%C3%A4t:_h%C3%B6chste_zeit_zu_handeln.htm)
- Bärwaldt, G.* (o.J.): Lithorec – Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. abgerufen am 29.09.2010 unter [http://www.lithorec.de/fileadmin/lithorec/Ver%C3%B6ffentlichungen/100208\\_GB\\_Graz\\_LithoRec.pdf](http://www.lithorec.de/fileadmin/lithorec/Ver%C3%B6ffentlichungen/100208_GB_Graz_LithoRec.pdf)
- Baumann, U.* (2010): Elektroauto-Vermietung - Hertz vermietet E-Auto: Nissan Leaf wird Mietfahrzeug. In: *Auto Motor und Sport* vom 06.09.2010; verfügbar unter <http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/elektroautovermietung-nissan-leaf-wird-mietfahrzeug-1747150.html>
- BCS* (2010): Aktueller Stand des Car-Sharing in Europa. Endbericht D 2.4 Arbeitspaket 2 des EU Projekts Momo (More options for energy efficient mobility through Car-Sharing). Willi Loose. Bundesverband Car-Sharing
- BeMobility* (2009): Projekthomepage BeMobility; abgerufen am 12.10.2010 unter <http://www.bemobility.de/site/bemobility/de/bemobility/projektziele/projektziele.html>
- Biere, D.; Dallinger, D.; Wietschel, M.* (2009): Ökonomische Analyse der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen“. In: *ZfE, Zeitschrift für Energiewirtschaft* Nr. 2, S.173-181
- BITKOM* (2010). Großes Marktpotential für Elektroautos in Deutschland. Presseinformation. abgerufen am 23.10.2010 unter [http://www.bitkom.org/files/documents/BITKOM\\_Presseinfo\\_Elektroautos\\_11\\_03\\_2010.pdf](http://www.bitkom.org/files/documents/BITKOM_Presseinfo_Elektroautos_11_03_2010.pdf)
- Blesl, M.; Bruchof, D.; Hartmann, N.; Özdemir, D.; Fahl, U.; Eltrop, L.; Voß, A.* (2009): Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität. Endbericht. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Universität Stuttgart

- Blumenstein, M.* (2010): Mu by Peugeot Vom Fahrrad bis zum Transporter. Bericht. abgerufen am 27.08.2010 unter <http://ww2.autoscout24.de/bericht/mu-by-peugeot/vom-fahrrad-bis-zum-transporter/44456/173125/>
- BMU (Bundesumweltministerium, Hg.)* (2006): Berlin EU legt höhere Sammelziele für Altbatterien fest. BMU-Pressedienst Nr. 245/06; abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/pressemitteilungen/pm/37877.php>
- BMU (Bundesumweltministerium, Hg.)* (2009): Bekanntmachung über die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität vom 22. April 2009; abgerufen am 22.09.2010 unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/foerderbekanntmachung\\_elektromobilitaet.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/foerderbekanntmachung_elektromobilitaet.pdf)
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Hg.)* (2010): Modellregionen Elektromobilität; abgerufen am 20.09.2010 unter <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/modellregionen-elektromobilitaet.html?nn=36210>
- BMVBS/infas/DLR (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Institut für Angewandte Sozialforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; Hg.)* (2009): Alltagsverkehr in Deutschland. Erhebungsmethoden – Struktur- Aufkommen- Emissionen- Trends; abgerufen am 06.09.2010 unter [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008\\_Projektpraesentation\\_Nutzerworkshop\\_Sept09.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Projektpraesentation_Nutzerworkshop_Sept09.pdf)
- BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (Hg.)* (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030 Energiewirtschaftliche Referenzprognose Energiereport IV – Kurzfassung, EWI/Prognos-Studie, S. 1-44; abgerufen am 17.09.2010 unter [http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/ewi-prognos\\_E2\\_80\\_93studie-entwicklung-der-energiemaerkte-545,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf](http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/ewi-prognos_E2_80_93studie-entwicklung-der-energiemaerkte-545,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf)
- BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (Hg.)* (2009): Abschlussbericht: Deutsch-Französische Arbeitsgruppe "Elektromobilität"; abgerufen am 22.09.2010 unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/Industrie/elektromobilitaet,did=331064.html?view=renderPrint>
- BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Hg.)* (2010): IKT für Elektromobilität – Innovationspolitik, Informationsgesellschaft, Telekommunikation. abgerufen am 16.09.2010 unter [http://www.ikt-em.de/documents/BMWi\\_E-Flyer\\_Lepo\\_IKT\\_22\\_2b\\_web.pdf](http://www.ikt-em.de/documents/BMWi_E-Flyer_Lepo_IKT_22_2b_web.pdf)
- Buck, Ch.* (2009a): Zukunft der Energienetze, Energiespeicher Vorratskammern für Strom. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation, S. 31-33
- Buck, Ch.* (2009b): „Trapping the Wind“. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation. S. 48-50; abgerufen am 14.09.2010 unter [http://www.siemens.com/innovation/pool/en/publikationen/publications\\_pof/pof\\_fall\\_2009/pof-special-edition-e-double.pdf](http://www.siemens.com/innovation/pool/en/publikationen/publications_pof/pof_fall_2009/pof-special-edition-e-double.pdf)
- Bünnagel, U.* (2009): Anreize für die Markteinführung von Elektrofahrzeugen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Vortrag Ecar-Tech am 14. Oktober 2009; abgerufen am 21.09.2010 unter [http://www.zvei-elektromobilitaet.org/general/ecartec/2009-10-14\\_Buennagel.pdf](http://www.zvei-elektromobilitaet.org/general/ecartec/2009-10-14_Buennagel.pdf)
- Canzler, W.; Götz, K.; Heine, H.; Knie, A.; Loose, W.; Mautz, R.; Tully, C.J.; Wilke, G.* (2004): Das Auto im richtigen Leben, In: Stachlige Argumente 1/2004
- Center of Automotive Fachhochschule der Wirtschaft (FHDW)* (2010): Jugend und Automobil 2010. Bergisch Gladbach; abgerufen am 20.9.2010 unter [http://www.wuv.de/w\\_v\\_infocenter/studien/jugend\\_und\\_automobil\\_2010](http://www.wuv.de/w_v_infocenter/studien/jugend_und_automobil_2010)
- Cherry, Ch.* (2007): Electric Bike Use in China and Their Impacts on the Environment, Safety, Mobility and Accessibility. Working Paper UCB-ITS-VWP-2007-3; abgerufen am 07.09.2010 unter <http://www.its.berkeley.edu/publications/UCB/2007/VWP/UCB-ITS-VWP-2007-3.pdf>
- Cowan, R.; Hulten, S.* (1996): Escaping Lock-In: The Case of the Electric Vehicle, In: Technological Forecasting and Social Change 53 (1), S. 61-79
- Der Tagesspiegel* (2010): Elektroautos sind angesagt – und gefährlich. Artikel abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/elektroautos-sind-angesagt-und-gefaehrlich/1804510.html>

- Dettner, J.; Götz, K.* (2010): Die Zukunft des Verkehrs – Die Zukunft der Mobilität in der EU. Workshop. Institut für sozial-ökologische Forschung. Frankfurt am Main; abgerufen am 16.09.2010 unter [http://www.isoe.de/ftp/publikationen/Future%20of%20Mobility%20EU\\_2010\\_de\\_JDKoG.pdf](http://www.isoe.de/ftp/publikationen/Future%20of%20Mobility%20EU_2010_de_JDKoG.pdf)
- Deutsche Bank* (2008): Electric Cars: Plugged In Batteries must be included“. In: Global Market Research; abgerufen am 10.09.2010 unter [http://www.ifu.ethz.ch/ESD/education/Masterstudium/PEA/Deutsche\\_Bank\\_2008\\_Emobility\\_2.pdf](http://www.ifu.ethz.ch/ESD/education/Masterstudium/PEA/Deutsche_Bank_2008_Emobility_2.pdf)
- Deutsches Verkehrsforum* (2009): Elektromobilität Technologie fördern – Chancen nutzen – Nachhaltigkeit sichern. Positionspapier des Lenkungskreis Straßenverkehr; abgerufen am 10.09.2010 unter [http://www.verkehrsforum.de/fileadmin/dvf/pdf\\_downloads/Themen/Elektromobilitaet/Positionspapier\\_E-Mobilitaet\\_09-10-19\\_ENDG.pdf](http://www.verkehrsforum.de/fileadmin/dvf/pdf_downloads/Themen/Elektromobilitaet/Positionspapier_E-Mobilitaet_09-10-19_ENDG.pdf)
- Die Bundesregierung* (2007): Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm, zuletzt aktualisiert am 17.01.2008, zuletzt geprüft am 16.07.2009, abgerufen unter [http://www.bundesregierung.de/nsc\\_true/Content/DE/Artikel/2007/12/Anlagen/2007-12-05-integriertes-energy-und-klimaprogramm,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/2007-12-05-integriertes-energy-und-klimaprogramm](http://www.bundesregierung.de/nsc_true/Content/DE/Artikel/2007/12/Anlagen/2007-12-05-integriertes-energy-und-klimaprogramm,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/2007-12-05-integriertes-energy-und-klimaprogramm)
- Die Bundesregierung* (2008): Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität
- Die Bundesregierung* (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, abgerufen unter <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet-der-bundesregierung>
- DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik)* (2009): Elektrostraßenfahrzeuge. DKE/K 353. abgerufen am 13.09.2010 unter <http://www.dke.de/de/wirueberuns/diedke-struktur/organisationsstruktur/seiten/dke-gremiumaufeinenblick.aspx?gremiumid=2000411>
- dpa* (2010): Bayern-Vorstoß Null Steuern für Elektroautos. Focus online; abgerufen am 21.09.2010 unter [http://www.focus.de/finanzen/steuern/bayern-vorstoss-null-steuern-fuer-elektroautos\\_aid\\_487569.html](http://www.focus.de/finanzen/steuern/bayern-vorstoss-null-steuern-fuer-elektroautos_aid_487569.html)
- DTU (Danmarks Tekniske Universitet)* (2010): The EDISON project - Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks; abgerufen am 14.09.2010 unter [http://www.dtu.dk/centre/cet/English/research/projects/22\\_The\\_EDISON\\_project.aspx](http://www.dtu.dk/centre/cet/English/research/projects/22_The_EDISON_project.aspx)
- E-Energy* (2010a): Fachtagung Datenschutz in Smart Grids; abgerufen am 30.09.2010 unter <http://www.e-energy.de/en/986.php>
- E-Energy* (2010b): E-Energy: Das "Internet der Energien“; abgerufen am 20.09.2010 unter [http://www.e-energy.de/de/auf\\_einen\\_blick.php](http://www.e-energy.de/de/auf_einen_blick.php)
- Engel, T.* (2009a): Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen Teil 1 der Serie: Auf welchem Weg kommt der Strom in die vielen Elektromobile?. In: Sonnenenergie 2009(2), S. 75-79
- Engel, T.* (2009b): Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen Teil 2 der Serie: An welcher Stelle des Fahrzeuges soll der Anschluss an das Stromnetz erfolgen?. In: Sonnenenergie 2009(3), S. 60-63
- Engel, T.* (2009c): Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen Teil 3 der Serie: Mit welcher Verbindung wird das Elektroauto an das Stromnetz angeschlossen?. In: Sonnenenergie 2009(5), S. 80-83
- Erfolg!* (2010): Heutige Investitionen in E-Flotten schon ab 2015 rentabel?. In: Kundenmagazin der Technomar GmbH 3/06 2010; abgerufen am 21.09.2010 unter [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ryZh5hmbuuYJ:www.technomar.de/erfolg/erfolg3\\_2010](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ryZh5hmbuuYJ:www.technomar.de/erfolg/erfolg3_2010)
- E-Tour Allgäu* (o.J.):Projekthomepage E-Tour Allgäu, abgerufen am 16.09.2010, <http://www.ee-tour.de/projekt/zielsetzung>
- Europäische Kommission* (2007): „IPCC-Bericht unterstützt das EU-Ziel einer globalen Erwärmung auf höchstens 2 Grad C“; abgerufen am 21.09.2010 unter <http://germany.ihs.com/news/eu-de-climate-change-4-07.htm>.
- European Commission* (2010): Commission staff working document progress during 2009 at the UN Economic Commission for Europe (UN/ECE); abgerufen am 10.09.2010 unter <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/>

[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/files/unece/sec-2010-0631\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/files/unece/sec-2010-0631_en.pdf)

*Eurotax Glass`*s (2010): Pressemitteilung Juli 2010; abgerufen am 26.10.2010 unter [http://www.eurotax.com/index.php?p=mc\\_pressrel&l=en&n=2](http://www.eurotax.com/index.php?p=mc_pressrel&l=en&n=2)

*Fiedler, M.* (2007): Older People and Public Transport Challenges and Chances of an Ageing Society. In: EMTA, S. 1-116; abgerufen am 17.09.2010 unter [http://www.emta.com/IMG/pdf/Final\\_Report\\_Older\\_People\\_protec.pdf](http://www.emta.com/IMG/pdf/Final_Report_Older_People_protec.pdf)

*Financial Times Deutschland* (2010a): Die Angst der Fahrer vor der kurzen Reichweite, In: Financial Times; abgerufen am 06.09.2010 unter <http://www.ftd.de/unternehmen/industrie/autoindustrie/:elektroautos-die-angst-der-fahrer-vor-der-kurzen-reichweite/50057718.html>

*Financial Times Deutschland* (2010b): Deutsche Bahn düpiert die Autobranche. In: Financial Times; abgerufen am 23.09.2010 unter [http://wirtschaft.t-online.de/deutsche-bahn-duepiert-die-autobranche/id\\_42561586/index](http://wirtschaft.t-online.de/deutsche-bahn-duepiert-die-autobranche/id_42561586/index)

*Focus Online* (2010): Elektroautos nach fünf Jahren fast wertlos. Focus Online. Artikel vom 23.06.2010; abgerufen am 20.09.2010 unter [http://www.focus.de/auto/news/elektroautos-nach-fuenf-jahren-fast-wertlos\\_aid\\_522566.html](http://www.focus.de/auto/news/elektroautos-nach-fuenf-jahren-fast-wertlos_aid_522566.html)

*Fraunhofer IAO, PwC* (2010): Elektromobilität Herausforderung für Industrie und öffentliche Hand; abgerufen am 1.10.2010 unter <http://www.iao.fraunhofer.de/images/downloads/elektromobilitaet.pdf>

*Frost & Sullivan* (2010): Car-Sharing - der Weg in eine grünere Zukunft; abgerufen am 26.08.2010 unter <http://www.frost.com/prod/servlet/press-release.pag?docid=193332392>

*FutureFleet* (o.J.): Projekthomepage FutureFleet; abgerufen am 16.09.2010 unter [http://www.futurefleet.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=44:hintergrundinformation](http://www.futurefleet.de/index.php?option=com_content&view=article&id=44:hintergrundinformation)

Gebhardt, M. (2010): Smart car2go Nutzen statt besitzen. Reportage. abgerufen am 27.08.2010 unter <http://ww2.autoscout24.de/reportage/smart-car2go/nutzen-statt-besitzen/44438/166389/>

*Giannakouris, K.* (2008): Ageing characterises the demographic perspectives of the European societies, Eurostat Statistics in focus; abgerufen am 06.09.2010 unter [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-SF-08-072/EN/KS-SF-08-072-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-08-072/EN/KS-SF-08-072-EN.PDF)

*Goodman, D.J.* (2010): An Electric Boost for Bicyclists. In: The New York Times; abgerufen am 07.09.2010 unter [http://www.nytimes.com/2010/02/01/business/global/01ebike.html?\\_r=1](http://www.nytimes.com/2010/02/01/business/global/01ebike.html?_r=1)

*Graunitz, B.* (2009): Elektroautos ohne Kabel laden. elektroniknet.de; abgerufen am 13.09.2010 unter [http://www.elektroniknet.de/automotive/news/article/24164/0/Elektroautos\\_ohne\\_Kabel\\_laden/](http://www.elektroniknet.de/automotive/news/article/24164/0/Elektroautos_ohne_Kabel_laden/)

*GRS Batterien* (2007): Die Welt der Batterien Funktion, Systeme, Entsorgung. abgerufen am 22.09.2010 unter [http://www.grs-batterien.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Wissenswertes/Infomaterial\\_2010/GRS\\_welt\\_der\\_batterien.pdf](http://www.grs-batterien.de/fileadmin/user_upload/Download/Wissenswertes/Infomaterial_2010/GRS_welt_der_batterien.pdf)

*Härter, H.* (2009): TÜV Süd Sicherheits-Standards der Lithium-Ionen-Batterien für zukünftige Elektro-Mobilität sehr lückenhaft. In: Elektronik Praxis; abgerufen am 11.09.2010 unter <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/stromversorgung/articles/229908/>

*Hillenbrand, Th.* (2008): E-Tankstellen-Projekt SAP Veteran will das Auto neu erfinden. In: Spiegel Online; abgerufen am 24.08.2010 unter <http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,534411,00.html>

*Hopkins, J.* (2010): Business of Green In Paris, Electric Cars May Join Rental Bikes, In: The New York Times, Special Report; abgerufen am 26.08.2010 unter <http://www.nytimes.com/2010/06/25/business/energy-environment/25iht-rbogauto.html>

*IAV (Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr GmbH)* (2010): Strom aus der Straße – Vision berührungslose Energieversorgung von Elektroautos; abgerufen am 13.09.2010 unter [http://www.iav.com/de/index.php?we\\_objectID=15760](http://www.iav.com/de/index.php?we_objectID=15760)

- IKT Projekthomepage* (o.J.): IKT für Elektromobilität auf einen Blick; abgerufen am 16.09.2010 unter [http://www.ikt-em.de/de/auf\\_einen\\_blick.php](http://www.ikt-em.de/de/auf_einen_blick.php)
- Keilerman, F.* (2010): Sixt bietet faszinierende Mobilität mit Elektroantrieb. abgerufen am 06.09.2010 unter <http://www.sixtblog.de/pressemeldung/sixt-bietet-faszinierende-mobilitaet-mit-elektroantrieb/>
- Knie, A.; Berthold, O.; Harms, S.; Truffer, B.* (1999): Die Neuerfindung urbaner Automobilität Elektroautos und ihr Gebrauch in den U.S.A. und Europa. Berlin
- Kollosche, I.; Schulz-Montag, B.; Steinmüller, K.* (2010): E-Mobility 2025 Szenarien für die Region Berlin. TU Berlin; abgerufen am 10.09.2010 unter [http://www.verkehrsplanung.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/e-mobility\\_2025.pdf](http://www.verkehrsplanung.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/e-mobility_2025.pdf)
- Krieger, A.; Krishnan, N.; Pinsley, N.* (2010): Rent a green machine? Exploring EV Rental Options. McKinsey & Company; abgerufen unter <http://autoassembly.mckinsey.com>
- Krohn, J.* (2009): Oslo macht es vor - Gratis Parken, gratis Aufladen, keine Citymaut; abgerufen am 21.09.2010 unter <http://solar-river.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=1936&ok=13&uk=82&uuk=0&uuuk=0&typ>
- Laufmann, P.* (2009): Ich bin das Ende des Öls!; abgerufen am 24.08.2010 unter <http://www.utopia.de/magazin/shai-agassi-betterplace-elektroauto-mobilitaet-oel-peakoil-israel?p=2>
- Lohbeck, W.* (2010): Elektroautos lösen keine Probleme, ZEIT Online; abgerufen am 27.08.2010 unter <http://pdf.zeit.de/auto/2010-08/elektroauto-mobilitaet.pdf>
- Loose, W.; Mohr, M.; Nobis, C.* (2004): Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. FoPS-Projekt Nr. 77.461/2001. Band V114. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik
- Marwede, M.; Knoll, M.* (2010): Dossier Elektromobilität und Dienstleistungen, IZT Arbeitsbericht Nr. 39. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Berlin
- Matthies, G.; Stricker, K.; Traencker, J.* (2010): Zum E-Auto gibt es keine Alternative. Bain & Company; abgerufen am 10.09.2010 unter [http://www.bain.de/home/presse/news\\_archiv\\_2010/e-mobility-studie:\\_bis\\_2020\\_hat\\_die\\_h%C3%A4lfte\\_aller\\_neuen\\_autos\\_einen\\_elektroantrieb.htm](http://www.bain.de/home/presse/news_archiv_2010/e-mobility-studie:_bis_2020_hat_die_h%C3%A4lfte_aller_neuen_autos_einen_elektroantrieb.htm)
- McKinsey & Company* (2010): Beitrag der Elektromobilität zu langfristigen Klimaschutzziele und Implikationen für die Automobilindustrie. Überblick, erste Ergebnisse und Überlegungen. abgerufen am 22.09.2010 unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/elektromobilitaet\\_klimaschutz.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/elektromobilitaet_klimaschutz.pdf)
- Mayer, H.W.* (2010): Restwertisiko bremst E-Autos. In: VDI Nachrichten; abgerufen am 26.10.2010 unter [http://www.vdi-nachrichten.com/vdinachrichten/aktuelle\\_ausgabe/akt\\_ausg\\_detail.asp?cat=2&id=49089](http://www.vdi-nachrichten.com/vdinachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=49089)
- Mortsiefer, H.* (2010): Deutschland fördert Elektroautos zu wenig. ZEIT Online. abgerufen unter <http://pdf.zeit.de/auto/2010-07/elektroauto-foerderung.pdf>
- Motavalli, J.* (2010): Blind Advocates 'Disappointed' in Nissan E.V. Sounds for Pedestrians, In: The New York Times; abgerufen am 4.08.2010 unter <http://wheels.blogs.nytimes.com/2010/06/17/blind-advocates-disappointed-in-nissan-e-v-sounds-for-pedestrians/?ref=automobiles>
- N24* (2010): Car2Go wächst in Ulm, um Ulm und jetzt auch über Ulm hinaus. N24; abgerufen am 26.08.2010 unter [http://www.n24.de/news/newsitem\\_5953560.html](http://www.n24.de/news/newsitem_5953560.html)
- Nyeste, P.; Wogalter, M.* (2008): On adding sound to quiet vehicles, In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. USA, S. 1747-1750
- Pearson, D.* (2010): Putting the Noise Back Into Whisper-Quiet Vehicles, In: The Wall Street Journal; abgerufen am 17.09.2010 unter [http://online.wsj.com/article/SB10001424052748704738404575346671454162854.html?mod=rss\\_Technology](http://online.wsj.com/article/SB10001424052748704738404575346671454162854.html?mod=rss_Technology)
- Peugeot* (2010): Der Peugeot iOn; abgerufen am 06.09.2010 unter [http://www.autohaus-sayler.de/content/file/pe\\_flyer\\_ion.pdf](http://www.autohaus-sayler.de/content/file/pe_flyer_ion.pdf)

- Refaat, H.* (2009): Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles, In: U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration (Hg.). Technical Report. 2010
- Rieckmann, T.* (2010): Neue Carsharing-Angebote Hersteller wappnen sich gegen Autofrust. Spiegel Online; abgerufen am 20.09.2010 unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,710515,00.html>
- Rinspeed* (2010): Projekthomepage Rinspeed; abgerufen am 02.09.2010 unter <http://www.rinspeed.com/pages/cars/uc/prd-uc.htm>
- Robart, R.L.; Rosenblum, L.D.* (2009): Are hybrid cars too quiet?, In: Journal of the Acoustical Society of America 125, S. 1
- RolandBerger (Hg.)* (2009): Elektromobilität: Geschäftsmodell entscheidender Erfolgsfaktor; abgerufen am 24.08.2010 unter [http://www.rolandberger.at/media/pdf/Roland\\_Berger\\_PM\\_E-Mobility\\_20090902.pdf](http://www.rolandberger.at/media/pdf/Roland_Berger_PM_E-Mobility_20090902.pdf)
- RolandBerger (Hg.)* (2010): Powertrain 2020 Electric Vehicles – Voice of the Customer, Powerpoint, abgerufen am 23.09.2010 unter [http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland\\_Berger\\_Powertrain\\_Voice\\_of\\_customer\\_20100504.pdf](http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Powertrain_Voice_of_customer_20100504.pdf)
- Rosenblum, L.* (2008): Hybrid Cars Are Harder to Hear; abgerufen am 04.08.2010 unter [http://newsroom.ucr.edu/news\\_item.html?action=page&id=1803](http://newsroom.ucr.edu/news_item.html?action=page&id=1803)
- Rosenow, J.* (2008): Reifenabrieb vergeht nicht. Auch aus Reifenabrieb entsteht Feinstaub. Doch niemand weiß, was er in der Umwelt bewirkt. abgerufen am 22.09.2010 unter <http://www.kfz-betrieb.vogel.de/fahrzeugtechnik/raederundreifen/articles/138429/>
- Schröder, T.* (2009): Elektroauto im Smart Grid. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation. Herbst 2009, S. 44-46., abgerufen am 15.09.2010 unter [http://www.siemens.com/innovation/pool/de/Publikationen/Zeitschriften\\_pof/pof\\_herbst\\_2009/pof-2-2009-d-doppel.pdf](http://www.siemens.com/innovation/pool/de/Publikationen/Zeitschriften_pof/pof_herbst_2009/pof-2-2009-d-doppel.pdf)
- Schröder, T.* (2010): Autos unter Strom. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation. Frühjahr 2010, S. 92-94; abgerufen am 14.09.2010 unter [http://www.siemens.com/innovation/pool/de/Publikationen/Zeitschriften\\_pof/pof\\_fruehjahr\\_2010/open\\_innovation/elektroauto/pof\\_110\\_openinno\\_elektroauto.pdf](http://www.siemens.com/innovation/pool/de/Publikationen/Zeitschriften_pof/pof_fruehjahr_2010/open_innovation/elektroauto/pof_110_openinno_elektroauto.pdf)
- Sovacool, B.K.; Hirsh, R.F.* (2009): Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. In: Energy Policy 37, S. 1095-1103
- Steinkemper, H.* (2010): Wettlauf um die zweite Erfindung des Automobils – Elektromobilität als Baustein einer nachhaltigen Klima-, Energie- und Wirtschaftspolitik, In: Internationales Verkehrswesen 62, S. 17-19
- Technomar* (2010): Wie gut sind Autohandel und Werkstätten auf E-Mobilität vorbereitet? Umfrage unter Autohäusern und Werkstätten in Deutschland zur AMI 2010; abgerufen am 28.09.2010 unter [http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1270791259013646480118/4\\_TUV\\_SUD\\_AMI2010\\_Auswertung%20E-Auto-Werkstaettenenumfrage%202010.pdf](http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1270791259013646480118/4_TUV_SUD_AMI2010_Auswertung%20E-Auto-Werkstaettenenumfrage%202010.pdf)
- Thomas, C.* (2009): Position Statement on Quiet Electric and Hybrid Vehicles; abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.guidedogs.org.uk/news/position-statement-on-quiet-electric-and-hybrid-vehicles/position-statement-on-quiet-electric-and-hybrid-vehicles/>
- Toxco* (2003): Herstellerhomepage Toxco; abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.toxco.com/>
- TU Chemnitz* (2010): Elektroautos bestehen Großstadt-Test. Pressemitteilung vom 15.02.2010. abgerufen am 07.09.2010 unter <http://www.tu-chemnitz.de/tu/presse/2010/02.15-10.12.html>
- UBA (Umweltbundesamt) (Hg.)* (2009): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2007
- Umicore* (2009): Umicore investiert in das Recycling wiederaufladbarer Batterien, Pressemitteilung; abgerufen am 29.09.2010 unter [http://www.umicore.de/presse/pv2009/show\\_16112009\\_UC\\_PMRHoboken.pdf](http://www.umicore.de/presse/pv2009/show_16112009_UC_PMRHoboken.pdf)
- Umweltbundesamt* (2009): Neue CO<sub>2</sub>-Grenzwerte bei PKW; abgerufen am 21.09.2010 unter [http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/verkehr/fahrzeugtechnik/PKW/co2\\_PKW\\_2008/](http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/verkehr/fahrzeugtechnik/PKW/co2_PKW_2008/)



- Van der Zee, B.; Vaughan, A.* (2009): Nissan's plug-free electric car. [www.guardian.co.uk](http://www.guardian.co.uk); abgerufen am 13.09.2010 unter <http://www.guardian.co.uk/business/2009/jul/20/nissan-electric-car-plug-free>
- VCÖ-Forschungsinstitut* (Hg.) (2009): Potenziale von Elektro-Mobilität, VCÖ-Forschungsinstitut. Schriftenreihe „Mobilität mit Zukunft“ 2/2009. Wien
- VDI/VDE/IT* (o.J.): Projekthomepage LiBRi; abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/batterierecycling/libri>
- VDI/VDE-IT IndiOn* (o.J.): IndiOn Kontaktloses Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen; abgerufen am 25.08.2010 unter <http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/PKW-feldversuche/indion>
- Webster, B.* (2010): EU rules may mean silent electric cars must make Star Wars noises. In: The Sunday Times; abgerufen am 08.08.2010 unter <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/environment/article7115259.ece>
- Wietschel, M.* (2010): Die Stellschrauben der Elektromobilität: Zur gesellschaftlichen Integration der Elektroautos. PowerPoint Vortrag auf dem 1. Schweizer Forum Elektromobilität am 26-27. Januar 2010 in Luzern; abgerufen am 16.09.2010 unter <http://www.mobilityacademy.ch/Files/Wietschel.pdf>
- Wilke, G.* (2002): Öko-Effizienz und Öko-Suffizienz von professionalisiertem Car-Sharing. Eine Problemskizze. In: Linz, M.; Bartelmus, P.; Hennicke, P.; Jungkeit, R.; Sachs, W.; Scherhorn, G.; Wilke, G.; Winterfeld, U. (Hg.) (2002): Von nichts zuviel. Suffizienz gehört zur Nachhaltigkeit. In: Wuppertal Paper 125. Wuppertal
- Williams, K.M.* (2007): Oil Crisis? Savonius and Horizontal Axial Turbine Electric Powered Cars, In: A Physics and Engineering Paper, Marilyn Goodlet and Tereasa Freeman Science Investigations Instructors
- Wirtschaftsblatt* (2010): Elektroauto: Deutsche Firmen gegen Wechsel-Batterie, In: Wirtschaftsblatt; abgerufen am 16.09.2010 unter <http://www.wirtschaftsblatt.at/home/schwerpunkt/dossiers/klimaschutz/elektroauto-deutsche-firmen-gegen-wechsel-batterie-436002/index.do>
- Wissenschaft im Dialog* (o.J.): Elektromobilität – ein Konzept für die Zukunft? "Hoffnung auf eine neue Mobilitätskultur". Interview mit Georg Wilke. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH; abgerufen am 20.09.2010 unter <http://www.wissenschaft-im-dialog.de/aus-der-forschung/wissenschaft-kontrovers/elektromobilitaet/interviews/interview-wilke.html>
- Wüst, Ch.* (2009): Elektrofahrräder Rasen ohne Helm und Führerschein. Spiegel Online 14. Mai 2009; abgerufen am 26.10.2010 unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,624561,00.html>



## 8 Anhang

**Tab. 2: Überblick über Modelle, Projekte, Kooperationen, formulierte Ziele und Strategien verschiedener Hersteller im Bereich der elektrischen Antriebe (inklusive Brennstoffzellen)**

<b>Hersteller</b>	<i>Daimler</i>
<b>Ziele (konkret)</b>	* weltweiter Marktführer für Elektromobilität * Entwicklungsziel: Serienproduktion von Lithium-Ionen-Batterien ab 2012
<b>derzeit vorhanden</b>	* Lithium-Ionen Akku Know How * FCV (F-Cell) * HEV (S400 BlueHybrid)
<b>in Planung</b>	* Serienproduktion von Li-Ionen-Batterien ab 2012 * Serieller Hybrid (Blue Zero E-Cell Plus) * BEV Vollhybrid (Smart For Two) ab 2012
<b>Kurzstrecken Güterverkehr</b>	* BEV Mercedes-Benz Vito E-CELL Kleintransporter (ab 2010) * FCV Citaro Fuelcell-Hybrid Omnibus (Kleinserie voraussichtlich 2015 serienreif)
<b>Projekte</b>	* E-Mobility Berlin * E-Mobility Italy * Clean Energy Partnership * H2 Mobility
<b>Forschungsorientierte Kooperation</b>	* BYD (China) * RWE * Enel * Tesla * Evonik * eNOVA * Continental * VDA Initiativkreis
<b>Beteiligungen</b>	* mit 49.9% an Evonik Tochter Li-Tec * 90% "Deutsche Accumotive-GmbH & Co. KG * 10 % an Tesla * jeweils 3,1 % an Nissan & Renault
<b>Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle</b>	* als Kombi in der B-Klasse F-Cell und im Stadtbus Mercedes Benz Citaro FuelCELL-Hybrid * bis 2015 serienreifes FCV angekündigt * eigenes Unternehmen hierfür die De NuCellSys GmbH
<b>Sonstiges</b>	* weltweit erster Automobilhersteller, der Batterien für automobiler Anwendungen zur Serienreife entwickelt und ab 2012 auch produzieren und vertreiben will
<b>Strategie</b>	Daimler setzt auf die Optimierung der Verbrennungsmotortechnik, weitere Effizienzsteigerung bei den Hybriden und mittel- bis langfristig auf Brennstoffzellen bzw. Batteriefahrzeuge. Besonderheit: die Serienherstellung eigener Lithium-Ionen Batterien wird angestrebt.

<b>Hersteller</b>	<i>Opel</i>
<b>Ziele (konkret)</b>	* führender Hersteller bei der Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen (Strategie „e-mobility unlimited“ )
<b>derzeit vorhanden</b>	* Autogas & Erdgas

	* FCV (Opel Hydrogen4)
<b>in Planung</b>	* Serieller Hybrid Opel Ampera in serienreife ab 2011 * Serieller Hybrid Opel Flextremer GT/E
<b>Kurzstrecken Güterverkehr</b>	* Elektro-Kleintransporter Bomobil bis Ende 2011
<b>Projekte</b>	* Clean Energy Partnership * Project Driveway * Projekt Öko-Stromtank-stellen * Bomobil
<b>Forschungsorientierte Kooperation</b>	* HSE * VDA Initiativkreis
<b>Beteiligungen</b>	
<b>Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle</b>	* als reines Brennstoffzellenfahrzeug mit dem Opel Hydrogen 4
<b>Sonstiges</b>	* bieten Aus-/ Weiterbildung an
<b>Strategie</b>	Opel setzt auf eine breite Angebotspalette mit kleinen BEVs für die Städte, HEV mit Range Extender für Stadt-Land-Fahrer und FCV für Langstrecken. Besonderheit: Opel Ampera als erster europäischer serieller Hybrid.

<b>Hersteller</b>	<b>BMW</b>
<b>Ziele (konkret)</b>	
<b>derzeit vorhanden</b>	* Vollhybrid (ActiveHybrid X6) * Mildhybrid (ActiveHybrid 7) * BEV (E-Mini)
<b>in Planung</b>	* Megacity Vehicle wohl in unterschiedlichen Varianten als BEV/HEV und PHEV geplant
<b>Kurzstrecken Güterverkehr</b>	nichts bekannt
<b>Projekte</b>	* Clean Energy Partnership * E-Mini Berlin * E-Mini München
<b>Forschungsorientierte Kooperation/ Beteiligungen</b>	* Joint Venture Johnson Controls Saft * Joint Venture SB-LiMotive * Joint Venture mit Li-Tec * Zellhersteller A123 * Vattenfall * EON * eNOVA * VDA Initiativkreis
<b>Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle</b>	* Aktivitäten im Dezember 2009 vorerst eingestellt
<b>Sonstiges</b>	
<b>Strategie</b>	BMW hat sich für das Elektroauto als zukunftssträtigste Antriebstechnologie entschieden. Bei Wasserstoffantrieb und Brennstoffzelle soll lediglich die Grundlagenforschung im Auge behalten werden. BMW will speziell entwickelte Elektroautos anbieten. Range

	Extender werden als sinnvoll angesehen.
--	---

<b>Hersteller</b>	<i>VW</i>
<b>Ziele (konkret)</b>	* bis 2018 sollen E-Autos 3 % aller verkauften VWs ausmachen
<b>derzeit vorhanden</b>	* SunFuel (SunDiesel) * Parallel Hybrid (Touareg) * Erdgas & Autogas
<b>in Planung</b>	* ab 2013 Serienproduktion von 4 Elektroautos (Golf-Stromer, Elektro-Up, E-Jetta in und Laida) * Hybrid Jetta (2012) * Plug-In-Hybrid (Golf TwinDrive) Prototyp * 2 DieselHybrid-Studien
<b>Kurzstrecken Güterverkehr</b>	nichts bekannt
<b>Projekte</b>	* Clean Energy Partnership * Biomasse for SunFuel * Flottenversuch Elektromobilität * Initiative Brennstoffzelle
<b>Forschungsorientierte Kooperation/ Beteiligungen</b>	* BYD * Niedersachsen, Brandenburg & Hessen * Sanyo (japanischer Batteriehersteller) * VARTA Microbattery * EON * Toshiba * eNOVA * VDA Initiativkreis
<b>Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle</b>	* 2 Prototypen, unklar wann marktreif
<b>Sonstiges</b>	* Aus-/ Weiterbildung im Umgang mit Brennstoffzellen
<b>Strategie</b>	Volkswagen hat sich einen klaren Einführungsplan für E-Traktion aufgesetzt, und gibt, als einziger deutscher Konzern, eine quantitative Zielvorgabe von 3 % für seinen Elektrowagenanteil an der eigenen Produktpalette bis 2018 an. Qualitativ gilt das Ziel: E-Mobilität in Großserie und Marktführerschaft. Der Hybrid soll aus der Nische geholt werden und konzernweit in Serienfahrzeugen eingesetzt werden. Das Verbesserungspotential von Verbrennungsmotoren soll konsequent ausgeschöpft werden.

<b>Hersteller</b>	<i>Audi</i>
<b>Ziele (konkret)</b>	
<b>derzeit vorhanden</b>	* Syn Fuel und Sun Fuel (zusammen mit VW)
<b>in Planung</b>	* Audi Q5 Hybrid (HEV Ende 2010) * e-tron 2012 (BEV) * Audi A8 Hybrid (HEV Parallel-Hybrid) Ende 2011 * Audi A1 e-tron PHEVs als Serieller Hybrid; Markteinführung unbekannt
<b>Kurzstrecken Güter-</b>	nichts bekannt

<b>verkehr</b>	
<b>Projekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Projekt Flüssiggas China</li> <li>* Projekthaus e-performance</li> <li>* E3Car</li> </ul>
<b>Forschungsorientierte Kooperation/ Beteiligungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* eNOVA</li> <li>* Partner von Desertec-Projekt</li> <li>* VDA Initiativkreis</li> </ul>
<b>Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle</b>	* FCV Audi A2H2 (Prototyp, Marktstart unklar)
<b>Sonstiges</b>	* Aus-/ Weiterbildung im Umgang mit Brennstoffzellen
<b>Strategie (Audi)</b>	Audi verfolgt die Strategie, jede Technologie abhängig von Baureihe und Markt dort einzusetzen, wo sie Kunden den größten Nutzen bringt. Die Stärken des Elektroautos sieht Audi eindeutig in der Stadt. Neben Hybriden und Elektrofahrzeugen baut Audi langfristig seine Kompetenz für Antriebskonzepte mit Brennstoffzellen- und Wasserstoffantriebe weiter aus.
<b>Strategie (Porsche)</b>	Aufgehängt unter Porsches „Intelligent Performance“ Strategie soll der Elektroantrieb eine wachsende Rolle übernehmen. Porsche hat mit dem Cayenne S Hybrid einen Parallel-Hybriden in Serie in der Modellpalette und möchte diese Technik in weiteren Modellen fortführen. Beim Thema FCV klafft bei Porsche eine Lücke.

<b>Hersteller</b>	<b><i>Ford Deutschland</i></b>
<b>Ziele (konkret)</b>	
<b>derzeit vorhanden</b>	
<b>in Planung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* e-Ka BEV (Prototyp)</li> <li>* ersten seriellen Plug-in-Brennstoffzellen-Hybrid (Prototyp)</li> <li>* BEV ab 2011</li> <li>* Kleintransporter BEV ab 2010 in USA (Ford Tourneo Connect)</li> <li>* Lieferwagen BEV 2011 in Deutschland ( Ford Transit Connect)</li> <li>* Ford Focus BEV (nicht vor 2012)</li> </ul>
<b>Kurzstrecken Güterverkehr</b>	* Stadtlieferwagen Transit Connect BEV derzeit in Köln im Praxistest (Pilotprojekt), ab 2011 in Serie
<b>Projekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Clean Energy Partnership</li> <li>* colognE-mobil (Schwerpunkt: City-Logistik)</li> </ul>
<b>Forschungsorientierte Kooperation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* VDA Initiativkreis</li> <li>* Magna</li> <li>* Tanfield Group (Smith Electric Vehicles)</li> <li>* Azure Dynamics (amerikanischer Elektro-Hybrid-Antriebshersteller)</li> <li>* RheinEnergie</li> </ul>
<b>Beteiligungen</b>	* mit 11 % an Mazda
<b>Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle</b>	* Forschung ruht, Joint Venture mit Daimler "DeNuCellSys" 2009 verlassen
<b>Sonstiges</b>	
<b>Strategie</b>	Ford setzt klar auf BEVs und Hybride, letztere in den USA schon seit Jahren auf dem Markt, weil Diesel hier nicht populär. Die Brennstoffzellen-Forschung wurde erst einmal eingestellt (Joint Venture hierzu mit Daimler 2009 verlassen). Konzentration auf zeitnahe-

	re Technologien (Elektroantrieb, Hybridtechnologie und Verbesserung des Verbrennungsmotors)
--	---

<b>Hersteller</b>	<i>Renault/ Nissan</i>
<b>Ziele (konkret)</b>	* bis zum Jahr 2020 einen Verkaufsanteil von 10 % E-Autos
<b>derzeit vorhanden</b>	* Schnellladetechnik & Akkutausch (beim Renault Fluence Z.E.)
<b>in Planung</b>	* BEV Nissan Leaf (ab 2011 in Deutschland) * BEV Renault Kangoo Z.E. (voraussichtlich 2011 in Deutschland) * BEV Renault Fluence Z.E. (2011 Westeuropa) * FCV Grand Scénic ZEV H2 (Prototyp) * BEV Renault Zoe Z.E. (ab 2012) * BEV Renault Twizy Z.E. 2-Sitzer (ab 2012)
<b>Kurzstrecken Güterverkehr</b>	* Kleintransporter BEV Renault Kangoo Rapid ab 2011 * Kleintransporter BEV Renault Kangoo be bob Z.E. ab 2011
<b>Projekte</b>	* E-Moving (Italien) * Smartcity (Spanien)
<b>Forschungsorientierte Kooperation</b>	* EDF * viele Länder-/ Städtepartnerschaften * Oak Ridge National Lab (USA) * Schneider Electric (Energiemanagement) * Electricity Supply Board (irischer Energieversorger) * A2A (italienischer Energieversorger) * Project Better Place * Joint Venture mit CEA
<b>Beteiligungen</b>	* 51 % an Automotive Energy Supply Corporation (AESC) * 3,1 % an Daimler
<b>Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle</b>	* ein Prototyp unklar wann serienreif
<b>Sonstiges</b>	* geplant: Ausbildung von Elektrofahrzeugtechnikern im Rahmen von "Smartcity"
<b>Strategie</b>	Stark vernetztes, weltweites Netz an Elektro-Kooperationen. Unternehmen strebt Marktführerschaft bei Elektroautos an und nennt auch eine quantitative Zielmarke: Verkaufsanteil elektrischer Fahrzeuge von 10 % bis 2020. Außerdem bereits große Stückzahlen von Elektroautos verkauft (100.000 an Projekt „Better Place“). Haben die Allianz Renault-Nissan bewusst geschmiedet, um ihre Elektroautostrategie zu voranzubringen.

<b>Hersteller</b>	<i>PSA Peugeot Citroen</i>
<b>Ziele (konkret)</b>	
<b>derzeit vorhanden</b>	* BEV's Peugeot Ion & Citroën C-Zéro (ab Winter 2010) beide auf Basis des Mitsubishi iMiEv * BEV Citroen (Sommer 2010) * BEV Berlingo First Electrique (Herbst 2010 auf IAA vorgestellt)
<b>in Planung</b>	* Diesel-Parallel Mild-Hybride in Serie geplant ab 2011 (vier Modelle) * PHEV (3008 Hybrid4) in Serie ab 2011
<b>Kurzstrecken Güterverkehr</b>	* Transporter BEV Berlingo First Electrique (ab Sommer 2010)

<b>Projekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mu by Peugeot (Mobilitätsdienstleistungs-Pilotprojekt)</li> <li>* FiSyPAC (Brennstoffzellenentwicklung)</li> <li>* GENEPAC (Brennstoffzellenforschung)</li> </ul>
<b>Forschungsorientierte Kooperation/ Beteiligungen/ Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Bosch</li> <li>* Mitsubishi</li> <li>* CEA (Französischen Zentrum für Atomenergie)</li> <li>* Johnson Controls-Saft (französischer Batteriehersteller)</li> <li>* EDF</li> <li>* Venturi Automobiles (Sportwagenhersteller aus Monaco)</li> </ul>
<b>Sonstiges</b>	* geplant: Ausbildung von Elektrofahrzeugtechnikern im Rahmen von "Smartcity"
<b>Strategie</b>	PSA Peugeot Citroen setzen stark auf Diesel-Hybridtechnologie, vier Serienmodelle ab 2011 geplant. Für ihre Entwicklung besteht strategische Partnerschaft mit Bosch. Im reinen Elektrobereich setzen sie auf kleine BEVs für die sie ein all-inclusive leasing (Auto, Akku und Wartung) anbieten. Reine Elektroautos sehen sie nur für die Stadt, die Zukunft in Plug-in-Hybriden mit Diesel. Bei den Ottomotoren planen sie neue Dreizylinder-Motoren mit geringerem Hubraum. Besonderheit: nutzen bislang Nickel-Metall-Hybrid Akkus.

<b>Hersteller</b>	<i>Toyota</i>
<b>Ziele (konkret)</b>	* kommerzielle Einführung von Brennstoffzellen-Hybridfahrzeugen bis zum Jahr 2015
<b>derzeit vorhanden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Powersplit-Hybrid (Toyota Prius III, Auris Hybrid)</li> <li>* der FCVH erstes Klein-Serienmodell eines FCV weltweit (2002)</li> </ul>
<b>in Planung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Prius PHEV (ab 2012)</li> <li>* mehrere Generationen von FCV-Prototypen</li> <li>* FCVH adv Serienproduktion 2015 geplant</li> <li>* BEV Toyota R4V4 (ab 2012)</li> <li>* FT-EV II ( ab 2012 in den USA)</li> </ul>
<b>Kurzstrecken Güterverkehr</b>	* Toyota Coaster Minibus mit Flüssiggasantrieb (in Asien und Afrika im Einsatz)
<b>Projekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Feldversuch Straßburg</li> <li>* Clean Energy Partnership</li> <li>* BeMobility</li> <li>* USA Fuel Cell Project</li> <li>* Japan Fuel Cell Project</li> </ul>
<b>Forschungsorientierte Kooperation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tesla</li> <li>* EDF</li> <li>* ADEME</li> <li>* Deutsche Bahn</li> </ul>
<b>Beteiligungen</b>	* Beteiligung an Tesla mit ca. 3 %
<b>Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle/ Sonstiges</b>	* entwickelt eigene wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen und Hochdruckwasserstoffspeicher
<b>Strategie</b>	Toyota setzt auf die Voll-Hybrid-Technologie und möchte diese bis 2020 flächendeckend in sein europäisches Modellprogramm einführen. Im Bereich der Hybridtechnik gehört auch der Brennstoffzellenantrieb dazu. Toyota setzt auf dem Weg zu reinen Elektrofahrzeugen auf den Plug-In als Weiterentwicklung des Hybrid-Konzepts, führt parallel aber



	auch die Entwicklung am Elektroantrieb fort. Zukünftig sollen beide Technologien in Brennstoffzellen-Hybrid-Autos vereint werden.
--	---

Quelle: eigene Zusammenstellung nach Online-Recherchen im August/ September 2010



# Intelligente Stromnetze

ITA-Kurzstudie

*Daniel Pathmaperuma*

Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren  
am Karlsruher Institut für Technologie

*Jens Schippl*

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse  
am Karlsruher Institut für Technologie

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:  
Dipl.-Geograph Jens Schippl  
E-Mail: [jens.schippl@kit.edu](mailto:jens.schippl@kit.edu)  
Telefon: +49 (0) 721 / 608 - 23994

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>89</b>
<b>1 Aufbau der Studie.....</b>	<b>93</b>
<b>2 Einführung in das Thema .....</b>	<b>95</b>
<b>3 Grundlegende Probleme und Lösungsansätze .....</b>	<b>97</b>
3.1 Das Smart Grid .....	100
3.2 Komponenten eines Smart Grid .....	100
3.3 Anforderungen an ein Smart Grid.....	101
<b>4 Offene Fragen .....</b>	<b>103</b>
4.1 Technik und Sicherheit .....	103
4.2 Geräte und Netze .....	104
4.3 Protokolle und Informationen.....	106
4.4 Gesellschaftlich .....	107
4.5 Geschäftsmodelle und Märkte.....	109
4.6 Recht und Finanzen .....	110
<b>5 Vorschläge zur methodischen Umsetzung .....</b>	<b>113</b>
<b>6 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>119</b>



## Zusammenfassung

Hintergrund ist, dass mit dem Konzept Intelligente Netze (engl.: Smart Grids), neue Möglichkeiten für zukünftige Energiesysteme verbunden werden. Gleichzeitig bringt der Ansatz aber eine ganze Reihe an technischen und nicht-technischen Herausforderungen mit sich. Bisher ist das Energiesystem in einem Industrieland wie Deutschland sehr stark zentral und hierarchisch aufgebaut. Elektrische Energie wird vornehmlich in großen Kraftwerken produziert, und von dort aus an die Verbraucher verteilt. Da der Verbrauch im Tagesgang schwankt, müssen zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Energiemengen bereitgestellt werden. Diese Tagesganglinien sind aber relativ gut prognostizierbar. Nun gab es in den letzten Jahren und besonders mit dem Atomausstieg in 2011, einige Entwicklungen, die das etablierte, zentralistisch-hierarchische System in Frage stellen. Dazu zählt insbesondere der steigende Anteil von Wind- und Sonnenenergie. Beide Formen der Energiebereitstellung sind stark fluktuierend, d.h. sie stehen nur dann zu Verfügung, wenn die Sonne scheint bzw. ausreichend Wind weht. Zudem hat die elektrische Energie die Eigenschaft, dass sie schlecht speicherbar ist. Ein erhöhter Anteil an Sonne und Wind erfordert somit einen zeitlichen und geographischen Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage. Da die Erzeugung von Windstrom vor allem im Norden ausgebaut wird, muss die Leistungsfähigkeit der Übertragungsnetze erheblich erhöht werden.

Die Entwicklung eines intelligenten Stromnetzes wird inzwischen von vielen Experten als Möglichkeit gesehen, um auf die Herausforderungen eines stark anwachsenden Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu reagieren, und gleichzeitig den kostenintensiven und politisch oft schwierigen Netzausbau zumindest teilweise zu ersetzen. Zudem soll dadurch die Abhängigkeit von meist fossil betriebenen Schattenkraftwerken reduziert werden. Dabei soll u.A. der Energieverbrauch insgesamt durch eine Erhöhung der Energieeffizienz reduziert werden. Das eigentlich Revolutionäre ist aber, dass in Zeiten, in denen wegen Windflaute oder geringer Sonneneinstrahlung weniger elektrische Energie zur Verfügung steht, auch der Energieverbrauch, also die Nachfrage gesenkt wird. Wichtig ist dabei, das Konzept der Lastverschiebung. Das kann beispielsweise bedeuten, dass Haushaltgeräte wie Wasch- oder Spülmaschinen in den Zeiten benutzt werden, wenn ausreichend Energie zur Verfügung steht. Dafür ist es notwendig, dass die einzelnen Komponenten Informationen untereinander austauschen können. Desweiteren kommt dem Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie dabei die eigentliche Schlüsselrolle zu.

Zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansatzpunkte und Problemkontexte lassen sich in dem vielschichtigen Themenfeld „intelligente Stromnetze“ unterscheiden:

1. Die Flexibilisierung von und Einsparungen in den Netzen durch optimierte Steuerung, wobei es im Wesentlichen darum geht, Zustand und Eigenschaften der Übertragungs- und Verteilnetze von einem beliebigen Ort aus messen, und regeln zu können.<sup>58</sup>
2. Die Flexibilisierung und Einsparung auf der Nachfrageseite, durch Lastverschiebung und optimierte Nutzung bzw. als Unterstützung bei der Realisierung von Einsparpotentialen. Auch bei diesem, auf so genannte „Smart Homes“ ausgerichteten Ansatz geht es vor allem, um die Möglichkeit zu messen und zu regeln, diesmal aber auf der Ebene der Gebäude mit ihren verschiedenen Verbrauchern.

Das Smart Grid ist also ein hochkomplexes System, das bisher vor allem als Idee existiert. Bestenfalls wurden Teile als prototypische Versuche implementiert. Mit der Umsetzung sind zahlreiche offene Fragen verbunden, die in der vorliegenden Studie angesprochen werden:

---

<sup>58</sup> Auch eine Flexibilisierung auf der Erzeugerseite kann hier zugerechnet werden, also Kraftwerke die bei Engpässen kurzfristig und effizient einspringen können und eventuell auf Basis von Biomasse durch regenerative Rohstoffe betrieben werden.

*Technik und Sicherheit:* Da das Smart Grid auf Diensten der Informations- und Kommunikationstechnik aufgebaut ist, wird es seine größte Verletzlichkeit eher durch „virtuelle“, informationstechnische Angriffe haben, die z.B. auf der massiven Verbreitung falscher Informationen beruhen könnten. Maßnahmen wie eine entsprechende Sicherheitsarchitektur oder Mindestqualitätsanforderungen an Software sind unumgänglich.

*Geräte und Netze:* Viele Fortschritte auf den Gebieten der Elektrotechnik und der Informatik können im Smart Grid zusammen wirken. Beispielsweise könnten über aktive Netzkomponenten Energieflüsse in einzelnen Netzabschnitten gesteuert werden. Indirekt könnte so auch der Aufbau eines europäischen HGÜ (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs) -Netzes attraktiver werden, das den Transport von Windenergie von Nord nach Süd oder Sonnenenergie in die umgekehrte Richtung erleichtern könnte. Vorstellbar ist auch, dass sich Verbindungen zwischen Mittelspannungsnetzen besser nutzen lassen, wenn mehr Informationen über die Netzzustände zur Verfügung stehen und sich die Umspanntransformatoren per Fernbedingung schnell und einfach steuern lassen. Generell ist Automatisierung, besonders in den Haushalten, ein zentraler Punkt für effizientes Demand-Side Management, das viele offene Fragen mit sich bringt, z.B. hinsichtlich der Optimierung von Mensch-Maschine-Interaktionen.

*Protokolle und Informationen:* Die Kooperation sehr vieler, verschiedener Komponenten in einem einzigen System, noch dazu unter einer großen Zahl von Nebenbedingungen und Optimierungskriterien ist ein schwieriges Problem. Hier müssen gut funktionierende Optimierungsverfahren sowie dynamische und effiziente Steuerungsalgorithmen entwickelt werden. Eine dezentrale Verwaltung bietet sich für ein solches System aus mehreren Gründen an, bringt aber ebenfalls viele offene Fragen hinsichtlich Architektur und Umsetzung mit sich.

*Gesellschaftlich:* Während das Smart Grid darauf abzielt, das Gesamtsystem zu optimieren, ergeben sich für den Endverbraucher nicht zwingend Vorteile. Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Verbreitung des Systems ist aber die Akzeptanz der Nutzer. Gerade im Hinblick auf die Flexibilisierung des Nutzerverhaltens im Smart Grid und, genereller zu Einstellungen und Präferenzen im Umgang mit Energie, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

*Geschäftsmodelle und Märkte:* Vor allem die verbesserte Verfügbarkeit von Informationen, aber auch die Verbreitung von kleinen, dezentralen Anlagen wird die Märkte für Elektrizität verändern. Kunden könnten sehr viel fundiertere Entscheidungen treffen, Produzenten könnten strategischer entscheiden. Der Verbraucher kann mit einer PV-Anlage auf dem Dach auch zum Produzenten werden. Die Möglichkeit der Ferndiagnose und Steuerung ermöglicht völlig neue Betriebsmodi und Modelle für verbaute Komponenten. So kann eine Anlage in einem Haus stehen, betrieben wird sie aber durch eine Dienstleistungsgesellschaft. Auch hier stellen sich Fragen der Nutzerakzeptanz wie auch juristische Fragen (Rollenzuordnung, Haftung).

*Recht und Finanzen:* Das derzeitige Geflecht aus Besteuerung und Subventionierung von Energie ist bereits relativ komplex und könnte in einem intelligenten Netz noch komplexer werden. Hier bedarf es angemessener Regelungen, wobei auch ein Vergleich mit dem Europäischen Recht interessant scheint. Der erforderliche Austausch von Information wirft wieder zu klärende Datenschutzfragen auf, die den Aufbau einer nachvollziehbaren und prüfaren Sicherheitsarchitektur erfordern.

Abschließend macht die vorliegende Studie Vorschläge, wie ITA-Studien zur Lösung der offenen Fragen umgesetzt werden könnten:

**Potentialanalyse zu intelligenten Netzen über Szenarienbildung:** Inwieweit intelligente Netze eine Alternative zu Schattenkraftwerken und Netzausbau darstellen können, ist die eigentliche Kernfrage, die als Ausgangspunkt für weitere Teilfragen gesehen werden muss. Bisher ist nicht klar, inwieweit bzw. in welcher Konfiguration ein intelligentes Netz diesen Ausbau ersetzen kann. Methodisch würde sich eine mo-



dellgestützte Szenarienbildung anbieten, durchaus unter Bezugnahme auf existierende Szenarien. Stakeholder und Nutzer sind in den Prozess einzubeziehen; der Prozess soll als diskursive Plattform zur Integration unterschiedlicher Interessenslagen und Wissensbestände angesehen werden.

**Technikentwicklung und Expertendiskurse zu Sicherheit, Vertrauenswürdigkeit und Datenschutz:**

Die Messung und Steuerung des Netzzustandes von jedem Ort aus wird vermutlich auf Akzeptanzprobleme stoßen, solange sich nicht der Schutz vor Manipulation nachweisbar garantieren lässt. Im Kontext der oben genannten Szenarien sollten die Themen Sicherheit und Qualitätsanforderungen gesondert betrachtet werden. Verschiedene Konzepte zur Datenaggregation und -filterung zusammen mit entsprechenden Sicherheitskonzepten sollten von Experten erarbeitet werden.

**Expertenworkshops zur Weiterentwicklung zentraler Komponenten:** Ebenfalls förderlich für die Entwicklung der Szenarien wäre eine bessere Abschätzung der Entwicklungspotentiale zentraler Komponenten des Smart Grid. Dazu gehört u.a. eine Betrachtung von sich entwickelnden „Home-Automation-Technologien“ aus Energiesicht. Forschungsaktivitäten könnten durch Expertenworkshops gezielt angeschoben werden.

**Weitere Analyse zu Speicheroptionen:** Auch wenn sich elektrische Energie nur unter erheblichen Verlusten speichern lässt, so existieren doch eine ganze Reihe von Speichermöglichkeiten, und neue Optionen werden diskutiert. Sinnvoll erscheint eine Integration der Entwicklungspotentiale der Speichertechnologien in die oben genannten Szenarien. Andersrum könnten aus den Szenarien verschiedene Anforderungsprofile für Speichertechnologien abgeleitet werden.

**Analyse möglicher Akteurskonstellationen und -motivationen:** Auf den verschiedenen Ebenen des Smart Grid sind sehr unterschiedliche Akteure eingebunden. Um mögliche Innovationsbarrieren und Erfolgsfaktoren greifbar zu machen, bedarf es neben der Untersuchung der technischen Charakteristika einer Untersuchung der Motivationen und Einstellungen der relevanten Akteure mittels empirischer Sozialforschung.

**Feldversuche mit Nutzern in realen Smart Homes:** Es mangelt an belastbaren empirischen Daten zu Nutzerverhalten und -einstellungen, da es gegenwärtig so gut wie keine (Energy) Smart Homes gibt. Sinnvoll erscheinen umfassend wissenschaftlich begleitete Feldversuche, die noch deutlich größer angelegt sind als bisherige Ansätze, damit neben den zu implementierenden Technologien auch auf eine angemessene Differenzierung im Hinblick auf geographische, architektonische bzw. sozio-demographische Faktoren geachtet werden kann.

**Diskussion und Modellierung von Geschäftsmodellen und Regulierungsmöglichkeiten:** Ein intelligentes Netz bringt Veränderungen mit sich, die von den Nutzern durchaus auch als Nachteil empfunden werden könnten, z.B. wenn Haushaltsgeräte nicht mehr ohne weiteres zu jeder beliebigen Uhrzeit nutzbar sind. Deshalb käme Geschäftsmodellen und Regulierungsmöglichkeiten in einem intelligenten Netz, besonders was die Realisierung von Potentialen zur Lastverschiebung in privaten Haushalten betrifft, erhebliche Bedeutung zu.

**Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS):** Der nutzungsfreundlichen Gestaltung von MMS kommt im Smart Grid eine besondere Rolle zu – gerade auch unter Akzeptanzgesichtspunkten. Wichtig wäre die Spezifizierung von Anforderungen an MMS und die Entwicklung entsprechender Geräte und Tests mit verschiedenen Nutzergruppen.

**Benötigte Investitionen:** Der Umbau der elektrischen Energieversorgung zu einem intelligenten Netz ist mit erheblichen Investitionen verbunden. Sinnvoll erscheint die Entwicklung und Beurteilung verschiedener Finanzierungsszenarien mit Experten.

**Öffentlichkeitsarbeit:** Intelligente Netze würden zu weit reichenden Umstrukturierungen führen, von denen viele Nutzer betroffen wären (direkt als Kunden und indirekt als Steuerzahler) und denen damit eine deutliche gesellschaftliche Relevanz zugeschrieben werden kann. Eine solch tief greifende Veränderung lässt sich kaum ohne gesellschaftliche Unterstützung durchführen, sodass es erforderlich erscheint, die Öffentlichkeit gezielt über Potentiale und Nutzen intelligenter Netze zu informieren.

**Internationale Perspektive/ Vergleiche mit dem Ausland:** Ansätze ein intelligentes Netz aufzubauen bzw. einzuführen sind in vielen Ländern erkennbar. Diese Entwicklungen sollten systematisch in den Blick genommen werden.

## **1 Aufbau der Studie**

Die vorliegende Studie beschreibt zunächst in Kapitel 2 die wesentlichen Rahmenbedingungen und Treiber, die eine Neuausrichtung des Energiesystems und den damit zusammenhängenden Aufbau Intelligenter Stromnetze (Smart Grid) erforderlich erscheinen lassen. Dazu gehört auch ein kurzer historischer Abriss der Entstehung der heutigen Stromnetze und ihrer Rolle im Energiesystem. In Kapitel 3 werden die technischen Herausforderungen, die sich durch eine Erhöhung des Anteils fluktuierender erneuerbarer Energiequellen ergeben, detaillierter dargestellt. Weiter wird das Konzept der intelligenten Netze als mögliche Lösung der genannten Probleme beschrieben.

Schon bei dieser Beschreibung wird deutlich, dass der Aufbau eines intelligenten Netzes mit weit reichenden Veränderungen und großen Investitionen verbunden wäre. Kapitel 4 widmet sich ausführlich den zahlreichen offenen Fragen die teils technischer, oft aber auch nicht-technischer Natur sind. Kapitel 5 entwickelt schließlich methodische Vorschläge, die aufzeigen, wie eine ITA zur Klärung der offenen Fragen beitragen könnte.



## 2 Einführung in das Thema

Die elektrische Energie wird vom Menschen seit nunmehr über 150 Jahren auf breiter Basis genutzt. In dieser Zeit entstanden überall auf der Welt elektrische Netze mit der zugehörigen Infrastruktur. Diese unterscheidet sich regional zwar leicht, das grundlegende Konzept ist jedoch überall das Gleiche (Flosdorff, Hilgarth 2005; Heuck et al. 2005).

Anfangs versorgten die Elektrizitätswerke begrenzte Gebiete, z.B. einzelne Städte mit Energie. Dies geschah über eigene Netze, die baumförmig vom Werk zu den Endverbrauchern führten. Mit der Zeit stieg der Umfang der Nutzung elektrischer Energie, die Netze wurden größer, und mehrere Kraftwerke waren notwendig, um die einzelnen Netze mit ausreichend Energie versorgen zu können. Es war in diesem Zuge folgerichtig, die einzelnen Netze untereinander zu verbinden, sodass fortan auch ein Energiefluss zwischen den einzelnen Netzen möglich war. Dies diente vor allem der Stabilität und Versorgungssicherheit der an dieses Verbundnetz angeschlossenen Verbraucher. Fiel nun ein Kraftwerk aus, konnte der Energiebedarf durch die anderen Kraftwerke im Verbundnetz mitgetragen werden.

Eines der weltweit am besten ausgebautesten und stabilsten Netze überhaupt, entstand in Europa und hier speziell in Deutschland. Dies stellt nicht zuletzt auch einen Wettbewerbsvorteil dar. Stromausfälle oder gar regelmäßige, geplante Abschaltungen ganzer Netzabschnitte<sup>59</sup> aufgrund von Engpässen sind hier nahezu unbekannt.

Das klassische, klar hierarchische Konzept des Energieflusses wurde jedoch stets beibehalten: Wenige große Kraftwerke stellen elektrische Energie bereit, diese wird über verschiedene Ebenen bis zum Endverbraucher transportiert. Die Energie fließt dabei streng unidirektional vom Erzeuger zum Verbraucher. Dabei wird die Energie vornehmlich aus Großkraftwerken bezogen, die üblicherweise aus einer Wärmequelle Wasser zum Verdampfen bringen (Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Öl oder Gas, später auch Kernspaltungsprozesse). Der Wasserdampf wiederum treibt über Turbinen Generatoren an, die den Strom erzeugen. Großkraftwerke dieser Art liegen üblicherweise in einem Leistungsbereich von einigen Hundert Megawatt bis hin zu einigen Gigawatt.

Angetrieben durch Faktoren wie den technischen Fortschritt, die Ölkrisen der 1970er Jahre und nicht zuletzt auch aufgrund des aufkommenden Umweltbewusstseins Ende der 70er Jahre wurden dann die ersten Anlagen zur Erzeugung elektrischen Stroms aus regenerativen Energiequellen entwickelt. Ein Schwerpunkt war neben der Photovoltaik vor allem die Stromerzeugung aus Wind.

Die Windkraftanlagen entwickelten sich rasant, die Leistung der einzelnen Anlage stieg ebenso wie die Zahl der installierten Anlagen insgesamt. Heutzutage werden Anlagen mit einer Leistung von 2 bis 6 Megawatt (MW) verbaut. Dabei geht der Trend eindeutig zu Windparks, großen Ansammlungen von Windkraftanlagen, die eine gemeinsame Anschlussstelle an das Stromnetz haben.

Im Gegensatz zu Windkraftanlagen sind Photovoltaik(PV)-anlagen nahezu beliebig skalierbar. Hier reicht die Spanne von Solarfarmen mit einer Gesamtleistung von bis zu 60 MW bis hinunter zum Betrieb von elektronischen Kleinstgeräten wie z.B. Taschenrechnern mit einem Energiebedarf von nur wenigen Milliwatt. Dementsprechend können nun auch kleinere Anlagen mit einer Leistung von einigen Kilowatt produziert werden, die auf einem gewöhnlichen Gebäudedach Platz finden.

Einhergehend mit diesem technischen Wandel setzt sich mehr und mehr die Erkenntnis durch, dass die Gewinnung von elektrischer Energie auf Basis von fossilen Brennstoffen keine nachhaltige Lösung ist. Aus

---

<sup>59</sup> So z.B. in Kalifornien im Januar 2001, als aufgrund von Produktionsengpässen im Rotationsverfahren einzelne Netzabschnitte für 60 bis 90 Minuten vom Netz getrennt wurden. Die Meldung sorgte international für Schlagzeilen.

der begrenzten Verfügbarkeit dieser Primärenergieträger lässt sich eine Preisdynamik absehen, die elektrischen Strom aus diesen Quellen auf Dauer teurer werden lässt.<sup>60</sup> Hinzu kommen negative Einflüsse auf die Umwelt, die mit der Förderung und Verbrennung fossiler Energieträger verbunden sind<sup>61</sup>. Dazu gehört neben den Schad- und Schwebstoffen, die dabei in die Atmosphäre gelangen, vor allem auch Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Es gibt sehr starke Indikatoren, die einen Zusammenhang zwischen der Freisetzung von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre und der Erderwärmung nahe legen.

Neben diesen Kosten- und Umweltüberlegungen spielt auch die Abhängigkeit von bestimmten Erzeugungsregionen bei der Diskussion um den künftigen Energiemix eine Rolle, da die Vorkommen fossiler Brennstoffe sehr ungleich über die Erde verteilt sind.

Als weiterer wichtiger Faktor für die Veränderung des deutschen bzw. des europäischen Energiesystems sei auch auf die zunehmende Liberalisierung hingewiesen, die für mehr freien Wettbewerb im Energiesektor führen soll, wodurch grundsätzlich die Möglichkeiten für eine dezentralere Organisation des Energiesystems gestärkt werden (vgl. z.B. Vogel 2009).

---

<sup>60</sup> Diese Entwicklung ist auch heute schon an Öl- und Gaspreisen erkennbar.

<sup>61</sup> Hierzu zählen Schadstoffe, die bei der Verbrennung in die Luft gelangen, Schadstoffe, die bei der Förderung fossiler Brennstoffe in die Umwelt gelangen, so z.B. bei der Ölförderung, oder der Landschaftsverbrauch z.B. beim Braunkohle-Tagebau.

### 3 Grundlegende Probleme und Lösungsansätze

Auf Basis der vorgenannten Überlegungen wurden Förderprogramme für Stromgewinnungsanlagen aus erneuerbaren Energien aufgelegt. Dazu zählen z.B. festgelegte Einspeisevergütungen für regenerativ erzeugten Strom und die Verpflichtung an die Netzbetreiber, diesem Strom im Netz Vorrang vor Strom aus fossilen Energieträgern zu geben. Nicht zuletzt auch aufgrund dieser gezielten Fördermaßnahmen finden Kleinanlagen eine stetig wachsende Verbreitung. So kann nun praktisch jeder Verbraucher auch zum Energieerzeuger werden; er ist also Konsument und Produzent zugleich, wofür der Begriff Prosumer geprägt wurde.

Diese Veränderung ist auf den ersten Blick klein, beinhaltet jedoch ein revolutionär neues Konzept. Erstmals ist der Energiefluss in den Netzen nicht mehr streng unidirektional. Abhängig vom aktuellen Verbrauch einzelner Regionen kann es nun vorkommen, dass ganze Netzabschnitte keine Stromsenken sondern Stromquellen darstellen; die elektrische Energie fließt bidirektional. Damit geht die Zeit der unidirektionalen Netze ihrem Ende zu.

Die zweite grundlegende Veränderung besteht in der Größe und Zahl der Stromerzeugungseinheiten. Neben den monolithischen Großkraftwerken spielen kleine, dezentrale Erzeugungseinheiten eine immer größere Rolle. Dies kann das Energienetz auf der einen Seite deutlich robuster machen, da der störungs- oder wartungsbedingte Ausfall einer einzelnen Anlage einen sehr viel kleineren Einfluss auf die Gesamtproduktionskapazität hat, als dies z.B. bei einem Großkraftwerk der Fall wäre. Auf der anderen Seite wird das Energiesystem so jedoch auch unübersichtlicher und schwieriger zu steuern, insbesondere weil die Energieeinspeisung oft im Niederspannungsnetz erfolgt.

Zu diesen Veränderungen kommt noch eine weitere, deren Ursache in einer grundlegenden Eigenschaft regenerativer Energiequellen liegt: Die Stromerzeugung aus diesen Quellen kann nicht (Photovoltaik, Wind) bzw. nur begrenzt (Wasserkraft) gesteuert werden. Eine Photovoltaikanlage erzeugt Strom, sobald die Sonne scheint. Bei fehlender Sonneneinstrahlung kann somit kein Strom produziert werden. Ähnlich verhält es sich bei Windkraftanlagen. Nun lassen sich Wind- und Sonnenscheindauer/-intensität bzw. auch die Windrichtung<sup>62</sup> nur bedingt prognostizieren, wodurch auch die Prognose des Stromdargebots aus diesen Quellen begrenzt ist. Hinzu kommt das Fehlen einer Steuermöglichkeit; die Stromerzeugung ist also unabhängig vom aktuellen Bedarf.

Dies wiederum bedeutet aber ebenfalls eine revolutionäre Änderung im althergebrachten Energiesystem. Die Ursache hierfür liegt in einer bestimmten Eigenschaft elektrischer Energie: Sie lässt sich nur sehr schlecht speichern. Deshalb ist das aktuelle Energiesystem auch darauf ausgelegt, zu jedem Zeitpunkt genau so viel Strom zu produzieren, wie verbraucht wird. Da Großkraftwerke teilweise sehr lange Ansprechzeiten haben, ist hierfür eine möglichst genaue Lastprognose notwendig. Eben diese Lastprognose wird durch die eben beschriebene, unstete dezentrale Energieerzeugung deutlich schwieriger. Die unvermeidlichen kurzfristigen Schwankungen zwischen Erzeugung und Verbrauch werden heutzutage durch so genannte Regelkraftwerke ausgeglichen, welche auf jede Abweichung sofort mit einer Anpassung der Stromproduktion reagieren. Je größer diese Abweichungen sein können, desto größer muss die vorgehaltene Leistung der Regelkraftwerke sein.

Hinzu kommt, dass der Energiebedarf keineswegs gleichmäßig ist, sondern über den Tag teilweise stark schwankt. Das elektrische Netz muss jedoch, ebenso wie die Stromerzeugungsanlagen, darauf ausgelegt sein, auch höchste Lastspitzen noch bedienen zu können. Da diese relativ selten vorkommen, ist ein großer Teil des Energiesystems die meiste Zeit über ungenutzt bzw. wird in Bereitschaft gehalten. Bei elektrischen

---

<sup>62</sup> Relevant bei Windkraftanlagen, bei denen die Ausrichtung nicht regelbar ist.

Übertragungsnetzen geht man z.B. von einer durchschnittlichen Nutzung von nur 40 bis 60 % aus (Zahlen von 2006 aus Konstantin 2009). Zu der Reserve, die bei den Erzeugungsanlagen vorgehalten werden muss, um diese Lastspitzen bedienen zu können, kommen nun noch weitere Kraftwerke im Leerlauf hinzu, die für Zeiten vorgehalten werden müssen, in denen das Dargebot aus Erzeugungsanlagen von erneuerbarer Energie wetterbedingt gering ist. Diese Regelkraftwerke werden auch Schattenkraftwerke genannt. Ihre Zahl muss mit dem Anteil steigen, den erneuerbare Stromerzeugung am Gesamtenergiemix hat. Diese Kraftwerke dauerhaft in Bereitschaft zu halten, ist jedoch ein erheblicher Kostenfaktor, der regenerativen Strom verteuert.<sup>63</sup>

Des Weiteren korrelieren Stromverbrauchsschwerpunkte nicht zwingend mit Gebieten, die für die regenerative Stromgewinnung geeignet sind. So entstehen derzeit z.B. in den deutschen Küstengebieten Windparks mit einer Gesamtleistung im mittleren zweistelligen Gigawattbereich<sup>64</sup>. Die dort gewonnene elektrische Energie muss über das bestehende Netz zu den Verbrauchszentren transportiert werden. Die Topologie des aktuellen Netzes ist jedoch aus vorgenannten, historischen Gründen so ausgelegt, dass sie die klassische Struktur der einzelnen Großkraftwerke in örtlicher Nähe zu Verbrauchszentren optimal unterstützt. Durch den starken Ausbau der Windkraft kommen diese Netze an ihre Kapazitätsgrenzen, was einen Netzausbau erforderlich macht. Die Alternative wäre, die Windparks gerade dann vom Netz trennen zu müssen, wenn diese besonders viel Strom produzieren, man würde also „kostenlosen“ grünen Strom verfallen lassen, um den Bedarf dann wiederum aus lokalen, fossil betriebenen Quellen zu decken. Ein Ausbau der Netze würde auf der anderen Seite dazu führen, dass die ungenutzte Reservekapazität in den Netzen von schon jetzt 40 bis 60 % weiter steigen würde, um auch die Leistungsspitzen aus der Windkraft, die nur an wenigen Tagen im Jahr erreicht werden, bedienen zu können.

Zu all den genannten systemimmanenten Effekten kommt nun noch eine weitere Komponente hinzu. Aus der gleichen Überlegung heraus, mit der man bei der Stromerzeugung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energieträger umsteigt, will man auch bei der Mobilität von Energieträgern auf fossiler Basis Abstand nehmen. Erste Schritte in diese Richtung stellen die Plug-in-Hybrid-Konzepte einzelner Hersteller dar, reine Elektroautos sollen in den nächsten Jahren folgen. Der Vorteil: Ein Elektrofahrzeug bezieht seine Fahrenergie aus einer Batterie und fährt somit (lokal) quasi emissionsfrei. Lokal emissionsfrei bedeutet in diesem Fall, dass elektrisches Fahren alleine noch nicht sicherstellt, dass die aufgewendete Energie auch tatsächlich emissionsfrei gewonnen wurde; das Auto stößt zwar keine Abgase aus, der Strom kann jedoch nach wie vor aus einem Kohlekraftwerk stammen, sodass das Auto in der Gesamtbilanz keineswegs emissionsfrei ist.

Unabhängig davon, auf welche Art der Strom gewonnen wird: Wahrscheinlich wird mittel- bis langfristig ein erheblicher Teil der Energie, die bisher über Pipelines und Tanklaster verteilt wurde, in Zukunft zusätzlich über die Stromnetze fließen. Aufgrund der durchschnittlichen Auslastung von nur 30 bis 40 % stellt dies kein grundsätzliches Problem dar, das Ganze ist nur eine Frage geschickten Managements (vgl. Reiner et al. 2009; Schönfelder et al. 2009). Würde die zusätzliche Energie in den lastschwachen Zeiten übertragen, würde dies zu einer besseren Auslastung und somit erhöhter Rentabilität der Netze führen. Dafür wäre allerdings eine Koordination der Verbraucher und Erzeuger nötig, die im heutigen Netz nicht existiert. Ohne diese Koordination wird es wahrscheinlich eher zum umgekehrten Effekt kommen: Die Lastspitzen werden noch erhöht, die Leitungen müssten weiter ausgebaut werden, um diese Spitzen bedienen zu können, was die Spreizung zwischen Höchst- und Niedriglast vergrößert und die durchschnittliche Auslastung

<sup>63</sup> Verteuern bedeutet in diesem Fall, dass der tatsächliche Marktpreis aufgrund der Bereithaltungskosten der Regelkraftwerke über dem Preis liegt, den eine regenerative Anlage alleine bräuchte, um eine bestimmte Energiemenge zur Verfügung zu stellen. Vgl. Derk Jan Swider - Handel an Regelenergie- und Spotmärkten - Deutscher Universitätsverlag / GWV Fachverlage GmbH, 2006

<sup>64</sup> Die Bundesregierung erwartet bis 2030 eine installierte Offshore-Erzeugungsleistung von 20 GW, vgl. dena-Fact-Sheet 2010



der einzelnen Leitungen (und damit die Rentabilität) senkt. Was für die Auslastung der Netze gilt, gilt ebenso für die Kraftwerke: Um auch zu Spitzenzeiten genügend Strom zur Verfügung stellen zu können, müssen entsprechende Kapazitäten vorgehalten werden, die zu Schwachlastzeiten nicht ausgelastet werden können.

Diesen Problemen kann man mit dezentralen Erzeugungsanlagen und Speichern begegnen, die das Problem der Verteilung über ausgelastete Netze und der zeitnahen Erzeugung abfedern können. Viele Experten gehen davon aus, dass auch die Elektrofahrzeuge mit ihren Batterien eine spürbare Erleichterung bringen könnten (vgl. Anderson et al. 2009; Die Bundesregierung 2009; Engel 2009, Fraunhofer IAO & PwC 2010).

Alle genannten Probleme lassen sich auf zwei grundsätzlich unterschiedliche Arten lösen. Lösungsansatz Nummer eins ist ein einfacher, unbedachter Ausbau: Man baut die Netze aus, errichtet neue Kraftwerke und lässt Ältere weiter laufen. So könnte man das aktuelle System weiterführen, ohne grundlegende, systematische Veränderungen vornehmen zu müssen. Diese Methode hat den Vorteil, dass man auf bewährte Verfahren und bekannte Technik setzen kann; elektrische Netze werden seit über 150 Jahren erfolgreich betrieben, Kraftwerke sind erprobt. Die Einbußen an Effizienz könnte man hinnehmen und auf den Verbraucher umlegen. Damit würde man das Problem jedoch nur verschieben, denn langfristig ist es unerheblich, dass noch für 30 Jahre ausreichend Öl vorhanden ist oder größere Kohlevorkommen noch nicht erschlossen sind: Endlich sind diese Rohstoffe auf jeden Fall, und je näher man der Erschöpfung dieser Quellen kommt, umso deutlicher wird sich die Verknappung der Primärenergieträger auch auf den Preis auswirken. Und auch wenn man in der bisher ungelösten Frage der CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich vorankommen würde: Bereits heute gestalten sich Planung und Bau jedes einzelnen Kilometers geplanter Netztrasse und jedes einzelnen zu errichtenden Kraftwerks als äußerst aufwändig, da fast immer mit langwierigen juristischen Streitigkeiten mit Anliegern gerechnet werden muss. Dies wird den notwendigen Ausbau in den kommenden Jahren stark behindern.

Der zweite Lösungsansatz ist das intelligente Stromnetz. Dieser Weg scheint zunächst der aufwändigere zu sein. Viele der notwendigen Technologien sind erst ansatzweise vorhanden oder noch nicht ausgereift, viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit muss hier noch geleistet werden. Hinzu kommt, dass viele traditionell gewachsene Strukturen aufgebrochen werden und neue Akteure auf neuen Märkten aktiv werden müssen. Damit sind nicht nur Unsicherheiten und Befürchtungen verbunden, sondern auch Investitionen in erheblichem Umfang.

Treffen die Prognosen von Fachleuten jedoch zu, sollte sich der Aufwand lohnen (vgl. BDI 2008; BMWI 2010; Pepermansa et al. 2005). Für die notwendige Regelung von Erzeugung und Verbrauch stellt das Smart Grid die Grundlage dar. Es ermöglicht vor allem die Kommunikation der einzelnen Netzkomponenten, sodass sich aus deren Zusammenspiel ein stabileres und effizienteres Gesamtsystem ergeben kann (vgl. Heile 2010; Coll-Mayor, Paget, Lightner 2007; Smart Grid 2010).

Bis so ein Smart Grid umgesetzt sein könnte, wäre in jedem Fall noch viel Arbeit zu leisten. Fortschritte sind dabei nicht nur auf technologischer, sondern vor allem auch auf gesellschaftlicher Ebene nötig. Etablierte Routinen verlieren unter Umständen ihre Gültigkeit, scheinbar „irrationale“ Handlungen könnten dagegen gesamtwirtschaftlich sinnvoll werden. So wird in Zukunft der Energieverbrauch nicht mehr zwingend mit Effizienz korrelieren. Ein Speicher, der eine Effizienz von nur 30 % hat und somit 70 % der eingespeicherten Energie verpuffen lässt, könnte in einem grünen Smart Grid immer noch sehr interessant sein, da es allemal besser ist, „kostenlosen“ grünen Strom aus Windkraftwerken ineffizient zu speichern, als ihn komplett verfallen zu lassen und zu Spitzenlastzeiten doch wieder auf fossil betriebene Kraftwerke zurückgreifen zu müssen. Für den wirtschaftlichen Betrieb solcher Speicher fehlen jedoch noch die passenden Geschäftsmodelle.

### 3.1 Das Smart Grid

Der Begriff Smart Grid wird sehr weitläufig gebraucht. Der Name legt nahe, dass das Netz in irgendeiner Art und Weise intelligent ist. Betrachtet man allerdings alle Komponenten eines Smart Grid, so fällt auf, dass das System hochgradig dezentral strukturiert ist, dementsprechend findet sich keine „zentrale“ Intelligenz. Solch eine zentrale Intelligenz müsste über umfassendes Wissen über alle integrierten Komponenten verfügen, was schon allein technisch als kaum realisierbar erscheint. Deshalb müssen sich die Komponenten darauf beschränken, auf Basis der ihnen zur Verfügung stehenden Informationen die jeweils beste Entscheidung zu treffen. Damit sich aus dem Zusammenspiel der Komponenten ein intelligentes Gesamtsystem ergeben kann, bedarf es des intensiven Informationsaustausches zwischen den einzelnen Komponenten.

Der Begriff Smart Grid ist dennoch nicht ungerechtfertigt. Die Intelligenz des Netzes entsteht durch das Zusammenwirken der unzähligen einzelnen Komponenten in einer ähnlichen Weise wie in einem Ameisenstaat: Keine Ameise ist Spezialist für Logistik, Architektur oder Abfallentsorgung, dennoch erfüllt der Ameisenstaat als Ganzes genau diese Aufgaben nahezu perfekt. Möglich wird dieses Zusammenwirken, weil das Verhalten jeder einzelnen Ameise so ausgefeilt ist, dass sie trotz ihrer sehr begrenzten lokalen Informationen und Handlungsmöglichkeiten immer im Sinne des Gesamtsystems handelt.

Um dieses Prinzip in einem technischen System umsetzen zu können, ist es vor allem notwendig, dass die einzelnen Komponenten Informationen untereinander austauschen können (vgl. BDI 2008; CEC 2007). Diese Informationen ermöglichen es auf der einen Seite, bestimmte Zustände im Netz überhaupt zu erkennen. Dazu zählen nicht nur die intelligenten Stromzähler, die in Echtzeit Auskunft über den aktuellen Verbrauch eines Haushalts geben können, ein Wert, der bisher nur einmal jährlich erhoben wurde.<sup>65</sup> Vielmehr gehört zum Smart Grid eine Vielzahl an Sensoren, die im Netz selbst untergebracht sind und Auskunft über dessen Zustand geben, vom einzelnen Ortsnetztransformator bis hin zur tatsächlichen Auslastung einzelner Leitungen.

Erst auf dieser Basis können verschiedene Methoden aufbauen, die die Erzeugung und den Verbrauch aufeinander anpassen und dabei ein Maximum an Effizienz sicherstellen.

### 3.2 Komponenten eines Smart Grid

Das Smart Grid setzt sich, wie auch das heutige Energiesystem, aus einer großen Zahl verschiedener Komponenten zusammen. Das Netz an sich ist dabei nur ein kleiner Teil des Gesamtkonstruktes, zu dem unter anderem auch Kraftwerke, Steuereinrichtungen, Umspannstationen, Großverbraucher (z.B. Stahlwerke) und die Haushalte zählen. Jede dieser Komponenten muss auf seine Weise für eine Integration in das Smart Grid vorbereitet werden.

So muss die Netzinfrastruktur mit zusätzlichen Sensoren ausgestattet werden, die z.B. die Auslastung und die Temperatur der einzelnen Leitungen in Echtzeit liefern können. Gleiches gilt für Umspannwerke. Hinzu kommen Vorrichtungen zur Leistungsflusskontrolle. Diese oft auf Supraleitungstechnologie basierenden Bauteile ermöglichen die Beeinflussung der tatsächlichen Leistungsflüsse. Die Möglichkeit der Ferndiagnose und -beeinflussung muss auch für z.B. lokale Ortsnetztransformatoren hergestellt werden<sup>66</sup>. So lassen sich auch Aussagen über die Zustände einzelner Netzabschnitte bis hinunter zu einzelnen Straßenzügen machen. Zudem wird so eine schnelle Reaktion auf Störungen möglich, die heute schon allein deshalb un-

---

<sup>65</sup> Zukünftig wird eine viertelstündliche Übermittlung der Verbrauchswerte durch die intelligenten Stromzähler angestrebt.

<sup>66</sup> Es gibt hier bereits erste Schritte, indem Ortsnetztransformatoren um die Möglichkeiten der Ferndiagnose und –Schalttechnik nachgerüstet wurden, es besteht jedoch Nachholbedarf, da die Mehrzahl noch alter Bestand ist.

möglich ist, weil üblicherweise zunächst ein Techniker zu dem zu schaltenden Trafo fahren und dort die entsprechende Schaltung manuell vornehmen muss.

Die erfassten Daten müssen in den Steuerzentralen aggregiert und weiter verteilt werden, aus ihnen lassen sich Prognosen und Fahrpläne für einzelne Bereitstellungsanlagen ebenso ableiten wie z.B. Preis- oder Steuersignale, mit denen der Verbraucherverhalten beeinflusst werden kann.

Diese Verbrauchsbeeinflussung, oft Lastregelung oder Demand Side Management genannt, erfordert in den einzelnen Haushalten nicht nur intelligente Stromzähler, die diese Werte empfangen und den Verbrauch kommunizieren, sondern vor allem auch Geräte, die auf derartige Signale reagieren können, wie z.B. verschiedene Küchengeräte oder einzelne Komponenten der Unterhaltungselektronik ebenso wie Komponenten der thermischen Gebäudetechnik wie Klimaanlage, Lüftung und Heizungen sowie Beschattung und Beleuchtung.

Eine immer größere Rolle spielt in diesem Zusammenhang auch die Einbindung dezentraler Anlagen und die damit verbundene Möglichkeit der Eigennutzung von Strom aus z.B. einer PV-Anlage oder einem  $\mu$ BHKW<sup>67</sup>.

Als neue Komponenten werden im Smart Grid auch dezentrale Speicher eine Rolle spielen. Diese können sowohl thermisch als auch elektrisch sein; die Möglichkeiten der technischen Realisierung reichen von Warmwasserspeichern über z.B. Bleiakkus<sup>68</sup> in Gebäuden bis hin zu der Mitnutzung der Batterien von Elektrofahrzeugen, während diese, z.B. in Parkhäusern, an das Stromnetz angeschlossen sind.

### 3.3 Anforderungen an ein Smart Grid

An das Smart Grid werden eine ganze Reihe verschiedener Anforderungen gestellt werden. Als untere Schranke können dabei die Anforderungen gesehen werden, die an das bestehende Energiesystem gestellt werden. Dazu gehören vor allem die Zuverlässigkeit und die Stabilität zur Sicherstellung von Versorgungssicherheit und -qualität.

Das Smart Grid muss diese Eigenschaften nicht nur haben, es muss auch möglich sein, diese zuverlässig zu prüfen bzw. deren Existenz und Güte zu beweisen. Hinzu kommt ein gewisses Maß an Transparenz, welche zum einen schon aus abrechnungstechnischen Gründen geboten ist, zum anderen aber auch notwendig ist, um allen beteiligten Akteuren, das notwendige Vertrauen in das System vermitteln zu können.

Außerdem muss das Smart Grid die Versprechen einlösen, die im Vorfeld gemacht wurden. Dazu zählt vor allem die effiziente Nutzung der eingesetzten Ressourcen und Rohstoffe. Daneben soll durch die informationelle Vernetzung auch das Erkennen von Fehlern und Störungen im Netz einfacher und schneller werden, so dass Ausfälle nicht nur seltener werden, sondern auch schneller behoben werden können.

---

<sup>67</sup>  $\mu$ BHKW steht für Mikro-Blockheizkraftwerk, ein Aggregat, welches gleichzeitig Strom und Wärme zur Verfügung stellt und dabei, dank Kraft-Wärme-Kopplung, die eingesetzten Energieträger sehr effizient nutzt.

<sup>68</sup> Bleiakkus bieten aktuell das beste PreisLeistungsverhältnis und werden deshalb häufig für stationäre Anwendungen eingesetzt.



## 4 Offene Fragen

Aus dem bisher Dargelegten wird deutlich, dass das Smart Grid ein hochkomplexes System ist, an das sehr verschiedene Anforderungen gestellt werden. Bei all den Möglichkeiten darf deshalb nie die Tatsache aus den Augen verloren werden, dass viele der beschriebenen Möglichkeiten und Lösungen bisher vor allem als Ideen auf dem Papier oder bestenfalls als prototypische Versuche implementiert wurden. Vielfach sind die verwendeten Technologien noch sehr neu, und es existiert keine Langzeiterfahrung im Betrieb oder eine Best-Practice für den Aufbau bzw. die Implementierung. Auch sagt eine erfolgreiche technische Realisierung noch nichts über die Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens aus.

Neben den technischen gibt es auch eine ganze Reihe von juristischen, gesellschaftlichen und marktwirtschaftlichen Fragestellungen, die sich in diesem Kontext ergeben. Vielfach eröffnet die neue Technologie Möglichkeiten, die bisher undenkbar waren; es ergeben sich neue Akteure und neue Dienstleister, andere hingegen verlieren an Bedeutung oder verschwinden ganz. An anderen Stellen werden neue gesetzliche Rahmenbedingungen und Kontrollinstanzen notwendig. Es muss beispielsweise verhindert werden, dass ein Endkunde zukünftig die Möglichkeit hat, willentlich einen negativen Einfluss auf das Energiesystem zu nehmen.

Die Erforschung dieser Fragestellungen ist aufwändig. Ob sich der Aufwand eines Smart Grid wirtschaftlich lohnen könnte, muss noch untersucht werden. Fest steht nur, dass die Begegnung aller kommenden Probleme auf den bisherigen Lösungswegen sehr teuer wird. Im folgenden Abschnitt werden einige Fragestellungen aus diesem Kontext näher beleuchtet.

### 4.1 Technik und Sicherheit

Es liegt in der Natur technischer Innovationen, sie für eine Vielzahl von Anwendungen verwenden zu können, die bei ihrer Entwicklung noch nicht absehbar waren, positive Effekte können ebenso erzielt werden wie negative.

Das heutige Energiesystem ist (mehr oder weniger) eine monolithische Black-Box; nur wenige Experten verfügen über genaue Kenntnisse über Funktion und Aufbau des Systems. Diese Einschränkung stellt schon für sich alleine eine gewisse Sicherheit dar, da potentielle Angreifer Informationen über das System erst relativ aufwändig zusammentragen müssen. Diese Sicherheit ist jedoch trügerisch, viele vitale Informationen werden keineswegs geheim gehalten, sondern sind nur umständlich zu beschaffen, was für den engagierten Angreifer mit hoher krimineller Energie kein Hindernis darstellen sollte.

Durch die informationelle Vernetzung der verschiedenen Komponenten im Energiesystem wird das System insgesamt transparenter. Diese Transparenz kann zum einen zur Hebung von erheblichen Effizienzpotentialen führen, ermöglicht aber zum anderen auch einige denkbare neue Angriffsszenarien. Da es immer einfacher ist, einem Angriffsszenario zu begegnen, wenn man sich der Gefahr schon beim Systementwurf bewusst ist, sollten Fragen der Sicherheit und Stabilität von Anfang an auch mit berücksichtigt werden. Die Sicherheit und Stabilität des Systems sollte dabei aus sich selbst heraus gewährleistet werden und nicht auf äußeren Kontroll- und Sicherheitsmechanismen aufbauen.

Da das Smart Grid auf Diensten der Informations- und Kommunikationstechnik aufgebaut ist, wird es nicht, wie z.B. das heutige System, vor allem durch physische Angriffe auf einzelne Komponenten, wie z.B. Kraftwerke oder Verteilstationen gefährdet sein. Seine größte Verletzlichkeit wird das Smart Grid demnach eher durch „virtuelle“, informationstechnische Angriffe haben, die z.B. auf der massiven Verbreitung falscher Informationen beruhen könnten.

Einige Gefährdungen werden im Folgenden exemplarisch dargestellt:

Eine der am wenigsten kritischen denkbaren Angriffspunkte stellen die intelligenten Stromzähler dar, die seit Kurzem bei Endkunden verbaut werden. Im Gegensatz zum elektromechanischen Verfahren, bei welchem die abgenommene Strommenge in einem geeichten und verplombten Gerät, dem sog. Ferraris-Zähler, beim Endkunden gezählt und jährlich von einem Techniker vor Ort abgelesen wird, basieren die neuen Zähler auf einem automatisierten Verfahren. Zwar wird die Strommenge nach wie vor vor Ort gemessen, jedoch erfolgt sowohl die Aufsummierung als auch die Übermittlung an den Energielieferanten elektronisch, also gesteuert durch Programme bzw. Software.

Nun hat Software die Eigenschaft, leicht veränderlich zu sein. Auf einen intelligenten Stromzähler kann eine neue Software installiert werden, deren Funktion von der ursprünglichen abweicht. Ebenso könnten die Abrechnungsdaten auf dem Weg vom Kunden zum Versorger abgefangen und manipuliert werden. Deshalb ist es immens wichtig, die intelligenten Zähler vor jeglicher Manipulation zu schützen. Denkbare Angriffsszenarien wären z.B. Kunden, die ihre Stromrechnung manipulieren, indem sie veränderte Software auf ihre Zähler laden oder aber auch Schadsoftware, die sich über das Internet verbreitet und die Funktion der Zähler stört, ähnlich wie heute schon Viren und Würmer für PC-Systeme. Eine solche Manipulation ist bei geschickter Durchführung sehr schwierig festzustellen.

Derartige Manipulationen müssten sich nicht auf Abrechnungssysteme beschränken. So hat ein Energiesystem, welches zu einem Teil auf dezentraler Erzeugung aufbaut, zwar das Potential, aufgrund seiner Redundanz sehr viel störungsresistenter zu sein, birgt aber gleichzeitig die Gefahr, durch Datenmanipulation großflächige Störungen erst zu ermöglichen. Die Möglichkeit, sehr viele, auch kleine, Ressourcen zu koordinieren, erlaubt einen Verzicht auf überflüssig vorgehaltene Reservekapazitäten. Sobald aber die Daten, auf der die Berechnung der notwendigen Kapazitäten beruht, fehlerhaft sind, können Engpässe im System auftreten.

Derartige Störungen müssen dabei nicht zwingend vorsätzlich in das System eingebracht werden. In jedem softwaregesteuerten System kann es zu Fehlern kommen. Solche zufälligen Fehler, so genannte "Bugs", haben das gleiche Störpotential wie vorsätzlich ins System eingestreute Falschinformationen. Aus diesem Grund muss beim Betrieb vitaler Netzkomponenten mit besonderer Sorgfalt vorgegangen werden, da auch ein ungewollt vom Hersteller verursachter Fehler sehr weite Auswirkungen haben kann. Hier wäre z.B. eine Qualifizierung nach bestimmten Mindestqualitätsanforderungen an Steuerungssoftware und ihre Entwickler denkbar, ohne die eine Verwendung der entsprechenden Komponenten an bestimmten vitalen Punkten des Smart Grid ausgeschlossen wird. Da es sich beim Energiesystem um eine kritische Infrastruktur der Daseinsvorsorge handelt, werden die Anforderungen an den Nachweis der funktionalen und extrafunktionalen Eigenschaften der einzelnen Programme und ihr Zusammenwirken deutlich höher sein als in anderen Bereichen. Dies erfordert erhebliche Fortschritte bei der Zertifizierung der Software (und nicht nur des Software-Erstellungsprozesses). Außerdem muss es möglich sein, systematisch und verlässlich die auf zahlreichen Einzelkomponenten des Smart Grid installierte Software bei Bedarf zu aktualisieren und durch Fernwartung fehlerhaftes Verhalten zu erkennen und zu beheben. Die Unterscheidung zwischen erlaubtem und unerwünschtem veränderndem (oder auch nur lesendem) Zugriff muss durch eine geeignete großflächig verteilte Sicherheitsarchitektur ermöglicht werden.

## 4.2 Geräte und Netze

Das Smart Grid bringt nicht nur neue Gefährdungen, sondern auch viele neue Möglichkeiten. Hier wirken die Fortschritte, die in den letzten Jahren auf den Gebieten der Elektrotechnik und der Informatik gemacht wurden, zusammen. Ein Beispiel hierfür sind die so genannten aktiven Netzkomponenten. Hierzu zählt die Steuerung von Energieflüssen auf Netzabschnitten im Transport- und Übertragungsnetz mit Hilfe sogenannter Thyristor-Controlled Series Capacitor (TCSC) ebenso wie die Verwendung von (fern-)steuerbaren Photovoltaik-Wechselrichtern zur Blindleistungskompensation, wodurch die Netzverluste verringert wer-

den, und somit die Nutzung effizienter wird. Hinzu kommt die Möglichkeit der automatischen dezentralen Netzrekonfiguration nach Netzstörungen.<sup>69</sup> Die Vielzahl der einzelnen Technologien und Maßnahmen lässt sich mit Hilfe einer geeigneten informationstechnischen Infrastruktur synergetisch zusammenführen.

Diese Möglichkeit der Steuerung von Energieflüssen ist bisher nicht gegeben. Netzbetreiber können so zukünftig steuern, wer ihre Netze in welcher Weise nutzen kann. Dies wirft vor allem in der europaweiten Nutzung der Übertragungsnetze interessante Fragen auf, flossen doch bisher immer wieder erhebliche Energiemengen aus den Windstandorten im Norden Deutschlands über ausländische Netze, besonders in den Niederlanden, zu den im Südwesten gelegenen Verbrauchsschwerpunkten. Bisher war es den betroffenen, ausländischen Netzbetreibern nicht möglich, dies zu steuern oder zu verhindern. Durch die neuen Technologien wären sie nun jedoch in der Lage, diese Energieflüsse bereits an den Ländergrenzen zu beschränken, was zu einer deutlich erhöhten Last auf den deutschen Netzen führen würde.

Auf diese Weise könnte der Markt für Übertragungsdienstleistungen verändert werden, da nun die Möglichkeit besteht, die Preise für Übertragungskapazitäten gezielt dem Bedarf anzupassen. Denkbar wäre hier z.B. die Nutzung dieses neuen Marktes, um einen Anreiz für den Aufbau eines HGÜ(Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung)-Netzes zu setzen.

Der Transport von elektrischer Energie erfolgt üblicherweise über Hoch- und Höchstspannungsleitungen, wobei Spannungen von 220 bis 380 kV bei einer Frequenz von 50 Hz zum Einsatz kommen. Wechselspannungsleitungen haben jedoch neben ihrem Ohmschen Widerstand einen zusätzlichen kapazitiven Widerstand. Zwar lässt sich der Wechselstrom aufgrund seiner einfachen Transformierbarkeit leichter handhaben, aber die hohen Widerstände machen den Transport über große Entfernungen verlustreich. Eine Gleichstromübertragung ist in der technischen Realisierung aufwändiger, da an beiden Seiten der Übertragungsstrecke eine Stromrichteranlage den Wechselstrom in Gleichstrom und wieder zurück in Wechselstrom wandeln muss, bevor er weiter genutzt werden kann. In diesen Stromrichteranlagen fallen zusätzliche Verluste an. Für Übertragungen über längere Strecken sind diese Verluste jedoch geringer, als die Verluste einer vergleichbaren Wechselstromleitung mit ihrem relativ hohen kapazitiven Widerstand. Auch entfallen bei HGÜ-Leitungen die für die Kompensation von Blindleistung auf Wechselstromleitungen notwendigen Kompensationsspulen, weshalb sie in Europa vor allem zur Realisierung von Unterseeverbindungen zum Einsatz kommen.

In Zukunft werden immer größere Stromproduktionsschwerpunkte, bedingt durch Standortbedingungen, von den Verbrauchszentren entfernt entstehen. Ein Beispiel hierfür sind große Offshore-Windparks an den nordeuropäischen Küsten oder große Solarkraftwerke im Mittelmeerraum. Die dort bereitgestellte elektrische Energie muss über weite Strecken transportiert werden, wofür sich die HGÜ-Technik anbietet. Hier ist seit längerem ein europaweites HGÜ-Backbone im Gespräch, welches vor allem auch die Integration von Solar-Großkraftwerken in Nordafrika in das europäische Energiesystem ermöglichen soll. Ebenso könnten so die Fluktuationen erneuerbarer Energien besser verteilt und ausgeglichen werden. Einen ersten Schritt in diese Richtung stellt die „North Seas Countries' Offshore Grid Initiative“ (NSCOGI) dar.<sup>70</sup>

Der aktuelle Stand der Forschung lässt nur HGÜ-Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zu, ein vermaschtes Netz, wie es beim existierenden Wechselstromnetz realisiert ist, ist bisher nicht möglich.

Bisher ähnelt der Netzaufbau einem Baum; Niederspannungsnetze sind meist ringförmig und an ein bis zwei Punkten an das Mittelspannungsnetz angeschlossen. Es gibt normalerweise schaltbare Verbindungen

<sup>69</sup> Hier kommen z.B. im Verteilnetz der USA Komponenten der Firma S&C Electric Company zum Einsatz.

<sup>70</sup> Der Aufbau der NSCOGI wurde 2008 von der EU-Kommission empfohlen, die Gründung erfolgte 2009 durch Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Belgien, Niederlande, Luxemburg, Dänemark, Schweden und Irland. Vorrangiges Ziel ist die Netzanbindung von Offshore-Anlagen in das europäische Energienetz, langfristig soll auf ein europäisches Supergrid hingearbeitet werden.

zwischen einzelnen Niederspannungsnetzen, diese sind allerdings im Normalfall nicht geschaltet (aus Gründen der Ausfallsicherheit beim Auftreten einer Störung). Eine Verschaltung dieser Netze könnte in bestimmten Fällen bzw. bei bestimmten Konfigurationen sehr sinnvoll sein und das Mittelspannungsnetz entlasten. Bisher wird von dieser Möglichkeit jedoch nicht Gebrauch gemacht (bzw. nur in Fehlerfällen), vor allem weil die entsprechenden Schaltstellen nur von Hand bedient werden können. Wäre jedoch der Zustand der jeweiligen Netzabschnitte bekannt und auch die dazugehörigen Umspanntransformatoren fernbedienbar, dann könnte über diese Möglichkeit nachgedacht werden. Neben der genannten Netzentlastung könnten so vor allem auch Personalkosten für Betrieb und Wartung eingespart werden.

Momentan wird bei Smart Grid-Ansätzen vor allem über die Energieflüsse nachgedacht, elektrotechnische Effekte bleiben oft unberücksichtigt oder werden nur am Rande betrachtet. Hier ist neben der Sicherstellung der Netzstabilität vor allem auch, die Einhaltung der Netzqualität zu berücksichtigen. Die Smart Grid-Technologie bietet sehr gute Möglichkeiten, auf diese Kriterien zu reagieren. Bisher gibt es jedoch keinen Ansatz, der dies für größere Netzabschnitte umsetzbar macht, da nicht zuletzt schon allein die mathematische Modellierung dieser Effekte hochgradig komplex ist. Ohne diese Modellierung kann jedoch nicht zielführend und präzise auf diese Effekte eingegangen werden.

Die treibende Kraft hinter der Home-Automation waren bisher vor allem Komfort- und Sicherheitsfeatures. Die Potentiale, die diese Technologie aus Energiesicht hat, wurden bisher höchstens am Rande bzw. als Nebeneffekt abgeschöpft. Mit der zunehmenden Verbreitung von dezentralen Erzeugungskomponenten (PV,  $\mu$ BHKW) wird es jedoch immer wichtiger, die so erzeugte Energie nicht nur „blind“ ins Netz einzuspeisen, sondern mit Intelligenz und System. Ziele sind hier u.a. die lokale Verwendung dezentral erzeugter Energie sowie die lokale Speicherung und zeitversetzte Nutzung bzw. Rückspeisung dieser Energie. Home-Automation ist auch für das Demand Side Management eine Grundlage. Nur so kann z.B. dynamisch auf variable Strompreise<sup>71</sup> reagiert werden. Als Kommunikations-Backbone ist das Internet gut geeignet und größtenteils verfügbar, Haushaltsgeräte müssen in Zukunft jedoch die Fähigkeit besitzen, auf Informationen und Signale zu reagieren.

Dabei basieren viele Ideen des Smart Grid darauf, dass dynamisch auf bestimmte Situationen reagiert wird. Diese Reaktionen sollen zwar weitgehend automatisch erfolgen, erfordern jedoch oft zumindest eine grundlegende Konfiguration durch den Benutzer. Die Erforschung der Mensch-Maschine-Interaktion erfolgt im Moment recht verteilt. Eine Bündelung dieser kontextsensitiven Systeme könnte auch einer einheitlichen und integrierten Benutzersicht auf das Energiesystem förderlich sein. Erst das Verständnis der Vorgänge ermöglicht es dem Benutzer, die Smart Grid-Potentiale voll auszuschöpfen. Nur so kann sichergestellt werden, dass der Benutzer durch die vielfältigen neuen Möglichkeiten des Smart Grid, insbesondere mit Blick auf die Steuerbarkeit intelligenter Haushaltsgeräte, nicht überfordert und frustriert wird.

### 4.3 Protokolle und Informationen

Die Fragen, welche Komponente wann, welche Informationen übermitteln soll, kann nicht für sich alleine stehend beantwortet werden. Um hier Entscheidungen treffen zu können, muss zunächst geklärt werden, auf welchen Koordinationsmechanismen das Smart Grid aufbauen soll. Die Kooperation sehr vieler, verschiedener Komponenten in einem einzigen System, noch dazu unter einer großen Zahl von Nebenbedingungen und Optimierungskriterien ist ein beliebig schwieriges Problem. Jede einzelne Komponente hat ihre eigenen technischen Rahmenbedingungen, Betriebs- und Investitionskosten. Hinzu kommen die verschiedenen Auswirkungen auf die lokale und globale Umwelt sowie auf andere Komponenten im Gesamtsystem. Es ist auszuschließen, dass für ein derartig komplexes Problem eine exakte, optimale Lösung gefunden werden kann, insbesondere, da das System in sich schon hochgradig dynamisch in seiner Zusammen-

<sup>71</sup> Diese Verfügbarkeit solcher variablen Strompreise ist ab Januar 2011 gesetzlich vorgeschrieben.



setzung ist. Hier müssen gut funktionierende Optimierungsverfahren und dynamische und gleichzeitig effiziente Steuerungsalgorithmen entwickelt werden.

Eine dezentrale Verwaltung bietet sich für ein solches System aus mehreren Gründen an. Zunächst schließen allein schon technische Randbedingungen eine zentrale Steuerung aller Smart Grid-Komponenten aus. Hinzu kommt die Verletzlichkeit, die durch einen einzelnen neuralgischen Punkt in das System eingeführt würde, fiel dieser aus, so käme die gesamte Funktion des Systems zum Erliegen. Das Smart Grid soll aber genau diese zentrale Schwachstelle zugunsten einer höheren Sicherheit und Zuverlässigkeit vermeiden. Abhilfe könnte hier eine gestaffelt-hierarchische Architektur schaffen. Diese setzt allerdings ebenfalls ein gewisses Maß an Planung voraus.

Eine Möglichkeit, diese Probleme zu umgehen, ist eine dezentrale Verwaltung. Hier gibt es keine zentrale Steuerinstanz, alle Komponenten koordinieren sich selbstständig untereinander. Eine solche Steuerung könnte auf elegante Art und Weise die Probleme herkömmlicher Steuerungsansätze lösen. Ein solches System ähnelte durch die eindeutige Adressierbarkeit aller Komponenten und das dezentrale Angebot von Systemdienstleistungen dem Internet; der Ausfall beliebiger einzelner Komponenten beeinträchtigt dabei das verbleibende System nur marginal. Allerdings ist eine solche dezentrale Architektur sehr schwierig umzusetzen. Hinzu kommt, dass es aufgrund der fehlenden Zentralinstanz auch keine Stelle gibt, an der der Zustand des Gesamtsystems überwacht werden kann, Garantien für bestimmte Leistungen bzw. deren Qualität sind schwer zu implementieren.

Die Forschung wird hier noch klären müssen, welcher Ansatz langfristig der Beste sein wird, vielleicht ergibt sich sogar eine Mischform der vorgestellten Ansätze.

Mehr oder weniger direkt von der Architektur der Steuerung und der dazu gehörigen Informationsflüsse ist die Bildung von Märkten für bestimmte Dienstleistungen abhängig. Hier konkurrieren die Ideen von etablierten zentralen Dienstleistungsbörsen mit dem Ansatz der spontanen Bildung dynamischer lokaler Märkte. Auch hier müssen die genauen gegenseitigen Abhängigkeiten und Beeinflussungen zwischen der Topologie des Energiesystems und den dazugehörigen Märkten noch sehr genau untersucht werden. Verlässliche Prognosen über die Auswirkungen bestimmter Entscheidungen sollten vorliegen, bevor diese Entscheidungen getroffen werden und dadurch die Ausprägung des zukünftigen Energiesystems auf lange Zeit festlegen.

#### 4.4 Gesellschaftlich

Eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Verbreitung eines Systems ist neben seinen technischen Eigenschaften vor allem auch die Akzeptanz, die ihm seine Nutzer entgegenbringen. Die Erforschung dieser Akzeptanz ist ein schwieriges Unterfangen. Zum einen sind die Nutzer des Energiesystems sehr verschieden, hier zählen die Endverbraucher in den einzelnen Haushalten ebenso dazu wie gewerbliche Unternehmen, Industrieanlagen<sup>72</sup>, große Energiekonzerne und Netzbetreiber. Mit der kommenden Verbreitung der Elektromobilität werden vermutlich auch die Automobilkonzerne bzw. die Autofahrer eigene Anforderungen an das Energiesystem, z.B. hinsichtlich der Ladeleistung, der Abrechnung von Ladevorgängen oder einer eventuellen Rückspeisung, stellen.

Während das Smart Grid darauf abzielt, das Gesamtsystem zu optimieren, ergeben sich für den Endverbraucher nicht unbedingt nur Vorteile. Ob das Potential zur Reduktion der Stromrechnung tatsächlich „signifikante“ Summen erreicht, ist bisher noch offen. Unter anderem spielt hier die Gesamtentwicklung der Energiekosten eine entscheidende Rolle. Manche für ein Smart Grid vorgesehene Charakteristika können

---

<sup>72</sup> Größere Industrieverbraucher verfügen oft schon über Sondertarife, in denen nicht nur die Energiemenge sondern auch die Verbrauchszeiten eine Rolle spielen.

besonders von den privaten Verbrauchern auch als Nachteil oder Einschränkung wahrgenommen werden. Im aktuellen Energiesystem war es für die Verbraucher praktisch nie notwendig, sich Gedanken über verschiedene Tarife oder Lastverschiebung zu machen. Verbraucher zeigen bisher wenig Bemühungen, den häuslichen Stromverbrauch zu optimieren. Verschiedene Studien stützen diese Aussagen. So zeigt eine Untersuchung aus dem Jahr 2006 dass drei Viertel der Befragten nicht wissen, wie viel Strom ihr Haushalt pro Jahr verbraucht und was eine Kilowattstunde kostet (Kuckartz, Rheingans-Heintze, Rädiker 2007). Andere Daten weisen darauf hin, dass eine Grundbereitschaft für ein stromsparendes Verhalten im eigenen Haushalt bei vielen Bürgern vorhanden zu sein scheint.<sup>73</sup> Insgesamt agieren die Haushalte im Umgang mit Strom sehr unterschiedlich.<sup>74</sup> Gerade im Hinblick auf die Flexibilisierung des Nutzerverhaltens im Smart Grid und, genereller, zu Einstellungen und Präferenzen im Umgang mit Energie sind weitere Untersuchungen erforderlich.<sup>75</sup>

Weiter haben Untersuchungen gezeigt, dass sich die Gestaltung von Abrechnungen und Zählern auf die Realisierung von Einsparpotentialen auswirken kann (Darby 2006). Gerade den intelligenten Zählern (Smart Meters) kann dabei eine Schlüsselrolle zukommen, da sie an der Schnittstelle zwischen Verbraucher und Energiesystem arbeiten. Allerdings zeigt eine forsa-Studie, dass gut die Hälfte der Verbraucher in Deutschland den Begriff „intelligente“ Zähler noch nicht gehört haben; sogar 91% haben den Begriff „Smart Meter“ noch gar nicht gehört (forsa 2010). Die Ergebnisse machen deutlich, dass bisher ein großer Teil der Bevölkerung an der Meinungsbildung überhaupt nicht beteiligt ist. In der genannten forsa-Befragung konnten sich dann (nach Klärung des Begriffs) 72% eine Nutzung gut vorstellen, vor allem eine bessere Kontrolle und Übersicht über den eigenen Stromverbrauch wurde als möglicher Vorteil genannt. Bedenken wurden vor allem im Hinblick auf Datenschutz/ Datensicherheit und zusätzliche Kosten geäußert.

Sicherlich wird der Endverbraucher vor allem auf die Bedienbarkeit, Verlässlichkeit und die Kosten des Systems schauen. Eine erste spürbare Veränderung werden die tagesvariablen<sup>76</sup> Strompreise darstellen. Diese müssen nicht nur in verständlicher und nachvollziehbarer Weise präsentiert und dargestellt werden; ein, nur eingeweihten Fachleuten verständliches, Auf und Ab wäre nicht zielführend. Zudem muss der Nutzer auch die Möglichkeit haben, auf variable Preise zu reagieren. Dieser erhöhte Aufwand muss auch gerechtfertigt werden, die Geräte müssen sich in angemessener Zeit amortisieren, um breite Akzeptanz zu finden.

Die technische Umstellung der gesamten Netzinfrastruktur wird mit erheblichen Kosten verbunden sein. Diese werden zunächst von den Betreibern aufgebracht werden müssen, die sie wiederum an die Endkunden weitergeben. An dieser Stelle ist es unbedingt erforderlich, einerseits auf die notwendige Transparenz zu achten, um anfallende Kosten nachvollziehen zu können. Andererseits werden die Umstellungen die klassischen Industriestrukturen verändern. Hier muss allen Akteuren die Möglichkeit gegeben werden, auf eine wirtschaftlich und gesellschaftlich vertretbare Art und Weise auf diese Veränderungen reagieren zu können. Nicht zuletzt wird die erhöhte Effizienz in Verbindung mit den erweiterten Automatisierungsmöglichkeiten zu einer neuen Dienstleistungslandschaft im Energiesektor führen.

---

<sup>73</sup> Vgl.: co2online Klima-Barometer: Jeder Zweite kontrolliert Energieverbrauch regelmäßig. <http://www.lifepr.de/pressemeldungen/co2online-ggmbh-gemeinnuetzige-beratungsgesellschaft/boxid/160481> (Zugriff 14.01.2011)

<sup>74</sup> Vgl. <https://www.vzbv.de/go/presse/1321/9/48/index.html> (Zugriff 13.01.2011)

<sup>75</sup> Vgl. dazu auch Beyea 2010; der darauf hinweist, dass mit anonymisierten Daten aus Smart Homes eine ganze Reihe interessanter sozialwissenschaftlicher Fragen mit Energiebezug bearbeitet werden könnten

<sup>76</sup> Es ist davon auszugehen, dass der Strompreis zukünftig über den Tag verschieden sein wird. Ob die Einteilung im Stundentakt oder 15-minütig erfolgt, ist nicht erheblich. Der Gesetzgeber schreibt momentan lediglich die Existenz eines Tarifs mit über den Tag verschiedenen Preisen vor.

## 4.5 Geschäftsmodelle und Märkte

Vor allem die verbesserte Verfügbarkeit von Informationen, aber auch die Verbreitung von kleinen, dezentralen Anlagen wird die Märkte für Elektrizität verändern. Kunden könnten sehr viel fundiertere Entscheidungen treffen, Produzenten könnten strategischer entscheiden.

Diese Rollen können auch zusammenfallen, der Verbraucher (Consumer) kann mit einer PV-Anlage auf dem Dach oder einem  $\mu$ BHKW im Keller auch zum Produzenten (Producer) werden, hierfür wurde der Begriff der Prosumers geprägt (vgl. S. 97). Durch seine Entscheidungen nimmt er direkten Einfluss auf Angebot und Nachfrage, er beeinflusst unter Umständen auch den aktuellen Preis für verfügbare Energie. Dies ist vor allem dann interessant, wenn sich verschiedene Prosumer auf virtuellen Marktplätzen zu größeren Einheiten zusammenschließen und so ihren Einfluss potenzieren. Durch diese Entscheidungen werden aber nicht nur Verfügbarkeit und Preise beeinflusst, sondern auch die Art der Stromerzeugung und dadurch auch die Effizienz und die damit verbundenen Umweltfolgen. An dieser Stelle ist es besonders wichtig, darauf zu achten, dass individuell-wirtschaftliche Entscheidungen nicht im Gegensatz zu gesamtwirtschaftlichen und gesellschaftlichen Interessen stehen.

Die Möglichkeit der Ferndiagnose und Steuerung ermöglicht völlig neue Betriebsmodi und Modelle für verbaute Komponenten. Das wohl prominenteste Beispiel ist der massenhafte Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungs(KWK)-Anlagen in Einfamilienhäusern. Dabei dient die KWK-Anlage in Form eines  $\mu$ BHKW dem Haus als Heizung. Die Anlage wird jedoch vom Hauseigentümer nicht gekauft, sondern nur für eine Leihgebühr aufgestellt. Betrieben wird sie durch eine Dienstleistungsgesellschaft, die sowohl für die Wartung der Anlage zuständig ist, als auch ihr Management übernimmt. Die Anlagen werden dabei so gesteuert, dass einerseits der Wärmebedarf des Hauses gedeckt wird und andererseits die Wärmeproduktion mit Zeiten hohen Strombedarfs zusammenfällt. So kann der im  $\mu$ BHKW produzierte Strom zu einem guten Preis weiterverkauft werden<sup>77</sup>. Ein Stromhandel z.B. an der European Energy Exchange (EEX)<sup>78</sup> ist für Endkunden derzeit nicht zu realisieren, da die erforderlichen Mengen und Kapazitäten fehlen. Zukünftig werden Endkunden jedoch in der Lage sein, ihre Kapazitäten in virtuellen Kraftwerken zu bündeln und so, z.B. am Regelleistungsmarkt teilnehmen zu können.

Dies ist nur ein Beispiel für denkbare neue Betreiberkonzepte. Auf ähnliche Weise könnten die Batterien in zukünftigen Elektroautos ebenso von Dienstleistern verleast werden. Dabei würde ein zentraler Dienstleister dafür sorgen, dass die Mobilitätsbedürfnisse der Teilnehmer zwar gedeckt werden, aber gleichzeitig auch Regelleistung aus den Fahrzeugbatterien bereitgestellt werden kann.

Diese beiden Beispiele zeigen, dass neuartige Betreiberkonzepte geeignet sein können, den Markthochlauf neuer Technologien zu beschleunigen. Allerdings gibt der Endkunde dabei einen beträchtlichen Teil seiner gewohnten Selbstbestimmung auf. Zwar wird er den tatsächlichen Unterschied nur in den seltensten Fällen überhaupt bemerken, die Vorstellung der Fremdbestimmtheit bleibt jedoch. Neben diesen bisher unbeantworteten Fragen der Nutzerakzeptanz und Vorbehalte stehen auch juristische Fragen. Wenn derartige Dienstleistungen aufeinander aufbauen, stellt sich sehr schnell die Frage der Verantwortlichkeit und der Haftung im Falle einer etwaigen Fehlfunktion.

Bei der steigenden Zahl von Erzeugungsanlagen und somit auch Erzeugern muss darauf geachtet werden, dass sich nicht eine Struktur ergibt, die zu Lasten des Gesamtgefüges geht. Diese Entwicklung lässt sich

---

<sup>77</sup> Die 1998 gegründete LichtBlick AG stieg Ende 2009 als Erste mit einem solchen Konzept in den deutschen Markt für dezentrale Stromerzeugung ein. Ziel sind zunächst 100.000 verteilte BHKW mit einer elektrischen Leistung von 20 kW, zu einem virtuellen Kraftwerk zusammen zu schalten. Dieses hätte rechnerisch eine Leistung von 2 GW (entspricht ca. 2 Atomkraftwerken), die innerhalb von einer Minute zur Verfügung stehen könnte und somit geeignet erscheint, um Schwankungen von z.B. auch größeren Windparks ausgleichen zu können.

<sup>78</sup> Die European Energy Exchange (EEX) ist ein Marktplatz für Energie und energienahe Produkte.

z.B. beim Anschluss erneuerbarer Erzeugungsanlagen beobachten. Die Netzbetreiber müssen regenerativ erzeugten Strom vorrangig abnehmen. Dies führt dazu, dass sich ein Anlagenbetreiber wenig Gedanken um den Netzanschluss machen muss, und diesen Faktor bei der Standortwahl unberücksichtigt lässt. Ebenso könnte der Betreiber eines älteren Kraftwerks versucht sein, seine Anlage aus persönlichem Gewinnstreben so lange wie möglich laufen zu lassen, auch wenn das unter Umweltschutzaspekten oder auch aus gesamtwirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll ist. Um diesen Konflikt von individuellem versus sozialem Optimum beizeiten begegnen zu können, muss frühzeitig darauf geachtet werden, dass Informationsasymmetrien abgebaut werden bzw. gar nicht erst entstehen. Erst auf einer solchen Grundlage werden Akteure in die Lage versetzt, gesamtheitlich sinnvolle und nachhaltige Entscheidungen zu treffen. Auch eine politische Lenkung kann nur auf Grundlage einer solchen Informationsbasis zweckmäßig erfolgen.

Zum Angleichen von individuellem und sozialem Optimum stehen verschiedene Markt-, Regulierungs- und Anreizsysteme zur Auswahl. Die Bewertung der einzelnen Werkzeuge und Maßnahmen ist jedoch sehr schwierig, da die Folgen, bedingt durch die komplexen Zusammenhänge, oft nahezu völlig unabsehbar sind. Neben der Erforschung dieser Fragen ist deshalb auch die Entwicklung von Koordinationsmechanismen notwendig, die es erlauben, Entwicklungen frühzeitig zu erkennen, um schnell und effizient darauf reagieren zu können.

Dabei sollte der Forschungsschwerpunkt nicht nur auf regulatorischen und wettbewerbspolitischen Handlungsempfehlungen liegen, sondern weit darüber hinausgehen und auch neuartige Anreizsysteme und Vergütungsmodelle entwickeln und erproben.

## 4.6 Recht und Finanzen

Das derzeitige Geflecht aus Besteuerung und Subventionierung von Energie ist bereits relativ komplex. Wie selbstverständlich wird Heizöl anders besteuert als Diesel, obwohl es sich rein technisch gesehen um das gleiche Produkt handelt. Unterschieden wird hier nach der Art der Verwendung. Ebenso wird die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen unterschiedlich subventioniert, Solarstrom erhält eine deutlich höhere Förderung als z.B. Strom aus Windkraftanlagen. Mit der zunehmenden Verbreitung von dezentralen Erzeugungsanlagen muss auch für diese ein nachvollziehbares Konzept entwickelt werden. Auch in Privathaushalten wird Solarstrom anders gefördert als Strom aus einem  $\mu$ BHKW, einen extra Bonus erhält neuerdings, wer seinen selbst produzierten Strom auch selbst nutzt. Strom, der dazu verwendet wird, ein Elektrofahrzeug zu laden, wird im Moment nicht anders besteuert als Strom, der in Unterhaltungselektronik verbraucht wird. Spätestens, wenn ein nennenswerter Teil der Fahrzeugflotte jedoch aus Elektromobilen besteht, wird sich der Gesetzgeber auch hier Gedanken über die unterschiedliche Besteuerung von Haushalts- und Fahrstrom machen müssen. Um alle diese Energieflüsse überblicken zu können, müsste künftig jede Erzeugungsanlage, jeder Einspeisepunkt und jede Entnahmestelle über einen eigenen Stromzähler verfügen. In einem Haushalt kämen so leicht sechs oder mehr Stromzähler zusammen. Darüber hinaus wird sich in Zukunft die Frage stellen, wie z.B. Strom versteuert werden soll, der zunächst in ein Elektrofahrzeug geladen wird, dann jedoch nicht zum Fahren verwendet, sondern zur Entlastung des Netzes wieder in jenes zurückgespeist wird.<sup>79</sup> Diese Thematik wird noch komplexer, wenn man die Verlustleistung bei jedem Lade- und Rückspeisevorgang bedenkt. Eine ähnliche Frage stellt sich, wenn ein Dienstleister seinen Strom in einzelnen Haushalten herstellt und dann gewerblich verkauft und wie in einem solchen Fall zwischen gewerblich verkauftem Strom und der Eigennutzung der einzelnen Haushalte unterschieden wird. Hier besteht die Möglichkeit, durch rechtzeitige regulatorische Maßnahmen verständliche und einheitliche

---

<sup>79</sup> Momentan wird „Fahrstrom“ nicht anders besteuert als üblicher Haushaltsstrom. Bei einer nennenswerten Verbreitung von Elektrofahrzeugen ist jedoch zu erwarten, dass der Gesetzgeber eine Steuer analog zur Mineralölsteuer erheben wird. Diese Frage stellt sich also unabhängig von evtl. zum Einsatz kommenden Geschäftsmodellen.

Richtlinien zu schaffen, und so ein aufwändiges und schwieriges kontinuierliches Nachbessern von Regularien zu vermeiden.

In diesem Zusammenhang ist nicht nur die Betrachtung des deutschen Rechtsrahmens interessant, sondern besonders auch der Vergleich mit dem europäischen Recht. Ein frühzeitiger Abgleich kann hier langwierige Verfahren vermeiden und Rechtssicherheit schaffen. Zudem kann so eine europaweite Harmonisierung in Einklang mit den eigenen Interessen, die ohnehin notwendig ist, besser vorangetrieben werden.

Wie bereits erwähnt, baut das Smart Grid zu einem großen Teil darauf auf, dass bestimmte Informationen zwischen Akteuren ausgetauscht werden. Dazu werden diese Informationen zunächst erhoben und elektronisch gespeichert und verarbeitet. Diese Daten können jedoch dazu verwendet werden, sensible Informationen über einzelne Akteure des Energienetzes zu erhalten oder zu erstellen. Auf der anderen Seite können viele Leistungen und Fähigkeiten des Smart Grid ohne diese Informationen nicht funktionieren. Deshalb ist es wichtig, die Datenschutzfragen bei allen Entwürfen von Anfang an im Blick zu behalten. In den allermeisten prototypischen Entwürfen, die bisher entwickelt und getestet werden, werden diese Datenschutz-Fragestellungen explizit ausgeklammert. Hier besteht die Gefahr, dass technologische Lösungen zu de-facto-Standards erhoben werden, die nie dafür ausgelegt waren, den Anforderungen des Datenschutzes zu genügen. Solange jedoch ein Benutzer befürchten muss, dass seine Daten einer beliebigen, unbekanntenen Öffentlichkeit zugänglich sind, wird er sich dagegen sträuben, derartige Daten zur Verfügung zu stellen.

Um diese Probleme anzugehen, ist eine nachvollziehbare und prüfbare Sicherheitsstruktur notwendig, die gewährleistet, dass jeder Akteur nur auf die Daten Zugriff erhält, die er zur Erfüllung seiner Rolle auch benötigt. Mechanismen, diese Daten zu anonymisieren, zu aggregieren und zu verschlüsseln, müssen entworfen und getestet werden. Ebenso muss eine hoheitliche Instanz benannt werden, die die Einhaltung dieser Richtlinien und Mechanismen prüfen und notfalls erzwingen kann.

Es sollte schon beim Entwurf des Systems darauf geachtet werden, dass einzelnen Akteuren keine Monopolstellungen bei der Datenverarbeitung zufällt, da diese auf lange Sicht die Stabilität des Energiesystems beeinträchtigen und Maßnahmen gegen einzelne Akteure aufgrund ihrer systemkritischen Funktion von vornherein unmöglich machen würde.

Unabhängig von den Datenschutzfragen muss auch die Erhebung der aktuellen Fähigkeiten der einzelnen Komponenten<sup>80</sup> sowie die Art, diese zu kommunizieren, vereinheitlicht werden. Vor der Einigung auf gemeinsame Standards müssen die verschiedenen Möglichkeiten jedoch noch eingehend untersucht werden. Dabei sollte ein besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, welche Fähigkeiten aus Netzsicht besonders wichtig sind. Dies könnten z.B. verschiedene Freiheitsgrade beim Verbrauch sein, die Möglichkeit der zeitlichen Verschiebung des Bedarfs an bestimmten Energiemengen oder die Fähigkeit, bestimmte Funktionalitäten zur Erbringung von Netzdienstleistungen auch ferngesteuert zur Verfügung zu stellen.

Der technische Mehraufwand in den einzelnen Komponenten, der notwendig ist, um all diese Fähigkeiten zu ermöglichen, wird zunächst vom Endkunden bezahlt werden müssen. Um diesem einen Anreiz zu geben, diese Investitionen auch zu tätigen, ist es wichtig, in diesem Kontext nicht nur Fragen der rein technischen Kommunikation zu klären, sondern von Anfang an darauf zu achten, dass alle erbrachten Leistungen auch über entsprechende Vergütungsmechanismen verfügen. Auf diese Weise könnte man die schnelle Verbreitung derartiger „smarten“ Komponenten und damit auch des Smart Grids an sich unterstützen.

---

<sup>80</sup> Dies bezieht ganz konkret z.B. auf die Fähigkeit einer Waschmaschine, einer Spülmaschine oder eines Wäschetrockners, den Startzeitpunkt in einem gewissen Rahmen variabel zu halten.



## 5 Vorschläge zur methodischen Umsetzung

Die Entwicklung eines intelligenten Stromnetzes wurde in den vorhergehenden Kapiteln als Möglichkeit diskutiert, um auf die Herausforderungen eines stark anwachsenden Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu reagieren. Ein erhöhter Anteil an Sonne und Wind erfordert einen zeitlichen und geographischen Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage. Da die Erzeugung von Windstrom vor allem im Norden ausgebaut wird, müsste die Leistungsfähigkeit der Übertragungsnetze erheblich erhöht werden. Ein intelligentes Stromnetz („Smart Grid“) sehen viele Experten als Möglichkeit den kostenintensiven und politisch oft schwierigen Netzausbau zumindest teilweise zu ersetzen. Zudem soll dadurch die Abhängigkeit von meist fossil betriebenen Schattenkraftwerken reduziert werden. Bisher richtet sich das Stromangebot nach der Nachfrage. Grundidee des intelligenten Netzes ist es, dass sich die Nachfrage stärker nach dem Angebot richtet, was bedeutet, dass in Phasen einer Flaute oder geringer Sonneneinstrahlung weniger Energie verbraucht würde. Aufgrund dessen würden die bisher für solche Situationen vorgehaltenen Schattenkraftwerke weitgehend unnötig werden. Dem Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie kommt dabei die eigentliche Schlüsselrolle zu.

Zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansatzpunkte und Problemkontexte lassen sich in dem vielschichtigen Themenfeld „intelligente Stromnetze“ unterscheiden:

1. Die Flexibilisierung von und Einsparungen in den Netzen durch optimierte Steuerung, wobei es im Wesentlichen darum geht, Zustand und Eigenschaften der Übertragungs- und Verteilnetze von einem beliebigen Ort aus messen und regeln zu können.<sup>81</sup>
2. Die Flexibilisierung und Einsparung auf der Nachfrageseite, durch Lastverschiebung und optimierte Nutzung bzw. als Unterstützung bei der Realisierung von Einsparpotentialen. Auch bei diesem, auf so genannte „Smart Homes“ ausgerichteten, Ansatz geht es vor allem um die Möglichkeit zu messen und zu regeln, diesmal aber auf der Ebene der Gebäude mit ihren verschiedenen Verbrauchern. Hier kommen Nutzerakzeptanz und Nutzerverhalten eine besondere Bedeutung zu.

Die große Herausforderung besteht darin, in den beiden Bereichen sowie auf der Ebene des Gesamtsystems, die Kommunikation und Koordination zwischen allen Systemkomponenten zu optimieren. Dafür ist es notwendig, dass die einzelnen Komponenten Informationen untereinander austauschen können. Erst auf dieser Basis können verschiedene Methoden aufbauen, die die Erzeugung und den Verbrauch von elektrischer Energie durch intelligente Steuerung aufeinander abstimmen.

Beide Bereiche sind durch heterogene Akteurskonstellationen gekennzeichnet; sie unterscheiden sich zunächst dadurch, dass die privaten Endnutzer in den Smart Grids nicht als einzelne Akteure auftreten; Privatpersonen und auch kommerzielle Nutzer haben in der Regel keinerlei Interesse an Vorgängen in den Netzen, solange diese – wie heute in Deutschland der Fall – zuverlässig bezahlbaren Strom liefern. Für die Vorgänge im eigenen Haus hingegen interessieren sich die Bewohner aber meistens schon; hier können sich Akzeptanzfragen, Präferenzen oder die Gestaltung von Nutzeroberflächen bzw. Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS)<sup>82</sup> ganz anders bemerkbar machen. Innerhalb der Smart Homes lässt sich, zunächst technisch, aber auch mit Blick auf das Nutzerverhalten, zwischen zählenden (Smart Metering) und verbrauchenden Geräten unterscheiden. Der Geräteebene lassen sich auch batteriebetriebene Elektrofahrzeuge zuordnen, die als Zwischenspeicher in einem intelligenten Netz diskutiert werden.<sup>83</sup>

---

<sup>81</sup> Auch eine Flexibilisierung auf der Erzeugerseite kann hier zugerechnet werden, also Kraftwerke die bei Engpässen kurzfristig und effizient einspringen können und eventuell auf Basis von Biomasse durch regenerative Rohstoffe betrieben werden.

<sup>82</sup> Benutzerschnittstelle, auch HMI (Human Machine Interface) genannt

<sup>83</sup> Vgl. ITA-Monitoring Kurzstudie zur Elektromobilität (ab S. 19)

Diese Unterscheidungen sollten bei der nun folgenden Behandlung methodischer Ansätze zur Bearbeitung der in Kapitel 4 skizzierten offenen Fragen berücksichtigt werden (siehe Seite 103ff.). Dabei sind prinzipiell die nachstehenden methodischen Ansätze vorstellbar, die auch zum Zwecke einer umfassenden Betrachtung kombiniert werden könnten:

**1. Technikentwicklung**

- Dies betrifft die Weiter- und Neuentwicklung der relevanten Komponenten in einem intelligenten Netz.

**2. Feldversuche**

- Erforderlich wären größer als bisher angelegte Feldversuche, die durch eine systematische Berücksichtigung der Verbraucherseite begleitet werden.

**3. Szenarien und Modellierung**

- Überprüfung der technischen Potentiale sowie der Machbarkeit über Modelle,
- Modellierung der Effekte von Marktinstrumenten, dazu auch Eruiern von Reaktionen auf der Verbraucherseite,
- Durchspielen möglicher Akteurskonstellationen, und
- Testen von Auswirkungen verschiedener Rahmenbedingungen („Windchannelling“).

**4. Empirische Sozialforschung:**

- Schriftliche Befragungen,
- Interviews,
- Fokusgruppen etc.

**5. Diskursive Ansätze**

- Eher vorbereitend oder nachbereitend: Z.B. Diskussionsreihen zu Vor- und Nachteilen eines Smart Grid; könnte auch durch kleinere Befragungen vorab unterstützt werden;
- Nachbereitende Diskussion der Ergebnisse von Feldversuchen und/ oder Modellrechnungen

Diese Methoden werden im Folgenden in Zusammenhang mit unterschiedlichen offenen Fragen gebracht:

### **Potentialanalyse zu intelligenten Netzen über Szenarienbildung**

Inwieweit intelligente Netze eine Alternative zu Schattenkraftwerken und Netzausbau darstellen können, ist die eigentliche Kernfrage, die als Ausgangspunkt für weitere Teilfragen gesehen werden muss. Bisher ist nicht klar, inwieweit bzw. in welcher Konfiguration ein intelligentes Netz diesen Ausbau ersetzen kann. Es fehlt an klaren Visionen oder Leitbildern, die die unterschiedlichen Vorstellungen von einem intelligenten Netz integrieren oder klar kontrastieren. Es bleibt bisher unscharf, welche Voraussetzungen auf den verschiedenen Ebenen wie Netz, Gebäude und Endgeräte bzw. auf der Integrationsebene erfüllt werden müssen. Auch scheint es unterschiedliche Vorstellungen zu geben, wer für die Steuerung welcher Bereiche Verantwortung tragen soll.

*Vorgehensweise:* Als methodisches Gerüst würde sich eine modellgestützte Szenarienbildung anbieten, wobei sich Daten, die mittels der unten genannten Punkte gewonnen werden, in die Szenarien integrieren lassen sollten. Die Entwicklung der Szenarien sollte unter Ausnutzung von oder zumindest Bezugnahme auf existierende Szenarien erfolgen.<sup>84</sup> Stakeholder und Nutzer sind in den Prozess einzubeziehen; der Prozess soll als diskursive Plattform zur Integration unterschiedlicher Interessenslagen und Wissensbestände angesehen werden. Eine Vorgehensweise könnte z.B. so aussehen, dass in einer ersten Phase mit Stakeholdern und Nutzern die groben Rahmen der Szenarien entwickelt werden, in einer zweiten Phase Experten eher „isoliert“ mit Modellen arbeiten, und in einer dritten Phase die Ergebnisse im Diskurs zwischen Nutzern, Stakeholdern, Experten und Politikern mit Blick auf die oben formulierte Ausgangsfrage bewertet

---

<sup>84</sup> Vgl. z.B. die Szenarien in BDI 2008; vgl. auch CEC 2007; <http://www.susplan.eu>



werden. In einem ähnlichen Ansatz könnten Lastverschiebungspotentiale für verschiedene Modellhaushalte berechnet und sowohl mit Experten als auch mit Bürgern diskutiert werden.

### **Technikentwicklung und Expertendiskurse zu Sicherheit, Vertrauenswürdigkeit und Datenschutz**

Unter Berücksichtigung von bzw. Einbindung in die oben genannten Szenarien sollte die Themen Sicherheit und Qualitätsanforderungen gesondert betrachtet werden. Die Messung und Steuerung des Netzzustandes von jedem Ort aus und die Integration von Smart Homes in ein übergeordnetes System wird vermutlich auf Akzeptanzprobleme stoßen, solange nicht der Schutz vor Manipulation und unberechtigtem Zugriff nachweisbar garantiert werden kann. Damit hängt auch die Frage der adäquaten Aggregation bzw. Filterung von Daten auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen des intelligenten Netzes zusammen.

Es gilt also, Manipulationen auszuschließen und zuverlässigen Datenschutz zu garantieren. Mindestanforderungen an die Qualität von Software sowie die Zertifizierung der Software sind grundlegende Themen für die Stabilität eines intelligenten Netzes. Wichtig ist die frühzeitige Beachtung von Sicherheit, Verlässlichkeit und Vertrauenswürdigkeit als zentrale Eigenschaften aller beteiligten Informationsverarbeitungs- und Kommunikationskomponenten im Smart Grid. Dies muss die Entwicklung von Prinzipien einer Energieinformatik einschließen, die über Hard- und Softwarearchitekturen und methodische Ansätze speziell die Wechselwirkungen zwischen Informations- und Kommunikationstechnologien und physikalischen Effekten des Energiesystems geeignet berücksichtigt.

*Vorgehensweise:* Ausgehend von bereits existierenden und absehbaren technischen Entwicklungen könnten verschiedene Konzepte zur Datenaggregation und Filterung zusammen mit entsprechenden Sicherheitskonzepten von Experten skizziert und von anderen Experten anhand transparenter Kriterien bewertet werden.

### **Expertenworkshops zur Weiterentwicklung zentraler Komponenten**

Ebenfalls förderlich für die Entwicklung der Szenarien oder Visionen wäre eine bessere Abschätzung der Entwicklungspotentiale einiger zentraler Komponenten des Smart Grid. Dazu gehören u.a.:

- Förderung der Integration von Context-Aware-Systems, Ambient-Assisted-Living-Projekten und Smart-Energy-Projekten auf Gebäude- und Geräteebe"; Betrachtung der Home-Automation-Technologien aus Energiesicht (siehe dazu Demiris 2008).
- Mathematische Modellierung elektrotechnischer Effekte (vor allem Blindleistung und Oberwellen im Niederspannungsnetz).

Weitere Punkte sind im Abschnitt „Offene Fragen“ angesprochen.

*Vorgehensweise:* Forschungsaktivitäten in den genannten Themenfeldern könnten durch Expertenworkshops gezielt vorbereitet, angeschoben und eventuell auch koordiniert werden. Die Entwicklung von Roadmaps könnte hier ein sinnvolles Instrument sein (vgl. BDI 2008).

### **Weitere Analyse zu Speicheroptionen**

Wie oben ausgeführt, lässt sich elektrische Energie nur unter erheblichen Verlusten speichern. Dennoch existieren eine ganze Reihe von Speichermöglichkeiten, und neue Optionen werden diskutiert: Neben der Speicherung über Medien, wie Wasserstoff, zählt dazu auch die Speicherung in Batterien in zukünftigen Elektrofahrzeugen. Auf der einen Seite haben viele der Technologienlinien noch Entwicklungspotentiale, auf der anderen Seite sind die Anforderungsprofile aus Sicht des Smart Grid nicht eindeutig, da noch nicht klar ist, wie genau das Smart Grid aussehen wird, bzw. wie „intelligent“ das zukünftige Netz tatsächlich sein wird.

*Vorgehensweise:* Integration der Entwicklungspotentiale der Speichertechnologien in die oben genannten Szenarien. Andersrum könnten aus den Szenarien verschiedene Anforderungsprofile für Speichertechnologien abgeleitet werden.

### **Analyse möglicher Akteurskonstellationen und -motivationen**

Auf den verschiedenen Ebenen des Smart Grid sind sehr unterschiedliche Akteure eingebunden. Um mögliche Innovationsbarrieren und Erfolgsfaktoren greifbar zu machen, bedarf es neben der Untersuchung der technischen Charakteristika einer Untersuchung der Motivationen und Einstellungen der relevanten Akteure, dazu gehören explizit auch die Akteure auf der Nachfrageseite, d.h. der kommerziellen und privaten Nutzer oder gegebenenfalls auch Prosumer. Es stellt sich auch die Frage, welche Akteure von den Entwicklungen in welcher Weise betroffen wären, oder auch, welche Akteure die Treiber einer Entwicklung zum Smart Grid oder Smart Home sind bzw. wer aus wessen Sicht die Treiber sein sollten (z.B. Energieversorgungsunternehmen, Konsumenten, dezentrale Produzenten, die Gebäudewirtschaft, Netzbetreiber oder die (FuE-)Politik)?

*Vorgehensweise:* Empirische Sozialforschung (Interviews, Befragungen, Fokusgruppen), um Motivationslagen verschiedener Akteure zu beleuchten. Dies setzt zunächst eine grobe Erfassung möglicher relevanter Akteure voraus, die sich aus den oben skizzierten Szenarien ableiten und mittels empirischer Sozialforschung (iterativ) verfeinern ließe.

### **Feldversuche mit Nutzern in realen Smart Homes**

Nutzerakzeptanz und -verhalten in einem Smart Home sind ein wesentlicher Faktor für das Gelingen des Smart Grid-Konzepts. Jedoch mangelt es zurzeit an belastbaren empirischen Daten zu Nutzerverhalten und -einstellungen, da es gegenwärtig so gut wie keine Smart Homes gibt. Abhilfe kann nur das Testen des Nutzerverhaltens in einer realen Smart Home-Umgebung schaffen. Auch die mögliche Integration batteriebetriebener Elektrofahrzeuge als Zwischenspeicher in Niedriglastzeiten sollte hier Berücksichtigung finden, sowie auch die Bereitschaft der Nutzer bzw. Besitzer der Batterien, sich auf entsprechende Geschäftsmodelle einzulassen.

*Vorgehensweise:* Sinnvoll erscheinen umfassend wissenschaftlich begleitete Feldversuche, die noch deutlich größer angelegt sind als bisherige Ansätze<sup>85</sup>, damit neben den zu implementierenden Technologien besonders auch auf eine angemessene Differenzierung im Hinblick auf geographische, architektonische bzw. sozio-demographische Faktoren geachtet werden kann (z.B. gezielte Auswahl eines Neubaugebiets und eines umzurüstenden älteren Bestandes). Solche Ansätze sind mit erheblichen Kosten verbunden, die sich aber angesichts der großen Lösungsversprechen, die mit dem Smart Grid einhergehen, sowie angesichts des vermutlich großen Interesses der Privatwirtschaft an solchen Daten, deutlich relativieren sollten.

### **Diskussion und Modellierung von Geschäftsmodellen und Regulierungsmöglichkeiten**

Ein intelligentes Netz bringt auf der individuellen Ebene nicht zwingend signifikante Vorteile, für die Realisierung eines Optimums auf der Systemebene sind aber unter Umständen bestimmte individuelle Verhaltensweisen erforderlich. Solche Veränderungen können von den Nutzern durchaus auch als Nachteil empfunden werden, wenn z.B. Haushaltsgeräte nicht mehr ohne weiteres zu jeder beliebigen Uhrzeit nutzbar sind. Zum Angleichen von individuellem Verhalten an die Systemerfordernisse stehen verschiedene Markt-, Regulierungs- und Anreizsysteme zur Auswahl. Wie bereits oben erwähnt, sollte dabei der For-

---

<sup>85</sup> die aber die Ansätze und Ergebnisse aus den Modelregionen des E-Energy Programms unbedingt berücksichtigen sollten (<http://www.e-energy.de>)

schungsschwerpunkt nicht nur auf regulatorischen und wettbewerbpolitischen Handlungsempfehlungen liegen; es sollten auch neuartige Anreizsysteme und Vergütungsmodelle entwickelt und erprobt werden. Geschäftsmodellen und Regulierungsmöglichkeiten kämen in einem intelligenten Netz, besonders was die Realisierung von Potentialen zur Lastverschiebung in privaten Haushalten betrifft, erhebliche Bedeutung zu. Aufbauend auf zahlreichen existierenden Arbeiten und Ansätzen (z.B. „Lichtblick“, siehe S. 107, Fußnote) sollte dieser Bereich deshalb vertiefend betrachtet werden. Eine Frage könnte sein, wie sich Anreize für Gewerbeunternehmen (KMUs) schaffen lassen, durch ein intelligentes Energiemanagement wesentliche Beiträge für eine Stabilisierung des Smart Grids zu liefern. Auch die Zusammenhänge zwischen der Topologie des Energiesystems, und den dazugehörigen Märkten wären zu berücksichtigen.

*Vorgehensweise:* Desk-Top-Research und Experteninterviews zur Aufbereitung des State-of-the-Arts, gefolgt von Expertendiskursen und Modellierungsarbeiten. Dazu: Explizite Einbeziehung juristischer Expertise zur Klärung rechtlicher Fragen (unter Berücksichtigung der europäischen Ebene) bzgl. Regulierung und Geschäftsmodellen. Auch Haftungsfragen und Datenschutzaspekte wären in diesem Kontext zu berücksichtigen.

### **Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS)**

Der nutzungsfreundlichen Gestaltung von MMS kommt im Smart Grid eine besondere Rolle zu, gerade auch unter Akzeptanzgesichtspunkten. Beispielweise wäre zu klären, in welcher Form Verbrauchsdaten und Verschiebungspotentiale für ‚jedermann‘ verständlich dargestellt werden können. Hierbei wären auch regulatorische Fragen zur Standardisierung intelligenter Haushaltsgeräte, insbesondere im Hinblick auf Kommunikationsprotokolle, einzubinden.

*Vorgehensweise:* Spezifizierung von Anforderungen an MMS; Entwicklung entsprechender Geräte und Tests mit verschiedenen Nutzergruppen.

### **Benötigte Investitionen**

Der Umbau der elektrischen Energieversorgung zu einem intelligenten Netz ist mit erheblichen Investitionen verbunden. Je nach Rolle der unterschiedlichen Akteure sind unterschiedliche Finanzierungsmodelle denkbar.

*Vorgehensweise:* Entwicklung und Beurteilung verschiedener Finanzierungsszenarien mit Experten.

### **Öffentlichkeitsarbeit**

Die Einführung eines intelligenten Netzes würde zu weit reichenden Umstrukturierungen im Energiesektor führen, von denen viele Nutzer betroffen wären (direkt als Kunden und indirekt als Steuerzahler) und denen damit eine deutliche gesellschaftliche Relevanz zugeschrieben werden kann. Eine solche, doch recht tief greifende Veränderung lässt sich kaum ohne gesellschaftliche Unterstützung durchführen, sodass es erforderlich erscheint, die Öffentlichkeit gezielt über Potentiale und Nutzen intelligenter Netze zu informieren. In diesem Zusammenhang sollten auch mögliche Motivationen, sich auf das Smart Grid einzulassen, erfragt werden. Dies besonders vor dem Hintergrund, dass der Nutzen eines Smart Grid weniger auf der unmittelbar individuellen Ebene zu verorten ist. Nach dem gegenwärtigen Wissensstand ist höchstens mit relativ geringen Energieeinsparungen und monetären Vorteilen für die Kunden zu rechnen. Es geht vielmehr um den Nutzen für das Gesamtsystem, eben um die Möglichkeit fluktuierende erneuerbare Energiequellen zu integrieren, und das System trotzdem verlässlich und kostengünstig zu betreiben. Eventuell können hier Geschäftsmodelle (s.o.), die auf eine direkte Beteiligung der Bürger am Versorgungsunternehmen abzielen, zur Motivation beitragen.

*Vorgehensweise:* Sobald die Klärung oben genannter Fragen voran geschritten ist, wäre es angebracht, sowohl Informationsaktionen wie auch diskursive Veranstaltungen durchzuführen (z.B. „Bürgerdialoge Smart Grid“).

### **Internationale Perspektive/ Vergleiche mit dem Ausland**

Ansätze ein intelligentes Netz aufzubauen bzw. einzuführen sind in vielen Ländern erkennbar. Diese Entwicklungen sollten systematisch in den Blick genommen werden, um einen evtl. länderspezifischen Umgang mit den in Kapitel 4 dargestellten, offenen Fragen analysieren zu können. Die internationale Perspektive ist ebenso von Bedeutung, weil gerade der Umstieg auf regenerative Energiequellen eine gut abgestimmte Europäische Kooperation benötigt.

*Vorgehensweise:* Systematische Vergleiche von Ausgangslagen sowie von technischen und politischen Ansätzen in verschiedenen Ländern.

## 6 Literaturverzeichnis

- Anderson, P.H.; Mathews, J.A.; Rask, M.* (2009): Integrating private transport into renewable energy policy: The strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles. In: *Energy Policy* 37, S. 2481-2486
- BDI (Bundesverband der deutschen Industrie)* (2008): Internet der Energie. IKT für die Energiemärkte der Zukunft.
- Beyea, J.* (2010): The Smart Electricity Grid and Scientific Research. In: *Science* Vol. 328, S. 979-980
- BMWi* (2010): E-Energy. IKT-basiertes Energiesystem der Zukunft. <http://www.e-energy.de/> (Zugriff 20.12.2011)
- Coll-Mayor, D.; Paget, M.; Lightner, E.* (2007): Future intelligent power grids: Analysis of the vision in the European Union and the United States. In: *Energy Policy* 35 (2007), S. 2453-2465
- Commission of European Countries (CEC, 2007)*: SET-Plan, Strategic Energy Technology Plan. European Commission, Brüssel
- Darby, S.* (2006): The effectiveness of feedback on energy consumption. A review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays. Environmental Change Institute. University of Oxford
- Demiris, G.* (2008): Smart Homes and Ambient Assisted Living in an Aging Society. New Opportunities and Challenges for Biomedical Informatics. In: *Methods of Information in Medicine* 2008 47/1, S. 56-57
- dena-Fact Sheet* (2010): Die Offshore-Windparks in Nord- und Ostsee, Mai 2010
- Die Bundesregierung* (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet-der-bundesregierung>
- Engel, T.* (2009): Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen Teil 1 der Serie: Auf welchem Weg kommt der Strom in die vielen Elektromobile? In: *Sonnenenergie* 2009 (2), S. 75-79
- Flosdorff, R.; Hilgarth, G.* (2005): Elektrische Energieverteilung
- forsa* (2010): Erfolgsfaktoren von Smart Metering aus Verbrauchersicht. Bericht. Forssa. Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH
- Fraunhofer IAO & PwC* (2010): Elektromobilität Herausforderung für Industrie und öffentliche Hand, <http://www.iao.fraunhofer.de/images/downloads/elektromobilitaet.pdf> (Zugriff 1.10.2010)
- Heile, B.* (2010): Smart Grids for Green Communication. Industry Perspective. In: *WEEE Wireless Communications*, June 2010
- Heuck, K.; Dettmann, K.-D.; Schulz, D.* (2005): Elektrische Energieversorgung
- Konstantin, P.* (2009): Praxisbuch Energiewirtschaft – Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt
- Kuckartz, U.; Rheingans-Heintze, A.; Rädiker, S.* (2007): Klimawandel aus der Sicht der deutschen Bevölkerung. Projekt „Umweltbewusstsein in Deutschland“ Philipps-Universität Marburg 02/2007. ([http://www.umweltbewusstsein.de/deutsch/2006/download/ub2006\\_klimawandel.pdf](http://www.umweltbewusstsein.de/deutsch/2006/download/ub2006_klimawandel.pdf) Zugriff 14.01.2011)
- Pepermans, G.; Driesenb, J.; Haeseldonckx, D.; Belmans, R.; D'haeseleer, W.* (2005): Distributed generation: definition, benefits and issues. In: *Energy Policy* 33 (2005), S. 787-798
- Reiner et al.* (2009): Potenzial rückspeisefähiger Elektrofahrzeuge und steuerbarer Verbraucher im Verteilnetz unter Verwendung eines dezentralen Energiemanagementsystems, ETG-Kongress
- Smart Grid (2010)*: European Technology Platform for the Electricity Networks of the Future. <http://www.smartgrids.eu> (Zugriff 12.11.2010)
- Schönfelder et al.* (2009): Elektromobilität - Eine Chance zur verbesserten Netzintegration Erneuerbarer Energien. Umweltwirtschaftsforum
- Swider, D. J.* (2006): Handel an Regelenergie- und Spotmärkten

*Vogel, P.* (2009): Efficient instrument signals for distributed generation. In: *Energy Policy* 37, S. 3665-367

# **„Klebrige Informationen“**

ITA-Kurzstudie

*Nora Weinberger*

*Arnd Weber*

*Sven Reisch*

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse  
am Karlsruher Institut für Technologie

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:  
Dipl.-Ing. Nora Weinberger  
E-Mail: [nora.weinberger@kit.edu](mailto:nora.weinberger@kit.edu)  
Telefon: +49 (0) 721 / 608 - 23972



# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>125</b>
<b>Glossar</b> .....	<b>127</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>129</b>
<b>1 Einführung in das Thema</b> .....	<b>131</b>
<b>2 Status Quo von Forschung und Entwicklung</b> .....	<b>131</b>
2.1 Technologische Konzepte .....	133
2.1.1 Vision einer allgegenwärtigen Datenverarbeitung .....	133
2.1.2 Web 2.0-Dienste .....	134
2.1.3 Kommunikationstechnik .....	135
2.1.4 Lokalisierung .....	137
2.1.5 Technologien und Konzepte zum Schutz der Privatsphäre .....	138
2.2 Folgedimensionen .....	140
2.2.1 Allgemeines .....	140
2.2.2 Gesellschaftliche/ Soziale Dimension .....	140
2.2.3 Folgen von Lokalisierungsdiensten.....	144
2.2.4 Umgang mit personenbezogenen Daten im Gesundheitswesen.....	145
2.2.5 Technische Dimension.....	146
2.2.6 Ökonomische Dimension .....	147
2.2.7 Politische Dimension.....	148
<b>3 Offene Fragen</b> .....	<b>151</b>
<b>4 Vorschläge zur methodischen Umsetzung</b> .....	<b>155</b>
<b>5 Weiterführende Literatur</b> .....	<b>159</b>
<b>6 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>161</b>



## **Danksagung**

Die Autoren möchten die wertvollen Beiträge der interviewten Expertinnen und Experten anerkennen: Hannes Federrath, Christine Hafskjold, Matthias Schunter, Christian Stüble und Michael Waidner. Besonderer Dank geht außerdem an unsere Kollegen vom ITAS, Knud Böhle, Carsten Orwat und Marcel Jakobsmeier, für die kritische Durchsicht und die konstruktiven Anmerkungen.



## **Glossar**

### **Cloud Computing**

Ein Teil der Hardware wie Rechenkapazität, Datenspeicher, Netzwerkkapazität oder auch Software wird auf Nutzerseite nicht mehr selbst betrieben oder örtlich bereitgestellt, sondern bei einem oder mehreren, meist geographisch entfernt liegenden Anbietern als Dienst gemietet. Die Anwendungen und Daten befinden sich dann nicht mehr auf dem lokalen Rechner oder im Firmenrechenzentrum, sondern in der sogenannten „Wolke“ (engl. „cloud“). Durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen ergeben sich Kostenvorteile.

### **Collaborative Search Engines**

Ein relativ neuer Ansatz sind Verteilte Suchmaschinen bzw. Föderierte Suchmaschinen. Dabei wird eine Suchanfrage an eine Vielzahl von einzelnen Computern weitergeleitet, die jeweils eine eigene Suchmaschine betreiben und die Ergebnisse zusammengeführt. Eine besondere Art sind die Collaborative Search Engines, die auf einem Rechner-Rechner-Verbindungsprinzip („Peer-to-Peer“) basieren. Jeder dieser Rechner kann Teile des Webs unabhängig erfassen, welche der jeweilige Nutzer durch einfache lokale Konfiguration definiert.

### **Datamining**

Unter Datamining (dt. Datensätze gewinnen) ist die systematische Anwendung von statistisch-mathematischen Methoden auf einen Datenbestand mit dem Ziel, Muster zu erkennen. Datamining wird vor allem bei manuell nicht mehr verarbeitbaren, also sehr großen Datenbeständen angewendet.

### **Datenschutz**

Unter Datenschutz versteht man den Schutz des Einzelnen vor dem Missbrauch personenbezogener Daten, oft auch im Zusammenhang mit dem Schutz der Privatsphäre. Zweck und Ziel ist die Sicherung des Grundrechts auf informationelle Selbstbestimmung der Einzelperson. Jeder Mensch sollte grundsätzlich selbst entscheiden, wem wann und welche Daten zugänglich sein sollen. Im englischen Sprachraum spricht man von „privacy“ (Schutz der Privatsphäre) und von „data privacy“ (Datenschutz im engeren Sinne).

### **Datensicherheit**

Als Datensicherheit oder auch Informationssicherheit bezeichnet man Eigenschaften von informationsverarbeitenden und -lagernden Systemen, welche die Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität sicherstellen. Datensicherheit dient dem Schutz vor Gefahren bzw. Bedrohungen (wie z.B. Sabotage, Spionage oder Computerviren), der Vermeidung von Schäden und der Minimierung von Risiken.

### **Digitale Identität**

Allgemein ist eine Identität eine eindeutige, wieder erkennbare Beschreibung einer natürlichen oder juristischen Person oder eines Objektes z.B. Personengruppe, Unternehmen, Rechner, Programm, Datei. In diesem Kontext ist eine digitale Identität eine Identität, die von einem Rechner verstanden und verarbeitet werden kann. Die digitale Identität entsteht, indem Attribute einer natürlichen Person oder eines Objektes in einem Rechner in elektronischer Form erfasst werden.

### **Informationelle Selbstbestimmung**

Im bundesdeutschen Recht ist das Recht auf informationelle Selbstbestimmung das Recht des Einzelnen, grundsätzlich selbst, über die Preisgabe und Verwendung seiner personenbezogenen Daten zu bestimmen. Dieses Datenschutz-Grundrecht wird im Grundgesetz für Deutschland nicht ausdrücklich erwähnt. Das Recht auf informationelle Selbstbestimmung ist weit gefasst. Es wird nicht unterschieden, ob mehr oder weniger sensible Daten des Einzelnen betroffen sind.

### **Location Based Services (LBS; Standortbasierte Dienste)**

Dies sind mobile Dienste, die unter Zuhilfenahme von positionsabhängigen Daten dem Endbenutzer selektive Informationen bereitstellen oder Dienste anderer Art erbringen. Bei den LBS wird zwischen reaktiven und proaktiven standortbezogenen Diensten unterschieden. Bei reaktiven Diensten muss der gewünschte Service explizit angefordert werden, der proaktive Dienst wird z.B. beim Betreten einer bestimmten Zone automatisch aktiviert.

### **Mehrseitige Sicherheit**

Mehrseitige Sicherheit bedeutet die Berücksichtigung der Sicherheitsanforderungen nicht nur einer der beteiligten Parteien. Speziell bei offenen Kommunikationssystemen vertrauen sich die Beteiligten per se nicht, sondern sind sämtlich als Angreifer zu verstehen. Aus diesem Grund sind die Anforderungen mehrseitiger Sicherheit bspw. bei für universelle Nutzung gedachten sozialen Netzwerken sehr anspruchsvoll. Anforderungen könnten sein: Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit und Zurechenbarkeit.

### **Privatsphäre/ Privatheit**

Privatsphäre bezeichnet den nicht-öffentlichen Bereich, in dem ein Mensch unbehelligt von äußeren Einflüssen sein Recht auf freie Entfaltung der Persönlichkeit wahrnimmt. Dieses Recht ist in allen modernen Demokratien verankert und gilt als Menschenrecht.

### **Personenbezogene Daten**

Personenbezogene Daten sind gemäß §3 Abs. 1 Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) „Einzelangaben über persönliche oder sachliche Verhältnisse einer bestimmten oder bestimmbaren natürlichen Person“. In Deutschland fallen nur die Daten einer natürlichen Person unter die gesetzliche Definition, während bspw. in Österreich, Luxemburg und Dänemark auch die Daten juristischer Personen in den Schutzbereich entsprechender Gesetze einbezogen sind. Beispiel für personenbezogene Daten: Augenfarbe, Geburtsort, Kontonummer, Matrikelnummer.

## Zusammenfassung

Ende April 2011 haben zwei „Datenskandale“ für öffentliche Aufregung gesorgt. Zwei US-amerikanische Entwickler stellten ein Programm vor, mit dessen Hilfe von iPhone und iPad unverschlüsselt gespeicherte und mit dem PC synchronisierte Ortsdaten ein Bewegungsprofil der Nutzer erstellt werden kann. Nahezu zeitgleich musste der Elektronikkonzern Sony eingestehen, dass das Online-Netzwerk der Spielekonsole Playstation von Hackern angegriffen wurde und dabei sensible persönliche Daten von rund 80 Millionen Kunden entwendet wurden, darunter Kreditkarten-Datensätze.

Beide Fälle aus der jüngsten Vergangenheit sind Beispiele für durch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) hervorgerufene Problemstellungen, mit denen Technikentwickler, Unternehmen, Nutzer, aber auch Politik und Justiz umgehen müssen: Im Zuge des intensiven Austauschs von Informationen im **Web 2.0** und des Nutzens von **Lokalisierungsdiensten** und **Suchmaschinen** entstehen digitale Identitäten, die meist wissentlich und willentlich aufgebaut werden. Dennoch ist das Bewusstsein über den Verbleib der Daten und deren Weiterverwendung oftmals unzureichend, bis hin zum Problem unbewusster und nicht-intendierter Datenweitergabe und Datenmissbrauch z.B. von Daten, die Nutzer im Zusammenhang mit Telekommunikation und Transaktionen hinterlassen, die dann über Datamining u.a. zu personenbezogenen Daten hochgerechnet werden. Hinzu kommt, dass der Zugriff auf Daten im Netz kaum zeitlich begrenzt werden kann und die hinterlassene Datenspur fortbesteht. Wir sprechen deshalb in der vorliegenden Kurzstudie von ‚klebrigen‘ Informationen.

Auch die **RFID-Technologie** und **Near Field Communication**-Szenarien berühren die Frage nach dem sicheren Umgang mit Informationen in einer digitalen Welt. Zunächst liegt deren Einsatzgebiet v.a. im Bereich der Handelslogistik, aber auch der öffentliche Sektor macht sich die Identifikation per Funk zunehmend zu Nutze, so z.B. im neuen ePersonalausweis. Vor allem das Problem, dass Daten möglicherweise von fremden Dritten ausgelesen und missbraucht werden können, spielt hierbei eine gewichtige Rolle. Eine Ausweitung der Nutzungsbereiche bis hin zur Personenüberwachung mittels RFID ist denkbar.

Digitale Identitäten und das Problem ‚klebriger‘ Informationen sind eine Herausforderung für die Debatten um das Grundrecht selbstbestimmten Handelns und den Schutz der Privatsphäre. Es besteht die Schwierigkeit, dass aufgrund der ‚Klebrigkeit‘ der Daten die Auswirkungen auf das Grundrecht zur Wahrung der Privatsphäre nicht mehr reversibel sind. Allerdings ist eine Diskrepanz auszumachen zwischen dem Wunsch nach Privatsphäre und dem „öffentlichen Verhalten“. Die Preisgabe privater Daten droht dabei – sofern sie überhaupt bewusst und intendiert erfolgt – mit dem Nutzen, der aus der Nutzung der modernen IKT resultiert, verrechnet zu werden.

Wie die Kurzstudie zeigt, beinhaltet das Phänomen ‚klebriger‘ Informationen somit einige offene Fragestellungen und dringende Handlungsfelder für die Innovations- und Technikanalyse (ITA). Generell wäre eine Untersuchung zur Nutzung, Verkettbarkeit und Weiterverwendung von Daten bzw. Persönlichkeitsprofilen (Stichfragen: Wer? Was? Wie? Wo? Wann? Warum?) sinnvoll. Ein Ergebnis dieser Abwägung bzw. Analyse könnten u.a. verbindliche Regularien sein, die Missbrauch bestrafen und im besten Fall unterbinden.

Eine empirisch fundierte ITA sollte insbesondere die Diskrepanz zwischen von Experten konstatierten neuen Qualitäten potentieller Gefahren und dem faktischen Nutzerverhalten beleuchten und die Sicht der Konsumenten, aber auch Nutzer in Betrieben, stärker mit einbeziehen. Ausgehend von einer Analyse der bestehenden Kenntnisse der Nutzer über die mit der Datenweitergabe einhergehenden Risiken, soll Klarheit darüber hergestellt werden, wie sich die Einstellung der Nutzer zu Privatheit und informationeller Selbstbestimmung bei neuen Diensten und dem globalen Datenaustausch verhält und welche technischen und regu-

latorischen Maßnahmen zum Schutz der Privatsphäre auf Akzeptanz stoßen würden. Es gilt, konkrete Handlungsoptionen im technischen und rechtlichen Bereich zu eruieren, genauso wie einen Katalog von Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung bei neuen Datendiensten zu erstellen, um die Schlüsse aus der Analyse des Nutzerverhaltens adäquat umzusetzen.

Verschiedene Ansätze technischer und juristischer Schutzmaßnahmen scheinen zum Ziel zu haben, den Daten- und Verbraucherschutz im Bereich digitaler Identitäten zu stärken. Privacy Enhancing Technologies (PET) stehen für Programmfunktionen und Tools, die technische Möglichkeiten des Datenschutzes bieten, v.a. Anonymisierung, Unverkettbarkeit von Daten und Managementtools für persönliche Daten. Einer grundsätzlichen Klärung sollte jedoch auch die Frage potentieller Sicherheitslücken von Endgeräten zugeführt werden, da über diese, die Sicherheitseinstellungen vorgenommen und kontrolliert werden.

Nach den Vorkommnissen der letzten Monate in der arabischen Welt bekommt die Diskussion um das politische Potential von Facebook etc. und der Welt der digitalen Kommunikation insgesamt Auftrieb. Welche Rolle die Möglichkeit sicherer und anonymer globaler Kommunikation für Demokratisierungsprozesse spielt und welche Chancen und Risiken insgesamt damit einhergehen, könnte parallel analysiert werden.

Wie die Kurzstudie insgesamt zeigt, sind Fragen zum Datenschutz, zur Privatsphäre und informationeller Selbstbestimmung in der digitalen Welt bereits in zahlreichen (ITA)-Studien Untersuchungsgegenstand und somit als Thema in der ITA angekommen. Für einige, in der vorliegenden Studie angesprochenen Anwendungsmöglichkeiten moderner IKT mangelt es jedoch derzeit noch an Vorschlägen zur Umsetzung konkreter technischer und juristischer Handlungsoptionen. Diese wären bspw. durch spezielle ITA-Studien noch systematisch zu untersuchen. Generell erhebt die vorliegende Kurzstudie potentielle Folgen im Umgang mit klebriger Information und identifiziert aus den skizzierten Problemfeldern Themen für eine zukünftige ITA-Forschung.



# 1 Einführung in das Thema

**«The digital revolution has changed everything...  
What was once hard to copy is now trivial to duplicate.  
What was once forgotten is now stored forever.  
What was once private is now public.»**  
Ronald L. Rivest (2001)<sup>86</sup>

Heutzutage erlauben moderne Informations- und Kommunikationstechnologien Individuen einen unkomplizierten Austausch von Informationen und machen diese Informationen in einem bisher unbekanntem Ausmaß öffentlich und global verfügbar. Soziale Medien wie z.B. Facebook, MySpace, Twitter und StudiVZ mit über 1 Milliarde Mitgliedern<sup>87</sup> auf der ganzen Welt, sind dabei zwar das seit Anfang 2010 in der Öffentlichkeit wie auf wissenschaftlicher Ebene<sup>88</sup> am stärksten diskutierte, aber nicht das einzige Beispiel dieses Phänomens. Auch durch Personensuchmaschinen, wie beispielsweise der Google-Dienst 23andme.com<sup>89</sup>, der anbietet, den persönlich bereitgestellten DNA-Code nach Verwandtschaftsverhältnissen rund um die ganze Welt zu untersuchen, die Aufzeichnung von Recherchegegewohnheiten bei der Nutzung von Suchmaschinen oder durch Lokalisierungsdienste, entstehen digitale Identitäten<sup>90</sup>. Daneben nutzen auch öffentliche Stellen immer mehr persönliche Daten für verschiedenste Zwecke, wie z.B. die Verfolgung von Individuen im Falle des Ausbruchs einer Epidemie, um Terrorismus und Kriminalität effektiver zu bekämpfen und zu verhindern, zur Gewährleistung der sozialen Sicherheit und für steuerliche Zwecke als Teil von eGovernment (Euro 2010). Zur selben Zeit werden die Wege der Datensammlung elaboriert und aufgrund der Vielzahl weltweit und dezentral verteilter Akteure undurchsichtiger. Profile und Identitäten werden somit einerseits wissentlich und willentlich aufgebaut und weiterentwickelt, andererseits scheint es nach Aussagen einiger Experten den Nutzern z.B. im Zusammenhang mit Telekommunikation und Transaktionen häufig gar nicht oder nur unzureichend bewusst zu sein, dass durch Datamining u.a. sensible personenbezogene Daten generiert und gespeichert werden. Außerdem haben auch Hackerangriffe auf Unternehmen die Aufmerksamkeit der breiten Öffentlichkeit erregt, wie beispielsweise der Elektronikkonzern, der eingestehen musste, dass das Online-Netzwerk der Spielekonsole Playstation angegriffen wurde und dabei sensible persönliche Daten von rund 80 Millionen Kunden entwendet wurden, darunter Kreditkarten-Datensätze (von Streit 2011).

Datenschützer, Technikexperten, Unternehmen, Nutzer, aber auch Politik und Justiz sowie Technikfolgenabschätzer sehen potentiell neue Gefahren für den Datenschutz und die informationelle Selbstbestimmung insbesondere darin, dass einmal digital erfasste personenbezogene Daten auch nach Jahren noch zugreifbar und auswertbar bleiben. Man kann sich somit nicht mehr von seiner Internet-Identität lösen, so dass wir von einem ‚Kleben‘ der Informationen der Nutzer sprechen. Bisher bleiben auch nach dem Löschen durch den Nutzer alle Daten und Einträge noch jahrzehntelang im Netz abrufbar, da den Nutzern die technischen und rechtlichen Grundlagen fehlen, diese Profile aus dem Internetgedächtnis löschen zu können (Mayer-Schönberger 2008).

Neben der langen Verfügbarkeit von personenbezogenen Daten im Netz können durch immer leistungsfähigere Speichermedien und Prozessoren Daten mit immer effizienteren Algorithmen automatisiert zu fein-

---

<sup>86</sup> Ronald L. Rivest. Whither information security?  
<http://wean1.ulib.org/Lectures/DistinguishedLectures/2001/03.0RonaldLRivest/>, Invited talk at the SCS Distinguished Lecture Series. März 2001

<sup>87</sup> Mitgliederzahl zitiert nach (Rudlstorfer 2010).

<sup>88</sup> U.a. sprachen die Experten des im Rahmen des Projekts durchgeführten Workshops dem Thema eine hohe Relevanz zu und wiesen auf die Dringlichkeit der Problematik hin.

<sup>89</sup> [www.23andme.com](http://www.23andme.com)

<sup>90</sup> Vgl. unter anderem (Heatherly, 2009).

granularen Interessens-, Konsum- und Bewegungsprofilen<sup>91</sup> von Personen verkettet und ausgewertet werden. Das Verkleben bzw. die Verkettung von Daten und das Handeln mit daraus resultierenden Persönlichkeitsprofilen geben der schon länger andauernden Diskussion zu Datenschutz und Privatsphäre eine andere Qualität und stellen den Staat, Datenschützer und Andere vor neue Herausforderungen. Die Problematik durch den Kontextverlust, der mit einer Daten- oder Techniknutzung in ganz anderen als den für die Entstehung implizierten Zusammenhängen verbunden ist, wird nach Aussagen von seriösen Forschern sogar noch verschärft. Beispielsweise könnten RFID-Chips oder Technologien wie das Global Positioning System (GPS) anstatt den Standort eines Produktes in Lieferketten zu lokalisieren, zur Verfolgung und Überwachung von Menschen genutzt werden.

Aufgrund der Komplexität des Themas werden im Folgenden die interdependenten Beziehungen von Technologien und Gesellschaft auf Fragestellungen zum Umgang mit personenbezogenen Daten im Internet fokussiert. Auf verwandte Aspekte bei der Datenerhebung und -speicherung, wie z.B. bei Scoring-Systemen der Finanzindustrie (Schufa, easycash etc.) oder bei Unternehmen wie payback o.a., wird in der vorliegenden Studie nicht eingegangen. Aufgrund der Relevanz werden derartige Fragestellungen aber im Rahmen des Projektes in gesonderten Analysen wie „IKT im Finanzsektor“ untersucht.

Vor dem Hintergrund der Zielstellung ist der Aufbau der Studie wie folgt angelegt:

In Kapitel 2 wird der Stand der Forschung und Entwicklung problembezogen diskutiert, und das sowohl bezogen auf die technischen Grundlagen als auch entlang der oben beschriebenen ITA-Dimensionen. Dabei sollen einige zentrale Aspekte der verschiedenen Technikkonzepte wie z.B. Location Based Services (LBS; Standortbasierte Dienste) angesprochen werden. Hierbei geht es vor allem um eine prägnante Darstellung potentieller Folgen aktueller und zukünftiger IT-Szenarien, wie sie in ITA- und Fachkreisen diskutiert werden, also z.B. von Fachleuten aus Ministerien und Parlamenten, Datenschutzorganisationen, Forschern, Marktanalysten und Unternehmen. Darauf aufbauend erfolgt in Kapitel 3 die Darstellung offener Fragestellungen, die bspw. durch spezielle ITA-Studien noch systematisch zu untersuchen wären. Kapitel 4 zeigt Vorschläge zur methodischen Umsetzung auf, die sich durch die bisher ungeklärten Fragestellungen aus dem vorhergehenden Kapitel ergeben.

In dieser Studie wurde durchgängig das Maskulinum in seiner generischen Funktion verwendet. Auf ein Gendering wurde zugunsten der Lesbarkeit verzichtet.

---

<sup>91</sup> Zwei US-amerikanische Entwickler stellten ein Programm vor, mit dessen Hilfe von iPhone und iPad unverschlüsselt gespeicherte und mit dem PC synchronisierte Ortsdaten ein Bewegungsprofil der Nutzer erstellt werden kann (Lischka, Reißmann, Kremp 2011).

## 2 Status Quo von Forschung und Entwicklung

### 2.1 Technologische Konzepte

In den nachfolgenden Kapiteln werden kurz die Charakteristiken sowie die derzeitigen und zukünftigen Anwendungsgebiete unterschiedlicher technologischer Konzepte wie z.B. Web 2.0-Dienste dargestellt. Auf eine ausführliche Darstellung der möglichen nicht-intendierten Konsequenzen wird in diesem Kapitel verzichtet. Sie erfolgt im Kapitel 2.2 „Folgedimensionen“.

#### 2.1.1 Vision einer allgegenwärtigen Datenverarbeitung

Aufgrund ihrer minimalen Größe und ihres geringen Preises und Energiebedarfs können Prozessoren mit integrierter drahtloser Kommunikationsfähigkeit und Sensoren bald in vielen Alltagsgegenständen integriert oder anderweitig in die Umwelt eingebracht werden. Selbst Dinge, die primär keine elektrischen Geräte darstellen, werden dadurch in die Lage versetzt Informationen zu verarbeiten und (miteinander) zu kommunizieren („**Internet der Dinge**“). In Kombination mit den oben skizzierten Kommunikations- und Lokalisierungstechnologien ist nach Adamowsky (2010) damit die Voraussetzung für eine total vernetzte, informatisierte Welt, dem sog. **Ubiquitous Computing**<sup>92</sup> geschaffen. Der Begriff Ubiquitous Computing wurde bereits 1991 von Mark Weiser (1991) geprägt:

*“Most of the computers that participate [...] will be invisible in fact as well as in metaphor.  
[...] These machines and more will be interconnected in a ubiquitous network.”*

Der PC ist in der Betrachtungsweise von Experten in dieser Vision nur ein Zwischenschritt zu allgegenwärtig, unsichtbar integrierten Technologien, die permanent miteinander kommunizieren, Daten speichern können und dabei den Menschen bei einer beträchtlichen Anzahl seiner Tätigkeiten und bei der Selbstversorgung und unabhängigen Lebensführung unmerklich unterstützen (Dritsas, Tsaparas, Gritzalis 2006; Orwat et al. 2008)<sup>93</sup>. Dies würde Alltagsgegenständen eine neue, zusätzliche Qualität verleihen. Sie könnten orten, wo sie sich befinden, welche Gegenstände oder Personen in der Nähe sind, sie hätten eine Art ‚Gedächtnis‘ und eine gespeicherte Vergangenheit. Das allgegenwärtige Computing könnte sämtliche Lebens- und Wirtschaftsbereiche durchdringen und zum Beispiel den privaten Komfort in der Wohnung oder dem Haus erhöhen („intelligentes Haus“ oder „Ambient Assisted Living“<sup>94</sup>). „Intelligente Fahrzeuge“ würden Verkehrswege sicherer machen und implantierte Sensoren und Kleinstcomputer könnten den Gesundheitszustand des Nutzers überwachen. Einige Experten vertreten die Ansicht, dass sich daneben grundsätzlich Möglichkeiten bieten würden, betriebliche und überbetriebliche Prozesse effizienter zu gestalten, sowie neue Produkte und Dienste zu entwickeln.

Als Teilgebiete des Ubiquitous Computing können aufgrund der Mobilität der Dinge als eine Grundvoraussetzung für die Visionen der Allgegenwärtigkeit auch das **Mobile Computing** (s. Kapitel 2.1.3 Kommunikationstechnik), Entwicklungen im Bereich von „**Drahtlosen Sensornetzen (Smart Dust)**“<sup>95</sup> und (**Wire-**

---

<sup>92</sup> Ubiquitous Computing wird auch als UbiComp, Pervasive Computing, Ambient Intelligence, Smart Dust, Nomadic Computing und als Internet der Dinge bezeichnet. Der begriffliche Unterschied ist dabei eher akademischer Natur. Gemeinsam ist allen das Ziel den Menschen zu unterstützen sowie wirtschaftliche wie soziale Prozesse durch eine Vielzahl von in die Umgebung eingebrachten Mikroprozessoren und Sensoren zu optimieren.

<sup>93</sup> Vgl. dazu auch Szenarien in (Bizer et al. 2006) und (Friedewald et al. 2009b).

<sup>94</sup> Vgl. dazu das Förderprogramm des BMBF „Assistenzsysteme im Dienste des älteren Menschen“, Informationen unter <http://www.aal-deutschland.de> und z.B. (Gaßner, Conrad 2010).

<sup>95</sup> Smart Dust (oder „Intelligenter Staub“) wird in dieser Studie nicht näher betrachtet, da im Rahmenprogramm Mikrosysteme 2004-2009 („Mikrosystemtechnik für autonome vernetzte Sensorsysteme“) sowie im Förderungs-

less) **Body Area Networks** ((W)BAN), angesehen werden. Mit (W)BANs ist eine (drahtlose) Anbindung von am Körper getragenen medizinischen Sensoren und Aktoren möglich. Durch das Anfassen eines Gegenstandes oder Gerätes übermittelt z.B. die Armbanduhr eine eindeutige Personen-Identifikation und ermöglicht so den Zugang zu einem bestimmten System (von PC-System bis zu einem Konzert). Ebenso können Körperfunktionen, wie z.B. Blutdruck und Puls erfasst werden, die zur medizinischen Diagnose dienen, sowie biometrische Daten und Implantate überwacht werden. Somit wird nach Meinung von Heesen und Simoneit (2007) auch der Körper eines Individuums zu einem Teil des Datentransfers.

Eine Weiterentwicklung der WBANs stellen tragbare Computersysteme (**Wearable Computing, Wearables**) dar. Bei den tragbaren Computersystemen handelt es sich um in die Kleidung („i-Wear“ oder „intelligente Kleidung“) integrierte oder am Körper getragene miniaturisierte elektronische Geräte. Die Besonderheit hierbei ist, dass die originäre Tätigkeit des Benutzers nicht die Benutzung des Computers, sondern eine durch den Computer unterstützte Tätigkeit und eine handfreie Interaktion, Multifunktionalität und Kontextsensitivität umsetzbar ist. Das Funktionsspektrum der Wearables umfasst die Erfassung und Verarbeitung von Körper- und Umgebungsdaten sowie die Kommunikation über das Internet oder lokale Netze. Beispiele für Wearables sind Armbanduhren, die ständig den Puls messen<sup>96</sup>, Brillen, deren Innenseiten als Bildschirm dienen oder Kleidungsstücke, in die elektronische Hilfsmittel zur Kommunikation und Musikwiedergabe oder Sensoren<sup>97</sup> eingearbeitet sind, bis hin zu Videos in Brillen.

In allen diesen Teilgebieten des Ubiquitous Computing werden sensible (personenbezogene) Daten generiert, so dass auch nicht-intendierte Nebenfolgen in Betracht gezogen werden müssen, speziell in Anbetracht der informationellen Selbstbestimmung und des Schutzes der Privatsphäre. Einen umfassenden Überblick u.a. über verschiedene Szenarien der Unsicherheit von Systemen des Ubiquitous Computing und mögliche Lösungsstrategien bietet (Gabriel 2006).

## 2.1.2 Web 2.0<sup>98</sup>-Dienste

Die technologischen Entwicklungen interaktiver und kollaborativer Dienste des Web 2.0 der letzten Jahre machen es möglich, viele Arten menschlicher sozialer Kontakte in Netzwerken, wie Facebook<sup>99</sup>, StudiVZ<sup>100</sup>, Friendsticker<sup>101</sup>, Xing<sup>102</sup> etc. oder Diensten wie Twitter<sup>103</sup>, digital abzubilden. Dank derartiger Dienste können Personen Kontakt miteinander aufnehmen und aufrecht erhalten, der sonst aufgrund räumlicher oder anderer Barrieren schwer oder unmöglich wäre. Auf diese Weise finden aber nicht nur „Freun-

---

programm "IT-Forschung 2006" (Forschungsbereich "Kommunikationstechnologien") das BMBF die Entwicklung von innovativen Lösungen in diesem Bereich bereits mit mehr als 15 Millionen Euro gefördert hat und dabei auch Ansätze zur Sicherung der Privatsphäre und zur Erhöhung der Datensicherheit untersucht wurden.

<sup>96</sup> Im Aachener European Microsoft Innovation Center (EMIC)-Labor wird z.B. eine „SPOT Watch“ entwickelt, die bei der Überwachung von Diabetikern eingesetzt werden soll. Die Uhr soll Daten von einem mit einem Sensor ausgestatteten T-Shirt erhalten und dann Vorschläge für die nächste Insulin-Dosierung machen (<http://www.microsoft.com/emic>).

<sup>97</sup> Das europaweite Konsortium wearIT@work, entwickelt für den Einsatz bei der Feuerwehr Sensoren, die in die Kleidung integriert werden und Vitaldaten usw. messen. Ein weiteres Beispiel ist senSAVE, ein Gemeinschaftsprojekt von fünf Fraunhofer-Instituten. Hier sollen funkvernetzte Sensoren im Hemd den Gesundheitszustand überwachen. Ein speziell ausgestattetes Smartphone speichert und analysiert die Daten und ruft im Notfall automatisch den Arzt an. Für weitere Informationen: <http://www.wearitatwork.com/> und <http://www.fit.fraunhofer.de/projects/mobiles-wissen/sensave.html>.

<sup>98</sup> Der Begriff Web 2.0 wird für eine Reihe interaktiver und kollaborativer Dienste des Internets verwendet. Die Versionsnummer 2.0 postuliert eine neue Generation des Webs. Näheres unter <http://www.web2summit.com/web2009/public/schedule/detail/10194>

<sup>99</sup> [www.facebook.com](http://www.facebook.com)

<sup>100</sup> [www.studivz.net](http://www.studivz.net)

<sup>101</sup> [www.friendsticker.com](http://www.friendsticker.com)

<sup>102</sup> [www.xing.com](http://www.xing.com)

<sup>103</sup> [www.twitter.com](http://www.twitter.com)

de' zusammen, sondern alle Personen mit gleichen Interessen, Arbeits- oder Themengebieten können, in welcher Form auch immer, miteinander kommunizieren und zusammenarbeiten. Nicht zuletzt durch das Web 2.0 haben sich neue Formen der Informations- und Kommunikationstechnologien zur Unterstützung von sozialen Interaktionen und kollaborativer Arbeit entwickelt („collaborative working“): **Social Networking-Services** (SNS) oder **Mobile Social Network** (MSN). SNS bezeichnen Anwendungssysteme, die nach Richter und Koch (2008) sechs Funktionalitätsgruppen kombinieren:

*„Identitätsmanagement, (Experten-)Suche, Kontextawareness (Kontext/ Vertrauensaufbau), Kontaktmanagement, Netzwerkawareness und gemeinsamer Austausch (Kommunikation).“*

Eine Besonderheit der Web-2.0-Anwendungen ist, dass die Nutzer zwischen der Rolle des Dienstnehmers sowie des Dienstgebers wechseln.

Eine weitere Web 2.0-Anwendung stellen (Meta-)Suchmaschinen oder auch sog. **Collaborative Search Engines** (CSE) wie z.B. Yet another Cyberspace<sup>104</sup> (YaCy) dar.

### 2.1.3 Kommunikationstechnik

Neben technischen Fortschritten mit einem Trend zu immer höheren Datenraten ist vor allem die drahtlose Kommunikation (**Mobile Computing**) für die Informatisierung des Alltags und den unmittelbaren persönlichen Zugang zu Informationen relevant. So sind Smartphones, Note- und Netbooks, multifunktionale Tablett-PCs, Handheld-PCs<sup>105</sup> und ein drahtloser Internetzugang per WLAN bereits Standard; und immer neuere Technologien ermöglichen eine noch schnellere Datenübertragung bei gleichzeitig fortschreitender Miniaturisierung und geringerem spezifischem Energiebedarf. Durch die mobile Verfügbarkeit des Internets bieten sich vielfältige Möglichkeiten, objekt- oder standortbezogene Informationen jederzeit direkt vor Ort bereit zu stellen und nicht nur ‚statisch‘ am heimischen PC abzurufen. Neben klassischen Webseiten können nun auch multimediale Inhalte wie Filme und Audiospots mit realen Objekten verknüpft werden. Bereits verfügbare Technologien für mobile Informationssysteme sind beispielsweise Quick-Response (QR)-Codes und Bluetooth-Systeme, die seit einigen Jahren von verschiedenen Unternehmen als Instrument des mobilen Marketings genutzt werden (vgl. dazu Beispiele in Steimel, Paulke, Klemann 2008; Weber 2007).

Interessant in diesem Zusammenhang sind u.a. **Radio Frequency Identification (RFID)-Systeme**, die eine Fernidentifikation per Funk ermöglichen. Bestehend aus einem RFID-Tag (Transponder<sup>106</sup>) mit einer eindeutigen Identifikationsnummer (ID) und einem Scanner/ Lesegerät können die Daten ohne Sichtkontakt oder Berührung ausgelesen werden. Der RFID-Tag kann aufgrund seiner minimalen Größe und seines relativ geringen Preises auf allen Arten von Gegenständen angebracht und Menschen<sup>107</sup> (Arte 2008) und Tieren implantiert werden, Objekte kennzeichnen sowie eine Vielzahl an Information über Art, Verwendungszweck, Standort, Herstellungsdatum etc. und sogar personenbezogene Daten<sup>108</sup> liefern. Damit kann ein

<sup>104</sup> [http://yacy.net/index\\_de.html](http://yacy.net/index_de.html)

<sup>105</sup> Z.B. von Acer, Casio, Hewlett Packard, IBM, Samsung, Sharp, Sony.

<sup>106</sup> Ein Transponder ist ein mikroelektronischer Schaltkreis, bestehend aus einer Sende- und Empfangsantenne, einer Steuerlogik und einem Datenspeicher. Solche Transponder, die sich z.B. für das Aufkleben oder Einlaminiere eignen sind nur 300-400 µm dünn.

<sup>107</sup> In Mexiko tragen mehr als 1000 Menschen solche Chips, hauptsächlich aus medizinischen Gründen (Notarzt hat bei einem Unfall alle Informationen über den Patienten), aber auch bei ‚entführbaren‘ Menschen wird vor allem in Südamerika die RFID-Technik zur Ortung eingesetzt.

<sup>108</sup> Dieser Mikrochip wird beispielsweise den Gästen einer Diskothek in Barcelona unter die Haut implantiert und dient zur Identifikation sowie zur Bezahlung: „We are the first discotheque in the world to offer VIP VeriChip. Using an integrated (imbedded) microchip, our VIPs can identify themselves and pay for their food and drinks without the need for any kind of document“. (<http://www.bajabeach.es/>)

‚Tracking und Tracing‘ von Gütern, Tieren und Personen realisiert werden (vgl. u.a. van’t Hof, Cornelissen 2006).

Vorangetrieben wird die RFID-Technik nach Aussagen von Friedewald und Lindner (2009a) vor allem von Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Logistik<sup>109</sup>: In der informatorischen Erfassung und Optimierung der Liefer- und Wertschöpfungskette liegt viel Rationalisierungspotential um Vorgänge transparenter, effizienter (Al-Kassab 2010) und besser aufeinander abgestimmt durchführen zu können (Schmitt, Thiesse, Fleisch 2007). Die Just-in-Time- oder die Just-in-Sequence-Produktion kann durch das automatisierte Preisgeben von Produktidentitäten weiter ausgebaut, Lagerhaltung weiter minimiert und Kosten gesenkt werden. Laut der TAUCIS-Studie „Technikfolgenabschätzung Ubiquitäres Computing und Informationelle Selbstbestimmung“ könnte daneben eine Dokumentation und Erfassung relevanter Transportparameter (z.B. Temperatur) durch die Kombination von RFID-Technik und entsprechender Sensorik realisierbar sein (Bizer 2006). Nach dem Omnicard Newsletter wird jedoch 2010 immer noch getestet, wie RFID-Tags identifiziert werden können, wenn sie dicht gepackt sind, wie bei CDs oder auf metallischen Waren angebracht (Omni 2010).

Realität ist die RFID-Technologie im neuen ePass. Seit dem 1. November 2007 sind bei der 2. Generation der ePässe neben dem Foto auf dem Funkchip Abdruckbilder von zwei Fingern gespeichert (BMI 2010a). Ab November 2010 wird der neue ePersonalausweis den bisherigen Personalausweis ablösen (BMI 2010b)<sup>110</sup>.

Zukünftig könnte man zudem als Kunde, ähnlich wie bei dem von der Metro Group bereits im April 2003 eröffneten Future Store<sup>111</sup>, den am Einkaufswagen befindlichen sog. Personal Shopping Assistent (PSA) nutzen. Der PSA könnte neben dem Bereitstellen von individuell gewünschten Produktinformationen auch Supermarktkassen obsolet werden lassen, da die am PSA eingelesenen Daten direkt an die Kasse übertragen werden und zukünftig ohne Kontakt zum Ladenpersonal per EC- oder Kreditkarte bezahlt werden könnte. Das Konzept „Metro Group Future Store“ wurde u.a. von der European Technology Assessment Group des Europäischen Parlaments untersucht (van’t Hof 2007).

Da über die eindeutige ID von RFID-Tags, Objekte in Echtzeit mit einem im Internet befindlichen oder einer standortunabhängigen Datenbank zugehörigen Datensatz verknüpft werden können, kann diesen Dingen eine spezifische Information zugeordnet werden. Der so mögliche flexible Informationszugewinn des einzelnen Gegenstands eröffnet in Zukunft aber weit über den intendierten Zweck der automatisierten Lagerhaltung, des kassenlosen Supermarktes oder des selbstständigen Einkaufs des interaktiven Kühlschranks (siehe „Internet der Dinge“) hinausgehende Anwendungsmöglichkeiten. Ob solche Dinge wirklich realisiert und nachgefragt werden, lässt sich allerdings schwer vorhersagen. Da jedoch eine weitere Miniaturisierung und Kostenreduzierung zu erwarten ist, kann nach einer Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) davon ausgegangen werden, dass RFID-Technologien entsprechend ihres Charakters als typische Querschnittstechnologie in den Bereichen Wohnen, Arbeit und Wirtschaft, Freizeit, Einkauf, Reisen und Verkehr sowie dem Gesundheitswesen neben den aktuellen noch bei weiteren Anwendungen zum Einsatz kommen könnten (Friedewald et al. 2009a). Hindernisse könnten Datenschutzaspekte sowie Fragen der Sicherheit (siehe z.B. Oertel et al. 2004) und der Strahlenbelastung

<sup>109</sup> Eins der wenigen Vorreiterunternehmen bei RFID-Pilotanwendungen in Deutschland ist die DHL International GmbH, ein Tochterunternehmen der Post, die seit 2006 das „DHL Innovation Centre“ betreibt. In diesem sollen RFID-Trends in marktfähige Produkte umgewandelt werden (<http://www.dhl-innovation.de/>).

<sup>110</sup> „Die neue Dokumentengeneration wird die herkömmlichen Anwendungen des Ausweises um elektronische Funktionen ergänzen. Die Daten, die heute optisch vom Dokument ablesbar sind, werden zukünftig in einem Ausweis-Chip abgelegt. Damit können sich die Ausweisinhaber online ausweisen – sowohl gegenüber Behörden im E-Government als auch gegenüber privatwirtschaftlichen Dienstleistungsanbietern beispielsweise bei Online-Shopping, Online-Banking oder beim Online-Kauf von Tickets.“ (BMI 2010)

<sup>111</sup> <http://www.future-store.org/>; abgerufen am 21.06.2010

sowie die bisher wenigen Anwendungslösungen sein, die z.B. in einer Studie vom Institute for Prospective Technological Studies für die EU-Kommission adressiert wurden (van Lieshout, Kool 2007) und in Kapitel 2.2 „Folgedimensionen“ dargestellt werden.

Ein Kommunikationsprinzip, das ähnlich zur RFID funktioniert, allerdings nur über Distanzen von wenigen Zentimetern, ist die sog. **Near Field Communication** (NFC), die u.a. durch das Center for Near Field Communication der Universität Hannover untersucht wurde (Wiedmann, Reeh, Schumacher 2010). NFC ist für die Übertragung kleiner Datenmengen in einem nahen Umfeld von wenigen Zentimetern konzipiert. Da für die Kommunikation physische Nähe<sup>112</sup> zwischen Tag und Scanner erforderlich ist, wird die NFC-Technologie vor allem für bargeldlose Bezahlungen, Ticketing, Unterhaltungen und Zugangskontrollen eingesetzt. Aufgrund der geringen Größe von NFC-Einheiten können diese leicht in Mobiltelefone integriert werden. Nach Aussagen von manchen Experten und von Unternehmen<sup>113</sup> sollen Mobiltelefone zunehmend mit NFC-Lesegerät ausgestattet werden (EPoS 2008; Reynolds 2008; Vanjoki 2010). Das Handy kann dann die empfangenen Daten entweder direkt interpretieren und anzeigen oder weitere Informationen über das Mobilfunknetz anfordern bzw. mit einem Server im Internet agieren, dessen Internetadresse auf dem Transponder gespeichert ist. Dadurch wären etwa Szenarien denkbar, wo z.B. Touristen mit Points-of-Interest interagieren<sup>114</sup> und dabei Videoclips zugespielt bekommt oder Kunden Konzertkarten reservieren und zeitgleich einen Musikclip auf das Handy geladen bekommen. Die Deutsche Bahn nutzt NFC-Technologien in ihrem Pilotprojekt „Touch & Travel“<sup>115</sup>, das seit 2008 mit einigen Testkunden auf Strecken zwischen Berlin, Hannover, Frankfurt und dem Ruhrgebiet durchgeführt wird. Hierbei handelt es sich um ein neues e-Ticketing-Verfahren, bei dem Bahnkunden zukünftig durch An- und Abmelden an sog. Touchpoints Fahrkarten mobil kaufen und abrechnen können. In der Stadt Hanau bei Frankfurt wurde NFC nach Aussagen der Deutschen Bahn zwar bereits in den Regelbetrieb für den öffentlichen Nahverkehr als Handy-Ticketing-System übernommen, der Einsatz im Betrieb scheiterte aber bisher an der geringen Verfügbarkeit von NFC-Handys. Trotz dieser NFC-Anwendungen im eTicketing haben sich bislang in Deutschland die Technologien aber wegen des abwartenden Verhaltens der Industrie noch nicht gegen Technologien wie Bluetooth flächendeckend durchsetzen können (Madlmeyer et al. 2008). In Hongkong und Japan hingegen weisen NFC-Technologien vor allem für Bezahldienste schon seit 2001 eine hohe Marktpenetration auf (Weber 2001; KPMG 2009).

#### 2.1.4 Lokalisierung

Zur Lokalisierung von mobilen Objekten, Tieren und Personen existieren bereits verschiedene technische Ansätze. Neben der bereits beschriebenen Lokalisierung über **RFID-Tags** oder **NFC** bzw. über Funkzellen von Sendern, deren Positionen bekannt sind und deren Genauigkeit nicht besonders hoch ist, stellt die Entfernungsbestimmung via Laufzeitmessung von Funksignalen eine präzisere, jedoch auch aufwändigere Methode dar. Ein bekanntes System ist das satellitenbasierte **Global Positioning System** (GPS); der Endausbau des ähnlich konzipierten, originär zivilen europäischen Galileo-Systems soll bis Ende 2013 erfolgen. Einschränkend ist die Tatsache, dass diese Systeme bisher nur bei ‚Sichtkontakt‘ zu den Satelliten funktionieren. Dennoch sind viele Handys mit GPS-Empfängern ausgestattet.

---

<sup>112</sup> Das Prinzip der physischen Annäherung ist der menschlichen Kommunikation nachempfunden.

<sup>113</sup> “All new Nokia Smartphone to come with NFC from 2011, A. Vanjoki, Nokia's executive vice president for markets, has announced that all new Smartphone introduced by the company from 2011 will come with NFC”, 17. June 2010 unter <http://www.cnm.uni-hannover.de>, NFC-Newsticker, aufgerufen am 21.06.2010.

<sup>114</sup> 2006 wurde auf der Nordseeinsel Sylt ein solches Informationssystem mittels NFC-Technologie aufgebaut. An bestimmten Punkten wie Restaurants oder Bushaltestellen wurde ein Transponder angebracht und der Nutzer konnte sich vor Ort informieren. Das System konnte sich allerdings nicht richtig durchsetzen, da es lediglich mit einem Handymodell funktionierte, das auf der Insel ausgeliehen werden musste.

<sup>115</sup> [www.touchandtravel.de](http://www.touchandtravel.de)

Zur Handyortung wird derzeit ebenso das in vielen Ländern flächendeckende Mobilfunknetz **Global System for Mobile Communications** (GSM) verwendet. GSM-Ortung stellt, je nach Anwendungsfall, eine einfache Alternative zum GPS dar, da für das Mobilgerät keine weitere Infrastruktur benötigt wird. Die GSM-Ortung ist jedoch im Vergleich zur Standortbestimmung mittels GPS ungenauer, denn die zur Standortbestimmung herangezogenen Signale weisen systembedingte Toleranzen auf. Bei dem Mobilfunksystem **Universal Mobile Telecommunications System** (UMTS) der dritten Mobilfunk-Generation ist aus technischer Sicht eine bis zu 10 mal genauere Lokalisierung im Vergleich zu GSM möglich. Eine weitere Lokalisierungsmöglichkeit beruht auf **Wireless Local Area Network** (WLAN)-Zugangspunkten, die auch innerhalb von Gebäuden ortbar sind und städtische Bereiche weitgehend abdecken. Im Jahr 2010 geriet Google in die Diskussion, weil beim Fotografieren von Straßen für „Street View“ auch WLAN-Daten aufgezeichnet wurden (Schubert 2010). Daneben scheint das iPhone von Apple zahlreiche Verbindungsdaten zurück zum Hersteller zu übermitteln (SpOn 2010).

Alle diese Technologien ermöglichen standortbezogene Dienste (**Location Based Services**; LBS). Dies sind mobile Dienste, die unter Zuhilfenahme von positionsabhängigen Daten dem Endbenutzer selektive Informationen bereitstellen oder Dienste anderer Art erbringen. Bei den LBS wird zwischen reaktiven und proaktiven standortbezogenen Diensten unterschieden. Bei reaktiven Diensten muss der gewünschte Service explizit angefordert werden, der proaktive Dienst wird z.B. beim Betreten einer bestimmten Zone automatisch aktiviert. Durch einen zusätzlich im Mobiltelefon eingebauten digitalen Kompass wird es möglich, die Blickrichtung des Nutzers festzustellen, wie in Japan seit 2007 im Einsatz (Billich 2007). Mit diesen Bezugspunkten ist es möglich, Informationen zum gerade anvisierten Objekt in Echtzeit im Handydisplay darzustellen. Diese ortsbezogenen Anwendungen (mobile Applications; Apps) sind u.a. für Unternehmen interessant, da sie ihnen erlauben, Verbraucher zu Filialen oder Restaurants in der Nähe zu lenken und diese gleichzeitig über ihr Produktangebot zu informieren und ihnen beispielsweise Gutscheine zu übersenden. Dieses so genannte Location Based Advertising (LBA) wurde u.a. in dem Forschungsprojekt „E-LBA“ der Europäischen Union untersucht.<sup>116</sup> Auch die kollaborativen Netzwerke wie Twitter, Facebook oder Foursquare<sup>117</sup> bieten mittlerweile Dienste an, bei denen sich die Nutzer an ihrem aktuellen Standort, wie z.B. einem Restaurant „anmelden“ können. Der Standort wird dann für die Netzwerk-„Freunde“ auf einer Karte sichtbar.

### 2.1.5 Technologien und Konzepte zum Schutz der Privatsphäre

Unter dem Oberbegriff Privacy Enhancing Technologies (PET) werden Technologien und Konzepte zur Herstellung von Anonymität und Unverkettbarkeit sowie auch zum Management persönlicher Daten verstanden:

*[...] an umbrella term for schemes providing various levels of anonymity and unlinkability.“*  
(Hyppönen, Hassinen, Trichina 2008)

beziehungsweise

*“Privacy Enhancing Technologies (PET) are the technical answer to social and legal requirements. PET become constituent for tools to manage users’ personal data. Users can thereby control their individual digital identity, i.e. their individual partial identities in an online world.“* (Hansen, Meissner 2004)

<sup>116</sup> <http://www.e-lba.com/>

<sup>117</sup> Das kann skurrile Formen annehmen: 2010 reiste ein Schüler des Elite-Internats Eton, per Helikopter an den Nordpol, um bei Foursquare das „Last-Degree“-Abzeichen zu ergattern, für den ersten Eintrag am nördlichsten Breitengrad. Es ist bis jetzt seine einzige Aktion in diesem Netzwerk geblieben. Es ging lediglich ‚um die Ehre‘.



Als Grundsätze für die datenschutzfördernde Technikgestaltung können nach Hennig et al. (2004) und Sieker et al. (2005) u.a. folgende Gesichtspunkte betrachtet werden:

- Transparenz,
- Anonymisierung und Pseudonymisierung bis hin zur Unverkettbarkeit (Chaum 1992; Pfitzmann, Pfitzmann, Waidner 1988),
- Datenvermeidung und Datensparsamkeit, d.h. keine zentralen Datenbanken,
- Verschlüsselung
- Systemdatenschutz, d.h. insbesondere technisch eingebauter Datenschutz,
- Selbstdatenschutz, d.h. Befähigung und Unterstützung der Nutzer ihre Datenschutzrechte selbst wahrzunehmen und durchzusetzen, soweit möglich,
- Mehrseitige Sicherheit, d.h. es ist kein oder nur minimales Vertrauen in andere Parteien nötig.
- Kontrollmechanismen zur Überwachung der Effizienz der eingesetzten Technologien und Konzepte und der
- „Privacy by Design“ (PbD).

Der „Privacy by Design“-Ansatz umfasst Technologien und Konzepte, die nicht reaktiven sondern proaktiven Charakter haben. Sinn und Zweck dieser Ansätze ist es nach Cavoukian (2010), dem Nutzer Möglichkeiten an die Hand zu geben, seine Privatsphäre zu schützen, bevor diese angegriffen wird. Unter anderem soll ein PbD-Konzept dem Nutzer ermöglichen, für seine Daten ein Verfallsdatum, d.h. eine Frist zu definieren, nach der die Daten automatisch gelöscht werden. Daneben soll der Zeitraum für das Speichern unterschiedlicher Informationen differenziert, demzufolge datenbezogen vom Nutzer selbst zu gestalten sein (Mayer-Schönberger 2007; Sterbik-Lamina, Peissl, Čas 2009). Dabei wäre ein proaktives Handeln späterem Nachbessern vorzuziehen.

Vor allem im RFID-Bereich existieren bereits zahlreiche nach diesen Grundsätzen gestaltete Technologien wie z.B. „RFID-Zapper“, „Bloggertags“, „Tag-Pseudonyms“ und sog. „Physically Changing Bits“ (Zou 2006; Oertel et al. 2004). Daneben können Technologien auch direkt auf dem PC implementiert werden wie z.B. so genannte Identitätsmanagementsysteme (IMS). Ihre Kernfunktionalität ist die (Un-)Verkettbarkeit von Daten und Teilidentitäten, so dass der Nutzer unbeobachtet von unautorisierten Dritten kommunizieren kann. Der Ansatz der IMS wird schon seit einigen Jahren verfolgt und wurde bereits 2003 in einer von der EU finanzierten und vom Independent Centre für Privacy Protection (ICPP bzw. Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz (ULD) Schleswig-Holstein) durchgeführten Studie untersucht (ICPP 2003). Die Studie setzte sich ausführlich mit technischen, juristischen und soziologischen Problemstellungen auseinander. Bisher konnten sich IMS aber außerhalb der ‚Szene‘ nicht durchsetzen; Gründe für die fehlende Marktdurchdringung wären u.a. zu untersuchen.

Eine weitere Variante der PET stellen Software-Entwicklungen zum anonymen Surfen, wie beispielsweise Tor<sup>118</sup> oder das sog. JonDonym-System, dar. Das JonDonym-System wurde im Rahmen des von 2000 bis 2006 vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekts „AN.ON – Starke Anonymität im Internet“<sup>119</sup> entwickelt. Das Programm ermöglicht es, Webdienste über eine IP-Adresse im „JonDonym-System“ zu besuchen, und den Datenverkehr so zu verschlüsseln. Hierdurch ist nach Aussagen der Entwickler nicht nachverfolgbar, welche Webseiten aufgerufen werden oder zu welchem Server eine Verbindung aufgebaut wird. Zudem beschäftigen sich seit 2010 Passauer Forscher im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes „inSel“ – informationelle Selbstbestimmung in Dienstenetzen – damit, „den Datenverarbeiter als unerwünschten Mitwisser auszuschalten“ (Becker 2010). Beim Prototyp des „inSel“-Projektes hinterlegt der Nutzer seine Daten in einem verschlüsselten Datentresor auf den

<sup>118</sup> <http://www.torproject.org>

<sup>119</sup> <http://anon.inf.tu-dresden.de>

Dritte nur dann Zugriff erhalten, wenn der Nutzer es ausdrücklich gestattet. Der Datenverarbeiter sieht somit nur die verschlüsselten Daten.

Unverzichtbar für den Schutz der Privatsphäre sind darüber hinaus Verschlüsselung mit hinreichend langen Schlüsseln, gute Zufallsgeneratoren und geeignete Algorithmen, sowie Endgeräte, die den Missbrauch privater Informationen, wie Passwörter, verhindern (sichere Endgeräte, Smartcards).

## 2.2 Folgedimensionen

In den folgenden Kapiteln werden potentielle Folgen dargestellt, wie sie in ITA- und Fachkreisen diskutiert werden, also z.B. von Fachleuten aus Ministerien und Parlamenten, Datenschutzorganisationen, Forschern (bspw. Kryptologen und Betriebswirten), Marktanalysten und Unternehmen. Die breite Erfassung von Meinungen und Forschungen dient dazu, möglichst viel Wissen über potentielle, insbesondere nicht-intendierte Folgen zu sammeln.

### 2.2.1 Allgemeines

Sowohl Web 2.0 Dienste, Mobile und Ubiquitous Computing als auch Lokalisierungsdienste sind heute, zum einen in einigen Anwendungsbereichen Realität, zum anderen befinden sie sich teilweise noch im Pilotstadium. Sie haben aber bereits u.a. die Gesellschaft beeinflusst und nach Aussagen von Journalisten, aber auch von Forschern zu neuen Wirtschaftszweigen wie z.B. Data Brokern geführt (ZDF 2010; Čas, Peissl 2010). Experten sind aber der Überzeugung, dass sich die heute noch visionären IT-Szenarien in vielen Anwendungsbereichen in den kommenden Jahren zunehmend durchsetzen werden (Friedewald 2009a). Eine der wichtigsten Herausforderungen könnte dabei sein, die sozialen Werte und Grundrechte wie den Schutz der Privatsphäre oder das selbstbestimmte Handeln nicht zu gefährden.<sup>120</sup>

Welche dynamische Entwicklung in kurzer Zeit möglich ist, und welche Auswirkungen dies auf das wirtschaftliche, gesellschaftliche und politische Leben hat, haben beispielweise die Verbreitung und Anwendung des Internets und des Mobilfunks gezeigt. Aufgrund der Heterogenität der Anwendungsfelder und der Technologien ist eine Vielzahl von Zukunftsvisionen möglich, die sowohl positiv als auch negativ interpretiert werden können. So werden schon seit einigen Jahren Szenarien einer schöneren und besseren Welt (Aarts, Marzano 2003) als auch Szenarien einer totalen Überwachungsgesellschaft (Albrecht, McIntyre 2005) diskutiert.

Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die potentiellen positiven und negativen Auswirkungen von Web 2.0 Diensten, Kommunikationstechniken, Lokalisierungsdiensten sowie der Vision einer allgegenwärtigen Datenverarbeitung gegeben.

Aufgrund der thematischen Einschränkung der Kurzstudie auf den Umgang mit sensiblen, personenbezogenen Daten und den Einfluss der behandelten Technologie-Konzepte auf die informationelle Selbstbestimmung wird in der Diskussion der intendierten und nicht-intendierten Nebenfolgen auf eine Vielzahl von Potentialen und auf einige Folgedimensionen der vorgestellten technologischen Konzepte verzichtet. Beispielsweise entfällt eine Betrachtung ökologischer Aspekte. In den folgenden Kapiteln stehen deswegen Fragen zur informationellen Selbstbestimmung, zum Datenschutz und zur Privatsphäre im Mittelpunkt.

### 2.2.2 Gesellschaftliche/ Soziale Dimension

Besonders die Bedeutung von Web-basierten **Sozialen Netzwerken** (SNS) im Internet ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Die bekanntesten Anbieter Facebook, Xing und MySpace ziehen nach

---

<sup>120</sup> Aussage eines Experten im Rahmen des im November 2009 durchgeführten Experten-Workshops.

eigenen Angaben weltweit jeden Monat jeweils mehr als 100 Millionen Besucher auf ihren Webseiten an und gehören damit zu den am stärksten wachsenden Diensten im Internet (Heidemann 2009; Weiß 2010a). Dienste wie Twitter ermöglichen einen Austausch von Informationen zu jeder Zeit und an jedem Ort. Auch in Unternehmen dienen SNS inzwischen zum Austausch von Informationen und zur Unterstützung von Zusammenarbeit (Koch, Richter, Schlosser 2007; Cyganski, Hass 2008; Smith et al. 2009).

Richter und Koch (2008) konstatierten bei den Social Networking Diensten große Forschungslücken, da ihrer Ansicht nach zum einen die Form von Social Software relativ jung ist und andererseits die Entwicklungsgeschwindigkeit der Dienste enorm schnell. Seither wurde die Problematik jedoch in einigen Veröffentlichungen und Studien aufgegriffen und in Projekten<sup>121</sup> wie u.a. dem von der EU geförderten Projekt „Primelife“<sup>122</sup> untersucht.

Grundsätzlich weisen Experten darauf hin, dass der Nutzer, dessen persönliche Informationen und die mit seinem hinterlegten Profil verbundenen Daten und Verbindungen zu anderen Personen im Fokus Sozialer Netzwerk Anwendungen stehen (Weiß 2010b).

*„When people join social networking sites, they begin by creating a profile, then make connections to existing friends as well as those they meet through the site. A profile is a list of identifying information. It can include your real name, or a pseudonym. It also can include photographs, birthday, hometown, religion, ethnicity, and personal interest. Members connect to others by sending a “friend” message, which must be accepted by the other party in order to establish a link. “Friending” another member gives them access to your profile, adds them to your social network, and vice versa” (Dwyer, Hiltz, Passerini 2007).*

Nach der Ansicht von Experten könnte sich positiv gesehen das Internet so neben der Befriedigung der Kommunikations- und Mitteilungsbedürfnisse zu einer Art ‚Gedächtnis der Alltagskultur‘ entwickeln, da eine Vielzahl an Informationen selbst nach deren Löschen noch jahrzehntelang im Netz abrufbar sind. In der Literatur finden sich aber vielfache Hinweise zu daraus entstehenden Nachteilen, die teilweise auch in der aktuellen politischen und öffentlichen Debatte diskutiert werden (Mayer-Schönberger 2008; ; Sterbik-Lamina, Peissl, Čas 2009): Sind diese Daten erst einmal verfügbar, bleiben sie nahezu unbegrenzt gespeichert und man kann sich (so schnell) nicht mehr von seinen Internet-Identitäten lösen; die Identitäten ‚kleben‘ an den Nutzern. SNS-Nutzern fehlen aber nach Meinung von Experten die technischen und rechtlichen Grundlagen, um ihre personenbezogenen Daten effektiv zu schützen, d.h. sie auf Wunsch z.B. zu korrigieren oder auch dauerhaft zu löschen. Zudem werden nach Überzeugung vieler Datenschützer und Forscher die Gefahren von der Veröffentlichung der eigenen Person oft noch unterschätzt. Schon seit einigen Jahren wird in diesem Kontext diskutiert, dass es eine Diskrepanz zwischen dem Wunsch nach Privatsphäre und dem ‚öffentlichen‘ Verhalten in SNS zu geben scheint (Acquisti 2006; Ismail 2010; Buhl, Müller 2010; Mainusch, Burtchen 2010). S. B. Barnes (2007) nannte dieses Phänomen, das ‚Privacy Paradoxon‘. Auch die Studien „Web 2.0 als Rahmen für Selbstdarstellung und Vernetzung Jugendlicher“ (Sain 2009) und „Chancen und Gefahren von Online Communities“ (Sain 2010) indizieren, dass Jugendliche eher einen ‚pragmatischen‘ Umgang mit dem Faktor Privatsphäre zu haben scheinen. Diese Form des Umgangs mit Daten birgt nach Aussagen von Experten in sich bereits Gefahren für den Schutz der persönlichen Daten (Rannenber, Kahl, Böttcher 2010; Weiß 2010b)<sup>123</sup>. Hierdurch werden Datenschützer nach Holtz (2010) und Bizer (2007) vor ein grundsätzliches Problem gestellt: Die Dichotomie der SNS, ‚Öffent-

<sup>121</sup> Beispielsweise startete am 1. September 2010 das Projekt des Center for Advanced Studies and Research in Information and Communication Technologies & Society der Universität Salzburg zu „Social Networking Seiten in der Überwachungsgesellschaft“.

<sup>122</sup> <http://www.primelife.eu>

<sup>123</sup> In einer der ersten wissenschaftlichen Studien zu SNS und Privatsphäre wurden im Jahr 2005 4.000 Facebook-Profile analysiert und dabei die potentiellen Bedrohungen der Privatsphäre durch eine Rekonstruktion der Sozialversicherungsnummer alleine mithilfe der bei Facebook angegebenen personenbezogenen Daten unterstrichen.

lichkeit' einerseits und ‚Privatheit' andererseits, stellt zwar keinen unmittelbaren Widerspruch zu den Grundprinzipien des Datenschutzes dar, sie macht es aber schwieriger, ein datenschutzkonformes Social Networking zu ermöglichen. Daneben weisen einige Sicherheitsforscher auf Sicherheitsmängel und Schwachstellen, der in SNS implementierten Softwareprogramme hin (Fraunhofer 2008; Weiß 2010b). 2010 veröffentlichte die Europäische Kommission in diesem Zusammenhang die Ergebnisse eines unabhängigen Gutachtens zur Implementierung der „Safer Social Networking Principles for the EU“ (Euro 2010). Im Rahmen des Gutachtens wurde die Umsetzung der Grundsätze für eine sichere Nutzung sozialer Netzwerke durch 20 der größten in Europa operierenden Anbieter überprüft. Ergebnis war, dass lediglich zwei der 20 getesteten Anbieter alle Grundsätze erfüllen. Zudem sind nach einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie (SIT) gesamtheitliche, konsistente und klare Konzepte zum Privatsphärenschutz bei SNS nur begrenzt auszumachen (Fraunhofer 2008). Projekte wie „Privacy and Identity Management for Community Services (PICOS)<sup>124</sup>“ forschen aber derzeit daran, wie Datenschutz und Privatsphäre in SNS verbessert werden und der Umgang mit sensiblen/ personenbezogenen Daten gesellschaftlich konsensuell erfolgen könnte.

Doch nicht nur der Nutzer selbst schafft sich nach Aussagen der Experten seine digitale Identität. Durch die teilweise unwissentliche Verlinkung von Bildern und die Veröffentlichung von Artikeln, Zitaten oder auch Gerüchten, welche durch Suchmaschinen auffindbar sind, gibt der Nutzer seine Identität ein Stück weit in die Hände anderer. Das heißt, er schafft sein digitales Profil nicht selbst, es wird (stärker als in der realen Welt) von anderen Nutzern mitgeschaffen.

Nach Auffassung von Karla (2010) wird durch diese Nutzung der Daten in anderen als für die Entstehung implizierten Zusammenhängen, der Möglichkeit der Fehlinterpretation und des Missbrauchs das Problem der informationellen Selbstbestimmung und des Datenschutzes noch verschärft.

Daneben weisen einige Experten darauf hin, dass neben den bei den SNS von den jeweiligen Nutzern freiwillig zugänglich gemachten und gespeicherten personenbezogenen Daten, im Netz auch Daten von Nutzern gespeichert werden, die dieser nicht wissentlich ins Netz gestellt hat. So werden beispielsweise nach Stern, Böhm und Buchmann (2010) durch die Betreiber von **kollaborativen Suchmaschinen** Recherchegewohnheiten der Nutzer aufgezeichnet, aus denen u.a. Informationen für soziale Profile gewonnen werden können („Social Profiling“). Dabei wird nicht nur die Suche nach einem Online-Lieferservice, dem Kino-Programm o.ä. archiviert, sondern auch die Suche nach einem Kreditinstitut, einer Samenbank oder zu konkreten Krankheitsbildern<sup>125</sup>. Dies gilt aber nicht nur für Einzelpersonen, sondern ebenso für Unternehmen, deren Mitarbeiter möglicherweise unbeabsichtigt wichtige Geschäftsgeheimnisse durch die Eingabe artverwandter Begriffe preisgeben. Alle diese Daten können gesammelt, mit Zusatzdiensten verkettet<sup>126</sup>, ausgewertet und zum Teil verkauft werden. Hierfür stellen IP-Adressen, Session-IDs und Cookies wesentliche Grundlagen dar.

Experten gehen davon aus, dass es Nutzern meistens nicht bewusst ist, dass alle diese personenbezogenen Daten zur Erstellung von umfassenden Persönlichkeitsprofilen (Dritsas, Tsaparas, Gritzalis 2006) verwendet werden (Boyd, Ellison 2007; Buhl, Müller 2010; ENIS 2010a), die nach Čas (2010) inzwischen zu einem Wirtschaftsgut geworden sind und zur Geburt von neuen Werbeformen (personalisierte Werbung mit dynamischer Preisfindung) und zu neuen Wirtschaftszweigen wie Data Brokern oder Reputation Management-Unternehmen. Ein Bericht des Auslandjournals (ZDF 2010) aus dem Jahr 2010 zeigt daneben, dass

<sup>124</sup> Das Projekt PICOS wird seit 2008 für 36 Monate von der Europäischen Union gefördert. Nähere Informationen unter <http://www.picos-project.eu>

<sup>125</sup> Nach Hilty et al. (2003) informieren sich immer mehr Patienten über Krankheiten mit Hilfe des Internets (Suchmaschinen).

<sup>126</sup> Die Verkettung digitaler Identitäten wurde im Zeitraum 11/2006 bis 07/2007 durch das Projekt „Verkettung digitaler Identitäten“, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Innovations- und Technikanalyse (ITA) gefördert wurde, untersucht.

der freie Umgang mit Daten auch zu sozialen Effekten wie „Mobbing im Internet“ und neuen Formen von Kriminalität<sup>127</sup> geführt haben.

Deswegen fordern Studien und Positionspapiere der Europäischen Agentur für Netzwerksicherheit (ENISA, ENISA 2010a; ENISA 2010b; ENISA 2010c) und öffentliche Stellungnahmen der Internationalen Konferenz der Datenschutzbeauftragten<sup>128</sup> neben Programmen zur Erhöhung des Bewusstseins im sensiblen Umgang mit persönlichen Daten, technische Lösungen bezüglich des Datenschutzes von SNS. Die öffentlichen Positionen sind dabei aber meist auf allgemeine Vorschläge und Gedanken zum Verbraucherschutz und des Schutzes Minderjähriger und Jugendlicher beschränkt. Risiken für die Privatsphäre aller Altersgruppen und technische Lösungsvorschläge werden nicht benannt.

Betrachtet man neben den, in Abschnitt 2.1 sehr knapp und beispielhaft beschriebenen, Anwendungsmöglichkeiten, die Vorteile der oben beschriebenen technologischen Konzepte, so ist ihnen allen gemein, dass sie Vorgänge vereinfachen und den Menschen in vielen Bereichen (Wohnen, Arbeit und Wirtschaft, Freizeit, Einkauf, Reisen und Verkehr sowie dem Gesundheitswesen) unterstützen könnten. Außerdem könnten sie die Initialisierung und Vereinfachung automatisierter Abläufe, die Erleichterung von Arbeitsgängen sowie u.a. ein selbstbestimmtes Leben (vgl. dazu Ambient Assisted Living, AAL)<sup>27</sup> ermöglichen.

Bei dem Einsatz von **RFID-Technologien** sollte in vielen Anwendungsbereichen unterschieden werden, ob diese nur für den intendierten Zweck, z.B. im Fall des ePasses zur Identifikation einer Person, verwendet oder auch in nicht-intendierter Weise durch die Verknüpfung mit anderen persönlichen Daten des Kunden z.B. mit Hilfe von Kunden- oder Kreditkarten genutzt werden. Durch derartige Zweckentfremdung ist nach Roßnagel und Müller (2004) eine Erstellung von umfassenden und detaillierten Persönlichkeitsprofilen möglich, die u.a. eine Beurteilung der Persönlichkeit erlauben und damit eine Gefahr für die informationelle Selbstbestimmung darstellen. Ebenso wie bei den oben bereits genannten SNS und Suchmaschinen sowie bei Mobiltelefonen oder anderen Endgeräten, halten es Ray (2008) und Bizer et al. (2006) für bedenkenswert, dass Bürger in der Regel keine Kenntnis von und keine Einflussmöglichkeit auf die im Hintergrund ablaufenden Analysen und Verkettungsprozesse haben.

Beim **Ubiquitous Computing** werden durch die Ausstattung von Produkten, Tieren, Personen und der gesamten Umgebung mit RFID-Chips und/ oder Sensoren Daten erhoben, verarbeitet und genutzt. Dabei führt nach einer Studie im Rahmen des EU-Projektes „Safeguards in a World of Ambient Intelligence (SWAMI)“ die Allgegenwärtigkeit und die ‚vermeintliche‘ Unsichtbarkeit der Technik wie z.B. Auto-Identifikationsnummer, auf Distanz arbeitende Sensoren oder Videokameras zu einer Vervielfachung der erhobenen (digitalen) Daten (Punie et al. 2006) und zu einer vollkommen neuen Qualität des Datenpools. Dadurch, dass immer mehr Prozesse autonom ablaufen, könnte es im Einzelfall jedoch zu Kontrollverlusten kommen und selbstbestimmtes Handeln u.a. erschwert werden. Alltagsgegenstände bekommen quasi einen eigenen Willen und die daraus resultierenden Vorgänge sind für den Nutzer oft intransparent und nicht nachvollziehbar. Diese Tatsache könnte durch die unkontrollierte, unbegrenzte, vom Einzelnen nicht gewollte Erhebung, Speicherung, Übermittlung und Nutzung seiner personenbezogenen Daten im worst-case-Szenario zu einer ‚Potenzierung‘ der eben dargestellten Nebenfolgen und wiederum zu einer Beschädigung des Rechts auf informationelle Selbstbestimmung führen. Eine neue Dimension für den Datenschutz ergibt sich nach Ansicht von Experten durch die Erstellung individueller Personenprofile, die automatisierte Rückschlüsse durch Verkettung von Sensordaten und nicht personenbezogenen und öffentlich zugänglichen, statistischen Daten, zulassen. Ein Beispiel dafür stellen Datamining-Systeme dar, mithilfe

---

<sup>127</sup> In England wurde eine 17-Jährige ermordet, nachdem sie sich mit einer vermeintlich 16-Jährigen Facebook-Bekanntschaft getroffen hatte. Hinter dem Profil des 16-Jährigen versteckte sich in Wirklichkeit ein 32-Jähriger Sexualtäter (ZDF 2010).

<sup>128</sup> vgl. dazu Pressemitteilungen unter <http://www.datenschutz-berlin.de/content/nachrichten/pressemitteilungen>

derer komplexe Profile erstellbar sind (Bizer et al. 2006; Friedewald, Lindner 2008; Hildebrandt, Gutwirth 2008; Friedewald et al. 2009b).

In diesem Zusammenhang ist eine gesellschaftliche Diskussion über die Herausforderungen und Anforderungen aller hier angeführten technologischen Konzepte bezüglich des Datenschutzes zu erwarten, die wissenschaftlich begleitet und gefördert werden könnte. Darüber hinaus sollte nach Meinung der European Network and Information Security Agency (ENISA) untersucht werden, ob Menschen jeden Alters ein zweckmäßigeres Datenschutzbewusstsein<sup>129</sup> vermittelt werden müsste und ihnen Technologien zum Schutz der Privatsphäre (Privacy Enhancing Technologies) an die Hand gegeben werden sollten, um ihnen damit die Kontrolle und die Verfügungsmacht über die eigenen Daten zurückzugeben. Ein schnelles Handeln aller Akteure, vor allem aber des Staates könnte nach Angaben von Experten angeraten sein, bevor die Auswirkungen auf das Grundrecht zur Wahrung der Privatsphäre nicht mehr reversibel sind<sup>130</sup>.

### 2.2.3 Folgen von Lokalisierungsdiensten

**Mobile Web 2.0-Angebote** und (standortbasierte) Lokalisierungsdienste (**Location Based Services**), die mithilfe positionsabhängiger Daten die reale und virtuelle Welt verbinden, ermöglichen neben den in Abschnitt 2.1.4 beschriebenen standortbasierten Dienstleistungen auch die Lokalisierung von Freunden, von Unfallopfern oder Arbeitnehmern durch Ortung des Mobiltelefons oder eines RFID-Chips in der Kleidung. In einer Studie der TA-SWISS wird daneben auch noch der Aspekt der Verbrechensbekämpfung angesprochen (Hilty et al. 2003), so könnten z.B. ‚entführbare‘ Personen oder auf Bewährung freigelassene Sträflinge geortet werden (COMM 2009; Hickman et al. 2010). Zwar sind LBS, die beispielsweise auf dem GPS-System beruhen, für viele Anwendungen noch zu groß, zu teuer, zu ungenau und nicht energieeffizient, dennoch erzielt man bei allen vier Parametern kontinuierliche Fortschritte. So steigt der Anteil der verkauften GPS-fähigen Mobiltelefone rapide an<sup>131</sup> und ermöglicht eine immer größere Reichweite der LBS. Je genauer und einfacher der Ort eines kleinen, preiswerten Gerätes ermittelt werden kann, umso zahlreicher und vielfältiger können die denkbaren Anwendungen sein. Dadurch könnten nach Aussagen von Mattern (2005) jedoch auch die Missbrauchsgefahren und die potentiellen Eingriffsmöglichkeiten in die lokale Privatsphäre („location privacy“) wachsen.

Neben der besseren Verfügbarkeit und den von Nutzern positiv wahrgenommenen neuen Anwendungsmöglichkeiten der LBS sollten nach Ansicht von Datenschützern aber die Möglichkeiten, immer zu wissen, an welchem Ort sich Bekannte, Freunde und Mitarbeiter aufhalten, mit großer Skepsis betrachtet werden. Beispiele dafür wären die Überwachung von Kindern oder Ehepartnern, die schnell in eine Kontrolle von Menschen umschlagen könnte (Stichworte: Human- und Handy-Tracking). In diesem Kontext wären diese nicht-intendierten Auswirkungen zu untersuchen und ein sinnvoller Umgang mit „Tracking- und Tracing“-Anwendungen zu erarbeiten. Neben der Ortung von Personen können Lokalisierungsdienste auch für orts- und personenbezogene Werbemaßnahmen und Dienstleistungen (vgl. Kapitel 2.1.4.) verwendet werden. Die Artikel-29-Datenschutzgruppe veröffentlichte diesbezüglich im Juni 2010 eine „Opinion“ zum Thema „online behavioural advertising“ (Art 2010). Diese Dienste werden zusätzlich noch durch mobile Applikationen (Apps) unterstützt, die Unternehmen erlauben, Verbraucher zu Filialen in der Nähe zu lenken, und diese gleichzeitig über ihr Produktangebot zu informieren.

In Kombination könnten die im Abschnitt 2.1 genannten Technologien und Konzepte die Möglichkeit bieten neben dem Verbrauchs- und Interessenprofil noch zusätzlich ein Bewegungsprofil d.h. ein komplettes

<sup>129</sup> Oft auch unter dem Begriff „internet literacy“ zu finden.

<sup>130</sup> Aussagen im Rahmen des im November 2009 durchgeführten Experten-Workshops.

<sup>131</sup> Schon heute haben über 50% der neu ausgelieferten Handys einen GPS-Sender integriert, dieser Anteil soll bis Ende 2011 auf ca. 80% ansteigen. Näheres unter <http://www.isuppli.com/Mobile-and-Wireless-Communications/News/Pages/Four-out-of-Five-Cell-Phones-to-Integrate-GPS-by-End-of-2011.aspx>

Persönlichkeits- oder Lebensprofil einzelner Personen zu erstellen. Im Zusammenhang mit den Datensammlungen wird deswegen von Dobson und Fisher (2003) sogar angemahnt, dass diese zu einer Machtkonzentration und neuen Formen von Sklaverei („Geoslavery“) führen könnten. Hennig, Ladkin und Sieker (2004) und Sieker und Ladkin (2005) formulieren es so: „Denn wer auch immer Zugang zu deren Daten hat, hat Macht über die Bürger“. Daneben sehen Experten in den zunehmenden Überwachungsmöglichkeiten auch die Gefahr eines wachsenden Misstrauens zwischen Menschen, wobei es nach ihrer Auffassung von spezieller Bedeutung ist, ob z.B. ein RFID-Implantat freiwillig getragen wird oder unter Zwang eingesetzt wurde (Anderson, Labay 2006; Lieshout, Kool 2008). Befürworter gehen dagegen davon aus, dass datenschutzrechtliche Bedenken für Verbraucher dann in den Hintergrund treten, wenn sie einen Nutzen z.B. von den LBS erhalten („Nutzen-Kosten-Kalkül „) (Kölmel, Hubschneider 2003)<sup>132</sup>.

Datenschutzorientierte Experten sind der Überzeugung, dass die Möglichkeiten, die sich durch die allgegenwärtige und oft (nahezu) unsichtbare Überwachung und Lokalisierung ergeben, gravierend in das komplexe Gleichgewicht von Freiheit und Schutz einerseits, Überwachung und Privatsphäre andererseits eingreifen. Laut Mattern (2005) kommt gerade der „location privacy“ bezüglich des Schutzes der Privatsphäre eine besondere Bedeutung zu. Die European Network and Information Security Agency (ENISA) vertritt dabei den Standpunkt, dass, wenn persönliche Dinge ‚wissen‘, wo sie sind, oder gespeichert haben, wo sie waren, es ein Leichtes ist, auf den Aufenthaltsort und die Wege einer Person, Rückschlüsse zu ziehen und diese zu überwachen (ENISA 2010b)<sup>133</sup>.

Die Rolle des ‚großen Bruders‘<sup>134</sup> können dabei sowohl in- und ausländische Regierungen und Geheimdienste spielen, wie auch große Unternehmen. Dabei wäre z.B. an einen möglichen Zugriff auf Server US-amerikanischer Cloud-Computing-Provider zu denken. Durch das Verketteten und Verlinken der einzelnen, von den verschiedensten Technologien ermittelten, gesammelten, aufgezeichneten oder gespeicherten Informationen, lassen sich Bewegungs-, Verbrauchs- und damit auch Interessenprofile ableiten, die z.B. als Grundlage für eine gezielte, d.h. auf den Einzelnen zugeschnittene Werbung (personalisierte Werbung), fungieren. Kühlen (2004) u.A. haben im Zusammenhang mit personalisierter Werbung, personalisierten Dienstleistungen und E-Commerce einen Trend festgestellt, der die Privatsphäre nicht mehr als absolute Voraussetzung für ein selbstbestimmtes Leben betrachtet. Vielmehr scheint sie nach Meinung von Klüver et al. (2006) zu einem Verhandlungsgegenstand und einem in Teilen aufgebbaaren Gut zu werden, wenn daraus genügend materielle Anreize oder mehr Komfort resultieren.

## 2.2.4 Umgang mit personenbezogenen Daten im Gesundheitswesen

Digitale Patientendaten, wie sie z.B. in digitalen Patientenakten oder auf der elektronische Gesundheitskarte (eGK) gespeichert sind, stellen aus der Sicht von einigen Experten bei nicht-intendierter Nutzung eine Gefahr für die informationelle Selbstbestimmung der Betroffenen dar (Borchers 2008; Čas 2008; Dix 2009). Derart erfasste Daten in Kombination mit als riskant oder ungesund identifizierten Lebensgewohnheiten sind u.a. für die Erstellung von Risikoprofilen durch Versicherungsgesellschaften von größtem Interesse. Bei einem Lebensstil, der von der Versicherung als riskant klassifiziert wird, würde dann bei-

<sup>132</sup> Im Rahmen des von der Europäischen Kommission geförderten Forschungsprojektes ELBA (European Location Based Advertising) wurden die Erwartungen, Anforderungen, Hemmschwellen und Barrieren potentieller Nutzer von LBS identifiziert. Für weitere Informationen siehe [www.e-lba.com](http://www.e-lba.com)

<sup>133</sup> In diesem Kontext wurde vor kurzem sehr kontrovers der Patentantrag zu „Systeme und Verfahren zum Identifizieren nicht-autorisierter Nutzer eines elektronisches Geräts“ ([www.pat2pdf.org/patents/pat20100207721.pdf](http://www.pat2pdf.org/patents/pat20100207721.pdf)) von Apple diskutiert. In der Presse als „Spy-Phone“ bezeichnet, soll zukünftig eine Software, z.B. anhand von Mitschnitten der Stimme, einer Protokollierung des Herzschlages und der Aufnahme eines Fotos, feststellen, ob das Gerät noch von seinem Eigentümer oder evtl. von einem Dieb benutzt wird.

<sup>134</sup> Bezieht sich auf den großen Bruder („Big Brother“) aus dem Roman „1984“ von George Orwell, den vermeintlichen Diktator des fiktiven, totalitären Staates „Ozeanien“, der seine Bürger überwacht und bei Fehlverhalten unterdrückt und foltert bzw. sogar tötet.

spielsweise ein höherer Versicherungsbeitrag fällig. Des Weiteren ist nach Beckwith (2003) und Bick, Kummer und Rössig (2008) zu bedenken, dass sich viele der erhobenen Daten auch für Sekundärzwecke nutzen lassen; dies schließt natürlich auch sinnvolle Nutzungen, wie die Nutzung für Forschungszwecke, ein.

Grundsätzlich muss nach Expertenaussagen berücksichtigt werden, dass sensible, personenbezogene Patientendaten dezentral auf Servern, medizinischen Geräten oder auf persönlichen Endgeräten gespeichert werden. Da teilweise ein Austausch der Daten erforderlich ist, müssen die Speicherorte sowie die (drahtlosen) Übertragungswege gegen unbefugten Zugriff oder unbeabsichtigte Weitergabe an z.B. Besucher oder Mitpatienten, abgesichert sein. Unverschlüsselter Transport führte bereits zu Datendiebstahl wie in Großbritannien (Friedewald et al. 2009b, S. 95).

In diesem Bereich sollte analog zur eGK ein effektiver und autorisierter Zugriff auf die Patientendaten sichergestellt werden. Dies könnte z.B. über eine doppelte Autorisierung durch den Versicherten und den Zugriffsberechtigten erfolgen. Neben den grundsätzlichen datenschutzrechtlichen Bedenken bezüglich der Speicherung und Übermittlung von Patientendaten, sprechen sich manche Datenschützer dennoch für eine Einführung der elektronischen Gesundheitskarte aus. Nach Ansicht des Datenschutzbeauftragten des Landes Schleswig-Holstein Thilo Weichert (2009) könnte somit evtl. auch dem aktuellen laxen Umgang mit Patientendaten beizukommen sein. Daneben sehen manche Experten die eGK geradezu als „Modellvorhaben“, das die „Anforderungen des informationellen Selbstbestimmungsrechts vorbildlich umsetze“ (Gundermann 2008). Inwiefern diese Aussage stimmt oder ob die datenschutzrechtlichen Bedenken angebracht sind, wäre zu überprüfen. J. Čas (2008) empfiehlt deshalb beispielsweise, stets streng zu evaluieren, ob das „doppelte Heilsversprechen“, der besseren medizinischen Versorgung bei gleichzeitig geringeren Kosten tatsächlich erfüllt wird, und damit etwaige Einschränkungen des Datenschutzes überhaupt zu rechtfertigen wären.

### 2.2.5 Technische Dimension

Um potentiellen Gefahren für die informationelle Selbstbestimmung genauso entgegenwirken zu können wie der potentiell allgegenwärtigen Überwachung, sollten nach Auffassung von Sicherheitsforschern und Datenschützern einige technisch-konzeptionelle Maßnahmen entwickelt werden, die durch rechtliche Rahmenbedingungen durchgesetzt werden könnten.

Das würde grundsätzlich die Schaffung von Wahlmöglichkeiten und Technologien, die z.B. eine Pseudo- oder Anonymisierung, Unverkettbarkeit und eine Verschlüsselung der Daten sicherstellen, umfassen. Daneben müsste nach Meinung von einigen Experten die Verwendung von Daten transparent gestaltet werden (Bizer et al. 2006; ETAG 2007; Weiß 2008) und ein vom Bürger einfach zu bedienender und kontrollierbarer, sicherer Schutz der Privatsphäre realisiert werden (u.a. PET, PIA, PPSSI, Nutzergesteuertes Identitätsmanagementsystem (ENIS 2010b) und Qualitätssicherung). Bedingung hierfür könnte das Kennzeichnen von Geräten und Systemen sein, die potentiell zur Überwachung eingesetzt werden können und mit denen der Nutzer in Berührung kommt. 2007 hat die Europäische Kommission dies bereits für RFID-Transponder empfohlen (Euro 2007). Daneben werden schon seit längerem eine Reihe von Lösungsansätzen wie die Zerstörung oder die zeitweise Deaktivierung von RFID-Transpondern („Schlafmodus“) diskutiert (Henning, Ladkin, Sieker 2004; Sieker, Ladkin, Henning 2005). Zudem wird über eine standardmäßige Off-Funktion nachgedacht, die für die gewünschte Benutzung einer expliziten Bestätigung bedarf (Klüver et al. 2006).

In der aktuellen Debatte wird neben vielen anderen Konzepten diskutiert, dass es dem Nutzer ermöglicht werden sollte, für seine Daten ein Verfallsdatum, d.h. eine Frist zu definieren, nach der die Daten automatisch gelöscht werden bzw. dem Nutzer ein Recht einzuräumen, jederzeit auf seine Daten zugreifen und sie



auch löschen zu können (Redi 2010). Daneben müsste der Zeitraum für das Speichern unterschiedlicher Informationen differenziert werden, demzufolge, datenbezogen vom Nutzer selbst zu gestalten sein (Mayer-Schönberger 2007; Sterbik-Lamina, Peissl, Čas 2009; de Maizière 2010).

Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projekts „PRISE“ Kriterien für die Entwicklung, Implementierung und Nutzung von Privacy Enhancing Technologies erarbeitet (Raguse et al. 2008). Seit 2009 analysiert außerdem das Projekt „Privacy reloaded“ des österreichischen Instituts für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) sowohl moderne Konzepte des technischen Datenschutzes unter dem Stichwort „Privacy by Design“ als auch neuere Ansätze von (Selbst-)Regulierungsmechanismen und beobachtet ihre Einführung.<sup>135</sup>

## 2.2.6 Ökonomische Dimension

Informationen gelten als wichtige Ressource unserer Zeit und sind inzwischen zu einem Wirtschaftsgut geworden. Kundendaten einen konkreten Wert zuzuschreiben, ist jedoch sehr schwierig, da man zumeist auf Schätzungen angewiesen ist (Čas 2010).

Was Daten heutzutage für einen Wert besitzen können, sieht man auch an der Firma „DoubleClick“, einen der größten Anbieter für Online-Marketing-Lösungen, der 2007 für 3,1 Milliarden USD von Google übernommen wurde. DoubleClick hat seit Firmengründung rund 120 Millionen Profile erstellt. Durch den Kauf einer amerikanischen Direktmarketing Agentur von Google konnten innerhalb kürzester Zeit einige hunderttausend bis dahin anonyme Internetnutzer identifiziert werden (Čas 2010).

Daneben wird von Marktanalysten auch SNS ein großes Marktpotential zugeschrieben: „Social network advertising is getting renewed attention in 2010“ (Williamson 2010). Die Marktforscher von eMarketer prognostizieren für 2011 weltweite Ausgaben für Werbung in sozialen Netzwerken von 4,3 Milliarden USD (Prognose 2010: 3,3 Milliarden USD). Im Jahr 2010 erhält nach Aussagen von eMarketer Facebook alleine 1,3 Milliarden USD von Werbeunternehmen. Dies entspricht der Hälfte aller Erlöse aus Werbeeinnahmen in den USA und 39 % der weltweiten Werbegelder für soziale Netze. Dagegen verliert nach Prognosen von eMarketer MySpace an Wichtigkeit: 297 Millionen USD in 2010; 2009 waren es noch 347 Millionen USD. Twitter steigt erst 2010 ins Werbegeschäft ein, wobei rd. 50 Millionen USD Werbeeinnahmen prognostiziert werden, allerdings mit großem Potential für die nächsten Jahre (Williamson 2010).

Auch bestimmte RFID-Anwendungsbereiche wie z.B. Ticketing und ÖPNV verzeichnen heute bereits sehr gut Zuwächse. Die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie in Auftrag gegebene Studie „RFID: Potentiale für Deutschland“ betont, dass RFID kurzfristig zwar eine Rationalisierungstechnologie darstellt, mittel- und langfristig den Anwendern jedoch das Angebot neuer Produkte und Dienstleistungen erlaube (VDI 2007). Damit trage sie „nachhaltig zur Stärkung der Innovationskraft deutscher Unternehmen bei“. Nach Ansicht von Fransen (2010) hingegen kann flächendeckend für Deutschland nicht von immensen Steigerungsraten gesprochen werden. Der Marktanalyst IDTechEx prognostiziert dem ungeachtet, dass sich bis 2019 der RFID-Markt von geschätzten 5,56 Milliarden USD in 2010 auf 27,59 Milliarden USD nahezu verfünffachen wird. Laut Aussagen der Marktanalysten werden in immer mehr Unternehmen und öffentlichen Verwaltungen funkgesteuerte Etiketten für das Identifizieren oder Lokalisieren von Gegenständen eingesetzt, so z.B. in 2010 rund 800 Millionen RFID-Label allein im Bekleidungssektor (Williamson 2010).

*„However, the biggest spenders are still governments, who are able to implement large RFID schemes such as animal tagging, transit ticketing, people identification etc.“ (Das, Harrop 2010).*

---

<sup>135</sup> Für weitere Informationen, <http://www.oeaw.ac.at/ita/> und aktuelle Projekte.

Dies lässt darauf schließen, dass diverse Techniken des Ubiquitous Computing mittel- und langfristig von großer wirtschaftlicher Bedeutung sein könnten und zu grundlegenden Veränderungen in Geschäftsprozessen führen könnten, da zusätzliche Services und neue Geschäftsmodelle möglich würden. Beispielsweise könnten durch das Ermitteln der tatsächlichen Nutzung von Gegenständen und Weitermeldung an Unternehmen neue Abrechnungs- und Leasingmodelle geschaffen werden (Fleisch, Christ, Dierkes 2005). Marktanalysten von Juniper Research prognostizieren in einem aktuellen Report:

*„[...] revenues from mobile location-based services are expected to reach more than \$12.7 billion by 2014“* (Juniper 2010).

Sogar 21,14 Milliarden USD in 2015 erwarten dagegen die Analysten von Global Industry Analysts Inc. für die LBS-Branche (Glob 2010). Während der LBS-Markt bisher keine spektakulären Zuwächse verzeichnen konnte<sup>136</sup>, gehen die Analysten davon aus, dass

*„the increasing availability of GPS handsets and applications (particularly Android and iPhone applications) will help accelerate adoption for LBS across the world. We are forecasting a total addressable global market for GPS navigation and location based mobile services to rise by a CAGR of 51.3 % to \$13.4 billion in 2014, from \$1.6 billion in 2009. [...] Location Enabled Search and Advertising will see the biggest growth, growing at a CAGR of 131% over the next five years Location Enabled Search and Advertising will replace Voice-guided In-Car Navigation as the main use for GPS-LBS applications in the next several years.“* (IEMR 2010).

Die verstärkte Nutzung von Apps wird diesen Trend antreiben. Laut einer Studie von Gartner Inc., wird die Zahl der Apps von 4,5 Milliarden in 2010 auf 21,6 Milliarden Downloads in 2012 mit einem Umsatz von 29,5 Milliarden USD weltweit, ansteigen (Baghdassarian, Milanesi 2009). Dabei sind dann den Erwartungen zufolge 87 % aller Apps kostenlos, da sich der Großteil der Applikation durch innerhalb der Apps geschaltete Werbung für die Unternehmen rechnen wird.

Im Bereich der Wearables hat sich nach Aussagen von Linz vom Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) „Deutschland längst an die Spitze gesetzt“. Hierbei handle es sich nach einem Artikel des Handelsblatts vom Februar 2008 um einen stark wachsenden Markt (Toprak, Kutter 2008).

## 2.2.7 Politische Dimension

Auch wenn bereits einige rechtliche Rahmenbedingungen wie z.B. das Bundesdatenschutzgesetz (BDSG), die Datenschutzgesetze der Länder, die Datenschutzdirektive 95/46/EG, Art. 29 und 30 §1a, 3, die Datenschutzrichtlinie für elektronische Kommunikation 2002/58/EG, Art. 15 §3, Artikel 255 EC Treaty, die Verordnungen 45/2001/EG und 1049/2001/EG, der Beschluss Nr. 1247/2002/EG des Europäischen Parlaments sowie die Regulation (EC) No 1049/2001 u.a. existieren, die im Zusammenhang mit informationeller Selbstbestimmung, Datenschutz und Privatsphäre anwendbar sind, sind dennoch nach Aussage von manchen Experten bei der Anwendung aller in der vorliegenden Kurzstudie behandelten technischen Konzepte weitere klar definierte rechtliche Regelungen<sup>137</sup> in einem vorausschauenden Rechtssystem notwendig (Stolfo, Tsudik 2010):

*„What is also needed is a clearly defined policy that governs how entities use, store, and transmit personal data, as well as who is permitted to access it.“*

---

<sup>136</sup> Japan ist hier eine Ausnahme, da LBS-Systeme in einem Land ohne Straßennamen sehr nützlich sind, vgl. <http://www.navitime.co.jp/en/>.

<sup>137</sup> Auf eine vollständige Diskussion des aktuellen Daten- und Verbraucherschutzes wird im Rahmen der Studie verzichtet.

Zukünftig wäre demnach zu untersuchen, welche „weiteren klar definierten Regelungen“ erforderlich sind und ob eine Reform des Datenschutzrechts auf europäischer Ebene in Richtung eines „codex digitalis“ anzustreben ist. In der Studie „Policy options for Radio Frequency Identification (RFID) application in healthcare; a prospective view“ finden sich bereits einige Vorschläge für rechtliche Rahmenbedingungen beispielsweise im Gesundheitsbereich (van Oranje-Nassau, Schindler, Botterman 2009). Darüber hinaus votiert der EU-Datenschutzbeauftragte Hustinx dafür, neue Rechtsinstrumente zu erlassen (Heise 2010)<sup>138</sup>. Aber auch internationale Regelungen könnten im Rahmen der Globalisierung und der unterschiedlichen landesspezifischen Datenschutzgesetze anzustreben sein, da es teilweise zur Zeit nicht möglich ist, rechtlich gegen Anbieter von Web 2.0-Diensten vorzugehen<sup>139</sup>, da diese im Ausland sitzen. Diese Globalisierung durch das zunehmende Outsourcen von Datentransfer-Prozessen meist außerhalb der EU und eine notwendige Verbesserung des internationalen Datentransfers wird bereits u.a. in der geplanten Novellierung der Datenschutzdirektive 95/46/EG adressiert (Euro 2010). Die Notwendigkeit einer internationalen Vereinbarung von Normen wird auch in einer Studie des TAB erwähnt (Friedewald et al. 2009a). Darüber hinaus wären auch die „National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace“ (DHS 2010) sowie die Aktivitäten von Microsoft, die nach den „Laws of Identity“ eine Verwendung von Pseudonymen und „minimal disclosure“ vorsehen (Cameron 2009), zu berücksichtigen.

Einen bereits konkreten Fortschritt im Bereich der Privacy by Design stellt das im April 2011 von der EU-Kommission und Vertretern von Wirtschaft und Verwaltung gemeinsam verabschiedete „Privacy and Data Protection Impact Assessment Framework for RFID Applications“ dar (Frame 2011). Die zur Datenschutzfolgeabschätzung (Privacy Impact Assessment, PIA) im Vorfeld der Markteinführung sich selbst verpflichtenden Betreiber von RFID-Anwendungen finden darin konkrete Richtlinien, wie der Prozess einer Datenschutzfolgeabschätzung verlaufen muss, welche Risiken überprüft und welche möglichen Gegenmaßnahmen ergriffen werden müssen. Die Ergebnisse der Datenschutzfolgeabschätzung werden in einem standardisierten PIA-Report festgehalten. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat mit den „Technischen Richtlinien für die Radio-Frequency-Identification-Technologie“ (BSI TR-03126, „Sicherer RFID-Einsatz“) anwendungsspezifische Erweiterungen (templates) des PIA-frameworks erstellt.<sup>140</sup> Templates sind als zusätzliche Instrumente im PIA-framework ausdrücklich vorgesehen und betreffen spezifizierte Richtlinien für verschiedene Einsatzgebiete von RFID-Anwendungen wie z.B. eTicketing im öffentlichen Personenverkehr, Handelslogistik oder den elektronischen Mitarbeiterausweis. Mithilfe von Datenschutzfolgeabschätzungen dieser Art verpflichten sich Betreiber von RFID-Anwendungen zu einer Analyse ihres Produktes und der Suche nach Verbesserungen des Datenschutzes im Vorfeld der Markteinführung. Durch einen Gewinn an Transparenz in diesem Bereich könnte die Akzeptanz der RFID-Technologie gesteigert werden.

Eine andere Art von Maßnahmen bestehen aus Awareness- und Bildungsaktivitäten, wie z.B. schahin.info und dubestemmer.no/en.

Ein Ziel der gesetzlichen Neuerungen könnte zudem sein, dass der Nutzer Eigentümer seiner Daten bleibt und die alleinige Kontrolle über die Datennutzung besitzt. Ob das sinnvoll ist, und wie das umzusetzen wäre, müsste aber erst noch untersucht werden. Die Änderung der automatischen Übertragung sämtlicher Urheberrechte zu einer Datenverwendung dürfte nach Buhl und Müller (2010) nur nach einer ausdrücklichen Einwilligung durch den Benutzer erfolgen, wie das bei Facebook bereits der Fall ist.

---

<sup>138</sup> Siehe z.B. Stellungnahme unter [http://www.edps.europa.eu/EDPSWEB/webdav/site/mySite/shared/Documents/EDPS/PressNews/Press/2010/EDPS-2010-12\\_IMI\\_DE.pdf](http://www.edps.europa.eu/EDPSWEB/webdav/site/mySite/shared/Documents/EDPS/PressNews/Press/2010/EDPS-2010-12_IMI_DE.pdf)

<sup>139</sup> Aussage von Peter Schaar, dem Bundesbeauftragten für Datenschutz und Informationsfreiheit (BfDI) in der Sendung „Kerner“ vom 12. August 2010.

<sup>140</sup> [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ElektronischeAusweise/RadioFrequencyIdentification/TR\\_RFID/trfid\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ElektronischeAusweise/RadioFrequencyIdentification/TR_RFID/trfid_node.html)



### 3 Offene Fragen

Die technischen Entwicklungen im Bereich der Web 2.0 Dienste, der Kommunikationstechnik sowie auch der in den Markt dringenden Lokalisierungsdienste erfreuen sich großer Beliebtheit bei den Nutzern. Die technischen Möglichkeiten werden oft als vorteilhaft und wünschenswert wahrgenommen. Dabei gibt es wenige Anzeichen dafür, dass die Nutzer die negativen Aspekte, welche vor allem seit Anfang 2010 verstärkt in den Medien diskutiert wurden, so einschätzen, dass sie ihr Verhalten ändern. Das mag zum einen damit zusammenhängen, dass es eben eine notwendige Bedingung ist, Informationen über sich als Nutzer freizugeben, um den Nutzen oben genannter Technologien realisieren zu können. Zum anderen könnte es daran liegen, dass die meisten Nutzer die potentiellen Gefahren, die in den doch zahlreich erschienen Veröffentlichungen zu diesem Thema genannt wurden, für sich individuell anders bewerten, als die Autoren dieser Publikationen. Diese sehen insbesondere potentielle Gefahren für den Datenschutz, die Privatsphäre und die informationelle Selbstbestimmung.

Nimmt man diese Diskrepanz zwischen der von ITA-Experten, Datenschützern und auch verschiedenen Technikexperten konstatierten neuen Qualität der potentiellen Gefahren und dem faktisch beobachteten Verhalten der Nutzer ernst, so sollte genau diese Diskrepanz die Fragestellung einer empirisch fundierten Technikfolgenabschätzung werden. So wäre zu prüfen, ob die Sensibilität gegenüber den neuen Medien und den modernen Technologien in Bezug auf die Gefahren für die Privatsphäre der Individuen durch eine allgegenwärtige Bereitschaft zu privaten Bekenntnissen gesunken ist. Um die Sicht der Nutzer stärker in die Forschung mit einzubeziehen, veranstaltet z.B. das Zentrum für Technikfolgenabschätzung in Bern (Schweiz, TA SWISS) im November 2010 eine Podiumsdiskussion mit Bürgern, Politikern, Personen aus Verwaltung und Privatwirtschaft sowie Datenschutzespezialisten<sup>141</sup>. Trotz dieses ersten Ansatzes, den Nutzer in den Mittelpunkt von ITA zu stellen, bleibt die Einstellung der Nutzer zu Privatheit und informationeller Selbstbestimmung bei den neuen Diensten und dem globalen Datenaustausch immer noch unklar, so dass die Einstellung der Nutzer zu unterschiedlichen Anwendungszusammenhängen weiter zu analysieren ist.

Da die oben genannten Studien häufig davon ausgehen, es wäre ein mangelndes Wissen seitens der Nutzer zu vermuten, welches zu vergleichsweise sorglosem Umgang mit den Informationstechniken verleite, sollten den Nutzern (beispielsweise von Facebook oder „Wer kennt wen“<sup>142</sup>) zunächst Fragen zu folgenden Themen gestellt werden, um dieser Vermutung nachzugehen:

Welche Kenntnisse haben die Nutzer darüber, für wen Daten sichtbar und zugreifbar sind und wo und wie lange Daten gespeichert werden? Was wissen die Nutzer darüber, zu ermitteln, wer auf ihre Daten zugegriffen hat und in welcher Weise diese Daten weiterverwendet wurden? Ist ihnen bewusst, wem die Daten, die sie ins Netz stellen, gehören (Rannenberg, Kahl, Böttcher 2009)? Ist ihnen bewusst, wem die aus ihren Suchanfragen generierten Datenprofile gehören? Was wissen die Nutzer darüber, ob und wenn ja, wie sie ihre Daten dauerhaft schützen bzw. auch löschen können? Was würden die Nutzer von einer Art „Verfallsdatum oder „digitalem Radiergummi“ halten?

Auf der Basis der Ergebnisse derartiger Interviews könnte die Bereitschaft erhoben werden, welchen technischen, ökonomischen und zeitlichen Aufwand die Nutzer als akzeptabel empfinden, um durch technische Lösungen ihre Privatheit besser zu schützen. Dabei muss immer unterstellt werden, dass durch diese Verfahren auch der maximale Nutzen dieser Informationsdienste vermindert wird. In welchem Ausmaß dieses der Fall ist, müsste zunächst für die verschiedenen technischen Lösungsansätze beurteilt werden. Grund-

---

<sup>141</sup> Nähere Informationen unter [http://www.ta-swiss.ch/d/them\\_info\\_web2.0.html](http://www.ta-swiss.ch/d/them_info_web2.0.html)

<sup>142</sup> <http://www.wer-kennt-wen.de>

sätzlich wäre somit u.a. **die Nutzerakzeptanz bei technischen und regulatorischen Mechanismen zur Erhöhung des Schutzes der Privatsphäre** abzuklären.

Die Analyse technischer Lösungsansätze wie z.B. Privacy Enhancing Technologies (PETs) wäre in Erwägung zu ziehen, um deren Potential zur Abwehr unerwünschter Zugriffe auf und Verkettung von personenbezogenen Daten bestimmen zu können. Wichtige Ansatzpunkte könnten hier auch das Umsetzungs- und Lösungspotential von Anonymisierungs-, Pseudonymisierungs- und Verschlüsselungstechnologien sein. Der Einsatz dieser Maßnahmen sollte auf deren Angreifbarkeit durch z.B. sog. De-Anonymisierungstools untersucht werden. Darüber hinaus sollte grundsätzlich evaluiert werden, was für Erfahrungen es mit Verschlüsselungs- und Anonymisierungsdiensten etc. (PET) bereits gibt und wo es sinnvoll wäre, sie einzusetzen. Grundsätzlich wäre beim Einsatz aller Technologien über eine Standardeinstellung und Maßnahmen à la „Schutz der Privatsphäre“ nachzudenken. Zudem könnten zusätzliche „Privacy by Design“-Lösungen angedacht werden (vgl. Borcea-Pfitzmann, Pfitzmann, Berg 2011). Die Option einer Datenminimierung, sowohl bei der Erhebung als auch bei der Speicherung, könnte ebenso relevant sein.

Auf der Basis dieser Erhebung könnte diskursiv ein wünschenswerter ‚Grad‘ des Datenschutzes und der informationellen Selbstbestimmung erhoben werden, der einem Schutzniveau, welches in verschiedenen Studien beschrieben wurde, gegenübergestellt werden könnte.

Gemeinhin konstatieren die Studien, dass neben der Möglichkeit des Wissensaustauschs, der Kommunikation unter Freunden und anderem, soziale Netzwerke nach Ansicht von Datenschützern und Sicherheitsforschern potentiell erhebliche Gefahren für den Datenschutz und die informationelle Selbstbestimmung bergen. Diesbezüglich wäre in speziellen ITA-Studien u.a. zu klären, welche technischen und rechtlichen Anforderungen Netzwerke erfüllen bzw. bieten müssten, um den Datenschutz und die Selbstbestimmung zu maximieren. Daneben wäre zu untersuchen, wie z.B. SNS gestaltet werden müssten, damit Nutzer selbst über den Umgang mit ihren Daten entscheiden können. Diese Fragen könnten in einer Analyse der **Handlungsoptionen zur Verbesserung des Schutzes der Privatsphäre bei neuen Datendiensten** eruiert werden.

Wenn sich herausstellen sollte, dass die Nutzer gerne besser über die potentiellen Gefahren aufgeklärt wären, dann könnte auch die Bewusstseinsbildung der Nutzer, d.h. ein Aufzeigen der möglichen Vor- und Nachteile der Technologien und darüber hinaus das ‚Beibringen‘ eines verantwortungsvollen Umgangs mit den eigenen Daten, sinnvoll sein. Dabei wäre eine weitere zu klärende Frage, ob Erwachsene grundsätzlich anders mit dem Thema Privatsphäre umgehen als Jugendliche (u.a. Digital Natives) und welchen Einfluss dies auf die Problematik haben könnte. Eine aktive Mitwirkung an der Bewusstseinsbildung und dem Erlernen von sozialer IT-Kompetenz bei Nutzern aus allen Altersgruppen durch Schulen, öffentliche Bildungseinrichtungen, aber evtl. auch Netzbetreibern könnte sich als erstrebenswertes Ziel herausstellen. Von Bedeutung wäre speziell die Ausbildung und Qualifikation der Lehrenden. Neben einer Bewertung bestehender Konzepte wäre die Erarbeitung eines Konzepts mit **Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung bei neuen Datendiensten** empfehlenswert, ggf. auch in Kombination mit Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Erweiterung des technischen Know-hows und dessen Anwendung.

Über Lokalisierungsdienste ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten einer umfassenden Profilerstellung bzgl. der Interessen sowie der Verbrauchs- und Bewegungsgewohnheiten von Privatpersonen. Ungeklärt ist noch, ob sich der Staat, Unternehmen oder Einzelpersonen durch das Nutzen von Lokalisierungsdiensten oder dem Sammeln und Verketteten von Internet-Profilen Überwachungs-, Mobbing- oder Manipulationsmöglichkeiten verschaffen könnten. Hierbei ist auch an die Übermittlung von Funknetzdaten in die USA durch Google und Apple und schließlich durch Verschiebung personenbezogener Daten im Rahmen der Auslagerung von EDV-Prozessen ins Ausland zu denken (Cloud Computing). Dabei wäre grundlegend zu ermitteln, welche Verkettungsmöglichkeiten von – freiwillig in SNS zur Verfügung gestellten und bei Rechercheanfragen generierten – Daten mit anderen Datenbeständen bestehen, wer die Daten zu Persönlich-

keitsprofilen verkettet und evtl. verkauft, für welchen Zweck sie verwendet werden und ob dies rechtlich zulässig ist bzw. wie dies bei ausländischen Akteuren kontrolliert werden kann. Es wird auch diskutiert, ob die Untersuchung und ggf. Überarbeitung der Filterregeln von Suchmaschinen, die beispielsweise dazu führen könnte, dass Suchmaschinen den selbst in das Netz gestellten Daten höhere Priorität einräumen als fremd erzeugten Daten oder Profilen, eine sinnvolle Maßnahme ist (de Maizière 2010). Generell wäre eine **Untersuchung zur Nutzung, Verkettbarkeit und Weiterverwendung von Daten bzw. Persönlichkeitsprofilen** sinnvoll<sup>143</sup>. Ein Ergebnis dieser Abwägung bzw. Analyse könnten u.a. verbindliche Regularien sein, die Missbrauch bestrafen und im besten Fall unterbinden.

Parallel könnte analysiert werden, welches **globale Potential die Nutzung anonymer Kommunikationsdienste** z.B. in undemokratischen Staaten für Demokratisierungsprozesse und die Entwicklung dieser Länder haben könnte. Dabei wäre darauf zu achten, ob die vorhandene Kommunikationstechnik in diesen Ländern eine anonyme oder eine Nutzung durch „Tunnel“ und Anonymisierungsdienste erlaubt.

Darüber hinaus wäre grundsätzlich zu klären, welche **Sicherheitslücken von Endgeräten** bestehen könnten. Ein Schutz privater Daten ist grundsätzlich nur einzuhalten, wenn die Endgeräte eine entsprechende Kontrolle erlauben. Dies betrifft Bereiche, wie das Gesundheitswesen und die Verschlüsselung von Daten auf dem Transport, wie auch allgemein die Geheimhaltung von Login-Informationen. Phishing (password fishing) aus dem Bereich Homebanking, genauso wie Wirtschaftsspionage zeigen nach einem Bericht von Symantec (2009), dass die Endgeräte bisher nicht sicher genug sind. Der Bedarf, diese Sicherheitslücken zu untersuchen, ergibt sich aus der nahezu alltäglichen Notwendigkeit mit einem Endgerät ins Netz gehen zu müssen. Ein Gesichtspunkt wäre dabei die Klarstellung, ob die aktuellen Techniken ausreichend gegen Missbrauch geschützt werden können. Dabei sollte ein besonderer Augenmerk auf die erforderlichen technischen Innovationen gelegt werden, die Endgeräte ‚sicher(er)‘ machen.

---

<sup>143</sup> Staatssekretär Max Stadler schlug nach einem Spiegel-Artikel vom 6. September 2010 vor, professionellen Datensammlern, die mit dem Material komplette Bewegungsprofile erstellen können, das Leben schwerer zu machen und entsprechende Daten mit einem Verfallsdatum zu versehen. Siehe <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/0,1518,715878,00.html>





## 4 Vorschläge zur methodischen Umsetzung

Die Chancen und Risiken moderner Kommunikation, von Web-2.0-Diensten und allgegenwärtiger Datenverarbeitung werden sowohl in der Öffentlichkeit wie auch auf wissenschaftlicher Ebene breit diskutiert. Fragen zu Datenschutz, Privatsphäre und informationeller Selbstbestimmung in der ‚digitalen Welt‘ waren bereits in zahlreichen Studien Untersuchungsgegenstand. Allerdings gibt es einen Mangel an Vorschlägen zur Umsetzung konkreter technischer und juristischer Handlungsoptionen, die sich auf die neuen Dienste beziehen. Die offenen Fragen (s. Kapitel 3, S. 149ff.) legen den Schluss nahe, dass solche technischen und juristischen Maßnahmen noch kaum festgelegt werden können, da noch zu wenig Wissen über die faktische Einschätzung der Nutzer dieser potentiellen Risiken bekannt ist. Gleichmaßen sind Chancen und Optionen technischer Möglichkeiten, jenseits der neuen Dienste zur Verbesserung des Schutzes der Privatsphäre zu prüfen. Demnach würden die im Folgenden beschriebenen und in vier Cluster eingeteilten, denkbaren ITA-Aktivitäten in Bezug auf die potentiellen Chancen und Risiken der Techniken bereits verfasste Studien einbeziehen, den Fokus aber auf die Beurteilung dieser Gefahren und der Chancen von Optionen durch die Nutzer legen.

### 1. Untersuchung zur Nutzung, Verkettbarkeit und Weiterverwendung von Daten

*Gegenstand:* Hierbei geht es um die Nutzung von Daten durch Betreiber und deren Weitergabe, sowie um die Sekundärauswertung von Daten aus dem WWW durch weitere Akteure. Insbesondere soll der Umgang von Suchmaschinenbetreibern (Algorithmen, Beeinflussbarkeit, Sekundärnutzung), LBS-Betreibern, SNS-Anbietern, Handyherstellern (wie Apple), NFC-Betreibern und Banken, Cloud Computing-Betreibern, etc. mit Daten untersucht werden. Es sollten u.a. Themen, wie die Kontrolle und das Eigentum an den Daten, ausgeübt durch Individuen und lokale Unternehmen (bspw. Firmen, die Cloud Computing nutzen, in- und ausländische Behörden), untersucht werden. Auch hier steht die Ambivalenz der Technik im Zentrum. Verkettung und sekundäre Auswertung können gleichermaßen zum Schaden wie zum Vorteil der Nutzer eingesetzt werden.

*Umsetzung:* Experten- und Interessenvertreter-Interviews; Recherche des Status Quo der technischen Möglichkeiten, potentieller Entwicklungen und ihrer Grenzen; Dialog-Prozess zu Gestaltungs- und Regulierungsfragen.

### 2. Der Nutzer im Fokus von ITA

#### 2a. Einstellung der Nutzer zu Privatheit und informationeller Selbstbestimmung bei neuen Datendiensten

Nach wie vor scheint das Thema Datensicherheit und digitale Identität in einem Spannungsverhältnis zwischen wissenschaftlichem Problembewusstsein auf Seiten vieler Experten und Vertreter demokratischer Institutionen und dem scheinbar diesem nicht entsprechenden Nutzungsverhalten bei Online-Diensten zu stehen.

*Gegenstand:* Nutzer geben zunehmend bei elektronischen Diensten private Daten preis. Hier wird an Dienste wie Social Networking Services, Location Based Services, drahtlose Kommunikation (insb. Verbindungsdaten), online verfügbare Anwendungen oder Suchdienste gedacht. Die Einstellung der Nutzer zu Privatheit und informationeller Selbstbestimmung in der digitalen Welt ist dabei aber unklar, wie auch, ob sich die Nutzer bewusst sind, was mit ihren Daten passiert und inwieweit datenschutzrechtliche Regulierungen angemessen sind und auf Akzeptanz treffen.

Die Antworten auf die im vorherigen Kapitel explizit formulierten Fragen werden Aufschluss darüber bringen, ob es sich um bewusst eingegangene Risiken handelt, um auf Nicht-Wissen basierendes ‚Fehl‘-

Verhalten oder ob neue Formen von Techniknutzung und des Schutzes der Privatsphäre gesucht werden sollten.

*Umsetzung:* Evaluierung des Nutzerverhaltens z.B. durch Interviews, um eine individuelle Einschätzung der Argumentationsmuster erkennen zu können; Fokusgruppen, um diskursiv auf der Basis der Argumentationsmuster die genaueren Argumentationszusammenhänge ermitteln zu können; ggf. eine repräsentative Umfrage unter Nutzern unter Zuhilfenahme der Argumentationsmuster.

## **2b. Handlungsoptionen zur Verbesserung des Schutzes der Privatsphäre bei neuen Datendiensten**

*Gegenstand:* Es sollte erhoben werden, welche Optionen es für einen höheren Schutz der Privatsphäre gibt (technische, regulatorische, freiwillige). Darüber hinaus sollte beleuchtet werden, ob Nutzer stärkere Rechte bezüglich der Weiterverwendung, des Löschens und der Veränderung von Daten erhalten wollen und sollten. Angesichts anstehender regulatorischer Aktionen in der EU (Datenschutzbeauftragter Hustinx) und in den USA (National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace) wäre die Herausarbeitung von Optionen sinnvoll, die die Ziele der Nutzer und Betreiber aufgreifen und innovativ berücksichtigen.

*Umsetzung:* Durch die enge Verwobenheit der technischen Umsetzbarkeit und der wünschenswerten Privatsphäre könnte eine Bürgerjury eine sinnvolle Methode sein. Experten erläutern hierbei vor einer Jury aus Bürgern die Möglichkeiten und Grenzen der verschiedenen technischen Optionen. Die Jury bewertet dann die unterschiedlichen Lösungen. Ergebnis einer Bürgerjury könnte beispielsweise die Festlegung eines ‚Datenschutzlevels‘ sein. So werden Nutzer, Anbieter und Experten involviert. Ein weiteres votensuchendes Verfahren könnte eine Konsensuskonferenz sein, bei der Dissense und Konsense mit den jeweiligen Begründungen gehört würden. Dazugehörige Dialogprozesse sollten zumindest die EU und die USA einbeziehen.

## **2c. Nutzerakzeptanz bei technischen und regulatorischen Mechanismen zur Erhöhung des Schutzes der Privatsphäre**

*Gegenstand:* Ausgehend von den Ergebnissen der Projekte 1., 2a. und 2b. sollte im Bereich technischer Möglichkeiten zur Verbesserung des Datenschutzes zunächst eine Bestandsaufnahme über praxisrelevante und bereits realisierte und realisierbare Lösungsansätze zur Verringerung der Anzahl personenbezogener Daten und Verbesserung des Schutzes gespeicherter Daten sowie deren Anwenderfreundlichkeit erfolgen. Es gilt zu untersuchen, welche die Voraussetzungen sind, damit diese Instrumente dem Anwender vertraut gemacht werden können. Fragen der anwenderfreundlichen Implementierung von datenschutzbezogenen „Brandmauern“ oder Zertifizierung von datenschutzkonformen Web 2.0-Diensten könnten hier u.a. eine Rolle spielen.

Darüber hinaus scheint auf Nutzerseite die Funktionsweise verschiedener technischer Datenschutzmechanismen kaum bekannt zu sein. Die Vor- und Nachteile derartiger Maßnahmen können nur schwer eingeschätzt werden, und ein möglicher Verlust von Anwenderfreundlichkeit könnte die Nutzer abschrecken. Vor diesem Hintergrund müssten die technischen Möglichkeiten des Datenschutzes einer nutzerorientierten Evaluation unterzogen werden.

*Umsetzung:* Zunächst könnten in Workshops mit Experten und Nutzern bestehende und potentielle Handlungsoptionen herausgearbeitet und diese bewertet werden. Daneben könnten Modellversuche mit Nutzern Aufschluss darüber liefern, welche technischen Mechanismen des Datenschutzes von den Nutzern akzeptiert werden und damit geeignet sind, in der Praxis Anwendung zu finden. Kriterien hierfür könnten die ‚Größe‘ eines möglichen Performanz-Verlustes des technischen Dienstes sein, die eventuell anfallenden Kosten, die für diese Mechanismen aufgewendet werden müssen, oder der in Betracht kommende zusätzli-

che Zeitaufwand, der seitens der Nutzer erbracht werden muss, aber ggf. natürlich auch die potentiell Zeitersparnis oder die größere Freiheit bei anonymen oder pseudonymen Nutzungen. Diese Kriterien sind in Modellversuchen zu entwickeln. Außerdem könnte mit ITA-Projekten zu „Privacy-by-Design“, die anbieterorientierten technischen Möglichkeiten des Datenschutzes näher beleuchtet werden. Es sollte hierbei die Frage geklärt werden, welche Datenschutzmechanismen die Dienstanbieter für akzeptabel bzw. sogar wünschenswert halten. Hierbei kann es vor allem darum gehen, Anbieter- und Anwenderinteressen zu vergleichen, konsensfähige Optionen des Datenschutzes zu erarbeiten, und dessen Umsetzung zu begleiten. Vor allem vor dem Hintergrund unterschiedlicher Geschäftsmodelle auf Anbieterseite ist diese Fragestellung zentral.

## 2d. Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung bei neuen Datendiensten

*Gegenstand:* Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der fortschreibenden ITA-Projekte 2a. bis 2c. sollten bestehende Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung auf ihre Adäquatheit überprüft werden. Zudem wäre zu untersuchen, ob eine aktive Mitwirkung an der Bewusstseinsbildung durch Schulen, öffentliche Bildungseinrichtungen, aber evtl. auch Netzwerkbetreiber in Erwägung gezogen werden sollte. Hier könnte u.a. über das Integrieren von Lernmodulen zur Erhöhung sozialer IT-Kompetenz in den Lehrplan von Schulen nachgedacht werden.

*Umsetzung:* Evaluierung von Maßnahmen zur Meinungs- und Bewusstseinsbildung (wie z.B. <http://www.schau-hin.info>); Neu- und Weiterentwicklung von bewusstseinsbildenden Maßnahmen, bspw. in Bezug auf Erwachsene; Sekundärauswertung von Daten.

## 3. Globales Potential der Nutzung anonymer Kommunikationsdienste

*Gegenstand:* Anonyme Kommunikationsdienste und ihr globales Potential sollten aus mehreren Gründen untersucht werden. Sie könnten u.a. in undemokratischen Ländern in Demokratisierungsprozessen genutzt werden, womit letztlich Frieden und Entwicklung dieser Länder gefördert und mitunter auch Dumpinglöhnen entgegengewirkt werden würde. Dabei wäre darauf zu achten, dass vorhandene Kommunikationstechnik in diesen Ländern entweder eine anonyme Nutzung oder eine Nutzung durch „Tunnel“ und Anonymisierungsdienste erlaubt (auch Pseudonyme, auch drahtlose Netze). D.h. die zunehmende Verbreitung des Internets bietet hier Chancen. Dabei wäre es wichtig, dass Systeme und Endgeräte in den Herstellerländern bereits so gestaltet werden, dass die Nutzer Dienste zur Herstellung unverkettbarer Kommunikation nutzen können. Dies erfordert ggf. politische Prozesse und einen globalen Diskurs um die möglichen Vor- aber auch potentielle Nachteile (Missbrauchsrisiken). Aber auch in demokratischen und demokratisierten Staatswesen spielt die anonymisierte Kommunikation im Internet eine zunehmend wichtige Rolle. Hierbei stellt sich v.a. die Frage, inwieweit Anonymisierung und Pseudonymisierung von informationeller Urheberschaft zu einem Wandel von politischer Öffentlichkeit und gesellschaftlichen Kommunikationsprozessen führen.

Zu den nachteiligen Folgen einer verstärkten Verbreitung von Anonymisierungsdiensten im Internet gehört die Erschwernis von Strafverfolgung durch staatliche Behörden. Insofern steht die Forderung nach einfachen und weitreichenden Anonymisierungsmöglichkeiten in den IKT mit den Forderungen von Strafverfolgungsbehörden nach Möglichkeiten der Verbesserung der Strafverfolgung im Internet in einem ständigen Spannungsverhältnis. Für die erfolgreiche Verfolgung von Straftaten im Internet wäre eine weitreichende Aufhebung von Anonymisierungsvorgängen erforderlich. Die globale Perspektive jedoch – einige Anonymisierungsdienste machen sich die unterschiedliche Rechtslage in verschiedenen Staaten zunutze – verstärkt diese Problematik.

Die deutsche Industrie könnte in einem globalen Wachstumsmarkt der Anonymisierungstechnologien eine besondere Rolle in der Lieferung von Komponenten zur anonymen Kommunikation einnehmen. Darüber hinaus wäre das Potential pseudonymer, anonymer und unverkettbarer Dienste im Inland zu untersuchen (Suchdienste, LBS, SNS, Wahlen etc.).

*Umsetzung:* Das Feld wäre zunächst zu explorieren. Veranstaltungen, Blogs etc. könnten zur Herausarbeitung sinnvoller Optionen führen.

#### **4. Endgerätesicherheit**

*Gegenstand:* In einem offenen Netz wie dem Internet ist weiter mit der Verbreitung von Schadcode zu rechnen, der den Diebstahl oder die Manipulation privater Daten zum Ziel hat (Homebanking, Wirtschaftsspionage, Sabotage etc.). Als Gegenmaßnahmen stehen grundsätzlich folgende Optionen zur Verfügung: Separate, sichere Hardware mit Nutzer-Input und -Output, die Verbesserung von üblichen Betriebssystemen und der Einsatz von Virtualisierung zur Isolierung von Schadcode (als quelloffen oder -geschlossen).

*Umsetzung:* Analyse, ob Lösungen am Markt entstehen; Analyse staatlicher Fördermaßnahmen (etwa Spezifikationen im Beschaffungswesen); Dialog-Prozesse.

## 5 Weiterführende Literatur

- Bizer, J.; Dingel, K.; Fabian, B.; Günther, O.; Hansen, M.; Klafft, M.; Möller, J.; Spiekermann, S.* (2006): TAUCIS – Technikfolgenabschätzung Ubiquitäres Computing und Informationelle Selbstbestimmung. Studie im Auftrag des BMBF. Berlin. [http://www.bmbf.de/pub/ita\\_taucis.pdf](http://www.bmbf.de/pub/ita_taucis.pdf); abgerufen am 22.06.2010
- Čas, J.* (2008): Datenschutz bei Pervasive Computing im Gesundheitswesen. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 17(1) (2008), S. 57-65
- European Technology Assessment Group* (2007): RFID and Identity Management in Everyday Life. Striking the balance between convenience, choice and control. STOA 2006-22. [http://www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/stoa182\\_en.pdf](http://www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/stoa182_en.pdf); abgerufen am 21.06.2010
- Friedewald M.; Raabe, O.; Koch, D. J.; Georgieff, P.; Neuhäusler, P.* (2009): Zukunftsreport - Ubiquitäres Computing. Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag. Arbeitsbericht Nr. 131. Mai 2009, <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/004/1700405.pdf>; abgerufen am 21.06.2010
- Friedewald M. et al.* (2009): Privacy and Trust in the Ubiquitous Information Society: Analysis of the impact of convergent and pervasive ICT on privacy and data protection and needs and options for development of the legal framework. Final Report for the European Commission. Karlsruhe
- Gabriel, P.; Bovenschulte, M.; Hartmann, E.; Groß, W.; Strese, H.; Bayarou, K.; Haisch, M.; Mattheß, M.; Brune, C.; Strauss, H. et al.* (2006): Pervasive Computing – Entwicklungen und Auswirkungen (PerCENTA). Studie des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik in Kooperation von VDI/VDE Innovation und Technik GmbH. Fraunhofer Institut für sichere Informationstechnologie und Sun Microsystems GmbH. [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Studien/Percenta/Percenta\\_dlay\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Studien/Percenta/Percenta_dlay_pdf.pdf?__blob=publicationFile); abgerufen am 18.04.2011
- Heatherly, R.; Kantarcioglu, M.; Thuraisingham, B.; Lindamood, J.* (2009): Preventing Private Information Inference Attacks on Social Network., Technical Report University of Texas at Dallas. UTDCS-03-09, verfügbar unter <http://www.utdallas.edu/~mxk055100/publications/UTDCS-03-09-fb-anon.pdf>; abgerufen am 21.06.2010
- Hilty, L. M.; Behrendt, S.; Binswanger, M.; Bruinink, A.; Erdmann, L.; Fröhlich, J.; Köhler, A.; Kuster, N.; Som, C.; Würtenberger, F.* (2003): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft. Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt. TA 46/2003. Bern, [http://www.ta-swiss.ch/d/arch\\_info\\_perv.html](http://www.ta-swiss.ch/d/arch_info_perv.html); abgerufen am 21.06.2010
- van't Hof, C.; Cornelissen, J.* (2006): RFID and Identity Management in Everyday Life. Case Studies on the Frontline of Developments towards Ambient Intelligence. Deliverable No. 2 of the project RFID and Identity Management. Commissioned by STOA and carried out by ETAG, <http://www.itas.fzk.de/eng/etag/document/hoco06a.pdf>; abgerufen am 22.06.2010
- van Lieshout, M.; Grossi, L.; Spinelli, G.; Helmus, S.; Kool, L.; Pennings, L.; Stap, R.; Veugen, T.; van der Waaij, B.; Borean, C.* (2007): RFID Technologies: Emerging Issues. Challenges and Policy Options. <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=1476>; abgerufen am 21.06.2010
- Oertel, B.; Wölk, M.; Hilty, L. M.; Köhler, A.; Kelter, H.; Ullmann, M.; Wittmann, S.* (2004): Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen, Trends und Entwicklungen in Technologien, Anwendungen und Sicherheit. Studie des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) in einer interdisziplinären Kooperation vom IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA); verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/ElekAusweise/RFID/RIKCHA\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/ElekAusweise/RFID/RIKCHA_pdf.pdf?__blob=publicationFile); abgerufen am 18.04.2011
- Sterbik-Lamina, J.; Peissl, W.; Čas, J.* (2009): Privatsphäre 2.0 – Beeinträchtigung der Privatsphäre in Österreich. TA-Studie der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) und des Instituts für Technikfolgenabschätzung (ITA). <http://epub.oew.ac.at/ita/ita-projektberichte/d2-2a53.pdf>; abgerufen am 17.07.2010

*VDI/VDE Innovation + Technik GmbH* (2007): RFID – Potenziale für Deutschland, Stand und Perspektiven von Anwendungen auf Basis der Radiofrequenz - Identifikation auf den nationalen und internationalen Märkten. Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/rfid-potenziale-fuer-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>; abgerufen am 18.04.2011

## 6 Literaturverzeichnis

- Aarts, E.; Marzano S. (Hg.)* (2003): *The New Everyday: Views on Ambient Intelligence*. 010 Publishers. Rotterdam
- Acquisti, A.; Grossklags, J.* (2005): Privacy and Rationality in Individual Decision Making. In: *IEEE Security and Privacy* 3(1) (2005), S. 26-33
- Acquisti, A., Gross, R.* (2006): Imagined communities: Awareness, information sharing, and privacy on the Facebook. In: *Golle, P.; Danezis G. (Hg.): Proceedings of 6th Workshop on Privacy Enhancing Technologies*, Cambridge, S. 36-58
- Adamowsky, N.* (2010): Medialisierte Umgebungen und Strategien der Kontingenzbewältigung. Digitale Überwachungssysteme im Modus des Spiels. In: *Münkler, H.; Bohlender M.; Meurer, S. (Hg.): Sicherheit und Risiko*. Bielefeld, S. 223-238
- Albrecht, K.; McIntyre, L.* (2005): *Spychips: How Major Corporations and Government Plan to Track Every Move with RFID*. Nelson Current. Nashville
- Al-Kassab, J.; Blome, J.P.; Wolfram, G.; Thiesse, F.; Fleisch, E.* (2010): RFID in the Apparel Retail Industry: A Case Study from Galeria Kaufhof. In: *Unique Radio Innovation for the 21st Century: Building Scalable and Global RFID Networks*. Berlin, S. 281-308
- Anderson, A. M.; Labay, V.* (2006): Ethical considerations and proposed guidelines for the use of radio frequency identification. Especially concerning its use for promoting public safety and national security, In: *Science and Engineering Ethics* 12(2) (2006), S. 265-272
- Art* (2010): Article 29 Data Protection Working Party. Opinion 2/2010 on online behavioural advertising. 00909/10/EN. WP171. Brüssel. verfügbar unter [http://ec.europa.eu/justice/policies/privacy/docs/wpdocs/2010/wp171\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/justice/policies/privacy/docs/wpdocs/2010/wp171_en.pdf); abgerufen am 13.09.2010
- Arte* (2008): Anonymität im Internet – Ist Privatsphäre möglich?! Arte Dokumentarfilm. ausgestrahlt am 12.07.2008
- Baghdassarian, S.; Milanesi, C.* (2009): *Dataquest Insight: Applications Stores; The Revenue Opportunity Beyond the Hype*. Gartner Inc.
- Barnes, S. B.* (2006): A privacy paradox: Social networking in the United States. In: *First Monday* 11(9) (2006); verfügbar unter <http://firstmonday.org/htbin/cgiwrap/bin/ojs/index.php/fm/article/view/1394/1312#b1>; abgerufen am 8. September 2007
- Becker, S.* (2010): Wie Bürger ihre Daten schützen können – Forschungsprojekt für zu Prototyp für eine bessere informationelle Selbstbestimmung. In: *Informationsdienst Wissenschaft*. Pressemitteilung vom 14.10.2010
- Beckwith R.* (2003): Designing for Ubiquity: The Perception of Privacy. In: *IEEE Pervasive Computing* 2(2) (2003), S. 40-46
- Bick, M.; Kummer, T.-F.; Rössig, W.* (2008): *Ambient Intelligence in Medical Environment and Devices – Qualitative Studie zu Nutzerpotentialen ambienter Technologien in Krankenhäusern*. ESCP-EAP Working Paper 36. Berlin; [http://www.escp-eap.eu/uploads/media/AIMED\\_04.pdf](http://www.escp-eap.eu/uploads/media/AIMED_04.pdf)
- Billich, C.* (2007): *Mobile Japan 2007*. Tokyo; [www.infinita.co.jp/Infinita\\_Mobile\\_Japan\\_2007.pdf](http://www.infinita.co.jp/Infinita_Mobile_Japan_2007.pdf)
- Bizer, J.; Dingel, K.; Fabian, B.; Günther, O.; Hansen, M.; Klafft, M.; Möller, J.; Spiekermann, S.* (2006): *TAUCIS – Technikfolgenabschätzung Ubiquitäres Computing und Informationelle Selbstbestimmung*. Studie im Auftrag des BMBF. Berlin; [http://www.bmbf.de/pub/ita\\_taucis.pdf](http://www.bmbf.de/pub/ita_taucis.pdf); abgerufen am 22.06.2010
- Bizer, J.* (2007): Modernisierung des Datenschutzes: 4 Säulen des Datenschutzes. Stellungnahme des ULD zur Anhörung des Innenausschusses des Deutschen Bundestages „Modernisierung des Datenschutzes“ am 5. März 2007. In: *Datenschutz und Datensicherheit* 31/2007, S. 264-266
- BMI (Bundesministerium des Inneren)* (2010a): *Elektronischer Reiseausweis*. Berlin; verfügbar unter <http://www.epass.de/>; abgerufen am 21.07.2010

- BMI (Bundesministerium des Inneren) (2010b): Alles Wissenswerte zum neuen Personalausweis. Berlin; verfügbar unter [http://www.bmi.bund.de/cln\\_165/SharedDocs/Downlads/DE/Themen/OED\\_Verwaltung/Informationsgesellschaft/broschuere\\_neuer\\_perso2.html](http://www.bmi.bund.de/cln_165/SharedDocs/Downlads/DE/Themen/OED_Verwaltung/Informationsgesellschaft/broschuere_neuer_perso2.html); abgerufen am 26.08.2010
- Borcea-Pfutzmann, K.; Pfutzmann, A.; Berg, M. (2011): Privacy 3.0 := Data Minimization + User Control + Contextual Integrity. In: Information Technology (IT) Vol. 52 (1). S. 34-40
- Borchers, C. M. (2008): Die Einführung der elektronischen Gesundheitskarte in das Deutsche Gesundheitswesen - Datenschutzrechtliche Probleme und Gefahren strafrechtlich relevanten Missbrauchs. In: Hilgendorf, E. (Hg.): Das Strafrecht vor neuen Herausforderungen (Bd.12). Würzburg, S. 94-110
- Boyd, D.; Ellison, N. E. (2007): Social networking sites: Definition, history and scholarship. In: Journal of Computer-Mediated Communication Vol. 13(1) (2007), S. 210-230; verfügbar unter <http://jcmc.indiana.edu/vol13/issue1/boyd.ellison.html>
- Buhl, H. U.; Müller, G. (2010): Der gläserne Bürger im Web 2.0. Herausforderungen des „virtuellen Striptease“. In: Wirtschaftsinformatik 52(4) (2010), S. 193-197
- Cameron, K. (2009): The Laws of Identity - Microsoft: minimum disclosure about minimum disclosure?; verfügbar unter <http://www.identityblog.com/?p=1066>, abgerufen am 01.10.2010
- Čas, J. (2008): Datenschutz bei Pervasive Computing im Gesundheitswesen. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 17(1) (2008), S. 57-65
- Čas, J.; Peissl, W. (2010): Datenhandel – ein Geschäft wie jedes andere?. Bundeszentrale für politische Bildung. Spezial: Wissen und Eigentum; [http://www.bpb.de/themen/JX32Z9,0,Datenhandel\\_%96\\_ein\\_Gesch%E4ft\\_wie\\_jedes\\_andere.html](http://www.bpb.de/themen/JX32Z9,0,Datenhandel_%96_ein_Gesch%E4ft_wie_jedes_andere.html) veröffentlicht am 15. März 2010
- Cavoukian, A. (2010): Sensors and In-Home Collection of Health Data: A Privacy by Design Approach. Intelligent Assistive Technology & Systems Lab and Information & Privacy Commissioner. Ontario; verfügbar unter <http://www.ipc.on.ca/images/Resources/pbd-sensor-in-home.pdf>
- Chaum, D. (1992): Achieving Electronic Privacy. In: Scientific American August 1992, S. 96-101
- COMM (Commission of the European Communities) (2009): Commission Recommendation of 12.5.2009 on the implementation of privacy and data protection in applications supported by radio-frequency identification, Brüssel, 12.5.2009; [http://ec.europa.eu/information\\_society/policy/rfid/documents/recommendationon\\_rfid2009.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/policy/rfid/documents/recommendationon_rfid2009.pdf)
- Cyganski, P.; Hass, B. H. (2008): Potenziale sozialer Netzwerke für Unternehmen. In: Hass, B. H.; Walsh, G.; Kilian, T. (2008): Web 2.0. Neue Perspektiven für Marketing und Medien, Berlin/ Heidelberg, S. 101-120
- Das, R.; Harrop, P. (2010): RFID Forecasts, Player and Opportunities 2011-2021. IDTechEx
- DHS (Department of Homeland Security) (2010): National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace. Washington; verfügbar unter [http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/ns\\_tic.pdf](http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/ns_tic.pdf)
- Dix, A. (2009): Informations- und datenschutzrechtliche Aspekte von Ambient Assisted Living Technologies – Was muss man beachten? Ambient Assisted Living: 2. Deutscher Kongress mit Ausstellung. Technologie – Anwendungen – Management. 27.–28. Januar 2009. Tagungsband. Berlin
- Dobson, J. E.; Fisher, P. F. (2003): Geoslavery. In: IEEE Technology and Society Magazine 22(1) (2003), S. 47-52
- Dobson, J. E. (2009): Big Brother has evolved. In: Nature 458 (968) (2009); <http://www.nature.com/nature/journal/v458/n7241/full/458968a.html>
- Dritsas, S.; Tsaparas, J.; Gritzalis, D. (2006): A Generic Privacy Enhancing Technology for Pervasive Computing Environments. In: Fischer et al. (Hg.) (2006): Trust and Privacy in Digital Business. Lecture Notes in Computer Science (Bd. 4083). Berlin/ Heidelberg, S. 103-113



- Dwyer, C.; Hiltz, S. R.; Passerini, K. (2007): Trust and privacy concern within social networking sites: a comparison of Facebook and MySpace. Proceedings of AMCIS. Keystone, Colorado
- ENISA (European Network and Information Security Agency) (2010a): Online as soon as it happens. Positionspapier. Februar 2010; verfügbar unter [http://www.enisa.europa.eu/act/ar/deliverables/2010/online-asithappens/at\\_download/fullReport](http://www.enisa.europa.eu/act/ar/deliverables/2010/online-asithappens/at_download/fullReport)
- ENISA (European Network and Information Security Agency) (2010b): Mobile Identity Management. Positionspapier. April 2010; verfügbar unter [http://www.enisa.europa.eu/act/it/eid/Mobile%20IDM/at\\_download/fullReport](http://www.enisa.europa.eu/act/it/eid/Mobile%20IDM/at_download/fullReport)
- ENISA (European Network and Information Security Agency) (2010c): Industry Proposal for a Privacy Impact Assessment Framework for RFID Applications. Positionspapier. Juli 2010; verfügbar unter <http://www.enisa.europa.eu/media/news-items/enisa-opinion-on-pia>
- EPoS (European Technology Plattform on Smart Systems Integration) (2008): Internet of Things 2020: Roadmap for the Future. Brüssel; verfügbar unter [http://old.smart-systems-integration.org/internet-of-things/Internet-of-Things\\_in\\_2020\\_ECEPoSS\\_Workshop\\_Report\\_2008\\_v3.pdf/download](http://old.smart-systems-integration.org/internet-of-things/Internet-of-Things_in_2020_ECEPoSS_Workshop_Report_2008_v3.pdf/download)
- Euro (Europäische Kommission) (2007): Funkfrequenzkennzeichnung (RFID) in Europa: Schritte zu einem ordnungspolitischen Rahmen. COM (2007) 96. Brüssel; verfügbar unter [http://www.epcglobal.ch/downloads/rfid\\_de.pdf](http://www.epcglobal.ch/downloads/rfid_de.pdf)
- Euro (Europäische Kommission) (2010): A comprehensive approach on personal data protection in the European Union. COM (2010) 609/3. Brüssel; S. 3-4; verfügbar unter [http://ec.europa.eu/justice/news/consulting\\_public/0006/com\\_2010\\_609\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/justice/news/consulting_public/0006/com_2010_609_en.pdf)
- FAZ (2010): Privatsphäre muss gewahrt bleiben. In: FAZ.NET. Artikel veröffentlicht am 12.08.2010; verfügbar unter <http://www.faz.net/s/Rub594835B672714A1DB1A121534F010EE1/Doc~E6ACFB829E6B145F69E8F839BCF282B6A~ATpl~Ecommon~Scontent.html>
- Fleisch, E.; Christ, O.; Dierkes, M. (2005): Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge. In: Fleisch, E.; Mattern, F. (Hg.): Das Internet der Dinge – Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis. Berlin/ Heidelberg, S. 3-38
- Frame (2011): Privacy and Data Impact Protection Assessment Framework for RFID Implications. 12.01.2011, verfügbar unter [http://ec.europa.eu/justice/policies/privacy/docs/wpdocs/2011/wp180\\_annex\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/justice/policies/privacy/docs/wpdocs/2011/wp180_annex_en.pdf), abgerufen am 18.04.2011
- Fransen, J. (2010): Umsatzsprünge von RFID nicht absehbar. Interview mit dem Gründer des Unternehmen Euro I.D. Identifikationssysteme. Interview verfügbar unter <http://www.marktplatz-rfid-im-blick.de/201008042183/euro-id-identifikationssysteme-umsatz-spruenge-der-rfid-technologie-erst-in-mehreren-jahren-erwartet.html>, August 2010, abgerufen am 09.08.2010
- Fraunhofer (Fraunhofer-Institut Sichere Informationstechnologie) (2008): Privatsphärenschutz in Soziale Netzwerke-Plattformen. Endbericht. Darmstadt; verfügbar unter <http://www.sit.fraunhofer.de/pressedownloads/pressemitteilungen/20080925StudieSozialeNetzwerke.jsp>; abgerufen am 01.07.2010
- Friedewald, M.; Lindner, R. (2008): Gesellschaftliche Herausforderungen durch intelligente Umgebungen: Eine Szenarioanalyse. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 17(1) (2008), S. 78-83
- Friedewald, M.; Raabe, O.; Koch, D. J.; Georgieff, P.; Neuhäusler, P. (2009a): Zukunftsreport - Ubiquitäres Computing. Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag. Arbeitsbericht Nr. 131. Berlin
- Friedewald, M.; Leimbach, T.; Wright, D.; Gutwirth, S.; De Hert, P.; Gonzáles Fuster, G.; Langheinrich, M.; Ion, J. (2009b): Privacy and Trust in the Ubiquitous Information Society: Analysis of the impact of convergent and pervasive ICT on privacy and data protection and needs and options for development of the legal framework. Final Report for the European Commission, Karlsruhe; verfügbar unter <http://isi.fraunhofer.de/isi-de/publ/download/isi09b52/Privacy-and-Trust-Ubiquitous-Information-Society.pdf?pathAlias=/publ/downloads/isi09b52/Privacy-and-Trust-Ubiquitous-Information-Society.pdf>; abgerufen am 07.07.2010

- Gabriel, P.; Bovenschulte, M.; Hartmann, E.; Groß, W.; Strese, H.; Bayarou, K.; Haisch, M.; Mattheß, M.; Brune, C.; Strauss, H. et al. (2006): Pervasive Computing – Entwicklungen und Auswirkungen. Studie des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik in Kooperation von VDI/VDE Innovation und Technik GmbH, Fraunhofer Institut für sichere Informationstechnologie und Sun Microsystems GmbH. Bonn; verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Studien/Percenta/Percenta\\_dlay\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Studien/Percenta/Percenta_dlay_pdf.pdf?__blob=publicationFile); abgerufen am 18.04.2011
- Gaßner, K.; M. Conrad, M. (2010): ICT enabled independent living for elderly. A status-quo analysis on products and the research landscape in the field of Ambient Assisted Living (AAL) in EU-27. VDI/VDE Innovation und Technik GmbH. Studie für die Europäische Kommission, DG Information Society and Media, ICT for Health Unit, Berlin, März 2010; [http://www.aal-deutschland.de/deutschland/dokumente/ict\\_for\\_elderly\\_webversion.pdf](http://www.aal-deutschland.de/deutschland/dokumente/ict_for_elderly_webversion.pdf)
- Gibson, B.; W. Holden, W. (2010): Mobile Location Based Services – Applications, Forecasts & Opportunities 2010 – 2014. Juniper Research
- Glob (Global Industry Analysts Inc.) (2010): Location Based Services. Report. August 2010
- Gross, R.; Acquisti, A. (2005): Information revelation and privacy in online social networks. In: Proceedings of WPES'05, S. 71-80
- Gundermann, L. (2008): Telematikinfrastruktur der elektronischen Gesundheitskarte: Basis für sichere Datenspeicherung. In: Deutsches Ärzteblatt 105(6) (2008), S. 268-271
- Hansen, M.; Berlich, P.; Camenisch, J.; Clauß, S.; Pfitzmann, A.; Waidner, M. (2004): Privacy Enhancing Identity Management. In: Information Security Technical Report 9(1), S. 35-44
- Hansen, M.; Meissner, S. (Hg.) (2007): Verkettung digitaler Identitäten, Ergebnisbericht des Projekts „Verkettung digitaler Identitäten“. Berlin; verfügbar unter: <https://www.datenschutzzentrum.de/projekte/verkettung/2007-uld-tud-verkettung-digitaler-identitaeten-bmbf.pdf>
- Heatherly, R.; Kantarcioglu, M.; Thuraisingham, B.; Lindamood, J. (2009): Preventing Private Information Inference Attacks on Social Networks. Technical Report University of Texas at Dallas. UTDCS-03-09; verfügbar unter <http://www.utdallas.edu/~mxk055100/publications/UTDCS-03-09-fb-anon.pdf>; abgerufen am 21.06.2010
- Heesen, J.; Simoneit, O. (2007): Opportunities for privacy and trust in the development of ubiquitous computing. In: International Review of Information Ethics Vol. 8 (12/2007), S. 48-52
- Heidemann, J. (2009): Online Social Networks – Ein sozialer und technischer Überblick, in: Informatik-Spektrum 33(3) (Juli 2009), S. 260-271
- Heise (Heise online) (2010): EU-Datenschützer fordert Einbau von Datenschutz in die Technik. Artikel vom 22.03.2010; verfügbar unter <http://www.heise.de/newsticker/meldung/EU-Datenschuetzer-fordert-Einbau-von-Datenschutz-in-die-Technik-960735.html>; abgerufen am 25.09.2010
- Hennig, J. E.; Ladkin, P. B.; Sieker, B. (2004): Privacy Enhancing Concepts for RFID Technology Scrutinised. RVS Group. Universität Bielefeld; verfügbar unter [http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publicatons/Reports/SPC2005\\_Privacy\\_Enhancing\\_Technology\\_Concepts\\_for\\_RFID\\_Technology\\_Scrutinised.pdf](http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publicatons/Reports/SPC2005_Privacy_Enhancing_Technology_Concepts_for_RFID_Technology_Scrutinised.pdf)
- Hickman, L. J.; Davis, L. M.; Wells, E.; Eisman, M. (2010): Tracking Inmates and Locating Staff with Active Radio-Frequency Identification (RFID). Early Lessons Learned in One U.S. Correctional Facility. Rand Corporation
- Hildebrandt, M.; Gutwirth, S. (Hg.): Profiling the European Citizen: Cross-Disciplinary Perspectives. Berlin/ Heidelberg
- Hilty, L. M.; Behrendt, S.; Binswanger, M.; Bruinink, A.; Erdmann, L.; Fröhlich, J.; Köhler, A.; Kuster, N.; Som, C.; Würtenberger, F. (2003): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft. Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt. TA 46/2003. Bern

- van 't Hof, C.; J. Cornelissen, J. (2006): RFID and Identity Management in Everyday Life. Case Studies on the Front-line of Developments towards Ambient Intelligence. Deliverable No. 2 of the project RFID and Identity Management. commissioned by STOA and carried out by ETAG
- van 't Hof, C. (2007): RFID and Identity Management in Everyday Life: Striking the balance between convenience, choice and control. European Technology Assessment Group Report. IPOL/STOA/2006-22. Luxemburg
- Holtz, L.-E. (2010): Datenschutzkonformes Social Networking: Clique und Scramble!. In: Datenschutz und Datensicherheit 7/2010, S. 439-443
- Hyppönen, K.; Hassinen, M.; Trichina, E. (2008): Combining Biometric Authentication with Privacy-Enhancing Technologies. In: Lipp, P.; Sadeghi, A. R.; Koch K. M. (2008): Trusted Computing – Challenges and Applications. Lecture Notes in Computer Science Vol. 4968, Berlin/ Heidelberg, S. 155-165
- ICPP (Independent Centre for Privacy Protection), SNG (Studio Notarile Genghini) (2003): Identity Management Systems (IMS): Identification and Comparison Study; verfügbar unter: [https://www.datenschutzzentrum.de/idmanage/study/ICPP\\_SNG\\_IMS-Study.pdf](https://www.datenschutzzentrum.de/idmanage/study/ICPP_SNG_IMS-Study.pdf)
- IEMR (IE Market Research Corp.) (2010): Global GPS Navigation and Location Based Services Forecast 2010-2014. 3Q.2010
- Ismail, S. (2010): An Evaluation of Students' Identity-Sharing Behaviour in Social Network Communities as Preparation for Knowledge Sharing In: International Journal for the Advancement of Science & Arts 1(1) (2010), S. 14-24
- Jovanovic, L. (2010): Handy verrät den Standort. In: RP online vom 24.08.2010; verfügbar unter <http://nachrichten.rp-online.de/wirtschaft/handy-verraet-den-standort-1.97705>
- Juniper (Juniper Research) (2010): Mobile Location Based Services. Applications, Forecasts & Opportunities 2010-2014. Report
- Karla, J. (2010): Digitales Vergessen im Web 2.0. In: Wirtschaftsinformatik 52 (2) (2010), S. 105-108
- Klüver, L.; Peissl, W.; Tennøe, T.; Bütschi, D. (2006): ICT and Privacy in Europe: Experiences from technology assessment of ICT and Privacy in seven different European countries. Final Report; verfügbar unter <http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/e2-2a44.pdf>
- Koch, M.; Richter, A.; Schlosser, A. (2007): Produkte zum IT-gestützten Social Networking in Unternehmen. In: Wirtschaftsinformatik 49 (6) (2007), S. 448-455
- Kölmel, B.; Hubschneider, M. (2003): Nutzererwartungen an Location Based Services. Ergebnisse einer empirischen Analyse; verfügbar unter: [http://www.e-lba.com/YellowMap%20AG\\_Nutzererwartungen%20an%20Location%20Based%20Services.pdf](http://www.e-lba.com/YellowMap%20AG_Nutzererwartungen%20an%20Location%20Based%20Services.pdf); abgerufen am 21.06.2010
- KPMG (2009): Mobile Payments in Asia Pacific. verfügbar unter: <http://www.kpmg.com/AU/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/Mobile-payments-in-Asia-Pacific.pdf>; abgerufen 5.10.2009
- Kuhlen, R. (2004): Informationsethik. Ethik in elektronischen Räumen. UTB. Konstanz
- Lindner, R. (2010): Datenschutz, Umstrittene Privatsphäre à la Facebook. In: FAZ Net Artikel vom 25.05.2010; verfügbar unter: <http://www.faz.net/s/RubD16E1F55D21144C4AE3F9DDF52B6E1D9/Doc~EB6FFF6A871B841B6A8CA40CCDD1CDB2~ATpl~Ecommon~Scontent.html>
- van Lieshout, M.; Grossi, L.; Spinelli, G.; Helmus, S.; Kool, L.; Pennings, L.; Stap, R.; Veugen, T.; van der Waaij, B.; Borean, C. (2007): RFID Technologies: Emerging Issues, Challenges and Policy Options; verfügbar unter: <ftp://ftp.jrc.es/pub/EURdoc/eur22770en.pdf>
- van Lieshout, M.; Kool, L. (2008): Little sisters are watching you: A privacy assessment of RFID. In: Fischer Hübner, S.; Duquenoy, P.; Zuccato, A.; Martucci, L. (Hg.): The Future of Identity in the Information Society. Proceedings of the Third IFIP International Summer School 04.-10.08.2007. Karlstad University. Sweden, Berlin/ Heidelberg, S. 129-141

- Lischka, K.; Reißmann, O.; Kremp, M.* (2011) Your iPhone is watching you, In: Spiegel Online, Artikel veröffentlicht am 20.04.2011, verfügbar unter <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/0,1518,758320,00.html>
- Madlmayr, G.; Ecker, J.; Langer, J.; Scharinger, J.* (2008): Near Field Communication: State of Standardization. In: Michahelles, F. (Hg.): First International Conference on the Internet of Things (IOT 2008) – Adjunct Proceedings. Zürich/ St. Gallen, S. 10-15
- Mainusch, J.; Burtchen, C.* (2010): Kontrolle über eigene Daten in sozialen Netzwerken. In: Datenschutz und Datensicherheit 34(7) (2010), S. 448-452
- de Maizière, Th.* (2010). Grundlagen für eine gemeinsame Netzpolitik der Zukunft. Rede im Rahmen der Abschlussveranstaltung zur Netzpolitik am 22.06.2010 im Technikmuseum Berlin; verfügbar unter [http://www.bmi.bund.de/cln\\_183/SharedDocs/Reden/DE/2010/06/bm\\_netzpolitik.html?nn=1200738](http://www.bmi.bund.de/cln_183/SharedDocs/Reden/DE/2010/06/bm_netzpolitik.html?nn=1200738); abgerufen am 01.08.2010
- Mattern, F.* (2005): Allgegenwärtige Datenverarbeitung – Trends, Visionen, Auswirkungen. Berlin/ Heidelberg, S. 1-20
- Mayer-Schönberger, V.* (2007): Useful void – the art of forgetting in the age of ubiquitous computing. Working Paper. John F. Kennedy School of Government. Harvard University
- Mayer-Schönberger, V.* (2008): Nützliches Vergessen. In: Reiter, M.; Wittmann-Tiwald, M. (Hg.): Goodbye Privacy – Grundrechte in der digitalen Welt. Wien, S. 9-16
- Meusers, R.* (2010): Street View? Harmlos gegen Webcams und Luftbilder!. In: Spiegel online vom 23.08.2010; verfügbar unter <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/a-713226.html>
- Nitzsche, P.* (2010): Achtung, Aufnahme! Filderstadt im Visier von Google Street-View. In: Stuttgarter Wochenblatt vom 26.08.2010
- Oertel, B.; Wölk, B. M.; Hilty, L. M.; Köhler, A.; Kelter, H.; Ullmann, M.; Wittmann, S.* (2004): Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen, Trends und Entwicklungen in Technologien, Anwendungen und Sicherheit. Studie des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) in einer interdisziplinären Kooperation vom IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA). Bonn; verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/ElekAusweise/RFID/RIKCHA\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/ElekAusweise/RFID/RIKCHA_pdf.pdf?__blob=publicationFile); abgerufen am 18.04.2011
- Omni* (2010): Omnicard Newsletter vom Oktober 2010; verfügbar unter <http://www.omnicard.de/index.php?m=17>; abgerufen am 01.10.2010
- van Oranje-Nassau, C.; Schindler, R.; Botterman, M.* (2009): Policy options for Radio Frequency Identification (RFID) application in healthcare – A prospective view. Final Report (D5). Rand Corporation; verfügbar unter [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/health/docs/studies/rfid/rfid-healthcare-d5v5.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/activities/health/docs/studies/rfid/rfid-healthcare-d5v5.pdf)
- Orwat, C.; Rashid, A.; Wölk, M.; Holtmann, C.; Scheermesser, M.; Kosow, H.* (2008): Pervasive Computing in der medizinischen Versorgung. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 17(1) (2008), S. 5-12
- Pfützmann, A.; Pfützmann, B.; Waidner, M.* (1988): Datenschutz garantierende offene Kommunikationsnetze. In: Informatik-Spektrum 11/3 (1988), S. 118-142
- Punie, Y.; Delaitre, S.; Maghiros, I.; Wright, D.* (2006): Dark Scenarios on ambient intelligence: Highlighting risks and vulnerabilities. SWAMI deliverable D2 (Januar 2006); verfügbar unter [http://is.jrc.es/pages/TFS/documents/SWAMI\\_D2\\_scenarios\\_Final\\_ESvf\\_003.pdf](http://is.jrc.es/pages/TFS/documents/SWAMI_D2_scenarios_Final_ESvf_003.pdf)
- Raguse, M.; Meints, M.; Langfeldt, O.; Peissl, W.* (2008): Criteria for privacy enhancing security technologies. Bericht des PRISE-Projekt; verfügbar unter [http://www.prise.oew.ac.at/docs/PRISE\\_D\\_6.2\\_Criteria\\_for\\_privacy\\_enhancing\\_security\\_technologies.pdf](http://www.prise.oew.ac.at/docs/PRISE_D_6.2_Criteria_for_privacy_enhancing_security_technologies.pdf)

- Rannenberg, K.; Royer, D.; Deuker, A. (2009): Vorwort. In: Rannenberg, K.; Royer, D.; Deuker, A. (Hg.) (2009): *The Future of Identity in the Information Society, Challenges and Opportunities*. Berlin/ Heidelberg, S. 1-11
- Rannenberg, K.; Kahl, C.; Böttcher, K. (2010): *Communities, Mobilität und Datenschutz – Innovative Konzepte zum Schutz der Privatsphäre im Projekt PICOS*. *Forschung Frankfurt* 1/2010, S. 42-45
- Ray, B. (2008): *Mobiles help UK mall strack shoppers' every move*. In: *The Register* vom 20.05.2008; verfügbar unter [http://www.theregister.co.uk/2008/05/20/tracking\\_phones/](http://www.theregister.co.uk/2008/05/20/tracking_phones/); abgerufen am 21.06.2010
- Redi (2010): *EU will Recht auf Vergessen im Netz*. *SWR3 Info –Nachrichten* vom 04.11.2010; verfügbar unter <http://www.swr3.de/info/nachrichten/EU-will-Recht-auf-Vergessen-im-Netz/id=47428/did=824146/18f5ud9/index.html>; abgerufen am 04.11.2010
- Reynolds, F. (2008): *Whither Bluetooth?*. In: *IEEE Pervasive Computing* 7(3) (2008), S. 6-8
- Richter, A.; Koch, M. (2008): *Funktionen von Social-Networking-Diensten*. In: Bichler, M. et al. (Hg.) (2008): *Gito*, S. 1239-1250; verfügbar unter: [http://ibis.in.tum.de/mkwi08/18\\_Kooperationssysteme/04\\_Richter.pdf](http://ibis.in.tum.de/mkwi08/18_Kooperationssysteme/04_Richter.pdf); abgerufen am 21.06.2010
- Rudlstorfer, D. (2010): *Die Preisgabe sensibler Daten im Internet. Möglichkeiten einer Überwachung und ihrer Gefahren*. Masterarbeit an der Universität Wien; verfügbar unter [https://othes.univie.ac.at/9436/1/2010-04-10\\_0204396.pdf](https://othes.univie.ac.at/9436/1/2010-04-10_0204396.pdf); abgerufen am 21.06.2010
- Roßnagel, A.; Müller, J. (2004): *Ubiquitous Computing – Neue Herausforderungen für den Datenschutz*. In: *Computer und Recht* 20(8) (2004), S. 625-632
- Sain (2009): *Studie der österreichischen Informations- und Koordinierungsstelle Saferinternet.at zu „Web 2.0 als Rahmen für Selbstdarstellung und Vernetzung Jugendlicher“*, Analyse jugendnaher Plattformen und ausgewählter Selbstdarstellungen von 14- bis 20-jährigen. 1. Teil der Studie „Das Internet als Rezeptions- und Präsentationsplattform für Jugendliche“ 2009; verfügbar unter [http://www.jff.de/dateien/Bericht\\_Web\\_2.0\\_Selbstdarstellungen\\_JFF\\_2009.pdf](http://www.jff.de/dateien/Bericht_Web_2.0_Selbstdarstellungen_JFF_2009.pdf); abgerufen am 21.06.2010
- Sain (2010): *Studien der österreichischen Informations- und Koordinierungsstelle Saferinternet.at zu „Chancen und Gefahren von Online Communities“*. Saferinternet.at ist die österreichische Informations- und Koordinierungsstelle im Safer Internet Netzwerk der EU; verfügbar unter [http://www.saferinternet.at/fileadmin/files/Online\\_Communities\\_Studie/Ergebnisse\\_Safer\\_Internet\\_Quantitativ\\_Ultimativ.pdf](http://www.saferinternet.at/fileadmin/files/Online_Communities_Studie/Ergebnisse_Safer_Internet_Quantitativ_Ultimativ.pdf) oder [http://www.saferinternet.at/fileadmin/files/Online\\_Communities\\_Studie/Bericht\\_Safer\\_Internet\\_qualitativ\\_Online\\_Version.pdf](http://www.saferinternet.at/fileadmin/files/Online_Communities_Studie/Bericht_Safer_Internet_qualitativ_Online_Version.pdf)
- Schmitt, P.; Thiesse, F.; Fleisch, E. (2007): *Adoption and Diffusion of RFID Technology in the Automotive Industry*. E-DIGIT Workshop. European Conference on Information Systems. St. Gallen
- Schubert, M. (2010): *Datenschutz: Google Street View speichert WLAN-Netze*. In: *Netzwelt.de* vom 22.04.2010, verfügbar unter <http://www.netzwelt.de/news/82527-datenschutz-google-street-view-speichert-wlan-netze.html>
- Sieker, B.; Ladkin, P. B.; Henning, J. E. (2005): *Privacy Checklist for Privacy Enhancing Technology Concepts for RFID Technology Revisited*. RVS Group. University Bielefeld; verfügbar unter: <http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publications/#resreports>, abgerufen am 22.07.2010
- Smith, D. S.; Cain, M. W.; Mann, J.; Lundy, J.; Bradley, A.; Dulaney, K.; Rozwell, C.; Basso, M. (2009): *Predicts 2010: Social Software Is an Enterprise Reality*. Gartner Inc.
- SpOn (2010): *Geodatengesetz. Sammler, über die noch keiner spricht*. In: *Spiegel Online* vom 20.9.2010, verfügbar unter <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/0,1518,718410,00.html>
- Sterbik-Lamina, J.; Peissl, W.; Čas, J. (2009): *Privatsphäre 2.0 – Beeinträchtigung der Privatsphäre in Österreich*. TA-Studie der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) und des Instituts für Technikfolgenabschätzung (ITA). Wien

- Steimel, B.; Paulke, S.; Klemann, J.* (2008): Praxisleitfaden Mobile Marketing: Status Quo, Erfolgsfaktoren, Strategien & Trends. Studie herausgegeben von der Zeitschrift „Absatzwirtschaft“. Strateco GmbH & Co. KG. Bad Homburg v. d. Höhe
- Stern, M.; Böhm, K.; Buchmann, E.* (2010): Processing Continuous Joint Queries in Sensor Networks: a Filtering Approach. In: Proceedings of the 2010 international Conference on Management of Data in Indianapolis, Indiana (USA) vom 06.-10.06.2010. SIGMOD '10. ACM. New York, S. 267-278
- Stöcker, C.* (2010): Datenschutz bei Facebook, Wie die Privatsphäre erodiert. In: Spiegel Online vom 14.05.2010; verfügbar unter <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/0,1518,694388,00.html>; abgerufen am 14.05.2010
- Stolfo, S. J.; Tsudik, G.* (2010): Privacy-Preserving Sharing of Sensitive Information. In: IEEE Security and Privacy 07/08 (2010), S. 16-17
- von Streit, A.* (2011): Das Datenschutz-Dilemma der vernetzten Welt: In: Focus-Online, Artikel veröffentlicht am 27.04.2011, verfügbar unter [http://www.focus.de/digital/internet/sony-hackerangriff-das-datenschutz-dilemma-der-vernetzten-welt\\_aid\\_621866.html](http://www.focus.de/digital/internet/sony-hackerangriff-das-datenschutz-dilemma-der-vernetzten-welt_aid_621866.html)
- Symantec* (2009): Symantec Internet Security Threat Report. Mountain View 2010; verfügbar unter <http://www.symantec.com/business/theme.jsp?themeid=threatreport>
- Toprak, M.; Kutter, S.* (2008): Verborgene Fühler. In: Handelsblatt, Artikel vom 10.02.2008; verfügbar unter <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung/verborgene-fuehler;1387903>
- Vanjoki, A.* (2010): Nokia's executive vice president for markets, has announced that all new Smartphone introduced by the company from 2011 will come with NFC. In: NFC-Newsticker vom 17. Juni 2010; verfügbar unter <http://www.cnm.uni-hannover.de>; abgerufen am 21.06.2010
- VDI (VDI/VDE Innovation + Technik GmbH)* (2007): RFID – Potenziale für Deutschland, Stand und Perspektiven von Anwendungen auf Basis der Radiofrequenz - Identifikation auf den nationalen und internationalen Märkten, Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/rfid-potenziale-fuer-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>; abgerufen am 18.04.2011
- Weber, A.* (2001): High Number of Electronic Cash Transactions in Hong Kong Octopus System. In: ePSO-Newsletter 5 (2001)
- Weber, A.* (2007): The convergence of mobile data phones, consumer electronics, and wallets. Lessons from Japan. In: Telematics and Informatics 24 (3) (2007), S. 180-191
- Weichert, T.* (2009): Stellungnahme zur elektronischen Gesundheitskarte anlässlich der öffentlichen Anhörung des Gesundheitsausschusses am 25. Mai 2009; verfügbar unter <https://www.datenschutzzentrum.de/medizin/gesundheitskarte/20090525-weichert-stellungnahme-egk.htm>; abgerufen am 21.06.2010
- Weiser, M.* (1991): The Computer for the 21st Century. In: Scientific American 265(3) (1991), S. 94-104
- Weiß, S.* (2008): The Need for a Paradigm Shift in Addressing Privacy Risks in Social Networking Applications. In: IFIP International Federation for Information Processing Vol. 262: The Future of Identity in the Information Society. Boston, S. 161-171
- Weiß, S.* (2010a): Datenschutz Compliance in Sozialen Netzwerk Anwendungen. Voraussetzungen für die technische Umsetzbarkeit. In: Datenschutz und Datensicherheit 34 (7) (2010), S. 444-447
- Weiß, S.* (2010b): An Information Architecture Framework for Enhancing Privacy in Social Network Applications. INTERNET – Praxis und Zukunftsanwendungen des Internets (Bd.7). Hamburg
- Wiedmann, K.-P.; Reeh, M.-O.; Schumacher, H.* (2010): Employment and Acceptance of Near Field Communication in Mobile Marketing. In: Pousttchi, K.; Wiedemann, D. G. (Hg.) (2010): Handbook of Research on Mobile Marketing Management. Hershey, S. 190-212
- Williamson, D. A.* (2010): Worldwide Social Network Ad Spending: A Rising Tide. Report von eMarketer 08/2010

ZDF (2010): Bericht des ZDF Auslandjournals vom 21.07.2010 zu „Verbrechen 2.0“

Zou, C. C. (2006): Physically Changeable Bit for Preserving Privacy. In: Low-End RFID Tags. RFID White Paper Library. RFID Journal; verfügbar unter: <http://www.cs.ucf.edu/~czou/research/PCB.pdf>





# **Nichtmedizinische Anwendungen der Neurowissenschaften**

ITA-Kurzstudie

*Leonhard Hennen*

*Christopher Coenen*

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse  
am Karlsruher Institut für Technologie

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:  
Dr. Leonhard Hennen  
E-Mail: [hennen@kit.edu](mailto:hennen@kit.edu)  
Telefon: +49 (0) 228 / 30818 - 34

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>175</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>179</b>
<b>2 Ausgewählte nichtmedizinische Anwendungsfelder der Neurowissenschaften ....</b>	<b>183</b>
2.1 Neurowissenschaften und Lernen .....	183
2.1.1 Lernforschung/ pädagogische Praxis.....	183
2.1.2 Hirndoping/ technische Interventionen.....	186
2.2 Neurowissenschaften und Justiz .....	188
2.2.1 Der Einsatz von Neuroimaging zur Feststellung von Schmerz.....	189
2.2.2 Der Einsatz bildgebender Verfahren zur Feststellung der Schuldfähigkeit...	190
2.2.3 Neuroimaging als „Lügendetektor“ .....	192
2.2.4 „Brain Fingerprinting“ .....	193
2.3 Neuromarketing .....	194
2.3.1 Neuroökonomie.....	195
2.3.2 Neuromarketing .....	197
2.4 Neurotechnologien in der Mensch-Maschine-Interaktion .....	200
2.4.1 Nichtmedizinische Anwendungen von Neurotechnologien .....	201
2.4.2 Das Beispiel Computerspiele.....	203
<b>3 Folgedimensionen nichtmedizinischer Anwendungen der Neurowissenschaften. 207</b>	<b>207</b>
3.1 Personale Autonomie und Identität .....	207
3.2 Soziale Interaktion und gesellschaftliche Integration.....	209
3.3 Politische Regulierung .....	210
<b>4 Schlussfolgerungen und Vorschläge für ITA-Projekte .....</b>	<b>213</b>
<b>5 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>217</b>



## Zusammenfassung

Die Diskussion um die gesellschaftliche Bedeutung der jüngeren Fortschritte der Neurowissenschaften hat vielfältige Facetten. Sie reicht von der Infragestellung unseres menschlichen Selbstverständnisses als freie Autoren unserer Handlungen bis hin zur Spekulation über Möglichkeiten durch technische und pharmakologische Intervention in das Gehirn, unsere kognitive Leistungsfähigkeit zu steigern oder unsere Selbst- und Weltwahrnehmung gezielt zu beeinflussen. Neben solchen eher ambivalenten Themen spielen für die öffentliche Diskussion selbstverständlich auch deutlich positive Erwartungen an die möglichen medizinischen Anwendungen der Neurowissenschaften eine wichtige Rolle, die es etwa erlauben könnten, psychische und neurologische Erkrankungen wie Demenz, Depression etc. langfristig wirksam zu bekämpfen.

Im Focus der vorliegenden Kurzstudie stehen auftragsgemäß nicht-medizinische Anwendungsfelder der Neurowissenschaften. Es wurden dabei aber auch bewusst solche Anwendungsmöglichkeiten ausgeklammert, die hochspekulative und allenfalls in ferner Zukunft realisierbare Nutzungsmöglichkeiten neurowissenschaftlicher Erkenntnisse betreffen. Ziel war es, solche Felder zu identifizieren, in denen neueste Erkenntnisse neurowissenschaftlicher Forschung bereits heute praktisch genutzt werden oder doch eine Nutzbarkeit als kurzfristig erwartbar eingeschätzt wird.

Der Bereich des schulischen und außerschulischen **Lernens** gilt seit langem als ein Feld, das von der Nutzung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse profitieren kann. Die Kurzstudie zeigt aber, dass trotz erheblicher Fortschritte im Verständnis der physiologischen Grundlagen von Gedächtnisleistungen und Lernvorgängen eine wesentliche Veränderung von Methodik und Didaktik durch die Neurowissenschaften bisher nicht zu verzeichnen ist. Aus den vorliegenden Erfahrungen ziehen Experten den Schluss, dass Lernpsychologie und Pädagogik nach wie vor, insbesondere auf verhaltenswissenschaftliche Methoden und Erkenntnisse in der Forschung, wie auch in der Lernpraxis angewiesen sein werden. Die unterstützende Funktion, die die neurowissenschaftlichen Erkenntnisse für die psychologische Lernforschung haben, kann – neben der Grundlagenforschung – als hinreichende Legitimation für das Forschungsfeld gelten. Weitergehende Erwartungen, gar einer „neurowissenschaftlichen Revolution“ des Lernens, bleiben reine Spekulation. Dass TA-Aktivitäten zu diesem Thema bisher kaum zu verzeichnen sind, ist sicherlich mit der bisher relativ eng begrenzten lernpraktischen Bedeutung der „Neurodidaktik“ zu erklären.

Eine recht rege Diskussion in den USA befasst sich mit den Möglichkeiten der Nutzung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse im Rahmen der **Strafverfolgung** und in **Gerichtsverfahren**. In der Diskussion befinden sich zum einen die Nutzung von Neuroimaging zur Feststellung der Schuldfähigkeit, des Weiteren die Nutzung von Hirnscans und EEG zur Feststellung der Wahrhaftigkeit oder Unwahrhaftigkeit von Aussagen bei der Ermittlung und im Strafprozess (analog etwa zum Lügendetektor) sowie die Nutzung von bildgebenden Verfahren zur Feststellung psychischer Beeinträchtigungen, etwa in Schmerzensgeldverfahren.

Wie die Kurzstudie zeigt, liegen in allen drei Bereichen konkrete Vorstellungen einer Nutzung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse durch die Justiz und auch zum direkten Einsatz von Hirnscans und anderen Technologien im Rahmen polizeilicher und gerichtlicher Untersuchungen vor. Es wird auch von einigen Fällen berichtet, in denen die Nutzung vor Gericht in den USA beantragt wurde. Ein zuverlässiger Überblick über die Zahl der (anscheinend wenigen) Fälle, in denen entsprechende Untersuchungen vor Gericht zum Einsatz kamen, gibt es aber bisher nicht. Bisher ist auch laut einhelliger Expertenurteile die Validität der durch die Verfahren erzielten Ergebnisse nicht hinreichend gesichert, um eine Zulassung als Beweismittel wahrscheinlich erscheinen zu lassen. Es mangle wegen des unzureichenden Verständnisses der Varianz von Messergebnissen an Beweiskraft. Fehlerurteile auf der Basis der Ergebnisse von Hirnscans oder anderen neurowissenschaftlichen Untersuchungen seien daher sehr wahrscheinlich. Dennoch wird zurzeit das Thema in rechtswissenschaftlichen Kreisen in den USA offenbar recht ernst genommen, und es kommt anscheinend immer wieder zu „neurowissenschaftlichen“ Beweisanträgen vor amerikanischen Gerichten.

In den letzten Jahren hat sich die Untersuchung der hirnpfysiologischen Vorgänge bei ökonomischen Entscheidungen rasch zu einer eigenen Disziplin, der **Neuroökonomie**, mit eigenen wissenschaftlichen Journalen und internationalen Kongressen etabliert. Der Wert solcher Untersuchungen für die Verhaltensökonomie oder gar ihre Relevanz für realwirtschaftliche oder wirtschaftspolitische Entscheidungen ist aber durchaus umstritten. Dennoch hat sich im Anschluss an die Neuroökonomie das **Neuromarketing** als neues Feld der Marktforschung etablieren können, das anscheinend auf eine gewisse Nachfrage bei Industrieunternehmen stößt. Neuromarketing hat in der breiteren Öffentlichkeit auch bereits zu Diskussionen über Möglichkeiten einer gezielten Manipulation von Kaufverhalten geführt. Die Kurzstudie kommt zu dem Schluss, dass angesichts der bisher vorliegenden Ergebnisse des Neuromarketing kaum Anlass zu solchen Besorgnissen besteht. Der wesentliche Grund für den schnellen Erfolg des Neuromarketing liegt offensichtlich weniger in der Originalität ihrer Erkenntnisse als darin, dass sich durch die Referenz auf (Natur-) Wissenschaft und die angebliche Objektivität der Hirnscans – mittels derer man angeblich dem Käufer beim Kaufen zuschauen und seine geheimsten, ihm selbst nicht bewussten Entscheidungskriterien erkennen könne – die Neurowissenschaften als Mittel zur Vermarktung von ansonsten auf unsicheren Annahmen über Käuferverhalten basierenden Werbestrategien genutzt werden können. Auch wenn aber die Neuroimaging-Methoden bisher keineswegs zu einem tieferen Verständnis davon geführt haben, wie Kaufentscheidungen zustande kommen – und auch wenn der Nutzwert von Hirnscans etwa für die Produktgestaltung oder für Werbekampagnen schwer zu erkennen ist –, könnte die suggestive Kraft der Hirnbilder doch dazu geeignet sein, Neuromarketing auch langfristig als Geschäftsfeld zu stabilisieren.

Ein Thema, an das sich meist recht weitreichende Vorstellungen der Nutzung zur Erweiterung etwa der menschlichen kognitiven Fähigkeiten knüpfen, ist die Kopplung von menschlichem Nervensystem und Computertechnologie. **Mensch-Maschine-Interaktion** in Form der sogenannten Brain-Computer-Interface-Technologie (BCI) hat sich aber auch jenseits von Spekulationen über Human Enhancement bereits in alltagstauglichen Nutzanwendungen realisiert. Hinsichtlich ihrer Wirksamkeit nicht unumstritten, aber bereits relativ weit verbreitet sind nichtmedizinische Anwendungen des sog. Neurofeedback, einer Sonderform des Biofeedback. Ziel des Neurofeedback ist es, dass der Nutzer die eigene Gehirnaktivität beeinflussen kann, indem mittels EEG diese Aktivität erfasst und in Form von akustischen oder visuellen Signalen sofort („in real-time“) rückgemeldet wird. Neurofeedback-Anwendungen spielen im Lernbereich seit längerer Zeit eine gewisse Rolle. Im Sportbereich wird Neurofeedback mit dem Ziel genutzt, die mentale Selbstkontrolle der Sportler zu verbessern.

Direkt hirnaktivitätsbasierte Steuerungstechnologien spielen derzeit bei der Entwicklung von **Computerspielen** eine gewisse Rolle, aber das Wissen zu den aktuellen Möglichkeiten ist – auch aufgrund des Schutzes des geistigen Eigentums seitens der Hersteller von Unterhaltungselektronik in diesem Bereich – äußerst lückenhaft (und zudem zum Teil widersprüchlich). Es besteht eine zwar noch überschaubare, aber durchaus schon über einige öffentliche Projektfördermittel verfügende, sich in Fachworkshops zusammenfindende und auch in Deutschland verankerte Community von Wissenschaftlern, die an der Entwicklung von BCI-Technologien für Computerspiele arbeitet oder sich für diese interessiert. Wie z.T. die BCI-Forschung allgemein, leidet das Feld aber unter oft reißerischer Medienberichterstattung, einem Mangel an begutachteten Zeitschriftenartikeln und auch unter der Neigung zu Übertreibungen bei einigen Forschern. Trotz der erwähnten Bedenken und Unklarheiten sowie des derzeitigen Status als Nischenanwendung sieht eine erhebliche Zahl von seriösen Forschern, gerade auch in Deutschland, die Nutzung im Computerspielbereich als ein in der Zukunft potenziell hochrelevantes Anwendungsfeld von Neurotechnologien an.

Wie die Kurzstudie insgesamt zeigt, sind die Neurowissenschaften als Thema in der ITA angekommen und werden in der Breite sowohl durch klassische überblickartige ITA-Studien als auch in der noch laufenden Enhancement-Debatte hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Folgepotentiale diskutiert. Grundsätzlich sind die Neurowissenschaften damit ITA-seitig – zumindest was grundsätzliche Fragen, wie etwa die mögliche kulturelle Bedeutung der Aufklärung der physiologischen Grundlagen mentaler Aktivität, angeht – recht

gut erfasst. Einige der in der vorliegenden Studie angesprochenen einzelnen Anwendungsmöglichkeiten neurowissenschaftlicher Erkenntnisse wären aber durch spezielle ITA-Studien noch systematisch zu untersuchen.

Es scheinen zurzeit, weniger neue fundamentale Einsichten zur Funktionsweise von Gehirn und Nervensystem und der physiologischen Basis mentaler Leistungen und Bewusstseinsvorgänge zu sein, die merkbare Effekte auf gesellschaftliche Praxisfelder zeitigen. Vielmehr lässt sich beobachten, dass technische Methoden und Instrumente, die für die moderne neurowissenschaftliche Forschung kennzeichnend sind und auch Bedeutung für die medizinische Diagnostik und Therapie haben, sozusagen auf dem Wege des „dual use“ für außermedizinische Anwendungen genutzt werden. Das trifft insbesondere auf das Neuroimaging, aber auch (weniger entwickelt) auf das sog. „Neurofeedback“ zu.

Die nichtmedizinischen Anwendungen von Neurotechnologien sind bisher zumeist entweder noch in der experimentellen Phase oder nur in Nischenbereichen relevant. Sie wären daher in ITA-Studien wohl am besten im Rahmen von thematisch umfassenderen Projekten zu untersuchen. Hier böte sich z.B. ein Projekt zu nichtmedizinischen Anwendungen biosignal-basierter Technologien insgesamt an. Weitere sich anbietende Möglichkeiten sind Projekte zu ‚Virtuelle-Realität‘-Technologien und zum Computerspielbereich. Zum Themenfeld Computerspiele und zur nichtmedizinischen Nutzung des Neuroimaging werden in der Kurzstudie jeweils erste Ideen für entsprechende TA-Projekte entwickelt.





# 1 Einleitung

“Among those charged with the administration of human beings, there is a great hunger for scientific-looking accounts that can justify their interventions, as the aura of science imparts legitimacy to their efforts“ Matthew B. Crawford, *The limits of neuro-talk*, 2008

Die Neurowissenschaften haben sich in den vergangenen beiden Jahrzehnten zu einem forschungspolitisch, aber auch öffentlich vielbeachteten multidisziplinären Forschungsfeld entwickelt. Grund hierfür sind zum einen erhebliche Fortschritte in der Aufklärung des Aufbaus und der Funktion des menschlichen Gehirns und Nervensystems, die u.a. zu einer weiteren Aufklärung der Ursachen vieler psychischer Erkrankungen und z.T. auch zu neuen Möglichkeiten der Therapie, z.B. von Schizophrenie und Depressionen, geführt haben. Daneben ließen sich unterstützt durch die Neurowissenschaften auch neue technische Möglichkeiten in der prothetischen Behandlung von Behinderungen oder zur Unterstützung oder Ersatz verlorener Sinnesfunktionen realisieren (z.B. Cochlea-Implantat). Zudem versprechen die bisherigen Forschungsfortschritte für die Zukunft auch neue Optionen für die Behandlung gesundheitspolitisch und -ökonomisch bedeutsamer Volkskrankheiten wie Alzheimer oder anderer im Alter auftretender mentaler Defekte und psychischer Erkrankungen.

Die Fortschritte der Neurowissenschaften sind zum einen durch neue Formen der Zusammenarbeit dynamischer Wissenschaftsfelder wie der Informatik und der Genetik zu erklären, zum anderen durch neue Zugänge zum Forschungsgegenstand, die durch moderne Technologien wie z.B. Hirnscanner eröffnet werden und es erlauben, die hirnhysiologischen Vorgänge, die mentalen Vorgängen zugrunde liegen, direkt in vivo zu beobachten.

Neben den erreichten und für die Zukunft erwarteten (oder erhofften) Fortschritten bei der Diagnose und Therapie von Erkrankungen haben aber auch Reflexionen auf die mögliche kulturelle Bedeutung der naturwissenschaftlichen Aufklärung von Hirnfunktionen – und damit der Grundlagen spezifisch menschlicher mentaler Leistungen des Fühlens, Wahrnehmens, Denkens und Handelns – die Aufmerksamkeit einer breiteren Öffentlichkeit erregt. Insbesondere in Deutschland haben die Fortschritte in der Aufklärung der neuronalen Grundlagen geistiger Vorgänge zu einer heftig geführten Debatte über Fragen wie die Determiniertheit oder Freiheit menschlichen Handelns und Entscheidens und der Status von Ich und Selbsterfahrung geführt, die von einigen Hirnforschern als illusionäre Epiphänomene hirnhysiologisch determinierter Vorgänge aufgefasst werden (Geiger 2004; Hennen et al. 2008). In jüngerer Zeit ist es, angestoßen durch die Debatte um die Konvergenz von Nano-, Info-, Bio- und Neurotechnologien und den zugehörigen Wissenschaften (Coenen 2008), zu Diskussionen um sich eröffnende neue Möglichkeiten technischer Interventionen in Hirn und Nervensystem gekommen. Hier geht es nun nicht alleine um medizinische Optionen, die sich ergeben könnten, sondern es geht vielfach um teils hoch spekulative Prognosen oder Visionen etwa zu neuen Möglichkeiten der Verbindung oder Integration von menschlichem Gehirn und Computertechnologie oder der gezielten pharmakologischen oder sonstigen technischen Erweiterung menschlicher kognitiver und anderer Fähigkeiten über ein normal menschliches Maß hinaus. „Human Enhancement“ ist das Stichwort, unter dem aktuell die Potentiale der Neurowissenschaften nicht nur für die Erforschung und Therapie neurologischer oder psychischer Erkrankungen, sondern auch für die alltagsweltliche Nutzung diskutiert werden.

Im Fokus der TA stehen die Neurowissenschaften erst seit wenigen Jahren. Studien wie die von TA-Swiss zum Neuroimaging und die des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) zur Hirnforschung können als die ersten TA-Studien im engeren Sinne zum Thema bezeichnet werden (Hü-

sing et al. 2006; Hennen et al. 2008). Zu solchen, das Feld der Neurowissenschaften und die möglichen gesellschaftlichen Folgen sondierenden Aktivitäten können auch Bemühungen um die Organisation eines interdisziplinären Diskurses über die gesellschaftlich Bedeutung der Neurowissenschaften gezählt werden (z.B. King Baudouin Foundation/ Rathenau Institute 2005). Daneben sind in jüngerer Zeit spezifischere Studien getreten, die insbesondere durch die Diskussion um Converging Technologies (Berloznik et al. 2006; Coenen 2008) und das „Human Enhancement“ (Merkel et al. 2007; Coenen et al. 2009) angestoßen wurden.

Kennzeichnend für diese Studien ist die Befassung mit aktuell für medizinische Zwecke entwickelten pharmakologischen Interventionen (zur Behandlung von psychischen Erkrankungen) oder von Technologien (etwa zum Ersatz für menschliche Sinnesorgane), wobei diese auf möglicherweise induzierte Optionen für den nichtmedizinischen Gebrauch zur Verstärkung oder Verbesserung menschlicher kognitiver Leistungen oder sonstiger nichtmedizinisch motivierter Interventionen in psychische Wahrnehmung und Empfindung (beispielsweise zur gezielten Unterdrückung unangenehmer Stimmungslagen) hin diskutiert werden. Es geht diesen Studien neben der Reflexion auf die ethische Vertretbarkeit von „Enhancement“ im Wesentlichen darum, zunächst einmal das Feld des technisch Möglichen abzustecken, d.h. kursierende hochfliegende Visionen über „Enhancement“ gegen die aktuell tatsächlich stattfindende Forschung und die kurz- bis mittelfristig wahrscheinlich erscheinenden Möglichkeiten des „Hirndopings“ und anderer Formen der Leistungssteigerung zu spiegeln.

Der oft hoch spekulative Charakter der diskutierten, potentiellen Enhancement-Technologien stellt dabei auch ein zentrales Problem der Identifizierung und Diskussion gesellschaftlicher Folgen und ethischer Probleme dar. Es besteht die Gefahr, eine umfassende Diskussion um das Normative anzuzetteln, bevor das Faktische („Was ist eigentlich technisch realistischerweise möglich?“) hinreichend klar ist. Bei aller Notwendigkeit antizipierender ethischer Reflexion wird vor dem Abdriften in „spekulative Ethik“ gewarnt (Nordmann, Rip 2009), die der Science Fiction und den technophilen Visionen, die in der Debatte insbesondere von sog. „Transhumanisten“ propagiert werden (Coenen et al. 2010), zu viel Ehre angedeihen lässt. Als ein möglicher Weg erscheint hier die genauere Untersuchung der bereits an Tieren erprobten oder regelmäßig praktizierten Enhancement-Verfahren, wobei sich aber verschiedene Probleme beim Vergleich stellen (Ferrari et al. 2010).

Noch am ehesten scheinen Möglichkeiten des Enhancement im Sinne eines „Hirn-Dopings“ durch den Einsatz neuer medikamentöser Interventionen in neuronale Prozesse, kurzfristig eine praktische Rolle spielen zu können. Hierzu läuft derzeit eine TA-Studie des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (<http://www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u141.html>). Weitere relevante Studien wurden z.B. durch die Europäische Akademie Bad Neuenahr durchgeführt (<http://www.ea-aw.de/die-europaeische-akademie/mitarbeiter/thorsten-galert.html#c177>). In einer weiteren laufenden Studie, die im Auftrag der TA-Einrichtung des europäischen Parlamentes durchgeführt wird, spielt ebenfalls die Möglichkeit des Enhancement durch die Nutzung der Fortschritte der Neurowissenschaften eine Rolle (<http://www.rathenau.nl/themas/project/making-perfect-life.html>). Gleiches gilt für ein neues EU-Projekt im Rahmen des Siebten Forschungsrahmenprogramms: Das im November 2011 gestartete Projekt „Ethics in Public Policy-Making: The Case of Human Enhancement“ befasst sich mit der Rolle von Ethik in der Politikberatung zu kontroversen naturwissenschaftlich-technischen Entwicklungen und in deren Governance, wobei das Thema „Human Enhancement“ und dabei speziell auch vertiefend das sog. „Cognitive Enhancement“ beispielhaft untersucht werden.

#### **Bildgebende Verfahren**

Bildgebende Verfahren – wie als bekanntestes z.B. die Computertomographie – spielen für die klinische Diagnostik in vielen medizinischen Feldern seit geraumer Zeit eine wichtige Rolle. Während bildgebende Verfahren für die Neurochirurgie (etwa bei der Identifikation von Hirntumoren) von großer praktischer

Bedeutung sind, steckt die Nutzung des „Neuroimaging“ in der medizinischen, psychologischen und psychiatrischen Diagnostik noch in den Anfängen, weil derzeit der Stand der Forschung noch keine Individualdiagnostik erlaubt, sondern Aussagen über das Vorliegen relevanter Abweichungen von Hirnstrukturen nur auf der Basis aufwändiger Vergleiche über eine größere Anzahl von Probanden hinweg möglich sind. Dagegen haben sich bildgebende Verfahren recht schnell zu einem mittlerweile unentbehrlichen Werkzeug der neurowissenschaftlichen Grundlagenforschung entwickelt. Relevant für die neurowissenschaftliche Forschung sind insbesondere die Positronen-Emissions-Tomographie (PET), die Magnetresonanztomographie (MRT) und die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) sowie das Elektroenzephalogramm (EEG) (Vogeley 2005; Hüsing et al. 2006).

Allen diesen Verfahren gemein ist, dass sie Bilder des tätigen Gehirns liefern, die nicht direkt (etwa über eine Kamera) erzeugt, sondern indirekt über Messwerte gewonnen werden, die computergestützt in Bilder übersetzt werden.

Bei dem ältesten Verfahren, dem EEG, wird die elektrische Aktivität des Gehirns (mittels auf der Kopfhaut applizierter) Sensoren aufgezeichnet und verstärkt. Es lassen sich so topographische Aussagen zur regionalen Aktivität der Großhirnrinde gewinnen. Dieses bereits in den 1920er Jahren entwickelte Verfahren ist mithilfe neuer Computertechnologie zum so genannten „brain mapping“ weiterentwickelt worden, wobei die aufgezeichnete Aktivität in Hirnkarten sichtbar gemacht wird. Das Verfahren hat eine im Vergleich zu den anderen bildgebenden Verfahren relativ geringe räumliche Auflösung, erlaubt aber eine Verfolgung und Abbildung der Hirnaktivität im Zeitverlauf. Zudem kann als Vorteil des Verfahrens gelten, dass seine Anwendung ohne Einwirkung auf das Gehirn von außen geschieht. Eine neuere Weiterentwicklung des EEG, das MEG (Magnetenzephalogramm), erlaubt Aussagen über die Tiefe, in der die gemessene Aktivität stattfindet.

Bei der PET werden Stoffwechselaktivitäten im Gehirn durch die Messung des radioaktiven Zerfalls einer den Probanden verabreichten radioaktiven Markersubstanz aufgezeichnet. Auch hier ist die räumliche Auflösung relativ gering (mehrere Millimeter). Die zeitliche Auflösung beträgt ca. eine Minute. Für die Anwendung gelten besondere Sicherheitsregeln, u.a. werden keine Substanzen eingesetzt, die sich im Körper ansammeln können.

Die MRT dient nicht (wie die anderen genannten Verfahren) der Untersuchung von Hirnfunktionen, sondern der Untersuchung des Aufbaus des Gehirns. Dabei werden Signale aufgezeichnet, die im Körper durch ein starkes Magnetfeld (das ca. 50.000-Fache des natürlichen Magnetfeldes der Erde) in Kombination mit Radiowellen erzeugt werden. Aus diesen Signalen, die auf der unterschiedlichen Anregung von Wasserstoffatomen im Gewebe durch das Magnetfeld beruhen, lassen sich detaillierte Bilder des untersuchten Gewebes gewinnen.

Von aktuell größter Bedeutung für die Neurowissenschaften ist die Weiterentwicklung der MRT zur funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT). Das Messprinzip ist das gleiche wie bei der MRT, allerdings wird die Reaktion des Hämoglobins (nicht der Wasserstoffkerne) auf das Magnetfeld erhoben. Damit wird die Verteilung von sauerstoffbeladenem Hämoglobin und solchem ohne Sauerstoff im Gehirn aufgezeichnet und aktive Hirnbereiche (d.h. solche, die aktuell mit viel Sauerstoff versorgt werden) können lokalisiert werden. Die fMRT erlaubt es, kognitive Funktionen mit einer räumlichen Auflösung von 1 Millimeter und einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde zu erfassen.

Wegen seiner Genauigkeit ist die fMRT das aktuell präferierte Verfahren. Es liegt eine unübersehbare Vielzahl von Studien vor, die Hirnfunktionen unter gesunden und pathologischen Bedingungen kartieren. Während MRT und fMRT jeweils eine genaue Lokalisierung von Hirnaktivitäten möglich machen, sind das EEG und seine Weiterentwicklungen für die Beobachtung von Prozessabläufen im Gehirn interessant. Die Kombination der verschiedenen Verfahren ermöglicht die Untersuchung des Gehirns auf verschiedenen räumlichen Ebenen, von der Gesamtanatomie bis hin zu Genen und Molekülen (Hüsing et al. 2006).

Im Folgenden soll nun weder eine weitere Diskussion der Perspektiven der Aufklärung von Gehirnfunktionen und der möglichen grundsätzlichen Folgen für unser kulturelles Selbstverständnis noch eine weitere vertiefte Diskussion des ‚Enhancement-Themas‘ geführt werden. In der vorliegenden Studie sind auftrags-

gemäß nichtmedizinische Anwendungen zu untersuchen, die sich aus den Neurowissenschaften ergeben oder ergeben könnten. Die Studie setzt demnach nicht eigentlich technologiebezogen an, sondern sondiert hauptsächlich Anwendungsfelder, in denen ein aktueller Nutzen neurowissenschaftlichen Wissens postuliert wird oder sich gar Praxisfelder aktuell zu etablieren beginnen, die bisher in der laufenden TA-Diskussion relativ wenig beachtet worden sind. Dabei geht es zum einen um Anwendungen, die sich aus der Nutzung des zentralen Forschungsinstrumentes der Neurowissenschaften für nichtmedizinische Zwecke (Neuromarketing und Justiz), dem „Neuroimaging“, ergeben und zum anderen um mögliche Effekte der Neurowissenschaften auf die verbesserte Organisation von Lernsituationen und die Verbesserung von Lernleistungen. In die Diskussion um letztere Thematik spielen Vorstellungen des Enhancement mit hinein. Erwartungen verbesserter Lernleistungen werden aber auch unabhängig hiervon diskutiert. Die Thematisierung des Feldes „Mensch-Maschine-Interaktion“ fokussiert ebenfalls, jenseits der im Feld verbreiteten visionären Vorstellungen von Enhancement, auf aktuelle oder sich in kurzfristiger Hinsicht abzeichnende Nutzungsmöglichkeiten, insbesondere im Computerspielbereich.

An die Skizze des Standes der Diskussion zu den ausgewählten Anwendungsfeldern schließt sich ein kurzer Überblick über die Folgendimensionen an, die bei der Befassung mit den Neurowissenschaften in der TA derzeit generell diskutiert werden. Dabei wird dann auch die Enhancement-Debatte etwas ausführlicher berücksichtigt, u.a. weil sie derzeit in der TA wie auch in der sog. neuroethischen Diskussion erhebliche Aufmerksamkeit erfährt. Im Schlusskapitel wird versucht, Schlussfolgerungen für weiteren TA-Bedarf zu ziehen.

## 2 Ausgewählte Anwendungsfelder der Neurowissenschaften

### 2.1 Neurowissenschaften und Lernen

Die Fortschritte der neurowissenschaftlichen Erforschung von Hirnfunktionen haben u.a. auch die Hoffnung geweckt, dass sie Möglichkeiten zur Verbesserung individueller Lernleistungen eröffnen und zur Entwicklung von auf die Funktion des menschlichen Hirns (z.B. des Gedächtnisses) hin optimierten Lernprogrammen bzw. einer entsprechend verbesserten Methodik und Didaktik führen könnten. Daneben wurden auch bis in die allgemeine Öffentlichkeit hinein direkte technische oder pharmakologische Interventionen diskutiert, die z.B. die Konzentrations- und die Merkfähigkeit verbessern sollen. In Bezug auf Lernen geht es also zum einen um die Nutzung des besseren hirnpfysiologischen Verständnisses von Lernprozessen als Unterstützung der pädagogischen Praxis, und zum anderen um die direkte Intervention in die Physiologie des Gehirns.

#### 2.1.1 Lernforschung/ Pädagogische Praxis

Was den ersteren Komplex angeht, die Bedeutung der Neurowissenschaften für die Lernforschung und Praxis, sind TA-Studien im engeren Sinne bisher wenig mit dem Thema befasst gewesen. Einzig die Studie des TAB „Einblicke und Eingriffe in das Gehirn“ hat die Frage der Bedeutung der Neurowissenschaften für die Lernforschung und die Pädagogik explizit aufgegriffen. Das niederländische Rathenau-Institut hat in einer Aufsatzsammlung zum Thema „Human Enhancement“ einen Überblicksartikel „The Potential of Cognitive Neuroscience Research for Education“ aufgenommen (Geake 2008). Die Studie von TA-Swiss zum „Impact of Neuroimaging“ enthält eine kurze Zusammenfassung, der aus der Nutzung neuer bildgebender Verfahren gewonnen Erkenntnisse zu neurophysiologischen Korrelaten des Lernens. (Hüsing et al. 2006).

Dagegen ist das Thema selbstverständlich Gegenstand von Forschung und Diskussion in den Neurowissenschaften selbst sowie in der psychologischen Lernforschung. Seit etwa Ende der achtziger Jahre, zeichnet sich eine stärkere Beachtung neurowissenschaftlicher Forschung in der Lernforschung und Didaktik ab, die von Beginn an mit weitreichenden Erwartungen an eine völlige Neuorientierung der Lernforschung und der Pädagogik durch die neurowissenschaftliche Forschung, aber ebenso mit ausgesprochener Skepsis, was die Relevanz der Neurowissenschaften für die Pädagogik angeht, verbunden war (vgl. Byrnes, Fox 1998). Mittlerweile ist zumindest in Expertenkreisen die „Hype and Hope“-Phase einer eher nüchternen Diskussion gewichen. Wegen des bisher begrenzten praktischen Ertrages der Forschung (s.u.) scheinen auch disziplinäre „Neugründungen“ wie die sog. „Neurodidaktik“ – die sich zum Ziel setzt, aus dem wachsenden Wissen über das „materielle Substrat“ des Lernens, das Gehirn, Schlüsse für die didaktische Aufbereitung und Darbietung von Lerninhalten zu ziehen – bisher ein eher randständiges Dasein zu führen. Als ein Kristallisationspunkt praktischer Zusammenarbeit zwischen Neurowissenschaften einerseits und Lernforschung und Pädagogik andererseits kann z.B. das Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen in Ulm gelten. Das Zentrum versucht z.B. ansetzend an der aus Lernforschung wie auch den Neurowissenschaften belegten Bedeutung von exekutiven Funktionen (etwa Verhaltenshemmung und Selbstregulation) als eine wesentliche Voraussetzung für kontrolliertes Lernen, Programme zu entwickeln, wie diese etwa durch Sport systematisch gefördert werden können (Spitzer, Kubesch o.J.).

Ein Überblick über die vielfältigen nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten und -ergebnisse kann in der vorliegenden Kurzstudie nicht geleistet werden. Allerdings liegen Überblickstudien und Gutachten zum Thema vor, die ein Zwischenfazit zum Stand der Forschung und einen Ausblick zu den in naher Zukunft zu erwartenden Entwicklungen ermöglichen. Das BMBF unterhält seit 2005 im Rahmenpro-

gramm zur Förderung empirischer Bildungsforschung eine Fördermaßnahme „Neurowissenschaften und Lehr- und Lernforschung/ Neurowissenschaften - Instruktionen - Lernen (NIL)“. Erklärtes Ziel dieser Maßnahme ist es, die Grundlagen für eine rationale und effiziente Vermittlung von Wissen im Rahmen institutionalisierter Lerngelegenheiten zu verbessern und eine nachhaltige Verknüpfung von Lehr-Lernforschung und Neurowissenschaften zu bewirken. Neben der TAB-Studie (Hennen et al. 2008) stützen sich die folgenden Aussagen zur Relevanz der Neurowissenschaften für die Lernforschung auf ein umfangreiches Gutachten, das im Auftrag des BMBF als Pilotstudie zum genannten Programm erstellt wurde (Stern et al. 2005).

Das Gutachten weist bedeutende Fortschritte bei der Aufklärung neuronaler hirnphysiologischer Aspekte der Kindheitsentwicklung und bei der Aufklärung von physiologisch bedingten Lerndefiziten auf. Die Bedeutung des bisherigen Standes der Hirnforschung für die praktische Verbesserung von Lernprogrammen und der Lernumgebung („gesunder“ Personen) wird aber als begrenzt eingeschätzt. Im Einzelnen würden Erkenntnisse der Lernpsychologie durch die Neurowissenschaften bestätigt, neue bahnbrechende praktische Implikationen gebe es aber nicht und wären auch für die Zukunft kaum zu erwarten. Lernen beim Menschen ist anders als in den vielfach vorliegenden Tierversuchen zum Reiz-Reaktionslernen ein symbolvermittelter Vorgang, bei dem es um Erfassen neuer und Reorganisation vorhandener Wissensinhalte geht.

Die Hirnforschung hat durch die Nutzung neuer bildgebender Verfahren (s. zu diesen auch den Kasten in der Einleitung, S. 178) durchaus Erkenntnisse zu den an Lernprozessen beteiligten Hirnarealen gewinnen können (vgl. Hüsing et al. 2006, S. 134ff.). Grundsätzlich von Bedeutung ist z.B. die durch das „Neuroimaging“ gestützte Annahme einer anhaltenden Plastizität des Gehirns und der sich daraus ergebenden Lernfähigkeit bis ins hohe Alter. Im Einzelnen ist beispielsweise die Bedeutung des für Emotionen zuständigen limbischen Systems für das Lernen belegt, ebenso dass das Frontalhirn für die für erfolgreiches Lernen nötige Fokussierung und Konzentration auf eine Aufgabe verantwortlich ist. Die Neurowissenschaften tragen auch wesentlich zu einem besseren Verständnis physiologischer Ursachen kognitiver Leistungsstörungen und Entwicklungsstörungen bei. Desgleichen sind hierfür bildgebende Verfahren, die es ermöglichen, die bei bestimmten Leistungen normalerweise aktiven Hirnareale zu lokalisieren, ein wichtiges Instrument. Lernforschung und Kognitionswissenschaft können von den Neurowissenschaften außerdem bei der Abklärung verschiedener Hypothesen zu Lernvorgängen oder etwa von theoretischen Modellen z.B. des Arbeitsgedächtnisses und seiner Funktion unterstützt werden. Lernprozesse lassen sich ebenfalls direkt physiologisch als Abnahme des Aktivierungslevels der an bestimmten kognitiven Prozessen beteiligten neuronalen Areale zeigen. Personen mit der größten Leistungssteigerung zeigen offenbar bedingt durch eine gesteigerte Effizienz der beteiligten neuronalen Netze die größte Aktivierungsabnahme. Solche an kurzen automatisierten Lernprozessen gewonnen Einsichten, sind aber noch daraufhin zu überprüfen, inwieweit sie auch für komplexe langfristige (schulische) Lernprozesse relevant sind, ebenso wie daraufhin ob Lernerfolg möglicherweise auf diesem Weg messbar wäre. Eine Einschränkung des Nutzens bildgebender Verfahren ergibt sich daraus, dass sie kaum zur Untersuchung von langfristigen komplexen Lernprozessen eingesetzt werden können – zum einen wegen hoher Strahlenbelastung und zum anderen wegen des Umstands, dass sie nicht in der natürlichen Lernumgebung, sondern nur in einer künstlichen Laborsituation angewandt werden können.

Dass Erkenntnisse der Hirnforschung bereits bekannte und bewährte Einsichten aus der psychologischen Lernforschung und der Pädagogik bisher im Wesentlichen bestätigen, wird auch von führenden Hirnforschern wie Gerhard Roth gesehen (Becker, Roth 2004). Die Hirnforschung kann zeigen, warum etwas funktioniert. Ergebnisse aus der behavioristischen Lernforschung an Tieren, die zeigen welche Hirnareale bei Lernprozessen nach dem Reiz-Reaktions-Schema aktiv sind und miteinander interagieren, können neuronale Korrelate für etwa das lernverstärkende Prinzip der Belohnung zeigen. Solche Erkenntnisse sind durchaus auf menschliches Reiz-Reaktions-Lernen übertragbar. Hirnphysiologische Mechanismen, „die Lebewesen dazu bringen, Verhalten, das positive Konsequenzen hat, zu wiederholen, und Verhalten das

negative Konsequenzen hat, zu vermeiden, dürften bei Tieren und Menschen in ähnlicher Weise ablaufen.“ (Stern et al. 2005, S. 111). Solche Erkenntnisse sind aber nur von sehr begrenzter Bedeutung für das Verständnis komplexen, symbolischen, an Sprache gebundenen Lernens von Wissensinhalten. Lernen ist hier nicht auf assoziatives Lernen beschränkt, sondern impliziert die Fähigkeit aus vorhandenen Wissensinhalten neue Einsichten und Erkenntnisse durch Neuverknüpfung aktiv zu generieren. Lernen mittels eines symbolischen Systems, wie der Sprache, erlaubt es, Wissensinhalte zu generieren, die über empirische sinnliche Erfahrung hinausgehen. Die hirnhysiologischen Grundlagen solcher Lernprozesse sind bisher weitgehend unverstanden.

Die Mehrzahl der Lernforscher sieht denn auch eine eher eingeschränkte praktische Bedeutung von Ergebnissen der Neurowissenschaften für die Gestaltung von Lernprogrammen (Stern et al. 2005; Schumacher 2007). Allgemein anerkannte Prinzipien und Rahmenbedingungen einer lernförderlichen Gestaltung von Unterricht werden von der Hirnforschung gestützt, etwa zur praktischen Unterstützung der Aneignung von Lerninhalten, zur Wichtigkeit bereichsspezifischen Vorwissens, zur Variation von Anwendungskontexten des Erlernten und zu emotionalen Aspekten des Lernens. Da die Gestaltung von Lernen im Wesentlichen die Darbietung, Strukturierung etc. von Inhalten und Bedeutung umfasst und die Aufklärung der neuronalen Kodierung von Wissen allenfalls in den Anfängen steckt, bleibt der Beitrag der Neurowissenschaften aber begrenzt und wird es wohl auch auf lange Sicht bleiben. Ein direkter Beitrag der Neurowissenschaften ist allenfalls, bei der Aufklärung physiologischer Ursachen für Lernschwächen zu erwarten. So konnten etwa für mit einer bestimmten Form der Lese-Rechtschreibschwäche verbundene Probleme, die Lautstruktur von Sprache zu segmentieren, hirnhysiologische Korrelate gefunden werden (Goswami 2003). Bisher ist aber die praktische Bedeutung auch solcher wichtigen Erkenntnisse der Neurowissenschaften begrenzt.

Welche Aktivitäten genau im Gehirn ablaufen bevor es zu einem entsprechendem Lernerfolg kommt, gehört zu den nach wie vor zu klärenden Fragen. Wenn neuronale Voraussetzungen fehlen, bleiben bewährte Lernumgebungen wirkungslos. Wenn keine Lerngelegenheiten zur Verfügung stehen, bleiben Menschen inkompetent. Die meisten Ursachen für Lernschwierigkeiten liegen zwischen diesen beiden Extremen und lassen sich mit der Lerngeschichte erklären. Hier hilft der Blick in die Neurophysiologie des Gehirns allein nicht weiter, selbst wenn es dereinst gelänge, die fehlenden neuronalen Verbindungen zu identifizieren. Um Menschen mit einer gescheiterten Lernkarriere eine neue Chance zu geben, müsste das ihnen fehlende Wissen möglichst genau beschrieben werden. Daneben müssten für sie Lernumgebungen geschaffen werden, welche den Erwerb des fehlenden Wissens ermöglichen.

Trotz erheblicher Fortschritte im Verständnis der physiologischen Grundlagen von Gedächtnisleistungen und Lernvorgängen lässt sich von einer Revolutionierung von Methodik und Didaktik durch die Neurowissenschaften bisher offensichtlich nicht sprechen. Es lassen sich Lernprobleme heute im Einzelfall – beim Vorliegen bestimmter physiologischer Bedingungen – neurowissenschaftlich erklären (z.B. durch eine physiologisch bedingte defizitäre Ausschüttung von Dopamin<sup>144</sup>). Außerdem lässt sich feststellen, welcher Teil des Gehirns bei der Bewältigung einer Aufgabe aktiviert wird, was im Einzelfall Rückschlüsse auf die Wirkung der vorliegenden Lernsituation und eine gezielte Modifikation der Aufgabenstellung (zur Erleichterung des Lernens) ermöglicht. Die Lernpsychologie und die Pädagogik werden aber nach wie vor insbesondere auf verhaltenswissenschaftliche Methoden und Erkenntnisse in der Forschung wie auch in der Lernpraxis angewiesen sein. Unterschiede in der Lernfähigkeit von Personen sind überwiegend auf Unterschiede in der Erfahrungs- und Lerngeschichte zurückzuführen. Konzepte zur Entwicklung geeigneter Lernverfahren und Methoden werden an dieser Geschichte d.h. letztlich dem mitgebrachten Vorwissen und der durch die individuelle Geschichte bedingten Lernwilligkeit oder Motivation anknüpfen müssen. Die Exploration von bestehenden Lernvoraussetzungen wie auch die Entwicklung hierauf abgestimmter methodisch-didaktischer Konzepte sind auf die Kommunikation und Beobachtung der Person angewiesen. Dass

---

<sup>144</sup> Im Volksmund auch „Glückshormon“ genannt.

Vorgänge des Lernens und Begreifens letztlich auf der physiologischen Ebene in unserem Gehirn realisiert werden, heißt nicht, dass sich diese, durch die Verarbeitung symbolisch codierter Bedeutung, charakterisierte Vorgänge neurobiologisch erklären lassen. Letztlich sind auch für die Erforschung der Anteile der biologischen Faktoren, die für Lernerfolg und Misserfolg herangezogen werden können, naturwissenschaftliche Methoden allein nicht ausreichend. Ob eine physiologische Auffälligkeit des Gehirns für Lernprobleme (oder besonderen Lernerfolg) verantwortlich ist, muss durch verhaltenswissenschaftliche Methoden – d.h. Methoden, die auf ein Verstehen von Sinn (Äußerungen und Handeln der Person) abzielen – festgestellt werden. Neurophysiologische Messungen werden erst durch die Heranziehung psychologischer Konzepte von Aufmerksamkeit, Motivation etc. umfassend interpretierbar.

Die Frage, welchen Beitrag die neurowissenschaftliche Forschung mittel- und langfristig zur Optimierung von Lernprozessen und der individuellen Lernleistung beitragen kann, ist somit zurzeit kaum seriös zu beantworten. Die unterstützende Funktion, die die neurowissenschaftlichen Erkenntnisse für die psychologische Lernforschung haben, kann – neben der Grundlagenforschung – als hinreichende Legitimation für das Forschungsfeld gelten. Weitergehende Erwartungen gar einer „neurowissenschaftlichen Revolution“ des Lernens bleiben reine Spekulation. Dass TA-Aktivitäten zu diesem Thema bisher kaum zu verzeichnen sind, ist sicherlich mit der bisher begrenzten lernpraktischen Bedeutung der „Neurodidaktik“ zu erklären.

### 2.1.2 Hirndoping/ Technische Interventionen

Anders stellt sich die Situation hinsichtlich pharmakologischer und technischer Verbesserungsmöglichkeiten von kognitiven Leistungen und Lernen dar. Das Thema ist in einigen TA-Studien zu den gesellschaftlichen Implikationen der Neurowissenschaften aufgegriffen worden (Hennen et al. 2008; Merkel et al. 2008). Vor allem aber spielt das Thema „Hirndoping“ in der kurzen, aber doch intensiven Befassung der TA mit dem Thema des „Human Enhancement“ eine zentrale Rolle und wird auch in einigen aktuell noch laufenden Studien thematisiert (Zonnefeld et al. 2008; Hennen et al. 2008; Merkel et al. 2007; Coenen et al. 2009). Die Nutzung von ursprünglich für medizinische Zwecke entwickelten Wirkstoffen zur pharmazeutischen Beeinflussung von Hirnvorgängen zum Zwecke des „Enhancement“ wird für verschiedene Anwendungsfelder diskutiert – so etwa zur Verbesserung der Stressbewältigung oder der Vigilanz<sup>145</sup> bei bestimmten Berufsgruppen (Piloten etc.) oder auch zur Beeinflussung von emotionalen Stimmungslagen. Die Diskussionen und TA-Aktivitäten zum Thema „Human Enhancement“ sollen im Folgenden kurz unter dem Gesichtspunkt der potentiellen Bedeutung für schulisches und außerschulisches Lernen skizziert werden.

Bekannt und viel zitiert in der Debatte ist die mittlerweile weit verbreitete Nutzung des für Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung(ADHS)-Patienten entwickelten Medikamentes „Ritalin“ durch Studenten (vorwiegend in den USA), um ihre Leistungsfähigkeit in Prüfungssituationen zu verbessern (Coenen et al. 2009, S. 80ff.). Der in Ritalin enthaltene, zur Gruppe der Amphetamine gehörende Wirkstoff Methylphenidat steigert Aufmerksamkeit, Konzentration und Durchhaltevermögen. Der Wirkstoff wird illegal auch unter dem Namen Speed verkauft. Neben dem Problem des Missbrauches als Hirndopingmittel wird in TA-Studien auch die Problematik einer zunehmenden Medikalisierung diskutiert, etwa von Aufmerksamkeits- und Konzentrationsschwächen bei Kindern, die bis dato als normal und der kindlichen Entwicklung entsprechend angesehen wurden. In allen westlichen Ländern hat die Nutzung von Ritalin enorm zugenommen.

Ob Methylphenidat und ähnlich wirkende Amphetamine tatsächlich die Leistung in Prüfungssituationen verbessern, ist aber durchaus nicht belegt. Vorliegende klinische Studien zeigen widersprüchliche Ergebnisse. In manchen Studien schneiden Probanden, die das Mittel eingenommen haben, sogar schlechter ab als nicht „gedopte“ Personen. Methylphenidat steigert jedoch nicht nur die Aufmerksamkeit, sondern auch

<sup>145</sup> In der Psychologie und Psychologie bezeichnet Vigilanz Zustände der Daueraufmerksamkeit oder Wachheit.



die Impulsivität, was offenbar dazu führt, dass manche Testpersonen sich selbst überschätzten und die im Test gestellten Aufgaben voreilig oder oberflächlich bearbeiteten.

Mittlerweile sind weitere Mittel, die die Regulierung von Botenstoffen im Gehirn beeinflussen und zur Entwicklung von neurodegenerativen Erkrankungen entwickelt worden sind, zur Liste potentieller Hirndopingmittel hinzugekommen (vgl. Franke, Lieb 2010). Präparate, die den Botenstoff Dopamin enthalten, werden zur Behandlung von Parkinson-Patienten zur Verminderung motorischer Störungen und von Schlaganfallpatienten zur Unterstützung des Wiederaufbaus des Arbeitsgedächtnisses genutzt. Dopamin besitzt auch für das Lernen eine wichtige Funktion, weil es durch das interne Belohnungssystem des Gehirns verstärkende Reize hervorruft. Untersuchungen an Testpersonen konnten zeigen, dass Dopamin das Lernen und Behalten von Vokabeln unterstützt (Knecht et al. 2004). Fraglich bleibt, ob auch über das assoziative Lernen hinausgehende komplexere Prozesse des verstehenden Lernens durch eine Erhöhung des Dopaminspiegels im Gehirn unterstützt werden können. Zu bedenken gegeben wird, dass Dopamin den Aktivierungszustand des Gehirns unspezifisch erhöht und die erhöhte Assoziationsfähigkeit zu einer unregulierten Aufnahme und Speicherung von irrelevanten Informationen führen kann, während es bei verstehendem Lernen gerade auf die richtige Auswahl und Verknüpfung von Informationen ankommt. Donepezil, das den Acetylcholinpiegel im Gehirn beeinflusst, wird zur Behandlung von Alzheimer eingesetzt, da der Abbau der Gedächtnisleistung auf den im Alter sinkenden Acetylcholinpiegel zurückgeführt wird. Acetylcholin wird im Gehirn in Phasen erhöhter Aufmerksamkeit ausgeschüttet. Untersuchungen zur Verbesserung der Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit bei gesunden Personen erbrachten bisher keine eindeutigen Ergebnisse. Es zeigt sich in einigen Studien, eine leichte Verbesserung der Merkfähigkeit, die mit positiven Effekten auf die Aufmerksamkeit erklärt werden kann, aber den durch Nikotin erzeugten Effekt nicht übersteigt. In anderen Untersuchungen zeigten sich gegenteilige Effekte: Versuchspersonen mit Donepezil schnitten in Aufmerksamkeitstests schlechter ab als die Kontrollgruppe. Untersuchungen zum Einsatz des zur Behandlung von Schlafstörungen genutzten Wirkstoffes Modafinil bei gesunden Personen zur Verbesserung der Aufmerksamkeit, zeigen ähnlich widersprüchliche Ergebnisse.

Insgesamt kann somit derzeit nicht von einer wissenschaftlich belegten, erfolgreichen pharmakologischen Intervention in das Gehirn zur Steigerung kognitiver Leistungen oder gar der Verbesserung langfristiger Lernprozesse gesprochen werden. Neben den unklaren oder geringfügigen Effekten wird gegen die Annahme einer zukünftig weitverbreiteten Nutzung der Mittel zum Alltagsdoping auf die zum Teil erheblichen Nebenwirkungen hingewiesen.

Als Möglichkeiten der technischen Intervention zur Verbesserung von Lernleistungen sind die Transkranielle Magnetische Stimulation (TMS) und die Methode des „Neurofeedback“ in der Diskussion (vgl. Hennen et al. 2008; Hüsing et al. 2006). Es ist bekannt, dass hochfrequente TMS-Impulse auf den frontalen Kortex zur Stimmungsaufhellung führen können, was die Methode interessant für die Behandlung von Depressionen erscheinen lässt. Darüber hinaus konnten kurzfristige Einflüsse auf die kognitive Leistungsfähigkeit (z.B. räumliches Vorstellungsvermögen) experimentell gezeigt werden (Hüsing et al. 2006). Einige Studien zur Möglichkeit der Steuerung kognitiver Leistungen durch „Neurofeedback“, scheinen auf die Möglichkeit einer selbstgesteuerten Verbesserung der Konzentrationsfähigkeit hinzuweisen. Beim Neurofeedback wird die eigene Gehirnaktivität beeinflusst, indem Gehirnaktivität kontinuierlich erfasst und in Form von akustischen oder visuellen Signalen rückgemeldet wird. Die Technologien werden auch bei Aufmerksamkeits- und Hyperaktivitätsstörungen genutzt – um die betroffene Person darauf zu trainieren, beim Auftreten bestimmter Störungsmuster durch Selbstregulation normale Aktivierungsmuster herzustellen –, und sie finden auch in anderen Bereichen Anwendung. Inwieweit hiermit die Möglichkeit einer unspezifischen Steigerung kognitiver Leistungen und der Lernfähigkeit besteht, ist unzureichend untersucht. Trotz der wissenschaftlich nicht belegten Wirksamkeit der Methode, scheint sie auf reges Interesse zu stoßen und wird vereinzelt bereits kommerziell zur Nutzung für die Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit angeboten. (<http://openeeg.sourceforge.net/doc/>). Auch in Deutschland wird die Methode über die

Behandlung von ADHS hinaus mit einer angeblichen „Verbesserung der Hirnleistung bzw. Konzentration zum Beispiel in Sport oder Beruf“ beworben (<http://www.akademie-neurofeedback.de/neurofeedback>).

## 2.2 Neurowissenschaften und Justiz

Da Neurowissenschaften sich zentral mit den physiologischen Grundlagen menschlichen Wahrnehmens, Verhaltens, Kommunizierens, Erinnerens und Fühlens befassen, ist eine Relevanz der Neurowissenschaften für die Justiz und Rechtsprechung in vielfacher Weise vorstellbar. Dies betrifft z.B. die Aspekte der Rekonstruktion von strafrechtlich relevanten Motiven und Verhalten und der unterschiedlichen Sichtweisen von Beteiligten und vor allem die Frage der Schuldhaftigkeit von Handlungen und der Schuldfähigkeit von Akteuren.

Was die Frage der Schuldfähigkeit angeht, berührt die neurowissenschaftliche Grundlagenforschung (etwa in der Untersuchung der hirn-physiologischen Determiniertheit von Handlungen) das Problem des freien Willens. Hierzu hat gerade in Deutschland eine intensive philosophische Diskussion stattgefunden, in denen von Neurowissenschaftlern wie Gerhard Roth eine Revision unserer alltagsweltlichen und strafrechtlichen Konzepte von Schuld gefordert wurde, da die Neurowissenschaften zeigten, dass der freie Wille als eine illusorische Begleiterscheinung des ansonsten neurophysiologisch determinierten menschlichen Handelns aufzufassen sei. Die empirische Untermauerung dieser These muss – wie ein Durchgang durch die Debatte zwischen Neurowissenschaftlern und Philosophen (vgl. z.B. Hennen et al. 2008, S. 64ff.; siehe auch Hüsing et al. 2006, S. 245ff.) zeigt – als bisher nicht gegeben angesehen und als wohl kaum in naher Zukunft (wenn überhaupt) zu lösende Aufgabe an die neurowissenschaftliche Grundlagenforschung zurückadressiert werden. Diese spekulativ-philosophische Thematik kann als – soweit auf dem Stand der aktuellen Forschung möglich – weitgehend aufgearbeitet angesehen werden. Daneben kursieren Vorstellungen einer technischen Intervention in neuronale Prozesse mit potentieller Relevanz für den Bereich der Rechtsprechung, die aber über ein „Man könnte sich vorstellen...“ nicht hinauskommen, so z.B. die gelegentlich in der Debatte um das kognitive Enhancement aufgeworfene Frage nach einer pharmakologisch induzierten Erweiterung menschlicher Erinnerungsfähigkeit, die die Reliabilität von Zeugenaussagen verbessern könnte. Hier kommen ernsthafte Erörterungen der Struktur des menschlichen Gedächtnisses und der Speicherung und Verarbeitung von Erinnerungen zu dem schlichten Schluss, dass in absehbarer Zeit eine künstliche Verbesserung oder Verstärkung des Erinnerungsvermögens von Zeugen wohl kaum möglich sein werde. Was vergessen wurde, ist vergessen, und jegliche Methode der Rekonstruktion aus Erinnerungsfragmenten, sei es durch Befragungstechniken oder künstliche Mittel, ist mit dem Problem einer möglichen Verfälschung von Erinnerung belastet (Wagenaar 2008).

Während also im Falle des „Memory Enhancement“ und der Debatte um den freien Willen wegen des weitgehend spekulativen Charakters eine direkte Einwirkung auf die juristische Praxis zur Zeit und auch in naher Zukunft kaum zu erwarten ist, hat das zentrale technische Hilfsmittel der modernen Neurowissenschaften, das Neuroimaging (s. dazu auch den Kasten in der Einleitung, S. 178), zu Diskussionen auch in juristischen Fachkreisen geführt. In diesen Diskussionen wird der „Hirnschscan“ z.T. als an der Schwelle zur Einführung in den Gerichtssaal als neues technisches Beweismittel angesehen. Mit Neuroimaging-Verfahren wird die Vorstellung verbunden, Zugang zu Strukturen und Prozessen erlangen zu können, die dem Individuum selbst verborgen und damit einer bewussten Steuerung nicht zugänglich, die aber beim Zustandekommen mentaler Prozesse des Denkens und Fühlens und der Steuerung des Verhaltens (vielleicht entscheidend) beteiligt sind. Es kann nicht verwundern, dass die Vorstellung, solche Verfahren im Gerichtssaal einzusetzen, großes Interesse weckt, da es dort ja ganz zentral um die Erkundung der „wahren“ Beweggründe, des Grades der Verantwortlichkeit für eigenes Verhalten und um die Scheidung von Wahrhaftigkeit und Lüge geht. Zudem hat der Einsatz bildgebender Verfahren in den Neurowissenschaften zu einem besseren Verständnis der neurologischen Basis psychischer Störungen, von Sucht und anderer

mentaler Zustände geführt, die von Belang in der Strafverfolgung sind.

Unterschieden werden können im Wesentlichen drei Nutzungsmöglichkeiten von Neuroimaging im juristischen Kontext:

- Die Anwendung zur Feststellung der Schuldfähigkeit oder zum Risiko des Begehens einer Straftat aufgrund einer psychischen Störung.
- Die Anwendung zur Feststellung der Wahrhaftigkeit oder Unwahrhaftigkeit von Zeugenaussagen oder Aussagen des Angeklagten bei der Ermittlung und im Strafprozess.
- Die Nutzung von bildgebenden Verfahren zur Feststellung von psychischen Beeinträchtigungen durch eine Straftat etwa in Schmerzensgeldverfahren.

Während in den USA eine intensive Diskussion bereits seit langem im Gange ist und die vorsichtige Adaption des Neuroimaging für die Feststellung von Schuld und Wahrheit in den amerikanischen Gerichtssälen, bereits begonnen zu haben scheint – zumindest Fälle, in denen Anklage oder Verteidigung die Zulassung von Neuroimaging zur Feststellung der Schuldfähigkeit von Angeklagten beantragt haben, sind aktenkundig (Brown, Murphy 2010) – hat die Debatte in Deutschland die juristische Fachdiskussion noch nicht erreicht (vgl. aber, als Ausnahmen, die knappen Erörterungen in Spranger 2007; Beck 2006). An TA-Untersuchungen im engeren Sinne ist nur die Studie zum Neuroimaging von Hüsing et al. (2006, S. 153ff.) zu nennen, in der sich ein kurzes Kapitel zum Thema findet.

Die Diskussion in den USA um die Nutzung von modernen Verfahren der Neurowissenschaften bei der Strafverfolgung und in der Rechtsprechung kann hingegen durchaus als lebhaft bezeichnet werden. Seit 2007 (bis voraussichtlich 2011) läuft ein von der Mac Arthur Foundation gefördertes, groß angelegtes Forschungsprojekt, „The Law and Neuroscience Project“, an dem ca. 40 Neurowissenschaftler, Juristen und Philosophen aus mehreren amerikanischen Universitäten beteiligt sind<sup>146</sup>. Das Projekt führt seit 2007 (z.T. in Kooperation mit dem National Judicial College) regelmäßig Fortbildungsveranstaltungen für Richter („Neuroscience for Judges“) durch, bei denen es neben der Diskussion genereller juristisch relevanter Einsichten aus den Neurowissenschaften (etwa zur Wirkung von Drogenabhängigkeit) auch um eine Diskussion des Pro und Contra des Einsatzes von Neuroimaging-Verfahren zur gerichtlichen Wahrheitsfindung geht. Im Rahmen des Projekts wurde auch eine fortlaufend aktualisierte Bibliographie zum Thema erstellt (<http://www.lawneuro.org/Resources/Bibliography.aspx>). Sie weist allein für das Jahr 2010 (Stand 20. Oktober 2010) immerhin gut 100 wissenschaftliche Publikationen aus, die dem Thema „Neurowissenschaften und Rechtsprechung“ zuzuordnen sind. Darunter sind auch eher allgemeine Erörterungen z.B. zur Frage des freien Willens oder zu Schuldfähigkeit aufgrund von Hirnschädigungen zu finden. Immerhin aber lassen sich anhand der Titel der Publikationen über 30 Beiträge identifizieren, die sich eindeutig mit der Frage der Auswirkungen neurowissenschaftlicher Erkenntnisse auf die Rechtsprechung befassen.

### 2.2.1 Der Einsatz bildgebender Verfahren zur Feststellung von Schmerz

Die Nutzung von bildgebenden Verfahren im Falle von Schmerzensgeldklagen erfährt erst seit kurzem eine gewisse Aufmerksamkeit in der (amerikanischen) Diskussion um „Neurosciences and the Law“. Wesentlich angeregt wurde die Diskussion durch einen 2009 in Science veröffentlichten Bericht über einen für eine Schmerzensgeldklage erstellten fMRI-Scan. Die von der Vertretung des Klägers angeforderte Computertomographie sollte beweisen, dass ein Chemiarbeiter nach einem Betriebsunfall aufgrund der erlittenen Verbrennungen unter starken chronischen Schmerzen litt. Bevor die Frage zu klären war, ob der Scan vor Gericht als Beweismittel zugelassen werden konnte, kam es zu einer außergerichtlichen Einigung zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer (Miller 2009).

---

<sup>146</sup> Nähere Informationen unter [www.lawneuro.org](http://www.lawneuro.org)

Die Auseinandersetzung mit der Gerichtsverwertbarkeit von Hirnscans zur Feststellung von Schmerzerfahrung kommt insgesamt zu dem Ergebnis, dass der bisherige Stand der Forschung, die Nutzung von Hirnscans in Schmerzensgeldverfahren nicht sinnvoll erscheinen lasse. Dennoch wird vereinzelt die These vertreten, dass gerade wegen der enormen finanziellen Bedeutung von Schmerzensgeldverfahren (etwa bei Arbeitsunfällen, Produkthaftung, ärztlichen Kunstfehlern etc.) die Feststellung von Schmerzerfahrung das Einfallstor von fMRI-Scans in Gerichtsverfahren darstellen könnte. Auch wenn die gewonnen Aussagen unsicher seien, könnten sie doch als willkommenes Hilfsmittel im Gerichtsverfahren angesehen werden (Kolber 2011, S. 14).

Ein Beitrag zum Thema, der im Rahmen einer vom oben genannten „The Law and Neuroscience“ Projekt publizierten Informationsschrift für Richter „A Judge’s Guide to Neuroscience: A Concise Introduction“ erstellt wurde (Fields 2010), kommt zu einer recht kritischen Einschätzung der juristischen Brauchbarkeit von FMRI in Schmerzensgeldverfahren. Es sei zwar theoretisch vorstellbar, dass man ein bestimmtes Muster der Hirnaktivität als Indikator für die Schmerzerfahrung eines Individuums erfassen kann, allerdings: „to my knowledge, no direct experimental test of this approach has yet been carried out“ (Fields 2010, S. 32). Wie auch in anderen Auseinandersetzung mit dem Thema angemerkt wird (Kolber 2011; Goodenough, Tucker 2010), ist zwar Einiges über die neuronalen Korrelate von Schmerzerfahrungen bekannt, aber wegen der hohen individuellen Variabilität von Hirnscans sind die Erkenntnisse kaum geeignet, Aussagen zu Grad und Art von Schmerzerfahrungen im Einzelfall zuzulassen. D.h. die Erkenntnisse zu den mit Schmerzerfahrung korrelierten Hirnaktivitätsmustern lassen es in keinem Fall zu, etwa im Kontext einer Klage wegen chronischer Schmerzen nach einem Arbeitsunfall, wie im oben zitierten Fall, von einem bestimmten im Hirnscan gewonnenen Hirnaktivitätsmuster mit hinreichender Sicherheit auf das Vorhandensein und den Grad von Schmerzerfahrung zu schließen. Auch zeigten Versuche, Schmerzerfahrung sozusagen zu „kalibrieren“, indem man Probanden eine Einordnung unterschiedlicher Schmerzreize auf einer Skale abverlangt, regelmäßig erhebliche subjektive Abweichungen, die eine „Standardisierung“ von Schmerz unmöglich erscheinen lassen. Schmerz ist eine subjektive Erfahrung und es sei bisher auch unklar, in welchem Maße vorgestellter Schmerz die gleichen Aktivitätsmuster wie tatsächlich erfahrener Schmerz hervorrufen kann, womit eine Manipulation von Schmerz-Scans nicht ausgeschlossen werden könne.

Es bleibt festzuhalten, dass es offenbar möglich ist, in einer experimentellen Situation nach Verabreichung eines bestimmten Schmerzreizes (etwa ein Nadelstich) aus dem Muster der Hirnaktivität unmittelbar nach dem Reiz vorherzusagen, dass die Versuchsperson berichten wird, Schmerz erfahren zu haben. Inwiefern und wann sich aus diesen Ansätzen ein gerichtsfestes Verfahren zur Feststellung (chronischer) Schmerzerfahrung herleiten lässt, ist derzeit kaum zu prognostizieren. Auf der einen Seite wird erwartet, dass das Verfahren – schon weil die Validität der Ergebnisse von einer Jury von Laien kaum zu beurteilen sein wird und es daher geeignet erscheint Richter und Jury zu voreiligen Schlüssen zu veranlassen - analog zum Lügendetektor nach „Rule 403“ der „Federal rules of evidence“ als nicht gerichtsverwertbar eingeordnet werden müsse (Miller 2009). Auf der anderen Seite scheint das Thema aber die kleine Gemeinde der Rechtsexperten, die sich damit befassen, zu allen möglichen Spekulationen anzuregen. So etwa reflektiert Prof. Adam Kolber von der Brooklin Law School ungeachtet eigener eher kritischer Einschätzungen der Reliabilität des Verfahrens (Kolber 2011) doch auf der anderen Seite bereits darüber, ob in Zukunft nicht auch das Strafmaß, entsprechend unterschiedlicher subjektiver Verarbeitung von Schmerz- oder Stresserfahrungen vom Richter individuell angepasst bemessen werden müsse (nach Goodenough, Tucker 2010, S. 71).

## 2.2.2 Der Einsatz bildgebender Verfahren zur Feststellung der Schuldfähigkeit

Die amerikanische rechtswissenschaftliche Diskussion zum Einsatz von Neuroimaging zur Ermittlung der Schuldfähigkeit ist von Brown und Murphy (2010) kürzlich in einem umfangreichen Artikel für *Stanford Law Review* aufgearbeitet worden.

Belastbare Aussagen dazu, in wie vielen Fällen Neuroimaging in den USA in Gerichtsverfahren genutzt oder beantragt wurde, sind kaum zu machen. Brown and Murphy (2010, vgl. zum Folgenden: S. 1132f.) berichten von einem Fall, in dem eine Positronen-Emissions-Tomographie (PET) genutzt wurde, um die verminderte Schuldfähigkeit eines Angeklagten zu beweisen. PET zeigte eine Anomalität im Frontallappen, die in Verbindung mit einer starken depressiven Störung gebracht wurde. Der Hirnscan wurde aber offenbar im Verfahren nicht zugelassen. Zurzeit ist eine Recherche des „Law and Neurosciences“-Projekts im Gang, um Fälle zu erfassen, in denen der Einsatz von Neuroimaging in Gerichtsverfahren beantragt oder zugelassen wurde. Es lässt sich dem Artikel von Brown and Murphy bzw. der Website des Projekts bisher aber nichts zur Zahl der Verfahren entnehmen. Die Debatte ist anscheinend aber durchaus lebhaft. Brown und Murphy verweisen außerdem auf einen Artikel in der New York Times, in dem ein Neurowissenschaftler berichtet, dass er wegen der zahlreichen Anfragen von Gerichten von seiner Arbeit als „Forensic Neuroscience Consultant“ leben kann.

In diesem Zusammenhang gehören Überlegungen zum Einsatz insbesondere des technisch anspruchsvolleren fMRT-Verfahrens in der Verhandlung von „Mens-Rea“-Fällen, d.h. wenn die Verteidigung darauf plädiert, dass der Angeklagte nicht schuldig ist, weil er aufgrund einer psychischen Störung oder geistigen Behinderung kein Schuldempfinden für seine Tat haben könne. Bisher kann nur aus dem Verhalten eines Angeklagten auf seine Schuldfähigkeit geschlossen werden. Hirnscans erscheinen hier überlegen, weil von ihnen erhofft wird, die Schuldfähigkeit oder die geistige Störung aus dem Hirn ablesen zu können. In der Diskussion ist laut Brown and Murphy (die jeweils auf Gerichtsverfahren verweisen) der Einsatz von Neuroimaging für die Schmerzfeststellung in Schadensersatzverfahren, für die Feststellung der Notwendigkeit von Sicherungsverwahrung und eben auch bei der Schuldfähigkeitsfeststellung. Beantragt wurde Letzteres in den USA, soweit ersichtlich, bereits bei Verfahren zu Kindesentführung und Mord, aber auch bei Jugendstrafsachen.

Bildgebende Verfahren sind mit einer Reihe von technischen Problemen behaftet, die die Interpretation der Ergebnisse äußerst schwierig machen.

In ihrer Bewertung der Nützlichkeit von insbesondere fMRT-Scans für die Feststellung von Schuldfähigkeit, diskutieren Brown und Murphy (2010) eine Reihe dieser technischen Probleme. Zu diesen zählen z.B. die Schwierigkeiten, das eigentliche Signal – d.h. die Reaktion auf den dem Probanden vorgelegten Reiz – von zahlreichen Störsignalen zu differenzieren, die z.B. durch unwillkürliche Körperbewegungen (wie dem Schlucken) auftreten können.

Als zentralen Schwachpunkt machen sie aber das bisher unzureichende Wissen über individuelle Unterschiede in der hirnphysiologischen Reaktion und Verarbeitung von Reizen aus. In der Hirnforschung besteht das wesentliche Ziel darin, die normale oder durchschnittliche Hirnaktivität zu ermitteln, die einem bestimmten Verhalten (z.B. Aggressivität) oder Empfinden zugrunde liegt. Dazu werden die Ergebnisse aus vielen individuellen Hirnscans gemittelt. Im Gerichtsverfahren kommt es dagegen darauf an, die besondere individuelle Reaktion des Angeklagten oder Zeugen zu ermitteln. Dies ist insofern problematisch als verschiedene Experimente aus der Hirnforschung zeigen, dass individuelle Hirnscans für die gleiche Testsituation oft erheblich von den als Referenz ermittelten Gruppen- oder Durchschnittskarten des Gehirns abweichen können (Brown, Murphy 2010, S. 1152).

Brown und Murphy kommen aufgrund ihrer detaillierten Diskussion der Nutzung von fMRT zur Feststellung von Schuldfähigkeit zu dem Schluss, dass das Verfahren zurzeit wegen der erheblichen Mängel die bestehenden Standards für den Einsatz technischer Verfahren als Beweismittel nicht erfüllt. Es mangle wegen des unzureichenden Verständnisses der Varianz von Messergebnissen an Beweiskraft. Fehlteile auf der Basis von Hirnscanergebnissen seien daher sehr wahrscheinlich.

### 2.2.3 Neuroimaging als „Lügendetektor“

fMRT ist neben der Nutzung zur Feststellung von Schuldfähigkeit auch für die Feststellung der Wahrhaftigkeit von Aussagen in der Diskussion. Der Debatte um die potentielle Nutzbarkeit von Neuroimaging zu diesem Zweck sind die alten Diskussionen um den Lügendetektor vorangegangen. Bekanntlich ist die Validität der durch den Lügendetektor erzielten Ergebnisse umstritten, weshalb er in Europa (und auch speziell in Deutschland) als Beweismittel in Strafverfahren nie zugelassen war. Selbst in den USA hat es nie eine offizielle Zulassung als Beweismittel gegeben, dort ist aber wegen des gelegentlichen Einsatzes durch Strafverfolgungsbehörden die Diskussion nie zu einem Ende gekommen. In der Debatte um den Einsatz von Neuroimaging-Verfahren zum Nachweis von Falschaussagen ist der Verweis auf den klassischen Lügendetektor, den sog. Polygraphen, üblich. In der Regel dient er aber als negative Referenz, da die modernen Verfahren angeblich eine wesentliche Schwäche des Polygraphen nicht aufweisen. Sie sollen „objektiv“ in dem Sinne sein, dass die gemessene Hirnaktivität und damit das gemessene Signal nicht vom Probanden (Verdächtigen) beeinflussbar sind. Ein Verdacht unter dem die Messergebnisse des Polygraphen – der körperliche Indikatoren von Anspannung und Nervosität aufzeichnet (z.B. Blutdruck) – immer gestanden haben. Es wird in den folgenden Aufzeichnungen nicht überprüft werden können, inwieweit diese behauptete „Objektivität“ haltbar ist. Gründe für erhebliche Zweifel daran spielen aber in der Diskussion um die juristische Nutzung des Neuroimaging eine zentrale Rolle. Die Debatte war bereits Gegenstand einer sozialwissenschaftlichen Untersuchung zur sozialen Konstruiertheit der „Objektivität“ der Lügendetektion durch Hirnscans (Littlefield 2009).

Der Vorschlag, fMRT zur Strafverfolgung und im Gerichtsverfahren analog zum Lügendetektor einzusetzen, stützt sich auf eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Versuchen, die die Möglichkeit eines Nachweises der Unwahrhaftigkeit von Aussagen durch Messung der Hirnaktivität mittels fMRT nahelegen (s. z.B. Langleben et al. 2002; Ganis et al. 2003; Spence et al. 2004; Greene, Paxton 2009). Diese verschiedenen Hirnscan-Experimente basieren auf der Annahme, dass Lügen sozusagen „mental anspruchsvoller“ ist als Ehrlichkeit, weil zum einen die Wahrheit willentlich zurückgehalten werden muss und zum anderen in komplexen Situationen wie im Gerichtsverfahren ein konsistentes Gebäude aus Falschaussagen, die nicht mit offensichtlichen Tatsachen kollidieren dürfen, konstruiert und aufrecht erhalten werden muss. In der Tat konnte in wissenschaftlichen Experimenten gezeigt werden, dass bei wissentlichen Falschaussagen im Gegensatz zu einer wahrhaftigen Aussage eine erhöhte Hirnaktivität in den exekutiven, für Planung und Handeln zuständigen Regionen des Präfrontalen Cortex<sup>147</sup> festzustellen ist. Hierauf umstandslos auf eine Brauchbarkeit von fMRT in Strafverfahren, zum Zwecke der Lügendetektion zu schließen, ist aber höchst fragwürdig. Zum einen müssen die technischen Probleme von Hirnscans, die Brown und Murphy (2010) für eine Bewertung des Einsatzes von fMRT für „Mens-Rea“-Verfahren durchgeführt haben, auch für den Zweck der Lügendetektion als relevant angesehen werden (also z.B. Störungen des Signals und eine große Varianz von Ergebnissen zwischen Individuen). Vor allem aber wird in Frage gestellt, ob die in den wissenschaftlichen Experimenten an einfachen Entscheidungssituationen gewonnenen Einsichten überhaupt auf die Realsituation in einem Strafverfahren übertragen werden können. So besteht beispielsweise ein typisches Hirn-scan-Experiment zum Beweis von Hirnaktivität bei Falschaussagen darin, dass ein Proband in einem Computertomographen per Knopfdruck („falsch“ oder „richtig“) über die Farbe einer ihm gezeigten Spielkarte gegenüber einer dritten Person lügen soll (Langleben et. al. 2002). Ob die Ergebnisse aus einer so künstlichen und einfachen Situation mit Freiwilligen auf komplexe Situationen mit Personen, die unter hohem Risiko der Strafverfolgung antworten, übertragen werden kann, wird bezweifelt und derzeit als in keiner Weise ausreichend validiert angesehen. Zudem müsse z.B. in Rechnung gestellt werden, dass es sich bei den wissenschaftlichen Experimenten nicht wirklich um Lügen, sondern um „instruierte Lügen“

<sup>147</sup> Der Präfrontale Cortex wird als oberstes Kontrollzentrum für eine situationsangemessene Handlungssteuerung angesehen und ist gleichzeitig intensiv an der Regulation emotionaler Prozesse beteiligt.

handele (Schauer 2009). Entsprechend ist bisher auch, soweit ersichtlich, kein Fall dokumentiert worden, bei dem die Nutzung von fMRT in einem Strafverfahren beantragt wurde (New 2008). Dennoch hat offenbar im Zuge verstärkter Sicherheitsanstrengungen nach dem 9. September 2001 auf der Ebene der Behörden in den USA eine Debatte um den Einsatz von Hirnscans in der Terroristenverfolgung eingesetzt. Eine im Jahr 2009 veröffentlichte sozialwissenschaftlich Studie zur Debatte um Hirnscans und Sicherheitsfragen in den USA ab 2001, führt eine ganze Reihe von Dokumenten und Presseartikeln an, die sich mit der Möglichkeit des Einsatzes von fMRT und „Brain Fingerprinting“ (s.u.) in der Terroristenverfolgung befassen (Littlefield 2009).

In Deutschland sind nur vereinzelt Stimmen laut geworden, die die Möglichkeit eines Einsatzes von fMRT als zusätzliches Beweismittel erwägen, so z.B. bei einer im Jahr 2007 an der Universität Bonn durchgeführten Tagung „Von der Neuroethik zum Neurorecht“ (vgl. Schleim et al. 2007). Bei einer Tagung des Deutschen Ethikrates zum Thema „Der gläserne Mensch“ wurde die Frage „Gedankenlesen mittels Hirnscans“ in zwei Beiträgen kurz angesprochen und auf die Möglichkeiten der Rückschlüsse von Aktivierungsmustern des Gehirns auf mentale Inhalte hingewiesen. Die Anwendbarkeit im Gerichtsverfahren wurde wegen der bestehenden wissenschaftlichen Probleme der Interpretation von Hirnscans und der mangelnden Übertragbarkeit von Labortests auf die Situation im Strafverfahren in Zweifel gezogen (Deutscher Ethikrat 2009). Von Fällen einer Nutzung von fMRT zur Lügendetektion im Gerichtsverfahren wurde bisher nicht berichtet. Nach Einschätzungen in der Fachliteratur ist auch kaum damit zu rechnen, dass in naher Zukunft die offiziellen Standards zur Zulassung technischer Beweismittel (wie etwa peer-review-gestützte Validität) erfüllt werden können (New 2008; Brown, Murphy 2010). Allerdings zeichnet sich eine neue Linie des (kommerziellen) Einsatzes von fMRT zur Testung von Wahrhaftigkeit ab, die bisher kaum ausführlich diskutiert worden ist. Es lassen sich in den USA mindestens zwei Unternehmen identifizieren – „Cephus. Lie detection services“<sup>148</sup> und „No Lie MRI“<sup>149</sup> –, die einen Nachweis von Wahrhaftigkeit mittels fMRT auch zu privaten Zwecken anbieten, etwa in beruflichen Konfliktsituationen. Die Firma Cephus wirbt auf ihrer Website mit dem Slogan: *“If your word, reputation or freedom is in dispute, contact the Cephus team today.”* Die Firma No Lie MRI bietet ihre Dienste u.a. Arbeitgebern zum Zwecke des “employment screening” an. Die Firma behauptet, dass es – anders als für den klassischen Lügendetektor (Polygraph) – in den USA kein Verbot zur Nutzung von fMRT-Scans in Einstellungsverfahren gebe:

*“U.S. law prohibits truth verification/ lie detection testing for employees that is based on measuring the autonomic nervous system (e.g. polygraph testing). No Lie MRI measures the central nervous system directly and such is not subject to restriction by these laws. No Lie MRI is unaware of any law that would prohibit its use for employment screening.”*<sup>150</sup>

Inwieweit das Verfahren tatsächlich bereits durch Arbeitgeber genutzt wird, lässt sich nicht feststellen. Zumindest eine weite Verbreitung erscheint aber unwahrscheinlich. Sollte sich aber ein entsprechendes Szenario realisieren, liegt es auf der Hand, dass sich hierdurch eine Diskussion über Eingriffe in Persönlichkeitsrechte (ähnlich etwa zu der Debatte über die Nutzung von Gentests bei Einstellungsgesprächen und -untersuchungen) ergeben würde.

#### 2.2.4 „Brain Fingerprinting“

Bezüglich der Überprüfung der Wahrhaftigkeit von Aussagen bei der Ermittlung und im Strafverfahren ist neben fMRT ein als „Brain Fingerprinting“ bezeichnetes Verfahren in der Diskussion, das anscheinend immerhin in zwei Fällen vor Gericht als angeblich zuverlässiger Weg *„of determining an individual’s*

<sup>148</sup> [www.cephoscorp.com](http://www.cephoscorp.com)

<sup>149</sup> [www.noliemri.com](http://www.noliemri.com)

<sup>150</sup> Zitiert nach <http://www.noliemri.com/customers/GroupOrCorporate.htm>, 1.12.10

*truthfulness*“ eingeführt wurde (New 2008, S. 180). Bei diesem Verfahren wird mittels EEG ein neurologisches Phänomen gemessen, das als P300-Welle bezeichnet wird. Es handelt sich um eine Welle elektrischer Hirnaktivität von einigen hundert Millisekunden Dauer, die als Reaktion auf einen Stimulus auftritt, der in Beziehung mit bereits im Gedächtnis gespeicherter Information steht. Es wird postuliert, dass das Auftreten der Welle indiziert, dass der Stimulus, beispielsweise ein Tatwerkzeug, dem Probanden bekannt ist – die P300-Welle wird also sozusagen als „Bekanntheitsindikator“ interpretiert. Bei der meist propagierten (und mittlerweile patentierten) Methode handelt es sich um ein als MERMER („Memory and Encoding Related Multifaceted Electroencephalic Response“) bezeichnetes Verfahren (Farwell, Smith 2001), bei dem die P300-Welle neben anderen EEG-Parametern gemessen wird. Dem Verfahren liegt der als Standard schon für den Polygraphen entwickelte so genannte „Guilty Knowledge Test“ zugrunde (Littlefield 2009). Dabei wird der Proband oder Verdächtige während der Messung mit drei Typen von Stimuli (Gegenstände wie Werkzeuge, aber z.B. auch Bilder und Worte) konfrontiert: Solchen die in Beziehung zur Tat stehen und dem Verdächtigen (vorgeblich) nicht bekannt sind, solchen die in Beziehung zur Tat stehen, aber dem Verdächtigen bekannt sind, weil sie bereits eine Rolle im Verfahren spielten und schließlich solchen, die in keinerlei Beziehung zur Tat stehen. Der Verdächtige soll jeweils mittels Knopfdruck artikulieren, ob ihm die Gegenstände bekannt oder unbekannt sind. Die gemessene P300-Reaktion soll sich dann, wenn der Verdächtige etwa ein Tatwerkzeug erkennt, signifikant von der Reaktion auf die anderen beiden Typen von Stimuli unterscheiden.

New (2008) berichtet, dass entgegen der Versicherung der Befürworter des Verfahrens die von Farwell und Smith (2001) erzielten Ergebnisse bisher nicht in anderen Untersuchungen repliziert wurden. Darüber hinaus gebe es einige systematische Schwächen des Verfahrens, die es allenfalls für sehr spezielle Fälle als geeignet erscheinen lässt. Das gemessene neurologische Phänomen sage offenbar nichts über die Natur des Wissens aus, das der Befragte hat. Die neuronale Reaktion werde immer gleich ausfallen, ob es sich nun um den Täter handelt, um einen Zeugen oder um eine Person, die später Kenntnis von Aspekten des Verfahrens erhalten hat. Der Stimulus müsse also sehr spezifisch ausgewählt werden, was erheblich detailliertes und in der Regel nicht verfügbares Wissen der Behörden über den Tathergang voraussetze. Trotz dieser Restriktionen und der generell bescheidenen wissenschaftlichen Validierung des Verfahrens ist es aber, wie bereits erwähnt, offenkundig in mindestens zwei Fällen als Beweismittel in ein Verfahren eingebracht worden. In beiden Fällen ging es um Anträge auf Wiederaufnahme des Verfahrens nach Verurteilung in einem Mordfall. In einem Fall wurde das von einem der Urheber des MERMER-Verfahrens (dem erstgenannten Autor von Farwell, Smith 2001) eingebrachte Gutachten – das zeigen sollte, dass der Verurteilte über kein tatrelevantes Wissen verfügte – vom Gericht als nicht den Standards für technische Beweismittel entsprechend zurückgewiesen. Im zweiten Fall wurde es vom Gericht zugelassen, dann aber von der übergeordneten Instanz als unzulässig zurückgewiesen. In diesem Fall erfolgte ein Freispruch aufgrund anderer Beweismittel. Bisher scheint es bei diesen Fällen geblieben zu sein und die von New (2008) berichtete Diskussion unter Fachleuten, die die mangelnde wissenschaftliche Fundiertheit des Verfahrens anzweifeln, lässt es als unwahrscheinlich erscheinen, dass dem Brain Fingerprinting in naher Zukunft mehr als diese episodische Gerichtsrelevanz beschieden sein wird. Sollte sich das Verfahren als valide erweisen, stellte sich laut New (2008) die Frage, ob die Ergebnisse des EEG als „Aussage“ oder als „physical evidence“ (als Indizienbeweis) angesehen werden müssen. Sollte Ersteres zutreffen, würde der Einsatz möglicherweise gegen das Prinzip verstoßen, dass Angeklagte nicht zu einer Aussage gegen sich selbst verpflichtet sind.

## 2.3 Neuromarketing

Bildgebende Verfahren in den Neurowissenschaften (s. dazu auch den Kasten in der Einleitung, S. 178), die es angeblich erlauben, „dem Gehirn beim Denken zuzusehen“, sind für alle wissenschaftlichen Disziplinen, die sich mit menschlichem Verhalten, Wahrnehmen und Empfinden befassen, von einer gewissen Attraktivität. Es kann daher nicht verwundern, dass auch in den Disziplinen, die sich mit der Erforschung



des Zustandekommens ökonomischer Entscheidungen befassen, „Hirnschans“ auf ein großes Interesse stoßen.

Die Disziplin der „Neuroökonomie“, die die neuronalen Grundlagen ökonomischer Entscheidungen experimentell mittels bildgebender Verfahren untersucht, hat sich mittlerweile fest etabliert.

Für eine gewisse Furore in der Öffentlichkeit hat das sogenannte Neuromarketing gesorgt. Hier wird der Versuch unternommen, die Erkenntnisse neuroökonomischer Forschung zu Kaufentscheidungen und Produktpräferenzen von Konsumenten für die Marktforschung sowie für die Werbe- und Verkaufsstrategien von Produzenten zu nutzen. Trotz seiner bisher bescheidenen wissenschaftlichen Grundlage (s.u.) hat das Neuromarketing in erstaunlich kurzer Zeit als Spezialgebiet der Marktforschung Karriere gemacht und wird auch von großen Unternehmen wie der Daimler AG genutzt.

In der TA im engeren Sinne wurde unseres Wissens das Thema Neuromarketing bisher nicht systematisch bearbeitet. Einzig die für TA-Swiss unternommene Studie zu Neuroimaging enthält ein kurzes Kapitel, das insbesondere die Befürchtungen der Öffentlichkeit hinsichtlich einer Manipulation von Kaufentscheidungen durch Neuromarketing aufgreift, aber wegen der mangelnden Aussagekraft von Neuromarketing-Studien diese Befürchtungen als weitgehend unbegründet zurückweist (Hüsing et al. 2006, S. 148 ff.).

### 2.3.1 Neuroökonomie

Die dem Bereich der Verhaltensökonomie zuzurechnende Neuroökonomie ist ein Forschungsfeld, das sich zum Ziel setzt, die Grundlagen ökonomischer Entscheidungen unter Rückgriff auf Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften und mittels experimenteller Untersuchungen von Entscheidungssituationen zu verbessern, bei denen die physiologischen Abläufe im Gehirn mittels moderner Scantechniken beobachtet werden. Die „Neuroeconomics“ arbeiten sich dabei vor allem an dem in der klassischen Ökonomie vorherrschenden idealtypischen Modell des rational, orientiert an antizipierten und quantifizierbaren Gewinnen und Verlusten entscheidenden „homo oeconomicus“ ab. Die Neuroökonomie ist ein junger Forschungszweig, in dem Neuro- und Wirtschaftswissenschaften zusammenarbeiten. Ein früher Überblicksartikel über das Forschungsfeld datiert das erste „Neuroeconomics plenary meeting“ in den USA auf das Jahr 2003 (Zak 2004).

Die in ökonomischen Entscheidungsexperimenten eingesetzten Hirnschans-Methoden sind hauptsächlich fMRT und PET. Durch die technisch aufwändigen Messverfahren muss der Versuchsaufbau ökonomisches Entscheiden auf einfache Entscheidungssituationen herunter brechen, in die ökonomische Erwartungen oder Belohnungen involviert sind. Diese können z.B. darin bestehen, dass ein Proband im Scanner mit Bildern einer Reihe von Objekten, für die unterschiedliche Kaufpreise angegeben werden, konfrontiert wird, um sich spontan, für den Kauf eines der Objekte zu entscheiden. Ein wesentliches Problem des Verfahrens besteht darin, dass man das Spezifische der Hirnaktivität in der gegebenen Entscheidungssituation identifizieren will. Dazu wird die sog. Subtraktionsmethode angewandt. Es muss ein dem eigentlichen Experiment möglichst ähnliches Entscheidungsexperiment als Referenzexperiment durchgeführt werden. Die dort beobachteten Aktivitäten werden von den später im eigentlichen Experiment beobachteten Aktivitäten „subtrahiert“, um somit, die für die untersuchte ökonomische Entscheidungssituation spezifische Aktivität „herauszufiltern“. Als geeignetes Referenzexperiment für eine Entscheidungssituation mit ökonomischer Belohnung kann z.B. eine ähnliche Entscheidungssituation ohne ökonomische Belohnung gelten (Zak 2004, S. 1739)

Laut Zak (2004) hat ein von Platt und Glimcher im Jahr 1999 publiziertes Experiment mit Rhesusaffen als Anregung für weitere Forschung gedient und stellt den eigentlichen Einstieg in die Neuroökonomie dar. Dabei wurden drei Rhesusaffen darauf trainiert, beim Auftreten eines Farbreizes eine von zwei Tasten zu drücken, worauf beim Drücken der richtigen Taste eine Belohnung durch Fruchtsaft erfolgte. Das Ergebnis

war, dass (wie vermutet) eine als LIP (Laterales intraparietales Areal) bezeichnete Hirnregion im Sulcus intraparietalis bei der Durchführung der Aufgabe aktiv war. 62,5 % der Aktivität von 40 in LIP gemessenen Neuronen war mit einer Gewinnerwartung korreliert. Die Vermutung ist, dass das LIP zwischen dem visuellen Reiz (Farbsignal) und der im Motorcortex initiierten Entscheidung zur Betätigung eines der beiden Hebel vermittelt, somit eine Bewertung der Gewinnerwartung durchführt. Später wurde dieses Ergebnis dahingehend interpretiert, dass das LIP die physiologische Basis des von Ökonomen unterstellten Nutzenkalküls ist – das Nutzenkalkül von Wirtschaftsobjekten also sozusagen durch die Neuronen im LIP durchgeführt wird (Zak 2004, S. 1741).

In der Folge wurden ähnliche Experimente mit menschlichen Entscheidern durchgeführt, die z.B. eine Beteiligung der Amygdala<sup>151</sup> im limbischen System bei Entscheidungen mit anschließender Belohnung zeigten. Auch hier geht es in der Regel um einfache Entscheidungssituationen, die im Hirnscanner durchgeführt werden. Die Betätigung eines bestimmten Knopfes bei einem bestimmten visuellen Signal wird mit monetärem Gewinn belohnt, bei Druck der falschen Taste bleibt der Gewinn aus oder es erfolgt ein monetärer Verlust. Aus der Aktivität der Amygdala wird darauf geschlossen, dass das ökonomische Nutzenkalkül keine rein vernunftmäßige Entscheidung, sondern emotional basiert ist.

Die Neuroökonomie hat sich rasch als (wenn auch vorerst überschaubare) Community mit eigenen wissenschaftlichen Journalen und internationalen Kongressen etabliert. Die internationale Society for Neuroeconomics weist auf ihrer Webseite ([www.neuroeconomics.org](http://www.neuroeconomics.org)) Links zu 15 universitären neuroökonomischen Instituten in den USA, Europa und Australien aus. In Deutschland werden an den Universitäten Magdeburg, Bonn, Münster, Ulm und München neuroökonomische Studien durchgeführt.

Die Bewertung des Nutzens der Neuroökonomie für das Verständnis ökonomischen Verhaltens ist aber durchaus umstritten. Von Befürwortern wird betont, dass hiermit Annahmen der Verhaltensökonomie „naturwissenschaftlich“ unterstützt oder Hypothesen überprüft werden könnten, was langfristig auch für realweltliche Entscheidungen und die Wirtschaftspolitik Bedeutung haben könne (Stanton 2009). So konnte etwa durch neurowissenschaftliche Studien die Annahme gestützt werden, dass – entgegen dem Modell der klassischen Ökonomie – bei ökonomischen Entscheidungen durchaus nicht allein wirtschaftliche Eigeninteressen verfolgt werden, sondern auch ein Ausgleich mit den Interessen anderer gesucht wird (Fehr, Camerer 2007). Von Kritikern hingegen wird die begrenzte Aussagekraft, der in den Experimenten simulierten wenig komplexen Situationen für komplexe ökonomische Entscheidungen angeführt, und es wird auch darauf verwiesen, dass die Neuroökonomie bisher zumeist kaum überraschende Einsichten erbracht hat (Harrison 2008). Dass Menschen Entscheidungen gerade bei Unsicherheit – wenn also bestimmte Aspekte der Situation unbekannt oder kontingent sind – nicht rein rational durch Abwägen aller Fakten treffen (können), sondern erfolgreich Unsicherheit reduzierende Heuristiken anwenden, ist aus der psychologischen Forschung durchaus bekannt. Die sog. Rekognitionsheuristik nutzt z.B. den Grad der Vertrautheit eines Objekts als entscheidendes Kriterium in Wahlsituationen unter Unsicherheit. In psychologischen Experimenten wurde gezeigt, dass die Anwendung einer solchen „Bauchstrategie“ z.B. auch beim Kauf von Aktiendepots involviert und ökonomisch erfolgreich ist (Giegerenzer 2007). Neurowissenschaftlich kann gezeigt werden, dass ein bestimmtes Areal im Stirnlappen offenbar für die Rekognitionsheuristik, d.h. für die Bewertung von Bekanntem, relevant ist. Dies ist sicher für die Grundlagenforschung eine interessante Erkenntnis, in praktischer Hinsicht fügt sie aber dem psychologischen Wissen über die Funktion von Heuristiken in ökonomischen Entscheidungssituationen kaum etwas hinzu. Zweifel werden auch angemeldet, dass sich dies in Zukunft grundsätzlich ändern könne. Analog zur Diskussion um das Verhältnis von

<sup>151</sup> Die Amygdala ist wesentlich an der Entstehung der Angst beteiligt und spielt allgemein eine wichtige Rolle bei der emotionalen Bewertung und Wiedererkennung von Situationen sowie der Analyse möglicher Gefahren: sie verarbeitet externe Impulse und leitet die vegetativen Reaktionen dazu ein. Eine Zerstörung beider Amygdalae führt zum Verlust von Furcht- und Aggressionsempfinden und so zum Zusammenbruch der mitunter lebenswichtigen Warn- und Abwehrreaktionen. (Quelle: Wikipedia.de)

Geist und Gehirn zwischen Philosophie und Kulturwissenschaften einerseits und (einigen) Neurowissenschaftlern andererseits (s. hierzu Hennen et al. 2008), wird auch für die Neuroökonomie auf die grundsätzliche begrenzte Erklärungskraft naturwissenschaftlicher Modelle für die Erklärung symbolisch-kulturell geprägten menschlichen Verhaltens und Entscheidens hingewiesen (Pauen 2007).

### 2.3.2 Neuromarketing

Trotz des bisher begrenzten praktischen und theoretischen Ertrages neuroökonomischer Forschung hat sich parallel zur akademischen Forschung und zum Teil als „Spin-off“ aus dieser, die wirtschaftliche Verwertung von Forschungsergebnissen für das „Neuromarketing“ entwickelt. Unternehmen wie Burda und Daimler nehmen die Dienste neuroökonomischer Institute in Anspruch, und die Zunft der im Neuromarketing tätigen Neurowissenschaftler, Marktforscher und Werbefachleute in Deutschland findet sich seit dem Jahr 2008 zu einem Jahreskongress zusammen<sup>152</sup>. Als Initialzündung für das Neuromarketing gilt in Deutschland die Veröffentlichung einer Studie der Universität Magdeburg, die 2001 erstmals fMRT zum Test der Wirkung verschiedener Stimuli auf Konsumenten einsetzte. Obwohl die Autoren der Studie die Ergebnisse ihres Versuchs eher zurückhaltend interpretierten, löste sie erstaunliche öffentliche Reaktionen bis hin zu Befürchtungen einer zukünftig möglichen Manipulation von Konsumenten aus. Sie gab auch den Anstoß für verstärkte Aktivitäten zum Einsatz von bildgebenden Verfahren der Hirnforschung für Marktforschungszwecke (Hüsing et al. 2006).

Beim Neuromarketing geht es um die Umsetzung der in der Neuroökonomie gewonnenen Erkenntnisse zur Effektivierung von Werbung und Verkaufstrategien. Darüber hinaus aber werden bildgebende Verfahren in der Marktforschung direkt eingesetzt, um die Wirkung von Werbung und Marken auf das Zustandekommen von Kaufentscheidungen zu untersuchen und gezielt entsprechende Werbestrategien für den Kunden zu entwickeln. Das Ziel des Neuromarketing ist es, die bislang unsichtbaren Zustände und Prozesse, welche die Entscheidung eines potentiellen Konsumenten für oder gegen ein Produkt steuern, zu erforschen und sie in Beziehung zu sichtbarem Verhalten zu setzen. Es wird beobachtet, welche Gehirnareale durch verschiedene (Produkt-)Stimuli aktiviert werden.

Als größtes Neuromarketingunternehmen gilt die international tätige US-Firma „Neurofocus“<sup>153</sup>. Auf ihrer Internetseite bietet sie eine Untersuchung der „Advertising Effectiveness“, eine „Product Pricing Analysis“ und eine „Brand and Image Analysis“ sowie „Competitive Advertising Intelligence“ auf der Basis von Hirnscans an. In einer Presseerklärung vom 2. September 2010 wirbt sie damit, dass das Magazin „New Scientist“ drei für die Augustausgabe vorgesehene Coverseiten auf ihre Wahrnehmung durch potentielle Käufer hin habe untersuchen lassen. Die auf Basis der gemessenen Hirnaktivität von Probanden durch Neurofocus getroffene Auswahl des „kundenwirksamsten“ Covers war nach Ansicht der Firma der Grund dafür, dass die Zahl der am Kiosk verkauften Exemplare dieser Ausgabe des Magazins 12% über der des gleichen Monats im Vorjahr lag (Neurofocus 2010).

In Deutschland hat sich das Neuromarketing als wissenschaftliche Dienstleistung an einigen Universitäten etabliert und wird von führenden Marktforschungsunternehmen wie BBDO<sup>154</sup> Germany propagiert. Für Deutschland wichtige Akteure sind anscheinend das Marketingunternehmen „Gruppe Nymphenburg Consult AG“ und die „Haufe Mediengruppe“, die seit dem Jahr 2008 jährlich den deutschen „Neuromarketing Kongress“ organisieren. Auf den drei bisher durchgeführten Kongressen traten – neben Vertretern verschiedener Marketingunternehmen sowie Marketingexperten von Firmen wie BMW, Audi und Henkel – auch bekannte Neurowissenschaftler wie Christian Elger (Bonn), Gerhard Roth (Bremen) und Manfred

<sup>152</sup> Näheres unter <http://www.neuromarketing-wissen.de>

<sup>153</sup> [www.neurofocus.com](http://www.neurofocus.com)

<sup>154</sup> BBDO ist eine zum US-amerikanischen Unternehmen Omnicorn gehörende Werbeagentur. Der Name der Firma leitet sich von Batten, Barton, Durstine und Osborn ab.

Spitzer (Ulm) auf (siehe die pdf-Dokumente und Videoaufzeichnungen zu den Vorträgen unter <http://www.neuromarketing-wissen.de>). Gerade bei den auf den Kongressen bisher erfolgten Berichten aus der Marketingpraxis, erschließt sich für den Außenstehenden nicht ohne Weiteres, worin das Durchschlagende des neurowissenschaftlichen Ansatzes besteht. So werden augenscheinlich z.B. bei der auf dem Kongress 2010 vorgestellten Neuromarketing-Methode der sog. (und offensichtlich selbst bereits als Marke eingeführten) „limbic@types“ gängige Kundentypisierungen wie „Performer“, „Hedonist“ oder „Traditionalist“ neurowissenschaftlich nicht wirklich untermauert. Sie werden lediglich – um in der Sprache der Werbebranche zu bleiben – neurowissenschaftlich „gelabelt“, indem man sie nicht wie bisher üblich als Lebensstiltypen, sondern eben als „Limbic types“ bezeichnet, und damit einen oberflächlichen Bezug zu neurowissenschaftlichen Erkenntnissen über die Bedeutung des „emotionalen“ limbischen Systems beim Zustandekommen von Entscheidungen herstellt.

In einem Artikel der Süddeutschen Zeitung über Neuromarketing und den Bonner Hirnforscher Christian Elger aus dem Jahr 2005 wird gemutmaßt, dass ein Hauptmotiv für den Einstieg von Neurowissenschaftlern ins Neuromarketing darin liegen könnte, dass sie mit dem Anbieten von Dienstleistungen für die Marktforschung und Werbeindustrie eine zusätzliche Finanzierungsquelle für ihre teuren Kernspintomographen aufgetan hätten (Schulte von Drach 2005). In der Tat zeigt die Besetzung der oben genannten Neuromarketing-Kongresse, dass das Interesse der Industrie geweckt werden konnte – und dies, obwohl die bisherigen Erträge von Neuromarketing-Studien bescheiden sind: Sie bestätigen entweder bereits bekannte Einsichten der Marktforschung oder liegen gänzlich auf der Ebene des Common Sense.

Die Branche selbst tritt mit starken Thesen an und schürt hohe Erwartungen hinsichtlich der Eröffnung von „Schleichwegen ins Kundenhirn“ (Häusel 2009). So wird etwa in einer Broschüre von BBDO Germany zum Konzept des sog. „Brain Branding“ (das in Zusammenarbeit mit Hubert Burda Media und Neurowissenschaftlern der LMU München entwickelt wurde) suggeriert, Neuromarketing liefere die Antwort auf zentrale Probleme der Marktforschung und sei der Königsweg zur Entwicklung von effektiven Strategien zur Bewerbung von Marken, da „die bisherige Verständnislücke zwischen Reizaufnahme und Verhaltenserfassung [...] durch die Messung der Reizverarbeitung mithilfe der Hirnforschung geschlossen werden“ könne (BBDO o.J., S. 4). Die Hirnforschung könne genutzt werden um „den Verbraucher zielgerichtet zum Käufer zu machen und die Marke nachhaltig im Hirn zu manifestieren“ (ebd., S. 5). Die Erwartung der Marketingbranche, man könne den „buy button“ im Gehirn des Kunden identifizieren, erscheint aber ebenso wenig wissenschaftlich begründet wie die spiegelbildlich, gelegentlich von Verbraucherschutzseite geäußerte Sorge, dass das Neuromarketing den Konsumenten hemmungsloser Manipulation unterwerfen könne.

Ein häufig zum Beweis der Relevanz des Neuromarketing zitiertes Beispiel ist eine im Auftrag von Daimler an der Universität Ulm durchgeführte Studie zur Reaktion von Probanden auf unterschiedliche Autotypen (Erk et al. 2002). Dass durch die zwölf autointeressierten Männer Sportwagen als besonders attraktiv eingeschätzt wurden, war ein zu erwartendes Ergebnis. Es wurde aber durch Hirnscans beobachtet, dass bei den verschiedenen Autotypen unterschiedliche Hirnareale in unterschiedlichem Maße aktiv waren. Bei der Betrachtung von Sportwagen wurde eine wesentlich höhere Aktivität in Gehirnbereichen festgestellt, die mit Belohnung und Selbstbestätigung in Verbindung gebracht werden. Man kann somit also „sehen“, dass das Belohnungssystem angesprochen wird. Hieraus hofft man nun offensichtlich langfristig ein „objektives“ Verfahren der Bewertung neuer Produkte entwickeln zu können, das nicht mehr auf die subjektiv geäußerten Einschätzungen von Probanden angewiesen ist.

Ein weiteres vielzitiertes Beispiel für das Potential des Neuromarketing ist ein mittels Kernspintomographie durchgeführtes Experiment zur Präferenz von Probanden für Coca-Cola bzw. Pepsi Cola (McClure et al. 2004). Wie aus anderen, schon seit den siebziger Jahren durchgeführten Untersuchungen bekannt, zeigte sich auch hier, dass eine Mehrzahl der Probanden bei der Blindverköstigung Pepsi-Cola gegenüber Coca-

Cola geschmacklich bevorzugte. Bei einer Verköstigung unter Nennung der Markenamen schneidet Coca-Cola dagegen überdurchschnittlich gut ab. Im Hirnscan zeigte sich, dass bei Wahrnehmung der Marke und Genuss von Coca-Cola in höherem Maße als bei Pepsi eine Region im präfrontalen Kortex aktiv ist, die mit der Selbstwahrnehmung in Verbindung gebracht wird. Dieses Ergebnis wird als wissenschaftliche Bestätigung dafür angesehen „das die mit dem Markenamen Coca-Cola verbundenen positiven Assoziationen stärker auf die Markenpräferenz wirken als der Geschmack“ (BBDO o.J., S. 13).

Grundsätzlich referiert das Neuromarketing auf bekannte Einsichten wie etwa die, dass das menschliche Gedächtnis nur eine begrenzte Anzahl von Bildern ins aktive Gedächtnis aufrufen kann oder darauf, dass Objekte die emotional stark besetzt sind am besten im Gedächtnis bleiben. Diese und andere Einsichten werden nun durch Hirnscans untermauert, die zeigen, dass bei der Wahrnehmung von Produktmarken verschiedene Hirnregionen tätig sind: Solche die für Wahrnehmung, solche die für begriffliches Wissen, solche die für Gefühle und solche die für individuelles Wollen stehen. Im branchenüblichen Jargon wird die damit anscheinend wissenschaftlich bestätigte, eigentlich triviale Einsicht, dass eine Marke, die der Kunde gut kennt – die also im Gedächtnis verankert ist –, beim Kauf anderen Produkten vorgezogen wird, dann wie folgt formuliert: „Nur wer im Kopf des Verbrauchers ‚top-of-mind‘ ist, d.h. aktiv vom Konsumenten abgerufen werden kann, spielt auch bei der Kaufentscheidung am ‚Point-of-Purchase‘ die entscheidende Rolle“ (BBDO o.J. S. 14).

Es drängt sich der Eindruck auf, dass ein wesentlicher Grund für den schnellen Erfolg des Neuromarketing weniger in der Originalität der Erkenntnisse besteht, die sich aus der neuroökonomischen Forschung ergeben, sondern vielmehr darin, dass sich durch die Referenz auf (Natur-)Wissenschaft und die angebliche Objektivität der Hirnscans (mittels derer man dem Käufer beim Kaufen zuschauen und seine geheimsten, ihm selbst nicht bewussten Entscheidungskriterien erkennen könne) die Neurowissenschaften als Mittel zur Vermarktung von ansonsten auf unsicheren Annahmen über Käuferverhalten basierenden Werbestrategien genutzt werden können: „PR goes hard science“ sozusagen. Ob dies langfristig erfolgreich ist und das Interesse der Branche und ihrer Kunden langfristig anhält, bleibt abzuwarten. Festzuhalten ist, dass man weit davon entfernt ist, mittels Hirnscans das Verhalten eines Konsumenten zu verstehen oder wirklich vorauszusagen. Die Schlussfolgerungen, die etwa zur Bedeutung verschiedener Hirnregionen bei der Entscheidungsfindung gezogen werden, sind durch empirische Ergebnisse kaum gedeckt. Ob das Korrelieren von erhöhtem Sauerstofftransport in einer Hirnregion, den fMRT in Hirnbilder übersetzt, wirklich praktisch relevante Einsichten in das Kaufverhalten eröffnen kann, ist fraglich. Das dabei unterstellte Modell einer modularen Arbeitsweise des Gehirns ist zudem nicht unumstritten (Crawford 2008).

Es gibt bescheidene Ansätze, aus Aktivierungsmustern im Gehirn z.B. darauf zu schließen, welchen Typ von Objekt, beispielsweise ein Gesicht oder eine Landschaft, eine Person wahrnimmt (Schleim, Walter 2007). Wie weit sich solche Ansätze verfeinern lassen, kann heute schwer vorausgesagt werden. Auch solche bescheidenen Möglichkeiten mögen aber ausreichen, den Verdacht zu nähren, dass man mittels Gehirnscans Gedanken lesen oder langfristig den „buy button“ im Gehirn des Kunden ausfindig machen könne. Da nach dem bekannten Thomas-Theorem, das real ist, was Menschen für real halten, wäre eine weitere Verbreitung des Neuromarketing trotz der dürftigen Erkenntnislage nicht auszuschließen. Man kann also durchaus erwarten, dass in Zukunft neue Markenamen oder Logos vor ihrer Markteinführung einer Anzahl von Probanden im Kernspintomographen vorgeführt werden. Es mag auch in Zukunft möglich sein – wie in einer amerikanischen Studie mit dem Titel „Neuropredictors of purchases“ behauptet (Knutson et al. 2007) – bei einer mittels Kernspintomographie beobachteten Kaufentscheidung das Ergebnis der Wahl zwischen zwei Produkten vor dem eigentlichen Kaufakt aus dem Muster der Hirnaktivität vorherzusagen. Auch wenn man damit noch nicht verstanden hat, wie die Kaufentscheidung eigentlich zustande kommt (nach welchem Kriterien, welchem Kalkül, auf der Basis welcher Wahrnehmungen), und auch wenn schwer zu sehen ist, was die Prognose mittels Hirnscan für einen Nutzwert für die Produktgestaltung haben

könnte, könnten solche Nachrichten aus der Wissenschaft doch dazu geeignet sein, das Geschäft mit dem Neuromarketing weiter zu befördern.

## 2.4 Neurotechnologien in der Mensch-Maschine-Interaktion

Im engen Sinn bezeichnet der Begriff ‚Gehirn-Computer-Schnittstelle‘ (Brain Computer Interface, BCI) ein System, bei dem Computertechnik mit dem Gehirn verbunden wird, um dem Nutzer eine Kommunikation mit seiner Umwelt oder auch die Steuerung von Maschinen zu erlauben, ohne dass dieser dabei auf seine motorischen Fähigkeiten zurückgreifen muss. Die durch Medienberichte vermutlich bekanntesten, verschiedentlich bereits erprobten Anwendungen sind die BCI-Steuerung von Rollstühlen oder auch von Avataren in virtuellen Umgebungen sowie die Nutzung durch komplett Gelähmte, die mittels BCI einen Computer bedienen können. In den Medien ist dabei, etwas reißerisch, oft von einer Maschinenbedienung „allein durch Gedanken“ die Rede. Zuweilen werden zu den BCI-Technologien auch solche Technologien gezählt, in denen elektrisch das Nervensystem stimuliert wird, z.B. in der „Tiefen Hirnstimulation“ (Deep Brain Stimulation, DBS) und bei Sinnesprothesen. Insbesondere dann ist als Oberbegriff auch von ‚neuroelektrischen Schnittstellen‘ die Rede. Aufgrund der terminologischen Uneindeutigkeiten wird im Folgenden zumeist allgemein von ‚Neurotechnologien‘ gesprochen.

Gemein ist all diesen Technologien, dass sie bisher ganz überwiegend medizinischen Zwecken bzw. der Verbesserung oder Ausweitung von Handlungs- und Kommunikationsmöglichkeiten körperlich eingeschränkter Menschen dienen. Einige Anwendungen sind in der klinischen Praxis bereits etabliert, mit Patientenzahlen zwischen mehreren Tausend bis zu über 100.000 Menschen (vgl. für einen Überblick hierzu und zum Folgenden z.B. die einschlägigen Kapitel in Coenen et al. 2009; Hennen et al. 2006; Merkel et al. 2007 und die weiterführenden Literaturangaben in diesen Publikationen). Einsatzfelder sind u.a. die Behandlung chronischen Schmerzes (durch Stimulation des Rückenmarks), der Parkinson-Krankheit (durch DBS) und der Epilepsie (durch Vagus-Nerv-Stimulation<sup>155</sup>) sowie sensorische Prothesen (vor allem Cochlea-Implantate).

Schon realisiert (zumindest experimentell) oder in der Diskussion sind nichtmedizinische Anwendungen von Neurotechnologien z.B. für Lernzwecke, im militärischen Bereich, im Sport und für Computerspiele. Einige dieser Anwendungen finden in der Debatte über das sog. „Human Enhancement“ Beachtung, verstanden als eine nichttherapeutische Steigerung menschlicher Leistungsfähigkeit. Dabei wird zuweilen auch darauf hingewiesen, dass Stimulationstechnologien wie DBS, die Vagus-Nerv-Stimulation und die repetitive transkranielle Magnetstimulation (rTMS<sup>156</sup>) bereits zur Behandlung von Depressionen dienen, was perspektivisch die Aussicht eröffne, das Gefühlsleben von Menschen besser als mit Medikamenten zu regulieren („Mood Enhancement“).

Neurotechnologien lassen sich in invasive und non-invasive unterteilen (vgl. dazu Stieglitz et al. 2009). Bei den invasiven Schnittstellen werden Muskeln, periphere Nerven, Rückenmarkswurzeln, das Rückenmark oder das Gehirn kontaktiert. Aufgrund der Notwendigkeit eines operativen Eingriffs mit den entsprechenden Risiken dürften sie auf absehbare Zeit keine Bedeutung im Bereich der nichtmedizinischen Nutzung

<sup>155</sup> Die Vagus-Nerv-Stimulation, d.h. die elektrische Stimulation des linken Nervus vagus mithilfe eines implantierten Impulsgenerators wird vor allem bei Epilepsie-Patienten eingesetzt. Der Impulsgenerator besteht aus einem flachen Titangehäuse und wird vom Operateur unter Vollnarkose unter den linken Brustmuskel im Bereich der Achsel eingepflanzt. Unter der Haut wird ein dünnes Kabel bis in die Halsregion links im Bereich der linken Halsmuskeln vorgeschoben. Dort wird dann der linke Vagusnerv, ein dicker Nervenstrang, mit einer dünnen Elektrode umwickelt, damit die vom Generator ausgehenden Impulse auf den Nerven übertragen werden können.

<sup>156</sup> Die repetitive transkranielle Magnetstimulation (kurz: rTMS) gehört zu der Gruppe der antidepressiven Stimulationsverfahren. Bei ihr werden mit einer Magnetspule (siehe Abbildung rechts) eine Hirnregion innerhalb des Stirnlappens stimuliert, deren Aktivität bei Patienten mit Depressionen in der Regel gestört ist. Die Stimulation erfolgt über große, zeitlich veränderliche Magnetfelder unter Ausnutzung des physikalischen Prinzips der Induktion.

von Neurotechnologien gewinnen, auch wenn vereinzelt schon spekuliert wird, dass sich stark leistungsorientierte Personen – z.B. im militärischen Bereich und in der professionellen Computerspielszene – oder auch Medien- und Biokünstler zunehmend für invasive Anwendungen interessieren könnten. Im Fall der non-invasiven Neurotechnologien werden Elektroden auf die Haut, insbesondere die Kopfhaut, platziert und dann Massensignale größerer Hirnbereiche elektrisch (Elektroenzephalogramm – EEG) oder magnetisch (Magnetoenzephalogramm – MEG) aufgenommen (siehe zu diesen Verfahren auch den Kasten in der Einleitung, S. 178). Nicht nur bei der medizinischen Nutzung ist das EEG, die am weitesten verbreitete Technik in diesem Bereich.

In den folgenden Ausführungen zu Neurotechnologien werden zunächst einige der tatsächlichen oder möglichen Anwendungsbereiche in kursorischer Art angesprochen. Etwas ausführlicher wird danach auf die Nutzung und Potentiale dieser Technologien für Computerspielanwendungen eingegangen.

Hingewiesen sei zuvor aber noch darauf, dass durch die faktisch immer engere Verbindung des menschlichen Körpers mit Neurotechnik und speziell auch die Zukunftsvision einer Verschmelzung von Mensch und Computer Fragen aufgeworfen werden, die anthropologische Grundannahmen berühren: Wenn wir den Menschen neurowissenschaftlich als physio-psychosoziale Einheit begreifen oder philosophisch-anthropologisch auf seine Doppelnatur als zugleich biologisches und soziokulturelles Wesen abstellen, dann zeichnet sich angesichts der hier angesprochenen Neurotechnologien in beiden Fällen ein grundlegender Wandel der „*conditio humana*“ ab. Menschen werden zu physio-psychosozial-technischen Einheiten, und der biologische Teil der Doppelnatur des Menschen wird zunehmend technisch manipulierbar oder sogar steuerbar und auch der soziokulturelle Teil erfährt eine zunehmende Technisierung. An diesen sich abzeichnenden Entwicklungen werden auch einige der bereits erwähnten transhumanistischen Visionen festgemacht. Deren aktuelle Beliebtheit als Thema z.B. in ethischen Diskussionen (s. z.B. *American Journal of Bioethics* 2010 10/7, Juli 2010) sollte aber keinesfalls dazu führen, dass die gesellschaftlichen Implikationen existierender Neurotechnologien sowie realistischere oder zumindest kurzfristige Zukunftsperspektiven in diesem Bereich vernachlässigt werden.

### 2.4.1 Nichtmedizinische Anwendungen von Neurotechnologien

Bisher sind Neurotechnologien ganz überwiegend auf den medizinischen Bereich beschränkt, und zumindest bei invasiven Technologien dürfte sich daran auch in absehbarer Zeit nichts ändern. Einige nichtmedizinische Anwendungen und realistisch erscheinende Zukunftshoffnungen verdienen aber Beachtung.

Hinsichtlich ihrer Wirksamkeit nicht unumstritten, aber bereits relativ weit verbreitet sind nichtmedizinische Anwendungen des sog. Neurofeedbacks, einer Sonderform des Biofeedback, zu der auch die BCI-Technologie gezählt werden kann (Rief, Birbaumer 2006). Ziel des Neurofeedback ist es, dass der Nutzer die eigene Gehirnaktivität beeinflussen kann, indem mittels EEG diese Aktivität erfasst und in Form von akustischen oder visuellen Signalen sofort („in real-time“) rückgemeldet wird. Neurofeedback-Anwendungen spielen im Lernbereich (s. auch Kap. 2.1) seit längerer Zeit eine gewisse Rolle. Im Sportbereich wird Neurofeedback genutzt, um die mentale Selbstkontrolle der Sportler zu verbessern. Ein relativ bekanntes Beispiel ist der Einsatz von Neurofeedback durch die italienische Nationalmannschaft bei der Fußballweltmeisterschaft 2006, die das Team gewann. EEG-Aufnahmen werden im Leistungssport auch genutzt, um Trainern eine zusätzliche Möglichkeit der Beobachtung von Trainingsleistungen zu bieten und um frühzeitig herauszufinden, wer von seiner Konzentrationsfähigkeit her gesehen gute Voraussetzungen für eine Sportart oder sportliche Einzelaktivität mitbringt. Weitere Anwendungsbereiche sind Computerspiele (s.u.) sowie musikalische und tänzerische Darbietungen (s. z.B. Egner, Gruzelić 2003). Hinsichtlich solcher Darbietungen, aber auch in Bezug auf andere Neurofeedback-Anwendungen, ist jedoch u.a. einzuwenden, dass Leistungssteigerungen bzw. Verbesserungen womöglich bloß durch entsprechende Erwartungshaltungen der Testpersonen erreicht wurden.

Potentiell ergibt sich eine Vielzahl nichtmedizinischer Anwendungen aus der Möglichkeit, mit BCI-Technologie die Bewegung verschiedener Arten von Maschinen zu kontrollieren. In diesem Bereich finden bisher ganz überwiegend Grundlagenforschung und Pilotentwicklungen statt, die vor allem versehrten oder anderweitig körperlich eingeschränkten Menschen zugute kommen sollen. Ziele sind hier vor allem die Steuerung von Rollstühlen und die Kontrolle von funktional immer lebensähnlicher werdenden Gliedmaßenprothesen. Die technisch-wissenschaftlichen Herausforderungen im prothetischen Bereich, die derzeit intensiv in verschiedenen Ländern (und in den USA insbesondere mit Blick auf kriegsversehrte Soldaten) angegangen werden, bestehen vor allem darin, zuverlässige, leistungsfähige und unaufwändig zu nutzende bidirektionale Schnittstellen zwischen Nervensystem und Prothese herzustellen. Insbesondere mit Blick auf non-invasive Neurotechnologien lassen sich auch Ansätze einer breiteren, nichtmedizinischen Nutzung erkennen. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass diese Technologien nicht bei allen Menschen funktionieren. Eine Studie schätzt z.B., dass bei circa 15 bis 30% aller Menschen eine bestimmte weitverbreitete EEG-basierte BCI-Technologie nicht funktioniert, weist aber auch darauf hin, dass es Anzeichen dafür gibt, dass solche Menschen dies durch ein bestimmtes Neurofeedback-Training ändern können (Blankertz et al. 2010).

Eine Expertengruppe in den USA kam bereits vor einigen Jahren (Berger et al. 2007) zu der Einschätzung, dass Japan – ähnlich wie z.B. auch das vom BMBF geförderte Projekt „Berlin Brain-Computer Interface“ (Blankertz et al. 2010) – eine breite und avancierte Perspektive zur Anwendung von BCI in der Gesellschaft verfolge. Nach Ansicht der Expertengruppe umfasst die japanische Vision neben therapeutischen Nutzungen eine Integration von BCI im Alltagsleben „normaler Individuen“, vor allem zur Verbesserung von Bewegungsabläufen, zur Steigerung kognitiver Leistungen und zur Vermeidung von Unfällen. Als nichtmedizinische Anwendungsbeispiele wurden neben Computerspielen auch sportliches Training, Rettungseinsätze, Bombenentschärfungs- und Spielzeugroboter sowie Telekommunikation genannt.

In den letzten Jahren wurden parallel zu den vielfältigen internationalen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen im Bereich der BCI-Steuerung von Rollstühlen und Prothesen auch verschiedene Projekte zur Steuerung von Robotern oder von Avataren in virtuellen Umgebungen durchgeführt.

Generell lässt sich hinsichtlich des Bereichs der Maschinensteuerung per BCI feststellen, dass bei einigen Nutzern die Bedienung bereits in beachtlicher Schnelligkeit erfolgt. So spielte eine Testperson an einem Stand der technischen Universität Braunschweig auf der CeBIT 2010 mittels dieser Technologie Flipper. Auch die BCI-Steuerung von Robotern (durch Menschen oder Affen) gelang in den letzten Jahren experimentell. Verschiedentlich wurde zudem bereits gezeigt, dass BCI-Technologie zur Bedienung von Computerspielen und in ‚virtuellen Welten‘ (wie z.B. Second Life) genutzt werden kann (s.u.), und auch die Bedienung von Computern für die Kommunikation (z.B. Schreiben von E-Mails) kann mittlerweile in einem Tempo gelingen, das sogar kommerzielle Angebote für körperlich stark eingeschränkte Menschen attraktiv erscheinen lässt (s. <http://www.intendix.com/>).

Die Militärforschung, insbesondere der USA, gehört seit Langem zu den treibenden Kräften im Bereich der Neurotechnologien und speziell der BCI-Forschung und -Entwicklung. Bereits in den 1970er Jahren hatte in den USA (an der University of California Los Angeles, UCLA) die BCI-Forschung eingesetzt, unterstützt von der National Science Foundation. Bald richtete auch die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), eine für Cutting-Edge-Forschung zuständige Einrichtung des US-Verteidigungsministeriums, ihr Interesse auf diesen Bereich, das bis heute anhält. Die erhebliche Zahl und Vielfalt neurowissenschaftlicher und -technologischer Projekte, die im Kontext der Militärforschung und oft unter Verweis auf zivile Nutzungsmöglichkeiten der Ergebnisse („Dual Use“) gefördert werden, haben bereits zu Diskussionen über ethisch und anderweitig problematische Aspekte dieser Art von Forschung geführt. Militärische Nutzungsmöglichkeiten ziviler Forschung spielen in der neuroethischen Diskussion und in TA-Studien hingegen eher nur am Rande eine Rolle, und die (ohnehin seltenen) ausführlichen Auseinandersetzungen



zungen mit der neurowissenschaftlichen ‚Dual-Use‘-Thematik fokussieren auf die Militärforschung (z.B. Moreno 2006). In der Förderung von Neurotechnologie-Projekten in der US-Militärforschung spielt neben dem erheblichen Engagement im Bereich der Neuroprothesen auch die Vision eine Rolle, dass in der Zukunft BCI zur Steuerung und Kontrolle von Waffensystemen und anderen militärisch nutzbaren Maschinen und Gegenständen eingesetzt werden könnten. Aktuell interessiert sich die DARPA, anknüpfend an ältere Projekte, auch für die Entwicklung eines Helms, mit dem die Gehirnaktivität von Soldaten, in einer Tiefe wie z.B. bei der Tiefen Hirnstimulation, per Fernbedienung des Helms kontrolliert und manipuliert werden soll. Die Realisierung dieses Forschungsvorhabens dürfte allerdings in naher Zukunft nicht zu erwarten sein, insbesondere dann nicht, wenn man die umfassenden, bis zu einem kognitiven „Enhancement“ reichenden Anwendungsmöglichkeiten berücksichtigt, die von einem involvierten Wissenschaftler (Tyler 2010) genannt werden.

Auch in Bezug auf Verkehrssicherheit und Fahrzeugkontrolle werden Hoffnungen in Neurotechnologien gesetzt. So finden z.B. am ‚Zentrum Mensch-Maschine-Systeme‘ der Technischen Universität Berlin bereits Experimente mit Autofahrerassistenz-Systemen statt, bei denen mittels EEG die Handlungen des Fahrers vorausgesagt und in Zukunft dadurch z.B. Vollbremsungen automatisch beschleunigt werden sollen. In dem bereits zitierten Überblickaufsatz von Blankertz et al. (2010) werden die Herausforderungen und Perspektiven in diesem Bereich näher dargelegt. Darüber hinaus wird z.B. auch auf Nutzungen für die Erforschung von Musikwahrnehmung, für die (bereits erfolgte) Entwicklung eines EEG-basierten Web-Browsers sowie für Spiele hingewiesen. Ebenfalls von Interesse sind Technologien, mit denen in verschiedenen Anwendungskontexten (z.B. Militär, Raumfahrt, private Mobiltelefonie) lautlose sprachliche Kommunikation auf elektromyographischer Basis ermöglicht werden soll (vgl. dazu z.B. Katayama 2009; Wand, Schultz 2009).

## 2.4.2 Das Beispiel Computerspiele

Ein ökonomisch hochrelevantes Feld, in dem nichtmedizinische Anwendungen von Neurotechnologien bereits eine gewisse Rolle spielen, ist der Computerspielbereich. Allgemein wurde dieses Feld in der TA längere Zeit eher nur am Rande behandelt, was auch mit dem im politisch-öffentlichen Diskurs oft negativen Image einiger dieser Spiele zu tun haben mag bzw. mit problematischen Konsummustern vor allem jugendlicher Nutzer. Zwar wurden vereinzelt bereits frühzeitig das (mittlerweile realisierte) enorme ökonomische Potential von Computerspielen, deren kulturelle Relevanz und die relevanten Technologien angesprochen (vgl. z.B. Grunwald et al. 2006, S. 46, S. 125ff.; Hennen et al. 1997, S. 84; Paschen et al. 2002, S. 156-158; Riehm, Wingert 1995, S. 61-64). TA-Projekte, die sich ausführlich oder sogar ausschließlich diesem Thema widmeten, wurden aber erst relativ spät und selten durchgeführt.

Eine europäische TA-Institution, die den Computerbereich in einem eigenen Projekt untersucht hat, ist das flämische IST (Instituut Samenleving & Technologie), vormals viWTA (Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek). In Zusammenarbeit mit drei weiteren belgischen Partnern untersuchte das IST die Thematik zwar fast ausschließlich in Bezug auf jugendliche Nutzer, aber doch recht umfassend (siehe auch den Abschlussbericht: De Pauw 2008). Der Fokus lag dabei auf der Computerspielindustrie (und insbesondere der Position und den Chancen Flanderns in dieser), auf den positiven und negativen Effekten von Computerspielen, auf Spielen als soziale Netzwerke („social networks“) sowie auf Computerspielen für den Bildungsbereich. Neben Literaturstudien wurden dabei u.a. auch Stakeholder-Interviews und Umfragen durchgeführt sowie öffentliche Diskussionsveranstaltungen zum Thema ausgewertet. Die öffentliche Sorge, dass Computerspiele Aggressionen und Gewalt fördern könnten, stufte das IST als unbegründet ein. Das Problem der Computerspielsucht bedürfe genauerer Untersuchung, man solle aber auch nicht die positiven Effekte des Computerspielens ausblenden, insbesondere nicht hinsichtlich der Möglichkeiten im Bildungsbereich. Zudem hätten beliebte Onlinespiele und virtuelle Welten (wie ‚World

of Warcraft' und ‚Second Life’) eine soziale Funktion in einer Netzwerkgesellschaft: Zwar existierten hier auch Risiken, aber die wichtige Rolle, die solche Spiele im Sozialleben der Spieler einnehmen, müssten differenziert betrachtet werden. Ebenfalls nicht auf problematische Konsummuster beschränkt war ein Projekt für das Europäische Parlament (Böhle et al. 2008), das sich zwar nicht allein dem Thema Computerspiele widmete, aber doch sowohl auf ökonomische und technische als auch auf kulturelle Aspekte relativ ausführlich einging. Die Studie stimmt mit der IST-Studie u.a. darin überein, dass der besondere Reiz von Computerspielen verstärkt für Bildungszwecke genutzt werden könnte. Eine nichtprojektbezogene TA-Studie, in der Computerspiele im Fokus stehen, wurde von Zweck (2006) zum umfassenderen Thema ‚Virtuelle Realität’ vorgelegt. Er argumentierte, dass selbst in technologischer Hinsicht umfassende Innovations- und Technikanalysen oft die Gesamtheit eines kulturellen Wandlungsprozesses nicht in den Blick bekämen. Um dies zu erreichen, müssten natur-, geistes- und sozialwissenschaftliche Perspektiven ineinander fließen, was in dieser Studie dann bereits, vor allem am Beispiel des Computerspielbereichs, geleistet wurde. Der hohen Relevanz von Computerspielen in der heutigen Gesellschaft trugen auch Projekte Rechnung, die im Rahmen der Aktivitäten zu Innovations- und Technikanalysen in der zweiten Hälfte der 2000er Jahre durch das BMBF gefördert wurden. Zu nennen sind hier ein Projekt zur Spielkultur an der Universität Hamburg, in dem die biographische Bedeutung des Spielens und speziell des Online-Spielens im digitalen Alltag untersucht wurde, ein Projekt zum Datenschutz in Online-Spielen am Unabhängigen Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein sowie das Projekt RealSymbIn Games (Realitätsnahe und symbolische Interaktion bei Games und Online-Games), das technologische, soziale, wirtschaftliche und kulturelle Rahmenbedingungen und Auswirkungen von Computerspielen thematisierte.

Die erhebliche Bedeutung des Computerspielbereichs als Gegenstand diverser disziplinärer Forschung (einschließlich der Kultur- und Sozialwissenschaften) spiegelt sich also mittlerweile auch verstärkt im TA-Kontext wider. Einig sind sich alle aufgeführten TA-Studien darin, dass der Computerspielbereich – wohl auch aufgrund der langjährigen abwertenden Einschätzung als subkultureller, infantiler oder riskanter Zeitvertreib – in seiner Bedeutung in vielerlei Hinsicht unterschätzt werde. Diese Unterschätzung erscheint auch deshalb als bedenklich, weil der Bereich durchaus als technologischer und kultureller Innovationstreiber gelten kann und weil der allgemeine Bedeutungszuwachs von Computerspielen neue Debatten über eine ‚gamification’ bzw. Ludifikation, wenn nicht der Gesellschaft als Ganzes, so doch zumindest der Online-Ökonomie entfacht hat.

Neben den „klassischen“ Bedienelementen (wie Tastatur, Maus und Konsole) haben in den letzten Jahren auch Neurotechnologien im Computerspielbereich an Bedeutung als Steuerungselemente gewonnen. Ebenfalls (und womöglich selbst auf lange Sicht von größerem) Interesse ist in diesem Zusammenhang die Nutzung von BCI- und anderen biosignalbasierten Technologien für die Entwicklung von Computerspielen, da mit deren Hilfe z.B. die Aufmerksamkeit von Spielern, Langweilempfindungen und das Erreichen des sog. ‚flow’, also des völligen Aufgehens im Spiel, untersucht werden können. Zumindest in der Medienberichterstattung ist aber die Nutzung von Neurotechnologien für die Steuerung von Computerspielen derzeit das relevantere Thema, weshalb im Folgenden nur darauf näher eingegangen wird.

So sind im Gefolge des Einsatzes von Biofeedback-Technologien im Computerspielbereich auch diverse Neurofeedback-Elemente, z.T. auch schon kommerziell, eingeführt worden. Derzeit besteht sowohl in den Neurowissenschaften als auch in der Industrie durchaus ein nennenswertes Interesse an BCI-Anwendungen für die Steuerung von Computerspielen. Auch wenn auf absehbare Zeit nicht zu erwarten ist, dass der Computerspielbranche bei nichtmedizinischen Anwendungen von BCI-Technologien eine ähnliche Innovationstreiberrolle zukommen wird wie in der Unterhaltungselektronik, so dürften Spiele – neben anderen Anwendungen wie Fahrassistenzsystemen – bei einer etwaigen Verbreitung dieser Technologien in der Gesellschaft doch eine Rolle spielen. Hinzu kommt, dass rein unterhaltende Computerspiele durch die neuen Steuerungselemente für körperlich eingeschränkte bzw. behinderte Menschen leichter bedienbar werden sollen.

Reine BCI-Spiele werden schon seit längerer Zeit im medizinischen Bereich eingesetzt, vor allem um die Bedienung von assistiven BCI-Technologien zu trainieren, aber z.B. auch dazu, die Behandlung von Kindern mit Aufmerksamkeitsdefiziten zu unterstützen. Blankertz et al. (2010) bemerken zu solchen reinen BCI-Spielen, dass diese außer ihrem neuartigen Steuerungselement keinen besonderen Reiz hätten. Es handele sich um recht einfache, nicht-„immersive“ Spiele – die also emotional und motivational nicht so attraktiv wie andere, komplexere Computerspiele seien –, weshalb außerhalb des medizinisch-rehabilitativen Bereichs i.d.R. keine starke Motivation dafür bestehen dürfte, lange Zeiträume mit dem Spiel zu verbringen. Hier lässt sich aber ergänzen, dass sog. ‚Casual Games‘ – also einfache, auch auf mobilen Geräten gut zu spielende Gelegenheitsspiele „für zwischendurch“ – in gewisser Hinsicht als ökonomisch besonders attraktiver Bereich gelten (Böhle et al. 2008). Zudem zeigen – worauf auch Blankertz et al. (2010) hinweisen – Experimente wie die bereits erwähnte Nutzung von BCI-Technologie zur Steuerung eines Flipperspielautomaten, dass hochgradig „immersive“ und motivierende Spiele mit reiner BCI-Steuerung möglich sind. Auf dem Unterhaltungsmarkt – zu dessen Kontext auch diverse zu Entspannungs-, Meditations- und „Selbsterfahrungs“-zwecken eingesetzte Bio- und Neurofeedback-Geräte zählen – sind bereits Spiele, bei denen Objekte mittels BCI-Technologie bewegt werden, und es gibt auch bereits rein BCI-gesteuerte Computerspiele zu Unterhaltungszwecken, die von den Herstellern der BCI-Steuerungselemente angeboten werden (z.B. Spiele der Firma ‚NeuroSky‘ für deren ‚Mindset Headset‘).

Für den kommerziellen nicht-medizinischen Computerspielbereich dürfte aber auch auf längere Sicht die Möglichkeit relevanter sein, BCI-Technologie für zusätzliche Steuerungselemente anzubieten (neben den etablierten Bedienelementen wie Tastatur, Maus und Konsole). Damit könnte BCI-Technologie zu einem Element komplexer Computerspiele werden – wie den beliebten, aufgrund problematischer suchtartiger Konsummuster aber auch umstrittenen MMORGs (‚Massive Multi-Player Online Role-Playing Games‘), bei denen eine große Zahl von Spielern eine persistente virtuelle Welt bevölkern (z.B. ‚World of Warcraft‘ mit über 10 Millionen Abonnenten weltweit). Hier könnte es u.a. attraktiv sein, bestimmte „Fähigkeiten“ von Avataren über BCI-Steuerung zu realisieren, z.B. telekinetische Fähigkeiten einer magiekundigen Spielfigur. Bereits heute ist es – nicht nur nach Herstellerangaben, sondern auch laut Presseberichten – möglich, als BCI-Technologien bezeichnete Geräte wie den ‚Neural Impulse Actuator‘ (NIA) der Firma ‚OCZ Technology Group‘, zur Steuerung von kommerziell erfolgreichen Computerspielen wie dem First-Person-Shooter-Spiel ‚Unreal Tournament‘ zu nutzen. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, dass bei solchen Geräten – zum Teil erklärtermaßen und zum Teil womöglich insgeheim – nicht nur Hirnaktivität, sondern auch andere Biosignale, z.B. Nutzung von Gesichtsmuskulatur- und Augenbewegungen, als Input genutzt werden. Im Fall des NIA funktioniert laut einem Test, der von einem Fachonlinejournalisten durchgeführt wurde (Lin 2008), nur die Kontrolle per Gesichtsmuskeln ohne längeres Üben zuverlässig, während die Steuerung per Augenbewegungen mehr Übung erfordert und die per Hirnaktivität die schwierigste ist (für die auch der Hersteller keine genaue Anleitung oder Erklärung anbietet). Dennoch kommen dieser Journalist, andere Tester sowie einige wissenschaftliche Publikationen (z.B. Minjin et al. 2009) zu dem Ergebnis, dass auch die Steuerung per Gehirnaktivität als attraktives, spielleistungssteigerndes Bedienelement genutzt werden kann, zumindest zusätzlich zu den klassischen Bedienelementen sowie zu anderen biosignalbasierten Steuerungsmöglichkeiten. Einer der leitenden Entwickler der Firma ‚OCZ Technology Group‘ hat im Jahr 2008 laut Onlinemedienberichten ein Testspiel in ‚Unreal Tournament‘ gegen einen der besten ‚Unreal Tournament‘-Spieler bestritten, wobei Letzterer klassische Steuerungselemente nutzte. Die Ergebnisse hätten gezeigt, dass durch den NIA durchaus beachtliche Leistungen in diesem Spiel erreicht werden können. Für den Markterfolg von Geräten dieser Art dürfte entscheidend sein, ob sie ohne größeren Aufwand (z.B. als einfaches Headset) einsetzbar sind und ob mit ihnen zumindest bei einigen Spielfunktionen Vorteile (vor allem hinsichtlich der Reaktionszeit bei Spielaktionen) zu erzielen sind – während die Frage, welche Biosignale genutzt werden, vermutlich sekundär ist (vgl. dazu und zu den eher ernüchternden Resultaten eines Tests eines ähnlichen Geräts: Heingartner 2009).

Direkt hirnakтивitätsbasierte Steuerungstechnologien spielen im Computerspielbereich derzeit also bereits eine gewisse Rolle, aber das Wissen zu den aktuellen Möglichkeiten ist – auch aufgrund des Schutzes des geistigen Eigentums seitens der Hersteller von Unterhaltungselektronik in diesem Bereich – äußerst lückenhaft (und zudem zum Teil widersprüchlich). Derzeit besteht eine zwar noch überschaubare, aber durchaus schon über einige öffentliche Projektfördermittel verfügende, sich in Fachworkshops zusammenfindende und auch in Deutschland verankerte Community von Wissenschaftlern, die an der Entwicklung von BCI-Technologien für nichtmedizinische Computerspiele arbeitet oder sich für diese interessiert (vgl. z.B. Blankertz et al. 2010; Nijholt, Tan 2007 und auf <http://hmi.ewi.utwente.nl/brainplay07/contributions> die Workshop-Beiträge). Wie z.T. die BCI-Forschung allgemein leidet das Feld anscheinend unter oft reißerischer Medienberichterstattung, einem Mangel an begutachteten Zeitschriftenartikeln und auch unter der Neigung zu Übertreibungen bei einigen Forschern. Neben den durch den erwähnten Schutz geistigen Eigentums verursachten Unklarheiten kommt laut einem Bericht des einflussreichen Technologiema-gazins ‚Wired‘ (Cole 2007) erschwerend hinzu, dass einige Forscher und Firmen aus dem Feld medizinischer oder Entspannungsanwendungen vor möglichen Gesundheits- und Sicherheitsrisiken warnen. Sie betrachten die Nutzung von Neurotechnologien allein für Unterhaltungszwecke im Computerspielbereich mit Skepsis und fordern, dass diese, wenn überhaupt, nur nach wissenschaftlichen Untersuchungen der Unbedenklichkeit erlaubt werden sollte. Einige der Firmen, die reine Unterhaltungsprodukte (wie die oben erwähnten Geräte) anbieten, betonen, dass diese Produkte aufgrund ihrer (oft allerdings dann nicht näher erläuterten) technischen Spezifika ungefährlich seien.

Trotz der erwähnten Bedenken und Unklarheiten sowie des derzeitigen Status als Nischenanwendung sieht eine erhebliche Zahl von seriösen Forschern (z.B. Nijholt 2008), gerade auch in Deutschland (z.B. Blankertz et al. 2010), die nichtmedizinische Nutzung im Computerspielbereich als ein in der Zukunft potentiell hochrelevantes Anwendungsfeld von Neurotechnologien an.

### **3 Folgedimensionen nichtmedizinischer Anwendungen der Neurowissenschaften**

Bei vielen nichtmedizinischen Anwendungen, die sich zumindest perspektivisch aus den Neurowissenschaften ergeben, handelt es sich eher um weitreichende Visionen und spekulative Erwartungen denn um in der Entwicklung befindliche oder schon leistungsfähige Technologien. Besonders kontroverse Visionen dieser Art – wie die eines „Neuro-Enhancement“ – finden derzeit besondere Aufmerksamkeit in ethischen Diskussionen und auch in der TA. Auch in der Debatte um die NBIC-Konvergenz, in der das Thema „Human Enhancement“ zentral ist (s. Kap. 2, S. 1813ff.), spielen die Potentiale der Neurowissenschaften eine herausragende Rolle. Allerdings sind diese Debatten z.T. durch eine gewisse Prominenz extremer, von sog. Transhumanisten vertretender Thesen zur technischen Verbesserung des Menschen (bzw. des menschlichen Gehirns) oder zu einer Cyberzivilisation gekennzeichnet, in der die Menschheit von Maschinenintelligenz dominiert oder gar abgelöst wird. Solche eher dem Bereich der Science Fiction zuzurechnenden Gedankenexperimente sind unseres Erachtens in einem TA-Projekt nicht ernsthaft, hinsichtlich der damit eventuell verbundenen gesellschaftlichen Folgen zu diskutieren, sondern allenfalls auf ihre Plausibilität und Realitätshaltigkeit hin zu untersuchen. Sie werden deshalb im Folgenden ausgeklammert. Das Thema einer Erweiterung menschlicher Fähigkeiten ist allerdings auch jenseits solcher Vision bestimmend für die Diskussion über einige der sich durch die Neurowissenschaften eröffnenden Anwendungen, insbesondere in der Diskussion über ein kognitives Enhancement bzw. „Hirn-Doping“ durch diverse Substanzen. Daher wird in den Folgenden auch relativ ausführlich auf die Enhancement-Thematik eingegangen.

#### **3.1 Personale Autonomie und Identität**

Technische oder sonstige Eingriffe in das Nervensystem oder das Gehirn des Menschen, betreffen nolens volens die menschliche Wahrnehmung, menschliches Empfinden und Bewusstsein. Nicht zufällig haben die Neurowissenschaften mit der von manchen Vertretern der Zunft vehement vorgetragene These, dass das menschliche Bewusstsein letztlich nur ein Epiphänomen materieller menschliches Verhalten und Handeln determinierender bio-chemischer Abläufe und der freie Wille als handlungssteuernde Instanz eine reine Illusion sei, die größte öffentliche Aufmerksamkeit erregt – auch wenn diese These bisher durch Forschungsergebnisse nicht gestützt werden kann. Es ist daher nicht verwunderlich, dass in der Diskussion konkreter technischer Anwendungen der Neurowissenschaften Fragen der personalen Selbstwahrnehmung, Autonomie und Identität einen wesentlichen Teil der in TA-Studien diskutierten Folgenpotentiale ausmachen.

Zu den personalen Folgen sind zunächst natürlich die möglichen gesundheitlichen Risiken zu zählen, die mit der Nutzung von Psychopharmaka und Neurotechnologien verbunden sind. Während bei nicht-invasiven Methoden wie z.B. beim Neurofeedback bisher kaum gesundheitliche Risiken diskutiert werden, stellt sich die Lage bei Pharmaka anders da. Unzweifelhaft sind einige der Substanzen, die seit längerer Zeit auch zum Zweck der Leistungssteigerung eingenommen werden (vor allem Stimulanzien wie Amphetamine), unter gesundheitlichen Gesichtspunkten bedenklich. In einem aktuellen Übersichtsaufsatz zu in der „Brain Doping“-Debatte zentralen Substanzen kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass die Substanzen, die eine gewisse leistungssteigernde Wirkung haben (Stimulanzien und Modafinil), durchgängig relevante Nebenwirkungen und Sicherheitsrisiken aufweisen (Franke, Lieb 2010). Zudem könne Koffein als eine wirksame Alternative zum pharmakologischen Neuroenhancement gelten. Forderungen nach einer Liberalisierung in diesem Bereich müssten daher kritisch hinterfragt werden.

Risiken sind natürlich ebenso für die medizinische Nutzung von Psychopharmaka wie auch für medizinisch indizierte neuronale Implantate bekannt: Bei neuronalen Implantaten ist z.B. das Risiko einer ungewollten Anregung von benachbarten Hirnarealen durch die angelegte neuronale Schnittstelle zu beachten – mit möglichen Folgen für die physische und psychische Gesundheit. Diese Erkenntnisse lassen sich auf potentielle nichtmedizinische Formen der Nutzung übertragen (Merkel et al. 2007). Hierbei ist selbstverständlich auch zu beachten, dass die Nebenwirkungen auch psychischer Art sein oder kognitive Fähigkeiten betreffen können, wie z.B. die von Parkinsonpatienten berichteten negativen Auswirkungen von DBS auf das Sprachvermögen (Dubiel 2006; vgl. zu dieser Thematik z.B. auch Coenen et al. 2009).

Weiter gehen Überlegungen, inwieweit sich durch die Nutzung von Neuropharmaka und neuronalen technischen Implantaten Veränderungen der personalen Selbstwahrnehmung oder der personalen Identität ergeben könnten (Kollek 2005; Hennen et al. 2008; Merkel et al. 2007; EGE 2005). Solche Bedenken sind in der Vergangenheit auch schon hinsichtlich bestimmter neurochirurgischer Eingriffe vorgebracht worden. Neuronale Prothesen und insbesondere neuronale Implantate, da sie die eigene psychische Konstitution beeinflussen, können als Teil der eigenen Person wahrgenommen werden und verändern somit die personale Selbstwahrnehmung. Gehören die Handlungsanteile, die dem Implantat oder der Prothese zuzuschreiben sind, noch zur eigenen Person? Insbesondere bei Implantaten, die in komplexe psychische Vorgänge eingreifen, würde die Selbsterfahrung der Person möglicherweise drastisch verändert. Sowohl bei Implantaten aber auch bei Psychopharmaka könnte sich die Frage stellen, inwieweit eine Person noch in der Lage ist, das eigene Handeln zu steuern. Hieraus ergäben sich dann auch rechtliche Fragen nach der Verantwortungs- oder Zurechnungsfähigkeit von Personen. Mögliche Einschränkungen personaler Autonomie können sich auch durch Psychopharmaka, die zur Stimmungsaufhellung eingesetzt werden, ergeben. Die künstliche Veränderung des emotionalen Zustandes – wie beim Rauschmittelkonsum – schneidet die Person in gewisser Weise von einer authentischen Erfahrung der Umwelt und der eigenen Person ab. Ähnliche Probleme werden im Rahmen der Enhancement-Debatte auch für in Zukunft mögliche pharmakologische oder andere Interventionen in das menschliche Erinnerungsvermögen diskutiert (Coenen et al. 2009). Die gezielte „Löschung“ oder Unterdrückung negativer Erinnerungen könnte – sollte dies je möglich sein – für Traumapatienten eventuell hilfreich sein, würde aber auch als gezielter Eingriff zur Veränderung der personalen Identität angesehen und genutzt werden können.

Die Diskussion um die personalen Implikationen möglicher nichtmedizinisch motivierter Interventionen in das menschliche Nervensystem sind notwendigerweise hoch spekulativ, da die Anwendungen wie z.B. die gezielte Erweiterung oder Einschränkung der Erinnerungsfähigkeit weitgehend spekulativ bleiben. Die bisher vorliegende ausführlichste Beschäftigung mit den personalen Implikationen neurowissenschaftlicher Anwendungen liefert daher auch eine umfangreichen Entwicklung der philosophischen Aspekte der Begriffe Person und personale Identität, beschränkt sich aber bezüglich der Folgen auf mögliche Nebeneffekte medizinischer Interventionen auf die Personalität und das Problem des Umgangs mit personalen Risiken im Falle nicht-einwilligungsfähiger Personen (Merkel et al. 2007, S. 189 ff.). Angesichts des bisherigen Nischendaseins nichtmedizinischer Anwendungen von Neurotechnologien bleibt es ebenfalls noch hoch spekulativ, nach den möglichen Folgen einer alltäglichen Nutzung solcher Technologien im Computerspiel- und „Virtuelle Welten“-Bereich zu fragen. Denkbar wäre hier, dass eine Identifikation mit der Figur, die in der ‚virtuellen Welt‘ geführt wird (Avatar), leichter suchthafte Züge annehmen könnte.

Konkreter erscheinen aber Folgenpotentiale für die personale Autonomie wie sie im Hinblick auf mögliche Einsichten über Verhaltensdispositionen oder charakterliche Eigenschaften diskutiert werden, die sich aus dem Fortschritt der Neurowissenschaften ergeben könnten. Hierzu zählt die Nutzung bildgebender Verfahren vor Gericht wie auch eventuell zum Zwecke des Neuromarketing. Die mögliche Nutzung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse könnte sensible Einsichten über die Person implizieren, deren Nutzung gegen den

Willen der Person einen Eingriff in die Autonomie darstellen würde, der juristisch mit starken Argumenten rechtfertigt werden müsste.

Grundsätzlich wäre auch die Frage zu stellen, inwieweit durch die nichtmedizinische Nutzung von Neuroimaging ein unangemessenes mechanistisches Bild der Determiniertheit des Mentalen bzw. Vorurteile über die Möglichkeit objektiver „Messung“ etwa von unbewussten Motiven von Personen gefördert werden könnten.

### 3.2 Soziale Interaktion und gesellschaftliche Integration

Unabhängig von den möglichen technischen Nutzenanwendungen, die sich aus der neurowissenschaftlichen Forschung ergeben bzw. ergeben könnten, gibt der Fortschritt im Verständnis des Aufbaus und der Funktionsweise des Gehirns, also die Grundlagenforschung selbst, Anlass zu weitreichenden auch eine breitere Öffentlichkeit interessierenden Debatten über mögliche gesellschaftliche Konsequenzen. Hierzu haben einige Neurowissenschaftler durch die Verbreitung provokanter Thesen zum Verhältnis von Geist und Gehirn beigetragen. Sollte das Ziel, alle Bewusstseinsleistungen auf ihr materielles Substrat zurückzuführen – d.h. als biochemischen Vorgang erklären zu können –, tatsächlich realisierbar sein, würde dies in der Tat eine drastische Veränderung unseres Selbstbildes implizieren. Es wäre dann vorstellbar, dass sich der Kern jeglicher sozialen Interaktion, nämlich die wechselseitige Unterstellung von Verantwortlichkeit und Zurechenbarkeit als Akteure, und damit die Grundlage jeglicher Moral, auflösen würde – oder doch nicht mehr in gleicher Weise und Selbstverständlichkeit in der lebensweltlichen Kommunikation unterstellt werden könnte. Wie z.B. von Gerhard Roth vertreten, würde dies auch bedeuten, dass die Annahme von Schuldfähigkeit und Verantwortung im Strafverfahren ihre Grundlage entzogen würde. Diese biologistische Auffassung menschlichen Bewusstseins hat zu vielfältigen kritischen Reaktionen von Seiten der Geisteswissenschaften geführt, die den Anspruch der Neurowissenschaften zurückweisen und Geist, Sprache und Kultur als eigenständige Sphären behaupten, die einer naturwissenschaftlichen Erklärung nicht zugänglich seien. Diese Debatte ist vielfach dokumentiert und hat auch in TA-Studien z.T. breiten Raum eingenommen. Als Zwischenfazit, dass durchaus länger Bestand haben könnte, wird hier festgestellt, dass die bisherigen Ergebnisse der Forschung solche weitreichenden Schlussfolgerungen nicht decken.

Kurzfristig möglicherweise virulent werdende Probleme ergeben sich dagegen auf der Anwendungsebene, so z.B. eine mögliche schleichende Ausweitung des Indikationsspektrums für Psychopharmaka. Es kann erwartet werden, dass die Entwicklung von Medikamenten zur Behandlung von neurologischen und psychischen Erkrankungen in den kommenden Jahren stark vorangetrieben wird, was wegen der wachsenden Zahl z.B. von altersbedingten Erkrankungen durchaus wünschenswert und auch gesellschaftlich notwendig erscheint. Gleichzeitig könnte damit aber auch eine wachsende Zahl von Verhaltensabweichungen und Auffälligkeiten zum Gegenstand medizinischer medikamentöser Behandlung werden, die bisher als „normal“ oder allenfalls als Anlass zu psychotherapeutischer Intervention angesehen werden. Zum einen könnte eine erweiterte Verfügbarkeit von Psychopharmaka den Stellenwert psychotherapeutischer Beratung verändern. Weiterhin könnte sich aber der Krankheitsbegriff auf Formen sozial unerwünschten Verhaltens oder als unangenehm empfundener psychischer Empfindlichkeiten ausweiten, die heute nicht als pathologisch gelten, sondern als angemessene bzw. verstehbare Reaktionen auf persönliche oder soziale Problemlagen. Die Ausweitung der Verschreibung von Ritalin bei verhaltensauffälligen Kindern in den letzten Jahren scheint man durchaus auch als Indikator für eine Tendenz zur Medikalisierung sozialer Probleme betrachten zu können.

Eine Reihe gesellschaftlicher Probleme sehen vorliegende TA-Studien gegeben, sollten Szenarien einer zunehmenden Verfügbarkeit von leistungssteigernden Drogen, also Möglichkeiten des kognitiven Enhan-

ment, Realität werden. Zunächst einmal ist die Veralltäglicung der Nutzung kognitiver Enhancement-Mittel in einer wettbewerbsorientierten Gesellschaft kein unrealistisches Szenario, sollten dementsprechende (nebenwirkungsarme) Mittel verfügbar sein. Diskutiert wird der dann entstehende soziale Druck, der über die schleichend steigenden Erwartungen an individuelle Leistungsfähigkeit, auf den Einzelnen einwirkt, im Interesse seiner Konkurrenzfähigkeit auf die Nutzung entsprechender Mittel zurückzugreifen. Befürchtungen werden auch bezüglich der weiteren Entwicklung von prothetischen Mitteln, die zur Verbesserung der Lebensqualität behinderter Menschen wünschenswert erscheint, geäußert. Sollten solche Entwicklungen auch zu Enhancement-Zwecken verfügbar sein könnte sich das Verständnis speziesnormaler Leistungsfähigkeit verändern, und bisher als normal empfundene körperliche Leistungsfähigkeit oder Ausstattungen als verbesserungsbedürftig aufgefasst werden, etwa Kleinwüchsigkeit oder Übergewicht (vgl. zu dieser Thematik Grunwald 2008, S. 308 ff.).

Es bleibt grundsätzlich festzuhalten, dass sich die Diskussion um Enhancement zu großen Teilen im Bereich des Spekulativen bewegt. Es können durchaus Zweifel angemeldet werden, inwieweit in naher Zukunft tatsächlich nennenswerte Möglichkeiten der kognitiven Leistungssteigerung – ohne ernsthaft Nebenwirkungen, die eine Veralltäglicung ihrer Nutzung unwahrscheinlich machen – zur Verfügung stehen werden. Während Probleme wie eine zunehmende Medikalisierung von Verhaltensabweichungen und psychischen Störungen ein durchaus ernstzunehmendes Folgenszenario darstellen, kann die Debatte um Enhancement-Technologien doch als weitgehend dem Bereich „spekulativer Ethik“ (Nordmann, Rip 2009) angehörig betrachtet werden. Aktuelle Untersuchungen des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) kommen zu eher nüchternen Einschätzungen, was eine zukünftig mögliche Verbreitung von kognitivem Enhancement angeht, und stellen in Frage, ob der Begriff Enhancement – da irreführend – in der Debatte über Folgen neuer Psychopharmaka überhaupt genutzt werden sollte (vgl. Sauter 2010).

Hoch spekulativ ist bisher die Aussicht, durch Gehirn-Computer-Schnittstellen-Technologie eine quasi-telepathische Alltagskommunikation einschließlich der Kommunikation von Gefühlen und Empfindungen zu ermöglichen. Realistischer erscheint hingegen die Möglichkeit, mittels elektromyographiebasierter Technologie lautlose sprachliche Kommunikation in verschiedenen Anwendungskontexten zu ermöglichen. Die Nutzung von Neurotechnologien zur Gerätesteuerung ermöglicht es zudem zumindest perspektivisch, dass körperlich eingeschränkte oder behinderte Menschen neue oder verbesserte Möglichkeiten der sozialen Integration erlangen. Dies betrifft z.B. deren Mobilität sowie deren Nutzung von Computertechnologie für Kommunikations-, soziale Vernetzungs- und Unterhaltungszwecke.

### **3.3 Politische Regulierung**

Politisch stellt sich die Frage nach der Notwendigkeit von regulierender Intervention. Angesichts des wenig fortgeschrittenen Charakters nichtmedizinischer Anwendungen der Neurowissenschaften ist hierzu derzeit aber nur wenig zu sagen. Eine Zulassung des Einsatzes von Neuroimaging für nichtmedizinische Zwecke im Bereich der Strafverfolgung und Rechtsprechung wäre ohne rechtliche Regelungen, die Aussagen zur Beweiskraft der Methode und den Umständen der zulässigen Nutzung umfassen, kaum vorstellbar.

Die Nutzung von Enhancement-Technologien oder -mitteln müsste wohl als Wahrnehmung eines individuellen Rechtes angesehen werden, in das nur einzugreifen wäre, wenn negative Folgen für Dritte oder Selbstgefährdung bestehen. Soweit dies nicht in Anschlag gebracht werden kann, wird eine politische Regulierung weithin als schwierig eingeschätzt. Ethische Bewertungen etwa des kognitiven Enhancement kommen immer wieder zu dem Schluss, dass die absehbaren Möglichkeiten des Hirndoping wohl kaum ethisch anders zu bewerten seien als etablierte Formen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit (s. z.B. Galert



2010; van den Daele 2010). Warum sollten individuell wahrgenommene Defizite kognitiver, körperlicher oder ästhetischer Art nicht zum Einsatz entsprechender Mittel berechtigen, wenn sie doch Nebenwirkungen einmal ausgeklammert das subjektive Wohlbefinden oder die Zufriedenheit befördern? Wo liegt der Unterschied zwischen einer allseits kulturell akzeptierten Nutzung von etwa Koffein zur Verbesserung der Aufmerksamkeit gegenüber den neuen Möglichkeiten des Enhancement? Zonneveld et al. (2008) stellen in ihren Schlussfolgerungen zu einem Expertenworkshop „Enhancement“ in den Kontext der Frage nach dem „guten Leben“. Sie konstatieren hier eine Schwäche liberaler Gesellschaften, die sie gegenüber individuell eingeforderten Rechten auf Nutzung jedweder Möglichkeit der Erweiterung der eigenen Leistungs- oder Erlebnisfähigkeit hilflos macht. Die Frage nach dem guten Leben oder die Frage „what it means to be human“ sind der Sphäre privater Präferenzen und Entscheidungen überlassen. Die Herausgeber sehen sie im Falle von Enhancement hier aber schlecht aufgehoben, weil zumindest potenziell eine grundsätzliche Veränderung der „conditio humana“ impliziert sein könnte. Grundsätzlich würde sich bei einer veralltäglichten Nutzung von kognitiven „Enhancern“ wahrscheinlich eine Regulierung des Gebrauchs in Prüfungssituationen nicht vermeiden lassen. Es würden sich hier ähnliche Probleme des Ausschlusses von unfairem Wettbewerb und entsprechender Kontrollen wie heute im Sport stellen. Gesundheitliche Risikofragen stellten sich, wenn neurotechnologische Eingriffe, die nichtmedizinischen oder behinderungskompensierenden Zwecken dienen, so attraktiv würden, dass eine nennenswerte Zahl von Menschen die Risiken eines operativen Eingriffs auf sich nehmen. Auch wenn es nicht ausgeschlossen ist, dass z.B. hochkompetitive oder stark leistungs- und leidensbereite Gruppen wie Soldaten und professionelle Computerspieler denkbare leistungssteigernde Neuro-Implantate attraktiv fänden (vgl. zu dieser Thematik z.B. Coenen et al. 2009; Grunwald 2008; Nijholt et al. 2009), so erscheint diese Zukunftsperspektive aber doch noch extrem spekulativ.

Hinsichtlich der Nutzung von (überwiegend direkt aus dem Bereich aus der Medizintechnologie stammenden) Neurotechnologien und anderen biosignalbasierten Technologien für Unterhaltungs- und andere nichtmedizinische Zwecke könnten in Zukunft Gesundheits- und Sicherheitsaspekte verstärkt thematisiert und dann eventuell auch politisch reguliert werden. Hierbei könnte es z.B. um Zulassungsverfahren gehen, um Sicherheitsaspekte (z.B. in Bezug auf den Straßenverkehr), um Fragen der rechtlichen Verantwortlichkeit (z.B. bei neuartigen Fahrassistenzsystemen) und um den Jugendschutz bei möglicherweise emotional besonders stark ansprechenden und daher hohe Suchtpotentiale besitzenden Neurotechnologie-Computerspielanwendungen.



## 4 Schlussfolgerungen und Vorschläge für ITA-Projekte

Die Neurowissenschaften sind als Thema in der TA angekommen und werden in der Breite sowohl durch klassische überblickartige TA-Studien als auch in der noch laufenden Enhancement-Debatte hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Folgepotentiale diskutiert. Grundsätzlich sind die Neurowissenschaften damit TA-seitig, zumindest was grundsätzliche Fragen, wie etwa die möglichen kulturelle Bedeutung der Aufklärung der physiologischen Grundlagen mentaler Aktivität, angeht, recht gut erfasst. Einige der in der vorliegenden Studie angesprochenen einzelnen Anwendungsmöglichkeiten neurowissenschaftlicher Erkenntnisse, wären aber durch spezielle TA-Studien noch systematisch zu untersuchen. Hierzu werden im Folgenden einige Anregungen formuliert.

Wegen der zu erwartenden weiteren Fortschritte in Forschung und Anwendung ist selbstverständlich ein weiteres Monitoring der Entwicklung der Neurowissenschaften angezeigt, um auf zu erwartende Durchbrüche der Forschung mit eventuellen Weiterungen für die gesellschaftlich Praxis und politischen Regulierungsbedarf rechtzeitig reagieren zu können. Dies gilt insbesondere auch für den Bereich der medizinischen Anwendungen, die in der vorliegenden Studie nicht betrachtet wurden. Insbesondere mögliche Erfolge in der Aufklärung von Ursachen altersbedingter neurologischer Erkrankungen sind wegen der möglichen gesundheitsökonomischen Effekte von Bedeutung.

Was den Bereich nichtmedizinischer Anwendung angeht, steht – wie an verschiedenen Stellen in der vorliegenden Studie erwähnt – momentan das Thema „Human Enhancement“ im Zentrum des Interesses. Hier erscheinen die in jüngerer Zeit abgeschlossenen oder noch laufenden TA-Studien derzeit ausreichend. Erhebliche gesellschaftliche Folgen und ethische Debatten sind sicherlich für den Fall der Realisierung vieler derzeit diskutierter Enhancement-Möglichkeiten zu erwarten. Nur ist die Realisierbarkeit solcher Erweiterungen menschlicher kognitiver Leistungen derzeit kaum seriös abzuschätzen und kann – wenn überhaupt – allenfalls für die fernere Zukunft erwartet werden. Sinnvoll erscheinen TA-Studien im Kontext „Enhancement“ eher für die etablierte Praxis des Missbrauchs oder der „erweiterten“ Nutzung neuer Stimulanzien und Psychopharmaka, wie etwa Ritalin. Hier würden aber zunächst wahrscheinlich weniger ethische Probleme und weitgehende gesellschaftliche Folgen als Fragen der tatsächlichen Wirkung und Nebenwirkungen genutzter „Enhancement-Medikamente“, im Sinne eines „Health Technology Assessment“, im Vordergrund stehen.

Auch bei den in der vorliegenden Kurzstudie näher untersuchten Anwendungsfeldern stellt sich zunächst vor allem die Frage nach der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der erhofften bzw. in der Praxis bereits angekommenen Anwendungen neurowissenschaftlichen Wissens.

Dabei scheint das Anwendungsfeld „Lernen“ noch am wenigsten hinsichtlich beobachtbarer Effekte der Neurowissenschaften auf die (schulische) Praxis entwickelt zu sein. Hier hat sich aber offenbar im Bereich der Forschung zumindest die wechselseitige Beobachtung psychologischer Lernforschung und neurowissenschaftlicher Forschung soweit etabliert, dass eine intensive fachliche Diskussion möglicher zukünftiger Effekte der Neurowissenschaften für Forschung und Praxis gesichert scheint. Für eine darüber hinaus gehende grundsätzliche Thematisierung von Effekten der Neurowissenschaften auf die Gestaltung von Curricula, Lernumgebung oder individuelle Lernleistung besteht aber vorläufig eher kein Anlass.

Es scheinen zurzeit weniger neue fundamentale Einsichten zur Funktionsweise von Gehirn und Nervensystem und der physiologischen Basis mentaler Leistungen und Bewusstseinsvorgänge zu sein, die merkbare Effekte auf gesellschaftliche Praxisfelder zeitigen. Vielmehr lässt sich beobachten, dass technische Methoden und Instrumente, die für die moderne neurowissenschaftliche Forschung kennzeichnend sind und auch Bedeutung für die medizinische Diagnostik und Therapie haben, sozusagen auf dem Wege des „Dual use“

für außermedizinische Anwendungen genutzt werden. Das trifft insbesondere auf das Neuroimaging, aber auch (weniger entwickelt) auf das sog. „Neurofeedback“ zu.

Die nichtmedizinischen Anwendungen von Neurotechnologien sind bisher zumeist entweder noch in der experimentellen Phase oder nur in Nischenbereichen relevant. Sie wären daher in TA-Studien wohl am besten im Rahmen von thematisch umfassenderen Projekten zu untersuchen. Hier böte sich z.B. ein Projekt zu nichtmedizinischen Anwendungen biosignalbasierter Technologien insgesamt an. Weitere sich anbietende Möglichkeiten sind Projekte zu ‚Virtuelle-Realität‘-Technologien und zum Computerspielbereich.

## **Computerspiele**

Bei einem möglichen Projekt zum Computerspielbereich – das im Folgenden kurz beispielhaft skizziert werden soll – wäre die in dieser Kurzstudie fokussierte Nutzung von Gehirn-Computer-Schnittstellen (BCI) lediglich ein Element technologischer Innovation in einem dynamischen, ökonomisch und kulturell bereits bedeutenden Feld. Die medizinischen Nutzungen von Computerspielen könnten genauso einbezogen werden wie der Bedeutungszuwachs von Computerspielen in anderen Nichtunterhaltungsbereichen (z.B. ‚serious games‘ und bei Simulationen), die ökonomischen Perspektiven der gesamten Branche sowie das ganze Spektrum biosignal- und bewegungsbasierter neuer Steuerungsmöglichkeiten, wie z.B. auch die vor allem durch die ‚Wii‘-Produkte der Firma ‚Nintendo‘ bekannten Videokonsolen mit eingebauten Bewegungssensoren (vgl. für einen journalistischen Beitrag zu neueren Entwicklungen in diesem Spektrum: Stuart 2010). Im Unterhaltungsbereich dürften sich Anwendungen von Neurotechnologien in absehbarer Zukunft auf die Nutzung bei der Entwicklung von Spielen, auf einen Nischenmarkt für reine BCI-Spiele sowie auf die Ergänzung der etablierten Steuerungselemente (Maus, Tastatur, Konsole) durch BCI-Technologien beschränken (Blankertz et al. 2010). Letzteres könnte dann auch bei populären Spielen und damit ökonomisch relativ relevant werden, z.B. durch Möglichkeiten, bestimmte „Fähigkeiten“ von Avataren auf neuartige Weise im Spiel zu realisieren. Denkbar ist auch, dass im als besonders dynamisch geltenden Wachstumsmarkt der ‚Casual Games‘ (Böhle et al. 2008) BCI-Technologien aufgrund des einfachen Charakters der Spiele als Hauptsteuerungselemente Verbreitung erlangen. Mittel- bis langfristig könnten die Anwendungen im Spielbereich noch vielfältiger werden. Schon jetzt ließe sich z.T. abklären, inwieweit die nichtmedizinische Nutzung von Neurotechnologien in diesem Bereich riskant ist, sowohl unter im engeren Sinn gesundheitlichen und Sicherheitsaspekten als auch mit Blick auf suchtartige Konsummuster von Spielen. Zudem wären möglichst genau, die tatsächliche Leistungsfähigkeit und die Potentiale der einschlägigen Anwendungen zu bestimmen. In einem umfassenden TA-Projekt zum Computerspielbereich könnte auch die Nutzung von Computerspielen für Lernzwecke thematisiert werden, wobei dann Neurotechnologien ebenfalls eine gewisse Rolle spielen könnten. In einem umfassenden Projekt ließe sich von den in dieser Studie angesprochenen TA-Studien ausgehen, und die in der Förderung von Innovations- und Technikanalysen zum Thema berücksichtigten Kompetenzen könnten wieder eingebunden werden. Dabei ließen sich dann schließlich eventuell auch weitergehende gesellschaftliche und kulturelle Aspekte des Themas – wie z.B. Tendenzen einer wachsenden Durchdringung der Gesellschaft mit Computerspielen (‚gamification‘ bzw. ‚Ludifikation‘) sowie die kulturelle und technologische Innovationstreiberrolle des Computerspielgenres – berücksichtigen.

## **Außermedizinische Nutzung von Neuroimaging**

Der bereits praktizierte Einsatz bildgebender Verfahren im Neuromarketing wie auch die intensiven Diskussionen zur Nutzung dieser Verfahren in der Strafverfolgung und Rechtsprechung lassen ebenfalls eine intensivere Thematisierung durch TA-Studien angebracht erscheinen. Hier sind vor allem mögliche ethische Aspekte und verschiedene gesellschaftliche Folgen relevant. Die im Auftrag von TA-Swiss (Hüsing et

al. 2006) durchgeführte Studie zum Neuroimaging kann hier als Orientierung dienen. Die Studie war allerdings eher als Überblick angelegt, und die hier zur Diskussion stehenden Anwendungsfelder waren zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie noch kaum ausreichend konturiert. Der Stand und die möglichen gesellschaftlichen Implikationen des Neuromarketing könnten – da in Deutschland offenbar bereits von nicht unerheblicher Bedeutung – in einer eigenen Studie untersucht werden. Eher angemessen erscheint aber eine etwas breiter, an der Technologie des Neuroimaging und den sich abzeichnenden außermedizinischen Anwendungsfeldern ansetzende Studie, steht doch in beiden hier thematisierten Einsatzfeldern die Frage nach der tatsächlichen Leistungsfähigkeit und der Validität der erzielten Ergebnisse im Vordergrund.

Eine TA-Studie zur Anwendung bildgebender Verfahren in den Feldern Marketing und Justiz würde also zunächst generell die Aussagekraft von Hirnscans zum Thema haben. Es ist durchaus auch im Bereich der neurowissenschaftlichen Grundlagenforschung nicht abschließend geklärt, welchen Wert Hirnscan-Experimente für die Aufklärung der physiologischen Basis komplexer mentaler Vorgänge haben bzw. haben können. Es bestehen gravierende methodologische Probleme, die sich aus Rückschlüssen aus der indirekten Messung neuronaler Aktivität (Bluttransport zu besonders aktiven Hirnregionen bei fMRT) oder den Schwierigkeiten des Herausfilterns der für den untersuchten mentalen Vorgang relevanten Aktivität aus der Gesamtaktivität des Gehirns ergeben. Zudem wird die in Hirnscan-Experimenten unterstellte Annahme einer modularen Arbeitsweise des Gehirns – das also bestimmte Hirnregionen auf bestimmte Aufgaben spezialisiert sind – von einigen Fachvertretern als durchaus nicht hinreichend theoretisch und empirisch untermauert, betrachtet. Es wären also zunächst die methodologischen und theoretischen Probleme von Hirnscan-Experimenten aufzuklären. Hierzu wären in der Nutzung der Technologie erfahrene und an der Theorieentwicklung interessierte Neurowissenschaftler sowie Experten aus der sozialwissenschaftlichen Forschung (etwa aus der Verhaltenspsychologie) miteinander ins Gespräch zu bringen. Ziel wäre es, eine Beurteilungsgrundlage für die doch vielfach als zu weitgehend kritisierten Rückschlüsse von Grundlagenforschungsergebnissen auf praktische Anwendungen in den Bereichen Neuromarketing und Justiz zu gewinnen. Für diese beiden Felder wäre dann zunächst die Validität, der von den Akteuren (insbesondere im Neuromarketing) postulierten Nutzenanwendungen zu diskutieren. Hierbei wären auch nach den Erwartungen und Motiven von Kunden und Anbietern zu fragen. Beim Neuromarketing würde diese Diskussion an einer etablierten Praxis anknüpfen können, während für den Bereich Justiz eher prospektiv die Sinnhaftigkeit des Einsatzes von Neuroimaging zwischen Neurowissenschaftlern, Rechtswissenschaftlern und -praktikern sowie Sozialwissenschaftlern zu diskutieren wäre. Die zu berücksichtigenden Folgendimensionen würden wahrscheinlich auf den Bereich des Persönlichkeitsschutzes und auf Eingriffe in Persönlichkeitsrechte fokussieren. Daneben sollte es aber auch ein Anliegen der Untersuchung sein, einen Beitrag zur sachlichen Beurteilung der Aussagekraft von Hirnscans auch im Hinblick auf eine breitere Öffentlichkeit zu leisten. Die gelegentliche Rede vom „Gedankenlesen“ lässt es als durchaus sinnvoll erscheinen, die „suggestive Kraft der Hirnbilder“ mit realistischen Einschätzungen zu kontrastieren, um zu einer Entmythologisierung beizutragen. Hierzu wäre es auch angebracht, dort wo die Anwendung hinreichend konkret ist (wie beim Neuromarketing), durch geeignete Befragungstechniken, die Sicht von Laien auf den Einsatz von Neuroimaging zu untersuchen: um Hinweise auf kursierende Erwartungen und Befürchtungen oder auch auf Potentiale der irreführenden Nutzung von Laienvorurteilen hinsichtlich der „Objektivität der Bilder“ zu erhalten.



## 5 Literaturverzeichnis

- BBDO-Germany* (o.J.): Brain Branding: Eine neue Perspektive für das Markenmanagement, [www.bbdo-consulting.de/cms/de/publikationen/brand\\_management/brand\\_management/pdf/2004\\_11\\_POI\\_1\\_-\\_BrainBranding\\_-\\_Eine\\_neue\\_Perspektive\\_fuer\\_das\\_Markenmanagement.pdf](http://www.bbdo-consulting.de/cms/de/publikationen/brand_management/brand_management/pdf/2004_11_POI_1_-_BrainBranding_-_Eine_neue_Perspektive_fuer_das_Markenmanagement.pdf) (14.10.10)
- Beck, S.* (2006): Unterstützung der Strafermittlung durch die Neurowissenschaften?. In: Juristische Rundschau, S. 146-150
- Becker, N.; Roth, G.* (2004): Hirnforschung und Didaktik. Ein Blick auf aktuelle Rezeptionsperspektiven. In: Erwachsenenbildung 50, S. 106-110
- Berger, T.; Chapin, J.; Gerhardt, G.; McFarland, D.; Principe, J.; Soussou, W.; Taylor, D.; Tresco, P.* (2007): WTEC Panel Report on International Assessment of Research and Development in Brain-Computer Interfaces. World Technology Evaluation Center, Inc.: Baltimore; <http://www.wtec.org/bci/BCI-finalreport-10Oct2007-lowres.pdf>
- Blankertz, B.; Tangermann, M.; Vidaurre, C.; Fazli, S.; Sannelli, C.; Haufe, S.; Maeder, C.; Ramsey, L.; Sturm, I.; Curio, G.; Müller, K.-R.* (2010): The Berlin Brain-Computer Interface: Non-Medical Uses of BCI Technology. *Frontiers in Neuroscience*
- Böhle, K.; Rader, M.; Weber, A.; Weber, D.* (2008): Looking forward in the ICT & Media industries. STOA Final Study 34. Brussels: European Parliament 2008 (IP/A/STOA/FWC2005-28/SC34); <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2008/boua08a.pdf>
- Brown, T., Murphy, E.* (2010): Through a scanner darkly: Functional Neuroimaging as evidence of a criminal defendant's past mental states. In: *Stanford Law Review* 62, S. 1119-1208
- Byrnes, P. J.; Fox, N. A.* (1998): The Educational relevance of Research in Cognitive Neuroscience. In: *Educational Psychological Review*, Vol. 10, S. 297-242
- Coenen, C.* (2008): Konvergierende Technologien und Wissenschaften. Der Stand der Debatte und politischen Aktivitäten zu „Converging Technologies“, Hintergrundpapier Nr. 16, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin
- Coenen, C.; Schuijff, M.; Smits, M.; Klaassen, P. Hennen, L.; Rader, M. Wolbring, G.* (2009): Human Enhancement. Science and Technology Options Assessment (STOA), European Parliament, Brüssel (STOA 2009-13)
- Coenen, C.; Gammel, St.; Heil, R.; Woyke, A.* (Hg.) (2010): Die Debatte über "Human Enhancement". Historische, philosophische und ethische Aspekte der technologischen Verbesserung des Menschen. Bielefeld
- Cole, E.* (2007): Direct Brain-to-Game Interface Worries Scientists. *Wired*, 09.05.07, [http://www.wired.com/medtech/health/news/2007/09/bci\\_games](http://www.wired.com/medtech/health/news/2007/09/bci_games)
- Crawford, M. B.* (2008): The limits of Neuro-Talk. In: *The New Atlantis*; S. 65-78
- Deutscher Ethikrat* (2009): Der gläserne Mensch. Tagungsdokumentation, Berlin
- De Pauw, E.; Pleysier, S.; Van Looy, J.; Bourgonjon, J.; Rutten, K.; Vanhoooven, S.; Soetaert, R.* (2008): Ze krijgen er neit genoeg van! Jongeren en gaming, een overzichtstudie (Onderzoeksrapport, Februar 2008). Brüssel: viWTA (Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek)
- Dubiel, H.* (2006): Tief im Hirn. München
- EGE (European Group on Ethics in Science and New Technologies)* (2005): Ethical Aspects of ICT Implants in the Human Body, Opinion No. 20 of the European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission. Brüssel
- Egner, T.; Gruzelier, J.* (2003): Ecological validity of neurofeedback: Modulation of slow wave EEG enhances musical performance. In: *NeuroReport* 14, S. 1221-1224

- Erk, S.; Spitzer, M.; Wunderlich, A. P.; Galley, L.; Walter, H. C. A.* (2002): Cultural Objects modulate reward circuitry. In: *Neuroreport* 13, S. 2499-2503
- Farwell, L. A.; Smith, S. S.* (2001): Using Brain MERMER testing to detect knowledge despite efforts to conceal. In: *Journal of Forensic Science* 46, S. 135
- Fehr, E.; Camerer, C. F.* (2007): Social neuroeconomics: the neural circuitry of social preferences. *Trends in Cognitive Sciences* 11, S. 419-427
- Ferrari, A.; Coenen, C.; Grunwald, A.; Sauter, A.* (2010): Animal Enhancement. Neue technische Möglichkeiten und ethische Fragen (Expertenbericht im Auftrag der Eidgenössischen Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich, EKAH). Bern: Bundesamt für Bauten und Logistik BBL (Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, Bd. 7)
- Fields, H.* (2010): Can Neuroscience Identify Pain? In: *A Judges Guide to Neuroscience*, University of California, Santa Barbara
- Franke, A.; Lieb, K.* (2010): Pharmakologisches Neuroenhancement und „Hirndoping“. Chancen und Risiken. In: *Bundesgesundheitsblatt* 53/8, S. 853-860
- Galert, T.* (2010): „Das optimierte Gehirn“. Potenziale und Risiken des pharmazeutischen Enhancements psychischer Eigenschaften. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis (TATuP)* 19/1 (April 2010), S. 67-70
- Ganis, G.; Kosslyn S. M.; Stose S.; Thompson, W. L.; Yurgelun-Todd D. A.* (2003): Neural Correlates of Different Types of Deception: An fMRI Investigation. In: *Cerebral Cortex* 13, S. 830-836
- Geake, J.* (2008): The potential of cognitive neuroscience for education: education and the human potential. In: *Zonneveld, L.; Dijstelbloem, H.; Ringoir, D.* (Hg.): *Reshaping the Human Condition: Exploring Human Enhancement*. In: *The Hague*, S. 53-64
- Giegerenzer, G.* (2007): *Bauchentscheidungen. Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition*. München
- Goodenough, O. R.; Tucker, M.* (2010): Law and Cognitive Neuroscience. In: *Annual Review of Law and Social Sciences* Vol. 6, S. 61-92
- Goswami, U.* (2003): Why theories about development dyslexia require developmental design. In: *Trends in Cognitive Sciences* 7, S. 534-540
- Greene, D. G.; Paxton, J. M.* (2009): Patterns of neural activity associated with honest and dishonest moral decisions. In: *Proceedings of the national Academy of Sciences of the United States of America* 106, S. 12505-12511
- Grunwald, A.; Banse, G.; Coenen, Chr.; Hennen, L.* (2006): *Netzöffentlichkeit und digitale Demokratie. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag*, Bd. 18. Berlin
- Grunwald, A.* (2008): *Auf dem Weg in eine nanotechnologische Zukunft. Philosophisch-ethische Fragen*. Freiburg (Breisgau)
- Harrison, G. W.* (2008): Neuroeconomics a critical consideration. In: *Economics and Philosophy* Vol. 24, S. 303-344
- Häusel, H. G.* (2009): *Schleichwege ins Kundenhirn (Interview)*. <http://www.haufe.de/acquisa/specialContentDetail?id=1237801126.17> (14.10.10)
- Heingartner, D.* (2009): *Losers: Mental Block*. Emotiv says its game controller works at the speed of thought, but it doesn't. In: *IEEE Spectrum*, January 2009, <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gaming/loser-mental-block>
- Hennen, L.; Katz, Chr.; Paschen, H.; Sauter, A.* (1997): *Präsentation von Wissenschaft im gesellschaftlichen Kontext. Zur Konzeption eines "Forums für Wissenschaft und Technik. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag*, Bd. 4. Berlin



- Hennen, L.; Grünwald, R.; Revermann, C.; Sauter, A. (2008): Einsichten und Eingriffe in das Gehirn. Die Herausforderung der Gesellschaft durch die Neurowissenschaften. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Bd. 24. Berlin
- Hüsing, B.; Jäncke, L.; Tag, B. (2006): Impact Assessment of Neuroimaging. Zürich
- King Baudouin Foundation, Rathenau Institute (2004): Connecting Brains and Society. The present and future of brain science. Proceedings and synthesis report of an international workshop, April 2004. Amsterdam
- Katayama, K. (2009): Invention Awards: A Real-Life Babel Fish For the Speaking Impaired. Popular Science, 05.20.2009; <http://www.popsoci.com/scitech/article/2009-05/electronic-voice-box>
- Knecht, S.; Breitenstein, C.; Bushuven, S.; Wailke, S.; Kamping, S.; Flöel, A.; T`Zwitserlood, P.; Ringelstein, E. B. (2004): Levodopa - faster and better word learning in normal humans. In: *Annals of Neurology* 56, S. 20-26.
- Knutson, B.; Scott, R.; Wimmer G. E.; Prelec, D.; Loewenstein, G. (2007): Neural Predictors of Purchases. In: *Neuro* 53, S. 147-156
- Kolber, A. (2011): The Experiential Future of the Law. *Emory Law Journal* (forthcoming)
- Kollek, R. (2005): From Chance to Choice? Selbstverhältnis und Verantwortung im Kontext biomedizinischer Körpertechniken. In: Bora, A.; Decker, M.; Grünwald, A.; Renn, O. (Hg.): *Technik in einer fragilen Welt – Die Rolle der Technikfolgenabschätzung*. Berlin, S. 79–90
- Langleben, D.D.; Schroeder, L.; Maldjian, J. A.; Gur, R. C.; McDonald, S.; Ragland, J. D.; O'Brien, C. P.; Childress, A. R. (2002): Brain activity during simulated deception: an event-related functional magnetic resonance study. In: *Neuroimage* 15(3), S. 727-732
- Lin, M. (2008): OCZ NIA Brain-Computer Interface. *HotHardware*, 21.07.2008, [http://hothardware.com/Articles/OCZ\\_NIA\\_BrainComputer\\_Interface/](http://hothardware.com/Articles/OCZ_NIA_BrainComputer_Interface/)
- Littlefield, M. (2009): Constructing the Organ of Deceit: The Rhetoric of fMRI and Brain Fingerprinting in Post-9/11 America. In: *Science, Technology & Human Values* 34, S. 365-392
- McClure, S. M.; Li, J.; Tomlin, D.; Cypert, K. S.; Montague, L. M.; Montague, P. R. (2004): Neural correlates of behavioural preferences for culturally familiar drinks. In: *Neuro* 44, S. 379-387
- Merkel, R.; Boer, G.; Fegert, J.; Galert, T.; Hartmann, D.; Nuttin, B.; Rosahl, S. (2007): Intervening in the Brain: Changing Psyche and Society. In: *Ethics of Science and Technology Assessment Vol. 29*. Berlin u. Heidelberg
- Miller, G. (2009): Brain Scans of Pain Raise Questions for the Law. In: *Science* Vol. 323, S. 195
- Minjin, K.; Kyoungwoo, B.; Gyuhan, O.; Taiyoung, R. (2009): A Study on New Gameplay Based on Brain-Computer Interface. In: *Digital Games Research Association (Hg.): Proceedings of DiGRA 2009: Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory*; <http://www.digra.org:8080/Plone/dl/db/09287.16307.pdf>
- Moreno, J. D. (2006): *Mind Wars: Brain Research and National Defense*. New York, Washington
- Nijholt, A. (2008): BCI for Games: A 'State of the Art' Survey. In: Stevens, S.; Saldamarco, S. (Hg.): *Entertainment Computing – ICEC 2008. 7th International Conference, Pittsburgh, PA, USA, September 25-27, 2008*. In: *Proceedings, Lecture Notes in Computer Science* 5309, S. 225-228
- Nijholt, A.; Tan, D. (2007): Playing with your brain: brain-computer interfaces and games. (Workshop auf der 4th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2007), 13.-15. Juni 2007, Salzburg). In: Bernhaupt, R.; Inakage, M.; Lee, N.; Natkin, S.; Tscheligi, M. (Hg.): *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE 2007 (Series: ACM International Conference Proceedings Series, Bd. 203)*. Rostrevor: Curran Associates, S. 305 – 306
- Nijholt, A.; Reuderink, B.; Oude Bos, D. (2009): Turning Shortcomings into Challenges: Brain-Computer Interfaces for Games. In: Nijholt, A.; Reidsma, D.; Hondorp, H. (Hg.): *Intelligent Technologies for Interactive Entertainment. Third International Conference, INTETAIN 2009, Amsterdam, The Netherlands, June 22-24, 2009*,

Proceedings, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering 9 (Part 2), S. 153-168

Nordmann, A.; Rip, A. (2009): Mind the gap revisited. In: *Nature Nanotechnology* 4, S. 273 - 274

*Neurofocus* (2010): Sales success shows Neuromarketing moves magazines: New Scientist reports 12% increase in newsstand sales for issue featuring Neurofocus tested cover design, Press release, London 2. 9. 2010 ([http://www.neurofocus.com/pdfs/NewScientist\\_CoverDesign\\_ROI.pdf](http://www.neurofocus.com/pdfs/NewScientist_CoverDesign_ROI.pdf)) (10.10.2010).

New, J. G. (2008): If you could read my mind – implications of neurological evidence for twenty-first century criminal jurisprudence. In: *The Journal of Legal Medicine* 29, S. 179-198

Paschen, H.; Wingert, B.; Coenen, Chr.; Banse, G. (2002): Kultur – Medien – Märkte. Medienentwicklung und kultureller Wandel. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Bd. 12. Berlin

Pauen, M. (2007): Neuroökonomie – Grundlagen und Grenzen. In: *Analyse & Kritik* 29, S. 24-37

Platt, M. L.; Glimcher, P. W. (1999): Neural correlates of decision variables in parietal cortex. In: *Nature* 400, S. 233-238

Rief, W.; Birbaumer N. (Hg.) (2006): Biofeedback: Grundlagen, Indikationen, Kommunikation, praktisches Vorgehen in der Therapie. Stuttgart

Riehm, U.; Wingert, B. (1995): Multimedia – Mythen, Chancen und Herausforderungen. Mannheim

Sauter, A. (2010): Beschleunigung der Evolution durch pharmakologische Leistungssteigerung? Human Enhancement zwischen Utopie und Trivialität. In: Gerhard, V., Lucas, K., Stock, G. (Hg.): *Natur, Technik und Kultur in der Perspektive der Evolution* (in Vorbereitung)

Schauer, F. (2009): Neuroscience lie detection and the law. In: *Trends in Cognitive Science* 14, S. 101-103

Schleim, S.; Spranger, T. M.; Walter, H. (2007): Von der Neuroethik zum Neurorecht? Der Beginn einer neuen Debatte. In: *Nervenheilkunde* 26, S. 813-818

Schleim, S.; Walter, H. (2007): Gedankenlesen mit dem Hirnscanner? In: *Nervenheilkunde* 26, S. 505-510

Schulte von Drach, M. C. (2005): Neuronen würden Whiskas kaufen. In: *Süddeutsche Zeitung* vom 13.07.2005

Schumacher, R. (2007): The Brain is not Enough. Potentials and Limits in Integrating Neuroscience and Pedagogy. In: *Analyse und Kritik* 29/1, S. 38-46

Spence, S.A.; Hunter, M. D.; Farrow, T. F. D.; Green, R. D.; Leung, D. H.; Hughes C.J.; Ganesan, V. (2004): A cognitive neurobiological account of deception: evidence from functional neuroimaging. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 359, S. 1755-1762

Spitzer, M.; Kubesch, S. (o.J.): Zur Definition und Bedeutsamkeit exekutiver Funktionen für die pädagogische Praxis. ZNL Ulm, <http://www.znl-ulm.de/html/n18-editorial.html> (28.09.10)

Spranger, T. M. (2007): Neurowissenschaften und Recht. In: *Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik*, Bd.12, S. 161-178

Stanton, A. A. (2009): Neuroeconomics: A critique of „Neuroeconomics: A critical Reconsideration“. Prepared for the *Revue Francaise d’Economie*. <http://ssrn.com/abstract=1113226> (11.10.2010)

Stern, E.; Grabner, R.; Schumacher, R. (2005): Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften: Erwartungen, Befunde und Forschungsperspektiven. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bonn

Stieglitz, Th.; Rubehn, B.; Henle, C.; Meier, W.; Schuettler, M. (2009): Gehirn-Computer-Schnittstellen zur Ableitung und Stimulation. In: *Orthopädie-Technik* 2009(6), S. 376-382

Stuart, K. (2010): 3D games enter a new generation. The launch of PlayStation Move and Xbox Kinect signals a revolution in the way that we interact through the Internet. In: *The Observer* vom 19.09.2010, <http://www.guardian.co.uk/technology/2010/sep/19/3d-games-xbox-playstation>

Tyler, W. (2010): Remote Control of Brain Activity Using Ultrasound, *Armed with Science* (Website), 01.09.2010; <http://science.dodlive.mil/2010/09/01/remote-control-of-brain-activity-using-ultrasound/>

- Van den Daele, W.* (2010): Auf eigene Rechnung. Gegen Neuro-Enhancement lässt sich schwer argumentieren. In: WZB-Mitteilungen 127 (März 2010), S. 9-11
- Vogeley, K.* (2005): Stand der Forschung, Anwendung und Perspektiven der Neurowissenschaften. Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages. Köln
- Wagenaar, W. A.* (2008): Enhancing memory in the Criminal Trial process. In: Zonneveld, L.; Dijstelbloem, H.; Ringoir, D. (Hg.): Reshaping the Human Condition: Exploring Human Enhancement. In: The Hague, S. 65-76
- Wand, M.; Schultz, T.* (2009): Towards Speaker-Adaptive Speech Recognition based on Surface Electromyography, Vortrag auf der International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing (Biosignals 2009), Porto, 14. Januar 2009; [http://csl.ira.uka.de/fileadmin/media/publication\\_files/WandSchultz\\_Biosignals2009.pdf](http://csl.ira.uka.de/fileadmin/media/publication_files/WandSchultz_Biosignals2009.pdf)
- Zak, P.* (2004): Neuroeconomics. In: Philosophical Transactions of the Royal Society London 359, S. 1737-1747
- Zonneveld, L.; Dijstelbloem, H.; Ringoir D.* (Hg.) (2008): Reshaping the Human Condition. Exploring Human Enhancement. In: The Hague: Rathenau Institute (in collaboration with the British Embassy, Science and Innovation Network and the Parliamentary Office of Science and Technology)



## Abkürzungsverzeichnis

AAL	Ambient Assisted Living
ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung
Apps	Applikationen
Art.	Artikel
BAN	Body Area Network
BBDO	BBDO ist eine zum US-amerikanischen Unternehmen Omnicorn gehörende Werbeagentur. Der Name der Firma leitet sich von Batten, Barton, Durstine und Osborn ab.
BCI	Brain-Computer-Interface, Gehirn-Computer-Schnittstelle
BDI	Bund Deutscher Ingenieure
BEV	Elektrofahrzeug (engl. Battery Electric Vehicle)
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Bundesministerium des Inneren
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
CAGR	Compound Annual Growth Rate (jährliche Wachstumsrate)
CeBIT	Akronym für Centrum für Büroautomation, Informationstechnologie und Telekommunikation, weltweit größte Messe für Informationstechnik
CEC	Commission of European Countries
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CSE	Collaborative Search Engines
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DBS	Deep Brain Stimulation, Tiefe Hirnstimulation
DHL	Die Firma DHL International GmbH ist seit 2002 der Paketdienst der Deutschen Post AG. Die Abkürzung DHL leitet sich von den Nachnamen der drei Gründer Dalsey, Hillblom und Lynn ab, die das Unternehmen 1969 ins Leben riefen.
EC	European Commission
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Elektroenzephalogramm
EEX	European Energy Exchange
EG	Europäische Gemeinschaft
eGK	elektronische Gesundheitskarte
ELBA	European Location Based Advertising
EMIC	European Microsoft Innovation Center
ENISA	Europäische Agentur für Netzwerksicherheit
ePass	elektronischer Reisepass
EPTA	European Parliamentary Technology Assessment
ETAG	European Technology Assessment Group des Europäischen Parlaments
EU	Europäische Union
EV	Electric Vehicle
fMRT	Funktionelle Magnetresonanz-Tomographie
FuE	Forschung und Entwicklung
FuE	Forschung und Entwicklung
GM	General Motors
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
HMI	Human Machine Interface (Benutzerschnittstelle), siehe auch MMS
Hz	Hertz, Einheit für Frequenz
IAV	Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr
IBM	International Business Machines Corporation
ICE	Internal Combustion Engine
ICPP	Independent Centre for Privacy Protection
ID	Identification bzw. Identifikationsnummer
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm

IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IMS	Identitätsmanagementsysteme
IP	Internetprotokoll
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung der Fraunhofer-Gesellschaft
IST	Instituut Samenleving & Technologie, Belgien
IT	Informationstechnologie
ITA	Innovations- und Technikanalyse des BMBF und Institut für Technikfolgenabschätzung (Österreich)
ITAS	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
IZM	Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration
JonDo	JonDonym Anonymous Proxy Server
KMU	Kleinere und mittlere Unternehmen
kV	Kilovolt, entspricht 1.000 Volt: $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$ . Es wird insbesondere in der Energietechnik für Hochspannungen benutzt.
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LBA	Location Based Advertising
LBS	Location Based Services
LIP	Laterales Intraparietales Areal
MEG	Magnetenzephalogramm
MERMER	Memory & Encoding Related Multifaceted Electroencephalic Response
MMORG	Massive Multi Player Online Role-Playing Game
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
MRT	Magnetresonanz-Tomographie
MSN	Mobile Social Network
MW	Megawatt
NBIC	Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science
NEP	Nationaler Entwicklungsplan
NFC	Near Field Communication
NIA	Neuro Impulse Actuator, ermöglicht das Steuern eines Computerspiels allein mit Gehirnströmen und/ oder mit Maus.
NSCOGI	North Seas Countries Offshore Grid Initiative
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften
OEM	Original Equipment Manufacturer
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PbD	Privacy by Design
PC	Personal Computer
PET	Privacy Enhancing Technology; Positronen-Emissionstomographie
PHEV	Plug-In-Hybridfahrzeug (engl.: Plug-In Hybrid Electric Vehicle)
PIA	Protection Impact Assessment; Privacy Impact Assessment
PICOS	Privacy and Identity Management for Community Services
PPSSI	Privacy Preserving Sharing of Sensitive Information
PR	Public Relations, Öffentlichkeitsarbeit
PSA	Personal Shopping Assistent
PwC	Pricewaterhouse Coopers (Prüfungs- und Beratungsgesellschaft)
QR	Quick Response Code
REEV	Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerung (engl.: Range Extended Electric Vehicle)
RFID	Radio Frequency Identification
rTMS	Repetitive transkranielle Magnetstimulation
SIT	Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie
SMR	Sensomotorischer Rhythmus
SNS	Social Networking Services
SWAMI	Safeguards in a World of Ambient Intelligence
TA	Technikfolgenabschätzung; Technikanalyse
TAB	Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag
TCO	Total Costs of Ownership
TCSC	Thyristor-Controlled Series Capacitor
TMS	Transkranielle Magnetische Stimulation
UCLA	University of California Los Angeles
UK	Vereinigtes Königreich (engl.: United Kingdom)

## Abkürzungsverzeichnis

---

ULD	Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein
UN/ ECE	Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen (UN) (engl.: Economic Commission for Europe)
US	Vereinigte Staaten (engl.: United States)
USD	US-Dollar
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VIP	Very Important Person
WBAN	Wireless Body Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WWW	World Wide Web
ZTC	Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH
μBHKW	Mikro-Blockheizkraftwerk





## Autorenverzeichnis

- Coenen, Christopher. Dipl.-Pol.;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 2 45 59; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 2 48 06; E-Mail: christopher.coenen@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>
- Decker, Michael. Prof. Dr.;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 2 30 07; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 2 48 06; E-Mail: michael.decker@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>
- Fleischer, Torsten. Dipl.-Phys.;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 2 45 71; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 2 48 06; E-Mail: torsten.fleischer@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>
- Hennen, Leonhard. Dr.;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Ahrstraße 45, 53175 Bonn; Tel.: +49 (0) 228 / 308 18 - 34; Fax: +49 (0) 228 / 308 18 - 30; E-Mail: leonhard.hennen@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>
- Holtmannspötter, Dirk. Dr.;* *Zukünftige Technologien Consulting (ZTC), VDI Technologiezentrum GmbH, VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf;* Tel.: + 49 (0) 211 / 62 14 - 486; Fax: + 49 (0) 211 / 62 14 - 139; E-Mail: holtmannspoetter@vdi.de; Internet: [www.zt-consulting.de](http://www.zt-consulting.de)
- Kaiser, Oliver S. Dipl.-Phys.;* *Zukünftige Technologien Consulting (ZTC), VDI Technologiezentrum GmbH, VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf;* Tel.: + 49 (0) 211 / 62 14 - 207; Fax: + 49 (0) 211 / 62 14 - 139; E-Mail: kaiser@vdi.de; Internet: [www.zt-consulting.de](http://www.zt-consulting.de)
- Malanowski, Norbert. Dr.;* *Zukünftige Technologien Consulting (ZTC), VDI Technologiezentrum GmbH, VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf;* Tel.: + 49 (0) 211 / 62 14 - 511; Fax: + 49 (0) 211 / 62 14 - 139; E-Mail: malanowski@vdi.de; Internet: [www.zt-consulting.de](http://www.zt-consulting.de)
- Meyer, Sarah. Dipl.-Geoökol.;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 39 93; Fax: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06 ; E-Mail: sarah.meyer@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>
- Pathmaperuma, Daniel. Dipl.-Inform.;* Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Süd, Kaiserstraße 89, 76133 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 4 65 86; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 4 57 15; E-Mail: daniel.pathmaperuma@kit.edu; Internet: <http://www.aifb.kit.edu>
- Reisch, Sven;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 2 25 01; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 2 48 06; E-Mail: sven\_reisch@web.de
- Schippl, Jens. Dipl.-Geograph;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 23994; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 24806; E-Mail: jens.schippl@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>
- Weber, Arnd. Dr.;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 23737; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 24806; E-Mail: arnd.weber@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>
- Weinberger, Nora. Dipl.-Ing.;* Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 3972; Fax: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 78 90; E-Mail: nora.weinberger@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>



## Kontakt Daten

### Prof. Dr. Michael Decker

Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 30 07

Fax: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06

E-Mail: michael.decker@kit.edu

## ITAS – Institutsprofil und Forschungsprogramm

Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) erarbeitet und vermittelt Wissen über die Folgen menschlichen Handelns und ihre Bewertung in Bezug auf die Entwicklung und den Einsatz von neuen Technologien. Das ITAS erforscht wissenschaftliche und technische Entwicklungen in Bezug auf systemische Zusammenhänge und Technikfolgen. Umweltbezogene, ökonomische, soziale sowie politisch-institutionelle Fragestellungen stehen dabei im Mittelpunkt. Wesentliche Ziele sind die Orientierung der Forschungs- und Technikpolitik, die Einflussnahme auf die Gestaltung soziotechnischer Systeme im Hinblick etwa auf Kriterien nachhaltiger Entwicklung sowie die Durchführung diskursiver Verfahren zu offenen oder kontroversen technologiepolitischen Fragen. Die Ergebnisse der Forschung und Beratung sind öffentlich.

Für weitere Informationen: <http://www.itas.kit.edu>

### Anschrift

Institut für Technikfolgenabschätzung  
und Systemanalyse (ITAS)  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe  
Leitung: Prof. Dr. Armin Grunwald  
Sekretariat: Bettina Schmidt-Leis  
Tel.: + 49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 25 01  
Fax: + 49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06





ISSN 1869-9669  
ISBN 978-3-86644-802-5

