

VDE-STUDIE



# SMART CITY

Herausforderungen und Potenziale  
einer lebenswerten Stadt von morgen

**ITG**

**ETG**

**VDE**

## Autoren

**Dr.-Ing. B. Buchholz**, ABB AG, Mannheim

**M. Sc. M. Diekerhof**, E.ON Energy Research Center (E.ON ERC)  
RWTH Aachen University

**Dipl.-Ing. (FH) K. Hunger**, VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik  
Informationstechnik e.V., Frankfurt

**S. Köhl**, IfG.CC - Institute for E-Government, Potsdam

**Prof. Dr. H. Mathis**, Fraunhofer-Institut für Angewandte Informations-  
technik FIT, Sankt Augustin

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Monti**, E.ON Energy Research Center (E.ON  
ERC) RWTH Aachen University

**Dr.-Ing. N. Neusel-Lange**, Bergische Universität Wuppertal

**Dr.-Ing. R. Streblow**, E.ON Energy Research Center (E.ON ERC) RWTH  
Aachen University

**Prof. Dr. T. Schuppan**, IfG.CC - Institute for E-Government, Potsdam

**Prof. Dr.-Ing. R. Speh**, Siemens Ltd., Riad, KSA

**Prof. Dr. U. Stopka**, Technische Universität Dresden

**Dipl.-Ing. I. Stoyanova**, E.ON Energy Research Center RWTH Aachen  
University

**Prof. Dr.-Ing. A. Timm-Giel**, Technische Universität Hamburg-Harburg

**Prof. Dr. J. von Lucke**, Zeppelin Universität gemeinnützige GmbH,  
Friedrichshafen

**Prof. Dr.-Ing. I. Wolff**, IMST GmbH, Kamp-Lintfort

**Su Li Ya**, United Nations University, Japan

## Impressum

**VDE** VERBAND DER ELEKTROTECHNIK  
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.

### Informationstechnische Gesellschaft (ITG)

Stresemannallee 15 · 60596 Frankfurt am Main · Telefon 069 6308-362  
Fax 069 6308-9821 · E-Mail [itg@vde.com](mailto:itg@vde.com) · <https://www.vde.com/itg>

### Energetische Gesellschaft (ETG)

Stresemannallee 15 · 60596 Frankfurt am Main · Telefon 069 6308-346  
Fax 069 6308-9822 · E-Mail [etg@vde.com](mailto:etg@vde.com) · <https://www.vde.com/etg>

Bildnachweise Titel ©: fotolia

Design: [www.schaper-kommunikation.de](http://www.schaper-kommunikation.de)

## Smart City

Herausforderungen und Potenziale einer lebenswerten Stadt von morgen

Studie der  
Informationstechnischen Gesellschaft im VDE (ITG) und  
Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG)

### Vorbemerkung

VDE-Studien geben – entsprechend der Positionierung des VDE als neutraler, technisch-wissenschaftlicher Verband – gemeinsame Erkenntnisse der Mitglieder der Task Force wieder. Die Gemeinschaftsergebnisse werden im konstruktiven Dialog aus häufig unterschiedlichen Positionen erarbeitet. Die Studien spiegeln daher nicht unbedingt die Meinung der durch ihre Mitarbeiter vertretenen Unternehmen und Institutionen wieder.

# Vorwort

In Deutschland leben 74% der Bevölkerung in Städten, in OECD Ländern 80% und weltweit 52% (World Bank, 2012). Es wird erwartet, dass bis 2050 weitere 2,9 Milliarden Menschen in Städten leben werden, dies wird dann 70% der Weltbevölkerung entsprechen. 90% dieses Wachstums in Städten wird in den Entwicklungsländern stattfinden, weil Menschen bessere wirtschaftliche Lebensbedingungen in Städten erwarten. Diese Städte werden eine intelligente Infrastruktur benötigen, um sowohl Bewohnern als auch Gewerbe und Industrie gute Bedingungen zu bieten.

In Industrienationen wird in vielen Städten kein derartiges Wachstum erwartet. Hier setzen sich Städte Ziele, um ihren langfristigen Wohlstand zu sichern. Da sowohl Fachkräfte als auch ganze Wirtschaftszweige immer mobiler werden, besteht ein Wettbewerb der Städte untereinander um Lebensqualität, Nachhaltigkeit und Infrastruktur für die Wirtschaft. Dazu gehört auch die aktive Einbindung und Mitwirkung der Bürgerinnen und Bürger bei der Gestaltung.

Die zentrale Herausforderung in der Entwicklung von Siedlungsräumen zu Smart Cities besteht in der Entwicklung einer übergreifenden Intelligenz, die die Vernetzung und die Interaktion zwischen den einzelnen Stadt- und Versorgungsstrukturen effizient steuert. Diese neue Denkweise, bei der das effiziente und nachhaltige Zusammenspiel der Strukturen im Mittelpunkt steht, ist der genaue Gegensatz zu dem bisher üblichen Ansatz, bei dem die Strukturen individuell entworfen und betrieben werden, und Fachleute eng auf dem jeweiligen Gebiet ausgebildet werden. Der individuelle Betrieb der Strukturen setzt allerdings voraus, dass die restlichen Strukturen und Systeme erwartungsgemäß funktionieren. In der Vergangenheit war das tatsächlich der Fall, da Versorgungsstrukturen mit großen Sicherheitsmargen ausgelegt wurden und Kapazität weitaus höher als gebraucht darboten. Heutzutage, bei immer dringender werdenden umwelttechnischen Einschränkungen und potentieller Überlastung der Strukturen durch den Paradigmenwechsel, kann das nicht mehr sichergestellt werden. Die Smart City muss die Versorgungs- und Infrastrukturen koppeln und übergreifend steuern, um die neuen Herausforderungen zu bewältigen.

Die vorliegende VDE-Studie setzt an diesem Punkt an und macht einen ersten Schritt für die Verankerung dieser neuen Denkweise in die zukünftige Entwicklung der Stadt. Es wird ein Konzept zur Entwicklung von Smart Cities erarbeitet, basierend auf zwei Grundscenarien – dem Ansatz „Grüne Wiese“ für neu entstehende Städte oder Stadtteile und dem Umbau bestehender Städte zu effizienteren und nachhaltigeren Strukturen, die in der Lage sind mehr Lebensqualität zu bieten.

Zu Beginn werden der aktuelle Stand erörtert und Schlüsseltechnologien aus den für die Stadtentwicklung ausschlaggebenden Bereichen aufgezeigt, um den Bedarf an Maßnahmen zu identifizieren. Dabei liegt der Fokus auf den Interaktionen zwischen den städtischen Infrastrukturen und nicht auf weiteren Grundsatzuntersuchungen zu einzelnen Domänen.

Synergieeffekte, die durch Kopplung verschiedener Versorgungssysteme entstehen, sollen durch ganzheitliche Steuerungssysteme, basierend auf einer modernen Informations- und Kommunikationsinfrastruktur, erschlossen werden, um eine Optimierung hinsichtlich Kosten, Nachhaltigkeit, Energieeffizienz, Zeit, etc. zu ermöglichen. Ziel ist es, Handlungsrichtlinien zu geben, um Städte als effizientes Gesamtsystem zu entwerfen oder weiterzuentwickeln.

Als Hindernis für den Fortschritt von Smart Cities – und Ausdruck der Notwendigkeit eines Umdenkens – wurde der Mangel an Gesamtmodellen identifiziert. Deshalb wurde ein geeigneter Modellierungsansatz entworfen, der die Entwicklung domänenübergreifender Lösungen unterstützen kann. Es handelt sich um einen modularen Ansatz, bei dem unterschiedliche Aspekte wie Planung und Betrieb der verschiedenen Infrastrukturen, berücksichtigt werden, um ein mehrschichtiges Konzept zu entwickeln, das eine Stadt in ihrer Vielfalt möglichst genau abbildet.

Mit Blick auf Deutschland sind die tiefgreifenden Veränderungen des Finanzierungsrahmens der Städte zu beachten, mit denen spätestens ab dem Jahr 2020 gerechnet werden muss. Im Jahr 2013 sind bereits die Altschuldenhilfe und die Investitionszulage ausgelaufen, die Gebietskulisse der GRW (Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“) wurde ab 2014 verringert und die EU-Mittel für die neue Strukturfondsperiode 2014-2020 werden weniger. Weiterhin läuft der Solidaripakt II – und somit der Länderfinanzausgleich zwischen Bund und Ländern – im Jahr 2019 aus, die Gesetze zur Entflechtung von Gemeinschaftsaufgaben und Finanzhilfen im Zuge der Föderalismusreform und zur Neuordnung der Gemeindefinanzen müssen neu verhandelt werden. Ebenfalls ist es nicht sicher, wie lange der Solidaritätszuschlag in seiner jetzigen Form beibehalten wird, da eine Abschaffung oder Änderung des Mittelverwendungszweckes immer wieder kontrovers diskutiert wird. In dieser Studie werden konkrete Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für die Zielgruppen geäußert, die Entscheidungen und Planungsvorhaben unterstützen sollen. Zusätzlich werden offene Problemstellungen im Kontext von Smart Cities aufgezeigt und der entsprechende Forschungs- und Entwicklungsbedarf formuliert.

Die Studie richtet sich an Entscheidungsträger in der Politik insbesondere im Bereich Stadtentwicklung, d.h. Städteplaner, Bürgermeister, Stadtparlamente. Mit einer englischsprachigen Version werden die Ergebnisse einem internationalen Publikum zur Verfügung gestellt, wobei als Zielgruppe die entsprechenden Fachgremien in der EU-Kommission und in der internationalen Normung adressiert werden.

Durch die natürliche Vielfältigkeit der Stadt und die Vielzahl an relevanten Aspekten kann das Thema auf nahezu beliebiger Komplexitätsebene behandelt werden. Diese Studie beschränkt sich auf die technischen Aspekte. Soziale und ausschließlich organisatorische Aspekte wie Zuständigkeiten in der Verwaltung werden nur am Rande behandelt.

Im Rahmen eines Workshops mit Fachleuten und Entscheidungsträgern

aus dem Städtewesen wurden die in der Studie behandelten Aspekte und die gewonnenen Erkenntnisse auf ihre Tragfähigkeit und praktische Relevanz überprüft, sowie wertvolles Feedback bezüglich Mängeln und möglicher Verbesserungen erhalten. Die Ergebnisse des Workshops wurden berücksichtigt und in die Studie eingearbeitet. Die Ergebnisse der Studie wurden in zwei wissenschaftlichen Aufsätzen beschrieben und im Rahmen des VDE-Kongresses 2014 vorgestellt und veröffentlicht [1][2].

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>10</b>
1.1 Definition des Begriffs „Smart City“	10
1.2 Stadt als Gesamtsystem	11
1.2.1 Struktur der Smart City	11
1.2.2 Gebäude (Smart Buildings)	12
1.2.3 Mobilität	15
1.2.4 Versorgungsinfrastrukturen	16
1.2.5 Gesundheitswesen	23
1.2.6 Städtische Verwaltung	24
1.2.7 Zivile Sicherheit	26
1.3 Ziele der Smart City Entwicklung	29
1.3.1 Prinzipielle Sichtweise	29
1.3.2 Bürger und Besucher	29
1.3.3 Wirtschaft	30
1.3.4 Umwelt	31
1.4 Umbau bestehender Städte vs. Neu entstehende Städte	36
<b>2 Vorhandene Studien, Pilotprojekte und Standardisierung</b>	<b>39</b>
2.1 Studien	39
2.1.1 Versorgungsinfrastrukturen	39
2.1.2 Smart Mobility: Studien, Pilotprojekte und Standardisierung	44
2.1.3 Gebäude	48
2.1.4 BMWi-Studien	50
2.2 Beispiele für Smart City-Konzepte	50
2.3 Standardisierung	52
2.3.1 DKE-Roadmap Smart Cities	52
2.3.2 IEC	53
2.3.3 White Paper IEC/MSB Smart Cities	54
2.3.4 ISO	54
2.3.5 Verschiedenes	55
<b>3 Smart City of the Future</b>	<b>57</b>
3.1 Enabling Technologies	57
3.1.1 Automatisierung	58
3.1.2 IKT	71
3.2 Erste Integrationsstufe: multimodale Betriebsoptimierung	75
3.2.1 Gebäude	75
3.2.2 Mobilität	76
3.2.3 Versorgungsinfrastrukturen	85
3.2.4 Gesundheitswesen	89
3.2.5 Städtische Verwaltung	96

3.3	Zweite Integrationsstufe: Datenplattform für die intelligente Stadt	102
3.3.1	Informieren (KPI)	104
3.3.2	Open Government in der Smart City	107
<b>4</b>	<b>Integrativer Ansatz</b>	<b>113</b>
4.1	Modellierung	113
4.1.1	Aufgabenstellung	113
4.1.2	Modellierungsansatz	117
4.1.3	Beispiele	124
4.2	Simulation	130
4.2.1	Prinzipielle Vorgehensweise	130
4.2.2	Simulationsumgebung	131
4.2.3	Implementierung	131
4.2.4	Beispiele	132
4.3	Optimierung	133
4.3.1	Prinzipielle Vorgehensweise	133
4.3.2	Horizontale Optimierung	136
4.3.3	Beispiele	137
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>147</b>
5.1	Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf	148
5.1.1	Quartiersansatz und eine validierte Datenplattform sind die Grundlagen einer intelligenten Stadt	148
5.1.2	Dezentrale, verteilte, mobile und energieeffiziente Technologien sind Basis intelligenter Stadtstrukturen	148
5.1.3	Eine intelligente Stadt braucht den aktiven Bürger	148
5.1.4	Intelligente Städte benötigen neue Rahmenbedingungen	149
<b>6</b>	<b>Weiterer Klärungsbedarf</b>	<b>150</b>
6.1	Bildung	150
6.2	Engere Vernetzung der Strom/Gas/Wasser-Abwasser/Wärme-Systeme	150
6.3	Zivile Sicherheit	150
6.4	Normung und Standardisierung	151
6.5	Datenplattform der intelligenten Stadt	151
6.6	Kulturdimension	152
6.7	Demokratische Willensbildung in einer Smart City	152
6.8	Konkretisierung der Weiterentwicklung von juristischen und regulatorischen Voraussetzungen für die Smart City	152
6.9	Internationale Dimension und Verknüpfung	152



<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>154</b>
	7.1 Barcelona, Spanien	154
	7.2 Friedrichshafen, Deutschland	155
	7.3 Glasgow	156
	7.4 Lusail City	157
	7.5 Masdar, Vereinigte Arabische Emirate	158
	7.6 Doha, Qatar	159
	7.7 Santander, Spanien	160
	7.8 Wien, Österreich	161
	7.9 Incheon, Südkorea	162
	7.10 Tianjin, Volksrepublik China	163
	7.11 Hamburg, Deutschland	164
	7.12 Econnect Trier	165
	Abkürzungsverzeichnis	166
	Literaturverzeichnis	167
	Abbildungsverzeichnis	174
	Tabellenverzeichnis	176

# 1 Einleitung

## 1.1 Definition des Begriffs „Smart City“

Der Trend zum Leben in Städten ist weltweit ungebrochen, da sie aufgrund ihrer hochentwickelten Infrastrukturen den Menschen einen attraktiven Lebensraum versprechen; sie stellen den Mittelpunkt heutiger technologischer, wirtschaftlicher und sozialer Entwicklungen dar. Die Zuwanderung von Menschen in Städte macht sich mit dramatischen Auswirkungen zurzeit vor allem in den Entwicklungsländern des asiatischen, afrikanischen und südamerikanischen Raums bemerkbar. In der Tendenz ist weltweit die Entwicklung von Megazentren mit Millionen Einwohnern erkennbar. In der westlichen Welt (z.B. Europa, USA) ist dieser Trend in den über Jahrhunderte gewachsenen Städten nicht so deutlich erkennbar; die Städte benötigen aber eine grundsätzliche Neustrukturierung ihrer Infrastrukturen, um auf Dauer attraktive Arbeits- und Lebensplätze für die Bürger anbieten zu können.

Die sich entwickelnden großen Stadtstrukturen werden zu großen Verkehrszentren, sie schaffen einen räumlich konzentrierten, überhöhten Energieverbrauch, eine deutliche Treibhausgas-Absonderung und Umweltverschmutzung. Sie sind verantwortlich für eine hohe Abfallproduktion, erschwerte Verwaltungsprozesse sowie große Sicherheitsprobleme. Die großen Städte müssen mit Energie (Elektrizität, Gas etc.) und Wasser als Lebensgrundlage versorgt werden; Abwasser- und Müllentsorgung sind eine notwendige Voraussetzung für einen lebenswerten Raum. In mit Millionen Menschen bevölkerten Ballungsräumen müssen effiziente Verkehrsströme insbesondere auf öffentlicher Basis, aber auch für den privaten Verkehr, aufgebaut und betrieben werden. Die Stadt muss verwaltet werden können. Sie muss ein geregeltes und akzeptables soziales Umfeld mit einer effizienten Verwaltung, Bildungseinrichtungen (Kindergärten, Schulen, Universitäten, Informationssysteme, Unterhaltung), ein vernetztes Gesundheitswesen (Ärzte, Kliniken, Gesundheitszentralen) sowie Sicherheitseinrichtungen (Polizei, Feuerwehr) zum Schutz der Bürger anbieten. Um auf die mit all diesen Aufgaben auf die Stadt zukommenden Probleme in der Zukunft reagieren zu können, ist der Einsatz von technischen Hilfsmitteln unvermeidlich um eine intelligente Stadt zu schaffen. Technologien helfen bei der Optimierung von Entscheidungen und Prozessen in der Stadt; sie bieten die Möglichkeiten, Informationen über den Ist-Zustand der Stadt in vielen Bereichen zu sammeln, diese Informationen aufzuarbeiten, zu klassifizieren, miteinander zu verbinden und daraus relevante Entscheidungsgrundlagen für die Steuerung der Stadt zu gewinnen. Die Steuerung der Informationsflüsse muss über Systemgrenzen hinweg (z.B. Umweltüberwachung, Verkehrsüberwachung, Energietransport, Sicher-

heitsdienst, Gesundheitsdienst, Bildung etc.) erfolgen, um die über alle städtischen Bereiche und Belange hinweg integrierte Stadt zu realisieren. Technische Grundlage und unabdingbare Voraussetzung für diese Prozesse ist eine gut ausgebaute Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), die die Stadt für die Bürger, die Wirtschaft und die Organisation des städtischen Lebens bereitstellt, um eine vollständig vernetzte Stadt zu schaffen.

Im Rahmen dieser Studie wird folgende Definition verwendet:

**Die „Smart City“ ist eine intelligente Stadt, die modernste Lösungen einsetzt, basierend auf und optimiert durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) für das Wohl ihrer Bürger und Besucher, der Wirtschaft, der Verwaltung und der Umwelt.**

Diese Definition ist angelehnt an der Definition für „Smart City“ in der DKE Smart City Roadmap: ein Siedlungsraum, in dem systemisch (ökologisch, sozial und ökonomisch) nachhaltige Produkte, Dienstleistungen, Technologien, Prozesse und Infrastrukturen eingesetzt werden, in der Regel unterstützt durch hochintegrierte und vernetzte Informations- und Kommunikationstechnologien.

## 1.2 Stadt als Gesamtsystem

### 1.2.1 Struktur der Smart City

Durch die natürliche Vielfalt der Stadt ergeben sich viele Herausforderungen bezüglich des effizienten und nachhaltigen Betriebs der einzelnen Bereiche wie Mobilität und Verkehr, Energie, Gebäude und Information und Kommunikation. Für die Entwicklung und Steuerung der Smart City bedarf es einer neuen Denkweise, bei der nicht die einzelnen Bereiche im Mittelpunkt stehen, sondern ihre Vernetzung und die Interaktionen zwischen ihnen, so dass die Robustheit, Effizienz und Effektivität des Gesamtsystems erhöht wird.

Die Struktur der Smart City ist abgebildet in Abbildung 1 Struktur der intelligenten Stadt von morgen – ein koordiniertes System von Systemen. Dabei stehen im Zentrum der Smart-City-Struktur stadtweite Lösungen als Schnittstelle zwischen den Akteuren und Nutzern der Smart City (Bürger, Verwaltung, Umwelt) und den einzelnen Betriebsbereichen. Die Versorgungsstrukturen werden ausschließlich als Aspekte der Betriebsbereiche betrachtet. Diese gesteigerte Integration bietet daher Potenziale an energetischen, ökologischen und sozialen Verbesserungen.

Die Struktur Smart City geht über die einzelnen Infrastrukturen und über die Intelligenz und Automatisierung der einzelnen Systeme hinaus und zeichnet sich ab als die übergreifende Intelligenz, die auch Bürger, Verwaltung und Umwelt berücksichtigt und eine angemessene, hocheffiziente und nachhaltige Lebens- und Arbeitsumgebung schafft.

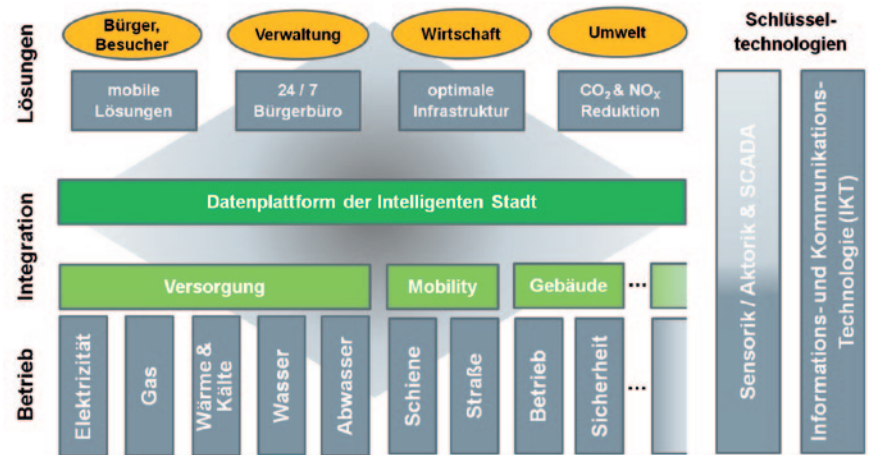


Abbildung 1: Struktur der intelligenten Stadt von morgen – ein koordiniertes System von Systemen

## 1.2.2 Gebäude (Smart Buildings)

### *Hintergrund und Rahmenbedingungen*

Gebäude haben einen großen Anteil am Endenergieverbrauch in Städten. Die Energie wird benötigt für die Raumheizung, für die Bereitstellung von Warmwasser, elektrische Energie für die Kühlung und Klimatisierung, sowie für die Beleuchtung und sonstigen elektrischen Endgeräte. Im Jahr 2013 wurden in Deutschland ca. 30% der Endenergie für die Raumheizung eingesetzt. Weitere 5% werden für die Bereitstellung von Warmwasser verwendet und ca. 0,5% werden für Klimakälte verbraucht [11]. Beim Heizenergiebedarf sorgen gesetzliche Anforderungen an Mindestdämmstandards und die Effizienz der Anlagentechnik für eine kontinuierliche Reduktion. Das Niedrigenergiehaus wird heute als Standard für den Neubau angesetzt. Die technischen Entwicklungen gehen aber bereits über das Null-Energiehaus bis hin zum Plus-Energiehaus, die mit zeitlicher Verzögerung immer stärker in die Baupraxis vordringen.

Der immer geringer werdende Heizenergiebedarf in modernen Wohngebäuden, verbunden mit einem hohen Maß an Eigenstromerzeugung führt zu Überlegungen der „Elektrifizierung“ des verbleibenden Wärmebedarfs. Die elektrische Direktheizung und dezentrale Energieerzeuger, die das elektrische mit dem thermischen Netz koppeln, sind hier passende dezentrale Erzeuger.

Auch bei der Gebäudesanierung werden Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen eingesetzt. Zusammen mit den angeschlossenen thermischen Speichern und den Gebäuden bringen die Systeme eine Möglichkeit der Lastverschiebung mit sich.

Neben monovalenten Energieerzeugern verbreiten sich auch durch gesetzliche Anforderungen zur Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärmeversorgung hybride Systeme weiter. Mit der komplexeren Anlagentechnik gewinnt eine intelligente und vernetzte Raumautomatisierung an Bedeutung. An deren Ende steht das Smart Home, in dessen Mittelpunkt eine Erhöhung von Wohn- und Lebensqualität, Sicherheit und effizienter Ener-

gienutzung auf Basis vernetzter und fernsteuerbarer Geräte und Installationen sowie automatisierbarer Abläufe steht.

Durch die heterogene Struktur in Städten verbreiten sich die Technologien sehr unterschiedlich. Neubauquoten sind zumeist recht gering und auch Sanierungsquoten fallen häufig noch niedrig aus. Nichtwohngebäude haben gegenüber Wohngebäuden ganz andere Bedarfsprofile. So haben Büro- und Verwaltungsgebäude durch die hohen internen Lasten mittlerweile beispielsweise fast ganzjährig einen Kühlbedarf [12]. Der Blick vom einzelnen Gebäude hin auf ein gesamtes Stadtquartier wird daher immer wichtiger. Das Gebäude steht damit nicht mehr alleine, sondern ist Teil des Energieversorgungskonzeptes auf das es als Konsument aber auch Energieproduzent, und damit als Prosumer, und durch IT-Haustechnik aktiv Einfluss nehmen kann und muss.

#### *Aktueller Stand der Entwicklung*

Die moderne Informations- und Kommunikationstechnologie, die eine Kommunikation zwischen allen Beteiligten innerhalb des Versorgungsnetzes ermöglicht, ist Kernelement eines Smart Grids. Jeder an das Netz angeschlossene Akteur muss in der Lage sein, Informationen über seinen Stromverbrauch bzw. seine Erzeugung sowie über mögliche Flexibilität zur Verfügung zu stellen [7]. Smart Homes bestehen nur in Einzelfällen als individuelle Haushaltslösungen, die im Normalfall nicht im Informationsaustausch nach außen stehen. In einer Smart City der Zukunft wird sich statt dieser Einzellösungen ein Netz aus vielen intelligenten Haushalten bilden. Bei der Umsetzung eines Smart Homes bildet ein Energy Service Interface (ESI) die zentrale Kommunikationsschnittstelle des Haushalts nach außen. Die Verwaltung der einzelnen Komponenten eines Smart Homes, und dazu gehören die wichtigsten Verbraucher des Haushalts sowie mögliche Erzeuger, kann dabei zentral oder über Agenten basierte Regelungskonzepte dezentral erfolgen. Auch ein Verbund aus mehreren Haushalten bzw. Gebäuden ist denkbar, für den die Energieproduktion sowie der -verbrauch zentral gebündelt, intelligent gesteuert und nach außen kommuniziert wird. Digital angebundene Haushaltsgерäte und in Zukunft auch Elektrofahrzeuge können vom System je nach Verfügbarkeit der Energie aktiviert oder deaktiviert werden. Thermisch-elektrische dezentrale Energieerzeuger bieten hier durch die verbundenen Speicherkapazitäten ein großes Lastverschiebungspotenzial, das für KWK Anlagen und Wärmepumpen in verschiedenen Studien aufgezeigt wurde [14][15]. Der gesteuerte Anlagenbetrieb kann bis hin zum Ausgleich der Residuallast in Deutschland betrachtet werden [16].

Die Flexibilität im Energieverbrauch des Gebäudes hängt dabei von seiner Speicherkapazität ab. Die Energiespeicherung in Form von thermischer Energie hat den Vorteil, dass dies derzeit noch deutlich kostengünstiger gegenüber Batteriespeichern erfolgen kann. Neben der Betrachtung des klassischen Warmwasserspeichers werden Ansätze verfolgt, die Gebäude-masse selbst als thermischen Speicher zu nutzen. [13]

Wem die Kontrolle und Steuerung der Komponenten des Smart Homes obliegt, ist dabei erst im zweiten Schritt zu betrachten. Bei der Betrachtung eines Gesamtsystems für die Zukunft und der darin enthaltenen Smart Homes/Smart Buildings ist das Smart Grid von dem häufig in diesem Zusammenhang genannten Smart Market zu unterscheiden. Nach [8] nimmt das automatisierte Netz in einem zukünftigen Smart Energy System eher eine dienende Rolle ein, die den Markt erst ermöglicht. Dabei wird z.B. die Idee einer Ampel formuliert, die den Netzzustand beschreibt. In unkritischen „grünen“ Phasen des Netzes werden die Akteure vor allem durch Preissignale aus einem intelligenten Markt beeinflusst. Dabei ist zwischen dem Demand Side Management und der Demand Side Response zu unterscheiden. Der wesentliche Unterschied liegt vor allem darin, dass die Steuerung bei Ersterem auf Grundlage von Preissignalen z.B. vom Energieversorger übernommen wird, während im zweiten Fall der Prosumer selbstständig auf Preissignale reagiert. Der Smart Market ermöglicht den Kunden darin die Vermarktung eigener Einspeisungen und Flexibilitäten. In kritischen Netzsituationen - „gelben Phasen“ - übernimmt ggf. der Netzbetreiber die Kontrolle, um wieder einen unkritischen Zustand herzustellen. Durch den starken Zubau von erneuerbaren Energien sind künftig verstärkt „gelbe Phasen“ zu erwarten. Diese Situationen stellen jedoch auch eine Chance dar, um durch Kooperation von Netz und Markt die Netzkapazitäten, die Energieangebote und Lastbedarfe in einem effizienteren System zusammenzuführen.

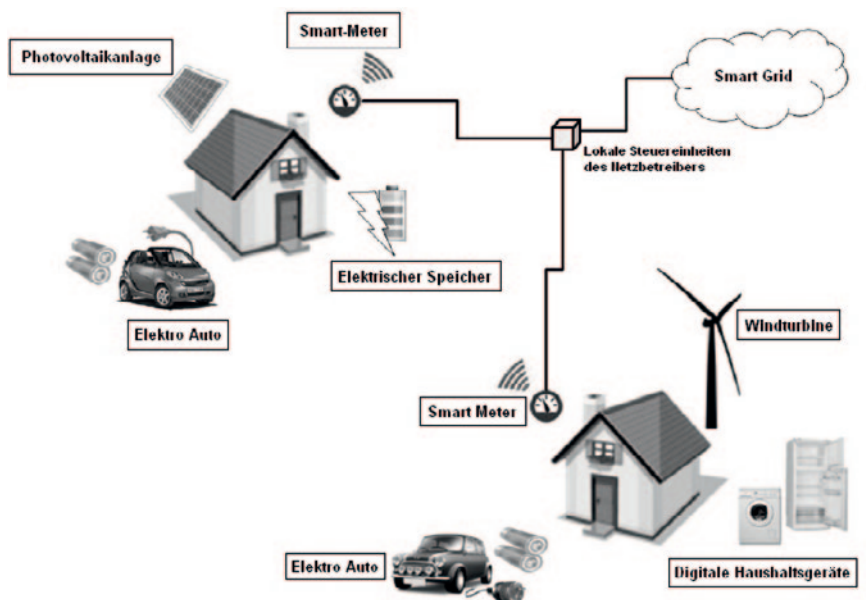


Abbildung 2: Smart Home Integration [6]

Die dargestellten Konzepte lassen sich mit der heutigen Technik schon realisieren. Diese müssen dazu allerdings in Form von Standards vereinheitlicht und für einen Massenmarkt verfügbar gemacht werden. So gibt es bisher z.B. keinen Standard für den genauen Funktionsumfang der Smart Meter sowie der Kommunikationsschnittstellen. Zusätzlich müsste es Anrei-

ze für den Kunden geben, die im Haushalt verfügbare Flexibilität zur Verfügung zu stellen und mit seinen Erzeugungsanlagen möglicherweise zur Systemstabilität im Smart Grid beizutragen. Der Markt für den Prosumer, muss sich noch entwickeln. In diesem Markt könnten Prosumer z.B. vorhandene Kleinblockheizkraftwerke, welche sich durch eine rasche Leistungserbringung auszeichnen, zur Verfügung stellen um starke Lastanforderungen besser abzufangen. Eine größere Anzahl solcher Erzeuger bzw. analog dazu Verbraucher könnte zusammengefasst werden und damit eine beträchtliche Kapazität als virtueller Speicher zum Lastausgleich darstellen. Die Prosumer wären mitunter dazu bereit, wenn es keinen nennenswerten Einfluss auf ihre Lebensqualität hätte und sie durch bessere Tarife einen Nutzen hätten [27].

Dazu ist es in naher Zukunft notwendig, den ordnungspolitischen Rechtsrahmen in Bezug auf die Messgeräte und die Tarife zur Verfügung zu stellen. Nur wenn dieser Ordnungsrahmen und der notwendige Wettbewerb dem Kunden sowie den Anbietern die notwendigen Anreize geben, am System teilzunehmen bzw. zu investieren, wird sich das Smart Home als Teil der intelligenten Netze durchsetzen.

### 1.2.3 Mobilität

Städte und Stadtregionen sind zentrale Lebensräume der Menschen und herausgehobene Standorte des wirtschaftlichen Austauschs. Mehr als 70% der europäischen Bevölkerung lebt in urbanen Verdichtungsräumen, die von entscheidender Bedeutung für Wachstum und Beschäftigung sind. In den EU-Ländern werden 85% des Bruttoinlandprodukts in Städten erzeugt [18]. In Bezug auf die raumstrukturelle Entwicklung gibt es in Deutschland den eindeutigen Trend „zurück in die Stadt“, nicht zuletzt als Folge des demographischen Wandels. Für die Bürger wird daher urbane Mobilität immer wichtiger, die aber im Sinne von „Green Cities“ unter dem Aspekt der Erhaltung der umweltbedingten Lebensfähigkeit der Städte durch intelligente Verkehrsangebote sichergestellt werden muss.

Wachsende Mobilitätsansprüche der Menschen bewirken ein dichteres Verkehrsaufkommen in Agglomerationen, Konzentration verkehrsbedingter Belastungen und Ressourcenbeanspruchung (Flächenverbrauch, Lärm, Gesundheitsbelastungen durch fehlende Bewegungsräume, CO<sub>2</sub>-Emissionen, stadtklimatische Beeinträchtigungen, Verkehrsunfälle, Stau- und Parkplatzprobleme) [19]. Stadtgebiete werden daher zum Versuchslabor für technologische und organisatorische Verkehrsinnovationen, sich verändernde Mobilitätsmuster und neuartige Finanzierungslösungen. In diesem Zusammenhang mahnt die Europäische Kommission die Bewältigung der mit der Urbanisierung verbundenen Herausforderungen als einen wesentlichen Baustein für die nachhaltige Entwicklung von Verkehrssystemen an. So sieht das Weißbuch für Verkehr der EU in Bezug auf den Stadtverkehr vor, die Anzahl der mit konventionellem Treibstoff betriebenen PKW bis 2030 zu halbieren und auf deren Einsatz bis 2050 vollständig zu verzichten. Das Erreichen einer CO<sub>2</sub>-freien Stadtlogistik wird bis 2050 angestrebt [20].

Der Alltagsverkehr in städtischen Regionen besteht vor allem aus Nah- und Regionalverkehr. Darüber hinaus ist die urbane Mobilität aber auch ein zentraler Faktor des Fernverkehrs. Sowohl der Personen- als auch der Güterverkehr nimmt seinen Ausgangspunkt zumeist in Stadtgebieten, durchquert diese häufig oder endet in städtischen Arealen, so dass diese einerseits effiziente Anschlüsse an das transeuropäische Verkehrsnetz und andererseits günstige Anbindungen für die „letzte Meile“ bieten müssen [1].

#### 1.2.4 Versorgungsinfrastrukturen

*Elektrisches System wird zum Smart Grid*

Herausforderung für die Energieversorgung der Zukunft in Deutschland

Der konsequente Umbau der Energieversorgung hin zu regenerativen Energiequellen stellt neue Anforderungen an die elektrischen Netze, die einerseits Einfluss auf die Zuverlässigkeit haben und andererseits einen bemerkenswerten Umbau der bisherigen Netzstrukturen erfordern. Gleichzeitig muss die Energieversorgung trotz steigender Anforderungen finanzierbar bleiben. Als entscheidende neue Anforderung im Rahmen der Energiewende gilt die Integration von immer mehr dezentralen Erzeugungsanlagen in die unterschiedlichen Netzebenen. Gleichzeitig kommen weitere Versorgungsaufgaben auf die elektrischen Netze zu, beispielsweise werden immer häufiger elektrisch betriebene Klimaanlage oder Wärmepumpen in Gebäude integriert. Die konventionellen Energieträger wie Gas und Heizöl werden zunehmend aus diesem Bereich verdrängt. In Zukunft wird auch die Elektromobilität eine Rolle im Verkehrswesen spielen, die ebenso auf eine zuverlässige elektrische Energieversorgungsstruktur angewiesen ist. Die Energieversorgungsstrukturen der Vergangenheit wurden für derartige Anforderungen nicht ausgelegt, so dass im Fall der elektrischen Netze enorme Herausforderungen insbesondere bei der weiteren Integration dezentraler Erzeugungsanlagen auftreten: Durch eine zu hohe Einspeisung kommt es zu lokalen Verletzungen des zulässigen Spannungsbands oder zu Betriebsmittelüberlastungen. Um diese zu verhindern, werden die dezentralen Einspeiser abgeregelt oder das Netz ausgebaut. Der Fortschritt der Energiewende wird diese Situation in Zukunft nochmals erheblich verschärfen, so dass neue Konzepte für das elektrische Energiesystem nötig sind, die mehr Flexibilität für die Integration von dezentralen Einspeisern aufweisen.

Infrastrukturintelligenz als Kernelement der Energieversorgung der Zukunft

Um diesen Anforderungen zu begegnen, müssen die Energieversorgungsstrukturen in einem sinnvollen Mix aus Infrastrukturausbau und Infrastrukturintelligenz umgebaut und angepasst werden. Vor allem intelligente Infrastrukturen eröffnen neue Perspektiven hinsichtlich einer zuverlässigen und gleichzeitig effizienten Energieversorgung. In der Vergangenheit wurden die Verteilungsnetze der Mittel- und Niederspannungsebene, also sinnbildlich die „letzte Meile“ zu den Verbrauchern, zumeist nicht überwacht, weil dafür keine Notwendigkeit bestand. Durch eine Netzanalyse und dann eine gezielte kontinuierliche Überwachung dieser Netzebenen an



den richtigen Stellen werden die oben dargestellten Probleme sicht- und lokalisierbar, so dass gezielt darauf reagiert werden kann. Gleichzeitig ermöglicht ein Infrastruktur-Monitoring auch die Erhöhung der Effizienz im Betrieb, denn viele Anforderungen hinsichtlich der Versorgungszuverlässigkeit, auch hinsichtlich der Wartung, lassen sich durch intelligente Systeme, auch als Netzintelligenz bezeichnet, und den damit verbundenen hohen Automatisierungsgrad effizienter erfüllen.

Die kontinuierliche Überwachung des Netzzustands mit Hilfe von Messtechnik ermöglicht ein gezieltes Eingreifen durch Regelungsmöglichkeiten im Fall von Netzengpässen und damit einen sicheren Netzbetrieb unter erhöhten Anforderungen [35]. Abbildung 3 zeigt das Konzept eines integrierten Verteilungsnetzmanagement-Systems, das Mittel- und Niederspannungsnetze überwacht und regelt.

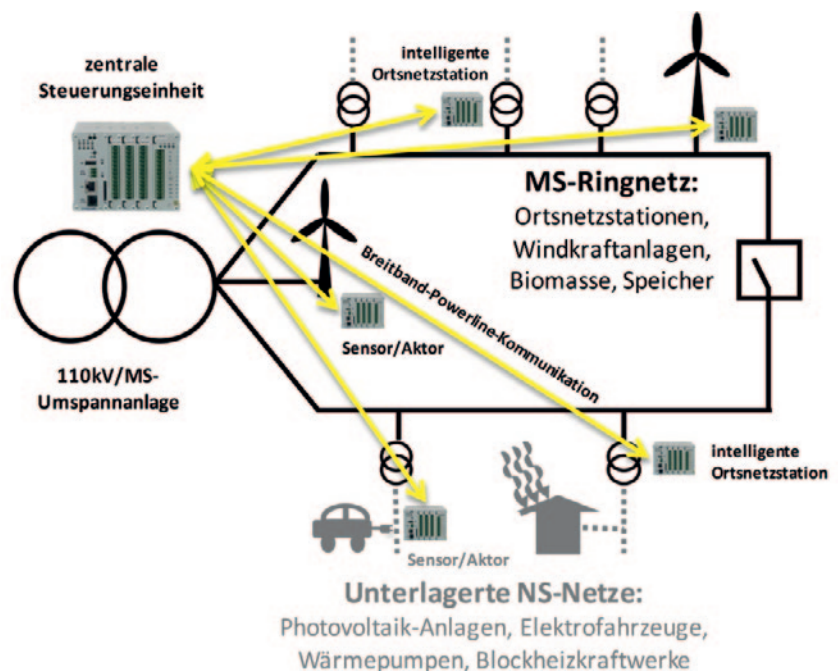


Abbildung 3: Integriertes Verteilungsnetzmanagement-System für Mittel- und Niederspannungsnetze

Gleichzeitig können diese intelligenten Systeme den Netzbetrieb auch dann unterstützen, wenn es zu unvorhergesehenen Ausfällen im Netz, beispielsweise aufgrund von Störungen gekommen ist. Bei entsprechender Auslegung der Systeme können Netzbetreiber in Sekunden den Ort, die Ursache und die Auswirkung von Störungen erkennen, ggfs. erste Gegenmaßnahmen oder Umschaltmaßnahmen einleiten und den Entstörungsprozess damit effizienter durchführen.

Durch die gezielte Überwachung des Zustands von Netzkomponenten mit Hilfe von Netzintelligenz lassen sich aufkommende Schwachstellen bereits im Voraus identifizieren und beheben, bevor sie zu einer Störung führen. Es ist offensichtlich, dass eine Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten erst das Zusammenspiel als intelligentes System ermöglicht. [35]

## Smart Metering: Messen, Zählen, Abrechnen von Elektrizität

### *Hintergrund und gesetzlicher Rahmen*

Smart Metering ist heute eines der bedeutendsten Themen in der Energiewirtschaft. Im Rahmen ihrer 20-20-20-Agenda hat die Europäische Union bis zum Jahre 2020 eine Energieeffizienzsteigerung um 20% als Zielvorgabe festgesetzt [36]. Die Elektrizitätsbinnenmarkt-Richtlinie vom 26. Juni 2009 fordert daher die Elektrizitätsunternehmen auf, intelligente Messsysteme einzuführen und Energiemanagementdienstleistungen in Verbindung mit neuartigen Preismodellen anzubieten, um so den Stromverbrauch zu verringern. Auf diese Weise soll die Verbrauchstransparenz erhöht werden. Die Endkunden sollen in die Lage versetzt werden, sich über ihren tatsächlichen Stromverbrauch und ihre Stromkosten häufig genug informieren zu können. Die Endkunden sollen so für ihren Stromverbrauch und für den von ihnen verursachten CO<sub>2</sub>-Ausstoß sensibilisiert werden. Variable Stromtarife sollen letztlich den Kunden Anreize liefern, ihren Energieverbrauch an das aktuelle Energieangebot anzupassen und dadurch die Residuallast zu verringern. Bei positiver Bewertung der Einführung dieser intelligenten Messsysteme sollen 80% der Haushalte bis 2020 mit eben diesen ausgestattet werden [37].

Messstellenbetreiber sind gemäß §21b EnWG verpflichtet, bei Neuanlagen und Grundsanierungen ab dem 1. Januar 2010 Messeinrichtungen anzubieten, die dem Anschlussnutzer den tatsächlichen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit anzeigen. Diese Messeinrichtungen verfügen jedoch über keinerlei Kommunikationsfunktionen. Sie können daher nicht als Smart Meter bezeichnet werden. Die Einführung lastvariabler oder tageszeitabhängiger Tarife wird in §40 EnWG gefordert. Die genannten Regelungen im EnWG basieren auf der Energie-Dienstleistungs-Richtlinie (EDL) der EU aus dem Jahre 2006. Zähler und Messsysteme, die den Anforderungen der §§21 und 40 EnWG genügen, werden entsprechend als EDL21 bzw. EDL40 bezeichnet.

Eine allgemeine Verpflichtung zum Einbau von Smart Metern, die auch über Kommunikationsfunktionen verfügen, besteht hingegen heute noch nicht. Eine flächendeckende Einführung von Smart Metering auf gesetzlicher Basis ist derzeit noch nicht abzusehen. Die kürzlich veröffentlichte „Kosten-Nutzen-Analyse für den flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler“ [38] bezeichnet den verpflichtenden Einbau als unverhältnismäßig und wirtschaftlich unzumutbar, da der Kostenaufwand für die Messsysteme die durchschnittlichen jährlichen Energieeinsparmöglichkeiten deutlich übersteigt. Für volkswirtschaftlich am sinnvollsten wird das „Szenario plus“ erachtet, welches eine Rollout-Quote von 68% vorsieht.

### *Stand der Technik*

Noch immer befindet sich in deutlich mehr als 80% aller Haushalte in Deutschland ein elektromechanischer Ferraris-Zähler im Einsatz [39]. Dieser zählt prinzipbedingt ausschließlich die Wirkenergie und erfüllt die gesetz-

lichen Anforderungen an das Messsystem im Gebäudebestand.

Seit der Novellierung des EnWG im Jahre 2008 werden vermehrt elektronische Haushaltszähler (eHZ) in der Ausführung als EDL21 eingesetzt. Diese verfügen über die Möglichkeit der Fernauslesung des Zählwertes der erfassten Wirkenergie (Automated Meter Reading - AMR), allerdings nicht über die Möglichkeit einer eigenständigen Kommunikation mit dem Netzbetreiber. Eine Weiterentwicklung des eHZ stellt der bidirektionale Zähler dar, der über eine Datenschnittstelle eine Kommunikation mit dem Netzbetreiber, dem Messstellenbetreiber und/oder dem Stromanbieter ermöglicht (Advanced Meter Management - AMM). Die bidirektionale Verbindung erlaubt zudem die Fernprogrammierung des Zählers [39].

Für die Kommunikation zwischen Zähler und Netzbetreiber (Fernkommunikation) stehen verschiedene Technologien zur Verfügung. Neben einer Powerline-Verbindung (PLC) über das NS-Netz wird zur Datenübertragung häufig eine GPRS/UMTS-Verbindung genutzt. Einzelne Hersteller verwenden auch das vorhandene Breitbandkommunikationsnetz (DSL) zur Datenübertragung. Die Kommunikation zwischen dem Zähler und den einzelnen Verbrauchern und dezentralen Erzeugungsanlagen im Haushalt (Nahkommunikation) kann über die Funknetzstandards WLAN und ZigBee sowie über eine Inhouse-PLC realisiert werden. Als Übertragungsprotokolle kommen dabei vorwiegend das Smart-Message-Language-Protokoll (SML) und systemübergreifend das Extensible-Markup-Language-Protokoll (XML) zum Einsatz [39].

Im Zuge der Diskussion um die Einführung von Smart Metering gewinnen auch die Themenfelder Datenschutz und Cyber-Security an Bedeutung. Schließlich werden erstmalig individuelle Verbrauchsdaten digital ausgelesen und mithilfe moderner Kommunikationstechnik übertragen. Es bleibt abzuwarten, welche Einflüsse diese Diskussion auf die Standardisierung von Smart Metering haben wird [42].

Auf Basis einer sekunden- oder minutengenauen Kenntnis des Stromverbrauchs kann das Nutzerverhalten nachverfolgt werden. Die Übertragung der Daten eines einzelnen Nutzers an den Netzbetreiber ist technisch gesehen für die Regelung des Netzes, das viele Nutzer zusammenfasst, nicht notwendig. Für die lokale Steuerung eines einzelnen Haushaltes können solche Daten eine gewisse Bedeutung haben.

## Gas

Die in urbanen Ballungsräumen benötigte Energie wird auch in einer smarten Stadt nicht vollständig in den Grenzen des Stadtgebietes erzeugt werden können. Die volatile Einspeisung regenerativer Erzeugungsanlagen wird eine Speicherung von Energie notwendig machen. Durch ihr hohes Speicherpotenzial kann die deutsche Gasinfrastruktur einen wichtigen Baustein bei der Transformation hin zum Energiesystem der Zukunft darstellen.

Dem Gas kommt hierbei nicht nur eine wichtige Rolle als fossilem Energieträger zu, auch aufbereitetes Biogas wird in das Gasnetz eingespeist - der-

zeit von etwa 140 Anlagen. Damit nimmt die Bundesrepublik in diesem Bereich eine weltweit führende Rolle ein. Darüber hinaus verfügt Deutschland über die viertgrößte Gas-Speicherinfrastruktur der Welt: 50 vorhandene Speicher können 22,7 Milliarden Kubikmeter Gas beliebig lange vorrätig halten, hinzu kommen 500.000 Kilometer Gasleitungen die das Speicherpotenzial weiter erhöhen und mit jährlich 1.000 Milliarden Kilowattstunden gegenwärtig beinahe doppelt so viel Energie transportieren wie das deutsche Stromnetz. [43]

Bereits heute sind erste Anzeichen für eine Umnutzung der vorhandenen Energieinfrastrukturen zu erkennen. Die für das systemübergreifende Zusammenwachsen der Sparten Strom und Gas so wichtigen ersten Power-to-Gas-Anlagen wurden im Jahr 2013 an das Gasnetz angeschlossen, derzeit sind 18 solcher Anlagen im Bau oder in Betrieb. Hierdurch kann temporär anderweitig nicht nutzbarer Überschussstrom per Elektrolyse in Wasserstoffgas umgewandelt und somit indirekt in großen Mengen Energie gespeichert werden, wodurch großes Potenzial für die Stabilisierung eines zunehmend durch die fluktuierende regenerative Einspeisung belasteten Stromsystems entsteht. Beispielsweise können durch die Erweiterung hin zu einem derartigen Hybridnetz Leistungsspitzen gepuffert und Investitionsbedarf minimiert werden, in dem das Stromnetz entlastet und der Stromnetzausbau gedämpft werden kann.

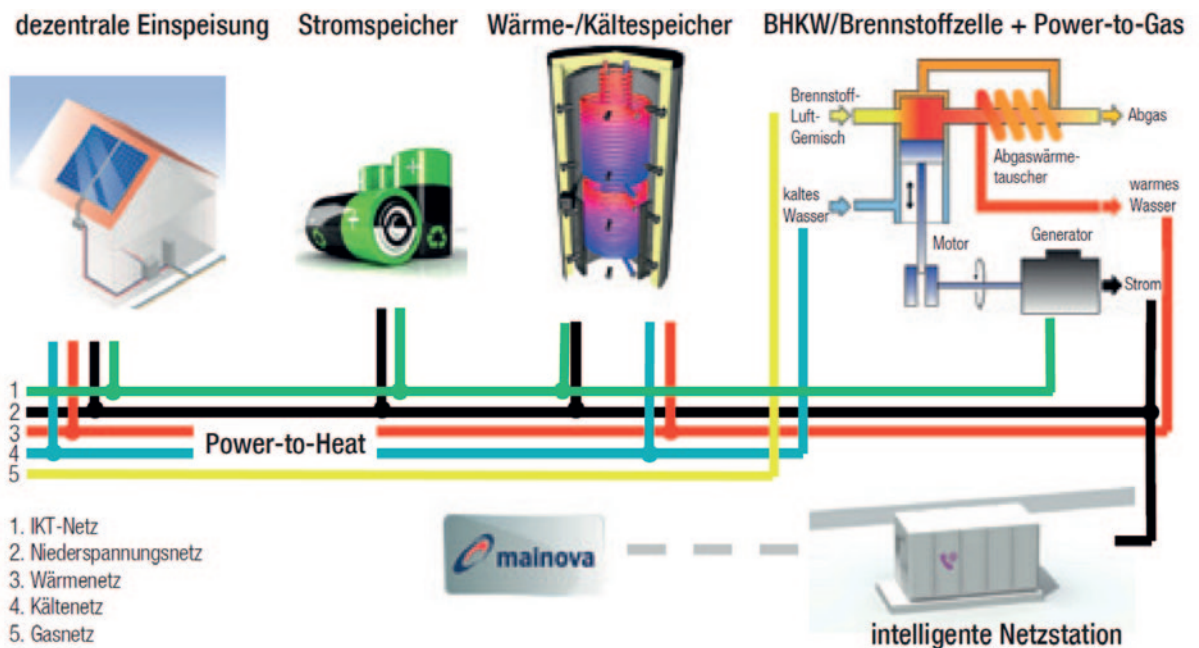


Abbildung 4: Hybridnetze als Schlüssel zur Energiewende [44]

Per Elektrolyse mit einem Wirkungsgrad von ca. 75% erzeugter Wasserstoff kann entweder begrenzt direkt oder nach einem weiteren Konversionsschritt als Methan in nahezu unbegrenztem Umfang in das Erdgasnetz eingespeist werden. Durch den zusätzlichen Konversionsschritt zu Methan wird allerdings der Gesamtwirkungsgrad der Konversion auf etwa 55% reduziert. Der reine Wasserstoff könnte ebenfalls direkt gespeichert und

z.B. für die Mobilität oder chemische Zwecke verwendet werden. Während Gas durch Gasturbinen, GuD-Anlagen und Blockheizkraftwerke in elektrische Energie umgewandelt werden kann und die hierzu notwendigen Anlagen technisch ausgereift sind, besitzt die umgekehrte Konversionsrichtung „Power-to-Gas“ noch Optimierungsbedarf- und potenzial. Zudem existiert für die Hybridnutzung in Deutschland derzeit weder ein vollständiger ordnungspolitischer Rahmen noch ein Marktmodell. Die theoretische Machbarkeit wurde in mehreren Studien bereits untersucht und darüber hinaus in Einzelprojekten bereits in die Praxis umgesetzt. [44]

Notwendig für die Einbindung regenerativer Einspeiser in einer Smart City sind folgende, essentielle Maßnahmen:

Der Verbrauch von elektrischer Energie muss mittels **Lastmanagement** flexibilisiert werden. Das bedeutet, der Einsatz der elektrischen Energie wird vorgezogen oder verschoben und aufeinander abgestimmt. Nötig sind hierfür Anreize für den Verbraucher, den Strom besonders dann zu verbrauchen, wenn er von den regenerativen Erzeugern bereitgestellt wird.

Der nächste Schritt besteht in der Verbindung von unterschiedlichen Verbrauchs- und Erzeugungsmustern mithilfe von Leitungen. Das Energiesystem wird durch Diversifikation verschiedener Verbrauchs- und Erzeugungsmuster stabilisiert, elektrische Energie wird zwischen benachbarten oder auch entfernten Regionen, sogenannten „Energie-Clustern“ ausgetauscht. Diese Cluster können aus Dörfern oder eben auch aus Stadt-Land-Gebieten bestehen, um elektrische Energie in große Ballungsräume zu bringen – urbane und ländliche Regionen müssen verknüpft werden, um das Smart-City-Ziel einer vollständigen Versorgung der Stadt mit regenerativer Energie erreichen zu können.

Darüber hinaus muss eine Speicherinfrastruktur geschaffen werden, die es erlaubt volatile, regenerative Energie zu bevorraten um diese flexibel wieder in das Netz einspeisen zu können. Allerdings sind Energiespeicher verlustbehaftet und deren Verluste müssen durch zusätzliche regenerative Energiequellen ausgeglichen werden, was einen erhöhten Kapitalbedarf zur Folge hat.

Es wird zu einer Verschmelzung der Energiesysteme kommen. Elektrische, chemische und thermische Netze wachsen zu einem Hybridnetz zusammen. Derartige Konzepte wurden in der Bundesrepublik mehrfach theoretisch diskutiert und mittlerweile sogar in den E-Energy-Modellregionen in der Praxis erprobt, beispielsweise in der Modellregion Frankfurt am Main. Essentiell für die Durchsetzung von Power-to-Gas Technologien ist die Wirtschaftlichkeit solcher Systeme. Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse, als im Vergleich zur Methanisierung deutlich weiterentwickeltes Verfahren, wird im Modellprojekt Frankfurt bereits erprobt und der erzeugte Wasserstoff direkt in das Gasverteilnetz eingespeist. Die Aufnahmefähigkeit des Gasnetzes ist jedoch, wie im Beitrag bereits beschrieben, begrenzt, daher muss die Wasserstoffkonzentration überwacht und gesteuert werden. Für die Anwendung dieser Technologie liegen bereits Marktpreise vor und das Energiespeichervolumen einer reinen Wasserstoffeinspeisung in die Gasnetze ist für die Erfordernisse der Energiewende für die nächsten

15 Jahre wahrscheinlich ausreichend. Für eine PEM-Elektrolyse-Anlage (PEM = Protonendurchlässige Membran) müssen derzeit, inklusive Anbindung an die Netze, max. 6 Mio. €/MW aufgewandt werden – man kann aber, durch den Aufbau einer Massenproduktion und eine erwartbare Leistungserhöhung solcher Anlagen, von einer deutlichen Kostenreduktion, bis hin zu 500.000 €/MW ausgehen.

In Studien konnte außerdem nachgewiesen werden, dass allein die gegenwärtig vorhandenen Gasverteilnetze bei einer Einspeisung von Methan den angenommenen Speicherbedarf an Überschussenergie von erneuerbaren Erzeugern auch im Jahr 2050 mehr als decken könnten.

Speicherung und Pufferung elektrischer Energie und damit die Verknüpfung unterschiedlicher Infrastrukturen über Verwaltungs- und Netzgrenzen hinweg werden Schlüsselfaktoren darstellen, um den Herausforderungen der Energiewende begegnen und den Weg zu einem smarten Energiesystem in einer smarten Stadt ebnen zu können. Notwendig hierfür ist ein Denken in „funktionalen Räumen“ – der Erzeugungsschwerpunkt Land muss an den Verbrauchs- und Speicherschwerpunkt Stadt gekoppelt werden. [44]

Untersuchungen zu diesem Thema wurden im Rahmen dieser Studie nicht angestellt, um den Betrachtungsrahmen nicht zu sprengen.

#### *Wärme und Kälte*

Neben der Bereitstellung von Strom ist auch die Versorgung mit Kälte und Wärme ein wichtiges Thema für Städte und Gemeinden. In Deutschland werden zurzeit ca. 30% der Endenergie für die Raumheizung eingesetzt. Weitere 5% werden für die Bereitstellung von Warmwasser verwendet und ca. 0,5% werden für Klimakälte verbraucht. [11] Das Potenzial der erneuerbaren Energien ist mit einem Anteil am Wärmeverbrauch von weniger als einem Zehntel erst zu einem sehr kleinen Teil erschlossen. Von den insgesamt 18,9 Millionen Gebäuden in Deutschland werden derzeit 78,4% mittels Zentralheizung beheizt. Die Anteile für Etagenheizung, Fernwärmeheizung, Einzelheizung und sonstige Heizsysteme liegen jeweils zwischen 5 und 6%. Als Energieträger überwiegt die Nutzung von Erdgas und Erdöl. Bei den Zentralheizungen überwiegt die Erdgas-Zentralheizung mit 40,5%. Holz-/Pellets-Zentralheizung und Elektro-Wärmepumpen nehmen einen Anteil von 2,2% ein. Das durchschnittliche Alter einer Heizungsanlage beträgt 17,6 Jahre. Von den insgesamt rund 17 Millionen Wärmeerzeugungsanlagen in Deutschland sind nur 12 Prozent auf dem Stand der Technik. [45] Durch einen Austausch gegen Wärmepumpen oder Mikro-KWK-Anlagen kann die Effizienz erheblich gesteigert werden. Für Deutschland kann man bis 2030 für Wärmepumpen von einer Anschlussleistung von 16 GW<sub>el</sub> ausgehen. [46] Mit dem Ziel der Bundesregierung bis zum Jahr 2020 die Stromerzeugung aus KWK auf 25% anzuheben, kann man einen Anstieg der Anschlussleistung auf 15 GW<sub>el</sub> ansetzen. [46] Für die Gebäudeklimatisierung ist nach aktuellen Studien davon auszugehen, dass sich der Bestand an klimatisierter Fläche in der EU bis 2020, verglichen mit

2000, verdoppeln wird. Für Deutschland wird in diesem Bereich ein Wachstum von 1,2 m<sup>2</sup>/Einwohner auf 3,8 m<sup>2</sup>/Einwohner erwartet. [47] Derzeit werden rund 98% der Gebäudeklimatisierung über Kompressionskältesysteme gedeckt. Den restlichen Bedarf decken wärmegetriebene Systeme. [45] Weltweit wächst der Markt für Raumklimageräte jährlich um etwa 4%. [47] Neben der dezentralen Versorgung einzelner Gebäude wird auf europäischer Ebene Nahwärme- und -kältenetzen eine steigende Relevanz beigemessen.

### 1.2.5 Gesundheitswesen

#### *E-Health und Smart City*

Die moderne, „smarte“ Stadt von morgen kombiniert intelligente Komponenten und Systeme – mobile und solche, die in Häusern installiert sind – mit neuartigen Services und Angeboten und schafft so gleichzeitig neue Wertschöpfungs- und Unterstützungsmöglichkeiten rund um den Menschen.

Dabei kommt den Bereichen Gesundheit und selbstbestimmtes Leben aufgrund des demografischen Wandels eine besondere Bedeutung zu [56]. Neben der Zunahme altersbedingter Krankheiten nehmen Zivilisationskrankheiten zu [57][58][59]. Bei den Untersuchungen der WHO wird klar, dass falsche Lebensweisen als auch falsche oder zu wenig Bewegung diesen Krankheiten Vorschub leisten. Diese Befunde werden durch Untersuchungen deutscher Krankenkassen – z.B. durch die Techniker Krankenkasse – untermauert [60][61]. Präventionsmaßnahmen sind sinnvoll und können diesen Krankheiten wirkungsvoll begegnen [62].



Abbildung 5: Mobile Geräte und im Haus installierte Komponenten sind Teil eines Kommunikationsnetzwerkes. In der Smart City gibt es variable Services durch spezielle Zentren. Diese decken unterschiedliche Bereiche an Unterstützungsleistungen ab.

Auf die Services kann von überall her zugegriffen werden. Die Services stehen bedarfsabhängig zur Verfügung. Eine Organisation der Services in Form von Zentren macht es möglich, dass

- falls notwendig - Behandlungen vor Ort durchgeführt werden können
- die Qualität der Beratung und Services hoch ist durch eine Ansammlung von Erfahrung und Inzidenzen.
- auf unterschiedliche Arten Therapien zu Hause oder in Behandlungszentren miteinander kombiniert werden können.

Die hierfür notwendigen Voraussetzungen sind eine exzellente Versorgung – kabelgestützt und wireless – mit breitbandigem Internet und die Schaffung vor allem von Kommunikationsangeboten, die so konzipiert sind, dass alte und behinderte Menschen angesprochen werden.

Hierbei kommt der modernen Stadt-Quartiersentwicklung eine besondere Rolle zu, da man hier die internetgestützten Services und Angebote mit solchen vor Ort kombinieren kann.

#### *Prävention*

Das Bundesgesundheitsministerium weist darauf hin, dass die meisten Krankheiten nicht angeboren, sondern im Laufe des Lebens erworben werden [63]. Daraus lassen sich weitreichende Konsequenzen für die Vorbeugung gegen Krankheiten ableiten. Der Erwerb von Diabetes Typ 2, Herz-Kreislaufkrankungen und Depressionen kann im Rahmen primärer Präventionsmaßnahmen verhindert oder deutlich reduziert werden [64]. Bei den erwähnten Krankheiten kann eine überwachte Bewegungstherapie zu einer deutlichen Reduktion neuer Krankheitsfälle (primäre Prävention) führen. Die Rehabilitation (tertiäre Prävention) kann durch eine Kombination von Maßnahmen zu Hause und in speziellen Zentren unterstützt werden. Die weiter oben angegebenen Voraussetzungen gelten hier in besonderem Maße. Eine quartiersabhängige Beschreibung und Verbesserung der Situation ist notwendig [65] und gleichzeitig eine große Chance für die smarte Stadt von morgen.

### 1.2.6 Städtische Verwaltung

#### *Smart Government for Smart Cities*

In Smart-City-Ansätzen wird E-Government nicht selten als eine Säule neben anderen Politikfeldern wie Gesundheit (E-Health) oder Bildung (E-Education) gesehen. Das ist jedoch nicht ganz unkritisch, weil dadurch von einem unzureichenden Verständnis von Staat und Verwaltung ausgegangen wird. Argumentiert wird in diesem Beitrag, dass Government nicht nur eine einzelne Anwendungsdomäne ist, sondern ein eigener Sektor, der mit seinen diversen Besonderheiten grundlegend für Smart-City-Ansätze ist. Pointiert formuliert: Der Staat ist nicht nur dazu da, öffentliche Leistungen zu erbringen, sondern hat diverse weitere Regulierungs-, Überwachungs- und Beteiligungsfunktionen zu erfüllen. Oder in anderen Worten: Staat ist nicht nur Dienstleistungsstaat. Hinzu kommt, dass vielen öffentlichen Leistungen der dienstleistende Charakter fehlt. So kann bei einer



Geschwindigkeitskontrolle nicht ohne weiteres festgestellt werden, was genau die Dienstleistung ist und wer in welcher Form davon profitiert. Gerade im Public Sector spielt die weitere gesellschaftliche Sicht eine Rolle. Geschwindigkeitskontrollen sollen dazu dienen, die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Der Staat soll in der Gesellschaft eine Wirkung erreichen, d.h. Staat muss effektiv sein. Diese weitere Sicht auf Staat und Verwaltung ist erforderlich, um die Rolle von Government in Smart Cities zu verstehen.

#### *E-Government im Kontext von Smart Cities*

Um den Bezug zwischen Smart Cities und Government herzustellen, ist ein Staatsverständnis hilfreich, welches von Heller in den 1930er Jahren geprägt wurde. Er spricht davon, dass Staat als Entscheidungs- und Wirkungseinheit in seiner Tätigkeit auf die Gesellschaft bezogen ist und es demnach die oberste Funktion des Staates ist, das gesellschaftliche Leben zu organisieren (in Anlehnung an Heller 1934). D.h. es geht um das Zusammenspiel des Staates mit der Gesellschaft, womit eine funktionelle Sicht des Staates angesprochen ist (Außensicht). Die Auffassung darüber, was der Staat leisten soll und kann, verändert sich jedoch in einer zunehmend mit IT durchdrungenen Gesellschaft (Informationsgesellschaft), was wiederum Staatlichkeit verändern kann. Auch im Hinblick auf Smart Cities ist diese funktionelle Sicht relevant. Es stellt sich die Frage, wer die Verantwortung für Smart Cities und deren Funktionsweise trägt? Ähnlich einer Stadtplanung, die politisch zu legitimieren ist, stellt sich die Frage, wie und von wem Smart Cities geplant werden. Zwar gibt es private Unternehmen, die Teil von Smart Cities sind, aber bei der „digitalen Landschaftsplanung“ bedarf es eines entsprechenden „Bebauungsplans“, was staatliches Handeln erfordert. Gleichfalls stellt sich die Frage, wer die Infrastrukturverantwortung in einer Smart City tragen soll, die nicht nur einer einzelnen Organisation zugerechnet werden kann. Hiermit sind weitere Fragen verbunden, wie Cybersicherheit, Ausfallstrukturen und Aspekte einer Netzpolitik. Die gestellten Fragen zeigen beispielhaft, dass die Funktion und Rolle von Government in einer Smart City weit mehr ist als Verwaltungsleistungen elektronisch anzubieten. Im Kern geht es um die Gestaltung und eine entsprechende Regulierung beim Aufbau einer Smart City, wofür es einer Mindestlegitimation bedarf. Das heißt nicht automatisch, dass der Staat sämtliche Aufgaben, die sich im Zusammenhang mit einer Smart City stellen, selbst ausführen muss. Vielmehr sind eine Reihe verschiedenster institutioneller Arrangements denkbar, insbesondere gemischte Formen der Zusammenarbeit im Rahmen von Public Private Partnerships kommen in Betracht, um Smart City-Dienste und v.a. Infrastrukturen aufzubauen und zu betreiben. Klar ist, dass vor allem Infrastrukturen für Smart Cities nur gemeinschaftlich getragen werden können, so dass sich hieraus eine besondere Funktion für den Staat ergibt. In der E-Government-Forschung ist die Frage, welche Rolle der Staat bei der Planung, Umsetzung und beim Betrieb von Smart Cities spielt, bisher jedoch kaum erforscht. Eine zweite Perspektive auf Staatlichkeit und Smart Cities ist eine stärker

nach innen gerichtete. Denn der Staat nutzt selbst IT, um sich und seine internen Strukturen zu transformieren. Damit ist die so genannte Machinery of Government angesprochen, worunter alle Strukturen und Prozesse zu verstehen sind, die den Staat funktionsfähig machen (Mill 1861). Staatlichkeit – so die generelle Beobachtung – kann sich wandeln, weil sich Möglichkeiten verändern, öffentliche Leistungserbringung und Leistungserstellung zu organisieren. Das passiert heute auf ganz unterschiedliche Weise, ob Leistungen online, über mobile Endgeräte oder über Call Center zugänglich sind. Aus einer Transformationsperspektive zeigt sich, dass es weniger um die Art der Bereitstellung von öffentlichen Leistungen geht als vielmehr um erforderliche Änderungen in Abläufen und Strukturen. Ein Kernpotenzial von IT hierfür ist die Vernetzung, die in Kapitel 3.2.5 näher ausgeführt wird.

### 1.2.7 Zivile Sicherheit

Deutschland war in den vergangenen Jahren relativ selten von Katastrophen und Großschadensereignissen betroffen. Allerdings werden extreme Wetter- und Naturereignisse voraussichtlich auch in Deutschland immer öfter zu immer größeren Schäden führen. Dies liegt zum einen an einer höheren Frequenz herausragender Wetter- und Naturereignisse wie beispielsweise Starkniederschläge, Hitze und Kälteperioden, zum anderen in der zunehmenden Verletzbarkeit der globalisierten Gesellschaft. Auch andere Ursachen wie Großfeuer und Epidemien sind nicht auszuschließen und müssen in einer Smart City präventiv bedacht werden.

Nach der Definition der Vereinten Nationen ist eine Katastrophe „die Unterbrechung der Funktionsfähigkeit einer Gemeinschaft oder Gesellschaft, die hohe menschliche, materielle, ökonomische und ökologische Verluste verursacht und die Fähigkeit der betroffenen Gemeinschaft oder Gesellschaft übersteigt, diese aus eigener Kraft zu bewältigen.“ Eine Katastrophe betrifft also meistens viele Menschen, sie schädigt die Lebensgrundlagen und Sachwerte auch langfristig und kann den Zusammenbruch der kritischen Infrastrukturen zur Folge haben (und umgekehrt). Um Leben, Gesundheit oder die Umwelt vor Katastrophen zu schützen, sind präventive Maßnahmen am wirksamsten. Der Katastrophenschutz dient „nur“ der Gefahrenabwehr, also der Bekämpfung von Katastrophen. Er liegt in der Verantwortung der Kommunen, Kreise und Länder. Im Katastrophenschutz sollen alle an der Gefahrenabwehr beteiligten Behörden, Organisationen und Einrichtungen unter einheitlicher Führung durch die örtlich zuständige Katastrophenschutzbehörde zusammenarbeiten.

In einer Kommune hat die Verwaltung die Aufgabe, auch in kritischen Situationen die zivile Sicherheit aufrecht zu erhalten. Hierzu dienen in erster Linie die Polizei und die Feuerwehren, auf deren gesetzlich geregelte Aufgaben hier nicht weiter eingegangen werden soll. Konkrete und mögliche Bedrohungslagen wie Hochwasserkatastrophen, Epidemien, flächendeckende und lang anhaltende Stromausfälle, Terrorangriffe oder Extremwetterereignisse erfordern eine veränderte Denkweise und den Einsatz

neuer Technologien in den Kommunen, die eine vernetzte Sicherheit generieren. Dies gilt insbesondere für den hier diskutierten Bereich der Smart City, in dem viele Bereiche in der Zukunft von einer starken Vernetzung mit Verfahren der Informations- und Kommunikationstechnik abhängen werden; hierauf soll hier deshalb besonders eingegangen werden. Ein Ereignis aus dem Jahr 2013 – im Folgenden beschrieben – zeigt als eindrucksvolles Beispiel, dass es sinnvoll ist, innerhalb einer Smart City aufgrund der starken IT-Vernetzung nicht nur im Rahmen einer einzelnen Institution zu denken, sondern z.B. im Bereich der Grundversorgung (Strom, Gas Wasser, Kommunikations- und Datennetz sowie anderen Bereichen) überregional im Bereich der Sicherheitsaspekte zu planen und zusammen zu arbeiten:

Am 21. Januar 2013 brannte eine Vermittlungsstelle der Telekom in Siegen. Dadurch wurde ein großflächiger Ausfall der Notrufe 110 und 112 sowie der Telefonie, des Internets, des lokalen Radios und des D1-Mobilfunknetzes verursacht. Die Banken und Sparkassen der Region mussten den Betrieb einstellen, Geldautomaten und Kassensysteme fielen aus, Lebensmittelgeschäfte mussten schließen, Krankenhäuser mussten Operationen verschieben und Hausnotrufe waren nicht mehr funktionsfähig. Betroffen waren ca. 500.000 Haushalte in den Kreisen Siegen-Wittgenstein, Marburg-Biedenkopf, Lahn-Dill und Altenkirchen. Der wirtschaftliche Schaden wird von der örtlichen IHK auf 10 Mio. € geschätzt [66].

Dieser Brand hatte weitere nicht vorhersehbare Auswirkungen: Zeitweilig waren alle überregionalen Leitungen ausgefallen – von allen Providern. Hinzu kam ein Ausfall der meisten wesentlichen Verwaltungsverfahren bzw. -einrichtungen: - Bürgerämter (Einwohner- und Meldewesen), - Straßenverkehrsämter (Kfz-Zulassung und Führerschein), - Sozialämter, - Personalverwaltung, - Finanzbuchhaltung und kommunale Kassen sowie - Steuerämter. Somit war kein normaler Dienstbetrieb der öffentlichen Verwaltung in Südwestfalen mehr möglich. Ohne das kommunale Richtfunknetz der Kreise Olpe und Siegen-Wittgenstein hätten die Städte und Gemeinden vier Tage keine Verbindung zur Datenzentrale und keinen Zugang zu den zentralen Verwaltungsverfahren gehabt, da der Internet-Zugang der Telekom bis zum 24. Januar 2013 gestört blieb.

Der Brand hat beispielhaft gezeigt, dass es nicht mehr ausreicht, sich als einzelne Behörde oder einzelnes Wirtschaftsunternehmen abzusichern. Vielmehr müssen die Einrichtungen sich mit überregionaler Sicherheit befassen. Als Beispiel: Der Betrieb von parallelen Netz-Zugängen über mehrere Provider ist zwar wichtig, allerdings hat das Ereignis gezeigt, dass viele die gleiche Infrastruktur nutzen. Hier ist es sinnvoll, dass die betroffenen Institutionen in Zusammenarbeit mit der Kommunikationsgesellschaft in der Zukunft neue Lösungen finden.

Dass das überregionale Zusammenarbeiten im Bereich Notfallmanagement und Katastrophenschutz oder im Bereich der IT-Sicherheit sinnvoll ist, zeigt z. B. auch die vom BSI gegründete Allianz für Cyber-Sicherheit oder das Warn- und Informationssystem KATWARN, das vom Fraunhofer-Institut für

Offene Kommunikationssysteme FOKUS entwickelt und von den öffentlichen Versicherern Deutschlands beauftragt wurde ([www.katwarn.de](http://www.katwarn.de)). KATWARN ist ein Warnsystem, das individuell über Gefahren wahlweise per SMS, E-Mail und Smartphone-Applikation informiert und den Betroffenen Anweisungen zum „besten Verhalten“ gibt. Dies ist ein Notfallvorsorgesystem, wie es in Smart Cities aufgebaut und eingesetzt werden sollte. Ein Notfallmanagement in der Smart City kann in die Bereiche Notfallvorsorge und Notfallbewältigung unterteilt werden. Die Notfallvorsorge ist proaktiv tätig, die Notfallbewältigung reaktiv. Die Notfallvorsorge hat das Ziel, die Krisenschwelle der Institution zu erhöhen. Dazu werden vorbeugende Maßnahmen entwickelt, die den Schaden und die Eintrittswahrscheinlichkeit von Risiken reduzieren und ein schnelles und sinnvolles Reagieren auf einen Vorfall ermöglichen.

Da nicht alle Risiken durch Sicherungsmaßnahmen vollständig eliminiert werden können, wird dem verbleibenden Restrisiko durch eine Notfallbewältigung begegnet. Das Ziel der Notfallbewältigung ist es, Notfall und Krisensituationen zu identifizieren und zu analysieren, Bewältigungsstrategien zu entwickeln sowie Gegenmaßnahmen einzuleiten und zu verfolgen. Um die Widerstandsfähigkeit einer Institution und die Robustheit der Geschäftsprozesse zu erhöhen, ist es von fundamentaler Bedeutung, beide Gebiete zu betrachten und sich in der Konsequenz mit folgenden exemplarischen Fragestellungen auseinanderzusetzen:

- Welche direkten oder indirekten Schäden entstehen, wenn z. B. ein Gebäude, ein Geschäftsprozess oder eine Anwendung ausfällt?
- Kann ein Ausfall rechtliche Konsequenzen oder Imageschäden zur Folge haben?
- Welche Eintrittswahrscheinlichkeiten haben die unterschiedlichen Szenarien?
- Welche Maßnahmen wurden für die Notfallprävention umgesetzt?
- Was wird für die Notfallbewältigung getan?
- Gibt es einen Alarmierungsplan, definierte Meldewege und ein Rollenkonzept?
- Wann müssen die ausgefallenen Systeme wieder funktionsfähig sein?
- Gibt es einen Wiederanlaufplan zum Wiederherstellen von Geschäftsprozessen oder Anwendungen?

#### Zukünftige Anforderungen

Für die Smart City ist es ein wichtiges Ziel, sicherzustellen, dass wichtige Geschäftsprozesse (z.B. die Versorgung mit Strom, Wasser, Gas oder auch Informationen) selbst in kritischen Situationen nicht oder nur temporär unterbrochen werden und die wirtschaftliche Existenz der Smart City auch bei einem großen Schadensereignis gesichert ist. Insbesondere die öffentliche Hand ist aufgrund der Daseinsvorsorge angehalten, sich mit einem Notfallmanagement auseinanderzusetzen und sich mit einem Notfallmanagementsystem auszustatten. Die wichtigsten Sicherungsmaßnahmen sind gut ausgebildete und motivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in

Sicherheitsfragen. Ebenso sind technische Sicherheitsmaßnahmen von Bedeutung: beispielsweise sollten Notstromaggregate eingesetzt und z.B. ein 2- Häuser-Konzept (für redundante Haustechnik und IT-Komponenten) entwickelt werden. Abschließend sollten mit Hilfe von Notfallübungen, z. B. Stabsrahmenübungen oder Wiederanlauf nach Ausfall eines Geschäftsprozesses (z.B. völliger Ausfall des Stromversorgungsnetzes, Schwarzfall) oder einer wichtigen Verwaltungsanwendung, die etablierten organisatorischen und technischen Sicherheitsmaßnahmen überprüft werden.

In einer Smart City genügt es aber nicht, allein die eigene Institution zu sichern. Die „lokale“ IT-Sicherheit und das eigene Notfallmanagement sind die Grundlagen, die geschaffen werden müssen, damit eine übergreifende Sicherheit erreicht werden kann. Dies bedeutet, dass das Konzept: „Vorsorge statt Nachsorge!“ eine hohe Bedeutung hat. Sichere kommunale Rechenzentren, die mit einem Backup-Rechenzentrum und redundanten Infrastrukturen ausgestattet sind, können Ausfälle und damit verbundene Schäden zwar nicht verhindern, jedoch effizient vermindern oder begrenzen. Die Rechenzentren müssen sich auf dem höchstmöglichen Sicherheits-Standard befinden, um auf die möglichen Risiken vorbereitet zu sein. Das Bewusstsein für die Notwendigkeit von präventiven Maßnahmen muss in allen kommunalen Einrichtungen verankert werden.

## 1.3 Ziele der Smart City Entwicklung

### 1.3.1 Prinzipielle Sichtweise

Der Prozess der Urbanisierung ist einer der vielversprechenden Aspekte der globalen wirtschaftlichen Entwicklung. Städtische Gebiete haben die ländlichen Gebiete im letzten Jahrhundert in fast allen Aspekten der wirtschaftlichen Entwicklung übertroffen (Jeffrey Sachs, 2014). Im Vergleich zu ländlichen Gebieten nutzen Städte die Ressourcen besser und sind produktiver bei hoher Lebensqualität. In den letzten Jahren wurden jedoch einige Probleme in Städten intensiver, wie zum Beispiel Luftverschmutzung, Verkehrsstaus, der Verlust offener Plätze, alternde Infrastruktur, Konversionsflächen, Ausdehnung der Städte, extreme Wetterbedingungen und die wachsenden Unterschiede zwischen Arm und Reich.

Städte stehen im Wettbewerb zueinander, sie werben um Bürger, Arbeitsplätze und Besucher. Die Entwicklung zur Smart City unterstützt das Stadt-Marketing.

### 1.3.2 Bürger und Besucher

Die Infrastruktur der Stadt ist die Grundlage für eine hohe Lebensqualität beim Zusammenleben vieler Menschen auf engem Raum. Die Bürgerinnen und Bürger benötigen eine zuverlässige Wasserversorgung und Stromversorgung. Bei der Heizwärme führen Fernwärmesysteme sowie Gasversorgung dazu, dass die Luftqualität in den Ballungszentren gegenüber einzel-

nen Kohle- oder Ölheizungen verbessert wird. Kältesysteme gewinnen weltweit an Bedeutung. Weiterhin trägt ein modernes Transportsystem wesentlich zur Verbesserung der Luftqualität bei, ermöglicht durch Engpassmanagement einen fließenden Verkehr und steigert die Energieeffizienz (Beispiel Singapur). Überwachungssysteme helfen, kritische Situationen wie z.B. schwere Stürme oder Fluten zu prognostizieren und zu evakuieren bzw. Rettungskräfte zu steuern (Beispiel Rio de Janeiro). Bei Städten mit großen Gebäudekomplexen spielt die Gebäudeautomatisierung eine wichtige Rolle für die Wohnqualität der Bürger. Die Kalkulierbarkeit der Lebenskosten ist weiterhin ein wichtiger Aspekt.

Bürgerinnen und Bürger nehmen zunehmend auch in Deutschland, wie schon heute in vielen anderen Ländern üblich, verstärkt Dienstleistungen in Anspruch. Das erstreckt sich insbesondere auf Mobilitätskonzepte, aber auch andere Serviceleistungen für Haushaltsführung usw. Eigentum wie z.B. ein eigenes Auto verlieren dabei als Statussymbole an Bedeutung. Sie wünschen sich über die genannten Aspekte hinaus eine höhere Beteiligung an politischen Entscheidungsprozessen. Das wird insbesondere in Deutschland deutlich, wo zahlreiche Bürgerbewegungen auf Infrastruktur-Entscheidungen direkten Einfluss nehmen. Dies hebt z.B. bestehende Gesetze für Genehmigungsverfahren aus, wenn diese nicht transparent genug unter Beteiligung der Bürger durchgeführt wurden.

Smart City Konzepte in einer Stadt sind Teil des Stadtmarketings und ziehen internationale Besucher an. Kleine Städte wie z.B. Evora in Portugal verzeichnen einen Anstieg an Touristen und an Fachpublikum, da sie gerne als Tagungsort für Fachkonferenzen rund um die Thematik gewählt werden. Delegationen besichtigen weltweite Beispiele für intelligente Stadtentwicklung, um für ihre eigenen Entwicklungen Anregungen zu finden. Auch private Besucher sind interessiert an Städten, in denen eine hohe Lebensqualität zu finden ist. Um Besucher anzuziehen, müssen die Smart City Konzepte in geeigneter Weise dargestellt und erlebbar gemacht werden – sowohl im Internet als auch durch eine Route oder ein Demonstrationszentrum in der Stadt selbst.

### 1.3.3 Wirtschaft

Für Gewerbe und Industrie ist zusätzlich zu den oben genannten Aspekten die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der gesamten Infrastruktur und Logistik von großer Bedeutung. Insbesondere für Wirtschaftszweige mit sensiblen Geräten wie z.B. Rechenzentren oder Produktion spielt die Netzqualität der Stromversorgung eine große Rolle. Darüber hinaus ist hier die Kommunikationsinfrastruktur und Sicherheit wichtig. Zuverlässige Investitionsbedingungen und ein geeignetes Marktumfeld sind wichtige Standortfaktoren.

Beim derzeitigen Fachkräftemangel in Industrienationen ist die Lebensqualität in den Städten und Metropolregionen ebenfalls wichtig, um Experten in die Region zu ziehen bzw. zu halten. Diese Entwicklung wird auch in China beobachtet, wo neue Städte mit neuen Industriezweigen Fachkräfte mit

einer hohen Lebensqualität anziehen möchten. Es findet ein Wettbewerb an guten Lebensbedingungen statt.

Im aktuellen modernen Stadtbild sind Wohnen und Arbeiten voneinander getrennt. Für eine nachhaltige moderne Urbanität ist räumliche Nähe jedoch wichtig. Mit neuen Technologien könnten neue Konzepte für Wohnen und Arbeiten entstehen. Dies gilt für die Ansiedlung von Handel und Gewerbe und Dienstleistungen in neuen Stadtteilkonzepten. IKT ermöglicht Arbeiten von zu Hause, so dass Transportwege reduziert werden. Selbst Industrie könnte mit neuer Technologie wieder näher an den Wohngebieten entstehen (Quelle: VDE Thesen zu Smart Cities vom März 2014).

### 1.3.4 Umwelt

Städte bieten grundlegende Leistungen, höhere Lebensqualität und Arbeitsplätze für über die Hälfte der Weltbevölkerung. Inzwischen sind Städte mit vielseitigen Herausforderungen konfrontiert. Die dynamische Verstädterung initiiert den Boom, „Smart Cities“ zu entwickeln, wobei Nachhaltigkeit ein Schlüsselement darin darstellt.

Einerseits kann die smarte Stadtentwicklung als Treiber und Schlüssel für Nachhaltigkeit betrachtet werden. Andererseits baut das „Smartness“-Konzept auch auf den Indikatoren für nachhaltiges Wachstum auf. Nachhaltigkeit zusammen mit guten Arbeitsbedingungen und Lebensqualität werden vom Smart City Council als die Ziele der smarten Stadtentwicklung genannt.

*Was ist Nachhaltigkeit?*

#### Definition

Nachhaltigkeit ist ein evolutionäres Konzept mit einer großen Bandbreite an Bedeutungen [68]. Wörtlich bedeutet Nachhaltigkeit die Fähigkeit, unser sozio-ökologisches System zu entwickeln, während man gleichzeitig das Gleichgewicht dieses dynamischen Systems erhält. Beide Begriffe können in diesem Beitrag verwendet werden.

Die fehlende genaue Definition erlaubt es, mit dem Begriff verschiedene Perspektiven und Ziele zu adressieren. Es definiert eine visionäre Entwicklung, die abweicht von der konventionellen Orientierung der Entwicklung in Richtung von rein wirtschaftlichem Wachstum. Das Ziel ist es nicht nur, die Konflikte zwischen Umwelt und wirtschaftlichen Entwicklungszielen zu balancieren, sondern auch soziale Aspekte mit Umweltschutz und wirtschaftlicher Entwicklung als drei tragende Säulen der Nachhaltigkeit zu vereinbaren (siehe Abbildung 6). Für dieses neue Paradigma sind weitreichende strukturelle Veränderungen nötig.

Die meist zitierte Definition ist die der Brundtland-Kommission von 1987. Deren Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“ definiert: „Nachhaltige Entwicklung ist die Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne damit die Fähigkeit der nächsten Generation zu beeinträchtigen, deren eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“

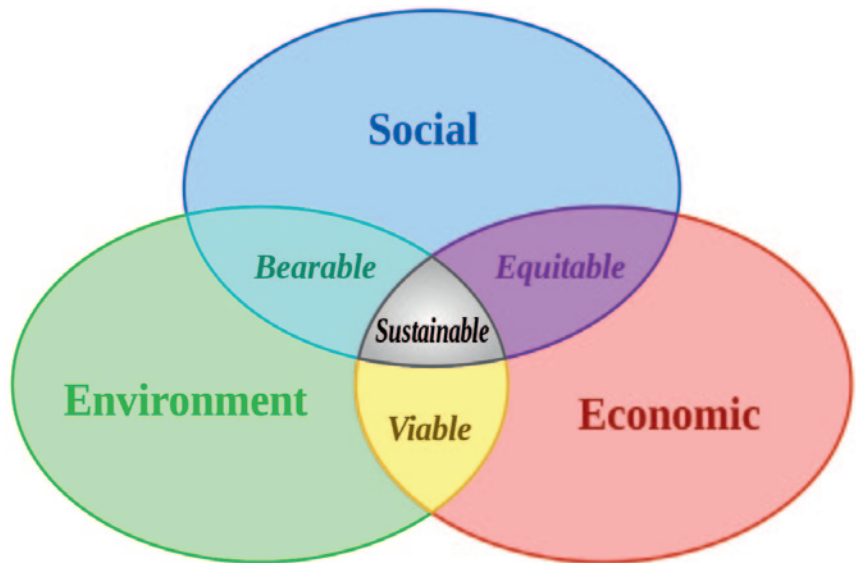


Abbildung 6: Venn-Diagramm für nachhaltige Entwicklung [48]

#### *Merkmale nachhaltiger Entwicklung*

Das Internationale Institut für nachhaltige Entwicklung (IISD) identifiziert drei gemeinsame Merkmale nachhaltiger Entwicklung.

Das erste Merkmal ist systemisches Denken. Wir haben nur eine Erde mit endlichen Ressourcen. Alle menschlichen Aktivitäten hängen von diesem einen System und dessen Subsystemen ab. Ein kleiner Vorfall an einem Ort der Welt kann wesentliche Folgen im Rest der Welt auslösen. Der Nobelpreisträger Elinor Ostrom vertritt den polyzentrischen Ansatz in der Verwaltung von Metropolen und meint damit gemeinsame Anstrengungen verschiedener Stakeholder (öffentlich, privat) und verschiedener Ebenen (national, regional, lokal). Diese Stakeholder und Ebenen beeinflussen sich gegenseitig. Es ist unmöglich, sich nur auf einen Sektor zu konzentrieren und die Situation an einer Seite auf Kosten der anderen zu verbessern. Daher sind gemeinschaftliche Lösungen nötig.

Als zweites Merkmal ist die Langfristigkeit hervorgehoben. Selbst wenn niemand im Horizont von 50 oder 150 Jahren mit Sicherheit die Entwicklung vorhersehen kann, ist es dennoch wichtig, proaktiv und vorbeugend Maßnahmen zu berücksichtigen. In der heutigen, sich schnell ändernden, komplexen und unsicheren Welt, sollte das vorbeugende Prinzip vorangetrieben und alle Aktivitäten so geplant werden, dass sie deren Einfluss auf die zukünftige Generation berücksichtigen. Clarkson et al. schlagen folgendes vor: „Jede neue Generation ist verantwortlich dafür, das Überleben der siebten Generation sicher zu stellen.“ [75].

Das dritte Merkmal ist Gleichberechtigung und Fairness. Im Hinblick auf das existierende Ungleichgewicht beim Zugang zu Ressourcen, ist eine der wichtigsten Herausforderungen, die Bedürfnisse der Armen und der Minderheiten zu befriedigen und die Rechte und Interessen der folgenden Generationen zu schützen. Dies wiederholt Aspekte der vorangegangenen beiden Merkmale. In jedem Fall ist nachhaltige Entwicklung weder eine detaillierte Blaupause noch eine allumfassende praktische Lösung für alle Herausforderungen. Es



wird immer eine sorgfältige Einzelbetrachtung nötig sein, auf deren Basis ein individuelles Konzept entwickelt wird.

*Städte und Nachhaltigkeit*

Urbanisierungs-Trend

Global gesehen unterscheiden sich Städte in Größe, Wirtschaftskraft und lokaler Verfügbarkeit von Ressourcen. Demographisch gesehen wird zum Beispiel erwartet, dass sich das komplette Wachstum, das Städte in den letzten 200 Jahren erfahren haben, in den nächsten 40 Jahren verdoppelt [69]. Dabei findet das meiste Wachstum in den sich entwickelnden Ländern in Asien, Afrika und Lateinamerika statt, während der Anteil der Stadtbevölkerung in europäischen, nord-amerikanischen und ozeanischen entwickelten Ländern eher sinkt, wie in Abbildung 7 dargestellt. Gemäß UN Bericht ist in Ländern mit niedrigen Einkommen die Stadtbevölkerung in wenigen Städten hoch konzentriert – im Gegensatz zu den eher verteilten Städten in den entwickelten Ländern.

In OECD Ländern lebten bereits vor 50 Jahren mehr als 50% der Bevölkerung in Städten. Die Herausforderungen, denen die sich entwickelnden Länder jetzt gegenüberstehen, hatten die OECD Länder bereits seit langer Zeit zu bewältigen (OECD, 2010). Diese Städte werden nun von der OECD nach Cheshire (1995) als postindustriell bezeichnet. Die UN prognostiziert, dass die Stadtbevölkerung in OECD-Ländern bis 2050 auf 86% steigt, obwohl die Gesamtbevölkerung in diesen Ländern sinkt. Die ländliche Bevölkerung soll entsprechend zurückgehen (siehe Abbildung 8).

In Deutschland schreitet die Urbanisierung weiter voran. Es gibt jedoch immer noch gegensätzliche Entwicklungen in Ost und West. Die Bevölkerung im Westen wächst, während sie im Osten zurückgeht. Im Westen leben 64 Millionen Einwohner und davon über 50% in Städten und deren Umgebung. Im Osten leben 18 Millionen Menschen, davon 30% in Städten. Weiterhin sind die alternde Bevölkerung und Migration schwierige Herausforderungen im Osten. (OECD, 1999)

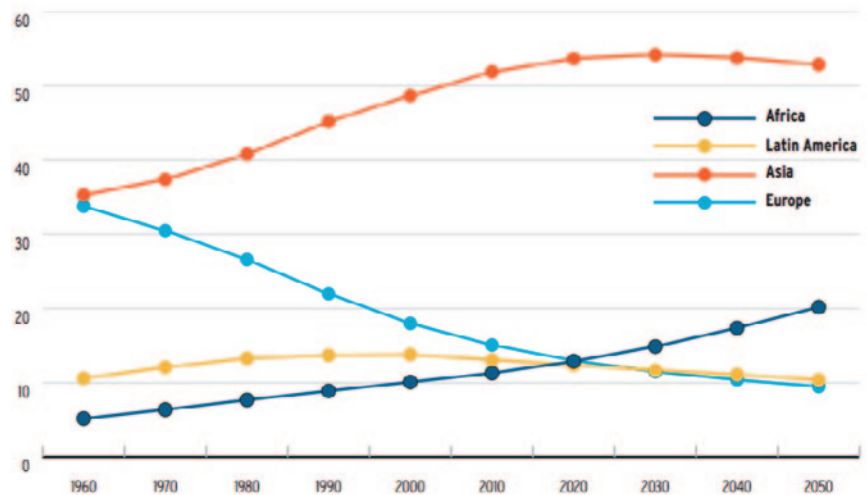


Abbildung 7: Shares of World Urban Population and Regional Totals (2010-2050) [69]

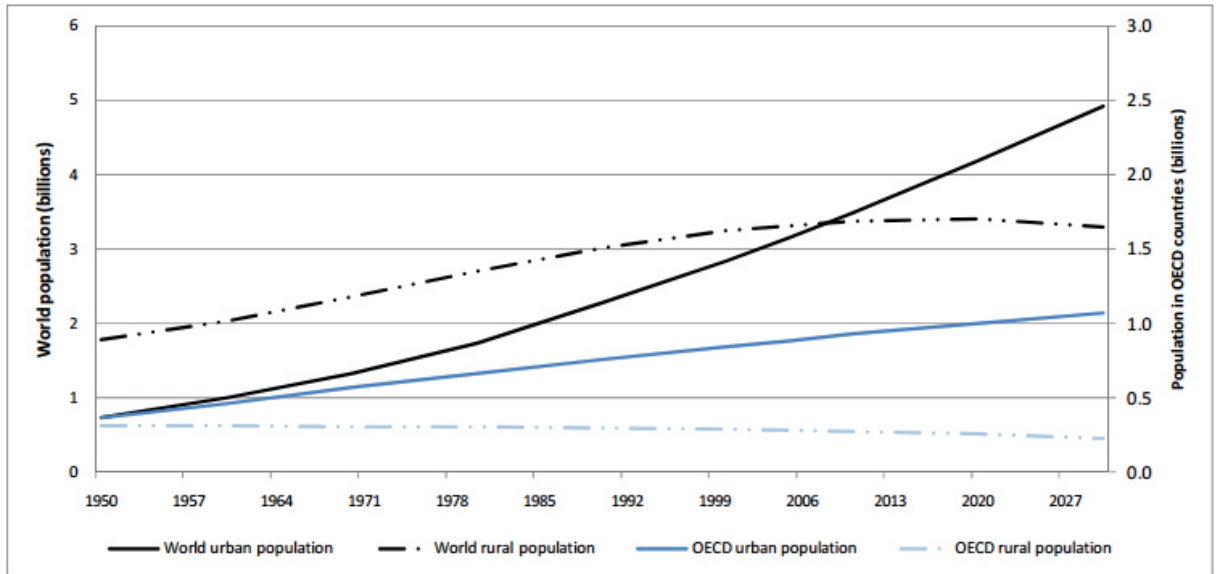


Abbildung 8: Urban and rural population in the world and the OECD (1950 - 2030)  
(Source: OECD/ China Development Research Center, (2010) based on UN data)

Nachhaltige Städte (Sustainable Cities)

Nachhaltige Städte sollten die Bedürfnisse der Einwohner befriedigen und nötige Dienstleistungen bieten, ohne die Ressourcen zu erschöpfen (Smart Cities Council, 2013). Im Jahr 2002 trat das „Welt-Stadt-Forum“ unter Moderation des United Nations Human Settlement Programmes (UN-HABITAT) zusammen und beschloss, als vierte Säule die Stadtverwaltung in die Definition einer nachhaltigen Stadt einzuführen (siehe Abbildung 9). Hierfür sind revolutionäre Änderungen in Geschäftsmodell, Lebensstil und Verbrauchsmustern nötig. Weiterhin gibt es immer Überschneidungen zwischen und innerhalb der Bereiche, z.B. kann der Übergang zu erneuerbaren Energien eine Reduzierung der Treibhausgase bewirken und darüber hinaus lokale Arbeitsplätze schaffen.



Abbildung 9: Säulen der Nachhaltigkeit für Städte (Source: UN DESA)

Das gemeinschaftliche und das abgegrenzte Ziel

Die Prioritäten für die Entwicklung sind bestimmt von den eigenen Stärken der Städte und den drängenden aktuellen Entwicklungs Herausforderungen.

In Städten mit geringem Einkommen sollte das primäre Ziel die Entwicklung der Aufnahmefähigkeit, der Aufbau einer modernen Infrastruktur und öffentliche Dienste wie Gesundheit, Wasser und Sanitäreinrichtungen, Bildung, Verkehr, Unterkunft und Energie sein – wobei die Fehler der Vergangenheit vermieden werden sollten. Hier liegen wesentliche Potenziale für Städte darin, gleich angemessene Technologien einzusetzen. In Städten mit mittlerem und hohem Einkommen liegen die Gelegenheiten eher beim Einsatz erneuerbarer Energien, Renovierung der Infrastruktur, Verbesserung der Ressourceneffizienz, industrielle Transformation und Belastbarkeit ebenso wie Abfallwirtschaft und Recyclingsysteme. Um eine nachhaltige Stadtentwicklung zu erreichen, ist jedoch die verbindliche Beteiligung der globalen Gemeinschaft nötig. Es ist wichtig herauszuarbeiten, wo die gemeinsamen und die abgegrenzten Verantwortlichkeiten global, national und lokal liegen. Dies erfordert eine effiziente Stadtverwaltung, die vierte Säule, um Ressourcen angemessen einzusetzen.

#### Beispiele

Das Konzept, der nachhaltigen Entwicklung ist weithin akzeptiert, aber die Umsetzung, d.h. die Integration der drei Säulen der nachhaltigen Entwicklung, blieb weitgehend ohne Erfolg [67]. Smart Cities stellen einen der Paradigmenwechsel dar, der für eine nachhaltige Stadtentwicklung nötig ist. [69] Diese Initiativen liefern konkrete Aktionen, bei denen nachhaltige Entwicklung von einem Rahmen bis hin zur aktuellen Umsetzung mit reeller Verantwortung. Zwei Beispiele für Smart City-Entwicklung im Energiesektor und im Verkehr werden hier erläutert.

Energie ist der kritische Motor für wirtschaftliches Wachstum. Der Smart Cities Council erkennt an, dass der Erfolg einer Smart City davon abhängt, dass ein smartes Energiesystem geschaffen und betrieben wird. Das Ziel im Energiebereich ist z.B. die sichere, wirtschaftliche und nachhaltige Energieversorgung. Das kann z.B. erreicht werden, indem Kunden und Verbraucher dynamische Preisgestaltung und weitere Informationen zu Erzeugung und Verbrauch zeitnah verfügbar haben. Im Großraum Houston, USA, werden 50 Millionen USD eingesetzt, um ein selbst-heilendes Smart Grid zu bauen, in dem Smart Meter, Powerline Sensoren, fernschaltbare Schalter und weitere Netzautomatisierung eingesetzt werden. Das Smart Grids System ermöglicht es dem Netzbetreiber, Netzstörungen sofort zu lokalisieren und damit die Ausfallzeiten erheblich zu reduzieren. Im Jahr 2012 wurden dadurch 611.000 Kundenminuten in über 20 Stromausfällen vermieden. Netzautomatisierung ermöglicht es weiterhin, dass der Netzbetrieb im Falle eines größeren Ereignisses, wie z.B. eines starken Sturms, die Stromführung umleitet und eine Selbstwiederherstellung des Netzes eintritt. Die Verbesserung der Verkehrs-Infrastruktur und Dienste ist ebenfalls von hoher Priorität in vielen städtischen Entwicklungsprojekten. Umweltverschmutzung, Engpässe im Verkehr und Kosten zu reduzieren sind wesentliche Ziele. Die Stadt Paris führte ein Car Sharing System mit Elektroautos ein, das die Verbindung zwischen dem „In-Car-System“, Registrierung und

dem „Kiosk“ zur Vermietung, Ladestationen und einem zentralen Managementsystem herstellte. Dieses System trug zu einer Reduzierung der Treibhausgase bei und ersetzte 25.000 private Autos. Die Fahrer konnten sich über einen Rückgang ihrer Kosten um 90% freuen und durften kostenfrei mit Hilfe der GPS Navigation an ausgewählten Stellen parken.

#### *Schlussfolgerungen*

Nachhaltigkeit kann als Mission von Smart Cities angesehen werden. Im Hinblick auf individuelle Stärken und Schwächen und die dringendsten Herausforderungen müssen Städte ihre maßgeschneiderten Ziele und Lösungen entwickeln. Dabei sollten die Bürgerinnen und Bürger immer im Mittelpunkt stehen und frühzeitig mit eingebunden werden. Städte sollten ihre eigenen Ziele definieren und bessere Dienste zur Verfügung stellen. Eine solch umfassende Entwicklung kann niemals schnell stattfinden. Es ist ein langfristiger Prozess.

## 1.4 Umbau bestehender Städte vs. Neu entstehende Städte

Die vorgestellten Konzepte zur Modellierung von Smart City Komponenten und zur horizontalen Optimierung im Rahmen des Resource Balancing Principle bieten die Grundlage für die Bearbeitung einer Vielzahl an Fragestellungen und Problemen. Diese lassen sich grob in zwei Bereiche unterteilen, die Ansätze „Grüne Wiese“ und „Braune Wiese“.

Der Umbau bestehender Städte, auch referenziert als Ansatz „Braune Wiese“ basierend auf „Brown Field“ aus dem Englischen, adressiert den Prozess und die begleitenden Maßnahmen für die Umwandlung vorhandener städtischer Infrastrukturen in eine Smart City. In diesem Fall steht eine übergangslose Transformation im Mittelpunkt, bei der auch die Bürger als Teil der Smart City mitgenommen werden. In Industrieländern mit historisch gewachsenen Strukturen ist dies der häufigste Fall. Je nach Auswirkungsgrad der Transformationsprozesse auf die bestehenden Strukturen kann die Transformation auch wesentlich länger als 10 Jahre dauern.

Der Ansatz „Grüne Wiese“ (basierend auf „green field“ aus dem Englischen) bezieht sich in der Regel auf Schwellen- und Entwicklungsländer, z.B. für Regionen, in denen Städte oder Industriegebiete neu geplant und gebaut werden. Dieser Fall ist jedoch auch in Industrieländern denkbar, z.B. „Songdo“ in Korea und die „Seestadt Aspern“ in Wien, Österreich. Die Seestadt Aspern wurde als neuer Stadtteil geplant und gebaut, gänzlich verzichtend auf traditionelle Rahmen und Strukturen. Das Einhalten des Zeitplans und des Budgets sind hier entscheidende Erfolgsfaktoren.

In beiden Fällen steht das Endergebnis im Mittelpunkt, die intelligente und nachhaltige Stadt von morgen. Unterschiedlich sind nur die Wege dahin und die Chancen und Herausforderungen, die damit verbunden sind.

Diese werden im Folgenden näher beschrieben und anhand eines Beispiels veranschaulicht. In den Beispielen wird ein Testscenario entsprechend den typischen Rahmenbedingungen für jeden Ansatz dargestellt.

#### *Technische Herausforderungen*

Smart City ist definiert als ein System aus Systemen mit teilweise traditionellen Strukturen, ermöglicht und optimiert durch informations- und kommunikationstechnischen (IKT) Lösungen.

Aus dieser Sicht besteht die größte Herausforderung in der technologischen Entwicklung und Standardisierung. IKT-Lösungen werden nach Monaten oder einigen Jahren erneuert, jedoch werden Versorgungsinfrastrukturen (Wasser-, Gas-, Stromnetz) auf mehrere Jahrzehnte ausgelegt. Dieses Problem ist essentiell für die Smart-City-Thematik, unabhängig von dem Ansatz, „Grüne“ oder „Braune“ Wiese.

Für Projekte auf der Braunen Wiese besteht häufig das Problem der fehlenden oder mangelhaften Dokumentation bestehender Infrastrukturen. Über die Jahrzehnte, die beim Betrieb von Versorgungsnetzen vergehen können, wird einiges nicht entsprechend aktualisiert oder geht gar verloren. Aus bautechnischer Sicht kommt auch das Problem hinzu, dass in Industrieländern die Zeitkonstante des Baubestands ca. 80 Jahre beträgt. Auch in einer immer schneller werdenden Welt hat sich in den letzten Jahren nicht viel geändert. In 50 Jahren werden 80% der heute vorhandenen Gebäude immer noch da sein. Darüber hinaus müssen nicht selten Richtlinien zum Denkmalschutz beachtet werden.

#### *Soziale Herausforderungen*

Wie bereits erwähnt, die Smart City ist ein System aus Systemen. Jedes Subsystem hat eine eigene Geschichte, Regeln und Prozesse, die sich über Jahrzehnte entwickelt haben. Diese Systeme müssen umstrukturiert werden, um neue integrierte Lösungen mit neuartigen oder kombinierten Systemen zu entwickeln. Deshalb ist der Transformationsprozess auch für Institutionen wie Gewerkschaften, Kommunenstrukturen u. a. von großer Bedeutung.

Ein weiterer Unterschied auf internationaler Ebene ist der Umgang mit und die Integration von Senioren in die Kommunen. Nord- und Südamerika setzen hier auf geschlossene Wohnanlagen für Senioren, in Europa und Asien fällt die Wahl für gewöhnlich auf Lösungen mit mehreren Generationen unter einem Dach.

Bei dem Umbau bestehender Städte ist die Motivation und Aktivierung der Bürger aus sozialer Sicht die wichtigste Aufgabe. Die Bürger müssen eine aktive Rolle im Transformationsprozess einnehmen, um das Endergebnis als optimale Antwort auf Ihre Präferenzen und Bedürfnisse zu gestalten.

#### *Verwaltungstechnische Herausforderungen*

Überall auf der Welt ist eine der größten Schwierigkeiten der Städte ihre

finanzielle Situation. Die Anzahl der Städte, die alle notwendigen Maßnahmen bezahlen können, die für die Erhaltung der Stadt in dem entsprechenden Zustand notwendig wären, ist begrenzt.

Unter der Annahme, dass der Zuwachs an Stadteinwohnern weltweit täglich um 150.000 zunimmt, ist zu erwarten, dass die finanzielle Situation vieler Städte sich weiter verschlechtern wird.

#### *Chancen*

Unabhängig von dem eingeschlagenen Weg zur Entwicklung zur Smart City, ist das Ziel immer das gleiche – Städte wollen grüner, nachhaltiger und effizienter werden. Entsprechend dem Urbanisierungstrend der letzten Jahrzehnte, ist dieser Bereich eines der am schnellsten wachsenden Geschäftsfelder.

Es ist nicht die „Sanierung und Wiederverwertung oder Neuaufbau“-Denkweise die verfolgt werden muss, sondern die homogene Nutzung der bestehenden Strukturen. Hierfür eignen sich durch IKT verbesserte Technologien am besten, auf der grünen sowie auf der braunen Wiese. Weltweite Standards für Smart Cities werden einheitliche Konzepte für Entwurf, Entwicklung und Betrieb von Systemen erlauben. Große Produktionsmengen und zahlreiche Umsetzungsfelder werden den Wettbewerb anspornen und Vorteile für Hersteller und Dienstleister, aber auch für Endabnehmer schaffen. Vor der Entwicklung neuer Standards sollten jedoch bereits vorhandene auf ihre Eignung überprüft werden.

## 2 Vorhandene Studien, Pilotprojekte und Standardisierung

### 2.1 Studien

#### 2.1.1 Versorgungsinfrastrukturen

##### *Energie*

##### Smart Grid vs. Smart City: eine Erläuterung der Konzepte

Damit die Einordnung des Themas Smart Grid in den Kontext der Smart City gelingen kann ist es zuvor notwendig, eine Abgrenzung der Begrifflichkeiten vorzunehmen. Durch den Aufbau eines Smart Grids entsteht ein intelligentes und automatisiertes Netz, dessen Aufgabe die Koordination der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und des Verbrauches ist, bei gleichzeitiger Vermeidung eines kostenintensiven Ausbaus der Verteilungsnetze. Es stellt also im Wesentlichen ein konventionelles Stromnetz dar, das um umfassenden bidirektionalen und zeitnahen Informationsaustausch und Steuerungsmöglichkeiten mit Hilfe von IKT erweitert wird. Eine Smart City dagegen zeichnet sich durch weiterentwickelte, intelligente Anwendungsmöglichkeiten und Vernetzung durch Einsatz von IKT, insbesondere in den Bereichen Verwaltung, Mobilität, Gebäude, Dienstleistungen sowie Energie und Umwelt aus. Smart Grids liefern damit nur einen kleinen, wenn auch wesentlichen Beitrag zur Intelligenz der Bereiche Energie und Umwelt [86][87].

##### Überblick über Smart Grid-Studien und ihre Ergebnisse

Das Thema Smart Grid wurde in den vergangenen Jahren von zahlreichen Institutionen in verschiedenen Studien betrachtet, wobei die Zielsetzungen und Schwerpunkte dieser Studien zum Teil sehr stark voneinander abweichen. Besonders aktiv auf diesem Gebiet waren neben weiteren Verbänden der VDE bzw. dessen Fachgesellschaften ETG und ITG, der BDEW oder die BITKOM. Schwerpunkte der Smart Grid-Studien waren zum größten Teil Energienetze bzw. im Speziellen die Verteilungsnetze [91], Smart Meter und ihre Anwendungsgebiete und Potenziale sowie die Möglichkeiten der Lastverschiebung durch Demand Side Integration. Alle Arbeiten zu diesen Themen haben mehr oder weniger mit dem Aufbau und den Herausforderungen von Smart Grids zu tun. Im Folgenden soll ein Überblick über die Erkenntnisse dieser Studien sowie eine Zusammenfassung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede gegeben werden. Einen Überblick über die betrachteten Studien gibt die folgende Tabelle.

Nr.	Bezeichnung	Herausgeber	Jahr
01	Dezentrale Energieversorgung 2020	Energetechnische Gesellschaft im VDE (ETG)	2007
02	Smart Distribution 2020	Energetechnische Gesellschaft im VDE (ETG)	2008
03	Smart Energy 2020	Energetechnische Gesellschaft im VDE (ETG)	2010
04	Smart Cities – Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft - Aufgaben und Chancen	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften	2011
05	Diskussionspapier: Smart Grids – auf dem Weg zu einem zukunftsfähigen Markt- und Regulierungsdesign	Bundesverband der Energie Wasserwirtschaft e.V.	2011
06	Gesamtwirtschaftliche Potenziale intelligenter Netze in Deutschland	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI	2012
07	Energieinformationsnetze und -systeme	Informationstechnische Gesellschaft im VDE (ITG)	2012
08	Demand Side Integration	Energetechnische Gesellschaft im VDE (ETG)	2012
09	Smart Grids: Das Zusammenwirken von Netz und Markt	Bundesverband der Energie Wasserwirtschaft e.V.	2012
10	Energiehorizonte 2020	VDE	2012
11	Trendreport 2012 (Schwerpunkt: Smart Grid)	VDE	2012
12	Diskussionspapier: Smart Grids - Das Zusammenwirken von Netz und Markt	Bundesverband der Energie Wasserwirtschaft e.V.	2012
13	Aktive Energienetze im Kontext der Energiewende	Energetechnische Gesellschaft im VDE (ETG)	2013
15	Smart Grids on the Distribution Level – Hype or Vision?	CIREN	2013

**Tabelle 1: Überblick über betrachtete Studien zum Thema Smart Grid**

Gemeinsamkeit aller Studien zum Thema Smart Grid ist die Auffassung, dass ein sinnvolles und umsetzbares Konzept für die Realisierung solcher Netze in Deutschland nicht vorhanden ist. Dieser Masterplan sollte alle Bereiche der Energieversorgung umfassen und sinnvoll verknüpfen. Nach Meinung der Verfasser wird neben der Betrachtung der technischen Einzelaspekte der zukünftigen Energieversorgung eine erfolgreiche Umsetzung einer intelligenten Energieversorgung nur dann möglich, wenn die Verteilungsnetze und andere mit ihnen in Wechselbeziehung stehende Systeme automatisiert werden. Es müsste eine systemische Sicht auf die in Verbindung zueinander stehenden Steuerungssysteme gefunden werden, um die Versorgungszuverlässigkeit in der Energieversorgung trotz der neuen Anforderungen zu gewährleisten [92][93]. Bei konsequenter Umsetzung eines entsprechenden Masterplans wird eine sichere und wirtschaftliche Einführung von Smart Grids in Deutschland als umsetzbar angesehen. Dabei gilt für das Smart Grid analog zur Smart City, dass vor allem die Informations- und Kommunikationstechnologien von entscheidender Bedeutung für einen erfolgreiche Aufbau von intelligenten Netzen sind. Vor allem der Kommunikations-, Informations- und Abstimmungsbedarf zwischen den Übertragungsnetzbetreibern und den Verteilungsnetzbetreibern (VNB) kristallisiert sich als ein weiterer wichtiger Schritt in Richtung intelligenter Netze heraus [94].

Unterschiede ergeben sich vor allem in der Fokussierung auf die unterschiedlichen Teilaspekte von Smart Grids bzw. den notwendigen Vorausset-



zungen zu deren Umsetzung. So wird z.B. der Ausbau von ausreichend Speicherkapazitäten oder ein intelligentes Lastmanagement als notwendig erachtet, um eine Leistungsbegrenzung von EEG- und KWK-Anlagen verhindern zu können. Eine stark befürwortete Methode um dies zu erreichen sind virtuelle Kraftwerke, für die es allerdings nach Meinung der Autoren bisher nicht genügend wirtschaftliche Anreize gibt [95].

Ein weiterer Ansatz ist das Thema Smart Metering. In einer Studie zum Thema Smart Energy befasst sich die ETG mit dieser Komponente, die sie als einen Grundbaustein für ein Smart Grid ansieht und deshalb folglich der Meinung ist, dass ohne eine flächendeckende Einführung von Smart Metern kein intelligentes Netz in Deutschland zu verwirklichen ist [96]. Und auch dem Thema Demand Side Integration, also der zeitlichen Verschiebung von Lasten um auf ein schwankendes Leistungsangebot aus erneuerbaren Energien zu reagieren, wird eine große Bedeutung beigemessen [97].

Eine weniger technische Betrachtung von Smart Grids führt der BDEW in seiner Studie zum Zusammenwirken von Netz und Markt durch. Als wichtig hervorzuheben empfindet der BDEW die so genannte „gelbe Phase“, die künftig häufiger zu erwarten ist. In dieser Phase übermitteln die Netzbetreiber den übrigen Marktakteuren Knappheitssignale zur Information über den aktuellen Zustand. Dies wäre eine Möglichkeit in Zukunft auf der Grundlage eines Smart Grids einen sogenannten Smart Market zu ermöglichen [98]. Aber auch die ITG versucht mit ihrem auf EU-Ebene entwickelten Smart Grid Architecture Model (SGAM) einen gemeinsamen Rahmen zur Orientierung aufzubauen und auf verschiedenen Ebenen der Architektur auch die Geschäftsebene mit Fokus auf die VNB zu betrachten [92].

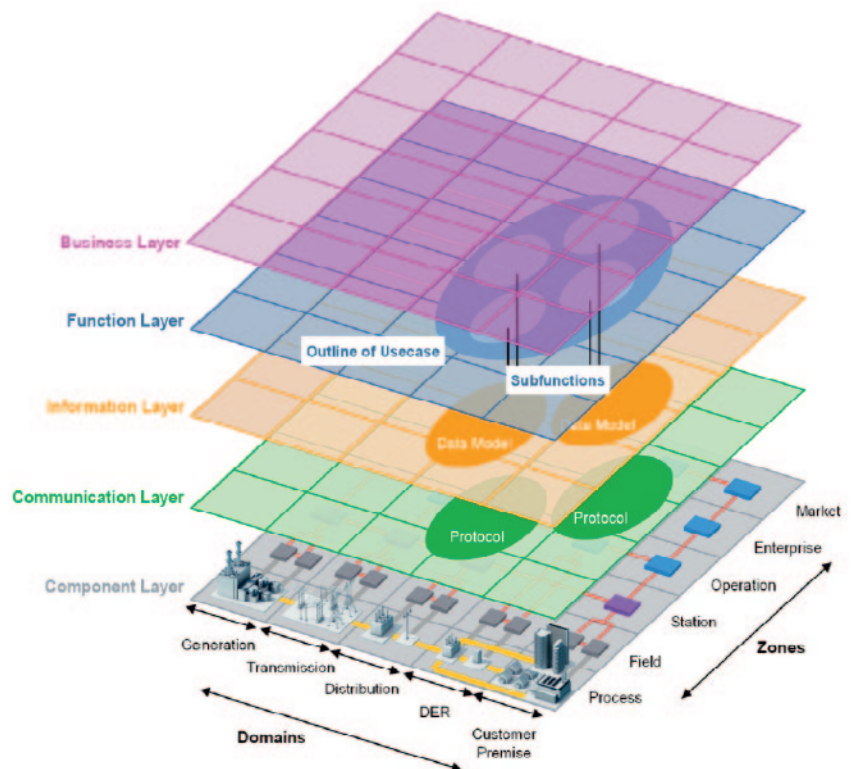


Abbildung 10: Das Smart Grid Architecture Model (SGAM) als Orientierungsrahmen [92]

Das Smart Grid stellt laut [99] das Bindeglied zwischen Verbrauch und Erzeugung von Energie dar. Intelligente Anwendungen, wie Smart Building/Smart Home aber auch das Konzept der Smart Cities basieren auf dieser Schlüsseltechnologie. Dabei ist die Energieversorgung aber nicht der einzige Bereich, in dem in Zukunft intelligente Netze eine Rolle spielen und der damit für die Smart City von Bedeutung ist. BITKOM und Fraunhofer ISI betrachten in einer Studie verschiedene Arten von intelligenten Netzen. Demnach werden die klassischen Breitbandnetze (Festnetz oder Mobilfunknetze) in Zukunft für intelligente Netze genutzt und dahingehend weiterentwickelt, dass sie neue bereichsspezifische aber auch bereichsübergreifende Handlungsmöglichkeiten in den Feldern Energie, Verkehr, Gesundheit, Bildung und Verwaltung bieten können [87]. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in allen Studien die Meinung vertreten wird, dass derzeit die notwendigen Rahmenbedingungen für einen flächendeckenden Einsatz von Smart Grids nicht gegeben sind. Der angesprochene Masterplan muss alle Bereiche der künftigen Energieversorgung berücksichtigen und diese sinnvoll verknüpfen, um so Synergien nutzen zu können. Um die Voraussetzungen zu schaffen, werden unterschiedliche Handlungsempfehlungen und Maßnahmen beschrieben. Übergreifend sind dabei vor allem folgende Punkte von Bedeutung [100]:

- Forschung und Entwicklung an beteiligten Smart Grid-Komponenten
- Auseinandersetzung mit dem zukünftigen Markt- und Regulierungsdesign, der Verknüpfung von Smart Grid und Smart Market
- Zeitnahe und konsequente nationale und internationale Standardisierungen, wie z.B. bei den Datenprotokollen
- Schaffung der gesetzlichen Rahmenbedingungen (z.B. bzgl. förderpolitischen Regelungen und Netzentgelten)
- Entwicklung von wirtschaftlichen Anreizsystemen (insbesondere im Hinblick auf die Investitionssicherheit bei Netzbetreibern)
- Einbindung aller Akteure in den Transformationsprozess

#### Einordnung der Smart Grid-Studien in das Thema Smart City

Es lässt sich feststellen, dass so gut wie alle Studien zum Thema intelligente Netze lediglich den Blick auf die Komponenten und Herausforderungen beim Aufbau eines solchen Netzes richten, ohne deren Einbindung in ein übergeordnetes System bzw. in eine Smart City zu betrachten. Als eine der wenigen Ausnahmen betrachtet [87] die Verbindung des Smart Grid-Konzepts zum Konzept der Smart City. Beide Konzepte haben laut der Studie das Ziel der Energieeffizienzsteigerung und der IT-Vernetzung, um mit Hilfe von automatisierten Prozessen und intelligenten Anwendungen Ressourcen einzusparen und die Lebensqualität zu steigern. Der Unterschied läge lediglich in der Dimension des Anwendungsbereichs. Das Smart Grid, im Sinne eines intelligenten Energienetzes, stelle im Kontext einer intelligenten Stadt nur einen Teil der intelligent verknüpften Systeme und Anwendungsmöglichkeiten in einer Smart City dar. Im Hinblick auf die Einbindung von Smart Grids in Smart Cities machen die in dieser Arbeit betrachteten Studien im Wesentlichen aber keine direkten Aussagen.

### Wärme und Kälte

Die gemeinsame Betrachtung von Strom, Wärme und Kälte ist ein wichtiger Bestandteil auf dem Weg zu Smart Cities. Die Einbindung von elektrisch thermisch gekoppelten Systemen (Wärmepumpe, Kraft-Wärme-Kopplung, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Direktstromheizung) als flexible Stromlasten in das Energieversorgungssystem wird unter dem Begriff Power-to-Heat zusammengefasst. Diesem Energiewandlungsschritt wird durchgängig ein hohes Potenzial zur Schaffung der notwendigen Flexibilität zum Ausgleich der Erzeugungsschwankungen bei regenerativer Energieerzeugung beigemessen. Insgesamt ist in deutschen Wärmenetzen eine Wärmeleistung von ca. 65 GW installiert, die prinzipiell zeitweise durch Elektrokessel ersetzt werden könnte. [88] Neben dem netzgebundenen Einsatz untersuchen viele Studien das Potenzial einzelner dezentraler Systeme in einem optimierten Betrieb nach externen Signalen zu arbeiten. Mehrere Untersuchungen weisen bereits nach, dass Wärmepumpensysteme und KWK-Anlagen zum Ausgleich der Residuallast eingesetzt werden können. Für einen optimalen Betrieb ist eine abgestimmte Mischung aus Installationen von Wärmepumpen und KWK-Anlagen notwendig.

In die optimierte Lastverschiebung für Strom, Wärme und Kälte im städtischen Kontext gehört auch die Einbindung von gewerblichen und industriellen Anlagen. In Städten zählen Rechenzentren zu den energieintensivsten Verbrauchern. Über intelligente Strom- und Mikronetze wird auch hier versucht Strategien zur erhöhten Einbindung erneuerbarer Energien in die Energieversorgung zu entwickeln und die Abwärme zu nutzen.

Name des Projekts	Forschungsaktivitäten	Auftraggeber	Zeitraum
NEVORA	Netzlastoptimierung durch vorausschauende Steuerung von BHKW und Wärmepumpen.	BMBF	2012 – 2016
smartUSR	Das Verbundvorhaben smartUSR zielt darauf ab, Netzteilnehmer überregional unter Zuhilfenahme kostengünstiger und wirtschaftlicher Technologien miteinander zu verbinden.	BMUB	2011 – 2014
envisage	Umrüstung der Gemeinde Wüstenrot zu einer energieunabhängigen Gemeinde bis 2020	u. a. BMWi	laufend
Smart Power Hamburg	intelligente Verbindung von Energieerzeugern, -verbrauchern und Speichern.	BMWi	Bis 31.12.2014
Welheimer Mark	Energetische Optimierung eines Mischgebiets aus Wohnen, Industrie und Gewerbe	BMWi	2013 – 2015
Celsius	Fernwärme- und -kältenetze und smarte Infrastruktur	EU	2013 – 2016
Resilient	Kopplung von Erneuerbaren, Speichern und ICT auf Quartiersebene	EU	2012 – 2016
Eco-heat4eu	Förderung nachhaltiger Fernwärme- und -kältekonzepte	EU	2010 – 2012

**Tabelle 2: Ausgewählte nationale und internationale Forschungsprojekte zu Wärme und Kälte im Kontext Smart Grid**

## 2.1.2 Smart Mobility: Studien, Pilotprojekte und Standardisierung

Durch die Europäische Kommission, aber auch zahlreiche nationale Aktivitäten und Auftraggeber, werden vielfältige Forschungsinitiativen und –projekte zum Einsatz von I&K-Systemen zur Sicherstellung der personenbezogenen Mobilität im Individual- und öffentlichen Verkehr gefördert (siehe Tabelle 3). Die Projekte zielen dabei jeweils auf einzelne technologische und ökonomische Fragestellungen sowie Standardisierungserfordernisse ab.

Name des Projekts	Forschungsaktivitäten	Auftraggeber	Projektträger/-partner	Zeitraum	Einsatzgebiet	Art der Forschung
Metadatenplattform für Verkehrsdaten	Der Mobilitäts Daten Markt- platz (MDM) stellt bundesweit Daten des Straßenverkehrs auf einer Metadatenplattform bereit. Damit schafft er mehr Transparenz für die Marktakteure und fördert die Kooperation.	BMVBI	Bundesanstalt für Straßenwesen	2007 – 2013	Deutschland	Praxisprojekt; arbeitet seit 2013 im langfristigen Betrieb
Sim-TD	Erforschung und Erprobung der Car-to-X-Kommunikation und ihrer Anwendungen für eine sichere und intelligente Mobilität.	BMW, BMBF, BMVI	Daimler AG	2008 – 2013	Deutschland	Pilotprojekt
Traffic IQ	Automatisierte Qualitätsbewertung von Verkehrsdaten zur Abgabe an Dienstleister; steht eng im Zusammenhang mit den Aktivitäten des Projektes „Metadatenplattform“.	BMW	momatec GmbH	09.2009 – 02.2013	Deutschland	Pilotprojekt
Harz.EE-mobility – Mobil durch Wind und Sonne: Elektromobile als rollende Speicher	Erprobung der technischen und wirtschaftlichen Einbindung von Elektrofahrzeugen in ein Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)	BMW	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; DB Rent GmbH; E.ON Avacon AG; Fraunhofer FhG und weitere Projektpartner	2009 – 2011	Sachsen-Anhalt	Praxisprojekt
IP-KOM-ÖV	Standardisierungs- und Forschungsprojekt zur Entwicklung IP-basierter Kommunikationsdienste für mobile Endgeräte von Fahrgästen des ÖV mittels definierter Schnittstellen und Architekturen	VDV, BMW	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen	09.2010 – 2014	Deutschland	Pilotprojekt
UR:BAN Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement	Entwicklung von Fahrerassistenz- und Verkehrsmanagementsystemen für städtische Regionen unter besonderer Beachtung des Menschen in seinen vielfältigen Rollen im Verkehrssystem als Fahrer, Radfahrer, Fußgänger oder Verkehrsplaner. Projekt umfasst drei Themenbereiche: Kognitive Assistenz; Vernetztes Verkehrssystem; Mensch im Verkehr	BMW	31 Partner aus Automobil- und Zulieferindustrie, Elektronik-, Kommunikations- und Softwarefirmen, Universitäten sowie Forschungsinstitute und Städte	2012 – 2016	Deutschland	Forschungsprojekt

Von Tür zu Tür – eine Mobilitätsinitiative für den öffentlichen Personenverkehr der Zukunft	Entwicklung einer individuellen, den aktuellen Verkehrsbedingungen angepassten Tür zu Tür Navigation für den Fahrgast des ÖPNV.	BMWi	TÜV Rheinland Consulting GmbH; RMV, MVV, rms, ifak, Ha-Con Ingenieurgesellschaft, BLIC GmbH, Mentz Datenverarbeitung GmbH, TU Dresden, IVU Traffic Technologies AG und weitere Partner	2012 – 2016	Deutschland	Verbundinitiative; Förderung verschiedener Projekte
CONVERGE – COmmunication Network Vehicle Road Global Extension	Ziel ist es, Ansätze von Fahrzeugkommunikationslösungen (C2X), die in weiteren vorangegangenen Forschungsprojekten (z. B. SimTD) erarbeitet wurden, zu einem sinnvollen Gesamtsystem zusammenzuführen.	BMWi, BMBF	BMW Forschung und Technik GmbH; Adam Opel AG; Volkswagen AG; Robert Bosch GmbH; PTV Planung Transport Verkehr AG; Ericsson GmbH; Vodafone GmbH; Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement; Straßenverkehrsamt Stadt Frankfurt am Main und weitere Kooperationspartner	08.2012 – 07.2015	Deutschland	umfasst einen Grundlagen- und anwendungsorientierten Teil
NADINE Navigation im öffentlichen Personenverkehr mit modularer Dienste-Architektur zur Einbindung in externe Applikationen	Entwicklung räumlich und inhaltlich übertragbarer und fahrpreissensitiver Tür-zu-Tür-Navigation im ÖPV. Integration von Daten verschiedener Quellen auf Basis der Konzeption und Umsetzung einer modular aufgebauten Dienste-Architektur, gleichzeitig Integration von Navigation & mobilen Fahrschein-erwerb mit Verknüpfung zum System HandyTicket Deutschland	BMWi	VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft; Erfurter Verkehrs-betriebe Aktiengesellschaft; Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme, für integrierte Schaltungen; HanseCom Gesellschaft für Software- und Kommunikationsdienstleistungen mbH; Universität Regensburg	11.2012 – 10.2015	Deutschland	Praxisprojekt
The European Green Cars Initiative (EGCI)	Förderung, Forschung & Entwicklung im Bereich sicherer, effizienter, umweltfreundlicher Mobilität, insbesondere Elektromobilität und dazu benötigter Technologien & Infrastrukturen. Themen sind u.a. Effizienzsteigerungen, Sicherheit und elektrische Architektur von Elektrofahrzeugen	Europäische Kommission	Partner aus Österreich, Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Italien, Norwegen, Polen, Spanien, Schweden, Niederlande	02.2012 – 01.2017	Europa	Förderung verschiedener Projekte
Mobility Broker	Zusammenführung aller Mobilitätsangebote einer Region über standardisierte Schnittstellen; Auswahl durch verkehrsübergreifende Angebote zwischen Leihfahrrad, Elektrofahrzeug, Mitfahrgelegenheit, Taxi, Bus, Bahn; Zugang über mobile Anwendung	BMWi	Aachener Straßenbahn und Energieversorgungs-AG; regio iT Gesellschaft für Informationstechnologie mbH; IVU Traffic Technologies AG; Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen; Stadtwerke Osnabrück AG	ab 10.2013	Region Aachen	Praxisprojekt

SmartCityLogistik Erfurt	Entwicklung einer IKT-Systemlösung für den Einsatz von Elektrofahrzeugen in der Logistikkette. Erfassung & Verknüpfung von folgenden Daten in Echtzeit: Transportreichweite, elektrisches Lademangement, Fahrzeugzustand, lokales Verkehrsaufkommen, Klima, Fracht, Fahr- und Lenkverhalten	BMWi	DAKO Systemtechnik und Service GmbH & Co. KG; BTF GmbH & Co. KG; ELOG Systembetrieb GmbH; EPSa Elektronik & Präzisionsbau Saalfeld GmbH; FH Erfurt; Friedrich-Schiller-Universität Jena; Navimatix GmbH; TVT Tabakwarenvertriebsgesellschaft Thüringen mbH & Co. KG	ab 07.2013	Deutschland	Praxisprojekt
((eSIM 2020 EFM-Systemintegration und -migration für den Zielhorizont 2020	Auf Basis von vorhandenen und standardisierten Schnittstellen in marktüblichen Smartphones ist ein neues Verfahren zur automatischen Raumerfassung und Fahrpreisfindung für Gelegenheitskunden zu entwickeln	BMWi	Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH; Cubic Transportation Systems (Deutschland) GmbH; Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms); Scheidt & Bachmann GmbH; ViP Verkehrsbetrieb Potsdam GmbH	06.2013 – 06.2016	Deutschland	Praxisprojekt
Einführung europäischer Schnittstellen – Standards (CEN-TS) im ÖPNV-Bereich	Erstellung eines Masterplans zur Einführung europäischer Standards und Migration von Bestandssystemen für IT-Systeme (ITCS, FGI) des ÖPNV; Beobachtung und Begleitung weiterer laufender europäischer und internationaler Standardisierungsaktivitäten	BMVI		2015 – 2016	Europa, Deutschland	Pilotprojekt
„Smart Station“ Die Haltestelle als Einstieg in die multimodale Mobilität	Entwicklung von Konzepten zur optimalen Gestaltung und Ausstattung von Haltestellen unter dem Blickwinkel Multimodalität	BMVI		2015 – 2016	Deutschland	Pilotprojekt
Synergie in der Informationstechnik für die Verkehrsträger Straße und Schiene	Vorbereitung von Kooperationen zur Weiterentwicklung & Pflege nationaler Modelle zur Standardisierung von Infrastrukturdaten (OK-STRA® und IDMVU). Herbeiführung nachhaltiger fachlicher/ technischer Kooperation zwischen geeigneten Akteuren (z.B. zwischen VU & Kommune); Demonstration der Vorteile einer gemeinsamen informationstechnischen Nutzung von Infrastrukturdaten	BMVI		2015 – 2017	Deutschland	Forschungsprojekt

Tabelle 3: Ausgewählte Internationale Forschungsprojekte zum Einsatz von I&K-Systemen zur Sicherstellung der individuellen Mobilität.

Innerhalb der Gesamtinitiative Aktiv werden im Projekt Aktiv-AS (Aktive Sicherheit) Entwicklungen vorangetrieben, die einen klaren Schwerpunkt auf sicherheitsrelevante Anwendungen legen. Parallel hierzu konzentriert sich das Projekt Aktiv\_VM (Verkehrsmanagement) auf Technologien, die einen Beitrag zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Straßennetzes liefern. Im Projekt Cooperative Cars (CoCar) wird die Eignung zellulärer Mobilfunktechnologien für kooperative Fahrzeuganwendungen (C2C und C2I) untersucht.

Das Pilotprojekt Traffic IQ realisiert ein Konzept für die durchgehende Dokumentation und Klassifizierung der Datenqualität auf der Basis von Informationsprodukten. Dieses Projekt stellt einen neuartigen Ansatz für die Qualitätsbewertung verkehrsbezogener Daten sowie die Aufbereitung und Verteilung von Qualitätskennzahlen dar. Damit steht Traffic IQ eng im Zusammenhang mit den Aktivitäten des BMVBI und des BMWi im Rahmen der Metadatenplattform für Verkehrsinformationen, einer offenen Schnittstellen- und Dienste-Architektur zur Vernetzung beliebiger öffentlicher Betreiber und Zentralen mit privaten Datennutzern.

Mit der Forschungsinitiative „Von Tür zu Tür- eine Mobilitätsinitiative für den Öffentlichen Personenverkehr der Zukunft“ möchte das BMWi zu einer nachhaltigen und bezahlbaren Mobilität im ÖPV beitragen. Dies gilt insbesondere für bestimmte Personengruppen wie ältere Menschen und in ihrer Mobilität eingeschränkte Personen. Ziel ist es, eine größere Unabhängigkeit vom eigenen Auto zu erreichen, ohne dass die individuelle Mobilität des Einzelnen eingeschränkt wird. Die genannte nationale Zielsetzung korrespondiert stark mit der Forderung der Europäischen Union nach der Einführung von intelligenten Verkehrssystemen (IVS) und dem hierzu entwickelten IVS-Aktionsplan (Richtlinie 2010/40/EU).

Die Initiative versteht sich als förderpolitische Ergänzung und Fortführung der Förderaktivitäten der letzten Jahre wie z. B. „Integrierte Mobilitätsinformationsdienstleistungen“, in denen die Entwicklung telematikgestützter Informationsdienstleistungen sowohl für die personengebundene Mobilität als auch den effizienten Transport von Gütern im Vordergrund standen. Im Mittelpunkt der Fördermaßnahmen der Tür zu Tür-Projekte steht die Navigation des Fahrgastes entlang seiner individuellen Reiseroute im ÖPV. Personalisierte Navigationsdienste mit aktuellen Informationen zum ÖPV und Fußgängerverkehr unterstützen eine flexible und den aktuellen Verkehrsbedingungen angepasste Orientierung bei der persönlichen Mobilität. Bei Fahrplanabweichungen sollen dem ÖPV-Kunden zuverlässige Alternativen angeboten werden, die ihn schnell und sicher zu seinem gewünschten Ziel führen.

Gefördert werden insbesondere anwendungsorientierte FuE-Verbundprojekte mit Schwerpunkt der Kundenorientierung, wie z.B.:

- Integration dynamischer Fahrgastinformationen in Navigationssysteme
- Berücksichtigung von Informationen für Fußgänger-Routing mit georeferenzierten Daten

- Einbeziehung spezieller Anforderungen von in ihrer Mobilität eingeschränkten Personen
- Integration des elektronischen Fahrgeldmanagements unter Berücksichtigung des Standards der „VDV-Kernapplikation“
- Integration von Notrufdiensten in bestehende Informationsdienste.

### 2.1.3 Gebäude

Im Gebäudesektor geben Energiestandards an, welche energetische Qualität ein Gebäude besitzt. Dieser Standard wird von der Qualität der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik beeinflusst und häufig durch eine Begrenzung des Energiebedarfs angegeben.

Die in Abbildung 11 aufgeführten Meilensteine für den Wohngebäudebereich, wie beispielsweise das Niedrigenergiehaus oder das Null-Energiehaus, zeigen die technischen Potenziale im Neubaubereich. Im Bild wird allerdings auch deutlich, dass die im Rahmen von Demonstrationsvorhaben entwickelten Gebäudekonzepte nur mit erheblicher zeitlicher Verzögerung in die Baupraxis einfließen. So wird das Niedrigenergiehaus der 80er Jahre heute als Standard für den Neubau angesetzt.

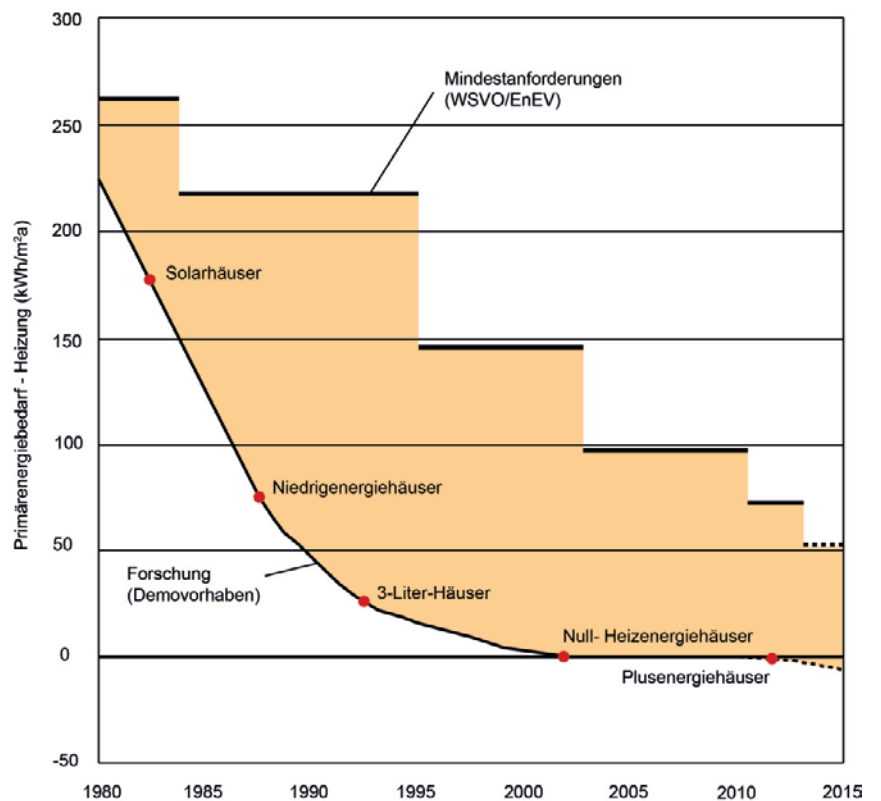


Abbildung 11: Entwicklung des Primärenergiebedarfs seitens der gesetzlichen Anforderungen und in der Forschung

Die EU Gebäuderichtlinie schreibt vor, dass ab 2021 alle Neubauten als „nearly zero-energy buildings“ realisiert werden müssen. Bisher variieren die Definitionen und Ansätze zum Begriff „nearly zero-energy building“ in den einzelnen Mitgliedsstaaten noch.



In Deutschland sinkt jedoch seit Jahren die Neubauquote. Derzeit liegt sie bei ca. 0,5%. [89] Daher haben alle technischen Maßnahmen, die nur für neue Gebäude relevant sind, eine sehr geringe Auswirkung auf den Primärenergiebedarf des gesamten Gebäudebestands. Wesentliche Einsparungen können nur über Sanierungsmaßnahmen erreicht werden, wobei auch die Sanierungsquote mit einem Wert von 0,8% in Deutschland niedrig ausfällt.

Umso wichtiger ist es, die Gebäude im Gesamtkontext der Smart City zu betrachten und ganzheitliche Lösungen zu finden, bei denen die Gebäude ein zentrales Handlungsfeld sind. Sie bieten durch ihre Speichermasse und teilweise schon vorhandene Warmwasserspeicher die Möglichkeit der zeitlichen Entkopplung von Stromeinsatz und Wärmenutzung. Zusätzlich werden Gebäude sowohl durch Photovoltaikanlagen und KWK (positive Regelenergie) als auch durch Wärmepumpen (negative Regelenergie) Spieler im flexiblen Strommarkt.

Im Dezember 2010 wurde seitens der Europäischen Kommission mit Herausgabe des Mandats M 480 der „Auftrag an CEN, CENELEC und ETSI zur Erarbeitung und Annahme von Normen für eine Methodik zur Berechnung der integrierten Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sowie zur Förderung der Energieeffizienz von Gebäuden gemäß der Neufassung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ gegeben. Im Rahmen dessen erarbeitet das CEN/TC 371 „Projekt-Komitee - Energetische Bewertung von Gebäuden“ Normen und Spezifikationen in diesem Bereich. In Deutschland werden diese Aktivitäten durch den DIN Normenausschuss NA 005-12-01 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NABau/FNL/NHRS: Energetische Bewertung von Gebäuden“ gespiegelt. Beispielhaft hierfür kann die Erarbeitung der DIN EN 15603 „Energieeffizienz von Gebäuden - Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte“ genannt werden.

Name des Projekts	Forschungsaktivitäten	Auftraggeber	Zeitraum
Netzreaktive Gebäude	Ganzheitliche Bewertung von Bauphysik und Gebäudeenergiesystemen einschließlich ihrer Rolle in der Energiewirtschaft	BMWi	2012 - 2016
PV-Nutzen	Analyse des betriebswirtschaftlichen, volkswirtschaftlichen, technischen und ökologischen Nutzens von Speichern in netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen	BMUB	2012 - 2015
Gebäude-Energie-wende	Dieses Projekt untersucht, wie die Millionen Ein- und Zweifamilienhäuser sowie kleine Mehrfamilienhäuser in Deutschland auf eine nachhaltige und klimafreundliche Wärmeversorgung umgestellt werden können.	BMBF	2013 - 2016
PV-KWK	Intelligentes Energiemanagement und Photovoltaik-Kombisysteme für die Strom-Wärme-Kopplung im Haus	BMBF	2014 - 2017
HiT	Häuser als interaktive Teilnehmer im Smart Grid	EU	2011 - 2014

**Tabelle 4: Ausgewählte nationale und internationale Forschungsprojekte zu Gebäuden im Kontext Smart Grid**

### 2.1.4 BMWi-Studien

Mit dem Förderprogramm „E-Energy – IKT-basiertes Energiesystem der Zukunft“ hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) in ressortübergreifender Partnerschaft mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) neue Wege aufgezeigt, wie der Stromverbrauch gesenkt, Energie effizienter eingesetzt und eine regenerative Energieversorgung umgesetzt werden kann. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Einbeziehung der erneuerbaren Energien in die Energienetze der Zukunft - also auch in Städten - mit Hilfe neu entwickelter IKT-Systeme. Die Ergebnisse der Projekte in den sechs Smart-Energy-Regionen sowie der Begleitforschung sind unter [www.e-energy.de](http://www.e-energy.de) dokumentiert.

## 2.2 Beispiele für Smart City-Konzepte

Weltweit gibt es eine Vielzahl von Pilotprojekten für Smart Cities. Ziel dieses Kapitels ist es, einige typische Projekte vorzustellen und über den Projektfortschritt zu berichten.

Bevor der prinzipielle Aufbau der Steckbriefe beschrieben wird, soll kurz auf wesentliche Unterschiede der verschiedenen Projekte eingegangen werden. Zunächst ist festzustellen, dass jedes Projekt andere Schwerpunkte setzt. Der Grund dafür ist, dass es keine zwei Städte gibt, die sich gleichen. Auch wenn die möglichen Lösungen für die individuellen Probleme der Städte sich prinzipiell nur wenig unterscheiden, kommen sie immer in unterschiedlichen Zusammensetzungen und mit unterschiedlichen Prioritäten zum Einsatz.

Betrachtet man die Projekte, so muss man zwischen zwei Arten unterscheiden. Da gibt es zunächst die Transformationsprojekte, also den Umbau bzw. die Erweiterung bestehender Strukturen. Sie werden auch als „Brown Field Projects“ bezeichnet. Diese Art findet man überwiegend in industrialisierten Ländern mit Städten, die zum Teil eine jahrhundertlange Tradition aufweisen. Neben dem Erhalt bzw. der Ertüchtigung der existierenden Bausubstanz u.a. unter Gesichtspunkten des Denkmalschutzes ist die Information und die aktive Einbeziehung der Bürger ein Schlüssel für eine erfolgreiche Umsetzung. Projekte dieser Art können eine Laufzeit von mehreren Jahren oder sogar Jahrzehnten haben.

Neugründungen, auch bekannt als „Green Field Projects“, findet man überwiegend in Schwellen- und Entwicklungsländern. Hier gilt es die Stadt gezielt nach einem Plan in wenigen Jahren zu entwickeln und damit dem ungeplanten oder auch chaotischen Vorgehen entgegen zu wirken. Fehlende finanzielle Mittel sowie die Geschwindigkeit des Bevölkerungszuwachses stellen dabei die größten Herausforderungen dar.

Eine Mischform von Projekten findet man zunehmend in industrialisierten Ländern. Dabei wird in einer existierenden städtischen Umgebung ein Stadtteil unter dem Einsatz von neuen Planungsprämissen geplant und

gebaut. Gewonnene Erkenntnisse sollen anschließend zumindest teilweise in bestehende Strukturen einfließen.

Betrachtet man die Grundarchitekturen der verschiedenen Projekte bezüglich Automatisierungs- sowie Informations- und Kommunikationstechnik, soweit sie im Detail offengelegt sind, kann man ansatzweise die in Kapitel 1.2 beschriebene Systemarchitektur mit den zwei Integrationsschichten prinzipiell wiederfinden. Nicht verwunderlich ist dabei, dass sich Neubau- bzw. sogenannte Green-Field-Projekte aufgrund einer fehlenden Vorgeschichte mit gewachsenen Infrastrukturen und Organisationen leichter tun bei der Umsetzung. Darüber hinaus ist festzustellen, dass die in Kapitel 1.2 dargestellte Systemarchitektur einer allumfassenden Lösung bisher in keinem einzigen Projekt auch nur ansatzweise beschrieben oder umgesetzt wurde.

Die Beschreibung der Pilotprojekte erfolgt in Form von Steckbriefen, die einzeln erstellt werden und im Anhang beigefügt sind. Dieser Ansatz erlaubt eine Aktualisierung bzw. Ergänzungen der Beschreibungen ohne das Gesamtdokument ändern zu müssen.

Unabhängig von der Informationsquelle und/oder dem verfügbaren Umfang von Daten, kommt für die Steckbriefe folgender Aufbau zum Einsatz:

- Ziel des Projekts
- Typ des Projekts
- Aktueller Status

Die Steckbriefe sind im Anhang beigefügt. Für die Abschnitte Ziel und Status der Projekte wurden soweit verfügbar, die im Internet veröffentlichten Originaltexte verwendet und diese nicht in die deutsche Sprache übersetzt.

## 2.3 Standardisierung

Normen und Spezifikationen sind freiwillige Instrumente, deren Implementierung in der Praxis deutliche operative Vorzüge mit sich bringen. In diesem Kontext ermöglicht und erleichtert die Standardisierung das zentrale Element der Smart City: die Vernetzung. Sie stellt sicher, dass, obwohl die einzelnen Produkte und Lösungen der unterschiedlichen Teilbereiche meist unabhängig voneinander entwickelt und hergestellt werden, Kompatibilität und Interoperabilität gewährleistet werden kann und Synergien effizient genutzt werden können. Die interessierten Kreise (Unternehmen, Handel, Hochschulen, Verbraucher, Handwerk, Prüfinstitute, Behörden, usw.) die an der Entwicklung von Normen und Spezifikationen beteiligt sind, organisieren sich in Deutschland bei DIN und DKE. Diese entsenden ihre Experten in die europäischen (CEN, CENELEC und ETSI) und internationalen (ISO, IEC und ITU) Normungsorganisationen.

Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick über die nationalen, europäischen und internationalen Normungsaktivitäten zum Thema Smart City gegeben.

### 2.3.1 DKE-Roadmap Smart Cities

Auf nationaler Ebene haben sich DIN und DKE als deutsche Normungsorganisationen darauf verständigt, den übergreifenden Herausforderungen der Smart Cities mit einem gemeinsamen Vorgehen zu begegnen. Dazu gehört die zielgerichtete Bearbeitung von Schwerpunktthemen in entsprechenden Arbeitsstrukturen mit einem Lenkungskreis sowie mehreren Gemeinschaftsarbeitsteams.

Alle Aktivitäten im Bereich Smart Cities werden strategisch vom übergeordneten Lenkungskreis gesteuert. Der Arbeitskreis Normungs-Roadmap, in dem die gesamte Erarbeitung und später geplante Überarbeitung der deutschen Normungs-Roadmap Smart City durchgeführt und koordiniert wird, bildet das zentrale Element der Arbeitskreise. Die um ihn angeordneten Arbeitskreise steuern die konkreten themenspezifischen Inhalte für die Normungs-Roadmap bei. Diese Arbeitskreise können zukünftig auch europäische bzw. internationale Arbeitsgruppen spiegeln und die Grundlagen für eine deutsche Delegation erarbeiten oder selbst Normungs- oder Standardisierungsaktivitäten initiieren. Der Lenkungskreis koordiniert die Arbeitskreise, sorgt für die Verbreitung der Normungs-Roadmap, regt bedarfsgerecht deren Aktualisierung an und gibt sie formal frei. Basierend auf den Ergebnissen der Arbeitskreise kann der Lenkungskreis Vorschläge zu neuen Normungs- oder Standardisierungsprojekten erarbeiten. Dabei ist er nationaler Ansprechpartner zu allen übergreifenden europäischen und internationalen Normungs- und Standardisierungsaktivitäten der Smart-Cities-Thematik. Zukünftig wird darüber auch die deutsche Vertretung bei den strategischen Aktivitäten der europäischen und internationalen Normungsorganisationen (CEN/CENELEC und ISO/IEC) organisiert, mit dem Ziel, eine führende Rolle einzunehmen.

Im April 2014 wurde „Die deutsche Normungs-Roadmap Smart City“ veröffentlicht und ist seitdem kostenlos verfügbar ([www.dke.de/roadmap\\_smartcity](http://www.dke.de/roadmap_smartcity)). Sie weist auf die wichtigsten Handlungsbereiche einer Smart City hin. Diese sind in Anlehnung an das Projekt „Morgenstadt“ der Fraunhofer Gesellschaft definiert worden. Die Normungs-Roadmap soll keine konkrete Bearbeitung der Themen innerhalb dieser Handlungsbereiche durchführen, da dies in gesonderten Normungsaktivitäten erfolgt. Im Fokus der ersten Ausgabe steht daher die Interaktion zwischen den Bereichen, deren Abgrenzung hinsichtlich der Handlungsbedarfe und die Darstellung der innerhalb der Bereiche laufenden Normungsaktivitäten. Die vorliegende Normungs-Roadmap Smart City stellt einen ersten Schritt eines weiterführenden Prozesses zur Ableitung von Normungsaktivitäten innerhalb von Smart Cities in Deutschland dar. Häufig sind die Zusammenhänge in komplexen Systemen wie einer Smart City so weitreichend, dass die betroffenen Gremien bei einfacher Analyse keine umfassende Aussage treffen können. Hierzu bedarf es eines konzeptionellen Modells und einer funktionalen Architektur (Smart City Infrastructure Architecture Model – SCIAM), um die Interaktionen der verschiedenen Bereiche untereinander sowie mit der angrenzenden Umwelt zu beschreiben. Grundlage der Normungs-Roadmap Smart City bildeten u.a. folgenden Roadmaps und Studien:

<b>DKE</b> Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE	Die deutschen Normungs-Roadmaps: E-Energy / Smart Grids (2010) Elektromobilität – Version 2 (2012) Smart Home + Building (2013) Industrie 4.0 (2013) IT-Sicherheit (2013) AAL Version 2 (2014) Elektromobilität – Version 3 (2014)
<b>CEN-CENELEC-ETSI</b> Smart Grid Coordination Group	Smart Grid Reference Architecture (2012)
<b>Europäische Kommission</b>	„Weißbuch Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem“ (2011)
<b>Acatech</b> Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.	Positionspapier „Deutsche Hochtechnologie Für die Stadt der Zukunft Aufgaben und Chancen“ (2011)
<b>Münchener Kreis</b> Übernationale Vereinigung für Kommunikationsforschung e.V.	Studie „IDC Smart Cities Benchmark“ (2012)
<b>BITKOM</b> Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.	Studie „Gesamtwirtschaftliche Potenziale intelligenter Netze in Deutschland“ (2012)
<b>BMVI</b> Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	„Weißbuch Innenstadt – Starke Zentren für unsere Städte und Gemeinden“ (2011)
<b>B.A.U.M.</b> Bundesdeutscher Arbeitskreis für Umweltbewusstes Management e.V.	Studie „Intelligent Cities“, <a href="http://www.intelligent-cities.net">www.intelligent-cities.net</a> (2013)

### 2.3.2 IEC

Einer Einladung Japans folgend, haben sich die deutschen Normungsorganisationen DIN und DKE sowie China an der Gründung einer Systems Evaluation Group (SEG) Smart Cities, die der internationalen Elektrotechnikkommission (IEC) untergeordnet ist, jedoch unabhängig agieren kann und nicht Teil eines bereits existierenden technischen Komitees (TC) ist, beteiligt. Ziele dieser SEG sind die Evaluierung der unterschiedlichen technischen Felder im Bereich Smart City und Identifizierung notwendiger Standardisierungsmaßnahmen, die im Rahmen einer internationalen Normungs-Roadmap veröffentlicht werden sollen. Während den bislang 3 Sitzungen wurden unterschiedlichste Themenfelder innerhalb einer Smart City identifiziert, welche nun bis zur Erstellung des Berichts in Arbeitsgruppen auf zukünftige Normungsbedarfe überprüft werden. Parallel dazu erarbeitet eine Task Group (TG) unter anderem die Umsetzung der Use-Case-Methodik mit Hilfe eines Architekturmodells zur vereinfachten Evaluierung von Normungsbedarf anhand von Anwendungsfällen. Eine weitere TG erstellt eine Übersicht über bereits existierende bzw. in der Erarbeitung befindliche Standardisierungsaktivitäten im Bereich Smart Cities. Der Bericht der SEG mit Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise wird voraussichtlich 2015 erscheinen.

Für die deutsche Industrie und Wissenschaft bietet sich hier die Möglichkeit, internationale Standardisierungsaktivitäten zusammen mit Städten, Verbänden und Behörden mitzugestalten.

### 2.3.3 White Paper IEC/MSB Smart Cities

Im Herbst 2013 wurde das Projekt Team des Market Strategy Boards der International Electrotechnical Commission (IEC) gegründet, um ein White Paper zum Themenfeld Smart Cities zu erstellen. Insgesamt haben 18 Teilnehmer aus acht Ländern bei der Erstellung mitgearbeitet. Das Centre for European Policy Studies (CEPS) in Brüssel wirkte als Projektpartner mit. Das Market Strategy Board der IEC besteht aus den Chief Technology Officers (CTOs) führender internationaler Unternehmen.

Das finale Dokument wurde im Mai 2014 unter dem Titel „Orchestrating infrastructure for sustainable Smart Cities“ veröffentlicht [90].

Der Focus bei den Betrachtungen lag auf den Bausteinen einer intelligenten Stadt, die durch den Arbeitsbereich der IEC abgedeckt werden. Dies sind neben der Automatisierungstechnik der verschiedenen Infrastrukturbereiche mit Schwerpunkt Elektrotechnik auch die Datenhaltung in SCADA-Systemen sowie die begleitenden Maßnahmen zur Datensicherheit. Dabei wurde davon ausgegangen, dass weltweite Standards die Entwicklung von intelligenten Städten bei niedrigeren Kosten unterstützen, aber auch eine enge Zusammenarbeit aller Beteiligten notwendig macht.

Das White Paper erklärt in den fünf Hauptkapiteln

- Introduction
- The present framework conditions for cities
- Value creation for citizens through smart cities
- Collaboration, integration, and interoperability enabled by standards
- Conclusions and guiding principles

die Sinnfälligkeit von Smart Cities mit integrierten, kostengünstigen und nachhaltigen Lösungen, sowie die dringende Notwendigkeit der Zusammenarbeit aller beteiligten Akteure einschließlich der betroffenen internationalen Standardisierungsgremien.

### 2.3.4 ISO

Wie die IEC befasst sich auch ISO auf strategischer Ebene mit dem Thema Smart City, hat jedoch in manchen Bereichen bereits konkrete Normungsaktivitäten eingeleitet.

2013 hat das Technische Lenkungsgremium der ISO (ISO/TMB) eine Task Force Smart Cities eingerichtet, welche zwischenzeitlich in eine Strategic Advisory Group (SAG) umgewandelt wurde, die einerseits die laufenden Normungsaktivitäten der ISO zu diesem Thema erfassen und koordinieren soll, andererseits auch als Kontaktpunkt für Initiativen außerhalb der ISO bereit steht (z. B. IEC SEG).

Wesentliche Normungsaktivitäten im Bereich Smart City finden im 2012 gegründeten Technischen Komitee ISO/TC 268 „Sustainable Development in Communities“ unter französischer Leitung und Sekretariatsführung statt. Das ISO/TC 268 arbeitet derzeit vordringlich an folgenden Themen:

- Managementsystemnormen für nachhaltige Entwicklung in Kommunen (ISO/TC 268/WG 1) Federführung: Frankreich)

- Stadtindikatoren (ISO/TC 268/WG 2) (Federführung: Kanada)
- Messmethoden für effiziente und intelligente kommunale Infrastrukturen (ISO/TC 268/SC 1) (Federführung: Japan)

### 2.3.5 Verschiedenes

#### *Joint Technical Committee (JTC) 1*

JTC 1 beschäftigt sich seit Mai 2013 intensiv mit dem Thema Smart City. Initiiert wurden die Arbeiten durch einen Beitrag der chinesischen Delegation in der Special Working Group on Planning (SWG-P). Der Beitrag gibt einen ersten Überblick zum Thema Smart City und zeigt auf, welche aktuellen JTC 1 Themen für Smart Cities relevant werden könnten und welche Normungsarbeiten für Smart Cities noch benötigt werden. Hierbei sind die technologischen sowie marktrelevanten Voraussetzungen und gesellschaftlichen Aspekte ebenfalls zu berücksichtigen. Für ersteres wurden u. a. folgende Themen in JTC 1 identifiziert:

- Sensor networks (JTC 1/WG 7)
- Governance of IT (JTC 1/WG 8)
- Telecommunications and information exchange between systems (JTC 1/SC 6)
- Software and systems engineering (JTC 1/SC 7)
- Cards and personal identification (JTC 1/SC 17)
- Interconnection of information technology equipment (JTC 1/SC 25)
- IT security techniques (JTC 1/SC 27)
- Automatic identification and data captures techniques (JTC 1/SC 31)
- Data management and interchange (JTC 1/SC 32)
- Information technology for learning, education and training (JTC 1/SC 36)
- Biometrics (JTC 1/SC 37)
- Distributed Application platforms and services (JTC 1/SC 38)
- Sustainability for and by information technology (JTC 1/SC 39)

In Bezug auf zukünftige Normungsarbeiten identifiziert der Beitrag diverse Aktivitäten wie z. B. die Entwicklung eines Leitfadens, der aufzeigt, wie die existierenden Normen in Bezug auf Smart Cities angewendet werden können. Dabei soll vor allem das Ziel verfolgt werden, die verschiedenen Daten und Informationsströme der unterschiedlichen Dienste und Infrastrukturen miteinander auf Stadtebene zu verbinden.

Der Beitrag empfiehlt zudem eine Study Group in JTC1 einzurichten, in welcher das Thema weiterhin bearbeitet werden kann. JTC 1 hat diese SWG-P Empfehlung auf der Plenarsitzung Ende 2013 aufgegriffen und einen Beschluss zur Einrichtung einer Study Group unter chinesischer Führung gefasst. Das Ziel dieser Study Group ist, die Schlüsselkonzepte von Smart Cities zu identifizieren und eine Definition zu erarbeiten. Zudem sollen die wichtigsten Normungsanforderungen und der bisherige Stand der Normungsarbeit zum Thema Smart City herausgearbeitet und Empfehlungen gegeben werden, wie JTC 1 den Anforderungen begegnen soll.

	Allgemein	Elektrotechnik	Telekommunikationstechnik
International	<p>ISO/TC 268 Sustainable development in communities</p> <p>ISO/IEC JTC 1 Study Group on Smart Cities</p> <p>ISO/TMB Strategic Advisory Group (SAG) on Smart Cities</p>	<p>ISO/TC 268 Sustainable development in communities</p> <p>IEC/MSB Special Working Group (SWG) Smart Cities</p>	<p>ITU Focus Group on Smart Sustainable Cities</p>
Europa	<p>CEN/CENELEC/ETSI Smart and Sustainable Cities and Communities Coordination Group (SSCC-CG)</p>		
Deutschland	<p>DIN und DKE Ein Lenkungskreis, sechs Gemeinschaftsarbeitskreise</p>		

Abbildung 12: Überblick Standardisierungsaktivitäten/Gremien im Bereich Smart City



### 3 Smart City of the Future

Für das Erreichen einer Smart City of the Future werden in diesem Kapitel drei wesentliche Aspekte thematisiert. Zunächst sind bestimmte Technologien zwingend erforderlich, um eine Stadt zur intelligenten Stadt zu formen. Diese werden hier als Enabling Technologies beschrieben und beinhalten primär die Themen Automatisierung und IKT. Für die Smart City of the Future sind zwei Integrationsstufen erforderlich. Die erste Integrationsstufe beschreibt die multimodale Betriebsoptimierung in den jeweiligen Sektoren, z. B. Gebäude und Versorgungsinfrastrukturen. Optimierungen in einzelnen Bereichen, wie z. B. auf Gebäudeebene, haben hier auch Einfluss auf andere Sektoren, wie z. B. die jeweiligen Versorgungsinfrastrukturen. Die zweite Integrationsstufe bezeichnet eine domänenübergreifende Datenplattform für die intelligente Stadt. Ebenfalls erwähnt werden hier Key Performance Indikatoren zur Validierung des Fortschritts in Richtung einer intelligenten Stadt.

#### 3.1 Enabling Technologies

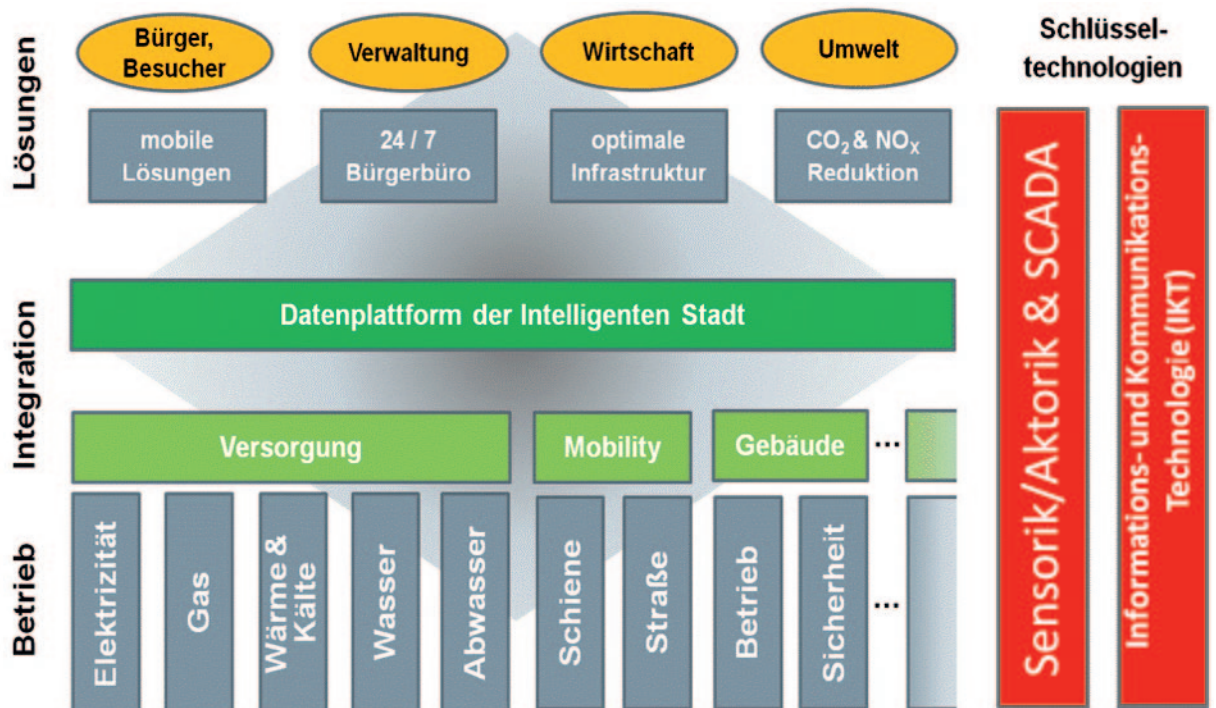


Abbildung 13: Struktur der intelligenten Stadt von morgen – ein koordiniertes System von Systemen

Abbildung 13 zeigt eine grundsätzliche Struktur der intelligenten Stadt von morgen, wie sie bereits in Abschnitt 1.2 definiert und beschrieben wurde. Auf der untersten Ebene findet man die bekannten vertikalen Lösungen u.a. zur Versorgung, Mobilität, Gebäudemanagement, Stadtverwaltung und zum Gesundheitssystem. Die beiden letztgenannten sind im Bild nicht

dargestellt. Die Abbildung verdeutlicht daher eher, dass eine Erweiterung der untersten vertikalen Strukturen auch in andere Bereiche hinein möglich und obligatorisch ist. Gemeinsam ist Allen, dass sie sich über viele Jahrzehnte kontinuierlich entwickelt und einen hohen Reifegrad erreicht haben. Und diese Entwicklung wird auch in Zukunft fortgesetzt werden, um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten.

Zukünftig werden aber neue Anforderungen in einer intelligenten Stadt an diese vertikalen Lösungen gestellt. Diese sollen durch die zwei dargestellten Integrationsschichten bereitgestellt bzw. umgesetzt werden. Die unterste Integrationsschicht dient einer optimalen domänen-übergreifenden Betriebsführung. Beispielhaft seien hier Lösungen von Power to Gas, Power to Heat oder auch der Energieverbrauch der Trinkwasserversorgung als verschiebbare Last für intelligente Stromnetze genannt. Im Bereich der Mobilität können das z.B. multi- bzw. intermodale Transportlösungen sein.

### 3.1.1 Automatisierung

#### *Leitsysteme*

##### Stand der Technik

In der Systemarchitektur einer intelligenten Stadt gemäß Abbildung 13 findet man Leitsysteme bzw. leittechnische Komponenten in allen Ebenen. Besondere Bedeutung haben systemübergreifend dabei die Sensorik und Aktorik, die SCADA-Funktionalität (Supervisory Control & Data Acquisition) sowie die alle Komponenten verbindende Kommunikationsfunktion. Während die erstgenannte Gruppe überwiegend für den Betrieb wichtig ist, findet man SCADA-Systeme in allen Ebenen. Bei der Kommunikationsfunktion ist festzustellen, dass die Frage der Latenz- und Reaktionszeiten in den untersten Ebenen eine zentrale Rolle spielt. Man kann davon ausgehen, dass diese Anforderung in den höheren Ebenen abnimmt. Dort ist die zeitgerechte Verarbeitung von großen Datenmengen die wichtigste Anforderung.

Die im Betrieb eingesetzten Leitsysteme sind über Jahrzehnte domänenspezifisch entwickelt und für ihre jeweilige Aufgabe optimiert worden. Sie sind heute geprägt von einer klassischen Struktur mit verschiedenen Ebenen, oft dargestellt in Form einer Pyramide. Damit wird ausgedrückt, dass über die Ebenen hinweg von unten nach oben eine Verdichtung der Daten durch Verarbeitung stattfindet, die sich an der Struktur des zu kontrollierenden Prozesses ausrichten sollte. Eine andere, alternative Gliederung ergibt sich aus der Sicht mit Teilsystemen. Unabhängig von der Leitebene unterscheidet man zwischen der Automatisierung, dem Bedienen & Beobachten, dem Engineering, der Diagnose und der Kommunikation.

In der untersten Ebene, der Feldeleitebene findet man die Ein-/Ausgabe-Einheiten, die über echtzeitfähige Feldbussysteme an die übergeordnete Leitebene eingebunden sind. Neben konventionellen Geräten mit entsprechender Konditionierung der Signale in Informations- und Befehlsrichtung einschließlich der Zeitstempelung mit Millisekunden-Auflösung, findet man zunehmend auch intelligente Einheiten, die eine Verarbeitung durchführen

sowie zusätzliche Diagnosefunktionen übernehmen. Redundante Anordnungen sowohl bei der Ein-/Ausgabe als auch bei der Kommunikation sind verfügbar und können bei Bedarf eingesetzt werden.

Je nach Aufgabenstellung schließen sich eine oder mehrere übergeordnete Leitebenen an. In der elektrischen Energieversorgung wird ein Teil der Aufgaben in der unbesetzten Schalt- bzw. Umspannanlage selbst bearbeitet. Übergreifende Aufgaben fallen in die Verantwortung der Netzleitstellen, die sich selbst über die verschiedenen Spannungsebenen verbunden mit der Unterscheidung in Verteil- und Transportaufgaben hierarchisch aufstellen. Die Leitstellen selbst weisen in der Regel eine Client/Server-Architektur auf, die oft auch auf der Serverseite redundant ausgeführt wird. Es kommen für die verschiedenen Aufgaben wie z.B. Betriebsführung, Optimierung einschließlich Netzsicherheitsrechnungen und Simulation getrennte Server zum Einsatz, die über ein lokales Netzwerk miteinander verbunden sind. Die Bedienplätze sind auch daran angeschlossen und können auf alle Server zugreifen. Deshalb sind die Bedienplätze selbst nicht redundant. Bei besetzten Leitstellen kommt zusätzlich eine Großbildprojektion zum Einsatz. Neben den eigentlichen Netzschemata mit aktuellen Zuständen können dort auch Livevideobilder angezeigt werden. Jeder Leitebene sind auch Bedienungs- und Beobachtungsfunktionen zugeordnet. Aufgrund ihrer Bedeutung werden diese in einem separaten Kapitel detailliert abgehandelt.

Ähnliche Strukturen mit entsprechender Aufgabenverteilung sind auch bei anderen Infrastrukturnetzen wie Gas, Wasser oder Fernwärme sowie bei Verkehrsleitsystemen zu finden.

#### Zukünftige Entwicklung

Die zukünftige Entwicklung von Leitsystemen wird im Wesentlichen von vier verschiedenen Faktoren geprägt, die im Folgenden systemtechnisch, d.h. unabhängig von der jeweiligen Aufgabenstellung und Einsatz, beschrieben werden.

Als erstes ist die Entwicklung der Mikroelektronik hin zu energiesparenden Komponenten bei weiterhin steigender Leistung zu erwähnen. Damit wird dem Trend zu mehr Dezentralität entsprochen und vermehrt intelligente Feldgeräte möglich gemacht. Energiesparende Architekturen werden darüber hinaus neue Konzepte der Stromversorgung, insbesondere im Bereich der Sensorik ermöglichen. Aus dem Mehr an Dezentralität kann sich auch eine gesteigerte Robustheit der Gesamtarchitektur ergeben, wenn prinzipielle Fragen der Datensicherheit und der zuverlässigen Kommunikation bereits beim Design und der Entwicklung berücksichtigt werden.

Ein zweiter Punkt betrifft die Systemarchitektur der Leitsysteme selbst. Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, basieren viele Systeme heute auf der klassischen Client/Server-Architektur sowie am unteren Ende auf Feldbussystemen mit dedizierten Kommunikationsprotokollen. Es ist anzunehmen, dass in Zukunft die im Internet verwendete Three-Tier-Architektur auch in leittechnischen Systemen Anwendung finden wird. Die heute noch übliche Aufteilung nach Teilfunktionen wird dabei durch eine Betrachtung

tung nach Schichten ersetzt. In der Darstellungsschicht, im Englischen als Presentation Tier bezeichnet, findet die Kommunikation mit dem Benutzer statt. Die Verarbeitungsschicht, oder auch Processing Tier, stellt die eigentliche Funktionalität auf Basis der Information der Datenschicht, oder Data Tier, sicher. Bei der leittechnischen Interpretation der Internet-Architektur werden die Prozessschnittstellen durch Ein-/Ausgabe-Einheiten oder durch intelligente Feldgeräte der Datenschicht zugeordnet. Prinzipiell ist bei der Realisierung zwischen web-enabled, also web-ertüchtigten oder web-based d.h. web-basierten Lösungen zu unterscheiden. Die erstgenannten kommen bei der Ertüchtigung bestehender Systeme zum Einsatz, während die letztgenannten bei Neuentwicklungen eine Rolle spielen. Auch die Kommunikation in zukünftigen Leitsystemen wird sich ändern. Es ist bereits heute ein Trend zu durchgehend IP-basierten Kommunikationsprotokollen über alle Ebenen zu erkennen. In Zukunft werden diese Protokolle auch in der Feldleitebene eingesetzt, wenn die Anforderungen für Echtzeitleösungen erfüllt werden.

Ein letzter Punkt betrifft die Benutzerschnittstelle von Leitsystemen. Diese wird sich zunehmend an einer web-basierten Systemarchitektur orientieren und dabei auch bzw. überwiegend mobile Endgeräte berücksichtigen. Hierauf wird im Detail im nächsten Kapitel eingegangen.

#### Handlungsbedarf

Im Hinblick auf die intelligente Stadt als System von Systemen, kommt der domänen-übergreifenden Planung, dem Betrieb und der Optimierung einschließlich der Simulation eine große Bedeutung zu. Diese werden definitionsgemäß in den beiden Integrationsschichten nach Abbildung 1 stattfinden. Auf die technologische Entwicklung der Leitsysteme selbst hat das aber nur geringe Auswirkungen.

Wichtig wird in Zukunft, wie die domänenspezifischen Leitsysteme untereinander, bzw. noch wichtiger, zu den Integrationsschichten hin, gekoppelt werden. Hier ist eine Standardisierung von Kommunikationsschnittstellen im Sinne Syntax und Semantik unabdingbar. Auch die Art der Datenhaltung sowie der Zugriff auf die Integrationsgeschichten muss verbindlich festgelegt werden. Erste Überlegungen hierzu sind in internationalen Standardisierungsgremien wie IEC und ISO bereits gestartet. Weitere Details kann man den Abschnitten 2.3.2 und 2.3.4 entnehmen.

#### *Sensorik und Aktorik*

##### Stand der Technik

Sensornetze und -knoten sind heutzutage kommerziell verfügbar, aber es gibt in der Anwendung eine Vielzahl, teils proprietäre, Protokolle und Systeme. Im Bereich Smart Homes gibt es im Consumer-Bereich Systeme, die in der Regel noch nicht einfach zu installieren und konfigurieren sind. Für die Kommunikation der Komponenten gibt es eine Reihe unterschiedlicher Protokolle und Systeme, die i.d.R. nicht untereinander kompatibel sind. Beispiele sind hier KNX/EIB, Z-Wave, EnOcean, InsteonPLC, RWE Smart Home und HomeMatic. In gewerblichen Immobilien gibt es unterschied-

liche Systemanbieter, die eine intelligente Gebäudetechnik anbieten und insbesondere auf KNX/EIB und EnOcean basiert. Neue Systeme, z.B. im Bereich der Lichtsteuerung kommen auf den Markt, beispielsweise von Philips, deren Kommunikation z.T. auf WLAN basiert. In der Forschung finden häufig auf IEEE 802.15.4 / ZigBee basierte Sensornetze und Protokolle Anwendung. Auch hier sind Systeme kommerziell verfügbar, kleinere Beispielnetze und Pilotanwendungen wurden bereits integriert.

Auf Ebene einer Stadt gibt es eine Reihe von Forschungsprojekten, die Piloten in Städten aufgebaut haben. Als Beispiel sei hier Smart Santander aus dem 7. EU-Rahmenprogramm genannt. In letzter Zeit drängen auch größere Konzerne aktiv in den Markt und bieten erste Lösungen an. Hervorzuheben sind hier insbesondere Cisco, das „Smart and Connected Communities“ und IBM mit den Smarter Cities, die hier nach Studie von Navigant von 2013 eine Vorreiterrolle einnehmen [Navigant Research Leaderboard Report: Smart City Suppliers, Assessment of Strategy and Execution of 15 Smart City Suppliers]. Auch Siemens, Hitachi, Schneider Electric, Accenture, Toshiba und General Electrical stehen als Herausforderer bereit. Durch fehlende offene Standards in den Datenformaten und unterschiedliche Systemkonzepte besteht die Gefahr des „Vendor-Lock-ins“ für Städte: die Entscheidung für einen bestimmten Hersteller mag eine spätere Hinzunahme bestimmter Komponenten eines anderen Herstellers erschweren oder unmöglich werden lassen.

#### Zukünftige Anforderungen

Eine Stadt und ihre Bürger leben von der Ausstattung der Stadt mit einer guten und intelligenten Infrastruktur. Sie besteht aus (selbst intelligenten) Gebäuden und Häusern zum Wohnen und zum Betreiben der Wirtschaft, aus einer Verwaltung, einer Verkehrsinfrastruktur (Straßen, Schienen, Verkehrsknotenpunkte), einer Versorgungsinfrastruktur (elektrische Energie, Gas, Wasser, Abwasser), mobiler Infrastruktur (Autos, Güter, Menschen) und einer Kommunikationsinfrastruktur (Glasfasernetz, Internet, Telefonnetz, Rundfunknetz, Mobilfunknetz).

Die Datenquellen, die den Zustand der Stadt und ihrer Infrastruktur erfassen, sind in der Regel Sensornetze. Die Sensoren dieses Netzwerks werden in der Infrastruktur der Stadt „ausgestreut“. Sie sind z.B. Fahrzeugzähler, Thermometer, Hygrometer, Gassensoren, Schallsensoren, Kameras, Radargeräte usw. Sie erfassen Daten über z.B. den Zustand der Umweltbedingungen in der Stadt wie Wetterdaten, Schadstoffbelastung durch z.B. CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, Lärmbelastung, Pollenbelastung, aber auch über die Feuchtigkeit des Rasens in den Parkanlagen, oder die Wassertemperatur an einem Badestrand. Sie liefern Informationen zu den öffentlichen Verkehrsmitteln, zur Zahl der verfügbaren Taxis, zu vorhandenen Staus auf den Straßen und zur Optimierung der Straßenbeleuchtung usw. Die in diesem System verwendete Kommunikationstechnik ist in vielen Fällen eine Maschine-zu-Maschine (M2M) Kommunikation.

Durch Standorterfassung (Ortung über GPS, Cell-ID im Mobilfunk oder WLAN) kann eine Vielzahl von standortabhängigen Diensten, sogenannte

Location Based Services (LBS), für verschiedenste Nutzergruppen im städtischen Umfeld angeboten werden. Aus LBS-Datenbanken heraus werden durch einen Abgleich mit den aktuellen Koordinaten des Nutzers ortsbezogene Informationen an LBS-Apps gesendet. Diese kommen mit Bezug auf urbane Infrastrukturen am häufigsten zur effizienteren Nutzung von Beförderungs- und Verkehrsinfrastrukturen (ÖPNV, Carsharing, Bikes-haring Taxi), touristischen und kulturellen Infrastrukturen (Gastronomie, Hotels, Museen, Theater, Sporteinrichtungen etc.) oder Notfallhilfen zum Einsatz.

Die Aufgabe der Sensor- und Aktornetzwerke ist eine effiziente Datenerfassung, Datenkommunikation und gezielte Aktorik. Da sie in vielen Fällen entfernt von verfügbaren Energiequellen angebracht werden, müssen sie dort (batteriegetrieben) energiesparsam arbeiten oder durch Energieharvesting (Energiegewinnung aus der Umwelt) energieautark sein.

Die Sensoren und Aktoren sind mit Prozessoren und Kommunikationselektronik ausgestattet und können in einem Netzwerk miteinander kommunizieren. In ihnen ist in der Regel eine Vorverarbeitung und Selektierung der Daten erforderlich, um die Kommunikationsstruktur energetisch optimal gering zu belasten. Die Vernetzung der Knoten geschieht häufig über Funk in sogenannten Adhoc-Netzwerken und unter Verwendung einer Multihop-Kommunikation über verschiedene Knoten hinweg. Dabei ist der Kommunikationsweg nicht notwendig vorgegeben, womit das gesamte Netzwerk ein unvorhersehbares dynamisches Verhalten besitzt. Wichtige Entwurfskriterien sind geringe Hardwarekosten, ökologische Verträglichkeit (z.B. beim Einsatz in Parklandschaften, in Straßen) sowie geringer Energieverbrauch.

#### Herausforderungen

Die von den Netzwerken übertragenen Informationen sollen in ihrer Gesamtheit ein vollständiges Abbild des Zustands der Smart City widerspiegeln und zur zeitnahen Steuerung von Prozessen in der Stadt genutzt werden. Damit unterliegen sie besonderen Sicherheitsanforderungen bezüglich ihrer Authentizität, ihrer Nichtveränderbarkeit und ihres Datenschutzes. Die zur Kommunikation und Datenübertragung in den Sensor- und Aktor-Netzwerken häufig verwendeten Funkverfahren sind besonderen Gefährdungen ausgesetzt, die bei der Planung der Netzwerke sorgfältig beachtet werden müssen.

Die Sensorausstattung der Sensornetzwerke ist in der Regel stark heterogen. In ortsvariablen, mobilen Netzwerken muss laufend das Ausscheiden im Betrieb befindlicher Sensorknoten und/oder die Aufnahme neuer Knoten berücksichtigt werden. Hierzu bedarf es der Selbstlokalisierung der Knoten im Netzwerk und der Einstellung der Routingverfahren zur Berücksichtigung der Lokalisationsdaten. Ein solches Netzwerk mit mobilen Knoten wird z.B. durch die Autos im Straßenverkehr gebildet, die über „Car-to-Car-Kommunikation“ miteinander vernetzt sind. Die zur Ortsbestimmung und Ortung notwendigen Verfahren benötigen in vielen Fällen eine Zeitsynchronisierung für die verschiedenen Knoten, deren Verfahren mit einer bestimmten Ungenauigkeit behaftet sind. Viele der hier ange-

schnittenen Fragestellungen sind bisher überhaupt nicht, oder nur in unzureichendem Maß gelöst.

Zusammengefasst: Sensornetzwerke erfordern Netzwerkknoten und Netzwerke mit effizienten Kommunikationsstrukturen, die Betriebssicherheit, Datensicherheit und Datenauthentifizierung garantieren. Sie müssen einen energieeffizienten Betrieb sicherstellen, im Echtzeitbetrieb betrieben werden und die Selbstlokalisierung der Netzwerkknoten sowie eine Zeitsynchronisation zulassen. Im Störfall müssen eine Selbstdiagnose und ein Neustart möglich sein. Im normalen Betriebsfall muss eine Rekonfigurierbarkeit des Systems ohne großen Aufwand (z.B. ohne Austausch von Hardware) leicht durchführbar sein.

In Zukunft werden weitere Insellösungen entstehen, heterogene Netze und Standards müssen effizient genutzt werden, um einen Austausch der relevanten Daten zu ermöglichen. Die Skalierbarkeit der Systeme, die heute eher im Bereich von wenigen hundert bis wenigen tausend Knoten liegen, wird eine der großen Herausforderungen der Smart City werden, die auf eine vernetzte Stadt mit hunderttausenden von Sensoren und Kommunikationsknoten skalieren muss. Neben der Skalierbarkeit muss ein kontrollierter Zugriff auf die Daten für verschiedene Anwendungen und Dienstanbieter ermöglicht werden. Offene Standards mit klar abgegrenzten Zugriffs- und Nutzerrechten, sowie eine sichere Kommunikation im Sinne von authentifizierten, autorisierten und sicheren Daten sind notwendig.

### *Intelligentes Datensammelsystem der Stadt*

#### Stand der Technik

In großen Städten werden auch heute schon in großem Umfang z.B. im Verkehrsbereich und zum Zweck der Überwachung Sensoren verschiedener Art (Drahtschleifen in den Straßen, Radareinrichtungen, Kameras etc.) eingesetzt. Die Zahl der zur Erfassung des Zustandes des Stadtsystems verwendeten Sensoren kann dabei sehr groß werden. Alle Sensoren liefern in festgelegten Zeitabständen Information über gemessene Datenwerte an die Datensammelzentren. Das Datenaufkommen ist zum Teil erheblich und die Daten stammen aus sehr verschiedenen, heterogenen Bereichen (Soziale Bereiche, Wirtschaftsbereiche, Sicherheitsbereiche, Umweltbereiche, Verkehrsbereiche, etc.). Es fließt ein großer Datenfluss auf die Datensammelstellen der städtischen Einrichtungen zu.

#### Zukünftige Entwicklungen

In der Zukunft wird die Zahl der „ausgestreuten“ Sensoren in den großen Städten erheblich ansteigen; ihre Zahl kann zwischen 50.000 und mehreren Millionen einzelnen Sensoren liegen. Damit wird ein Big Data Fluss generiert, der in den Datensammelstellen der kommunalen Einrichtungen verarbeitet werden muss. Die Daten müssen in ihrer Relevanz für den Steuerungsprozess in der Smart City zusammengefasst, bewertet und vorverarbeitet werden. Der hohe Datenanfall macht einheitliche Schnittstellen zur Datenaufnahme notwendig. Da die Daten nach ihrer Aufnahme in der Datensammelstelle einer Echtzeitverarbeitung unterworfen werden

müssen, wird ein hoher Automatisierungsgrad dieses Prozesses benötigt (siehe oben).

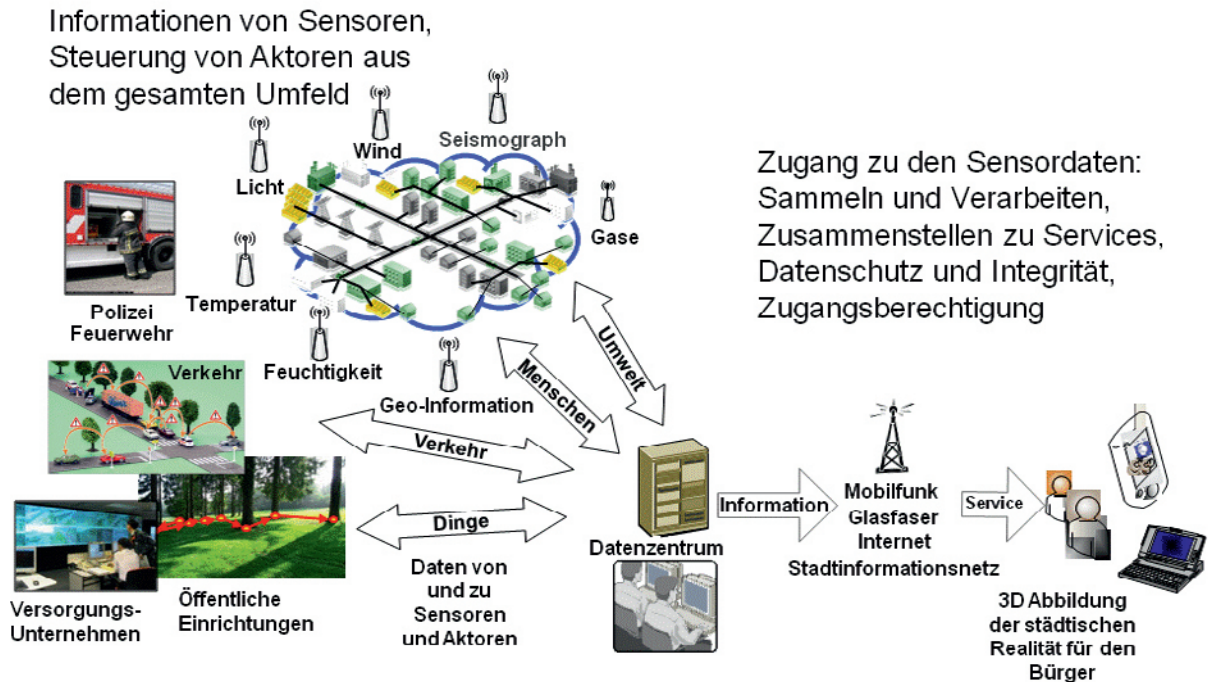


Abbildung 14: Erstellen, Sammeln und Aufbereiten der Sensordaten in einer Smart City

Aus der Vielzahl der gesammelten, zumeist sehr heterogenen, in den Datensammelstellen eingehenden Daten müssen relevante Informationen und Steuerungssignale für die Steuerung der Infrastruktur der Stadt, zur Information der Bürger und zum Aufbau von Dienstleistungen gewonnen werden. Hierzu müssen die Daten aus den verschiedenen Datenbereichen intelligent zusammengeführt werden und mit Applikationsmodellen und –algorithmen voraussichtlich unter Einsatz von semantischen Klassifizierungsverfahren so aufbereitet werden, dass die notwendigen Informationen bzw. Steuerungssignale in Echtzeit gewonnen werden können.

#### Herausforderungen

Analyse- und Syntheseverfahren für diese Anwendungen, die neben den Anforderungen bzgl. Zeit, Lokalisation, Speicherplatzbedarf, Kosten, Energiebedarf, Sicherheitsfragen, auch Anforderungen des Gesamtsystems berücksichtigen, sind bisher nur in Ansätzen bekannt. Um sie aufzubauen bedarf es einer hoch spezialisierten Software sowie der Entwicklung von Simulationsmodellen für die komplexen Prozesse der Stadtinfrastruktur. Für die zielgerichtete Bedienung der verschiedenen Mess- und Anwendungsbereiche bedarf es der Entwicklung vereinheitlichter Interfaces. Die Städte müssen validierte Datenplattformen aufbauen und z.B. mit hochspezialisierten kommunalen Rechenzentren mit hoher Datensicherheit betreiben und anbieten. Um die Informationssysteme auch stadtübergreifend in Zusammenarbeit mit Nachbarstädten und Regionen betreiben zu können, muss der gesamte Bereich der Daten- und Softwarestruktur standardisiert werden.



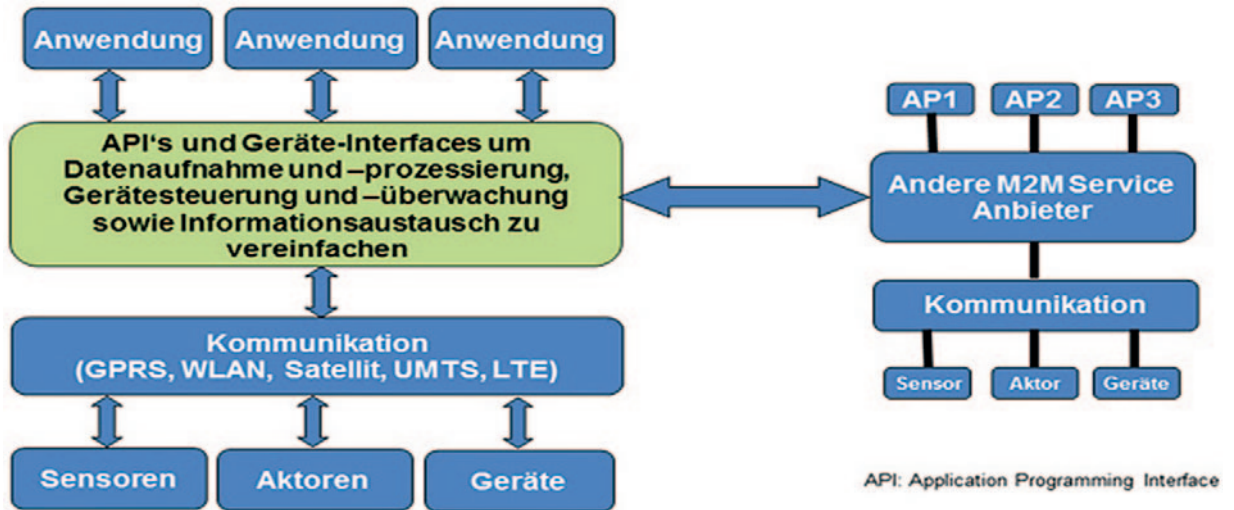


Abbildung 15: Struktur zur Datenaufnahme, -prozessierung und Modellbildung für die Smart City

In bisher betriebenen Sensor-Aktor-Systemen sind die Applikationen vertikal vom Sensor/Aktor zur Anwendung durchverbunden. Jede Applikation hat ihren eigenen vertikalen Kommunikationsweg. Um ein einheitliches System zu generieren, bei dem jede Applikation Zugriff auf alle Informationen der Sensoren/Aktoren hat, muss die zu schaffende Struktur horizontal eine Verbindung zwischen den Anwendungen und den Informationsquellen herstellen. Darüber hinaus muss neben den Datenwegen auch ein Kommunikationskanal geschaffen werden, der die jeweiligen Anwendungen über den Betriebszustand der Sensoren/Aktoren informiert und der eine Steuerungsfunktion zulässt. Nur auf diesem Weg kann ein generelles Smart City System in Form eines „Internets der Dinge“ geschaffen werden. Darüber hinaus darf ein solches System kein Standalone-System sein, es muss in der Lage sein, auf der Struktur-Ebene mit anderen ähnlichen oder gleichen Systemen zu kommunizieren. Solche Systeme sollten als Open Source zur Verfügung gestellt werden, um eine generelle Basis für die Vernetzung mit anderen Systemen zu schaffen. Das System muss als Service-Plattform arbeiten, wie z.B. ein Mobilfunknetz. Man verbindet ein neues Gerät mit dem System über „Plug and Play“ und muss sich keine Gedanken über die Verfügbarkeit des Netzes und des Services machen, sondern man muss es nutzen können, ohne seine Funktionalität zu kennen.

#### Forschungs- und Entwicklungsfelder

Trotz jahrelanger Forschung in den Sensornetzen fehlt noch der kommerzielle breite Einsatz der Technik in Smart City Strukturen. Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Selbstorganisation und Selbstkalibration großer heterogener Sensornetze, in der Energieeffizienz der Sensorknoten, insbesondere bei der lokalen Energiegewinnung und in der Koexistenz von verschiedenen Funksystemen und Anwendungen. Hier müssen neue Protokolle zur Koexistenz unter Berücksichtigung von Fairness berücksichtigt werden. Auch in Richtung energieautarker Aktoren, die lokal steuernd eingreifen können, beispielsweise im Umweltmanagement oder der Ver-

kehrssteuerung ist weiterhin Forschung und Entwicklung notwendig. Weiterer Forschungsbedarf besteht bei der Standardisierung der Schnittstellen zu Sensoren und Aktuatoren, sowie bei der Standardisierung der Sensordaten selbst, die nach Möglichkeit unterschiedlichsten Anwendungen zur Verfügung stehen sollen. Hier besteht auch weiterer Bedarf an Datensicherheit, Anonymität und verteilten Authentifizierungs- und Autorisierungsalgorithmen.

Eine große Herausforderung für den Entwurf, die Simulation und die Realisierung einer Smart City ist die Zusammensetzung des Kommunikations-, Mess- und Steuersystems, das aus verschiedenen, heterogenen Komponenten und Elementen besteht. In vielen Fällen müssen Elemente mit verschiedenen Eigenschaften, aber auch mit verschiedenen IP-Rechten, über geeignete Schnittstellen so miteinander verbunden werden, dass sie ein Plug & Play-System bilden. Da die Komponenten und Module der elektronischen Systeme in der Regel nicht die Lebensdauer haben, wie sie eine Smart City besitzen sollte, muss eine Rekonfigurierbarkeit des Gesamtsystems in geeigneten Zeitabschnitten möglich sein. Das wiederum bedeutet, dass die Interfaces so gestaltet werden müssen, dass über sie eine Rekonfiguration möglich ist.

Analyse- und Syntheseverfahren müssen neben den klassischen Anforderungen in den Bereichen Zeit, Lokalisation, Speicherplatzbedarf, Kosten, Energieverbrauch und Sicherheitsfragen für die Einzelsysteme auch entsprechende Anforderungen für das Gesamtsystem erfüllen.

Unsicherheiten, die eventuell aus der Anwendung von Funksystemen resultieren, müssen mit einbezogen werden können. Beispielsweise müssen Routingverfahren im Netzwerk, die Vorbereitung, Auswahl und Zusammenfassung von Daten in den Komponenten (Netzwerkknoten) sowie ihre Auswirkungen auf die Energieeffizienz des Systems berücksichtigt werden. Für viele dieser Probleme gibt es heute noch nicht einmal Lösungsansätze für die Einzelprobleme, geschweige denn für große übergreifende, integrierte Systeme wie die Smart City. Hierzu bedarf es selbst der Entwicklung neuer Programmiersprachen bis hin zu angemessenen, neuen Betriebssystemen.

### *Steuerung und Regelung in der Smart City*

#### Stand der Technik

Steuerungs- und Regelungsprozesse sind klassische Verfahren der Elektrotechnik und der Automatisierungstechnik, die bereits oben diskutiert wurden. Sie brauchen also hier nicht noch mal beschrieben zu werden.

#### Zukünftige Anforderungen

Für die geplanten, großen Sensornetzwerke und ihre verschiedenen Anwendungen in der Smart City gibt es allerdings eine Reihe von Aufgabenstellungen, die bisher nicht hinreichend gelöst worden sind.

Die Paradigmen für verteiltes Messen, Rechnen, Kontrollieren und Steuern (also des Verfahrens, das die Grundlage für die intelligente Stadt werden soll) in dynamischen, sicherheits- und zeitkritischen, verteilten Netzwerken

sind bis heute nicht genau genug bekannt. Zum Beispiel muss die Frage beantwortet werden, wann und wo die Daten gesammelt werden, welche Informationen dabei erfasst werden müssen und wo die Daten rechnerisch (vor-)bearbeitet werden und auf welchem Weg sie an die Datensinke (den Empfänger) weitergeleitet werden sollen. Die Antwort wird jeweils vom Anwendungsfall abhängen. Heutige Lösungen bauen traditionsgemäß auf dem folgenden Modell auf: 1) Messen, 2) rechnerisch verarbeiten, 3) eine Entscheidung fällen und 4) reagieren bzw. agieren.

Bei diesem Verfahren werden aber Netzwerke mit sehr kleinen Latenzzeiten angenommen, in denen die Daten „frisch“ sind und in denen die Reaktionen somit sofort umgesetzt werden können. Größere Latenzzeiten, wie sie in den großen, verteilten und verzweigten Netzen der Smart City sicher auftreten werden, können Unsicherheiten in den notwendigen Entscheidungsprozessen auslösen und ein großes Problem darstellen, wenn die Reaktionen bzw. Aktionen verspätet eingeleitet werden. Daher sind Netze, Netzwerkprotokolle und Übertragungstechniken mit kleinen Latenzzeiten erforderlich.

#### Forschungs- und Entwicklungsfelder

Der Zustand einer Stadt wird von physikalischen Prozessen dominiert. Diese sollen gemessen werden und die Messungen zur Grundlage von Steuerungsvorgängen gemacht werden. Die Unsicherheiten und Ungenauigkeiten, die durch Sensoren, drahtgebundene und drahtlose Übertragungsverfahren, Rauschen (besonders im Fall der Funkübertragung) und die mögliche Mobilität der Komponenten hervorgerufen werden, beeinflussen die Simulation der Systeme bereits im Rechner- und Softwareentwurf und reduzieren eventuell ihre Performance. Echtzeit- und Sicherheitsanforderungen sind häufig von höchstem Rang. Dagegen steht der Einfluss der natürlichen Fehler und Verluste der physikalischen Systeme z.B. beim Messen, Verarbeiten und Kommunizieren der Daten. Das Gesamtsystem aus Messeinrichtung, Datenerfassung- und Kommunikation, Simulationsmodell und Datenauswertung bis hin zum Aktorsystem muss trotz dieser Eigenschaften robust sein und in einer nicht deterministischen, wahrrscheinlichkeitsbestimmten und nicht verzögerungsfreien Umwelt zuverlässig arbeiten. Dies bedeutet, dass neue Grundlagen für die Modellierung solcher Systeme unter Berücksichtigung der physikalischen, rechnerischen und kommunikationstechnischen Fehlerquellen geschaffen werden müssen.

In der Smart City werden große Mengen von Daten generiert, die vielfach mit dem persönlichen Leben der Bürger in engem Zusammenhang stehen und damit neue und schwierig zu lösende Probleme in Bezug auf den Schutz der Privatsphäre erzeugen. Viele der Daten werden direkt von Sensoren oder RFID-Tags kommen. Sie werden damit Informationen über den Ort und die Zeit der Datenaufnahme, eventuell sogar in einer Verbindung zu Personendaten beinhalten. Mit ausgeklügelten Rückschlussverfahren können damit viele Informationen über Personen, ihren Aufenthaltsort, ihre Lebensgewohnheiten, ihre Kaufgewohnheiten, ihren Gesundheitszu-

stand usw. gewonnen werden. Damit werden neue Verfahren zur Sicherstellung von Datenschutz benötigt, weil die heute zur Verfügung stehenden Verfahren in der Regel nicht auf Echtzeit-Sensordaten angewendet werden können.

Die Daten- und Kommunikationsnetze der Smart City benötigen auch weitergehende Vorsichtsmaßnahmen gegen Hacker-Angriffe, die über das hinausgehen, was für die normale Rechnersicherheit erarbeitet wurde. Dies gilt insbesondere beim Einsatz der Funkkommunikation. Es betrifft Störungen der Kommunikationswege, physikalische Verfälschungen der Signale sowie das Mithören der Datenübertragung und andere Effekte. Die aus Energieeffizienzgründen notwendige geringe Rechnerkapazität der Sensornetzwerkknoten macht eine Sicherheitstechnik in diesem Bereich außerordentlich schwierig, da die meisten Sicherheitslösungen große Ansprüche an Speicherplatz und Rechenkapazitäten stellen. Um die Sicherheit der Smart City Netze zu gewährleisten, werden neue Modelle zur Überwachung eines fehlerhaften Arbeitens der Systeme benötigt.

### *Bedienen und Beobachten (HMI)*

#### Stand der Technik

Auch wenn nach der klassischen Systemarchitektur das Teilsystem Bedienen & Beobachten der Leittechnik zugeordnet wird, soll dieser Bereich in diesem Kapitel gesondert behandelt werden. Das ergibt sich zum einen aus der Tatsache, dass sich durch vermehrte Anwendung von Internet-basierten Systemstrukturen ein Wandel in technologischer Hinsicht vollziehen wird. Zum anderen ergeben sich aber auch durch den umfassenden Ansatz von systemübergreifenden Lösungen in der intelligenten Stadt neue Anforderungen für die Benutzerschnittstellen. Man denke in diesem Zusammenhang insbesondere an Applikationen für Bürger und Besucher auf ihren mobilen Endgeräten. Aber auch für Wartung und Systemdiagnose ergeben sich bei Leitsystemen neue Möglichkeiten.

Vollgrafische Benutzerschnittstellen mit Mausunterstützung sind heute aus den Leitstellen nicht mehr wegzudenken. Realisiert auf eigenständigen Rechnern im Rahmen einer Client/Server-Architektur werden die Bedienplätze als Thin- oder Rich- bzw. Fat-Client realisiert. Geht man von Thin Clients aus, so beinhaltet der jeweilige Server den entsprechenden Webserver zur Bereitstellung der Inhalte. Mittels z.B. Java Applets und/oder Servlets können komplexe Programmteile eingebaut werden, die im Falle von Applets nachdem sie zum Programmstart in den Client geladen wurden, eigenständig im Webbrowser ablaufen. Der Einsatz von Thin Clients mit vektor-basierter Grafik ermöglicht den nahtlosen Übergang zu mobilen Endgeräten mit unterschiedlichen Betriebssystemen und Webbrowsern.

#### Zukünftige Anforderungen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, haben sich die Leitsysteme und mit ihnen ihre Bedien- und Beobachtungsfunktionen kontinuierlich weiterentwickelt. Dabei hat sich der Fortschritt im Wesentlichen immer

am allgemeinen Fortschritt der Informationstechnik entwickelt. Dies wird auch in der Zukunft der Fall sein und braucht deshalb hier nicht explizit vertieft zu werden.

Im Rahmen von Lösungen für die intelligente Stadt werden in der Zukunft mehr und mehr Lösungen, gespeist aus heterogenen Datenquellen mit einer Benutzerschnittstelle auf einem mobilen Endgerät, eine Rolle spielen. Heute in Massen verfügbare Apps, sei es für iOS oder Android-basierte Endgeräte, zeigen bereits die Möglichkeiten. Schaut man sich die heute in Smartphones vorhandene Sensorik und die daraus resultierenden Funktionen an, stellt man fest, dass wir hier hinsichtlich der Applikationen für intelligente Städte erst am Anfang stehen. So wird Galileo, das europäische Pendant zu GPS, eine präzise Indoor-Navigation erlauben und kann damit in multi-modalen Mobilitätsplattformen zusätzliche ortsabhängige Funktionen ermöglichen. Eine gezielte Auswertung von Signalen der Schocksensoren von Mobiltelefonen kann z.B. auf Straßenschäden hinweisen. Dies sind nur zwei Beispiele von vielen, die in Zukunft zu erwarten sind. Eine zentrale Frage wird sein, in welcher Form die Daten zu Verfügung gestellt werden und welche Geschäftsmodelle die einzelnen Apps verwenden.

#### Forschungs- und Entwicklungsfelder

Aus der Sicht der Bedien- und Beobachtungsfunktion lässt sich direkt kein Handlungsbedarf ableiten. Hier wird sich die zukünftige Entwicklung am Mainstream der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) orientieren. Das ist schon aus Aufwands- und Kostengründen notwendig und sinnvoll. Daten aus heterogenen Quellen, seien sie personalisiert oder auch anonymisiert, stellen eine wesentliche Grundlage für neue Applikationen in intelligenten Städten der Zukunft dar. Neben einer weltweiten Standardisierung von Datenformaten und Zugriffsmechanismen sind dringend insbesondere die Fragen des Datenschutzes und der Dateneigentümer verbindlich festzulegen. Dies sollte sich nicht nur an nationalen sondern auch an internationalen Anforderungen und Gepflogenheiten orientieren, um nicht in einer deutschen Sackgasse zu enden.

#### *Netzplanung und Asset Management*

##### Stand der Technik

Bereits heute nutzen viele Stadtwerke selbst Software für die Netzplanung oder lassen in regelmäßigen Abständen Studien erstellen. Entsprechende Software bildet das Netz ab und analysiert, plant, optimiert und simuliert sowohl Stromnetze als auch Netze für die Gas-, Fernwärme und Wasserversorgung. Bisher war die Entwicklung der Lastverteilung in vielen Städten gut prognostizierbar und Einspeisung von Wärme und Strom stellte im Stadtgebiet keine besondere Herausforderung für die Netzbetreiber dar. Um die Infrastruktur optimal zu erhalten und weiter zu entwickeln, errechnet Software Wartungs- und Instandhaltungsszenarien anhand des Zustands der aktuellen Betriebsmittel, u.a. aufgrund ihres Alters. Im Stromnetz wird heute schon in regelmäßigen Abständen für die strategische Netzentwicklung eine Zielnetzplanung durchgeführt. Dabei wird in Szenario-

rien berücksichtigt, wie sich die Stadt in den nächsten Jahren entwickeln wird und wie man die Netzinfrastruktur entsprechend wirtschaftlich Schritt für Schritt modernisiert.

In Netzanalysen erkennt der erfahrene Netzplaner mit Hilfe der Software neuralgische Punkte im Netz, an denen Messungen und Verteilnetzautomatisierung wirtschaftlich platziert werden.

#### Zukünftige Anforderungen

In Zukunft ist für Städte eine größere Flexibilität gefordert. Software gewinnt hier an Bedeutung, u.a. aus folgenden Gründen:

Die Energiewertschöpfungskette und Struktur befindet sich in einem Transformationsprozess. Es ist weniger prognostizierbar, wann und wo welche Erzeugung in die Stromnetze einspeisen wird, da diese Entscheidungen nicht koordiniert vom Netzbetreiber oder einem Erzeuger getroffen werden, sondern von vielen oft privaten Investoren. Dabei spielt der regulatorische Rahmen eine wichtige Rolle für das Verhalten der Akteure. Weiterhin erlauben neue Technologien verstärkte dezentrale Einspeisung, und es entstehen neue Lastmuster z.B. aufgrund von Klimatisierung oder Mobilität. Ist ein Verteilungsnetz in der Software abgebildet, können Änderungen in der Regulierung oder neue Technologien einfach nachgeführt werden. So entsteht Flexibilität in der Zielnetzplanung, aber auch in der Analyse der aktuellen Zustände.

Darüber hinaus wechseln Experten inzwischen häufiger ihre Stellung, es findet derzeit in Deutschland ein Generationenwechsel der Fachkräfte statt. Software dient dazu, das Wissen der Experten nachhaltig zu sichern und Nachwuchskräfte mit dem Stand der Technik auszubilden.

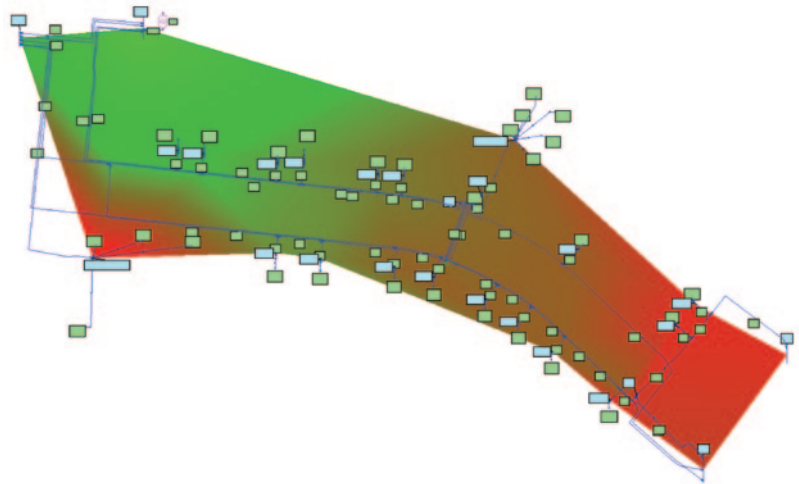


Abbildung 16: Beispiel für die Visualisierung der Netzqualität in einem Stadtteil. In den roten Bereichen erreicht die Spannung kritische Werte. Quelle: ABB

#### Forschungs- und Entwicklungsfelder

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, ist die Verzahnung des Gesamtsystems die große Herausforderung für die Entwicklung der Städte. Software kann helfen, durch Simulation und Visualisierung die Bürger in Städteplanung und Entwicklung der Infrastruktur einzubinden.

## 3.1.2 IKT

*Kommunikation für die Smart City*Stand der Technik

Heute wird in der Regel noch zwischen festen und mobilen Kommunikationsnetzen unterschieden, obwohl sich die angebotenen Dienste immer mehr annähern. In beiden Fällen ist der Übergang vom getrennten Internet und Sprachtelefonie-Anschluss zu einem vollständig IP-basierten Kommunikationsnetz in vollem Gange. In den meisten Städten stehen heute den Haushalten sogenannte feste Internetzugänge über verschiedene Technologien mit Datenraten zwischen 6 Mbit/s und 100 Mbit/s zur Verfügung. Weiterhin ist in den meisten Fällen ein gut ausgebautes Mobilfunknetz verfügbar, das neben Sprachtelefonie mit UMTS und LTE (Long Term Evolution) auch immer höherrangige Datendienste (i.d.R. Internetzugang) anbietet. Ferner gibt es eine Reihe von WLAN-basierten Hotspots, in einigen Städten (seltener in Deutschland) auch freie WLAN-Netze und drahtlose Netze, die auf dem WiMax-Standard basieren.

Abbildung 17 zeigt die Struktur typischer, bestehender Kommunikationsnetze in Städten. Das Rückgrat bildet das IP-basierte Internet, an das die verschiedenen Internet-Service-Provider angeschlossen sind. In vielen Ländern und Städten bieten die Internet-Service-Provider einen direkten optischen Anschluss an die Wohnhäuser (Fiber to the Home), an die Gebäude mit einer Weiterverteilung in die einzelnen Wohnungen (Fiber to the Building), an die Geschäfts- und Wirtschaftseinrichtungen (Fiber to the Business), zumindest aber einen Anschluss an eine in der Umgebung der Gebäude stehende Verteilanlage (Fiber to the Curb).

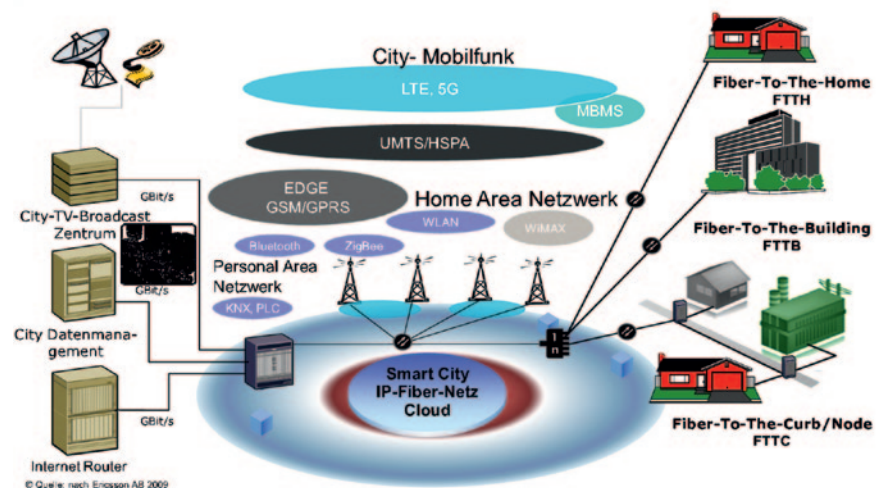


Abbildung 17: Das Kommunikationsnetz als Basis für die Vernetzung der Smart City

In Deutschland ist die Anbindung der Häuser, Wohnungen und Gebäude häufig noch über kupferbasierte DSL-Technologie realisiert. Ist die Verteilanlage optisch angebunden, können über VDSL-Technik 100 Mbit/s erreicht werden. Als Alternative gibt es in Städten auch aus dem Kabelfernsehen Koax-Leitungen, über die ein Internetzugang mit Datenraten von

einigen 100 Mbit/s erreicht werden kann, allerdings teilen sich bei dieser Technologie mehrere Nutzer die mögliche Datenrate. Als weitere Alternative bietet sich auch eine Anbindung über die Energienetze, als Power-Line-Communication bezeichnet, an. Sie spielt für den Internetzugang von Gebäuden bislang eine untergeordnete Rolle.

Ergänzt wird das feste Internet durch ein mobiles Kommunikationsnetz, das heute noch GSM-, GPRS-, EDGE- und UMTS-Technik oder auch auf WiMax-Technik (vor allem in den USA verwendet) enthält. Insbesondere in Europa geht der Ausbau der UMTS-Weiterentwicklung LTE zügig voran, so dass häufig attraktive Datenraten bis zu 100 Mbit/s über LTE oder WiMax zur Verfügung stehen.

Rundfunktechnologien für Radio und Fernsehen zur breiten Verteilung von Informationen und Unterhaltung sind in den meisten Ländern mit einer weltweiten Anbindung über Satellitenfunksysteme oder Kabelnetze vorhanden.

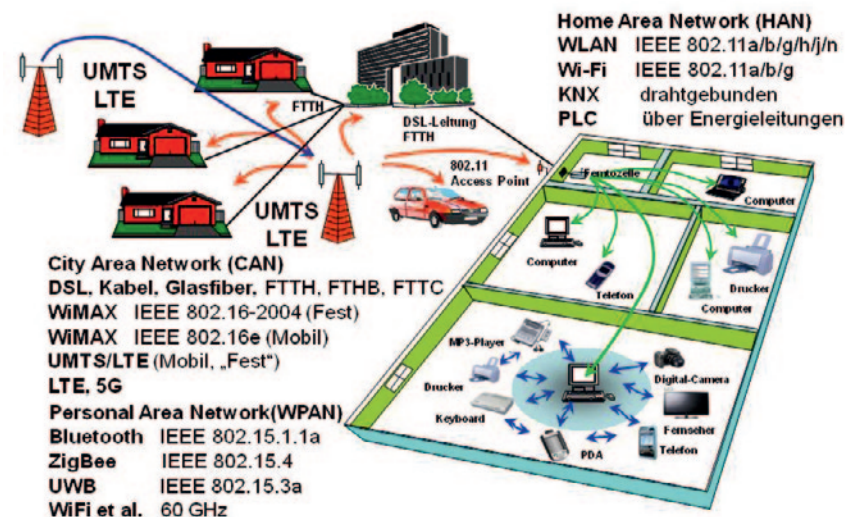


Abbildung 18: Verfügbare Technologien zur Anbindung des Wohnhauses an die Smart City

Zum Informationstransport innerhalb der intelligenten Häuser (Smart Home) der Smart City stehen eine Reihe von drahtgebundenen oder drahtlosen Kommunikationsstrukturen zur Verfügung. Im Rahmen der Entwicklung der Hausautomatisierung wurden verschiedene Standards für drahtgebundene Bussysteme entwickelt. Zurzeit ist vor allem der Standard KNX, der aus ehemals drei verschiedenen Standards (EIB, BatiBUS, EHS) entstanden ist, weit verbreitet im Einsatz. Power Line Communication über die Energieversorgungsnetze ist ebenso eine alternative Lösung für die Vernetzung innerhalb von Häusern. Zudem gibt es starke Anstrengungen, IP-Komponenten über das TCP/IP-Protokoll (Ethernet) so zu vernetzen<sup>1</sup>, dass Funktionen ähnlich denen mit der Benutzung von KNX- und anderen Bus-Systemen erhalten werden. Der Vorteil dieser Entwicklung sind leicht

<sup>1</sup> siehe CeBIT 2015, Code-N und: [www.avm.de](http://www.avm.de)



programmierbare und kostengünstige Systeme auf Basis eines weitverbreiteten Standards.

Als Funksysteme zur Vernetzung im Haus gibt es mehrere Systeme. Am weitesten verbreitet ist das WLAN (Wireless Local Area Network), aber auch IEEE 802.15.4/ZigBee, Bluetooth und Wireless m-Bus bieten sich für unterschiedliche Aufgaben an. Ferner findet EnOcean als Funkstandard sowohl in Europa als auch in Nordamerika Anwendung und ist bereits weit verbreitet (siehe enocean-alliance.org). Vorteil dieses Standards ist, dass er ohne Batterien in den Komponenten auskommt, da diese energieautark arbeiten.

Der Begriff „Future Internet“ ist bereits einige Jahre alt. Die digitale Agenda der EU weist in einem Artikel auf die diesbezüglich geleistete Arbeit in FP6 und FP7 (Frame Program 6,7) hin. Danach ist das heutige Internet der Dinge (IOT) auch ein Resultat dieser Anstrengungen.

Dennoch soll das Internet weiterhin zukunftstauglich sein, weshalb derzeit vor allem der Bereich ‘Pervasive and Trusted Network and Service Infrastructures’ bearbeitet werden soll. Ähnlichen Themen widmet sich das Technologieprogramm des BMWi: „Smart Service Welt - Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft“, das stark auf Services und Service-Infrastrukturen fokussiert.

Notwendige Voraussetzung für eine Internet-Service-Infrastruktur ist eine sichere und geschützte Datenübertragung und Datenhaltung [Ercim News, Number 101, April 2015]. Der Begriff der „MittelstandscLOUD“ wird deshalb an verschiedenen Stellen propagiert (siehe: CeBIT 2015: Janz IT, Citrix, Microsoft, SAP und andere).

Ähnliche Ansätze werden darüber hinaus für die moderne und smarte Stadt von morgen propagiert:

*Forschungsinitiativen der EU im Bereich „Intelligente Stadtquartiere“*

Die europäische Kommission führt das Projekt „Triangulum“ unter Leitung des Fraunhofer IAO (Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation) seit Februar 2015 durch. Ziel dieses Projekts ist es, intelligente Stadtquartiere in Europa zu etablieren, um Smart City Ansätze außerhalb von Laborbedingungen und unter verschiedenen Realbedingungen zu evaluieren.

Das auf eine Laufzeit von fünf Jahren angesetzte Projekt startet in den Städten Manchester (Großbritannien), Eindhoven (Niederlande) und Stavanger (Norwegen).

Gemäß dem Motto „The Three Point Project: Demonstrate. Disseminate. Replicate“ werden unter Beachtung der Erfahrungen aus den ersten drei Städten daraufhin intelligente Stadtquartiere in den Städten Leipzig (Deutschland), Prag (Tschechien), Sabadell (Spanien) etabliert. [70][71][72]

#### Zukünftige Anforderungen

Für die Smart City benötigen Gebäude und Wohnung eine zuverlässige, sichere und schnelle Anbindung an das Internet. Die dafür notwendigen Datenraten pro Haushalt liegen absehbarerweise unterhalb der für Unterhaltung, insbesondere für Video-Streaming, notwendigen Datenraten. Die

Anforderungen an Zuverlässigkeit und Sicherheit der Datenverbindung sind ungleich höher. Noch tolerierbare Ausfallzeiten der Internet-Anbindungen im Bereich von Tagen, ist für Smart Home- und Smart City-Anwendungen indiskutabel. Da die Vernetzung einer Vielzahl von Gebäuden, Sensoren und Aktuatoren zur Smart City eine kritische Infrastruktur darstellt, muss eine zuverlässige und sichere Kommunikation gewährleistet bleiben. Es muss eine Koexistenz der kritischen Kommunikation für die Infrastruktur der Smart City und dem übrigen Internetverkehr gewährleistet sein. Eine Vielzahl der Anwendungen der Smart City sind typische Machine-to-Machine (M2M) Anwendungen, die durch eine Vielzahl von Teilnehmern, fast stationäre Sensorknoten und niedrige Datenraten geprägt sind. Die mobilen Netze (insbesondere UMTS und LTE) dagegen sind auf hohe Mobilität und relativ hohe Datenraten optimiert. Hier ist ein Engpass auf den Kontrollkanälen absehbar, dem durch entsprechende Änderungen der Standards entsprochen werden muss.

#### Forschungs- und Entwicklungsfelder

Die oben angesprochenen neuen Anforderungen bilden auch die Forschungs- und Entwicklungsfelder: es muss eine zuverlässige und schnelle Kommunikation zu den Gebäuden, aber auch zu den unterschiedlichen Sensoren und Aktuatoren in der Smart City gewährleistet werden. Dafür ist auch eine flächendeckende Anbindung einer Vielzahl von kleinen Geräten mit niedriger Datenrate erforderlich. Weder heutige Mobilfunknetze noch andere heutige drahtlose Netze skalieren dafür ausreichend. Eine Weiterentwicklung für Machine-to-Machine-Kommunikation innerhalb der Mobilfunknetze ist dafür genauso erforderlich, wie die Entwicklung neuer Protokolle und Ansätze, wie Daten dezentral erfasst, bewertet und über unterschiedliche Technologien übertragen werden können.

Die Datensicherheit und die Zuverlässigkeit der Kommunikationsinfrastruktur ist eine wesentliche Anforderung. Auch hier ist weitere substantielle Forschung und Entwicklung notwendig, um eine ausreichende Zuverlässigkeit sowohl bezüglich der Übertragung und deren Protokolle als auch bezüglich der Datensicherheit, Autorisierung und Authentifizierung von Daten und Nutzern.

Die Schnittstelle zwischen den einzelnen Funktionseinheiten von „Smart Home“ und „Smart City“ sind leistungsfähige moderne Datenbanken und die dazugehörigen Speicherlösungen („Storage“).

Durch die Nutzung unterschiedlicher mobiler und unterschiedlicher nicht-mobiler Komponenten durch ein und denselben Nutzer ergibt sich die Notwendigkeit, verteilte (IT-)Architekturen zu entwickeln, die miteinander vernetzt werden müssen. Dabei kommt der Entwicklung von Software für mobile Komponenten („Apps“) eine besondere Rolle zu, da diese sich mehr und mehr zu einem Innovationstreiber [73] entwickeln. Jedermann soll jederzeit auf die Funktionen seines intelligenten Hauses zurückgreifen können [[www.smarthome.de](http://www.smarthome.de)].

Mit dem Vorhandensein von großen, persönlichen Datenmengen im „Cyberspace“ ist die Absicherung der Daten im Sinne von Security zu

einem essentiellen Vorgang geworden. Die Anbindung von Firmen an das Internet der Dinge und die Umstellung auf Industrie 4.0 fordert ebenfalls hohe „Security“ und „Safety“ der Daten. Security nach deutschem Recht kann zu einem Standortvorteil werden, wenn es gelingt, eine sogenannte „Mittelstandcloud“ zu generieren.

Der Vorteil leistungsfähiger Storage-Lösungen in einem abgesicherten „Space“ liegt auf der Hand: Mit den Errungenschaften von „BigData“ werden große (und kleine) Datenmengen schnell analysiert und stehen für die weitere Nutzung zur Verfügung.

Dafür benötigt man Datenbanken, die nicht im relationalen Sinne strukturiert sind, sondern solche, die ein hohes Maß an Flexibilität und Datenintegrität erlauben. Die Auswertungen und - im positiven Sinne - Datenmanipulationen laufen auf der Metadatenebene ab.

Lösungen dieser Art werden heute bereits durch Firmen wie Google oder Amazon verwendet. Dabei muss die jeweilige Lösung nicht „groß“ sein. Die Smart City bedingt unterschiedliche Datenbanken von unterschiedlichen Stakeholdern - Gemeinden, Krankenhäusern, Ärzten, Händlern, Abrechnungssystemen - auf die der Nutzer zugreifen kann, will und muss. Eine Herausforderung ist die Bereitstellung von Software („Apps“), die ihm die „Reise“ als Nutzer durch den „Datenspace“ in einfacher Weise ermöglicht.

## 3.2 Erste Integrationsstufe: multimodale Betriebsoptimierung

Im Rahmen der ersten Integrationsstufe, also der multimodalen Betriebsoptimierung, eröffnen sich Synergien, aufgrund domänenübergreifender Konzepte und Technologien, für Smart Cities. Insbesondere bietet die intensive Nutzung von IKT-Komponenten in einzelnen und auch mehreren Domänen viele Vorteile. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Effekte für Gebäude, Mobilität, Versorgungsinfrastrukturen sowie Gesundheitswesen und Städtische Verwaltung erläutert.

### 3.2.1 Gebäude

Gebäude sind ein zentrales Handlungsfeld für den Umbau des Energiesystems und den Aufbau von Smart Cities. Ausgehend von existierenden Ansätzen, sind durchgängige Konzepte zur Integration von Gebäuden als steuerbare Energieverbraucher und thermische Speicher in einem zukünftigen intelligenten Stromnetz zu entwickeln und zu analysieren, wie die Gebäude mit ihrer Anlagentechnik zur Netzstabilität beitragen können. Grundlage hierfür ist, dass aus einem konventionellen Gebäude ein smartes Gebäude wird, das eine verlässliche Prognose zum künftigen Energiebedarf entwickeln und diesen nach außen kommunizieren kann. Insbesondere thermische Prozesse stehen aufgrund der bereits vorhandenen Speicherkapazitäten und ihrer Trägheit im Fokus. Ein Gebäude kann bis zu einem gewissen Grad ausgekühlt werden und Aufheizphasen zeitlich geschoben werden, so lange sichergestellt ist, dass die Anforderungen an

den thermischen Komfort erfüllt sind. Ein smartes Gebäude muss sich damit auch an seine Nutzer und ihr individuelles Verhalten anpassen können.

Am Markt gibt es bereits eine Vielzahl von Smart-Home-Produkten. Häufig handelt es sich aber noch um Insellösungen, die untereinander nicht kompatibel sind. Für ein netzkompatibles Verhalten ist eine Kommunikation von einzelnen Instanzen im Gebäude als auch zwischen dem Gebäude und äußeren Instanzen notwendig. Für diese Form der Kommunikation ist das Gesamtsystem Gebäude inkl. Speichern, steuerbaren Lasten und Schnittstellen zum Energiemarkt und Netzmanagement als ein Baukastensystem aufeinander abgestimmter, flexibel einsetzbarer und kombinierbarer Energieversorgungs- und Steuerungskomponenten aufzubauen. Dies beinhaltet insbesondere angepasste Komponenten, kompatible Schnittstellen, neuartige Steuerungssysteme und Auslegungsverfahren. Das dynamische Verhalten des Gebäudes, der Anlagentechnik aber auch das Komfortempfinden des Nutzers unter sich ändernden thermischen Randbedingungen durch Ausnutzung der thermischen Gebäudekapazität im Anlagenbetrieb sind hierbei von entscheidender Bedeutung.

Neben der technischen Umsetzung sind Bewertungskriterien zu entwickeln, die entsprechende Anreize für ein netzkompatibles Verhalten schaffen. Neben bisherigen gesetzlichen Vorgaben zu Heizenergie- und Primärenergiebedarf wäre beispielsweise eine Anrechnung der Vorhaltung von Speicherkapazitäten möglich.

### 3.2.2 Mobilität

#### *Überblick zu Maßnahmen der Optimierung urbaner Mobilität*

Für die Schaffung eines umweltgerechten und gleichzeitig effizienten Verkehrssystems zur Bewältigung der urbanen Mobilitätsansprüche müssen eine Vielzahl unterschiedlicher Entscheidungsstränge und Maßnahmen zusammenfließen und wirkungsvoll koordiniert werden (vgl. Abbildung 19). Sie entstammen klassischerweise den Bereichen des öffentlichen kollektiven Verkehrs oder des privaten Individualverkehrs. Diese werden in zunehmendem Maße durch neue Formen der kollaborativen Mobilität ergänzt, die Eigenschaften des öffentlichen und des Individualverkehrs kombinieren (Vergemeinschaftung des Individualverkehrs). Dazu gehören z. B. solche Angebote wie Car-Pooling, Car-Sharing, Bike-Sharing, Ride-Sharing und Ride-Selling in steigendem Umfang auch unter Nutzung von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben (vgl. Abbildung 19). Schlüsselcharakteristika dieser Mobilitätsformen sind „nutzen statt besitzen“, „bewegen statt stehen“, „verdienen statt bezahlen“ oder „vernetzen statt vereinzeln“ [101].

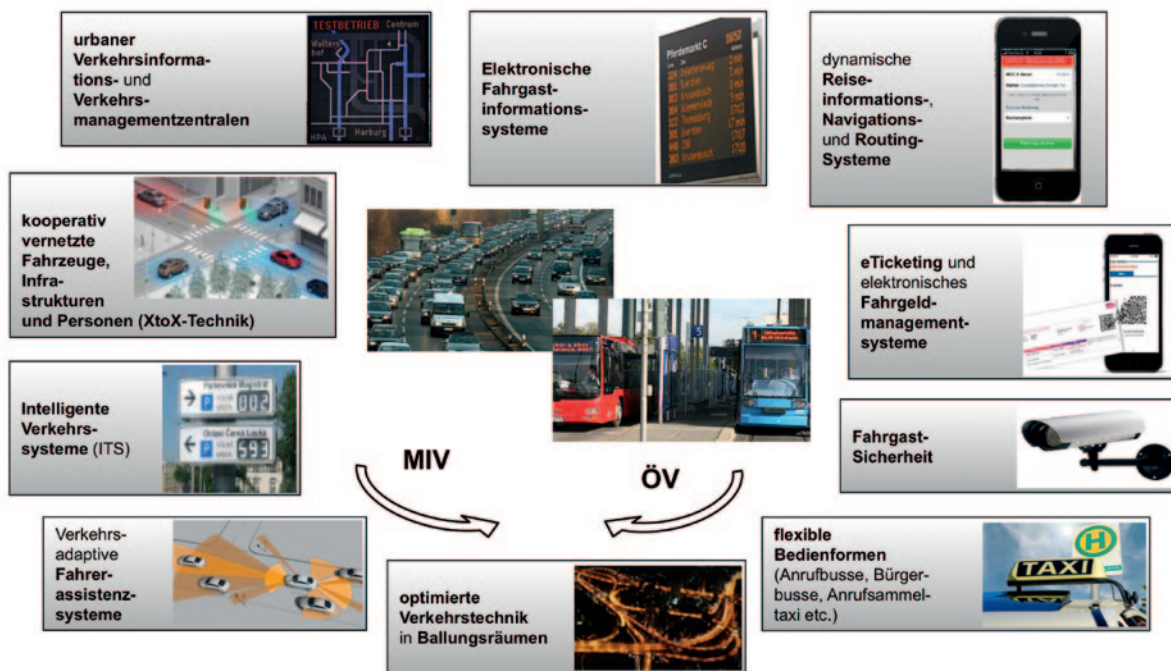


Abbildung 19: Koordination von MIV- und ÖV-Maßnahmen zur Optimierung des urbanen Verkehrs

Interoperabilität und Verknüpfung öffentlicher und privater sowie gemeinschaftlicher und individueller Mobilitätsformen sind der Schlüssel, die Nutzer zu ermutigen, weniger vom Auto abhängig zu sein, mehr Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad bzw. anderen umweltfreundlichen Zweirädern (z. B. Kabinenräder, Segways, E-Scooter) zurückzulegen und neue Formen der kollaborativen Mobilität zu erproben. Das heißt, der Bevölkerung in urbanen Räumen sollten in viel größerem Umfang als bisher differenzierte Fortbewegungsangebote zur Verfügung stehen, die patchworkartig in beliebiger Weise, äußerst flexibel und spontan just in time genutzt werden können [102]. Dieser Wandel wird häufig als „City-Mobilität 2.0“ bezeichnet, in deren Ergebnis die Grenzen zwischen öffentlichem und individuellem Verkehr zunehmend verschwimmen sowie intermodales und multimodales<sup>2</sup> Mobilitätsverhalten verstärkt praktiziert wird (vgl. Abbildung 20). Dies ist gleichzeitig Ausdruck einer intelligenten Mobilität, die durch umfassend vernetzten Datenaustausch zwischen Mobilitätsdienstleistern verkehrsträgerübergreifende, individuell angepasste Reiseplanung und -durchführung, Alternativrouting, elektronisches Buchen, Ticketing und Bezahlen ermöglicht. Durch die Verknüpfung von Dienstleistern, Intermediären und Nutzern intermodaler Reise- und Transportketten entstehen innovative Services, die die Mobilität effizienter, sicherer, plan- und berechenbarer machen und damit auch neue Geschäftsmodelle ermöglichen.

<sup>2</sup> Intermodal bedeutet, dass während einer Reise bzw. innerhalb eines Weges verschiedene Verkehrsmittel genutzt werden. Multimodales Mobilitätsverhalten umschreibt die Variation bei der Nutzung von verschiedenen Verkehrsmitteln bzw. Mobilitätsformen in einem bestimmten Zeitraum.

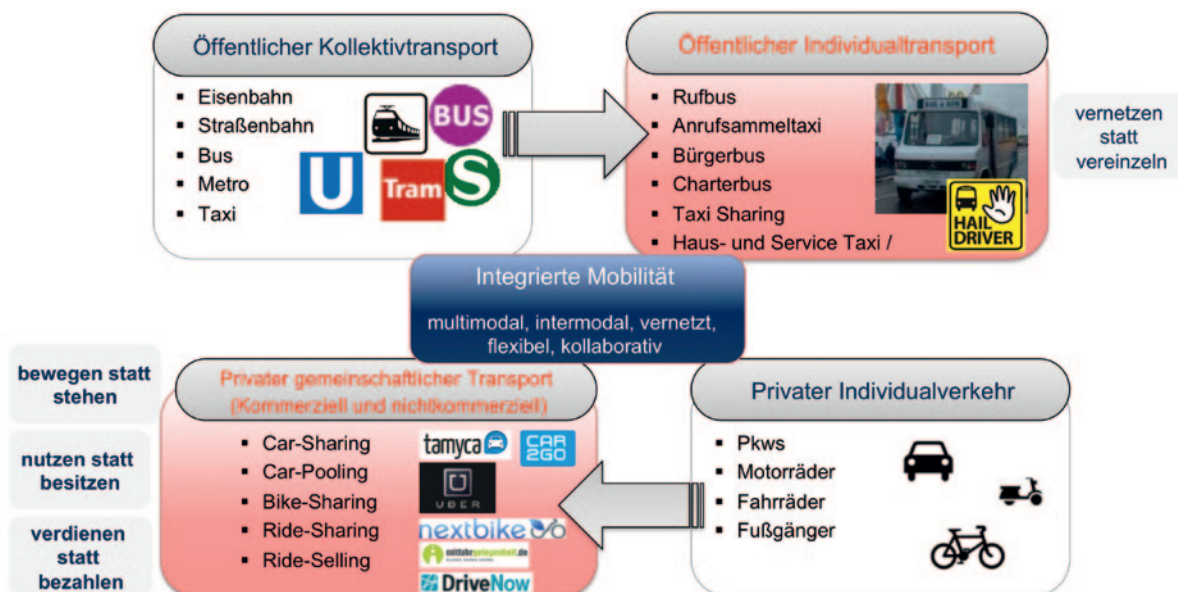


Abbildung 20: Veränderung von Mobilitätsformen

Im Bereich des Wirtschaftsverkehrs wird angestrebt, die Schnittstellen zwischen dem Güterfernverkehr und den Verteilerverkehren über die letzten Kilometer in Ballungsräumen effizienter zu organisieren, wie z. B. durch gebündelte KEP-Transporte mit Elektrofahrzeugen oder die Nutzung von IuK-Technologien zur echtzeitnahen Steuerung von innerstädtischen Auslieferungs-, Abhol- und Verteilprozessen.

Derartige Mobilitäts- und Logistikkonzepte spielen in der Smart City eine besondere Rolle im Zusammenspiel mit innovativen Lösungen in den Bereichen Energie, Umwelt und Infrastrukturentwicklung. Dabei gewinnen in zunehmendem Maße internetbasierte Anwendungen an Bedeutung, die über Smartphones, Tablets und andere mobile Endgeräte interaktive Nutzungsszenarien durch die Verkehrsteilnehmer ermöglichen.

Folgende Bausteine der Smart Mobility lassen sich in einer intelligenten Stadt gemäß [102] identifizieren:

- Öffentlicher Nahverkehr
- Individuelle Elektromobilität
- Lade-Infrastruktur
- Energiemanagement in Fahrzeugen
- Car Sharing
- Mitfahrssysteme
- Mobility on Demand
- Leitsysteme für Intermodalität
- Tracking- & Tracing-Technologien
- Nutzung des ÖPNV für Smart City Logistik
- Kooperationssysteme zur Realisierung von intermodalen Reiseketten.

Hierzu existiert bereits eine Vielzahl von Einzelaktivitäten und -konzepten sowohl in funktionaler als auch räumlicher Hinsicht, während umfassend vernetzte Lösungen und Systeme häufig noch ausstehen.

Bei der Entwicklung und Realisierung von Mobilitäts- und Logistikkonzepten in der Smart City sind folgende Aufgaben und Aspekte zu berücksichtigen:

- Gewährleistung eines hohen Maßes an Intermodalität durch intelligente Verknüpfung und exzellente Vernetzung aller Verkehrsmittel unter Einsatz innovativer IuK-Dienste und -Systeme,
- effiziente Lenkung des Verkehrs und verbesserte Auslastung der Mobilitätsmittel durch Leitsysteme des intelligenten Verkehrsmanagements,
- transparente Abrechnungssysteme für Mobility on Demand, d. h. die Abrechnung der Nutzung verschiedener Verkehrsmittel per Smartphone oder sonstiger mobiler Endgeräte,
- Einbeziehung von Nutzerprofilen in die Erstellung von individuellen Mobilitätsangeboten,
- Einsatz differenzierender Gebührensyste-me bei der City Maut (z. B. in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte, Umweltsituation),
- Entwicklung und Bereitstellung von Versicherungs-, Buchungs- und Abrechnungssystemen für Mitfahrgelegenheiten,
- Betrieb eines optimierten Parkraummanagements
- Ausbau der Initiative Elektromobilität,
- flankierender Einsatz von Anreiz- und Bonussystemen, z. B. im Rahmen der Parkraumbewirtschaftung für Elektrofahrzeuge,
- intelligente Steuerung der Ladungsträger.

Das zukünftige Grundprinzip zur Optimierung urbaner Mobilität ist Kooperation, d. h. alle Verkehrsteilnehmer, gleich ob Fahrzeuge jeglicher Art oder Fußgänger, tauschen Informationen untereinander, aber auch mit Infrastrukturelementen wie Lichtsignalanlagen, Verkehrszeichen, Warn- und Verkehrsbeeinflussungsanlagen in Echtzeit und mit hoher Geschwindigkeit aus.

#### *Voraussetzungen für intelligente Verkehrslösungen in der Smart City*

Voraussetzung für neue Mobilitätskonzepte sind verlässliche und standardisierte Daten, die über einheitliche Schnittstellen und Kommunikationsinfrastrukturen bereitgestellt werden. Dabei müssen sich Hersteller von Fahrzeugen, Verkehrsinfrastruktur und mobilen Endgeräten (Smartphones, Navigationsgeräte, On-Board-Units etc.) auf gemeinsame Kommunikationsstandards verständigen. Intelligente Verkehrsdienste nutzen zunehmend Cloud Services und Open Data.

Für die Datenübertragung stehen den Akteuren Mobilfunksysteme, wie GPRS, UMTS, LTE oder drahtlose Netze nach dem 802.11 (WLAN-) bzw. 802.16 Standard (WiMax) zur Verfügung. Der IEEE 802.11p Standard (WAVE) optimiert diese für die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation. Weiterhin kommen Funkstandards für drahtlose Sensornetze (802.15.4/ ZigBee) und persönliche Kommunikation (802.15.1/Bluetooth) zum Einsatz. Objekte, Fahrzeuge und Personen können mithilfe von GPS, RFID, Ultraschall oder Funksystemen geortet und identifiziert werden [103].

Die Bereitstellung von Echtzeit-Verkehrsdaten ist eine unabdingbare Voraussetzung für ein übergreifendes Verkehrsmanagement in urbanen Räumen, wie es in zahlreichen Städten und Regionen von Verkehrsmanagementzentralen realisiert wird. Sie sammeln Informationen über die aktuelle Verkehrslage, die aus mehreren Quellen wie ortsfesten Detektoren, Induktionsschleifen, Lichtsignalanlagen, Videokameras, Floating Car Data<sup>3</sup> oder von anderweitigen Messstellen stammen. Darüber hinaus stellen Daten aus den Mobilfunknetzen wichtige Informationen zur Verfügung. Diese werden mit Daten von Baustellen, Umleitungen, Events, Fahrplan- und Echtzeitdaten des ÖPNV, Umwelt- und Wetterdaten, Ankunfts- und Abflugdaten von Flughäfen fusioniert, ausgewertet und aufbereitet, um für Verkehrsinformations- und Verkehrssteuerungszwecke genutzt zu werden (vgl. Abbildung 21). Dabei können Verkehrsinformations- und Verkehrssteuerungszentralen durchaus von unterschiedlichen Partnern betrieben werden<sup>4</sup>.

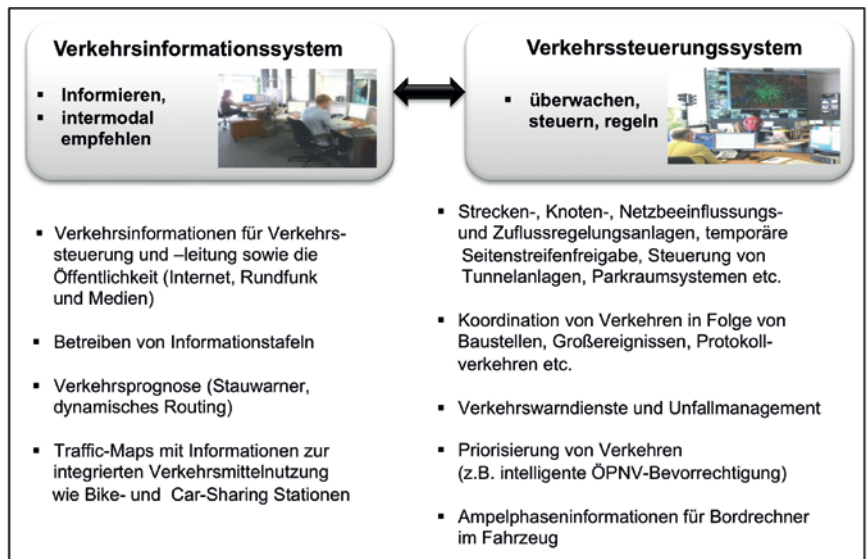


Abbildung 21: Funktionen von Verkehrsmanagementzentralen [118]

Zur optimalen Nutzung von Straßen-, Verkehrs- und Reisedaten sind Voraussetzungen zu schaffen, um diese in Echtzeit, flächendeckend und verkehrsträgerübergreifend erheben bzw. von Dritten beziehen zu können und diesen auch wieder zugänglich zu machen. Mit dem seit mehreren Jahren in Betrieb befindlichen Mobilitäts Daten Marktplatz (MDM)<sup>5</sup> werden für den Individualverkehr die von verschiedenen Beteiligten dezentral erhobenen Verkehrsdaten über ein webbasiertes Portal über vereinheitlichte Schnittstellen verfügbar gemacht. Innovative echtzeitbasierte Mobilitätsdienste privater Anbieter werden dadurch ebenso gefördert wie ein hochwertiges Mobilitätsmanagement von öffentlichen Straßenbetreibern zur kollektiven Verkehrsbeeinflussung.

<sup>3</sup> bereitgestellt z. B. von Taxi-Flotten oder Navigationsanbietern wie „TomTom“

<sup>4</sup> So liegt in Berlin beispielsweise das Betreiben der Verkehrsregelungszentrale (VKRZ) in den Händen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt und der Polizei, während die Verkehrsinformationszentrale (VIZ) im Auftrag der Stadt von der Siemens AG betrieben wird.

<sup>5</sup> Der MDM ist ein vom BMVI gefördertes Projekt, dessen Management durch die Bundesanstalt für Straßenverkehr (BASt) realisiert wird.



Zukünftig wird es darauf ankommen, dass alle Verkehrsdienstleister - möglichst eingebettet in eine deutschlandweite Architektur - Mobilitätsdaten unterschiedlicher Art über standardisierte Schnittstellen miteinander austauschen und über einen Open Data- bzw. Open Service-Ansatz den entsprechenden Zugang sichern. Für ein durchgängiges Multiprovider-Mobilitätsmanagement ist ein strukturierter Verbund von Datenplattformen inklusive nachhaltiger Geschäftsmodelle zu schaffen, der die Infrastrukturdaten des individuellen und öffentlichen Verkehrs, der angebotenen Dienste, Daten intelligenter Verkehrssysteme, Daten von Sharing-Anbietern sowie Daten aus sozialen Netzwerken umfasst. Darauf aufbauend können Mobilitätsintegratoren Informationen, Dienste und Applikationen verschiedenster Art regional oder zielgruppenspezifisch differenziert bereitstellen. Sie berechnen die besten Alternativen für ihre Kundensegmente auf Basis von Echtzeitdaten zu Angeboten, Kapazitäten, Betriebslagen, Störungssituationen, Ist-Reisenden-Strömen etc. Die Optimierung urbaner Mobilität setzt somit freien und uneingeschränkten Zugang zu Mobilitätsdaten der öffentlichen Hand, privater Verkehrsunternehmen, Flottenbetreiber, Mobilitätsdienstleister, Verkehrsmanagementzentralen und Medien voraus. Eine harmonisierte IT-Architektur und ein vernetzter Datenaustausch auf Basis von Service-Level-Agreements und Qualitätskriterien für Verkehrsdaten schaffen die Voraussetzungen für multimodale Mobilitätsangebote und deren Management.

Um den Verkehrsablauf in Ballungsräumen sicherer, effizienter und umweltverträglicher zu gestalten, kommen zunehmend Car-to-Infrastructure und kooperative Car-to-Car-Systeme zum Einsatz. So gestattet z. B. ein Traffic-Light-Assistance-System die Kommunikation des Fahrzeugboardsystems mit Lichtsignalanlagen. Anhand der Umschaltsequenzen und der Anzahl der vorausfahrenden Fahrzeuge wird die optimale Geschwindigkeit zur Annäherung an die Lichtsignalanlage errechnet, dem Fahrer angezeigt und somit ein flüssiges Fahren in der „grünen Welle“ ermöglicht. Falls die Lichtsignalanlage in Kürze auf Rot umschaltet, erhält der Fahrer diese Information im Fahrzeugdisplay so rechtzeitig, dass er sanft und damit treibstoffschonend abbremsen kann.

Kooperative Systeme basieren darüber hinaus auf der Möglichkeit der Kommunikation der Fahrzeuge untereinander (z. B. zum Austausch von Stau-, Unfall-, Wetterwarnungen, Annäherung an Fahrbahnhindernisse etc.). Hierzu wird an offenen Kommunikationsstandards für den Informationsaustausch zwischen den Fahrzeugen gearbeitet, die von innovativen Fahrerinformations- und Assistenzsystemen interpretiert und genutzt werden können.

Im Rahmen des ITS Aktionsplans hat die EU-Kommission bereits 2008 einen Frequenzbereich von 30 MHz im 5,9 GHz-Band für die Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation reserviert. Im Projekt „Cooperative Cars (CoCar)“ wurde ein Jahr später die Funktionsfähigkeit dieses Datenaustauschs demonstriert. 2012 haben sich schließlich 12 Fahrzeughersteller darauf geeinigt, einheitliche Standards für Car-to-Car sowie

Car-to-Infrastructure Anwendungen zu entwickeln, die 2015 Serienreife erlangen sollen. Die dadurch realisierbaren kooperativ vernetzten Systeme werden zukünftig die Fahrzeuge direkt in die „Cloud“ bringen (Car-to-Cloud) und zahlreiche Connected Car-Services ermöglichen. So können über OEM-Clouds beispielsweise Fahrer, Fahrzeug und Kommunikationssysteme beim Hersteller in Kontakt treten und detaillierte Informationen über Zustand und Position des Fahrzeuges sowie Fahrverhalten austauschen, auf die auch die Werkstätten und Versicherungen (pay-as-you-drive) Zugriff haben.<sup>6</sup> Verschiedene weitere Cloud-Konzepte (Public Cloud für Staumeldungen, Community Cloud für Blitzerstandorte und Gefahrenwarnungen, Private Cloud für Musik, Videostreaming, E-Mail, Car App Store [119]) bieten sich an, um die gesamte Vielfalt zukünftiger Telematik-, Navigations-, Sicherheits- und Infotainment-Services flexibel abzubilden und als Plug-and-Play-Lösung ins Auto zu bringen. Schließlich werden die Autos zukünftig selbst als Bestandteil einer „Ambient Intelligence“ Funktionen von mobilen Endgeräten und Mobilitätsassistenten übernehmen.

#### *Güterverkehr: Smart Logistik*

Smart Logistik beruht darauf, Alternativen für den straßengebundenen Güterverkehr über eine intelligente Vernetzung aller vorhandenen Möglichkeiten zu realisieren. Sammel-, Bündelungs- und Verteilzentren für Güter sind dabei ein wichtiger Bestandteil. So wurden bereits 1999 10% der Baustellenlogistik an der Baustelle Potsdamer Platz in Berlin per Schiff realisiert. In Dresden werden Bauteile für die PKW-Produktion vom Logistikzentrum zur VW-Manufaktur mit einer Güterstraßenbahn (CarGoTram) angeliefert. Im Bereich smarter urbaner Logistik gilt es, Konzepte für intermodale Gütertransporte in städtischen Ballungsräumen zu erarbeiten und alle Akteure, die zu beliefernden und liefernden Unternehmen, die Transportwirtschaft, die öffentliche Hand, IT-Dienstleister und TK-Netzbetreiber in die Planungs- und Umsetzungsprozesse zu integrieren. Ziel ist es, Zeitzonen- und Liefermanagement, stadtnahe Logistikzentren, Packstationen sowie innovative Transport- und Behältersysteme in intelligente Verkehrs- und Transportsysteme zu integrieren. Besondere Bedeutung kommt hierbei neben Frachtbörsen und spezifischen Logistikapplikationen, die Leerfahrten reduzieren helfen, der auf die tatsächliche Verkehrsbelastung, Lieferzonen und -zeiten abgestimmten Navigation durch ein Stadtgebiet zu. In Pilotprojekten wird darüber hinaus getestet, inwieweit durch mit RFID-Funkchips ausgestattete Güter die Fahrtroute automatisch an die Ladung angepasst werden kann, beispielsweise bei Paketzustelldiensten. Unter dem Aspekt von E-Mobility-Kapazitäten sind für Firmenflotten leistungsfähige, praktikable E-Fahrzeuge und dazu passende Logistikkonzepte zu entwickeln, die eine zuverlässige Versorgung der Innenstädte auch mit Paletten und schwer handhabbaren Stückgütern ermöglichen [120].

---

<sup>6</sup> Hierbei ist auf Fragen der Akzeptanz derartiger Features und der Datenschutzproblematik besonders hinzuweisen.

Um eine intelligente Vernetzung von Gütertransporteinheiten und –strömen realisieren zu können, sind die vielfältigen Ladungsträger wie Container, Wechselbrücken, Gitterboxen, Paletten und Mehrwegebehälter mit Sensor-, Ortungs- und Kommunikationstechnologien auszustatten. Dies ermöglicht sowohl den Datenaustausch mit Leitzentralen über Kapazitäts-, Bewegungs- und technische Parameter der Ladungsträger als auch den direkten Informationsaustausch der Ladungsträger untereinander. Darauf aufbauend lassen sich umfassende Tracking- & Tracing-Systeme etablieren. Durch intelligente Vernetzung kann frei verfügbare Transportkapazität besser lokalisiert und über die Zusammenführung der Informationen in Leitzentralen- und Steuerungs-Hubs ein durchgängiges Logistik- und Mobilitätsmanagement der Ladungseinheiten erreicht werden [120].

#### *Personenverkehr: Smart Mobility*

Im Bereich des Personenverkehrs birgt die Entwicklung und der Einsatz von intelligenten Mobilitätsdiensten ein großes Potenzial in sich, indem verkehrs- bzw. fahrtrelevante Informationen, wie beispielsweise Routenplanung, Verkehrsinformationen und Störmeldungen jederzeit abrufbar sind und das Verkehrsverhalten entsprechend angepasst werden kann. Sie helfen darüber hinaus, Verkehrsangebote durch abgestimmte Informations-, Navigations-, Buchungs- und Bezahlprozesse zu vernetzen und so neue Formen der intermodalen Mobilität zu etablieren.

Die Nutzung von IuK-Technologien kann die Integration von verschiedenen Angeboten des öffentlichen und des individuellen Verkehrs befördern helfen, indem in elektronische Auskunft- und Navigationssysteme Übergangsstellen wie z. B. Park-and-Ride, Bike-and-Ride oder Zugang zu Bike- oder Car-Sharing Stationen einbezogen und Routenempfehlungen auf der Basis von Echtzeitinformationen bereitgestellt werden. Damit kann ein leichter Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel in kürzest möglicher Zeit gewährleistet werden. Wird beispielsweise in eine Echtzeitverbindungs-auskunft die Fußgängernavigation zur nächsten Haltestelle und der Erwerb eines elektronischen Tickets über das Smartphone integriert, kann dies sehr wesentlich zur Erhöhung der Akzeptanz öffentlicher Verkehrsdienstleistungen beitragen.

Auch im Bereich des Car-Sharing eröffnen sich vielfältige Potenziale. Über Internetdienste und Smartphone-Apps können Car-Sharing Fahrzeuge nicht nur gebucht werden, sondern es wird auch der genaue Standort des nächstgelegenen verfügbaren Fahrzeugs ermittelt und auf einer digitalen Karte visualisiert. Darüber hinaus wird der momentane Zustand des Fahrzeugs, wie Sauberkeitsgrad und aktueller Tankfüllstand bzw. Ladezustand angezeigt. Der Zugang zum Fahrzeug erfolgt bereits vielfach über elektronische Schnittstellen. So wird z. B. bei „DriveNow“ die DriveNow-ID, ein RFID-Chip auf dem Führerschein, und bei „Car2Go“ die Membercard an das entsprechende Lesegerät hinter der Windschutzscheibe gehalten und das In-Car-System im Auto über die persönliche PIN aktiviert. Wichtige Zustandsmeldungen und abrechnungsrelevante Daten werden elektronisch

an die entsprechende Zentrale gesendet. Die Rechnung selbst kann dann per Kreditkarte oder Lastschrift bezahlt werden. Voraussetzung ist, dass sich Kunden über die entsprechenden Online-Plattformen registrieren. Bei den Fahrradverleihsystemen „Call a Bike“ und „Nextbike“ ist ebenfalls vor der Nutzung von entsprechenden Fahrzeugen eine Registrierung durch den Nutzer erforderlich. Die nächstgelegenen Fahrradstationen können mit Hilfe einer Sucheingabe über die Webseite bzw. eine Smartphone-App gefunden werden. Bei „Call a Bike“ sind abhängig vom Ort verschiedene Ausleihverfahren implementiert. So wird z. B. die Telefonnummer auf dem Fahrradschlossdeckel von einem entsprechend registrierten Mobiltelefonanschluss angerufen. Das Entriegeln des Rades erfolgt dann durch den daraufhin gesendeten Öffnungscode. Sind Ausleihstationen vorhanden, erfolgt die Ausleihe über ein zentrales Betriebsterminal nach einer Identifikation per EC-, Kredit- oder Kundenkarte. Bei „Nextbike“ erfolgt die Ausleihe über eine einheitliche Telefonnummer am elektronischen Stations-terminal oder via nextbike-App.

Um den Kunden die flexible Nutzung von Sharing-Angeboten zu erleichtern, entsprechend hohe Nachfrage nach kollaborativen Mobilitätsformen zu schaffen und Zugangsbarrieren abzubauen, sollten sich die Anbieter zum Abschluss von Roaming-Verträgen und zur Etablierung von Roaming-Plattformen, ähnlich den Netzbetreibern in der Telekommunikation, verpflichten. Der Kunde muss dadurch nur ein Vertragsverhältnis mit einem Sharing-Anbieter eingehen und kann dann auch Fremddienste, d. h. Autos und Fahrräder anderer Anbieter ohne bestehendes Vertragsverhältnis nutzen. Dies bedingt gegenseitige Bereitstellungs-, Buchungs-, Accounting- und Verrechnungsbeziehungen der Anbieter untereinander (Carrier-to-Carrier).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass innovative Mobilitätskonzepte in der Smart City auf dem Zusammenspiel von intelligenten kooperativen Fahrzeugen, intelligenter Infrastruktur und Verkehrsmanagementsystemen auf der Basis von einheitlichen Standards und Schnittstellen basieren, um sich gegenseitig mit Informationen versorgen zu können. Dazu werden intuitiv bedienbare mobile Endgeräte für die Verkehrsteilnehmer mit entsprechenden User-Applikationen benötigt, die integrierte multimodale Services für Reisende bereitstellen.

Über eine komplexe Umwelterfassung und Vernetzung von Fahrzeugen, Verkehrsinfrastruktur und Individuen werden schließlich die Voraussetzungen für zukünftiges autonomes Fahren geschaffen. Autonom sind Fahrzeuge, die sich selbständig über Algorithmen gesteuert ohne Fahrer im Verkehr bewegen und den Insassen keine Eingriffsmöglichkeit bieten. Dies wird auch als vollautomatisiertes<sup>7</sup> Fahren bezeichnet, das über die Entwicklungsstufen teilautomatisiertes und hochautomatisiertes Fahren verläuft. Während beim teilautomatisierten Fahren das Fahrzeug die Längs- und

---

<sup>7</sup> Gemäß VDA Arbeitskreis „Automatisiertes Fahren“ und Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), vgl.: VDA Jahresbericht 2014, S. 166

Querprüfung zeitweise übernimmt und der Fahrer das System dauerhaft überwacht, ist eine dauerhafte Überwachung beim hochautomatisierten Fahren nicht mehr erforderlich. Systemgrenzen werden selbständig vom Fahrzeug erkannt und es existiert ausreichend Zeit zur Übernahme der erforderlichen Funktionen durch den Fahrer. Beim vollautomatisierten Fahren bewältigt das Fahrzeug schließlich alle Situationen autonom. Auf lange Sicht kommen auf Straßen mit einer Infrastruktur für hoch- und vollautomatisiertes Fahren die Vorteile vernetzter, kooperierender Verkehrssysteme deutlich zum Tragen<sup>8</sup>. Sonderfahrzeuge, wie z. B. Krankenwagen oder Feuerwehren können so priorisiert werden, dass Verkehrsteilnehmer, die ihre Fahrt verlangsamen, automatisch auf andere Spuren ausweichen. Die Fahrzeuge entlang der Strecke erhalten eine Mitteilung über die Prioritätsfahrt und bekommen die Anweisung, ihre Spur vorübergehend zu verlassen und sie nach Passieren der Sonderfahrzeuge wieder zu benutzen [121]. Der Verkehr wird dadurch sicherer, effizienter und komfortabler. Um das Potenzial von automatisierten Fahrfunktionen stufenweise in urbanen Ballungsräumen zu heben, bedarf es der Anpassung von Verkehrsinfrastrukturen (z. B. Markierungen, Nachrüstung von Lichtsignalanlagen), Beherrschung der Komplexität und der Klärung zahlreicher Zulassungsvorschriften sowie nationaler und internationaler Rechtsfragen. So ist gegenwärtig das vollautomatisierte Fahren auf Straßen aufgrund des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr von 1968 nicht möglich. Dieses wurde jedoch 2014 dahingehend angepasst, dass Systeme zum automatisierten Fahren dann möglich sind, wenn diese jederzeit durch den Fahrer übersteuert oder abgeschaltet werden können oder sie den technischen Vorschriften des europäischen Zulassungsrechts (ECE-Regeln) entsprechen. Voraussetzung des In-Kraft-Tretens dieser Änderung, die bis 2016 erwartet wird, ist die Zustimmung der Vertragsstaaten (vgl. [122]).

### 3.2.3 Versorgungsinfrastrukturen

#### *Elektrisches System*

Um den Anforderungen der Smart City an die Energieversorgung zu begegnen, müssen die Energieversorgungsstrukturen in einem sinnvollen Mix aus Infrastrukturausbau und Infrastrukturintelligenz umgebaut und angepasst werden. Vor allem intelligente Infrastrukturen eröffnen neue Perspektiven hinsichtlich einer zuverlässigen und gleichzeitig effizienten Energieversorgung. In der Vergangenheit wurden vor allem die Verteilungsnetze der Mittel- und Niederspannungsebene, also sinnbildlich die „letzte Meile“ zu den Verbrauchern, nicht überwacht, weil keine Notwendigkeit dafür bestand. Durch eine Netzanalyse und dann eine gezielte kontinuierliche Überwachung dieser Netzebenen an den richtigen Stellen, werden die oben dargestellten Probleme sichtbar und lokalisierbar, so dass gezielt darauf reagiert werden kann. Gleichzeitig ermöglicht ein Infrastruktur-Monitoring auch die Erhöhung der Effizienz im Betrieb, denn viele Anforderungen hin-

---

<sup>8</sup> In diesem Zusammenhang wird künftig von Cyber-Physical-Systems gesprochen.

sichtlich der Versorgungszuverlässigkeit, auch hinsichtlich der Wartung, lassen sich durch intelligente Systeme, auch als Netzintelligenz bezeichnet, und den damit verbundenen hohen Automatisierungsgrad effizienter erfüllen. Die kontinuierliche Überwachung des Netzzustands mit Hilfe von Messtechnik ermöglicht ein gezieltes Eingreifen durch Regelungsmöglichkeiten im Fall von Netzengpässen und damit einen sicheren Netzbetrieb unter erhöhten Anforderungen. Gleichzeitig können diese intelligenten Systeme den Netzbetrieb auch dann unterstützen, wenn es zu unvorhergesehenen Ausfällen im Netz, beispielsweise aufgrund von Störungen gekommen ist. Bei entsprechender Auslegung der Systeme können Netzbetreiber in Sekunden den Ort, die Ursache und die Auswirkung von Störungen erkennen, ggf. erste Gegenmaßnahmen oder Umschaltmaßnahmen einleiten und den Entstörungsprozess damit effizienter durchführen. Durch die gezielte Überwachung des Zustands von Netzkomponenten mit Hilfe von Netzintelligenz lassen sich aufkommende Schwachstellen bereits im Voraus identifizieren und beheben, bevor sie zu einer Störung führen.

#### Kommunikation als Backbone der Infrastrukturintelligenz

Der Aufbau von Energieversorgungsstrukturen umfasst eine Vielzahl unterschiedlichster Komponenten, die über teilweise erhebliche räumliche Entfernungen miteinander interagieren. Häufig werden Informationen von einzelnen Komponenten jedoch an einem zentralen Punkt benötigt. Insbesondere integrierte Systeme sind auf eine derartige Informationsaggregation angewiesen. Es ist offensichtlich, dass eine Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten erst das Zusammenspiel als intelligentes System ermöglicht. Der Kommunikationsinfrastruktur kommt daher eine zentrale Rolle beim Aufbau einer intelligenten Energieversorgungsinfrastruktur zu. Sie muss für den Austausch der erforderlichen Informationen zwischen den einzelnen Komponenten sorgen. Dabei müssen einige Randbedingungen erfüllt werden: Die Informationsübertragung muss in einem bestimmten Zeitfenster erfolgen können, um eine Aktualität der Daten gewährleisten zu können. Gleichzeitig muss die Übertragung vor dem Zugriff durch Unbefugte geschützt werden, da infrastrukturkritische Daten übertragen werden.

Als Übertragungswege bieten sich sowohl leitungsgebundene Verfahren wie auch Funktechnologien an. So wird der PowerLine-Kommunikation eine wichtige Bedeutung beigemessen, da in diesem Fall das Übertragungsmedium für Information und Energie identisch ist. Nachteilig wirkt sich aus, dass im Fall eines Ausfalls des Energienetzes ggfs. auch die Kommunikationsinfrastruktur großflächig betroffen ist. Auch den öffentlichen Mobilfunknetzen kommt aufgrund der großflächigen Verfügbarkeit eine hohe Bedeutung zu. Ein auf die beschriebene Weise entwickeltes Smart Grid ermöglicht nicht nur die Einbindung von zusätzlichen regenerativen Erzeugungsanlagen, Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen, sondern auch die Einbindung von spartenübergreifenden Technologien (z.B. Power2Gas, Power2Heat) und Energiespeichern. Die Einbindung möglichst vieler Netzteilnehmer in ein intelligentes System ermöglicht eine effiziente Echtzeit-Angleichung von Erzeugungs- und Nachfragekurve innerhalb der Smart City.

### Smart Metering: Messen, Zählen, Abrechnen von Elektrizität, Gas, Wärme, Wasser

In enger Verbindung zur Überwachung der elektrischen Netze in der Smart City stehen Ansätze zur Integration von Smart-Meter-Systemen. Diese können neben dem bisher beschriebenen integrierten Aufbau auch modular aufgebaut sein. In dieser Variante erfolgt eine logische und funktionelle Auftrennung des Smart Meters in eine Zähleinrichtung und einen davon unabhängigen Datenkonzentrator. Der Vorteil dieses modularen Aufbaus ist die mögliche Integration der Zähler weiterer Sparten eines Haushaltes (Gas-, Wasser-, Wärmezähler) in das Smart-Meter-System, die über einen leitungsgebundenen oder kabellosen Meter-Bus (M-Bus) nach dem Single-Master/Multiple-Slaves-Prinzip an den Datenkonzentrator angeschlossen werden [40]. Aufgrund dieser Spartenintegration wird der Datenkonzentrator in diesem Fall folgerichtig als Multi-Utility-Communication-Controller (MUC-Controller) bezeichnet. Der MUC-Controller kann im Zähler integriert sein oder als externes Modul an den Zähler angeschlossen werden. Letztere Variante bietet den Vorteil, dass als Zähleinrichtung ein bereits standardisierter EDL21 verwendet werden kann.

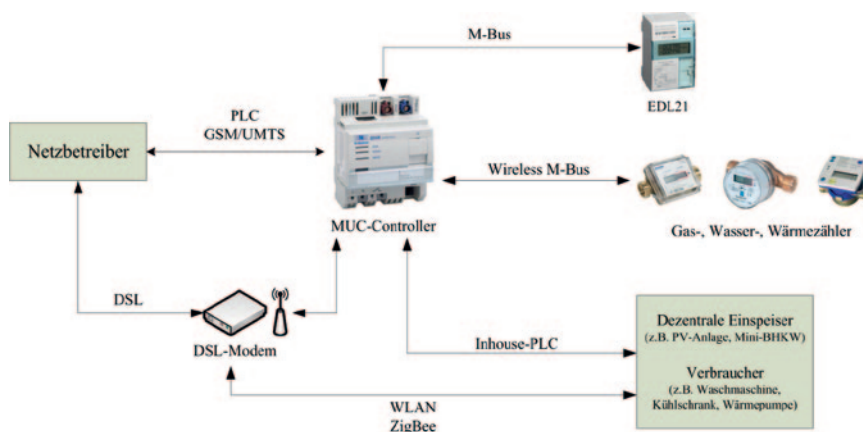


Abbildung 22: Smart Metering Kommunikationsarchitektur

Derzeit ist noch nicht abzusehen, in welcher standardisierten Form sich Smart Metering in Deutschland durchsetzen wird. Neben einer Minimallösung, die lediglich einen eHZ umfasst, der über ein Display den elektrischen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit visualisiert, ist zwischen dem modularen Konzept mit Spartenintegration über einen MUC-Controller und einer Maximallösung, die über Fernprogrammierung und ein transportables Display verfügt, zu unterscheiden [41].

### *Netzintegration der Elektromobilität*

#### Hintergrund und Problemstellung

Derzeit sind rund 7.000 Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen [50]. Diese Anzahl ist so gering, dass sich durch die Ladung der Fahrzeuge keine signifikanten Auswirkungen auf das elektrische Netz ergeben. Die technologischen Fortschritte – insbesondere leistungsstärkere und gleichzeitig

günstigere Fahrzeugakkus [51] – lassen allerdings erwarten, dass elektrisch angetriebene Fahrzeuge zukünftig wesentlich stärker genutzt werden. Zusätzlich dürften auch die politischen Bemühungen, welche bis 2030 sechs Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen anstreben [52], einen Beitrag zum Ausbau der Elektromobilität leisten. Sollte die Zahl der Elektrofahrzeuge in Zukunft den politischen Zielen entsprechend steigen, wäre der Einfluss auf das Stromnetz indes nicht mehr vernachlässigbar. Denn das Niederspannungsnetz, an welches die meisten Ladesäulen angeschlossen werden, ist nicht für den zusätzlichen Anschluss solch großer Leistungen ausgelegt.

#### Lösungsansatz: Intelligente Automatisierung der Ladeinfrastruktur

Um eine Überlastung des Netzes zu vermeiden und gleichzeitig die Netzausbaukosten so gering wie möglich zu halten, ist eine „intelligente“ und automatisierte Steuerung der Ladeinfrastruktur nötig. Dies bedeutet, dass eine gleichzeitige Ladung vieler Fahrzeuge, welche das Netz – zumindest derzeit – nicht bewältigen könnte, vermieden wird, indem die Ladevorgänge zeitlich verteilt bzw. auf lastschwächere Zeiten verlegt werden. Die im Zuge dieser Automatisierung verwendeten Ladekonzepte müssen dabei so ausgelegt sein, dass sich möglichst geringe Auswirkungen auf die Fahrzeugnutzer ergeben. Z.B. sollte es auch in Zeiten mit großer Last (wenn also viele Fahrzeuge gleichzeitig zur Ladung an das Netz angeschlossen sind) nicht zu kompletten Mobilitätsverlusten kommen.

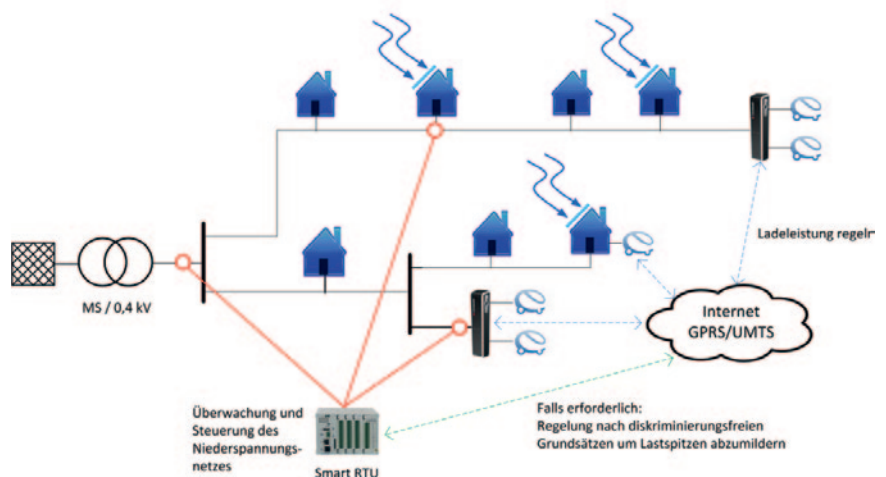


Abbildung 23: Konzept einer intelligenten und automatisierten Steuerung der Ladeinfrastruktur

Eine derartige Automatisierung bringt auch Vorteile in Bezug auf die Kombination der Elektromobilität mit regenerativen Energieerzeugungsanlagen. So kann beispielsweise die Ladung der Elektrofahrzeuge verstärkt in Zeiten hoher erneuerbarer Einspeisungen mit gleichzeitig geringer sonstiger Last erfolgen. Dies entlastet die Netze, welche die ansonsten „überschüssige“ Energie dann nicht mehr transportieren müssen, und reduziert gleichzeitig den zukünftig benötigten Energiespeicherbedarf, da die erzeugte Energie bereits verwendet wurde und somit nicht mehr gespeichert werden muss.



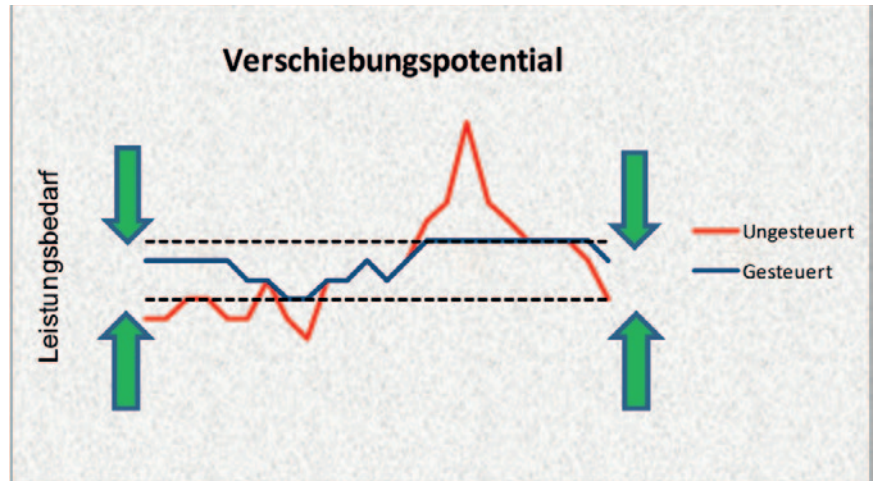


Abbildung 24: Verschiebungspotenzial der Ladeleistung von Elektrofahrzeugen

Der zusätzliche Speicherbedarf könnte noch weiter reduziert werden, sofern der Akku eines Elektrofahrzeuges auch Energie in das Netz abgeben würde. Hierbei müsste allerdings darauf geachtet werden, dass dem Fahrzeugnutzer trotz der Energieabgabe aus dem Fahrzeugakku noch genügend Energie für seine nächste Fahrstrecke bleibt. Bei heutigen Akkus würde zudem die Lebensdauer durch häufigere Be- und Entladungen verringert. Die Kenntnis der Nutzeranforderung an Mobilität kann durch Nutzerprofile und Kenntnisse über den Nutzer und dessen Terminplanung und Gewohnheiten abgeleitet werden. Mit dieser Kenntnis kann das Laden des Fahrzeugakkus beeinflusst werden. Eine Übertragung der Nutzeranforderungen an eine zentrale Cloud, die die Ladevorgänge optimal beschreibt ist u.a. aus Datenschutzgründen problematisch. Daher sollten dezentrale Algorithmen bevorzugt werden, die eine verteilte Entscheidung zwischen Fahrzeugen mit Kenntnis der Nutzeranforderungen und Energienetze vorsieht.

#### Ausbau der Ladeinfrastruktur

Ergänzend ist zu erwähnen, dass neben dem elektrischen Netz auch die Ladeinfrastruktur an eine steigende Elektrofahrzeuganzahl anzupassen wäre. Dafür müsste einerseits die Anzahl der öffentlichen Ladestationen stark erhöht werden, da ansonsten nur Personen mit einem eigenen Stellplatz (inklusive Stromversorgung) ein E-Fahrzeug sinnvoll nutzen könnten, und andererseits die Ladestationstechnik an die zukünftig erforderliche Automatisierung angepasst werden. Insgesamt erfordert eine flächendeckende Elektromobilität also ein ebenso flächendeckendes Netz aus „intelligenten“ und automatisierten Ladestationen.

### 3.2.4 Gesundheitswesen

Ähnlich wie viele andere Bereiche profitiert auch das Gesundheitswesen in hohem Maße von der schnellen Entwicklung von IT-Technologien und Technik im Allgemeinen. Die steigenden technischen Möglichkeiten entfalten vielfältige Potenziale und ermöglichen eine schnellere Hilfe in Notsituationen, bessere Betreuung und längere Unabhängigkeit und Selbständig-

keit älterer Patienten. Einige dieser positiven Entwicklungen werden im Folgenden eingeführt und an dem Beispiel von e-health in der Akutversorgung und bei chronischen Erkrankungen erörtert.

#### *Treiber und mobile Komponenten*

Der Bereich der elektronischen Unterstützungs- und Überwachungssysteme für den Gesundheitsbereich (E-Health) erfreut sich durch das vielfältige Angebot an Geräten und Komponenten – sogenannten Gadgets – großer Beliebtheit<sup>9</sup>. Da diese Geräte dem Lifestyle-Sektor zugeordnet werden können und das von den Anwendern auch akzeptiert ist, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, Lifestyle als „Trojanisches Pferd“ für den Gesundheits- und Vorsorge-Bereich zu verwenden.

So wundert es nicht, dass Apple mit seiner Ankündigung, die neue iWatch könnte in absehbarer Zeit auch Glucose und andere „Gesundheitsfaktoren“ messen<sup>10</sup> großes Interesse gefunden hat, auch wenn diese Fähigkeit des Gadgets angezweifelt wird<sup>11</sup>.

Andere Anbieter haben bereits seit einiger Zeit Smartwatches auf dem Markt mit zum Teil beachtlichen technischen Fähigkeiten<sup>12</sup>.

Gerade der Freizeitbereich schätzt bereits seit einigen Jahren die Kombination aus Smartphone und Pulssensorik zur Überwachung des Trainingszustandes, z.B. beim Jogging<sup>13</sup>. Die dafür bevorzugte Schnittstelle ist Bluetooth LE.

Die Möglichkeit, Sensoren über Bluetooth oder andere Standardschnittstellen mit mobilen Komponenten und damit dem Internet zu verbinden, eröffnet neue Möglichkeiten bei der Überwachung von Patienten<sup>14</sup>.

Die Förderaktivitäten im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung hat bereits in den zurückliegenden Jahren wichtige Impulse für den Bereich der AAL- Systeme (Ambient Assisted Living)<sup>15</sup> gesetzt und eine wichtige Grundlage dafür geschaffen, den neu geschaffenen AAL-Sektor und dessen Komponenten nun mit dem Internet der Dinge zu verknüpfen, um weiteren Mehrwert für Patienten, Ärzte und nicht zuletzt Angehörige zu schaffen.

Neue Ansätze im Bereich der Telemedizin, die sich in ihrer modernen Form fast lückenlos in den AAL-Bereich und Lifestyle-Sektor integrieren lässt, wurden in Deutschland möglich aufgrund der Beschlüsse und Empfehlungen zur Telemedizin, veröffentlicht während des Deutschen Ärztetages 2011 in Kiel.

---

9 Anlässlich der IFA 2014 werden fast täglich neue Ankündigungen im Vorfeld der IFA zu Gadgets, vor allem aber SmartWatches gemacht. Dieser Technik-/LifeStyle-Bereich entwickelt sich zu einem der Hauptthemen auf der IFA.

10 Siehe dazu: <http://www.telegraph.co.uk/technology/apple/10886303/iWatch-and-iPhone-6-launching-in-October.html>; 17.08.2014-19.25h MESZ

11 Siehe dazu: <http://www.networkworld.com/article/2226419/wireless/why-the-iwatch-won-t-measure-glucose-levels.html>; 17.08.2014-19.00h MESZ

12 Siehe dazu: [www.samsung.de](http://www.samsung.de); [www.sony.de](http://www.sony.de); [www.lg.de](http://www.lg.de); [www.ti.com](http://www.ti.com); <http://www.garmin.com/de-DE>;

13 <http://www.polar.com/de>; <http://www.sigmasport.de>; <http://www.beurer.com/web/de>;

14 Siehe dazu auch: [www.mas-aal.eu](http://www.mas-aal.eu).

15 <http://www.aal-kongress.de>; <https://ssl.vdivde-it.de/aaljp-transnationaler-informationstag/deutschland>;

Derzeit geht die medizinische Versorgung in der Fläche in Deutschland zurück<sup>16</sup>. Gleichzeitig wird die Bevölkerung älter<sup>17</sup>. Die Möglichkeiten der modernen Elektronik, des Internets und der mobilen Kommunikation können dabei helfen, die Versorgung von Patienten und älteren Menschen nicht nur zu unterstützen, sondern möglicherweise sogar im Vergleich zur Vergangenheit in der Qualität zu verbessern.

#### *E-Health in der Akutversorgung*

Tendenziell werden in Zukunft all diejenigen medizinischen Bereiche durch E-Health-Technologien unterstützt, die direkt oder indirekt mit dem demografischen Wandel zu tun haben. Dazu gehören natürlich in erster Linie die altersbedingten und chronischen Erkrankungen.

Es stellt sich nun die Frage, ob auch die Akutversorgung durch E-Health sinnvoll unterstützt werden kann und welche Applikationsszenarien für diese Unterstützung denkbar sind.

#### Notfallmedizin

Die mobile Notfallmedizin vor Ort (klassischer Fall des Notarzteeinsatzes) kann dadurch profitieren, dass Informationen über den Zustand des Patienten bereits am Einsatzort – beim Patienten zu Hause oder an einer Unfallstelle – erhoben und ausgewertet werden. Die Vorteile für den Patienten sind eine schneller einsetzende zielgerichtete Hilfe. Folgendes Szenario ist denkbar:

- Personal vor Ort ist mit mobilen Kommunikationsmitteln ausgerüstet
- Personal vor Ort hat wearable-Equipment (physikalische Sensoren) für die Messung von Vitalparametern am Patienten. Die Messdaten werden auch während des gesamten Transportes in ein medizinisches Behandlungszentrum (Krankenhaus) in Echtzeit übermittelt.
- Personal kann bereits vor Ort mit Point-of-Care-Geräten (POC-Geräte) Blutuntersuchungen vornehmen.
- Alle erhobenen Daten werden vor Ort dem Personal zu Verfügung gestellt und gleichzeitig dem medizinischen Zentrum zur weiteren Auswertung und zur Vorbereitung der weiteren Behandlungsschritte zugeleitet.
- Das Personal des medizinischen Behandlungszentrums kann mit dem Einsatzpersonal vor Ort kommunizieren. Die im medizinischen Zentrum vorhandene Expertise steht am Point-of-Care (hier: Einsatzort) immer zur Verfügung.

Durch das geschilderte Szenario soll frühzeitig (rechtzeitig) der Zustand des Patienten besser eingeschätzt werden können. Dazu sind Geräte notwendig, die mehr Informationen mit höherer Qualität am Point-Of-Care zur Verfügung stellen können. Wichtig dabei ist auch die Möglichkeit, Werte von Markern aus Blut und anderen Körperflüssigkeiten neben den physikalischen Parametern erfassen und über Methoden des mobile Computing zur Information zu verdichten.

<sup>16</sup> <http://www.bundesaerztekammer.de/page.asp?his=0.5.1160.7125; 17.08.2014.20.00-MESZ>

<sup>17</sup> Siehe dazu statistisches Bundesamt: [www.destatis.de](http://www.destatis.de) : Jahresbericht 2013

### Unterstützung der Intensivmedizin

Patienten auf Intensivstationen werden hinsichtlich ihrer (physikalischen) Vitalparameter überwacht. Die markergestützte Diagnostik wird nur bei Bedarf durchgeführt. Betrachtet man eine der häufigsten Ursachen für den Aufenthalt auf Intensivstationen, die Sepsis, so ist nach wie vor für eine richtige Beurteilung des Patientenzustandes ein hoher Erfahrungsschatz des behandelnden Mediziners essentiell. Diese Erfahrung ist nicht für jede Intensivstation in deutschen Krankenhäusern verfügbar. Dennoch kann derartige Expertise aus medizinischen Zentren zur Verfügung gestellt werden. Es ergibt sich folgendes Szenario:

- Personal vor Ort ist mit mobilen Kommunikationsmitteln ausgerüstet
- Patienten sind mit wearable-Equipment (physikalische Sensoren) für die Messung von Vitalparametern am Patienten ausgestattet. Daten können in ein medizinisches Fachzentrum für Sepsis (andere Krankheitsbilder sind denkbar) in Echtzeit übermittelt werden.
- Die vorliegenden Informationen, aber auch die bereits erhobenen und aktuellen Messdaten, können in das Fachzentrum übermittelt werden.
- Es besteht Kontakt (Frequenz je nach Bedarf) zwischen den Medizinerinnen des Fachzentrums und des behandelnden Krankenhauses.
- Es können jederzeit mit Point-of-Care-Geräten (hier: bedside POC) Blutuntersuchungen und Untersuchungen an anderen Medien vorgenommen werden.
- Alle erhobenen Daten werden in Echtzeit zu Verfügung gestellt und gleichzeitig dem medizinischen Zentrum zur weiteren Auswertung und zur Vorbereitung der weiteren Behandlungsschritte zugeleitet.
- Bei Bedarf können weitere medizinische Zentren hinzugezogen werden.
- Der Datenaustausch erfolgt safe and secure.

Das Hinzuziehen von Fachexpertise mit hohem Erfahrungshintergrund kann für den Patienten überlebenswichtig sein. Die behandelnden Mediziner vor Ort lernen gleichzeitig von ihren erfahreneren Kollegen.

Das Szenario ist auch bei anderen Krankheitsbildern anwendbar, etwa bei kardio-vaskulären Erkrankungen<sup>18</sup>.

### *E-Health bei chronischen Erkrankungen*

Die häufigste Todesursache in Deutschland sind kardiovaskuläre Erkrankungen. Diese stellen gleichzeitig auch den höchsten Anteil an chronischen Erkrankungen in Deutschland dar.

In Deutschland sind zurzeit ca. 6 Mio. Menschen an Diabetes mellitus erkrankt. Die Auswirkungen dieser Diabetes-Form sind neben den bekannten Einflüssen auf den kardiovaskulären Zustand des Patienten auch negative Einflüsse auf den zerebralen Zustand.

Für beide chronische Erkrankungen können Unterstützungsszenarien entwickelt werden.

<sup>18</sup> Siehe dazu auch: [www.mas-aal.eu](http://www.mas-aal.eu); <http://telemedizin.charite.de/forschung/>

### Kardiovaskuläre Erkrankungen

Es gibt bereits seit Jahren intensive Aktivitäten zur Überwachung von chronischen Herz-Kreislauf-Risikopatienten, die mit Erfolg umgesetzt werden. Es geht bei allen Maßnahmen darum, rechtzeitig einen gefährlichen, lebensbedrohenden Akutzustand eines Patienten zu erkennen und möglichst schnell zu helfen. Ein wichtiges weiteres Ziel ist die Reduzierung der Hospitalisation, um dadurch drastisch Kosten senken zu können. Das folgende Szenario bezieht sich auf die häusliche Umgebung des Patienten:

- Der Patient befindet sich zu Hause.
- Der Patient verfügt über mobile Kommunikationsmittel.
- Der Patient verfügt zu Hause über ein POC-Gerät, das es ihm erlaubt, kardiovaskuläre Marker aus Kapillarblut zu bestimmen.
- Der Patient kann physikalische Parameter ständig über wearable Equipment an das Telemedizin-Zentrum übertragen. Er überträgt einmal täglich auch Ergebnisse von Blutuntersuchungen.
- Der Patient kann jederzeit Kontakt zum Telemedizin-Zentrum aufnehmen.
- Das Telemedizinzentrum nimmt einmal täglich mit dem Patienten Kontakt auf.
- Hilfe kann automatisch verständigt werden.

### Diabetes (Typ-2)

Bei dieser Diabetes-Form handelt es sich um eine typische Wohlstandskrankheit, die über eine Veränderung der Lebensgewohnheiten sehr gut und positiv beeinflusst werden kann. Dazu reicht es für eine positive und nachhaltige Veränderung des Krankheitsbildes nicht aus, den Blutzuckerwert einfach nur in herkömmlicher Weise zu messen. Vielmehr ist es von Vorteil, häufiger am Tage zu messen und diese Messungen für den Tag – aber auch über längere Zeiträume - auswerten zu lassen. Ein dazugehöriges Szenario sieht wie folgt aus:

- Der Patient ist mit modernen, mobilen Kommunikationsmitteln ausgestattet.
- Der Patient kann die Blutzuckerwerte in ein telemedizinisches Webportal safe and secure übertragen.
- Der Patient kann die Art und Menge der aufgenommenen Nahrung in ein telemedizinisches Webportal safe and secure übertragen. Dabei helfen Apps auf dem Smartphone, so dass die Nahrung nicht beschrieben werden muss.
- Der Patient überträgt safe and secure seine körperlichen Aktivitäten in das Portal. Die Aktivitäten werden über Sensoren am Körper erfasst (Wearables).
- Der Patient bekommt ein Feedback aus dem Portal.
- Fachkräfte, sogenannte Diabetes-Trainer, setzen sich zudem regelmäßig mit dem Patienten in Verbindung und geben Motivationshilfen.
- Der Patient erhält zusätzlich maßgeschneiderte Hinweise und Lernangebote über das Portal.

Man kann bei der Umsetzung des Szenarios die gesamte Datenübertragung automatisch vornehmen oder – wie hier dargestellt und in Deutschland zurzeit eher akzeptiert – dem Patienten die letztendliche Entscheidung überlassen.

Eine wichtige Komponente ist in der Tat die Kommunikation der Trainer mit dem Patienten. Diese Kommunikation erfordert Zeit, kann aber aufgrund der mobilen Struktur des Systems jederzeit und von überall her erfolgen. Das erscheint auch notwendig zu sein, da es dem Patienten so möglich ist – wie bei Gesunden – Urlaube und Aktivitäten nicht nur zu Hause frei zu gestalten.

#### Altersbedingte chronische Erkrankungen

Vor allem demente Patienten mit zahlreichen Komorbiditäten bedürfen in der eigenen Wohnung und in der Pflegeeinrichtung der Unterstützung. Dabei müssen unterschiedliche Morbiditäts- und Multimorbiditätsgrade berücksichtigt werden.

Ein Unterstützungssystem sollte aus folgenden 5 Komponenten bestehen:

- Die **Raumsensorik**, die eine Überwachung der Aktivitäten in der Wohnung oder der Pflegeeinrichtung ermöglicht und kombiniert wird mit einer Sturzdetektion und das Eintreten in sogenannte Risikozonen (Bad, Küche, Treppenhaus) meldet.
- Die **Patientensensorik**, die ein Messen der Vitalparameter und ausgewählter Blutmarker (z.B. cardiovaskuläre Marker, Glucose) erlaubt. Dabei werden die Werte an die betreuende medizinische Einrichtung (Krankenhaus, Hausarzt) übermittelt und täglich ein Feedback gegeben. Dieses System verfügt auch über eine Alarmfunktion für Notfälle. Ferner soll eine Stressüberwachung stattfinden, die gepaart werden kann mit dem Feststellen des momentanen Aufenthaltsortes der Patienten.
- Ein **Kommunikationssystem**, das es erlaubt, zwischen dem multimorbiden Menschen den Angehörigen oder dem Pflegedienst oder der medizinischen Einrichtung jederzeit eine Kommunikation herzustellen. Dieses System stellt auch eine Notruffunktion bereit und erlaubt das Einbinden externer medizinischer Expertise (Telemedizin).
- Die unterstützende **Hausautomation**, die über Aktoren lebenserleichternde und -sichernde Funktionen bereitstellt. Dazu gehört z.B. das automatische Bedienen der Rollläden, die Überwachung des Herdes oder Kühlschranks, die Lichtsteuerung, die für die 5. Komponente wichtig ist und andere.

Ein solches System soll erlauben, den alten und/oder multimorbiden Menschen so lange wie möglich in der eigenen Wohnung – und damit einer vertrauten Umgebung – leben zu lassen, ohne dass Gefahr für die Gesundheit oder das Leben der Überwachten besteht.

Das System sollte als Plattform angelegt werden, damit es in leicht veränderter Form auch in einer Pflegeeinrichtung benutzt werden kann.

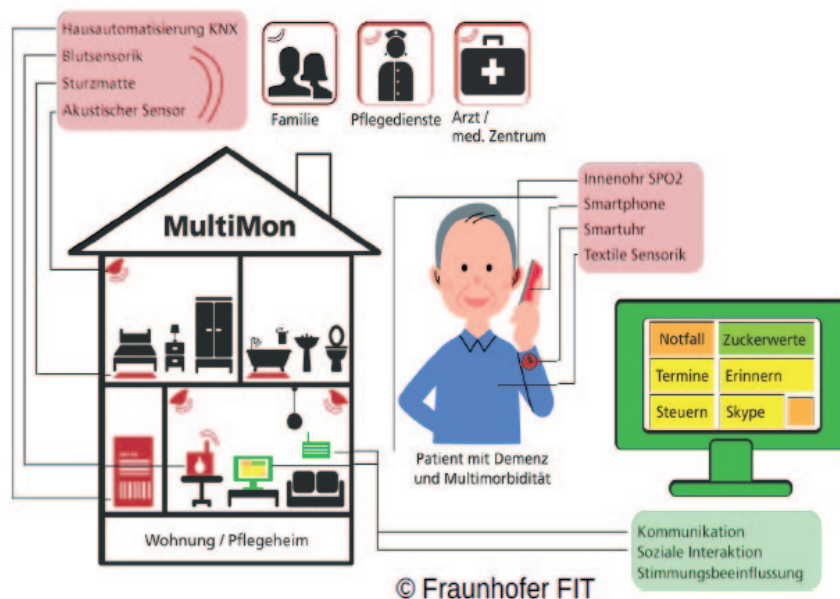


Abbildung 25: Darstellung eines Unterstützungssystems als Plattform für multimorbide Patienten

Daraus ergeben sich zwei Szenarios:

**Szenario-I:** Der alte Mensch in der eigenen Wohnung, der dort unterstützt und überwacht verbleiben kann, bis ein Übergang in eine Pflegeeinrichtung unumgänglich ist. Die Multimorbidität ist dabei – wenigstens zu Beginn – weniger stark ausgeprägt. Mit einer Zunahme der Multimorbidität wird gerechnet.

**Szenario-II:** Der alte, multimorbide Mensch befindet sich in der Pflegeeinrichtung und muss vor allem hinsichtlich der Vitalparameter, der Blutwerte und der Sturzwahrscheinlichkeit stärker überwacht werden. Medizinischer Rat ist häufiger notwendig und kann auch über das Telemedizinische Modul eingeholt werden.

Durch die hier dargestellten Szenarien werden folgende wichtige Effekte erzielt:

- Der alte Mensch bleibt länger selbstbestimmt zu Hause und wird dennoch medizinisch und pflegerisch umfassend betreut. Dadurch können massiv Ressourcen eingespart werden, ohne dass die Qualität der Betreuung leidet.
- Medizinische Expertise zu spezifischen Themen kann von überall her aus der Bundesrepublik eingeholt werden, was zu einer Steigerung der Versorgungsqualität führen wird.
- Auch in Gebieten mit geringer Mediziner- und Pflegedichte kann eine ausreichende Qualität der Betreuung dargestellt werden.
- Das vorgestellte System erlaubt eine statistisch fundierte Auswertung von Aktivitäten und Situationen. Dadurch können Studien durchgeführt werden und eine unmittelbare Verbesserung der Situation der Gepflegten und eine Qualitätssteigerung der Betreuung erreicht werden.

Das hier skizzierte Unterstützungssystem ist auf maximale Unterstützung, Flexibilität und Anpassbarkeit ausgerichtet.

Man erkennt, dass die Umsetzung eines solchen Unterstützungssystems an wichtige technische und technologische Voraussetzungen geknüpft ist:

- Vorhandensein von Sensoren zur Raumüberwachung und zum Monitoring des Patienten.
- Vorhandensein einer IT- und Kommunikationsinfrastruktur
- Vorhandensein von Software, vor allem Software, die Uls für unterschiedliche Benutzergruppen aufweist.

### 3.2.5 Städtische Verwaltung

Ziel dieses Beitrags ist es, einige wesentliche Bezugspunkte zwischen (E-) Government und Smart Cities aufzuzeigen. Dabei werden einige Ergebnisse aus der jüngeren Forschung, die am Institut für E-Government in Potsdam erarbeitet wurden, dargestellt (siehe Köhl et al. 2014)<sup>19</sup>. Klar ist, dass es mit einer einfachen Digitalisierung der Verwaltung nicht getan ist. Vielmehr sind Verfahren, Prozesse und auch Strukturen zu verändern, um zu einem Smart Government zu gelangen. Dazu werden im Beitrag ausgewählte Formen der Vernetzung mit E-Government dargestellt. Aufgrund dieser Veränderungen ist zu fragen, was mit zum Teil über Jahrhunderte gewachsenen Institutionen bzw. Prinzipien der Staats- und Verwaltungsorganisation geschieht, ob sie überhaupt noch gebraucht werden oder inwieweit sie weiterentwickelt werden können. Der Beitrag fokussiert dabei vor allem auf das Basisprinzip der Territorialität des Verwaltungshandelns und das Prinzip der Zuständigkeit. Im Abschlusskapitel wird ein soziotechnischer Gestaltungsansatz vorgeschlagen, da Smart Government mehr bedeutet, als bloßen Technikeinsatz.

#### *Vernetzte Verwaltung mit E-Government<sup>20</sup>*

Die Begriffe Vernetzung bzw. Netzwerk werden je nach Disziplin recht unterschiedlich verwendet. Bei E-Government geht es weniger um eine rein technische Vernetzung, sondern vielmehr um die organisatorischen Gestaltungspotenziale, die sich daraus ergeben. Diese werden am besten aus einer prozessorientierten Betrachtung des Verwaltungshandelns deutlich, denn Netzwerke entstehen, wenn die Ausführung von Teilprozessen entfernungsunabhängig organisiert wird. Zusammengefasst: Bei vernetztem E-Government handelt es sich um ein sozio-technisches Netzwerk, an dem mehr als zwei Akteure beteiligt sind, die organisations- und/oder sektorübergreifend auf Basis einer neuen Arbeitsteilung zusammenarbeiten, um effizienter und effektiver öffentliche Leistungen zu erbringen.

Dabei gibt es jedoch nicht die eine vernetzte Verwaltung, sondern mit E-Government sind unterschiedliche Ausprägungen möglich. Die Kernebene

<sup>19</sup> Die Ausführungen in diesem Beitrag basieren auf den Erkenntnissen des Forschungsprojektes „Stein-Hardenberg 2.0, welches von Juni 2011 bis März 2014 durchgeführt wurde. Die Projektergebnisse wurden umfassend in einem Ergebnisband beim Verlag edition sigma veröffentlicht. (Siehe Köhl et al. 2014)

<sup>20</sup> siehe Köhl et al. 2014.; Schuppan 2011



bildet die so genannte Produktionsebene, also wo die öffentliche Leistungserbringung tatsächlich stattfindet. Hier sind vor allem vernetzte Organisationsformen wie One Stop Government oder Shared Services von besonderem Interesse. Aber auch die infrastrukturelle Ebene ist von besonderer Bedeutung, denn sie bezieht sich im Wesentlichen auf Ressourcen, die für die Abwicklung der Geschäftsprozesse unabhängig von einer konkreten Leistung erforderlich sind. Dazu zählen nicht nur IT-Infrastrukturen im engeren Sinne, sondern weitere Ressourcen, wie z.B. Identitäts- und Zugangsmanagement, Informationsbestände, Verfahrensbeschreibungen, Wissensmanagement etc. Beide Kernebenen werden in den folgenden Abschnitten kurz dargestellt, indem ausgewählte Grundtypen von E-Government-Netzwerken gebildet und bzgl. ihrer Potenziale beispielhaft näher erläutert werden. Die Darstellung ist keineswegs abschließend, sondern fokussiert auf die Netzwerktypen, die für Government in einer Smart City von besonderer Bedeutung sind.

#### „Produktionsnetzwerke“: Modelle für föderale Netzwerke der Leistungserstellung

*Netzwerktyp: Bündelung des „Vertriebs“ von selbstständigen Leistungsprozessen im Interesse ihrer Adressaten*

Bei dem Vernetzungstyp geht es darum, „alle Leistungen aus einer Hand“ bereitzustellen, um zu vermeiden, dass sich Bürger entweder an die falsche Stelle wenden oder eine „Ämterrallye“ durchlaufen müssen. Dies soll mit der Bündelung einzelner Leistungsprozesse in einer gemeinsamen Vertriebsstruktur erreicht werden. Dabei werden Produktion und Vertrieb (Distribution) von Leistungen räumlich und/oder organisatorisch voneinander getrennt, was sich aufbauorganisatorisch in einer Trennung von Front Office und Back Office niederschlagen kann. Die Bündelung des Zugangs zu Verwaltungsleistungen soll dem Grundsatz „Anliegen vor Leistung“ folgen, um administrative Lasten und Belästigungen der Bürger bzw. Unternehmen zu minimieren. Heute in der Praxis vorfindliche Beispiele für One-Stop-Government-Ansätze sind u.a. die einheitliche Behördenrufnummer 115 und der einheitliche Ansprechpartner, der im Rahmen der EU-Dienstleistungsrichtlinie einzurichten war.

Maßgeblicher Nutzen der Zugangsbündelung ist vor allem, dass aus Sicht der Adressaten die komplexe Struktur der Verwaltung „verborgen“ und der mit ihr verbundene Interaktionsaufwand fast gänzlich aufgelöst wird. Zudem kann sich durch eine Trennung der Leistungserstellung das Front Office auf seine Kernkompetenz als Vertrieb bzw. Distribution, das Back Office auf Erstellung der Leistung (Produktion) konzentrieren. Als Konsequenz ist im Front Office eine stärkere Kunden/Bürger- bzw. Dienstleistungsorientierung und im Back Office eine stärkere Spezialisierung auf die jeweilige Fachkompetenz erreichbar. Die Bündelung von Leistungen in einheitlichen adressatenorientierten Zugängen reduziert somit die vielfache unnötige Vorkhaltung paralleler Vertriebsstrukturen (dazu auch Lenk 2012, S. 235ff.).

*Netzwerktyp: Bündelung von Teilleistungen (Prozessmodulen) zu einem abgeschlossenen Leistungsprozess*

Als Grundlage dieses Vernetzungstyps werden Prozesse in Prozessmodule zerlegt, um diese dann flexibel zu kombinieren und nach neuen Kriterien zusammensetzen (vgl. Brüggemeier et al. 2006, S. 66ff.). Auf der Basis von Prozessmodularisierung werden Teile des eigentlichen Leistungsprozesses von der zuständigen Behörde an andere Organisationen/Organisationseinheiten übertragen, wodurch Vernetzung entsteht. Für Behörden bietet sich eine koordinierte Modularisierung und Auslagerung sowie anschließende Re-Integration als wiederverwendbarer Dienst („Service“) an. Für die Auslagerung von Prozessmodulen kommen ganz unterschiedliche Bereiche in Betracht. Grundsätzlich kann unterschieden werden zwischen Prozessmodulen aus dem Querschnittsbereich bzw. Unterstützungsaufgaben, wie Postversand, Identifizierung von Antragstellern, Bezahlvorgänge sowie Überprüfung von Angaben durch Informationsabgleich, und Prozessmodulen aus dem Kernbereich.

Eine verbreitete institutionelle Ausprägung der Bündelung von Prozessmodulen sind so genannte Shared Service Center, die ganz unterschiedlich ausgestaltet sein können. Im Kern geht es darum, häufig wiederkehrende Unterstützungsprozessmodule mit hohem Standardisierungspotenzial in einem eigenständigen Bereich zusammenzufassen, die gleichzeitig von unterschiedlichen Organisationen bzw. Organisationseinheiten in Anspruch genommen werden können (vgl. Schulman et al. 1999, S. 9 ff., Quinn et al. 2000, S. 11 ff.). Dadurch entsteht ein Auftragnehmer-Auftraggeber-Verhältnis zwischen dem Shared Service Center und der den Service in Anspruch nehmenden Behörde. So können Services an einer Stelle gebündelt werden, um Skaleneffekte zu generieren und Overhead-Strukturen zu reduzieren. Des Weiteren steigert diese Kooperationsform die Flexibilität, sich an Schwankungen im Bedarf anzupassen.

#### „Infrastruktur-Netzwerke“: Kooperativ nutzbare föderative Infrastrukturen *Netzwerktyp: Wiederverwendbare vorgefertigte Prozessbausteine*

Um unterschiedliche Formen der Vernetzung auf der Produktionsebene zu schaffen, sind Prozesse zu modularisieren. Trotz der fachlichen Vielfalt der Verwaltungsprozesse zeigt sich, dass die operative Geschäftsabwicklung überwiegend gleichartige Prozesselemente und -funktionen benötigt. Unterschiedliche Prozesse können dann auf der Ausführungsebene mit einer kleinen Anzahl generisch verwendbarer Aktivitätsbausteine bzw. Prozessfunktionen bedient werden. Diese operativen Elemente können sowohl prozess- als auch organisationsübergreifend, z.B. als „Service“, bereitgestellt werden. Werden Prozessbausteine bundesweit einheitlich geschaffen, sind erhebliche Effizienzgewinne zu erzielen, indem die Bausteine behördenübergreifend wieder verwendet und nicht dezentral von jeder einzelnen Behörde konzipiert werden. Mit der Verwendung von Standards in Bezug auf konkrete Prozessschritte sowie auf technische und organisatorische Anforderungen für einzelne Module wird Interoperabilität geschaffen und so die vernetzte Leistungserstellung auf Basis von Modulen maßgeblich erleichtert.

*Strukturwandel: Was passiert mit den klassischen Institutionen?*<sup>21</sup>

Durch ihre Struktur und Funktionsweise heben sich die oben dargestellten neuen Organisationsformen von traditionellen Vorstellungen ab, nach denen klar abgrenzbare und weitgehend selbstständig agierende Organisationen Verwaltungsleistungen erstellen. Neu ist vor allem die zur Umsetzung und für den Wirkbetrieb erforderliche intensivere Zusammenarbeit aller öffentlichen Stellen und gegebenenfalls weiterer in die staatliche Aufgabenerfüllung einbezogener (privatwirtschaftlicher bzw. gemeinnütziger) Leistungsträger. Mit IT und vernetztem E-Government wird die Art der Aufgabenwahrnehmung verändert und Arbeitsteilung zwischen Organisationen neu zugeschnitten. Zudem weichen verschiedene Vernetzungstypen, die durch E-Government möglich sind und Formen der Arbeitsteilung ermöglichen, vom klassischen Hierarchiemodell ab. Daher ist zu fragen, ob neue Formen von Verwaltungsnetzwerken mit Grundsätzen der Staatsorganisation vereinbar sind und inwieweit ihre Konzepte dazu führen, dass diese Prinzipien anders als in der Vergangenheit zu verstehen sind. Der Beitrag betrachtet im Folgenden vor allem das Basisprinzip der Territorialität (Ortsbezug) des Verwaltungshandelns sowie die Verknüpfung von Aufgaben und Organisation durch Festlegung von klaren Zuständigkeiten und damit verbundener Verantwortungssicherung und Steuerung.

Territorialität des Verwaltungshandelns

Territorialität ist ein staats- und verwaltungsorganisatorisches Basisprinzip, das sich als ein fester Bestandteil der Kultur und Struktur der Verwaltung über Jahrhunderte entwickelt hat. Territorialität bedeutet allgemein, dass etwas auf ein bestimmtes geografisches Gebiet bezogen ist. An Territorialität sind weitere Basisprinzipien der Staatsorganisation geknüpft, wie Föderalismus, kommunale Selbstverwaltung, Organisationshoheit und Dezentralisation. Informationstechnik ist eine Technik, mit der räumliche, institutionelle und teilweise auch zeitliche Grenzen überbrückt werden können (Stichwort Vernetzung). Die Funktion der Raumüberbrückung ist so fundamental, dass sie das bestehende Organisationsgefüge beeinflusst. Wie eine effiziente, effektive und legitimationsgerechte Verwaltung erreicht wird, basiert auf teils überkommenen Vorstellungen aus einer Zeit, in der es Informationstechnik noch nicht gab. Entscheidende Frage ist, welche Wirkungen verschiedene IT-Anwendungen, insbesondere Vernetzung, auf die Territorialität der Verwaltung haben. Oder pointiert formuliert: Welche Aufgaben(teile) sind zukünftig noch örtlich zu erfüllen?

Durch E-Government und die damit verbundenen Netzwerktypen ist es nicht mehr erforderlich, dass alle Aufgabenbestandteile in einer Gemeinde ausgeführt werden. Aus Vernetzungssicht sind nur diejenigen Prozess- bzw. Entscheidungsanteile in einer Gemeinde zu belassen, die auch zwingend einen lokalen Verantwortungsbezug erfordern. So bedürfen beispielsweise bestimmte lokale Planungsentscheidungen einer besonderen örtlichen Legitimation, wenn davon die Bürger im Gemeindegebiet in

---

<sup>21</sup> Siehe Köhl et al. 2014.

besonderer Weise betroffen sind. Alle anderen Prozessteile könnten in anderen Arrangements, wie z.B. Shared Service Center, abwickelt werden, sollten diese effizienter und effektiver als die Ausführung in der Gemeinde sein. So kommt es zu einer De-Territorialisierung (Entörtlichung) durch Vernetzung. Im Ergebnis ist für die in einer wie auch immer ausgeprägten Shared-Service-Konstruktion abgewickelten Prozessteile nicht mehr die Einwohnerzahl in einer Gebietskörperschaft maßgeblich, weil dieses Kriterium wegen der Bündelung der Leistungserstellung an anderer Stelle irrelevant geworden ist. Anders ist es, wenn die Gemeinden Front-Office-Funktionen für den physischen Zugang übernehmen. Hierfür ist nach wie vor eine Mindesteinwohnerzahl erforderlich, wenngleich auch hier eine Leistungserbringung über die eigenen Gebietsgrenzen hinaus und damit eine die Territorialität verändernde Wirkung möglich wäre.

Aus Vernetzungs- und IT-Sicht lässt sich eine ganze Reihe von Bestandteilen von Verwaltungsverfahren visualisieren, mit denen eine physische Präsenz zumindest reduziert werden kann und ggf. eine persönliche Inaugenscheinnahme nicht mehr erforderlich ist. Bei Visualisierung werden abstrakte Daten zu Bildern aufbereitet (Card et al. 1999, S. 7), wie bei Geografischen Informationssystemen (GIS) (Moody et al. 2010, S. 3; Lips et al. 2000, S. 174). Hierdurch kommt es zu einer bestimmten Art der Territorialisierung, da ein Territorialbezug hergestellt wird, der bisher in dieser Form nicht möglich war. Aber auch Entörtlichung ist möglich, wenn bspw. die Standortbindung bei drahtloser Kommunikation in Verbindung mit mobilen Endgeräten abnimmt. So können Mitarbeiter der Verwaltung per Laptop Leistungen standortunabhängig vor Ort anbieten oder Außendienste eine Dateneingabe direkt vor Ort vornehmen (vgl. Scholl et al. 2007), wenn sie mit dem Back Office vernetzt sind. Weitere IT-Funktionen, die eine persönliche Inaugenscheinnahme reduzieren können, sind Technologien, mit denen sich eine Verbindung zwischen physischer und elektronischer Welt herstellen lässt (vgl. Snellen/Thaens 2008), wie z.B. Sensortechnik oder GPS (Global Positioning System).

Im Ergebnis wird deutlich, dass IT und E-Government territoriale Bezüge der Verwaltung in vielfältiger Weise verändern können. Territorialität und De-Territorialität sind gleichzeitig auf ganz unterschiedliche Weise vorzufinden. Es geht also nicht um eine einfache Zentralisierung oder Entörtlichung, was Online-Dienste der Verwaltung nahe legen. Vielmehr zeigt sich eine Re-Konfiguration von Territorialität.

#### Zuständigkeit, Verantwortungssicherung und -steuerung

Zuständigkeit bezeichnet die Verknüpfung von Aufgaben und Befugnissen mit dem Organisationsgefüge und den dafür bereitgestellten Ressourcen, in dem sie ausgeführt werden. Die Zuständigkeitsordnung soll die Verantwortlichkeit für die Aufgabenwahrnehmung regeln, indem sie Rechte und Pflichten den Verwaltungsträgern zuordnet (Eifert 2006, S. 248). Bislang wurde davon ausgegangen, dass der Vollzug der Aufgabe in sich geschlossen ist, d.h. keine Aufspaltung in Teilleistungen, sondern selbstständige und vollständige Ausführung durch eine Behörde bzw. -einheit. Aus dieser

Sicht muss jede Neuverteilung von Prozessen über Behördengrenzen hinweg als Aufweichung von Zuständigkeiten erscheinen. Das Konstrukt der Zuständigkeit ist jedoch mit einem unspezifischen Aufgabenbegriff verbunden, der eine differenzierte Betrachtung von Netzwerken bzw. vernetzten Organisationsformen nicht zulässt. Aus Prozesssicht ist jedoch eine differenzierte Betrachtung notwendig, denn in Aufgaben können diverse Subaufgaben oder Teiltätigkeiten enthalten sein, die keine hohe Legitimation erfordern. Vereinfacht gilt: Je hoheitlicher Prozessschritte sind, desto höher ist das erforderliche Legitimationsniveau. Bezogen auf bspw. Shared Service-Einheiten werden Prozessteile mit keinem bzw. geringem Entscheidungsgehalt abgewickelt. Diese Prozesse haben per se ein geringeres Legitimationserfordernis als entscheidungshaltige Prozessteile. Somit können Unterstützungsprozesse aus der Legitimationskette herausgelöst werden, ohne dass die Gesamtlegitimation der Leistungserbringung leidet. Entscheidungshaltige Aufgabenbestandteile oder Prozessmodule mit präjudizierendem Charakter verbleiben weiterhin bei der jeweiligen Behörde. Damit bleibt die zuständige Behörde „Herrin des Verfahrens“ und die Legitimationskette für Entscheidungen erhalten. So trifft bspw. bei Shared Services die Entscheidung, ob und welcher Mitarbeiter eingestellt wird, das Ministerium, die Ausschreibung etc. kann jedoch durch das SSC erfolgen. Auch bei Bürgerdiensten als One Stop Government (Trennung Front und Back Office) kommt es nicht per se zu einer Verschiebung von Zuständigkeiten. Denn die zuständige Stelle bleibt nach außen gegenüber dem Bürger zuständig und damit verantwortlich, auch wenn Fehler bei einem anderen Modulträger auftreten, so dass dann die Leistungserstellung insgesamt fehlerhaft ist. Hintergrund ist, dass die Zuweisung von Zuständigkeit im Außenverhältnis einen Zurechnungspunkt begründet, was wichtig ist, wenn der Adressat der Leistung Rechtsbehelfe einlegen oder Schadenersatz verlangen will. Intern können im Zuge der Aufgabenerledigung viele Stellen verantwortlich sein. Es handelt sich also um Netzwerke, die keine zuständigkeitsverändernde Wirkung im juristischen Sinne entfalten (müssen).

Ungeachtet der Zuständigkeitsfrage bringt jeder der herausgearbeiteten Typen der Vernetzung eine Reihe von (weiteren) Anforderungen mit sich. Insbesondere ist zu klären, wie die Steuerung erfolgt und welche neuen Verantwortungsmechanismen, jenseits der juristischen Zuständigkeit, erforderlich sind. Aufgaben, die bisher von nur einem Träger ausgeführt wurden, werden bei den aufgezeigten Netzwerken verteilt, so dass sich die Frage stellt, wie sich Verantwortungs- und Steuerungsmechanismen ändern bzw. welche neuen in Betracht kommen. Aus Verantwortungssicht stellt sich folgende Frage: Wer ist für was gegenüber wem in welchem Umfang verantwortlich und durch welche Mechanismen wird Verantwortung sichergestellt (Kersbergen/Waarden 2004)?

Bezogen auf die herausgearbeiteten E-Government-Netzwerke wird die bisherige alleinige Verantwortung für die Aufgabenausführung bei einer Behörde aufgegeben, so dass unter Umständen jemand die Verantwortung

für Handlungen trägt, ohne dass diese Behörde oder Person diese Handlung selbst ausgeführt oder unmittelbare Einflussmöglichkeiten auf die Handlung gehabt hätte. Letzteres wird in der traditionellen Staatsorganisation mit Hierarchie (Weisung und Aufsicht) umgesetzt; dies ist nach traditioneller Vorstellung die beste Möglichkeit der demokratischen Rückbindung und Verantwortungssicherung. Auf diese Weise entsteht eine ununterbrochene Legitimationskette, womit jegliches Handeln der Verwaltung legitimiert werden soll (vgl. Böckenförde 1987, S. 894ff.). Bei Netzwerken kann jedoch kaum einseitig hierarchisch gesteuert werden, so dass eine unmittelbare Einflussnahme auf einen Netzwerkakteur nicht möglich ist. Vielmehr sind bei Netzwerken die Steuerungs- und damit Verantwortungsmechanismen stärker horizontal (relational und ggf. informal contracts) angelegt als bei einer alleinigen Aufgabenausführung innerhalb einer Behörde. Im Ergebnis gilt: Je stärker eine öffentliche Leistungserbringung in vernetzten und horizontalen Arrangements stattfindet, desto mehr stellt sich die Frage nach der Verantwortungs- und auch Steuerungssicherung. Vernetztes Arbeiten wirft eine Reihe von Steuerungsproblemen auf, die noch nicht hinreichend untersucht sind. Der äußeren Form nach werden die erforderlichen Arrangements in Service Agreements festgelegt. In der Praxis ergeben sich aber zahlreiche Fragen der Koordination, auch wenn im Vorhinein schon Vieles geregelt ist. Beispielsweise gibt es bei Shared Service Centern einen Auftraggeber (Behörde) und Auftragnehmer (Shared Service Center), jedoch funktioniert de facto die vertragliche Beziehung nur, wenn beide Seiten bei der Leistungserbringung eng aufeinander abgestimmt „auf Augenhöhe“ zusammenarbeiten und gemeinsam die Verantwortung für die gesamte Leistungserbringung übernehmen. Weiterhin sind die Shared Service Center selbst wiederum als Ganzes zu steuern, z.B. hierarchisch oder über ergebnisorientierte Verträge, so dass im Ergebnis ein komplexes Steuerungs- und Verantwortungskonstrukt bestehend aus unterschiedlichen Ebenen entstehen kann. Vereinfacht gilt: je stärker die Vernetzung, umso stärker die Transparenzanforderungen, die letztlich die Verantwortungssicherung stärken soll. Transparenz bei der Aufgabenerledigung wird als mögliche Lösung gesehen, um vernetzte Strukturen berechenbarer zu gestalten, und kann insofern im Hinblick auf Rechtsstaatlichkeit und teilweise im Hinblick auf Legitimation ein funktionales Äquivalent zur „Zuständigkeitsklarheit“ bieten.

### 3.3 Zweite Integrationsstufe: Datenplattform für die intelligente Stadt

Auch wenn viele Menschen täglich ihre persönlichen Erfahrungen mit ihrer Stadt machen, haben nur wenige eine Vorstellung von der Komplexität dieses Gebildes. Eine Stadt stellt sich immer als System von Systemen dar, die mehr, heute leider oft weniger miteinander interagieren. Gerade dabei ist aber die Hinwendung von heutigen Insellösungen zu domänen-übergreifenden intelligenten Infrastrukturlösungen der Schlüssel zum Erfolg in der Zukunft.

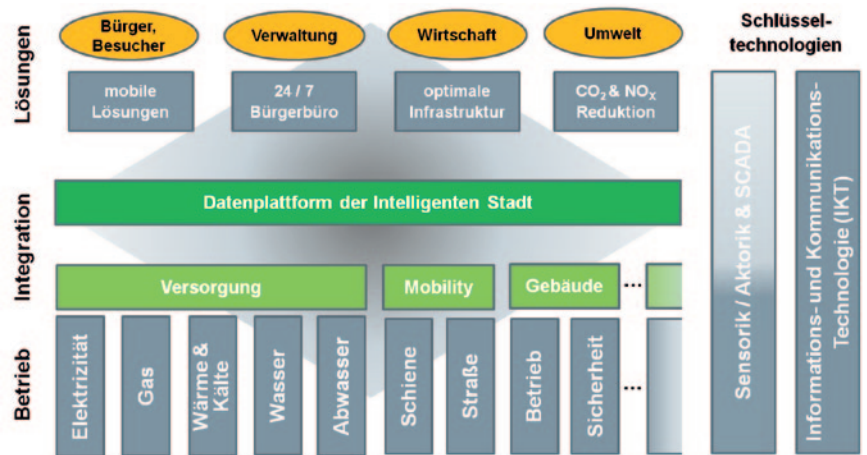


Abbildung 26: Struktur der intelligenten Stadt von morgen – ein koordiniertes System von Systemen

Abbildung 26 zeigt eine grundsätzliche Struktur der intelligenten Stadt von morgen, wie sie von der ETG/ITG-Task Force bereits definiert wurde. Während in 3.1 die Enabling Technologies sowie in 3.2 die erste Integrationsstufe beschrieben worden sind, befasst sich dieses Kapitel mit der Datenplattform der intelligenten Stadt.

Die zweite Integrationsschicht hat für eine intelligente Stadt eine überragende Bedeutung. Hier werden validierte Daten unter Berücksichtigung von Datensicherheit und -vertraulichkeit zur Verfügung gestellt. Dies wird als eine zentrale Aufgabe der Stadt selbst gesehen. Dabei ist es nicht von Bedeutung, wer diese Datenplattform betreibt und pflegt. Entscheidend ist, dass die Stadt selbst zur Einsicht kommt, dass diese Schicht für ihre zukünftige Entwicklung eine genauso große Bedeutung hat wie z. B. eine perfekte Infrastruktur in Form von Versorgungs- und Kommunikationsnetzen oder aber auch in Form der Verkehrsanbindung.

Mit welchem Geschäftsmodell oder auch verschiedenen Geschäftsmodellen diese Datenplattform betrieben wird, liegt im Ermessensspielraum der Stadt. Hier sind alle Modelle denkbar, zwischen den Extremen kostenlos oder ausschließlich gegen Bezahlung.

Basierend auf dieser Datenplattform können dann für die in der Definition genannten Zielgruppen Bürger und Besucher, Wirtschaft, Verwaltung und Umwelt, in Bild 1 oben dargestellt, verschiedenste Lösungen von Dienstleistern, öffentlichen Einrichtungen oder selbst von Privatpersonen bereitgestellt werden.

Als Schlüsseltechnologien mit verschiedener Relevanz über die dargestellten Ebenen sind zum einen die Automatisierungstechnik mit Sensorik/ Aktorik und SCADA-Lösungen sowie die Informations- und Kommunikationstechnologien genannt. Hieraus wird auch deutlich, warum sich der VDE mit dem Thema Städte beschäftigt und seinen Kongress im Jahr 2014 diesem Thema gewidmet hat. Dabei darf aber auch das bestehende Engagement in den vertikalen Lösungen nicht vergessen werden.

### 3.3.1 Informieren (KPI)

Für die Bewertung des Fortschritts wichtiger Zielsetzungen sind betriebswirtschaftliche Kennzahlen ein gutes Hilfsmittel. Leistungskennzahlen bzw. Key Performance Indikatoren haben sich in diesem Zusammenhang etabliert. Aktuell sind im ersten internationalen Standard ISO 37120:2014 100 Indikatoren für Städte definiert. 45 dieser KPIs werden als Kern-Indikatoren bezeichnet und gelten als verbindlich. Die 100 KPIs der ISO 37120:2014 decken insgesamt 17 Bereiche ab.

Diese Bereiche sind:

- Wirtschaft
- Erziehung
- Energie
- Umwelt
- Finanzen
- Rettungssystem
- Regierung
- Gesundheit
- Freizeitaktivitäten
- Sicherheit
- Asyl
- Abfall
- Telekommunikation
- Stadtplanung
- Abwasser
- Wasser und Sanitäreanlagen

Hier ist jedoch anzumerken, dass die ISO 37120 direkt nach Erscheinen wieder in das zuständige Normungsgremium zur Revision gegeben worden ist, um die Liste der Bereiche zu überarbeiten.

Eine Übernahme der ISO Norm in den nationalen Normenbestand ist freiwillig und wird vorerst in Deutschland nicht geplant. Grund hierfür ist die noch fehlende Verifikation anhand von konkreten Projekten und der daraus folgenden nicht gesicherten Stabilität der KPIs.

In Deutschland ist das Spiegelgremium NA 172-00-12 AA „Arbeitsausschuss Nachhaltige Entwicklung in Kommunen“ in DIN zuständig.

Für die Definition relevanter KPIs im Bereich Smart City wird an dieser Stelle ebenfalls exemplarisch das chinesische Projekt „Tianjin Eco-City - A model for Sustainable development“ aufgezeigt. Es erfolgt eine Unterscheidung in quantitative und qualitative KPI, formuliert von Experten aus Singapur und China im Rahmen des Eco-city joint working Komitee. Insgesamt werden 22 quantitative und drei qualitative KPIs definiert. Die KPIs sind insgesamt so aufgebaut, dass sie sowohl die ökologische, die ökonomische, als auch die soziale Entwicklung einer Stadt beschreiben und bewerten können. Die vorgestellten KPIs lassen sich auf weitere Projekte und Städte übertragen. Neben allgemeingültigen übertragbaren KPIs, lassen sich auch ortsabhängige, projektspezifische KPIs hinzufügen.



### Quantitative KPIs

Die 22 genannten quantitativen KPIs lassen sich in vier Bereiche unterteilen und sind in Abbildung 27 dargestellt. Im Bereich „Natürliche Umwelt“ sollen beispielsweise die Luftqualität sowie die Wasserqualität festgelegte Normen einhalten. Ebenso ist es Ziel, die Lärmbelastigung zu minimieren und eine hinreichend gute Trinkwasserqualität zu gewährleisten.

Im Bereich „Gesunde Balance in der vom Menschen geschaffenen Umwelt“ ist festgelegt, dass sämtliche Gebäude einen grünen Standard erreichen sollen, eine gewisse Prozentzahl an natürlichen Pflanzen in der Vegetation sowie eine minimale Grünfläche pro Person im Stadtquartier vorhanden sein muss.

Im Bereich „Lebensgewohnheiten“ werden Mindestwerte, z. B. für den täglichen Wasserverbrauch, das tägliche Abfallaufkommen, die Recyclingrate etc. pro Kopf definiert. Der KPI Netzerfassung/Netzzugang bezieht sich nicht nur auf Internet sondern auch auf weitere Infrastrukturen, wie Gas, Strom und Wasser. Ebenso sollte die Stadt zu 100% behindertengerecht sein sowie eine Mindestmenge, z. B. 20%, an Sozialwohnungen bereitstellen.

Im Bereich „Entwicklung einer dynamischen und effizienten Wirtschaft“ sind KPIs definiert, die feste Zielgrößen für die Nutzung erneuerbarer Energien, nicht traditioneller Wasserquellen sowie dem Verhältnis zwischen Wissenschaftlern / Ingenieuren und den gesamten Arbeitskräften, beinhalten. Ebenso soll eine Mindestanzahl an erwerbsfähigen Kräften tatsächlich auch in der „Öko-City“ selbst arbeiten.

#### Quantitative KPIs



Abbildung 27: Übersicht quantitativer KPIs der Tianjun Eco-city [[http://www.tianjineco-city.gov.sg/bg\\_kpis.htm](http://www.tianjineco-city.gov.sg/bg_kpis.htm)]

### Qualitative KPIs

- Erhalt einer sichereren und gesunden Ökologie durch grünen Konsum und emissionsmindernde Technologien

- Adaption innovativer Politik, die regionale Zusammenarbeit fördert sowie die Umwelt naheliegender Gebiete verbessert.
- Ergänzung der Entwicklung der Recyclingindustrie sowie Förderung der ordnungsgemäßen Entwicklung der umgebenden Gebiete

Neben den KPIs zur ökologischen, ökonomischen und sozialen Bewertung von Städten, hat die Forschungsreihe Green City Index bisher über 120 Städte weltweit hinsichtlich ihrer Umweltfreundlichkeit beurteilt. Die Forschungsreihe definiert sowohl den Green City Index selbst, als auch sieben Handlungsempfehlungen, die beschreiben, wie eine Stadt umweltfreundlicher werden kann. Der Green City Index ist daher eine sinnvolle Ergänzung zu den bereits beschriebenen KPIs.

In Abbildung 28 ist die Methodik zur Berechnung des Green City Indexes exemplarisch aufgezeigt. Insgesamt beeinflussen acht Kategorien den Index zur Bestimmung der Umweltfreundlichkeit einer Stadt.

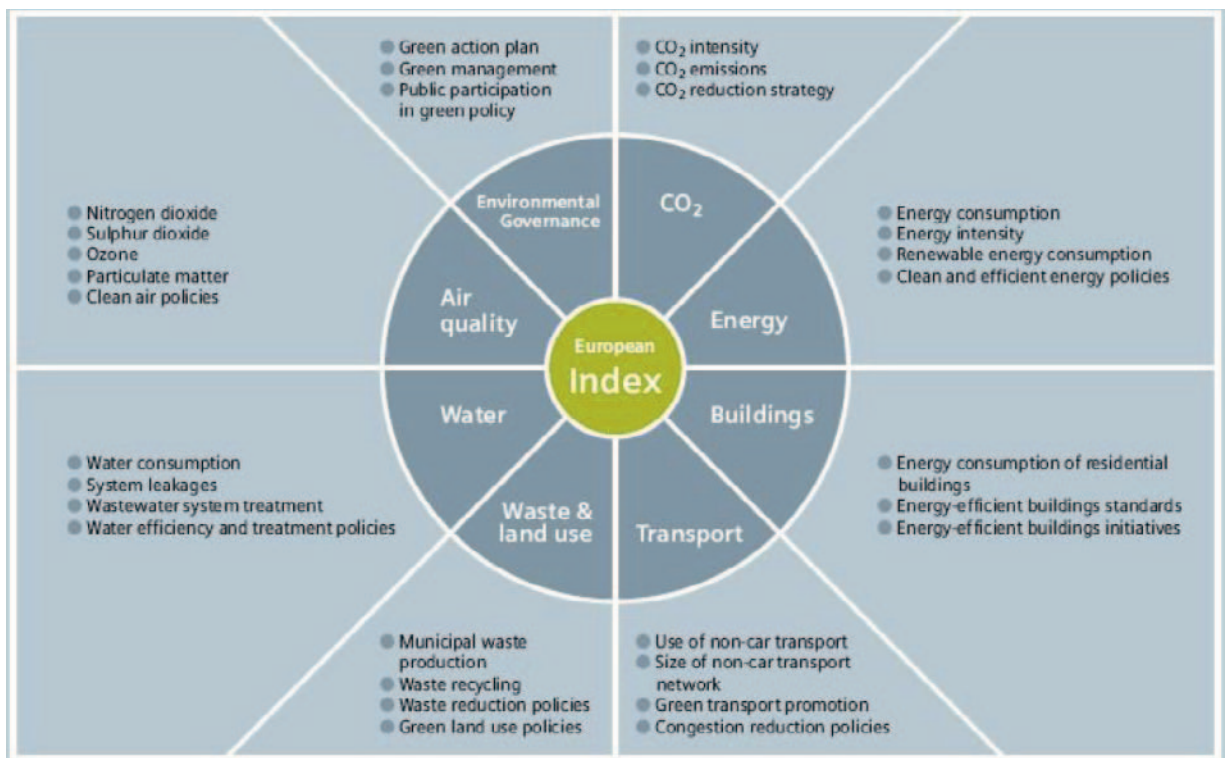


Abbildung 28: Methodik des Green City Indexes [Quelle: Siemens]

#### Zukünftige Anforderungen

Die Forschungsreihe hat nach Auswertung der insgesamt über 120 Städte die unten aufgeführten sieben Lektionen für grünere Städte zusammengefasst:

1. Die Regierungsführung muss auf lokaler Ebene beginnen.
2. Ein ganzheitlicher, domänenübergreifender Ansatz muss bei der Lösung von Umweltproblemen erfolgen.
3. Wohlstand spielt eine wesentliche Rolle, aber wichtiger ist die richtige Entwicklungspolitik.
4. Eine stärkere Einbeziehung der Bevölkerung an Umweltentscheidungen ist ein wichtiger Bestandteil der Umweltpolitik.

5. Die eingesetzten Technologien spielen eine wesentliche Rolle bei der Reduzierung der Umweltbelastung in einer Stadt.
  6. Die grüne und die braune Agenda müssen Hand in Hand gehen. Sie hängen zusammen.
  7. Das Problem informeller Siedlungen ist zu lösen. Für viele Städte in Entwicklungsländern ist dies eine zentrale Aufgabe, um langfristig auch die ökologische Nachhaltigkeit und Lebensqualität zu verbessern.
- [123][124][125][126][127]

### 3.3.2 Open Government in der Smart City

Intelligente Städte werden zum „Wohle ihrer Bürger“ konzipiert und optimiert. Infrastruktur, Angebote und ergänzende Dienstleistungen werden durch vernetzte Informations- und Kommunikationstechnologien so gestaltet, dass sie bestmöglich für Bewohner und Besucher funktionieren. Bürgerorientierung ist aber nicht gleichbedeutend mit der Einbindung und Beteiligung von Bürgern bei der Gestaltung smarter Städte, obwohl gerade dies in einigen Definitionen [104][105] als ein sehr wichtiger Bestandteil gesehen wird. Welche Möglichkeiten ergeben sich durch und in Smart Cities für Transparenz, Bürgerbeteiligung und Zusammenarbeit, also für ein offenes Regierungs- und Verwaltungshandeln (Open Government)?

*Hintergrund und Problemstellung: Offenes Regierungs- und Verwaltungshandeln*

Mit dem Smart City-Ansatz wird auf intelligente und vernetzte IT-basierte Lösungen zur Bewältigung städtischer Herausforderungen gesetzt. Viele Potenziale bieten sich bereits in den klassischen Smart City-Bereichen Energie, Mobilität, Gebäude, Gesundheit und Bildung. Bei der Vielfalt der Aufgaben, die kommunale Gebietskörperschaften wie kreisfreie Städte und Landkreise übernehmen, ergeben sich auch jenseits dieser klassischen Themenfelder zahlreiche Problemstellungen, in denen der Einsatz von intelligenten Objekten, cyberphysikalischen Systemen, des Internets der Dinge und des Internets der Dienste einfach Sinn macht und verfolgt werden sollte [106].

In Städten eröffnen sich mit dem offenen Regierungs- und Verwaltungshandeln (Open Government) ganz neuartige intelligente und vernetzte IT-basierte Lösungen. Der angelsächsische Begriff „Open Government“ wird derzeit vor allem als ein Sammelbegriff verwendet, unter dem verschiedene Konzepte zur Öffnung von Staat und Verwaltung gebündelt werden: Informationsfreiheit, Transparenz, Bürgerbeteiligung, Zusammenarbeit, offene Verwaltungsdaten und offene gesellschaftliche Innovation zeigen erste Entwicklungsperspektiven auf, die in den kommenden Jahren von Wissenschaft und Praxis auch in smarten Städten mit Inhalten zu füllen sind. Es geht vor allem darum, die Bürger verständlich zu informieren, sie mitzunehmen, ihnen zuzuhören, sie einzubinden und sie an der künftigen Gestaltung smarter Städte auch ernsthaft zu beteiligen. Verständlich wird das Veränderungs- und Gestaltungspotenzial von Open

Government, wenn seine wesentlichen Trends mit einem sechsstufigen Politikzyklus<sup>22</sup> und Aspekten der offenen Zusammenarbeit verknüpft werden. Bürger, Unternehmen, Behörden und sonstige Akteure in einer Stadt können sich so in unterschiedlichen Rollen als Auftraggeber, Beitragende, Ausführende, Betroffene und Begünstigte rund um das Regierungs- und Verwaltungshandeln engagieren. Zum Teil erwarten Bürger sogar explizit ihre Einbindung. Gefordert sind damit nicht mehr nur Politiker, Parteien, Behördenleitungen und Verwaltungsmitarbeiter. Auch nichtstaatliche Akteure können jederzeit akute Probleme benennen, diese auf die politische Handlungsagenda setzen, Entscheidungen einfordern, an deren Umsetzung mitwirken, deren Resultate genau beobachten und mit ergänzenden Empfehlungen bewerten. Das hohe Bildungsniveau in smarten Städten lässt dies zu. Staat, Stadt und Verwaltung profitieren von der so erschlossenen Intelligenz, dem Wissen und der Kraft der Vielen, ihrer Selbstorganisation und den durch Eigenverantwortung ermöglichten Einsparungen. Allerdings müssen bei einem solchen kooperativen Verwaltungshandeln die rechtlichen Rahmenbedingungen, die Steuerungsmöglichkeiten und die gesteckten Grenzen berücksichtigt werden [107] [108]

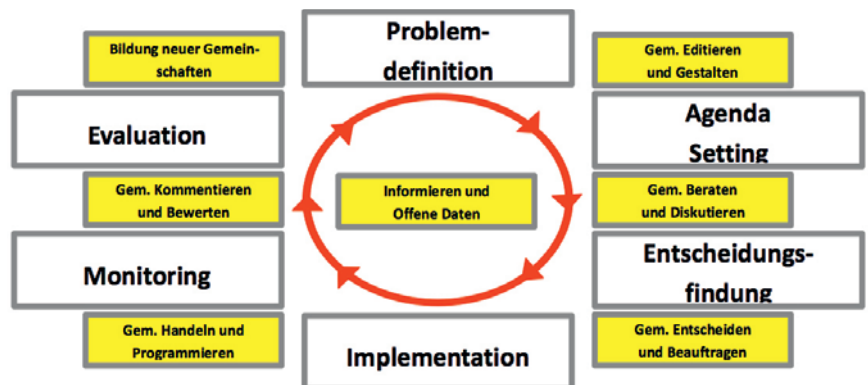


Abbildung 29: Sechsstufiger Politikzyklus und die Open Government Trends  
Quelle: von Lucke 2012

In Smart Cities werden die folgenden sieben Open Government Trends zu Veränderungen führen: Mit gesellschaftlichen Medien wie Facebook, Google+, Twitter und Co. lassen sich auch im urbanen Kontext spontan neue Gemeinschaften um jedes denkbare Problem bilden. Die proaktive und zeitnahe Bereitstellung von Informationen und frei zugänglichen Daten verbessert die Transparenz und Nachvollziehbarkeit kommunalen und staatlichen Handelns in allen Phasen. Gruppen nutzen Werkzeuge zum gemeinsamen und gleichzeitigen Editieren von Texten und Gestalten von Konzepten und Werken. Kommunikative Werkzeuge fördern den Gedankenaustausch, tragen zur Meinungsbildung bei und ermöglichen in größeren Gruppen das Beraten und ergebnisoffene Diskutieren. Diese unterstüt-

<sup>22</sup> Das Konzept des Politikzyklus stammt von Lasswell (1956). Mittlerweile gibt es viele Variationen mit einem Umfang von 4 bis 18 Zykuselementen. Für dieses Szenario wurde ein sechsstufiger Politikzyklus entwickelt.

zen die Erarbeitung von Alternativen, die Gestaltung der Agenda und die Selektion geeigneter Alternativen. Werkzeuge zur offenen Meinungsbildung und zur gemeinsamen Entscheidungsfindung eröffnen Großgruppen auch in Städten ganz neue Möglichkeiten der Organisation, der Koordination, der Entscheidung und der Beauftragung Dritter. Plattformen zum gemeinsamen Handeln in verteilten Umgebungen und zum gemeinsamen Programmieren erlauben im Rahmen der Implementierung von politischen Vorgaben neuartige Formen der Zusammenarbeit. Ein Feedback aus der Bevölkerung lässt sich über diverse Werkzeuge zum gemeinsamen Kommentieren und Bewerten einholen. Dieses kann in das Monitoring des Verwaltungshandelns smarter Städte und dessen Evaluation fließen [107] [108] [109].

Die Notwendigkeit, Smart Cities auch im Kontext von Open Government zu denken, ergibt sich aber nicht nur aus den zahlreichen Chancen, sondern auch aus dem Konfliktpotenzial, dass einer technischen Weiterentwicklung inhärent ist. Nicht alle denkbaren technischen Möglichkeiten werden einen breiten gesellschaftlichen und politischen Zuspruch finden. Einige Ansätze, etwa solche, die eine Verhaltensverfolgung breiter Bevölkerungsschichten eröffnen, werden sogar auf Widerspruch und Ablehnung von unterschiedlichen Stakeholdern und Meinungsmultiplikatoren stoßen. Solche Widerstände werden zunehmen, wenn die Bürgerschaft nicht im Vorfeld im Sinne einer bürgerorientierten Smart City in Konzeption, Erprobung und Weiterentwicklung eingebunden und beteiligt wird. „Smarte Bürger“ werden es sich schließlich nicht nehmen lassen, zur öffentlichen Äußerung ihrer Meinung auch auf die vorhandenen technischen Möglichkeiten der gesellschaftlichen Medien (Social Media) und der Web 2.0-Technologien zu setzen. Smarte Städte, die Wissenschaft und die Wirtschaft müssen damit umzugehen lernen.

#### *Lösungsansatz: Offene Daten und offene Verwaltungsdaten*

Der Open Data-Ansatz setzt auf Datenbestände, die im Interesse der Allgemeinheit der Gesellschaft ohne jedwede Einschränkung zur freien Nutzung, zur Weiterverbreitung und zur freien Weiterverwendung zugänglich gemacht werden. In smarten Städten wären dies etwa Geodaten, Verwaltungsdaten, mediale Beiträge, Veröffentlichungen und Forschungsergebnisse, insbesondere solche der Lebenswissenschaften, aber auch nutzergenerierte Inhalte. Bürger, Vereine, Verbände, Unternehmen, Verwaltungen, Hochschulen, Forschungsinstitute, Zeitungen und Rundfunksender produzieren entsprechende Beiträge, die andere auch aufgreifen und veredeln können. Eine Vernetzung offener Daten über das Internet und das World Wide Web eröffnet die Möglichkeit, die Daten über Domänen und Organisationsgrenzen hinweg zu nutzen. Durch eine Verknüpfung und Visualisierung lassen sich Zusammenhänge in kurzer Zeit verstehen. Mehrwerte ergeben sich, wenn noch nicht miteinander verknüpfte Datenbestände kombiniert werden und dies zu neuen Erkenntnissen und Einschätzungen führt [108] [111]. Auf Basis von offenen vernetzten Daten und

offenen Schnittstellen (APIs) lassen sich Anwendungen (Apps, Software), Werkzeuge (Tools) und Online-Dienste (Cloud Computing) erstellen, die automatisiert Recherchen, Visualisierungen, Analysen, Monitoring und Berichterstattung unterstützen [108][111][112].

Werden diese beiden Konzepte auf die Anforderungen der öffentlichen Verwaltung in smarten Städten übertragen, so führt dies zu offenen Verwaltungsdaten und zu vernetzten offenen Verwaltungsdaten. Explizit ausgeschlossen bei diesem Ansatz sind all jene Datenbestände, deren Veröffentlichungen nicht im Interesse öffentlicher Belange liegen, die geheim gehalten werden sollen beziehungsweise die personenbezogene Daten sowie Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse beinhalten. Werden die ausgewählten offenen Datenbestände strukturiert und maschinenlesbar von den zuständigen Behörden proaktiv bereit gestellt, lassen sie sich in allen Phasen des Politikzyklus (Abbildung 29) durchsehen, durchsuchen, filtern, aufbereiten, überwachen und weiterverarbeiten. Die G8-Staatschefs entschlossen sich 2013 mit der G8 Open Data Charter [111], genau diesen Öffnungsprozess gemeinsam anzugehen und ihn zu forcieren, weil sie sich davon besonders wertvolle Impulse zur Verwaltungsmodernisierung und zum Wirtschaftswachstum versprechen [108][112][114].

#### *Lösungsansatz: Transparenz*

Offene Verwaltungsdaten können in Kombination mit Web-2.0-Diensten die Transparenz in der smarten Stadt signifikant verbessern. Verständliche Datenaufbereitungen über das Internet helfen der Öffentlichkeit und der Presse, Entscheidungsprozesse in Politik und Verwaltung zu verfolgen und deren Ursachen, Argumentationen und Konsequenzen zu verstehen. Dadurch kann die wahrgenommene Legitimität von Gremien bei den Bürgern erhöht und durch Rechenschaftslegung eine Vertrauensbasis geschaffen und gefestigt werden. Elektronische Vorgangsbearbeitungssysteme können zudem eine verbesserte Transparenz zum Stand eines Verwaltungsverfahrens eröffnen. So sollten sich berechnete Antragsteller nach einer Identifizierung über das Internet elektronisch über den Bearbeitungsstand informieren können. Leicht nachvollziehbare Marktübersichten tragen zudem zu einer Angebotstransparenz bei den Verbrauchern bei [115][116].

#### *Lösungsansatz: Bürgerbeteiligung*

Sollen die Bürger an Ideengenerierung, Planung, Meinungsbildung und politischer Entscheidungsfindung zunehmend beteiligt werden, eröffnen elektronische Konsultationsdienste und -werkzeuge neuartige Möglichkeiten zur Bürgerbeteiligung. Um dabei keine Bevölkerungsschichten auszuschließen, sollte der Zugang zu Bürgerbeteiligungsangeboten leicht, verständlich, sicher und geschützt sein. Beteiligungsplattformen und überzeugende technische Umsetzungen des Konzeptes der flüssigen Demokratie werden Parteien und Stadtratsfraktionen bewegen, auf neuartige Partizipationsansätze zu setzen. So könnten sie etwa interessierte und

engagierte Bürger mit guten Ideen, die keine Parteimitglieder sind, dennoch in die parteiinterne Meinungsbildung vor einer Entscheidungsfindung einbeziehen [115].

#### *Lösungsansatz: Zusammenarbeit*

Für eine offene IT-gestützte Zusammenarbeit 2.0 nach erfolgter politischer Entscheidungsfindung kommen in einer Smart City zahlreiche Möglichkeiten in Betracht. Über intelligente und vernetzte IT-basierte Lösungen eröffnen sich etwa neuartige Möglichkeiten zur gemeinsamen Finanzierung von Vorhaben (Crowd Funding) auch jenseits des städtischen Haushalts, zum gemeinsamen Wissensmanagement der Stadtgesellschaft, zu virtuellen Projektarbeitsräumen, zur transparenten Öffnung von Gremienarbeit, zur elektronischen Vorgangsbearbeitung, zu Dienstleistungszentren, zu einheitlichen Ansprechpartnern sowie zum offenen Monitoring und zur Evaluierung des städtischen Handelns in der Öffentlichkeit [107][115]. Beispielsweise ermöglichen vom Bürger auf Smartphones hochgeladene Apps die automatische Detektion von Schlaglöchern.<sup>23</sup> Auch für ein effizientes Katastrophenmanagement zeigt sich, dass intelligente Sensoren, Smartphones, offene Geoinformationssysteme und Social Media die Koordination von Helfern und Einsatzkräften weltweit wie konkret vor Ort erheblich vereinfachen können.<sup>24</sup>

#### *Lösungsansatz: Offene gesellschaftliche Innovation*

Der Ansatz der offenen gesellschaftlichen Innovation (Open Societal Innovation) setzt auf die Adaption und anschließende nachhaltige Nutzung geeigneter betriebs-wirtschaftlicher Open Innovation-Ansätze zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen durch Staat, Stadt und Gesellschaft. Besonders erstrebenswert für smarte Städte erscheint die Schaffung einer Innovationskultur, die im Sinne von Bürgerbeteiligung alle städtischen Akteure gleichermaßen anspricht, diese mit einschließt und so deren Innovationspotenzial für das Gemeinwesen verfügbar macht. Bei offener Innovation aus der Gesellschaft heraus geht es um Ergebnisoffenheit bei der Generierung und vor allem um die Öffnung des Innovationsprozesses im Sinne von „Open Innovation“ bei einem gleichzeitigen Verzicht auf Exklusivität. Bei den Ergebnissen von offener Innovation für die Gesellschaft geht es um soziale Innovationen in Gesellschaft, Stadt, Politik und Wirtschaft, die auf das Zusammenleben der Menschen und die Steigerung der Lebens- und Standortqualität Einfluss haben. Moderne Informations- und Kommunikationstechnologien können bei diesen Innovationsprozessen als beschleunigende Werkzeuge dienen.<sup>25</sup> Als Katalysatoren erreichen sie die relevanten Akteure in der Stadtgesellschaft, bringen sie zusammen und entzünden damit gemeinsame Aktivitäten. Ein Ziel smarterer Städte ist es, durch diese Erweiterung des Innovationsraums anstehende gesellschaft-

<sup>23</sup> Streetbump.org: <http://www.streetbump.org>.

<sup>24</sup> Crisis Mappers: <http://crisismappers.net>.

<sup>25</sup> Einen umfassenden Überblick bietet The Open Societal Innovation Toolbox: <http://www.tosit.org>.

liche Herausforderungen anzugehen und diese gemeinsam konstruktiv zu lösen. Konkrete Anknüpfungspunkte finden sich im Innovationskreislauf der Politik und im Innovationsprozess der Verwaltung, aber auch in vielen weiteren Bereichen des zivilgesellschaftlichen urbanen Lebens wie Bildung, Kunst, Kultur, Sport und Erholung [108][117].



## 4 Integrativer Ansatz

Während in den bisherigen Kapiteln u.a. die Definition einer Smart City inklusive Beispiele und die Herausforderungen zur Smart City der Zukunft aufgeführt worden sind, wird in diesem Kapitel nun ein integrativer Ansatz, der Modellierung, Simulation und Optimierung beinhaltet, vorgestellt. Eine intelligente Stadt ist ein System aus Systemen. Deshalb sind integrative Ansätze zwingend erforderlich, die die einzelnen Teilsysteme, Subsysteme, Systemkomponenten etc. intelligent verbinden. Ein solches Subsystem stellt z. B. ein Stadtquartier dar.

### 4.1 Modellierung

Die numerische Simulation ist ein wichtiges Werkzeug um Energiesysteme planen und bewerten zu können. Die notwendige Erweiterung des Bilanzraums im Kontext Stadt weg vom einzelnen Gebäude hin zu ganzen Stadtquartieren und Städten stellt auch die Simulationsprogramme vor neue Herausforderungen. Es ergibt sich bei der Modellierung komplexer Stadtstrukturen ein verzweigtes System aus vielfältigen Teilsystemen, die eng miteinander gekoppelt sind. Im Folgenden werden die Aufgabenstellung einer Modellierung sowie der Modellierungsansatz, auch im Rahmen von Beispielen, vorgestellt.

#### 4.1.1 Aufgabenstellung

Für die Modellierung und Simulation eines Stadtquartiers besteht aktuell bereits eine Vielzahl an Software. Diese ist allerdings oftmals nur für eine bestimmte Domäne konzipiert. So wird beispielsweise das thermische Gebäudeverhalten mit gängiger Software simuliert, während für die Analyse des elektrischen Netzes wiederum auf andere Programme zurückgegriffen wird. Eine Kopplung verschiedener Domänen ist bisher gar nicht bzw. nur kaum vorhanden.

In [135] ist eine Übersicht bestehender Tools gegeben. Dort werden bestehende Tools zur Analyse eines Stadtquartiers in die drei Kategorien: Versorgungs-, Bedarfs- und integrierte Modellierung unterschieden und vorgestellt. Die Modellierung des Energiebedarfs wird zusätzlich in Top-down und Bottom-up Methoden unterschieden. Programme zur energetischen Stadtquartiersimulation sind in der Regel außerdem zur besseren Visualisierung und Analyse mit einem GIS-System oder 3D-Stadtmodell verknüpft.

Konzepte zur holistischen strukturierten Energiekonzeptplanung eines Stadtquartiers sind u. a. in [136][137] zu finden. Beide Konzepte unterliegen allerdings statischen Berechnungen, z. B. Primärenergieflüssen. Eine schnelle Vergleichsmöglichkeit verschiedener Energiekonzepte auf Gebäudeebene sowie zentraler und dezentraler Energieversorgungssysteme kann in [131] realisiert werden. Statisch können sowohl die End- und Primär-

energiebedarfe, als auch die CO<sub>2</sub> Emissionen verschiedener Szenarien berechnet und analysiert werden. Als weiteres Tool ist exemplarisch CitySim [138] zu erwähnen. Es richtet sich speziell an Stadsiedlungsplaner. Neben thermischen Modellen beinhaltet es auch Modellierungsaspekte im Wasser/Abwassersektor.

Für eine ganzheitliche Optimierung eines Stadtquartiers ist es von Bedeutung, einen Multidomänenansatz zu verwenden. So können Wechselwirkungen beispielsweise zwischen thermischer und elektrischer Seite analysiert und genutzt werden. Erst durch diese Betrachtung lassen sich auch Demand Side Integration Potenziale erkennen.

#### *Modellierung und Simulation komplexer Stadtstrukturen*

Neue Ansätze zur Erfassung aller Wechselwirkungen über einzelne physikalische Teilbereiche hinaus und die korrekte Darstellung der sich ergebenden Auswirkungen sind notwendig. Mit steigender Komplexität des Betrachtungsraums steigt auch die Rechenzeit der Simulationsmodelle. Um den Rechenaufwand trotzdem in beherrschbaren Grenzen zu halten, ist es notwendig, die Komplexität der Teilsysteme auf ein Minimum zu begrenzen und wenn möglich vereinfachende Ansätze zu verwenden. Nichtsdestotrotz muss eine ausreichend hohe Genauigkeit sichergestellt werden um wissenschaftlich verwertbare Ergebnisse generieren zu können.

Als zweiter Aspekt darf die Parametrierbarkeit der Modelle nicht aus den Augen gelassen werden. So erfordern genaue Modelle meist eine Vielzahl an Parametern, die auf Stadtteilebene selten umfassend erfasst werden können. Daher ist es wichtig bei der Modellbildung auf ein Minimum an Parametern zurückzugreifen, die im Idealfall aus bekannten oder leicht erschließbaren Datenquellen gewonnen werden können.

In einem dritten Aspekt darf die Erstellung des Gesamtmodells nicht mehr Zeit in Anspruch nehmen als für die Verwertbarkeit der Ergebnisse gerechtfertigt ist. So ist es elementar, den Modellierungsprozess weitgehend zu automatisieren und eine einfache Erstellung der Simulation mit Hilfe geeigneter Werkzeuge zu schaffen.

Für die Simulation komplexer Stadtstrukturen ist eine ganzheitliche Betrachtung wichtig. Nur so können beispielsweise Synergien zwischen Gewerbe, Industrie und Wohnen erkannt und ausgenutzt werden. Im Rahmen des BMWi Projekts EnEff:Stadt – Bottrop, Welheimer Mark (Fördernummer: 03ET1138D) wird ein ganzheitliches integratives Planungstool für die Modellierung komplexer Stadtstrukturen entwickelt. Im Fokus steht die multi-energetische Simulation, im Besonderen die Wechselwirkung thermischer und elektrischer Größen. Eine Erweiterung auch auf weitere Domänen, wie z. B. Wasser oder Gasnetze kann erfolgen. Ein solches Tool ist als Hilfsmittel u. a. für Stadtplaner konzipiert.

Die Anforderungen an ein solches Planungstool sind vielfältig. Es muss zunächst in der Lage sein, eine große Menge an Daten zu erfassen und zu verwalten. Gebäudetypen und Anlagentechnik müssen modelliert werden können. Im Rahmen der Quartiersmodellierung ist insbesondere auch die

einfache und schnelle Parametrierbarkeit einer hohen Anzahl an Gebäuden, aber dennoch mit einer hinreichend ausreichenden Genauigkeit, notwendig. Ein solches Planungstool muss weiterhin in der Lage sein, ein Mischgebiet modellieren zu können. Neben reinen Wohngebieten müssen auch die energieintensive Industrie, kleine und mittelständische Unternehmen sowie Nichtwohngebäude, wie z. B. Kindergärten, modelliert werden können.

Die Basis einer solchen Betrachtung bildet stets eine umfassende Bestandsaufnahme des Untersuchungsgebietes und der dort vorhandenen Gebäude- und Anlagentechnik sowie der Netzinfrastruktur. Die Güte der späteren Ergebnisse ist signifikant von der Güte der Eingangsdaten abhängig. Die gesammelten Informationen werden in einer Datenbank eingelesen und dort mit einem Geoinformationssystem (GIS) verbunden. Insbesondere im Rahmen komplexer Stadtstrukturen kann so neben einer Visualisierung und Analyse der Datensätze auch die Ausgabe von Objektkoordinaten erfolgen. Für die Automatisierung der Modellierung und Simulation ist eine Schnittstelle zwischen Datenbank und Modellierungstools notwendig. Diese ermöglicht die automatisierte Generierung von Eingangsdaten für die Simulation des Stadtquartiers anhand der gespeicherten Informationen der Datenbank.

Für die Durchführung einer dynamischen multi-energetischen Simulation müssen zunächst geeignete Inputparameter aus der Datenbank, oder über eine weitere Schnittstelle zu anderen Softwaretools, generiert werden. Je detaillierter die Bestandsaufnahme ausfällt, desto weniger Datensätze müssen anschließend auf Basis von z. B. Standardlastprofilen angenähert werden. Im Rahmen der Modellierung wird generell zwischen der Verbrauchs-, der Erzeuger und der Infrastrukturseite unterschieden. Die Verbrauchsseite lässt sich weiter unterteilen in die drei Bereiche Wohnen, Industrie und öffentliche Gebäude. Als Erzeuger werden Anlagentechnik, wie z. B. Mikro-KWK oder Photovoltaikanlagen definiert. Im Rahmen der Infrastruktur werden Informationen zur betrachteten Netztopologie sowie weiterer Parameter zusammengefasst.

Für die Modellierung des Verbrauches im Wohnbereich kann für das thermische Simulationsmodell ein vereinfachtes Gebäudemodell, basierend auf der VDI 6007, verwendet werden. Benötigte Eingabeparameter sind hier die Nettogrundfläche, Wand-, Dach- und Fensterflächen sowie das Baualter, aus dem bauphysikalische Informationen, z. B. verwendete Materialien, ermittelt werden können. Diese Informationen können beispielsweise aus GIS-Datensätzen, Karten und Bildaufnahmen der Gebäude, die im Rahmen der Bestandsaufnahme aufgenommen werden, bestimmt werden.

Falls keine Daten zur Anlagentechnik innerhalb der Wohngebäude vorliegen, kann eine Dimensionierung benötigter Anlagentechnik anhand einer thermischen Simulation bei Normumgebungstemperatur und einer gewünschten Raumsolltemperatur erfolgen [128].

Für eine angemessene Abbildung des Nutzerverhaltens ist es notwendig

die Bewohner des Stadtquartieres auf die jeweiligen Ein- und Mehrfamilienhäuser einzuteilen, um anschließend realistische Belegungs- und Lastprofile erzeugen zu können. Datensätze des Statistischen Bundesamtes (Destatis) über die Verteilung von Ein- und Mehrfamilienhäusern sind hier eine gute Referenz [129]. Ist die Anzahl an Bewohnern per Wohneinheit bekannt, kann ein Nutzer- und elektrisches Lastprofil bspw. nach Richardson erzeugt werden [130]. Während das Belegungsprofil als Input für die thermische Simulation fungiert, ist das elektrische Lastprofil mit einer Auflösung von z. B. 60 Sekunden für eine elektrische Lastflussberechnung erforderlich. Für die Modellierung der energieintensiven Industrie sind oftmals eine elektrische und thermische registrierende Leistungsmessung, wenn der Jahresverbrauch elektrisch größer als 100.000 kWh und thermisch (Gas) über 1.5 Mio. kWh liegt, verfügbar. Falls keinerlei Messwerte vorhanden sind, werden Standardlastprofile für den thermischen und elektrischen Verbrauch anhand der folgenden Parameter generiert:

- Industrie Typ
- Endenergieverbrauch elektrisch/thermisch (mindestens Jahresverbrauch)
- Wetterdaten/Standort
- Profilausprägung (Heiz- oder Prozessorientiert)

Eine Basis für die Berechnung des thermischen Standardlastprofils kann beispielsweise die Dissertation von Hellwig [131] bieten. Diese ermöglicht es, thermische Lastgänge von Nichtwohngebäuden mit geringem Prozessenergiebedarf anzunähern. Für die Generierung elektrischer Standardlastprofile, wird das SLP des BDEW verwendet. Die Inputparameter sind hier der SLP-Typ sowie der saisonale (monatliche, jährliche) Energieverbrauch. Befinden sich im betrachteten Stadtquartier Nichtwohngebäude, deren Angaben ausschließlich Nutzungsart, Nettogrundfläche oder Anzahl der Mitarbeiter beinhalten, können auch für diese Gebäude zunächst sowohl der Jahresenergieverbrauch, als auch darauf aufbauend ein thermisches und elektrisches Lastprofil erzeugt werden. Für die Bestimmung des Jahresenergieverbrauches kann eine Software benutzt werden, der Studien des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) sowie des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hinsichtlich des Energieverbrauchs von Nichtwohngebäuden zu Grunde liegen [132][133]. Ist der Jahresenergieverbrauch bekannt, kann wiederum ein realistisches Standardlastprofil ermittelt werden. Im Bereich der kleinen und mittelständischen Unternehmen werden ebenfalls entweder vorhandene Messdaten verwendet oder mit den oben genannten Verfahren Standardlastprofile erzeugt.

Für die Modellierung der Anlagentechnik und Erzeuger kann auf die multiphysikalische, objektorientierte Programmiersprache Modelica-Bibliothek zurückgegriffen werden [134]. Diese bietet u. a. Wärmepumpen, KWK, Solarthermie, Photovoltaikmodelle etc. an. Eine Integration in das Hausmodell ist möglich und vorgesehen. Im Rahmen der Erzeugermodellierung sind Wetterdatensätze als weitere Informationsquelle unerlässlich. Hier

kann beispielsweise auf Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für das jeweilige Projektgebiet zurückgegriffen werden. Für eine Analyse des elektrischen Netzes, wird das Nieder- und Mittelspannungsnetz des Stadtquartiers in gängiger Systemsoftware, wie z.B. NEPLAN oder DlgSILENT PowerFactory implementiert. Eine statische Lastflussberechnung kann somit durchgeführt werden. Eine multi-energetische Simulation wird durch die Kopplung der thermischen und elektrischen Komponenten, also der Anlagen- und Gebäudemodelle in Modelica sowie der elektrischen Netzsimulation, ermöglicht. Somit können Auswirkungen volatiler Energieerzeugungsanlagen auf das elektrische Netz ebenso wie Möglichkeiten zum Energie- und Lastmanagement untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Analysen können anschließend wieder in der GIS-Datenbank gespeichert und ausgewertet werden. So können Konzepte entwickelt werden, die im Falle einer Umsetzung im Stadtquartier sowohl zu einer energetischen Optimierung, als auch zu einer Aufwertung des Lebensraums führen können.

#### 4.1.2 Modellierungsansatz

##### *Modulares Konzept*

Für die Modellierung komplexer Netzwerke sind modulare Ansätze aufgrund der verbesserten Skalierbarkeit, Erweiterbarkeit und Flexibilität besonders vorteilhaft. Das vorgeschlagene modulare Konzept für die Modellierung von Smart Cities basiert auf der Definition einzelner Elemente, Infrastrukturen und Ressourcen, die als Basis für die Modellierung von Stadtkonstrukten verwendet werden. Der modulare Ansatz soll eine möglichst genaue Abbildung einer Stadt in ihrer Vielfalt ermöglichen, indem unterschiedliche Aspekte der Elemente und Infrastrukturen berücksichtigt werden. Die Modellierung der Komponenten auf niedrigster Ebene bietet den Vorteil, dass das Systemmodell beliebig erweiterbar ist – eine grundlegende Voraussetzung für Systeme mit hoher Dynamik, wie es Städte typischerweise sind. Ein weiterer Vorteil der Modularität ist, dass sich die entwickelte Methodik auf Städte und Kommunen beliebiger Größe mit beliebigen Kombinationen von Elementen und Infrastrukturen übertragen lässt.

Die Voraussetzungen für Modularität sind geschaffen durch die Definition von Klassen von Elementarbausteinen, die die Basis in dem betrachteten System bilden. Im Fall von Smart Cities sind das die Elemente, die als Quelle oder Senke für eine oder mehrere Ressourcen agieren und deren Funktionsweise durch das System Smart City nicht beeinflusst wird, bzw. diese Beeinflussung wegen des geringen Ausmaßes an gegenseitigen Effekten vernachlässigt werden kann. Die Klassen von Elementarbausteinen sind z. B. Straßen, Gebäude, Heizungssysteme, Beleuchtung, dezentrale Erzeugungsanlagen, thermische oder elektrische Speicher, etc. (s. Abbildung 30).



Abbildung 30: Anordnung von Elementarbausteinen

Neben der Möglichkeit Stadtstrukturen beliebiger Zusammensetzung abzubilden, ermöglicht der modulare Ansatz die Implementierung mehrerer Aggregationsebenen. Dadurch wird der Umgang mit großen Datenmengen erleichtert, eine bessere Modellbildung und effizientere Simulation ermöglicht und ein vielseitig interagierendes System geschaffen. Die Aggregation erlaubt eine differenzierte Betrachtung der Teile des Systems, die für das konkrete Vorhaben relevant sind (s. Abbildung 31). Ein Beispiel hierfür ist das Einrichten eines Nahwärmenetzes. Die Betrachtung der Heizungssysteme, der Speichermöglichkeiten und der Energiebilanzen von bis zu sechs benachbarten Wohnhäusern als Gesamtsystem ist sinnvoll, da Wärmeübertragung hohe Verluste aufweist. In diesem Fall bietet sich eine Aggregation auf Gebäudeebene (markiert in Rot in Abbildung 31) an. Im Gegensatz dazu ist im Stadtentwicklungsprozess die Konzentration leer stehender Wohngebäude nach Stadtteilen interessant, um Maßnahmen für die Erhöhung der Lebensqualität in diesen Stadtteilen zu planen. Diese Betrachtung erfordert eine Aggregation auf der Ebene einer oder mehrerer Straßen beziehungsweise eines Stadtteils (markiert in Blau in Abbildung 31). Durch den modularen Ansatz ist beides mit geringem Aufwand möglich.

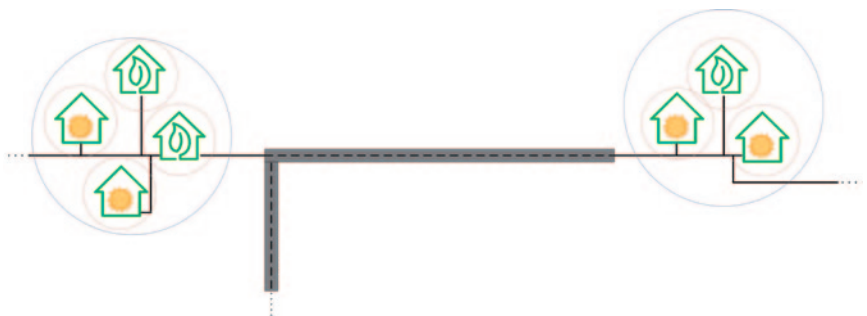


Abbildung 31: Aggregationsebenen

Die Ressourcen und die Elementarbausteine werden im Folgenden definiert. Deren Zusammensetzen zu Strukturen und ihre Zusammenwirkung ist veranschaulicht in dem Beispiel in Abschnitt 4.1.3.

#### *Ressourcen und Ressourcenbilanzierung*

Das beschriebene Modellierungskonzept dient als Grundlage für die Darstellung des Gesamtsystems Smart City, um Anwendungen im Rahmen der

Stadtentwicklung zu unterstützen. Das könnten unter anderem die Simulationen mehrerer Szenarien oder die Optimierung von Systemteilen hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien sein (Nachhaltigkeit, Kosten, etc.), mit dem Ziel, daraus eine optimal auf die Eigenschaften und Bedürfnisse der jeweiligen Stadt oder Siedlung zugeschnittene Lösung abzuleiten. Die Optimierung des Systems oder einzelner Systemteile basiert auf dem Prinzip der Ressourcenbilanzierung, das im Folgenden beschrieben ist.

Elemente des Systems Smart City agieren entsprechend ihrer Charakteristik und Funktionalitäten, indem sie Ressourcen zur Verfügung stellen und in Anspruch nehmen, z. B. Energie, Wasser, Raum, etc. Entsprechend modelliert, können diese Ressourcen als Schnittstellen zwischen Elementen, bzw. Systemteilen, betrachtet werden. Auf die Schnittstellen können auch externe Anwendungen zugreifen, die über die einschlägigen Rechte verfügen. Das so entstehende interaktive System erlaubt eine horizontale Optimierung, d.h. Optimierung mehrerer Faktoren auf der niedrigsten Ebene, z. B. auf Haushalts- oder Gebäudeebene (siehe auch Abschnitt 4.3.2).

Das Prinzip ist dargestellt in Abbildung 32. In dem ersten Szenario (markiert in rot) wird eine Optimierung des Energieverbrauchs unter Erwägung der Wärmeleistung und der Lärmbelastung durchgeführt. Dafür greift der Optimierungsprozess auf die Listen mit angebotenen und beanspruchten Ressourcen („+“ und „-“) von den Heizsystemen in den Haushalten 1, 2, 3 und 4. Der Optimierungsprozess liest die Werte für Energie und Lärm aus den Listen mit beanspruchten Ressourcen und die erzeugten Wärmeleistungen aus den Listen mit angebotenen Ressourcen ab. Anhand der Bedarfsprofile kann so der Energieverbrauch und die Lärmbelastung bei gesicherter Wärmeerzeugung minimiert werden. Im zweiten Szenario (der Optimierungsprozess gekennzeichnet mit blau) haben die Haushalte in einer Community (Haushalte 3 und 4) einen gemeinsamen Wärmespeicher installiert und erhalten eine Vergütung für das zeitversetzte Schalten ihrer Heizungssysteme. Ziel des Optimierungsprozesses ist es, die Erträge der Community zu maximieren, indem die Geräte der teilnehmenden Haushalte möglichst gleichmäßig beansprucht werden.

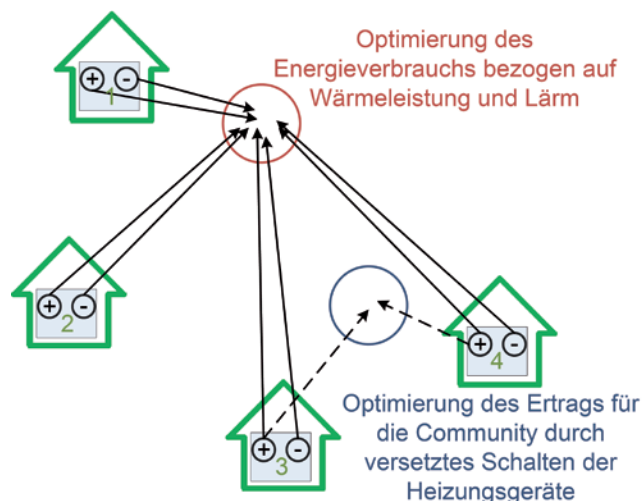


Abbildung 32: Resource Balancing Principle

Aus Systemsicht stellen die Ergebnisse der horizontalen mehrdimensionalen Optimierung eine ganzheitliche und nachhaltige Lösung dar. Diese ist auf die spezifischen Eigenschaften des betrachteten Subsystems zugeschnitten und dadurch optimal für dieses Subsystem. Die effiziente Zusammenwirkung der einzelnen Komponenten in dem Gesamtsystem Smart City, so dass Vorgänge optimiert werden und die Ressourcennutzung so effizient wie möglich gestaltet wird, ist eine zentrale Voraussetzung für die Smart City. Im Vergleich dazu könnte eine vertikale Optimierung, separat für jede Ressource durchgeführt, zu besseren Ergebnissen für die jeweilige Ressource führen. Diese Ergebnisse wären jedoch in den meisten Fällen nicht optimal für das Gesamtsystem.

In dem aktuellen Kontext stellen Ressourcen die Wertstoffe, Stoffströme und Eigenschaften dar, die aus umwelttechnischen, Nachhaltigkeits- oder Knappheitsgründen effizient genutzt werden sollten und deshalb im Rahmen des Prinzips der Ressourcenbilanzierung für die horizontale Optimierung von Interesse sind. Eine Liste potentieller Ressourcen relevant für die Entwicklung von Smart Cities ist in dem Beispiel in Abschnitt 4.1.3 gegeben, in dem die Rolle und der Einsatz von Ressourcen in dem Prinzip der Ressourcenbilanzierung erläutert sind.

#### *Elementarbausteine: Objekte und Infrastrukturen*

Die Anwendung des modularen Modellierungskonzeptes erfordert die Definition der Elementarbausteine der Smart City. Als Elementarbausteine gelten private und öffentliche Objekte und Infrastrukturen. Diese werden im Folgenden näher vorgestellt.

##### Private und Öffentliche Objekte

Die Struktur eines Elementarbausteines ist schematisch dargestellt in Abbildung 33. Der Typ bezeichnet den privaten oder öffentlichen Gebrauch eines Elements. Zweckmäßig für das Modellierungskonzept werden Objekte nicht anhand von Besitzmerkmalen als privat oder öffentlich eingestuft, sondern danach ob das Element frei zugänglich für die Öffentlichkeit ist. Diese Klassifizierung erlaubt den Zugriff auf die jeweilige Menge von Objekten mit ähnlicher Charakteristik, wodurch eine Simulation bestimmter Maßnahmen nur auf die relevante Menge mit wenig Aufwand möglich ist. Darüber hinaus ist es möglich, während der Laufzeit im Real-system Objekte nach sehr konkreten Vorgaben zu filtern, z. B. um Angebote, Anfragen und Informationen zu senden, oder weitere Optimierungsmaßnahmen zu planen.



<b>Elementarbaustein</b>	<b>Typ(öffentlich/privat)</b>
<b>Ressourcen</b> zur Verfügung gestellt beansprucht	
<b>Labels</b> Kategorie <i>Dienstleistungen</i>	

Abbildung 33: Struktur eines Elements

Der Inhalt in den Kategorien „beanspruchte“ und „zur Verfügung gestellte“ Ressourcen variiert entsprechend der Betrachtung. Bei statischer Betrachtung oder unveränderlichen Werten, z. B. Maße des Gebäudes, befinden sich in diesen Kategorien die entsprechenden Werte. Bei zeitlicher Betrachtung, z. B. des Verbrauchs oder der Belegung über die Zeit, können hier Profile hinterlegt werden. Die Werte werden nach dem Prinzip der Ressourcenbilanzierung für die horizontale Optimierung der Ressourcennutzung verwendet. Die Kategorien werden als Schnittstellen zu externen Anwendungen verwendet.

Die optionalen Felder „Kategorie“ und „Dienstleistungen“ sind zusätzliche Merkmale, die das Element charakterisieren. „Kategorie“ bezeichnet die übergreifende Kategorie zu der das Element gehört. Das können z. B. Gesundheitswesen (Krankenhäuser, Altersheime, Rehabilitationseinrichtungen, etc.), Ausbildung und Betreuung (Kindergärten, Schulen, Universitäten), Sicherheit (Feuerwehr, Polizei), Politik (Verwaltung, Regierung), Wohngebäude und –einrichtungen, Business (Bürogebäude), Transport oder Freizeit sein. Weitere denkbare Kategorien entsprechen besonderen Merkmalen der Objekte, z. B. die Kategorien „Energie“ oder „Wasser“ für Objekte mit besonders intensivem und/oder flexiblem Energie- oder Wasserverbrauch (Unternehmen in der Chemieindustrie, Kläranlagen, etc.). Ein Element kann mehreren Kategorien angehören, so gehörten beispielsweise Altersheime in die Kategorien „Gesundheitswesen“, „Betreuung“ und „Business“.

Das Feld „Dienstleistungen“ enthält besondere Dienstleistungen, die entweder das Objekt zur Verfügung stellt oder die interessant für seine Besucher oder Nutzer sein könnten. Mögliche Dienstleistungen sind z.B. Gastronomie für Bewirtungsangebote, Ausbildung (wenn die Einrichtung Ausbildungsangebote, Kurse oder Seminare durch Fachleute anbieten könnte oder geeignete Räumlichkeiten für ihre Durchführung bietet), Wohnen, Parken, Freizeit, Sicherheit, etc. Diese Option stellt sogleich ein mögliches Business Case innerhalb der Smart City dar. Einerseits stehen bei Bedarf zahlreiche Angebote zur Verfügung, die nach Ort, Verfügbarkeit,

etc. sortiert werden können. Das Angebot ist z. B. für städtische Projekte und Vorhaben von Bedeutung, aber auch für externe Interessenten erreichbar, wenn diese im Rahmen eines unternehmensinternen Weiterbildungsprogrammes bestimmte Seminare buchen möchten, oder zu Werbezwecken eine bestimmte Gruppe erreichen wollen. Andererseits sind dadurch umfassende Recherchen potentieller Kunden oder günstiger Gewerbeflächen mit geringem Aufwand möglich, z.B. im Rahmen von Geschäftserweiterungsmaßnahmen. So wären für die geplante Einrichtung kleiner Kinosäle die Objekte interessant, die als Dienstleistungen „Freizeit“, „Parken“ und „Gastronomie“ aufgelistet haben.

Abbildung 34 zeigt ein Beispiel für die Definition eines Schul- und Ausbildungskomplexes gemäß dem vorgestellten Modellierungskonzept. Der Komplex bietet tagsüber Kleinkinder- und Kindergartenbetreuung, und Schulunterricht. Dazu gehören Unterrichtsräume für die grundschulische Ausbildung von 40 Schülern, den Gesamtschulunterricht für 60 Schüler, Laborräume, eine Trainingshalle mit Schwimmbecken, und eine Kantine. In den Abendstunden und am Wochenende bietet der Ausbildungskomplex Erwachsenenunterricht für das Nachholen von Schulabschlüssen, unterschiedliche Kurse und Seminare, Prüfungen und Blockseminare für das eigene Fernuniversitätsangebot. Der Ausbildungskomplex gehört in die Kategorie „Ausbildung“. Als angebotene Dienstleistungen sind Ausbildung (mehrere öffentlich zugängliche Ausbildungsangebote), Freizeit (Sportangebote am Wochenende, kleine Vorführungen der Theatergruppe an der Schule und der Gesanggruppe am Wochenende), Gastronomie (Kantine und Cafeteria) und Parken (Parkgelände mit 200 Stellplätzen) eingetragen. Der Aufbau des Bausteins mit Werten und Profilen für den Tagesverlauf ist in dem Modell in Abbildung 34 dargestellt und im Beispiel in 4.1.3 ausführlich behandelt.

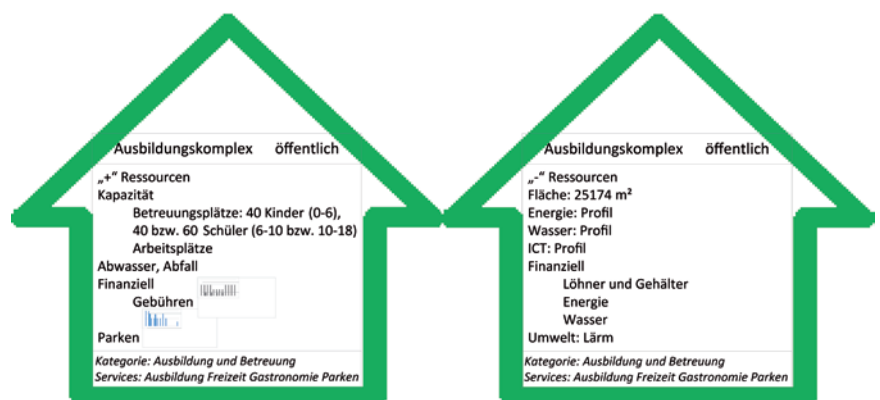


Abbildung 34: Elementstruktur des Ausbildungskomplexes

Die Verwendung von Kategorien und Services ermöglicht die Gruppierung aller Elemente in einem System nach deren Verwendung oder besonderen Merkmalen. Das kann beispielsweise im Rahmen einer Gesundheitsreform für die Verbesserung der Betreuung für Senioren interessant sein, wie viele Betreuungsplätze aktuell in den spezialisierten Einrichtungen vorhanden sind, welche anderen Betreuungseinrichtungen zeitlich begrenzte Betreuung anbieten können und welche Objekte generell Dienstleistungen anbieten. So können z. B. öffentliche Einrichtungen mit zeitweise geringer Auslastung Interessengruppen oder Sportangebote für nicht pflegebedürftige Senioren anbieten. Diese sind erreichbar in den Kategorien „Betreuung“ und „Freizeit“ mit der entsprechenden Belegung je nach Tageszeit. Eine andere Möglichkeit sind besondere Angebote, teilweise aus öffentlichen Geldern finanziert, für Senioren in heimischer Betreuung die Unterstützung brauchen. So könnten Kantinen in Unternehmen oder Schulen die Lieferung eines „Senioren-Menüs“ zur Mittagszeit anbieten. Die potentiellen Anbieter sind über die Dienstleistung „Gastronomie“ erreichbar.

#### Infrastrukturen

Neben den Objekten sind in dem Modellierungskonzept als weiterer Elementarbaustein die möglichen Infrastrukturen vorgesehen. Als Infrastrukturen werden in diesem Kontext alle Strukturen bezeichnet, deren primäre Funktion mit der Beförderung oder Übertragung von Stoffen, Information, Gütern oder Menschen verbunden ist.

Für die bessere Integration des Bausteins Infrastrukturen, sind diese als diskret oder kontinuierlich gekennzeichnet. Kontinuierliche Infrastrukturen sind durch einen generellen Stromfluss, also z. B. die Übertragungsnetze (Energie, Mobilfunk, Gas, Wasser, Fernwärme, etc.), gekennzeichnet. Diskrete Infrastrukturen dienen der Übertragung von Menschen und Gütern, also z. B. das Straßennetz, Luftwege, das Eisenbahnnetz, etc. Das Zusammenwirken von privaten und öffentlichen Objekten und diskreten und kontinuierlichen Infrastrukturen ist an dem Beispiel der Struktur eines Teils des Systems Smart City in Abbildung 35 dargestellt. Private und öffentliche Objekte sind durch Infrastrukturen verbunden. So sind z.B. Bürogebäude als öffentliche Objekte über diskrete Infrastrukturen (Straßen und U-Bahnnetz) mit anderen öffentlichen Objekten und mit den Wohngebäuden verbunden. Zusätzlich sind sie durch die kontinuierlichen Infrastrukturen Energie- und Internetnetz mit dem jeweiligen Anbieter verbunden. Die Infrastrukturen verbinden das Subsystem Smart City mit der Umgebung, z. B. Straßen zu den Vororten, aus denen Menschen morgens zu den Bürogebäuden fahren. Die Infrastrukturen stellen auch die Verbindung der Smart City mit externen Objekten dar, wie z.B. religiöse Einrichtungen oder große Erholungseinrichtungen außerhalb der Stadt. Die Infrastrukturen werden sowohl innerhalb als auch außerhalb der Stadt genutzt, um sich zwischen öffentlichen und privaten Objekte zu bewegen.

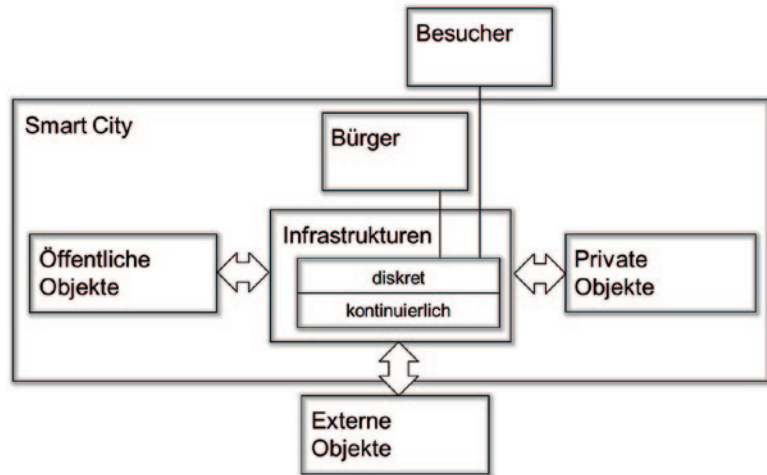


Abbildung 35: Gesamtsystem Smart City

### 4.1.3 Beispiele

#### Elementarobjekte

An dieser Stelle werden Beispiele für konkrete Elementarobjekte mit der entsprechenden Definition vorgestellt, die das Prinzip des modularen Modellierungskonzepts veranschaulichen. In dem Fall von Versorgungsgütern wie Wasser, elektrische Energie, etc. wird zwischen der Ressource und dem Elementarobjekt unterschieden. So ist die Ressource „Wasser“ von Bedeutung für das Bilanzierungsprinzip, das z.B. die Wasser- und Energieversorgung gegeneinander optimieren wird. Als Ressource wäre Wasser über das Volumen das gespeichert werden kann, oder die Temperatur auf die das Wasser erhitzt werden kann, um Überschüsse an elektrischer Energie zu integrieren. Dagegen wird Wasser im Sinne von der Infrastruktur „Wassernetz“ über den Druck in der Leitung, den Durchfluss und die Leitungsverluste definiert. Die Modelle sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt.

Element	Infrastruktur	Definition als Elementarobjekt	Definition als Ressource
Elektrische Energie	Stromnetz	Spannung Strom über die Leitung Widerstand (ohmsch)	Leistung [ $Wh_{el}$ ]
Wärme	(Fern-)Wärmenetz	Temperatur Wärmeleistung thermische Verluste	Wärme [ $Wh_{th}$ ] Temperatur [ $^{\circ}C$ , $^{\circ}F$ ]
Gas	Gasnetz	Druck Gasfluss Leitungsverluste	Volumen [ $m^3$ , l]
Wasser	Wassernetz	Druck Durchfluss Leitungsverluste	Volumen [ $m^3$ , l] (Höhe [m]) (Temperatur [ $^{\circ}C$ , $^{\circ}F$ ])
Schiennetz	Schiennetz	Kapazität: Anzahl Sitze (pro Std) Auslastung	Kapazität Beförderte Fahrgäste Eingesparte $CO_2$ -Emissionen
Straßennetz	Straßennetz	Kapazität (#KFZ/min) Auslastung (#KFZ/Kapazität)	Kapazität Lärm

Tabelle 5: Beispiele für die Modellierung von Elementen

Element	Objekttyp	Definition als Elementarobjekt
Einfamilienhaus	Wohngebäude Privates Objekt	Gebäudemaße Wohnfläche Nutzfläche Wohnkapazität Evtl. Fläche und Potenzial für die Installation von Energieerzeugungsanlagen zur Netzunterstützung Belegung Anwesenheitsprofil
Parkplatz	Öffentliches Objekt	Kapazität Auslastung

Tabelle 6: Beispiele für die Modellierung von Objekten

### Zusammengesetzte Smart-City-Komponente

Im Folgenden wird das Modellierungskonzept am Beispiel eines Stadtteils veranschaulicht. Der Stadtteil, abgebildet in Abbildung 36, besteht aus zwei Siedlungen, einem Geschäft, Theater, Ausbildungszentrum und einem Bürokomplex. Er ist in dem Gesamtsystem Smart City integriert und mit der Umgebung durch die bestehenden Infrastrukturen verbunden. Die Infrastrukturen sind hier Straßen, Versorgungs- und Übertragungsnetze (Wasser, Energie, Telekommunikation, Fernwärme).



Abbildung 36: Zusammengesetzte Smart City Komponente: Stadtteil mit zwei Siedlungen, Theater, Geschäft, Ausbildungszentrum, Bürokomplex

Als Elementarbausteine werden in dieser Konstellation die Objekte Haus, Theater, Geschäft, Ausbildungszentrum, Bürokomplex und die Infrastrukturen betrachtet. Die Charakteristik und der Ressourcenverbrauch sind im Folgenden einzeln für jedes Objekt für Freitag, Samstag und Sonntag in der Sommerzeit aufgeführt.

#### Wohngebäude

Für dieses Objekt ist ein Vierpersonenhaushalt in einem Einfamilienhaus angenommen, wie definiert in Tabelle 6. In diesem Beispiel sind die Eltern berufstätig und die Kinder werden ganztags im Ausbildungszentrum betreut.

Abbildung 37 zeigt die Leistungsaufnahme sowie die Wasser- und Abwasserwerte für die drei Tage Freitag, Samstag und Sonntag. Die Aufnahme elektrischer Energie ist in Rot dargestellt und liegt zwischen 0.6 kW (Basislast) und 14kW. Der Energieverbrauch steigt stark in den frühen Morgenstunden am Freitag an, wenn die Bewohner aufstehen, duschen und vor der Arbeit frühstücken. Die Werte für den Wasserverbrauch und für Abwasser liegen nah beieinander, sind jedoch nicht identisch. Diskrepanzen können z.B. beim Kochen oder Gießen von Pflanzen auftreten. Im Sinne von Gebäudemmaßen sind die Werte für die Ressource Raum fix. Die Gebäudemasse werden für die Ressource Raum für den gesamten Betrachtungszeitraum als fest angenommen. Für das betrachtete Einfamilienhaus sind das 150m<sup>2</sup> für das Haus und zusätzliche 100m<sup>2</sup> Gartenfläche. Das Objekt bietet Wohnkapazität für 6 Personen. Das Dach bietet 45m<sup>2</sup> Fläche für die potentielle Installation einer Photovoltaikanlage. Die Belegungskomponente Anwesenheit der Bewohner ist in Tabelle 7 für die drei Tage dargestellt, wobei zwischen aktiver und inaktiver Anwesenheit unterschieden wird. Im Feld „inaktiv“ wird die Anzahl der Personen eingetragen, die anwesend sind, aber keine Ressourcen aktiv verbrauchen (z. B. beim Schlafen, Abendessen).

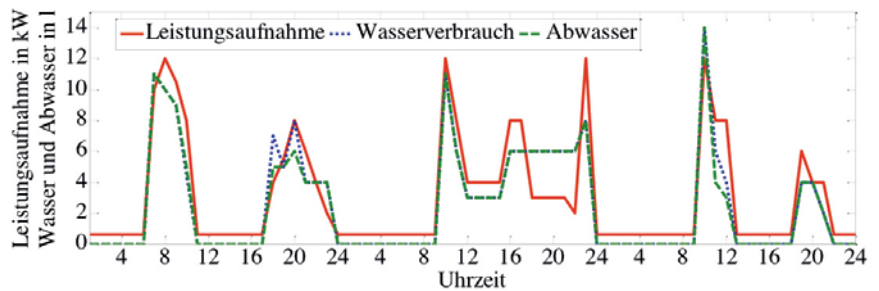


Abbildung 37: Leistungsaufnahme des Haushalts, Wasser- und Abwasserwerte

Anwesenheit	Uhrzeit															
	0-6	6-9	9-17	17-20	20-23	23-9	9-13	13-17	17-21	21-2	2-10	10-11	11-19	19-20	20-21	21-24
aktiv	0	4	0	4	2	0	4	0	8	4	0	8	0	4	2	0
inaktiv	4	0	0	0	2	4	0	0	0	4	8	0	0	0	2	4

Tabelle 7: Anwesenheit der Bewohner (0-24 Uhr am Freitag, Samstag, Sonntag)

### Bürokomplex

Der Bürokomplex besteht aus den Bürogebäuden mehrerer Technologieunternehmen. Die typische Arbeitswoche ist von Montag bis Freitag, viele Mitarbeiter kommen jedoch auch am Samstag. Am Sonntag bleibt der Bürokomplex bis auf Ausnahmefälle geschlossen.

In Abbildung 38 ist die Leistungsaufnahme in Rot dargestellt, sowie die Wasser- und Abwasserwerte in Blau und in Grün. Zwischen 5 und 7 Uhr morgens werden die Räumlichkeiten gereinigt, dementsprechend steigt der Energieverbrauch an, die Abwasserwerte entsprechen dem Wasserver-

brauch. Zwischen 6 und 21 Uhr sind Mitarbeiter an ihren Arbeitsplätzen. Die Cafeteria öffnet um 7 Uhr und bietet Frühstück bis 9 Uhr an. Zwischen 9 und 15 Uhr wird das Mittagessen zubereitet, in der Kantine serviert, und das Geschirr gespült. Dies spiegelt sich in einem stark erhöhten Energie- und Wasserverbrauch wider. Am Samstag hat die Cafeteria von 9 bis 14 Uhr geöffnet, wobei Mitarbeiter zwischen 10 und 16 Uhr anwesend sind. Am Sonntag ist eine deutlich geringere Anzahl an Mitarbeitern zwischen 10 und 14 Uhr in den Büroräumen.

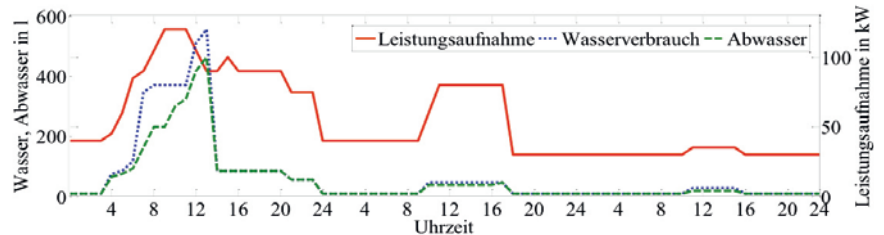


Abbildung 38: Leistungsaufnahme, Wasser- und Abwasserwerte für den Bürokomplex

#### Ausbildungszentrum

Wie bereits in Abschnitt 4.1.2 definiert, bietet das Ausbildungszentrum Betreuungsplätze für 40 Kinder bis 6 Jahre, 40 Grundschul- und 60 Gesamtschulplätze auf einer Gesamtfläche von 25174 m<sup>2</sup>. Insgesamt bietet es Arbeitsplätze für 14 Lehrer und Betreuer, 5 Arbeitsplätze in Leitung und Administration und weitere 10 Arbeitsplätze für Aushilfspersonal. Zusätzlich zu dem regulären Unterricht bietet das Ausbildungszentrum Kurse und Seminare in den Abendstunden und am Wochenende an. Dazu gehören eine Sporthalle, eine Kantine mit Cafeteria-Bereich und ein Parkgelände mit 200 Stellplätzen.

Die Leistungsaufnahme, die Wasser- und Abwasserwerte für das Ausbildungszentrum sind dargestellt in Abbildung 39. Die Basislast beträgt 84kW an Wochentagen und 70kW am Wochenende. Der Energieverbrauch steigt in den frühen Morgenstunden am Freitag mit dem Beginn der Schichten des Aushilfspersonals. Das spiegelt sich in den steigenden Wasserverbrauch- und Abwasserwerten, da die Räumlichkeiten gereinigt werden. Zwischen 7 und 9 Uhr beginnt sowohl der Unterricht als auch die Kinderbetreuung. Somit steigt dann auch der Energieverbrauch. Der Wasserverbrauch sinkt auf 10 Liter/Std, Abwasser auf 8 Liter/Std. In der großen Pause um 10 Uhr steigt der Wasserverbrauch auf 80 Liter. Der Energieverbrauch erreicht Höchstwerte zwischen 10 und 13 Uhr, wenn in der Kantine das Mittagessen zubereitet wird. Die Wasser- und Abwasserwerte sind in dieser Zeit 40, bzw. 20 Liter/Stunde. In den Abendstunden (18.00-21.00) finden nur noch zwei Abendkurse statt. Die Heizung wird runtergefahren und der Energie- und Wasserverbrauch sinken.

Am Samstag finden im Ausbildungszentrum nur einzelne Seminare zwischen 10 und 18 Uhr statt, die Reinigungskräfte fangen erst um 8 Uhr an. Das spiegelt sich im Energie und Wasserverbrauch wider. Am Sonntag findet von 12 bis 15 Uhr ein Basketballspiel in der Sporthalle statt. Von 15

bis 18 Uhr wird das Schwimmbecken entleert und von 18 bis 21 Uhr wieder mit Wasser gefüllt.

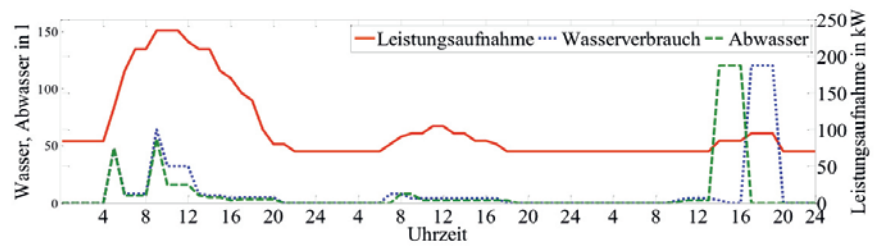


Abbildung 39: Leistungs- und Wasserverbrauchswerte für das Ausbildungszentrum

Diese Dynamik ist auch in der Belegung des schuleigenen Parkgeländes mit der Kapazität von 200 Stellplätzen erkennbar. Ein Teil der Stellplätze ist reserviert für Schulbesucher und Mitarbeiter. Die ungenutzten Plätze können von den Einwohnern der angrenzenden Siedlung genutzt werden. In Abbildung 40 ist die Belegung des Parkgeländes dargestellt. Die blauen Balken stellen die Plätze dar, die von Einwohnern belegt sind. Die Auslastung durch Einwohner ist hoch in der Nacht, sehr niedrig während des Tages am Freitag, und ein wenig höher am Wochenende. Die Nutzung von Parkplätzen von Schulbesuchern und Mitarbeitern ist durch die roten Balken dargestellt. Es liegt praktisch keine Nutzung während der Nacht vor, während in den Morgen- und Nachmittagsstunden die Nutzung sehr hoch ist. Dies liegt an den Arbeitszeiten der Mitarbeiter und dem erhöhten Bedarf durch die Eltern, die die Kinder zur Schule bringen oder abholen.

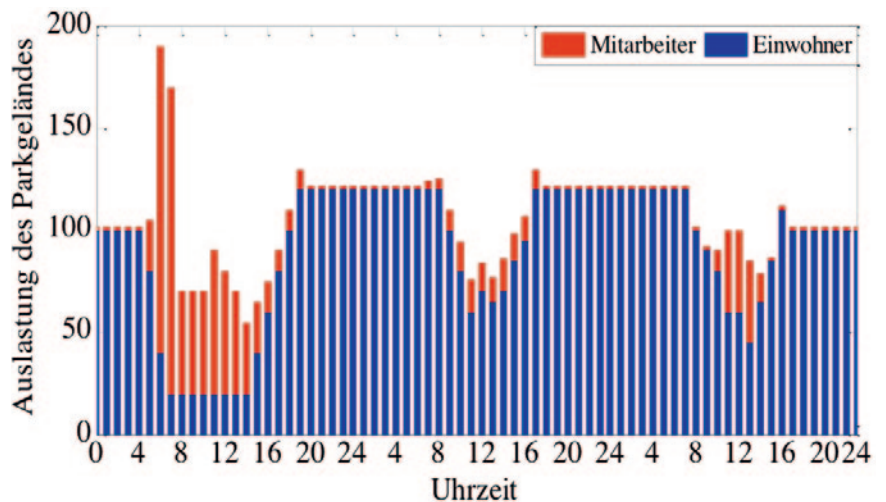


Abbildung 40: Auslastung des Parkgeländes: Stellplätze belegt durch Einwohner (blau), und Mitarbeiter und Schulbesucher (rot)

#### Geschäft

Das Geschäft ist ein kleiner Supermarkt in einer der Siedlungen. Es hat geöffnet von 7.00 bis 21.00 Uhr in der Woche, und von 9.00 bis 16.00 Uhr am Samstag. Am Sonntag bleibt das Geschäft geschlossen.

Die rote Kurve in Abbildung 41 zeigt die Leistungsaufnahme des Ge-



geschäfts, die blaue und grüne die Wasser- und Abwasserwerte. Das Geschäft verbraucht permanent kleine Mengen Wasser und relativ viel Energie, da für die Frischhaltung bestimmter Nahrungsmitteln eine konstante Temperatur und Luftfeuchtigkeit benötigt werden. Der Wasserverbrauch steigt stark aufgrund der Reinigung in den frühen Morgenstunden an. Im Vergleich dazu ist der Anstieg des Energieverbrauchs niedrig, da zu dieser Zeit die Heizung nur langsam hochgefahren wird und die Beleuchtung nur in einzelnen Bereichen gebraucht wird. In den nächsten Stunden werden die Heizung, die Lüftung und die Beleuchtung für das Öffnen des Geschäfts auf ihre volle Kapazität geschaltet, dementsprechend erreicht die Leistungsaufnahme ihren Höchstwert. Dieselbe Dynamik ist am Samstag entsprechend den kürzeren Öffnungszeiten zu beobachten. Die Basislast ist in der Nacht auf Sonntag niedriger, da die Heizung im öffentlich zugänglichen Bereich komplett abgeschaltet wird, um während der längeren Schließungszeit Energie zu sparen.

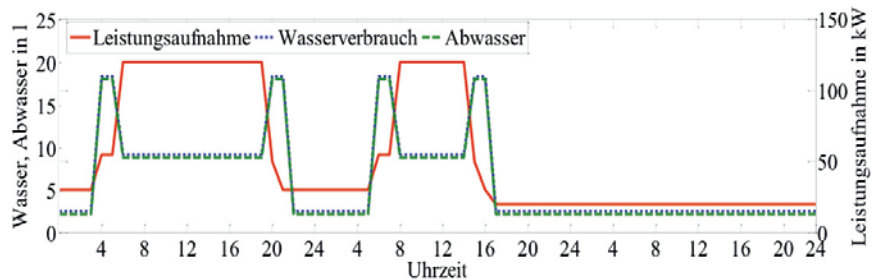


Abbildung 41: Leistungsaufnahme, Wasser- und Abwasserwerte für das Geschäft

### Theater

Das Theater hat Veranstaltungen nur am Wochenende, wobei eine Vorstellung um 20 Uhr am Samstag und eine um 18 Uhr am Sonntag stattfindet. Zusätzlich bietet das Theater zwei Kindervorstellungen, am Samstag um 15.00 und am Sonntag um 11.00. An Wochentagen wird im Theater geprobt. Das Theater verfügt über ein Café, das kleine Speisen und Getränke für die Gäste und für die Mitarbeiter anbietet.

Dieser Verlauf ist in Abbildung 42 dargestellt. Am Freitag werden die Räume zwischen 9 und 10 Uhr gereinigt, wobei der Energie- und Wasserverbrauch steigt. Die letzten Mitarbeiter verlassen die Räumlichkeiten um ca. 23 Uhr. Am Samstag steigt der Energieverbrauch vor der Kindervorstellung um 15 Uhr und vor der Abendvorstellung aufgrund der Reinigung und der Vor- und Zubereitung von Speisen und Getränken im Café. Die letzten Gäste und das Personal verlassen das Theater um 23 Uhr. Ein ähnlicher Verlauf ist am Sonntag zu beobachten, die Zeiten sind entsprechend verschoben.

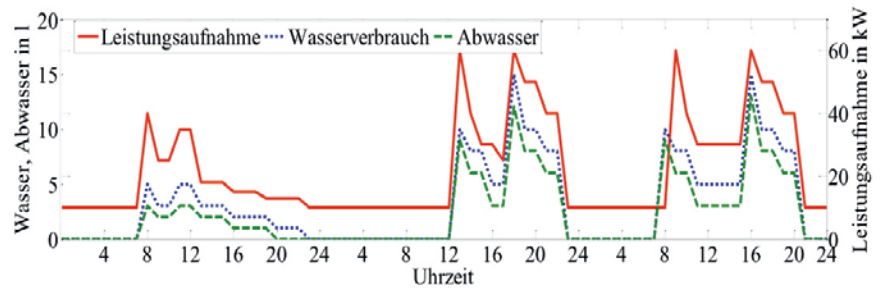


Abbildung 42: Leistungsaufnahme, Wasser- und Abwasserwerte für das Theater

## 4.2 Simulation

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an die Simulationstools behandelt, die für die Entwicklung und Betrieb der Smart City notwendig sind. Die Wahl an Simulationstools ist begründet in 4.2.2. Die letzten zwei Abschnitte beinhalten die Implementierung einiger grundlegender Elemente und ihre Umsetzung in einem Beispiel.

### 4.2.1 Prinzipielle Vorgehensweise

Wie bereits in 4.2 beschrieben, ist die Entwicklung domänenübergreifender Modellierungs- und Simulationstools eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung der Stadt zu einem hochentwickelten, optimierten Gesamtsystem, in dem die effiziente Organisation von Prozessen und deren Interaktionen im Vordergrund steht.

In der Vergangenheit wurden Netze und Infrastrukturen mit hohen Toleranzmargen gebaut und im Betrieb kaum überwacht. Einerseits aufgrund fehlender technischer Möglichkeiten, andererseits wegen der fehlenden Sensibilität für die Endlichkeit der Ressourcen und der Wichtigkeit des nachhaltigen Umgangs mit ihnen. Dieser Ansatz ist unter den Umständen der globalen Erwärmung und stetig wachsenden Erdbevölkerung nicht mehr vertretbar. Ein nachhaltiger Umgang mit Ressourcen erfordert geeignete Werkzeuge, die durch die gekoppelte Betrachtung mehrerer Domänen Effizienzpotenziale ermitteln und Methoden entwerfen, um diese auszuschöpfen. Diese ganzheitliche Betrachtung erhöht jedoch die Komplexität der Untersuchungen erheblich, da die Anzahl an Quellen, Constraints, und möglichen Effekten auf der Umgebung um ein Vielfaches steigen.

Ein erster Schritt um dieser Komplexität gerecht zu werden sind die vereinfachten Modelle vorgestellt in 4.1, die trotz der Vereinfachungen eine domänenübergreifende Betrachtung ermöglichen. Derselbe Ansatz wird an dieser Stelle für die Simulation verfolgt. Es gibt bereits andere Studien, die die Effekte von Nutzerverhalten auf das System untersuchen [139]. Der verfolgte Simulationsansatz beruht auf der vereinfachten kombinierten Simulation mehrerer Domänen (Wasser, ICT, elektrische Energie, Gas, Wärme).

#### 4.2.2 Simulationsumgebung

Für die Simulation wurde die objektorientierte Programmiersprache Modelica ausgewählt, die besonders für physikalische Modelle geeignet ist [134]. Modelica ist domänenneutral und basiert auf der realitätsnahen Definition von Objekten und Verbindungen durch Formeln, die die physikalischen Zusammenhänge beschreiben. Modelica übersetzt das physikalische in ein mathematisches Modell und löst dieses. Aufgrund dessen findet Modelica Anwendung in allen ingenieurtechnischen Bereichen, z. B. Mechanik, Elektrotechnik und Elektronik, Thermodynamik, Hydraulik und Pneumatik, Regelungstechnik und Prozesstechnik.

Darüber hinaus erlaubt Modelica das graphische Zusammensetzen komplexer Simulationsmodelle mittels Blockdiagrammen und Konnektoren, die eigens definiert werden je nach physikalischem Verhalten, das abgebildet werden muss. Es werden Standardbibliotheken zur Verfügung gestellt, die die grundlegenden physikalischen Domänen abbilden, z.B. Elektrische Energie, Mechanik (translatorisch und rotationssymmetrisch), Hydraulik, etc. Die Modelle der Standardbibliothek werden ausdrücklich nicht als Blackboxen gehandhabt, sondern sind offen. So ist sichergestellt, dass der Nutzer genau nachverfolgen kann welches Verhalten damit abgebildet wird und dieses je nach Bedarf für seinen Zweck anpassen kann.

Dadurch, dass Modelica die Möglichkeit bietet, jegliches physikalische Verhalten auf beliebiger Detailebene abzubilden, ist die Sprache besonders geeignet für die Umsetzung des Modellierungskonzeptes im Kontext von Smart Cities. Im Folgenden werden die Modelle einiger der grundlegenden Domänen der Smart City vorgestellt.

#### 4.2.3 Implementierung

Die Simulation basiert auf dem im vorigen Abschnitt vorgestellten modularen Modellierungskonzept. Um wie beschrieben die Ressourcen gegeneinander auf niedrigster Ebene zu optimieren ist eine geeignete Definition der Schnittstellen zwischen den Domänen notwendig. Diese Schnittstellen stellen Anlagen und Vorgänge dar, die eine oder mehrere Ressourcen so verändern, dass eine Unausgeglichenheit bei einer anderen Ressource kompensiert werden kann. Das ist zum Beispiel der Fall bei einer Verbrennungsanlage die zeitlich unkritische Prozesse so verschieben kann, dass sie erst bei einer unvorhersehbar starken Sonneneinstrahlung und entsprechend hohen dezentralen Energieerzeugung ausgeführt werden. Weitere Beispiele sind detailliert in Abschnitt 4.2.4 vorgestellt.

Die Schnittstellen können unterschiedliche Eigenschaften der Domänen ansprechen, die einzig von der Funktionsweise des Geräts oder den Eigenschaften des Prozesses abhängen. So kann eine Schnittstelle zwischen den Domänen Wasser und Energie die Temperatur des Wassers verändern (eine Warmwasseranlage setzt einen Überschuss elektrischer Energie durch das Erhöhen der Temperatur des Wassers im Tank um), dessen Speicherhöhe (Wasserturm), oder sein Volumen verändern (Laden eines Trinkwassertanks).

## 4.2.4 Beispiele

*Energie, Gas, Wärme: BHKW*

Als Schnittstelle zwischen den Ressourcen Gas, elektrische Energie und Wärme dient hier ein BHKW, definiert über die Größen thermische Leistung, elektrische Leistung und Gasverbrauch.

Das angenommene BHKW hat einen Gasverbrauch von  $15\text{m}^3$ ,  $81\text{kW}_{th}$  thermische Leistung und  $50\text{kW}_{el}$  elektrische Leistung. Demzufolge werden über diese Schnittstelle  $15\text{m}^3$  Gas in  $81\text{kWh}_{th}$  und  $50\text{kWh}_{el}$  umgewandelt. Das ist illustriert in Abbildung 43.

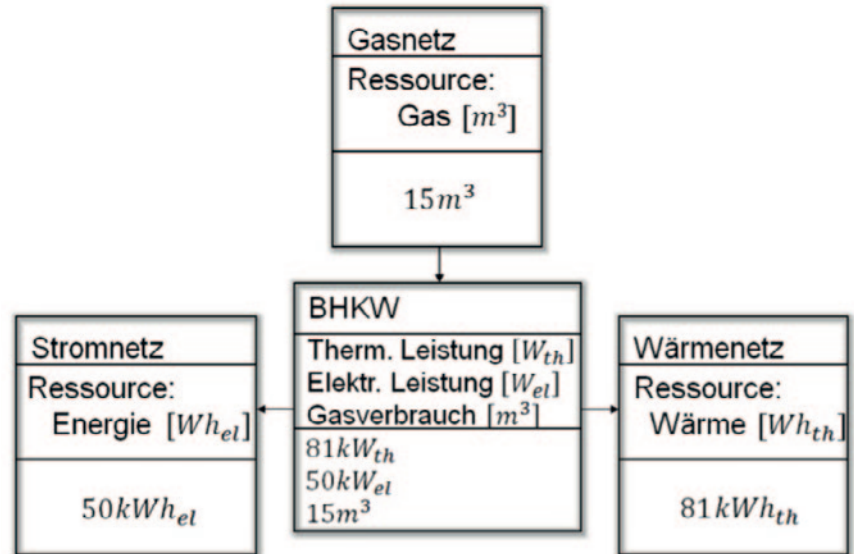


Abbildung 43: BHKW als Schnittstelle zwischen den Domänen Gas, elektrische Energie und Wärme

Diese Schnittstelle ist die Basis für das Beispiel in Abschnitt 4.3.3, in dem der Betrieb des BHKW auf den Energieverbrauch abgestimmt wird. Dadurch wird der Bedarf an elektrischer und thermischer Energie möglichst effizient mit den gegebenen Ressourcen gedeckt.

*Elektrische Energie und Wasser: Wasserpumpe*

In diesem Beispiel dient eine Wasserpumpe für die Anwendung in einem Höhenwasserspeicher, z. B. ein Wasserturm, als Schnittstelle zwischen den Domänen Wasser und elektrische Energie. Die Wasserpumpe ist definiert durch die Fördergeschwindigkeit, den Druck und durch ihre elektrische Leistung, wie abgebildet in Abbildung 44.



Abbildung 44: Wasserpumpe als Schnittstelle zwischen den Domänen Wasser und elektrische Energie

Wie bereits erwähnt, können Schnittstellen beliebige Eigenschaften der Ressourcen ansprechen. Hier ist das die potentielle Energie des Wassers im Speicher durch seine Höhenlage. Überschüssige Energie, z. B. zu Zeiten mit erhöhter regenerativer Energieerzeugung und niedrigem Energieverbrauch, kann dafür verwendet werden, dass Wasser hochgepumpt und der Wasserspeicher aufgefüllt wird.

Die Wasserpumpe hat zwei Motoren, jeweils mit einer Leistung von 7.5kW, die Wasser mit bis zu 48000l/Std auf eine Höhe von bis zu 88m befördern kann. Demzufolge wird über diese Schnittstelle 0.75kWh elektrische Energie in 0.39kWh potentielle Energie umgewandelt, die 2400l Wasser im Speicher auf 60m Höhe besitzen. Je nach Bauart kann der Wirkungsgrad von Wasserpumpen zwischen 5% und 80% variieren.

*Parken und Verkehr: Park'n'Ride*

Hier wird eine große Park'n'Ride-Einrichtung, bestehend aus einer Tiefgarage und einer Radstation, als Schnittstelle zwischen Straßenverkehr und Zugverkehr erörtert. Einfachheitshalber wird hier nur Personenverkehr betrachtet. Es handelt sich um eine Tiefgarage mit 5000 Stellplätzen und angeschlossener Radstation, wie dargestellt in Abbildung 45. Die angenommenen ca. 1000 Plätze pro Zug würden den Straßenverkehr um ca. 850PKW entlasten, ausgehend davon, dass im Berufsverkehr die Mehrheit der PKW für die eigene Anfahrt verwendet wird und pro PKW ca. 1.2 Personen befördert werden.

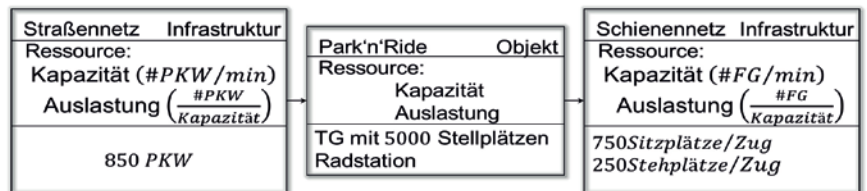


Abbildung 45: Park'n'Ride als Schnittstelle zwischen Straßen- und Zugverkehr

Dieses Beispiel wird in Abschnitt 4.3.3 weiterverfolgt, in dem die Optimierung des Straßenverkehrs auf einer überlasteten Strecke behandelt wird.

## 4.3 Optimierung

Nachdem zunächst die Modellierung und Simulation im Rahmen des integrativen Ansatzes vorgestellt worden sind, wird in diesem Abschnitt nun Bezug zur Optimierung genommen. Einer kurzen Einleitung zur prinzipiellen Vorgehensweise in dem Bereich der mathematischen Optimierung folgt die Erklärung der domänenübergreifenden horizontalen Optimierung zusammen mit Beispielen.

### 4.3.1 Prinzipielle Vorgehensweise

Methoden zur mathematischen Optimierung im Kontext der Smart City erhalten mit steigender Automatisierung der einzelnen Subsysteme eine

immer größere Bedeutung. Ebenso ist aufgrund der wachsenden Integration und Kopplung der verschiedenen Smart City Bereiche die mathematische Optimierung oftmals ein Verbindungspunkt zweier Bereiche.

Dieser Abschnitt soll zunächst einen Überblick über die Klassifizierung von Optimierungsproblemen geben und darauf aufbauend die Unterschiede in den Algorithmen zur Lösung dieser Probleme aufzeigen.

Abbildung 46 zeigt die wesentlichen Kriterien, die im Bereich der mathematischen Optimierung zu beachten sind, auf. Allgemein können klassische Optimierungsprobleme zunächst danach beurteilt werden, ob sie ein einzelnes Optimierungsziel (single objective) oder mehrere (multiobjective) haben. In der Praxis sind viele Optimierungsprobleme multiobjective. Für die Integration dezentraler Erzeugungsanlagen, z. B. Windenergieanlagen, in ein bestehendes Energienetz könnten Optimierungsziele beispielsweise die optimale Platzierung, die Minimierung der Betriebskosten sowie die Minimierung der Netzverluste sein. Diese Probleme können allerdings oftmals auch auf ein einziges, wesentliches Optimierungsziel reduziert werden, während die anderen Ziele dann als Randbedingungen einfließen. Weiterhin wird unterschieden, ob das Optimierungsproblem daher Randbedingungen (Constraints) enthält oder nicht. Im oben genannten Beispiel könnte die Spannung an den einzelnen Netzknoten eine Nebenbedingung darstellen, die weder unter- noch überschritten werden darf.

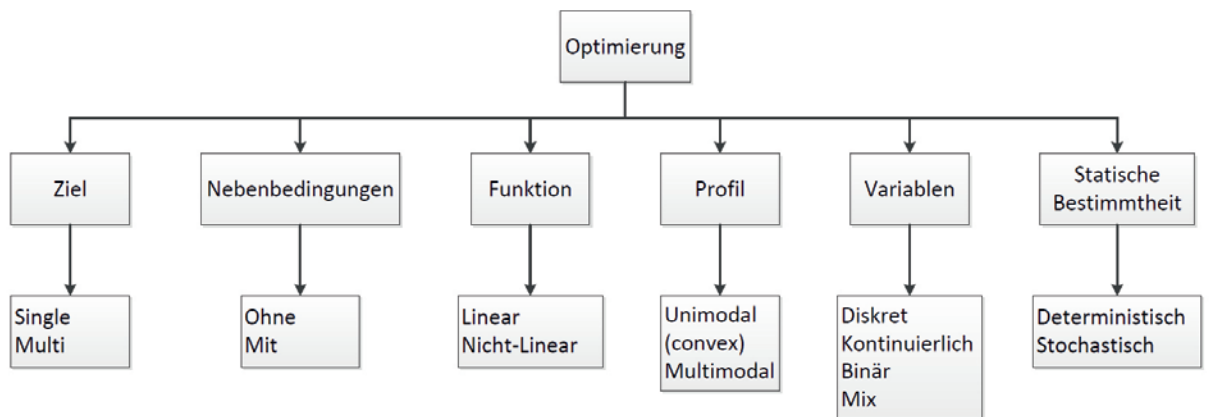


Abbildung 46: Klassifizierung von Optimierungsproblemen nach [Xin She-Yang]

Eine weitere Möglichkeit Optimierung zu klassifizieren, ist sowohl die mathematische Funktion selber (z. B. linear / nicht linear), als auch das Profil der Zielfunktion. Besteht die Zielfunktion nur aus einem Hoch- oder Tiefpunkt, so ist die Funktion unimodal und das lokale Optimum ist gleichzeitig das globale Optimum. Eine Klasse der unimodalen Optimierung ist die konvexe Optimierung. In der Praxis werden Probleme oftmals so formuliert bzw. relaxiert, dass die verwendete Zielfunktion und die Nebenbedingungen konvex sind, so dass ein globales Optimum gefunden werden kann.

Ebenfalls können Optimierungsprobleme anhand der verwendeten Variablen gekennzeichnet werden. Sind die verwendeten Variablen diskret, so

handelt es sich um diskrete Optimierung. In der Literatur wird diskrete Optimierung oft auch als kombinatorische Optimierung bezeichnet. Viele der praktischen Optimierungsprobleme, wie z. B. Fahrplanerstellung oder Routing sind kombinatorische Probleme. Im Falle, dass die spezifizierten Variablen kontinuierliche Werte annehmen, handelt es sich um ein kontinuierliches Optimierungsproblem. Nehmen die Variablen sowohl diskrete, als auch kontinuierliche Werte an, so ist dies als gemischt ganzzahlige Optimierung bezeichnet.

Solange die Werte exakt und ohne Unsicherheit sind, sind die Optimierungsprobleme deterministisch bestimmt. In der Praxis sind die verwendeten Variablen jedoch häufig mit einer bestimmten Unsicherheit versehen. In diesem Falle handelt es sich um ein stochastisches Optimierungsproblem. Falls klassische Optimierungsansätze hier verwendet werden sollen, muss zunächst eine Umformulierung des Problems erfolgen.

In Abhängigkeit des Optimierungsproblems ist für dessen Lösung der richtige Algorithmus zu wählen. Allgemein können Optimierungsalgorithmen in deterministische und stochastische Algorithmen eingeteilt werden. Deterministische Algorithmen folgen einem strengen Ablauf und sowohl der Lösungsweg, als auch die Zwischenwerte der Variablen und Zielfunktionen werden immer den gleichen Wert bzw. Zustand annehmen. Ein Beispiel ist hier der sogenannte „Bergsteiger-Algorithmus“, indem für ein bestimmtes Optimierungsproblem stets der gleiche Optimierungspfad durchlaufen wird, unabhängig vom Zeitpunkt der Durchführung. In der linearen Optimierung ist die Simplex Methode ein häufig angewandter Algorithmus. Der häufig verwendete Newton-Raphson Algorithmus hingegen ist ein Gradienten-Verfahren. Beispiele für die ein deterministischer Algorithmus verwendet wird, sind u. a. die Produktionsplanung eines Unternehmens, die Fahrplanerstellung eines dezentralen Energieerzeugers oder die Lastflussberechnung eines elektrischen Netzes.

Stochastische Algorithmen hingegen unterliegen in jedem Optimierungsdurchlauf einer gewissen Zufälligkeit. In der Literatur ist bisher nicht strikt zwischen den Definitionen metaheuristischer und heuristischer Algorithmen getrennt. Allgemein werden heuristische Algorithmen so definiert, dass in einer realistischen Zeit ein hinreichend gutes Ergebnis erzielt, aber die optimale Lösung nicht garantiert werden kann. Metaheuristische Algorithmen hingegen sind geeignet von einer lokalen auf eine globale Suche zu wechseln und somit auch ein globales Optimum zu finden. Die meisten metaheuristischen Algorithmen sind aus dem Bereich der Natur entstanden. Beispiele hierfür sind u.a. Genetische Algorithmen, Partikelschwarmoptimierung, Ameisenalgorithmus, etc. Für tiefer gehende Definitionen und Erläuterungen sei auf die entsprechende Literatur verwiesen. Metaheuristische Algorithmen werden in der Realität oftmals bei multiobjective Optimierung angewendet.

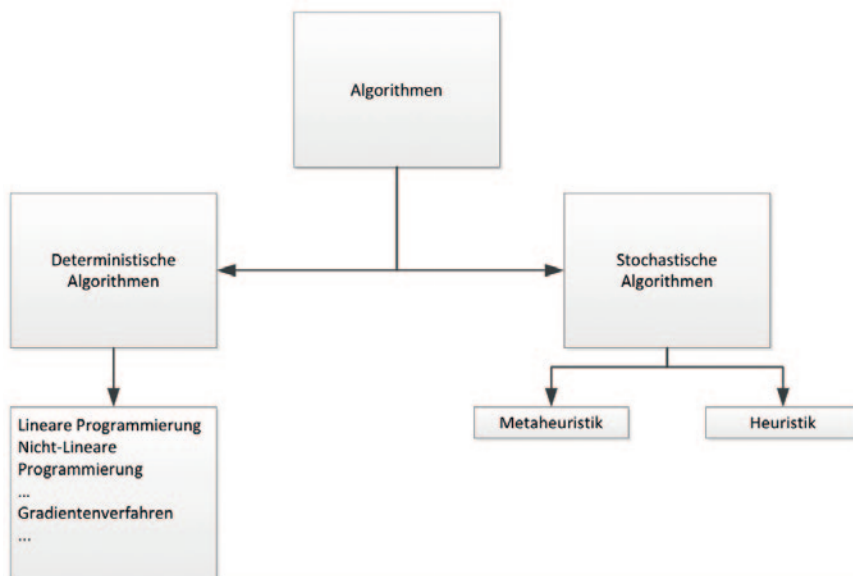


Abbildung 47: Metaheuristische Algorithmen

Ein Optimierungsproblem kann je nach Fragestellung und Eigenschaften unterschiedlich modelliert und berechnet werden. Constraint Programming (CP) ist für diskrete Probleme geeignet, z.B. für die Berechnung von Stundenplänen (Fahr- und Belegungspläne u.a.) oder für Ablaufplanung. CP erlaubt die Formulierung von logischen Constraints und ebenso auf arithmetische Constraints. Andererseits dürfen nur diskrete Constraints definiert werden, z.B. integer oder boolean. CP stellt keine Voraussetzungen bezüglich der mathematischen Eigenschaften des Lösungsraums (wie Konvexität, Linearität, etc.).

Im Vergleich zu CP ist Mathematical Programming (MP) auch geeignet für die Lösung von linearen und quadratischen Optimierungsproblemen. Probleme müssen so formuliert werden, dass sie spezifische mathematische Eigenschaften erfüllen. Zulässig sind logische und diskrete oder kontinuierliche Constraints, jedoch keine speziellen Constraints (wie z.B. „all-different“). Der Vorteil von MP gegenüber CP ist die Möglichkeit, Probleme zu relaxieren und den Abstand der Lösung zur optimalen Lösung zu berechnen. MP benötigt weniger Speicher für Entscheidungsvariablen. Da es sich bei den Optimierungsproblemen im Bereich Smart Cities um vielfältige Fragestellungen aus mehreren Gebieten handelt, hat sich eine Implementierung mit CP als geeigneter erwiesen.

#### 4.3.2 Horizontale Optimierung

Die horizontale Optimierung wurde in Zusammenhang mit dem Ressourcenbilanzierungsprinzip in Abschnitt 4.1.2 eingeführt. Der Begriff bezeichnet die Optimierung mehrerer Faktoren auf niedrigster Ebene, z. B. auf Haushalts- oder Gebäudeebene, so dass ganzheitliche und nachhaltige Lösungen gefunden werden. Diese sollen die spezifischen Eigenschaften des betrachteten Subsystems berücksichtigen und dadurch optimal für dieses Subsystem sein. Dadurch wird eine effiziente Zusammenwirkung der



einzelnen Komponenten der Smart City und dadurch auch eine effizientere Ressourcennutzung erreicht. Im Vergleich dazu könnte eine vertikale Optimierung einzeln für jede Ressource zu besseren Ergebnissen für die jeweilige Ressource führen. In den meisten Fällen ist diese jedoch nicht optimal für das Gesamtsystem.

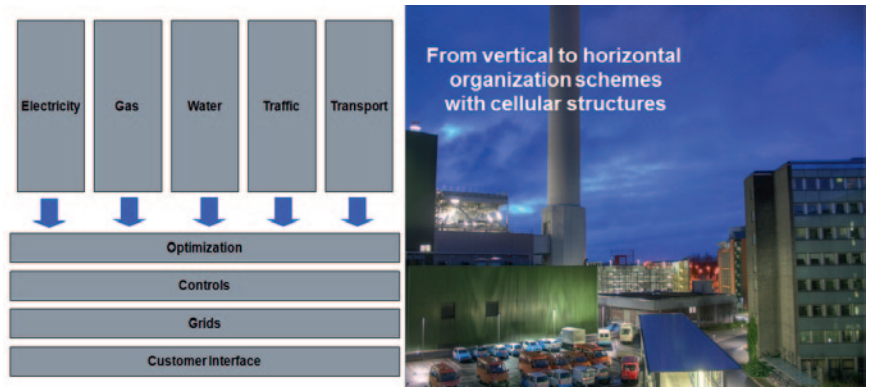


Abbildung 48: Zellulare Strukturen erlauben den Übergang von vertikaler zu horizontaler Optimierung (Quelle: Siemens)

#### 4.3.3 Beispiele

*Energie, Gas, Wärme: BHKW*

##### Problematik

Die horizontale Optimierung wird hier an dem Beispiel von einem Mehrfamilienhaus vorgestellt, das mit Wärme und Strom von einem gemeinsamen BHKW versorgt wird. Das Haus hat vier Parteien, jeweils eine ca. 100m<sup>2</sup> Wohnung mit zwei bis vier Bewohnern.

Das BHKW ist auf die Bedürfnisse der Bewohner dimensioniert und bietet eine Leistung von 81kW<sub>th</sub> und 50kW<sub>el</sub>, modulierbar in 5%-Schritten. Zusätzlich zu dem BHKW ist ein thermischer Speicher von 600kW<sub>th</sub> installiert.

##### Umsetzung auf der braunen Wiese

In dem Fall auf der braunen Wiese wird angenommen, dass dezentrale Einspeisung mit Einschränkungen der Einspeiseleistung geduldet wird. In diesem Fall besteht das Optimierungsproblem darin, die Ressourcen Strom und Wärme für das Mehrfamilienhaus unter Berücksichtigung der Lebensdauer des Heizungssystems zu optimieren. Die Lebensdauer des BHKW wird durch häufige Unterbrechungen und zu kurze Lauf- und Auszeiten verkürzt. Dementsprechend ist das Ziel der Gemeinschaft, das Heizsystem in Zeiten von erhöhtem Energieverbrauch durchgehend zu betreiben und überschüssige Wärme in dem thermischen Speicher zu speichern. Dies wird im Folgenden im Detail beschrieben.

An dieser Stelle werden zwei aufeinanderfolgende Tage betrachtet. Der Heizbedarf und die Leistungsaufnahme der vier Haushalte sind einzeln in Abbildung 49 und Abbildung 50 und aggregiert für das Mehrfamilienhaus in Abbildung 51 und Abbildung 52 dargestellt.

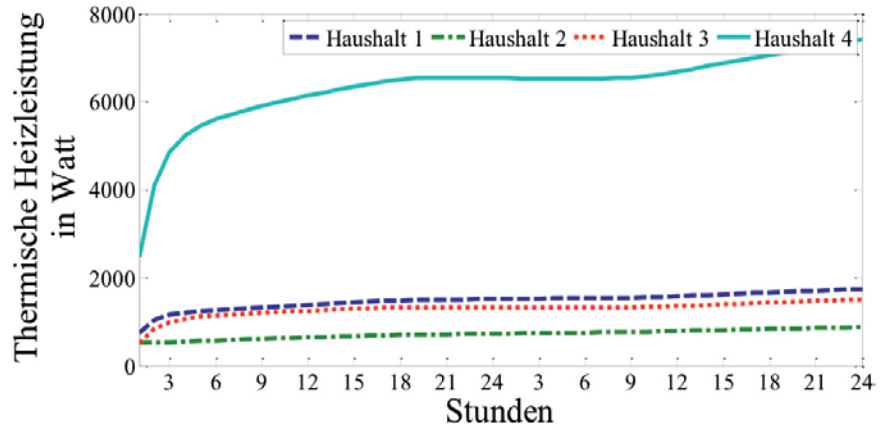


Abbildung 49: Heizbedarf der vier Haushalte für zwei Tage

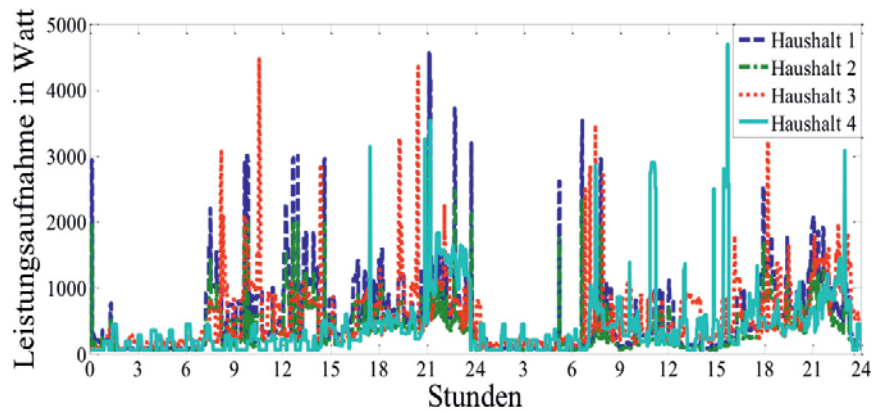


Abbildung 50: Leistungsaufnahme der vier Haushalte für zwei Tage

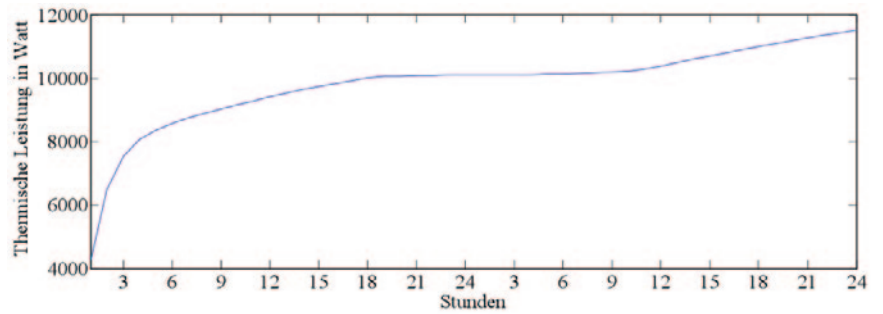


Abbildung 51: Aggregierter Heizbedarf für das Mehrfamilienhaus für zwei Tage

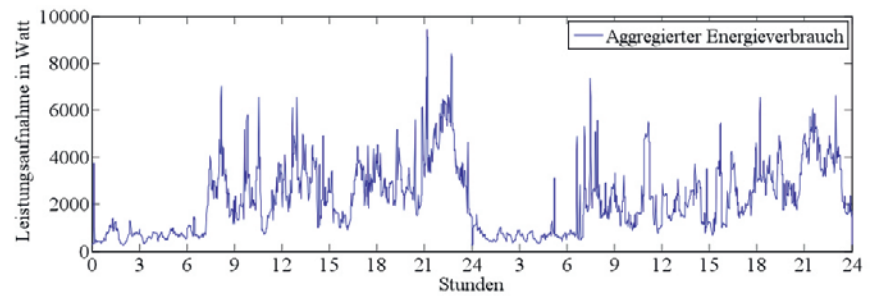


Abbildung 52: Aggregierte Leistungsaufnahme für das Mehrfamilienhaus für zwei Tage

Wie bereits beschrieben, setzt sich die Gemeinschaft als Ziel, das BHKW möglichst ohne Unterbrechungen zu betreiben und den gemeinsamen Energieverbrauch zu minimieren. Dies könnte mit neuartigen Stromtarifen möglich sein, bei denen Energie ähnlich nach dem Prinzip von DSL-Verträgen abgerechnet wird, wobei eine bestimmte „Bandbreite“ im Sinne von Spitzenlast bezahlt wird, bei deren Überschreitung zusätzliche Entgelte anfallen. In diesem Fall verfolgt die Gemeinschaft den bereits beschriebenen Ansatz und betreibt das Heizsystem zu den Spitzenlastzeiten. Der resultierende Lastgang und der Verlauf des Ladezustandes des thermischen Speichers sind in Abbildung 53 und Abbildung 54 dargestellt.

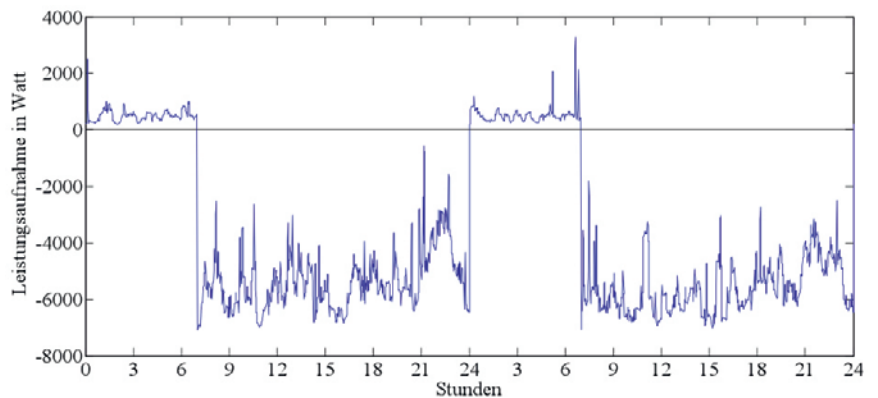


Abbildung 53: Lastprofil des Mehrfamilienhauses mit Betrieb des BHKW zu den Spitzenlastzeiten

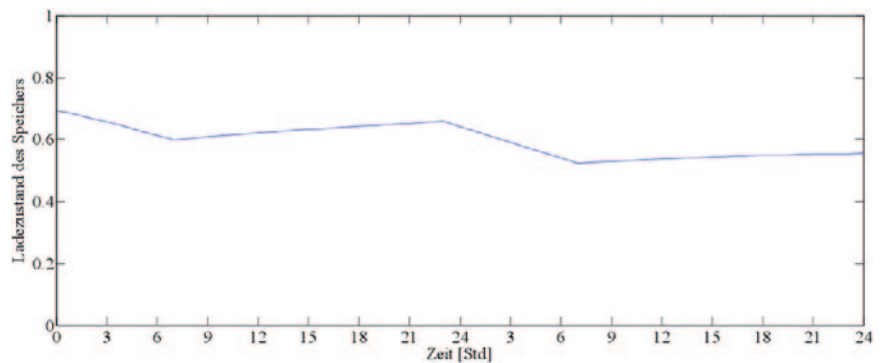


Abbildung 54: Verlauf des Ladezustandes des thermischen Speichers

#### Umsetzung auf der grünen Wiese

Für die Umsetzung auf der grünen Wiese besteht, zusätzlich zu den Optionen für die Umsetzung auf der braunen Wiese, die Möglichkeit, zu erwartenden Trends und Entwicklungen bereits bei der Planung des Siedlungsraumes zu berücksichtigen und zu nutzen. In dem beschriebenen Beispiel, in dem ein BHKW ein Wohnhaus mit Strom und Wärme versorgt heißt das, dass das BHKW als dezentrale Energieerzeugungsanlage betrieben werden kann, die zusätzliche Flexibilität für den Netzbetrieb bieten kann. Dementsprechend besteht das Optimierungsproblem darin, die Ressourcen Strom und Wärme für die Versorgung des Mehrfamilienhauses unter Berücksichtigung der aktuellen Netzsituation zu optimieren.

Die Anfangsbedingungen unterscheiden sich von der Umsetzung auf der braunen Wiese insofern, dass auf der grünen Wiese das Stromnetz so ausgelegt werden kann, dass dezentrale Erzeugung in die Energieversorgung integriert werden kann. Das wäre unter heutigen Betriebs- und Abrechnungsgrundsätzen nicht ohne weiteres machbar. Da in Zukunft eine Anpassung dieser Prinzipien an den veränderten Bedingungen zu erwarten ist, erfolgt hier die weitere Betrachtung unter der Annahme, dass der Netzbetreiber sich an den Installations- und Wartungskosten von dezentralen Erzeugungsanlagen beteiligt und so den Aufbau eines virtuellen Kraftwerks fördert. Der Heizbedarf und die Leistungsaufnahme der vier Haushalte wurden bereits dargestellt. Abbildung 55 zeigt die aggregierte Leistungsaufnahme für 250 Haushalte gemessen am Transformator. Die roten Linien bezeichnen die Zeitspannen, in denen der Energieverbrauch hoch im Vergleich mit der restlichen Zeit ist und hohen Schwankungen ausgesetzt ist. Für diese Zeitspannen werden verteilte Ressourcen angesprochen, um den Verbrauch zu reduzieren und die Peaks zu senken.

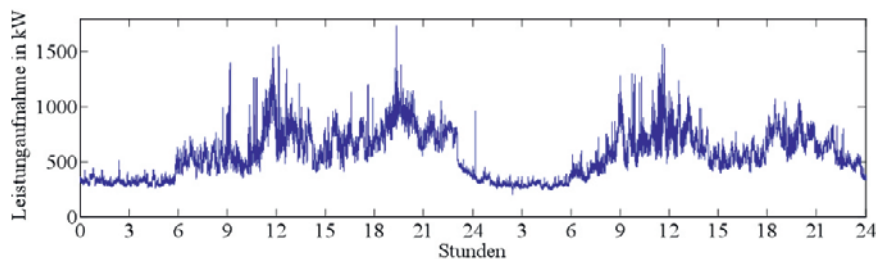


Abbildung 55: Aggregierte Leistungsaufnahme für 250 Haushalte gemessen an dem Transformator

Abbildung 56 und Abbildung 57 zeigen die Leistungsaufnahme des Mehrfamilienhauses den Ladeverlauf des thermischen Speichers in dem Fall dass das BHKW in den genannten Zeiten angesprochen und geschaltet wird. Hier wird das BHKW auf 100% Leistung betrieben. Der Betrieb des BHKW ist nur so lange möglich, bis Heizbedarf besteht oder die überschüssige Wärme gespeichert werden kann. Sobald der Speicher voll ist, wird die Anlage ausgeschaltet.

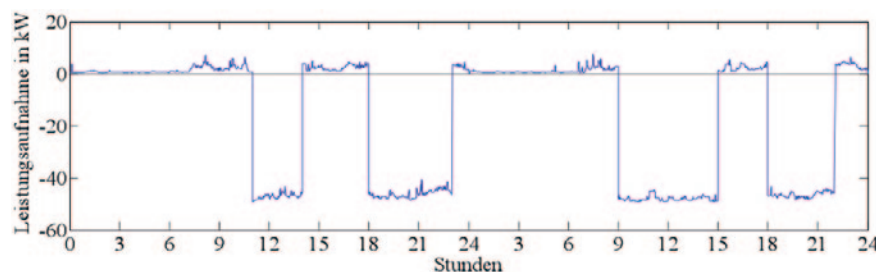


Abbildung 56: Leistungsaufnahme des Mehrfamilienhauses mit externem Schalten des BHKW

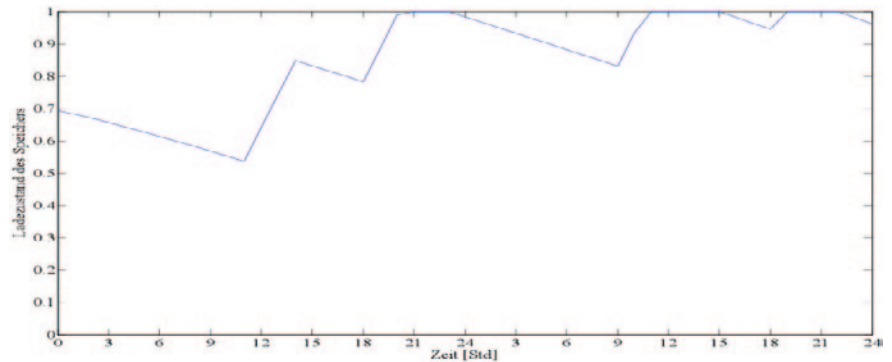


Abbildung 57: Ladezustand des Speichers des BHKW

Der resultierende Verlauf der Auslastung des Transformators ist dargestellt in Abbildung 58. Die rote Kurve zeigt den Verlauf bei netzkonformem Schalten vom BHKW. Die grüne Kurve zeigt den Verlauf für fünf in dem Gebiet verteilte BHKW von vergleichbarer Leistung wie das in dem Beispiel beschriebene BHKW. Es ist ersichtlich, dass die Auslastung in den Peakstunden viel näher an dem Durchschnitt für die übrige Zeit liegt. Somit wäre die deutlich teurere Energie aus kurzfristig schaltbaren Kraftwerken nicht notwendig. Die Ersparnisse könnten an den Kunden weitergegeben werden, eventuell mit einer zusätzlichen Vergütung für die Kunden, die dezentrale Ressourcen zur Verfügung stellen.

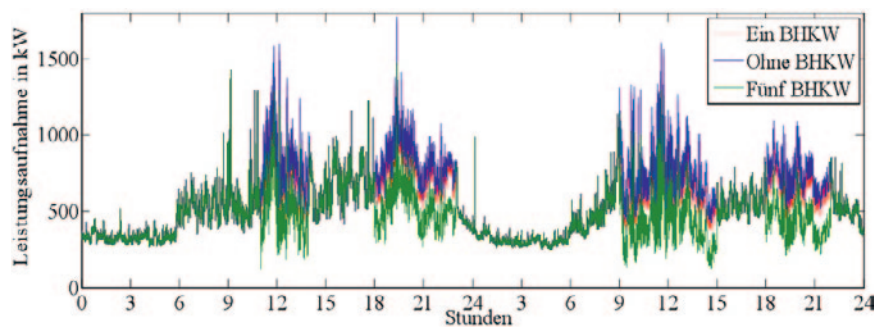


Abbildung 58: Aggregierte Leistungsaufnahme gemessen am Transformator bei Steuerung von einem (rot) und von fünf BHKW (grün)

### *Elektrische Energie und Wasser: Wasserpumpe* Problematik

In diesem Abschnitt wird das Optimierungsprinzip am Beispiel der Wasserpumpe aus Beispiel 4.2.4 veranschaulicht. Die Wasserpumpe bedient einen Höhenwasserspeicher und dient als Schnittstelle zwischen den Domänen Wasser und Energie. Hier wird der Fall betrachtet, in dem erhöhte Energieerzeugung aus Photovoltaikanlagen bei niedrigem Energieverbrauch durch außerplanmäßiges Auffüllen des Wassertanks kompensiert wird. Für diese Betrachtung werden die Parameter aus Beispiel 4.2.4 übernommen. Die Wasserpumpe hat zwei Motoren mit einer Leistung von 7.5 kW, die Wasser mit bis zu 48000l/Std auf einer Höhe von bis zu 88m befördern kann. Der Wasserspeicher hat eine Kapazität von 600m<sup>3</sup>. Die Photovoltaikanlage hat eine Leistung von 100kWp.

### Umsetzung auf der braunen Wiese

In dem Fall auf der braunen Wiese wird angenommen, dass der Netzbetreiber gelegentliche Fälle überschüssiger Energie im Netz durch Verträge regelt, die großen Abnehmern geringe Rabatte für den unmittelbaren Verbrauch von Energie sichern. Die Rabatte sind nicht flexibel und beziehen sich nur auf die verbrauchten Energiemengen zu den kritischen Zeiten. Die Vergütungen sind gering gehalten und kompensieren etwaigen Planungsaufwand für die Abnehmer nicht. Aus diesem Grund werden die Anlagen wie gewohnt betrieben, bei Nachfragen des Netzbetreibers werden vorhandene Puffer aufgefüllt. In dem beschriebenen Fall wird der Wasserspeicher unabhängig von dem elektrischen Netz betrieben, bei Bedarf füllt die Pumpe die restliche Kapazität des Wasserspeichers zu begünstigten Energiepreisen.

Für dieses Beispiel betrachten wir einen zweistündigen Energieüberschuss im Netz an einem heißen Sommertag. Abbildung 59 stellt den Temperaturverlauf an der Wetterstation Trier-Petrisberg für diesen Tag in stündlicher Auflösung dar. Zwischen 11 und 15 Uhr beträgt die Temperatur zwischen 25°C und 28.4°C und führt zu erhöhter Energieerzeugung durch die PV-Anlage. Aufgrund der Schulferien sind viele Haushalte nicht bewohnt und die erhöhte Energieerzeugung durch die PV-Anlage wird nicht gänzlich verbraucht.

Um einen sicheren Netzbetrieb zu garantieren, werden Großabnehmer angefragt, die überschüssige Energie zu verbrauchen. Wie in Abbildung 61 dargestellt, hat der Wasserspeicher um 11 Uhr eine Restkapazität von 105.000 l. Für das Hochpumpen von dieser Wassermenge wird die Wasserpumpe 32kWh Energie verbrauchen.

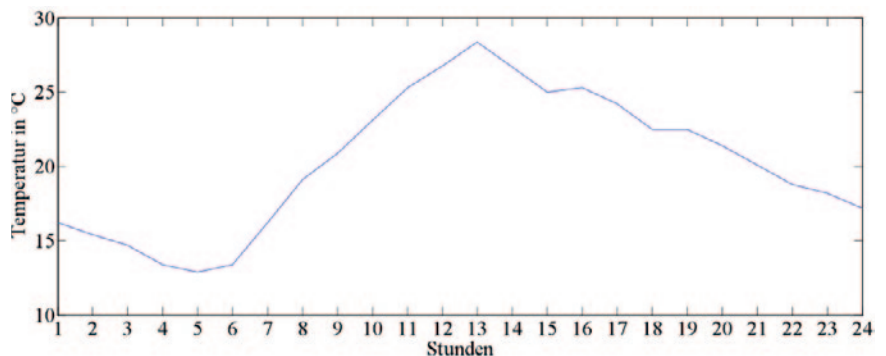


Abbildung 59: Temperaturverlauf an einem Sommertag an der Wetterstation in Trier-Petrisberg [Quelle: DWD]

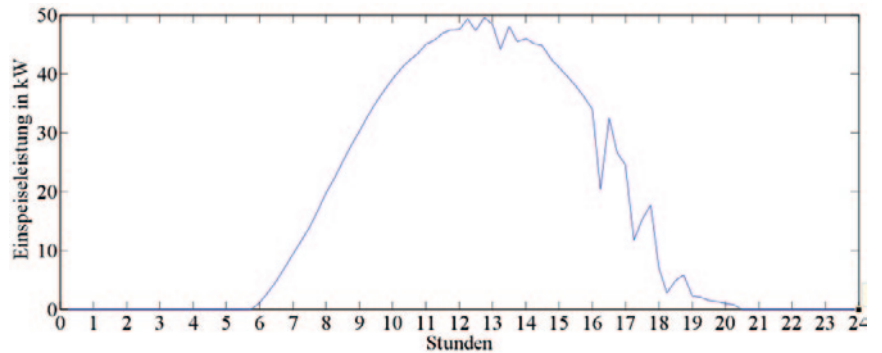


Abbildung 60: Einspeiseleistung der PV-Anlage für einen Tag

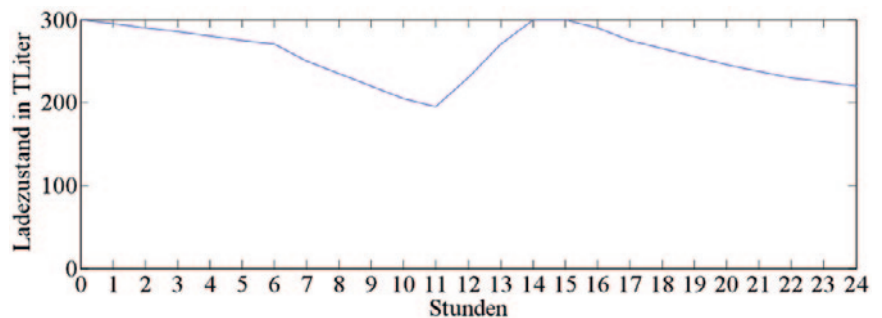


Abbildung 61: Ladezustand des Wasserspeichers: In dem Brown-Field-Fall ist der Speicher voll um 14 Uhr

#### Umsetzung auf der grünen Wiese

Die Betrachtung dieser Anordnung auf der grünen Wiese basiert auf der Annahme, dass bei dem Entwurf eines Siedlungsraumes potentielle Flexibilitäten optimal geplant und ausgenutzt werden. In dem Fall des WasserhöhenSpeichers können diesem bereits bei der Planung netzunterstützende Aufgaben auferlegt werden, so dass bei der Netzauslegung ein zeitversetztes Pumpen für zusätzliche Flexibilität sorgt. Abgesehen von dem Erhalten eines Mindestniveaus in dem Wasserspeicher, wird dieser primär zu Zeiten erhöhter Energieeinspeisung aus regenerativen Quellen aufgefüllt. Dies könnte z. B. durch einen pauschal vergünstigten Energietarif je nach zur Verfügung gestellter oder genutzter Flexibilität entlohnt werden. Dieser Fall des zeitversetzten Auffüllens ist in Abbildung 62 dargestellt. Beim netzunterstützenden Betrieb hat der Wasserspeicher zu Beginn des vierstündigen Überschusses noch eine Restkapazität von 405.000 l und das Potenzial 126kWh Energie zu verbrauchen, die dem Netz zur Verfügung gestellt werden kann.

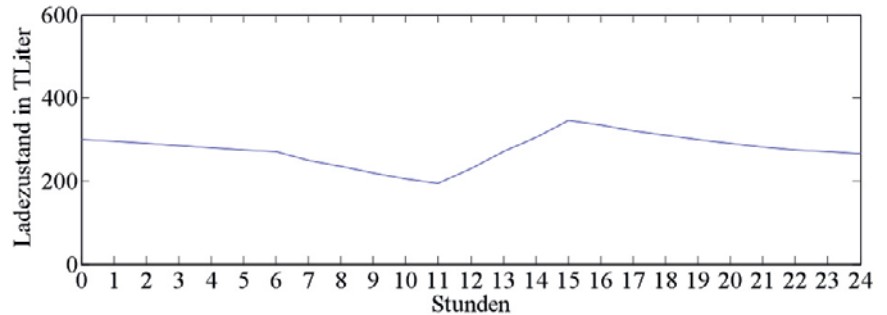


Abbildung 62: Ladezustand des Wasserspeichers: In dem Green-Field-Fall kann der Speicher über die ganze Zeit der erhöhten Energieerzeugung durch die PV gefüllt werden

### *Parken und Verkehr: Park'n'Ride*

#### Problematik

Das Prinzip der domänenübergreifenden Optimierung wird hier an dem Beispiel einer in den Spitzenfahrzeiten überlasteten Autobahnstrecke zu einem Bürokomplex dargestellt (vgl. Abbildung 36). Da an diesen Örtlichkeiten ursprünglich keine größeren Bürogebäude geplant waren, besteht zwischen dem Wohnkomplex und den Bürogebäuden keine direkte ÖPNV-Verbindung. Dadurch ist das Erreichen der Bürogebäude mit ÖPNV wesentlich zeitaufwändiger als die Fahrt mit dem Auto. Die Autobahnstrecke hat vier Spuren mit einer Kapazität von 4800PKW/Std. In den Morgenstunden zwischen 6 Uhr und 8 Uhr beläuft sich das Verkehrsaufkommen auf 23000 PKW/Std. Demzufolge ist die Autobahnstrecke überlastet und es kommt zu Staus aufgrund der 3600 PKW zu viel auf der Straße. Durch die verschiedenen Rahmenbedingungen ergeben sich wesentliche Unterschiede in den möglichen Maßnahmen für neu entstehende und für evolutive Städte, die im Folgenden anhand der Park'n'Ride-Einrichtung geschildert werden. Die Einrichtung besteht aus einer Tiefgarage und einer Radstation als Schnittstelle zwischen Straßenverkehr und Zugverkehr, wie bereits in Abschnitt 4.2.4 beschrieben.

#### Umsetzung auf der braunen Wiese

Bei dem Umbau bestehender Städte ist das Wirkungsfeld größtenteils beschränkt auf die Steigerung der Nutzungseffizienz der bestehenden Infrastrukturen. In den meisten Städten ist es heute wegen hoher Bebauungsdichte und historisch gewachsener Strukturen nicht ohne weiteres möglich, eine Straße zu erweitern und den zusätzlichen Verkehr durch die betroffenen Gebiete zu tragen.

Die Konzipierung der Maßnahmen für die Entlastung der Fahrstrecke beginnen bei der Identifizierung der Spitzenzeiten und der Art von Verkehr auf dieser Strecke. In diesem Beispiel ist das der Berufsverkehr in den Morgenstunden. Mögliche Maßnahmen sind deshalb z.B. Anreize für Mitarbeiter Mitfahrgemeinschaften zu bilden. So reserviert z.B. ein Unternehmen die vorderen und leichter erreichbaren Parkplätze für Mitarbeiter, die mit mindestens einem Mitfahrer ins Büro kommen. Ähnlich ist es in den USA (z.B. Kalifornien), wo nur Autos mit Mitfahrern die Schnellspur auf der



Autobahn nutzen dürfen. Dies ist bei hoher Verkehrsdichte und häufigen Staus ein attraktiver Anreiz. Weiterhin sind flexible Arbeitsmodelle und variable Bürozeiten für die Mitarbeiter denkbar. Obwohl die Unternehmen auch in anderen Bereichen von den flexiblen Arbeitszeiten profitieren würden, wie z.B. Arbeitnehmerzufriedenheit durch die verbesserte Work-Life-Balance, höhere Motivation und Produktivität, könnte die Stadt zusätzliche Anreize für die Unternehmen schaffen, wie z. B. Steuernachlässe oder Werbeflächen an öffentlichen Orten. Ebenso ist es mittlerweile in vielen Unternehmen möglich einen Tag in der Woche Zuhause, als Home-Office, zu verbringen. Dies ist selbstverständlich stark abhängig von den jeweiligen Berufsgruppen. Eine Entlastung des Pendlerverkehrs könnte so erreicht werden [140].

Eine weitere Möglichkeit für die Stadt den Verkehr zu entlasten ist es einen Anreiz für die Bürger zu schaffen, mehr öffentliche Verkehrsmittel vor den Peak Hours zu benutzen. Diese Lösung ist umgesetzt in Singapur. Pendler können dort den öffentlichen Nahverkehr in den sogenannten Pre-Peak Hours, konkret vor 07:45 Uhr, kostenlos nutzen. Inwiefern solch ein Konzept für eine Stadt sinnvoll sein kann, ist jedoch stets im Einzelfall zu prüfen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung der Stadt zur Smart City ist die effiziente Nutzung der bestehenden Strukturen. In diesem Beispiel ist die höhere Frequentierung der Züge möglich. Rein rechnerisch wären für die 3600 PKW zu viel auf den Straßen vier weitere Züge notwendig. Ein Nachteil dieser Lösung ist, dass überfüllte Züge nicht der einzige Grund für die Wahl des PKW als Verkehrsmittel sind. Schwierig erreichbare Arbeitsplätze oder höhere Flexibilität werden den Effekt zusätzlicher Züge für die Entlastung der Fahrstrecke reduzieren, so dass an dieser Stelle möglicherweise eine differenziertere Betrachtung und weitere Analysen notwendig wären.

#### Umsetzung auf der grünen Wiese

In dem Fall einer neu entstehenden Stadt haben die Stadtentwickler die Möglichkeit alle Stadtstrukturen von Grund auf neu zu entwerfen, was einzigartige Chancen bietet. Die Stadtstrukturen können in Hinsicht auf Infrastrukturen, auf zusammenhängende Vorgänge und Objekte und auf den potentiellen Stadtbewohner als Dienstinutzer optimal auf einander und im Gesamtsystem entworfen werden.

Alle Maßnahmen, die für den Umbau bestehender Städte geeignet wären, sind ohne weiteres auf neu entstehende Städte übertragbar. Die effiziente Nutzung der Infrastrukturen hat nahezu dieselbe Bedeutung wie auf der braunen Wiese. Unnötig großzügige Planung bedeutet nicht sinnvoll genutzte Infrastrukturen, was mit unnötig hohen Kosten für Errichtung und Wartung und mit Verschwendung von Umweltressourcen einhergeht. Dementsprechend sind Maßnahmen, wie das Schaffen von Anreizen für die Bürger die Infrastrukturen und Kapazitäten effizienter zu nutzen, gleichermaßen auf der grünen Wiese möglich. Allerdings besteht auf der grünen Wiese die Möglichkeit, die Infrastrukturen entsprechend der erwarteten

Auslastung zu planen, so dass keine Engpässe entstehen und die Abläufe erschweren.

Ein großer Vorteil des Neuentwurfes eines Siedlungsraumes besteht in der Möglichkeit, Vorgänge im Voraus zu analysieren die möglicherweise zu einer höheren Belastung der Infrastrukturen führen könnte, um diese in der Planung einzubeziehen. So könnte auf der grünen Wiese der Bürokomplex für die Planung der ÖPNV-Infrastruktur berücksichtigt werden, um eine zusätzliche Bus- oder U-Bahn-Linie zwischen der Stadt und dem Bürokomplex einzurichten. Daran könnten sich auch die Unternehmen finanziell beteiligen, da dadurch die Attraktivität des Standortes erhöht wird und sie davon bei der Rekrutierung von Mitarbeitern profitieren könnten.

Darüber hinaus ist es auf der grünen Wiese möglich, bei der Errichtung des Bürokomplexes den Wohnbedarf für dessen Mitarbeiter zu berücksichtigen. Bei der Planung des Bürokomplexes könnten Örtlichkeiten mit wohngeeigneten Flächen im direkten Umfeld vorgezogen werden, die den Unternehmen zu niedrigeren Preisen angeboten werden. Die Unternehmen könnten ihren Mitarbeitern Wohnungen oder Häuser zur Miete oder frei zur Verfügung stellen, damit sie in direkter Nähe zur Arbeit wohnen können. Neben der Entlastung des Verkehrs stellen sich für die Mitarbeiter die Zeitersparnis und die durch die Nähe zum Wohnort verbesserte Work-Life-Balance als positiver Nebeneffekt dieser Maßnahme ein, die für das Unternehmen vorteilhaft im Wettbewerb um Fachkräfte sein könnte.

Je nach Priorität der Verkehrsentslastung könnte diese Maßnahme auch von der Stadt selbst geleitet werden. In diesem Fall könnte die Stadt Wohnräume bevorzugt an Mitarbeiter in den Unternehmen anbieten, würde aber flexibel bleiben für den Fall, dass die Unternehmen den Standort verlassen sollten.

Bei dem Neuentwurf eines Siedlungsraumes gibt es in der Regel keine festen Strukturen, die im Vorfeld berücksichtigt werden müssen. In der Planung kann es trotzdem sein, dass wichtige Infrastrukturen und Objekte höher priorisiert und festgelegt werden. Diese Komponenten müssen bei der Planung weiterer Strukturen berücksichtigt werden.

Um die erweiterten Möglichkeiten auf der grünen Wiese darzustellen, wird an dieser Stelle die beschriebene Park'n'Ride-Einrichtung als Schnittstelle zwischen dem Straßennetz und dem Schienennetz betrachtet. Am Bahnhof an dem die Züge vom Wohngebiet zu dem Bürokomplex abfahren wird eine Tiefgarage mit 3000 Stellplätzen mit angeschlossener Radstation errichtet. Die Radstation besteht aus einem Fahrrad-Parking und einem Fahrradverleih. So können Pendler aus dem Wohngebiet mit dem Fahrrad oder mit dem Auto zum Bahnhof fahren, um von dort aus ins Auto bei Arbeitskollegen oder in den Zug umzusteigen. Dadurch kann die Anzahl zusätzlich notwendiger Züge reduziert werden. Dem Problem mit den schwierig erreichbaren Arbeitsplätzen kann im Vorfeld entgegengewirkt werden, indem zwischen dem Wohngebiet und dem Bürokomplex U-Bahn- oder Buslinien errichtet werden.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen der VDE Studie Smart Cities haben Experten aus unterschiedlichen Sektoren Handlungsempfehlungen und Schlussfolgerungen erarbeitet, die zu einer intelligenten Stadt der Zukunft führen sollen.

Eine intelligente Stadt gilt als komplexes System aus Systemen, teilweise bestehend aus traditionellen Strukturen, ermöglicht und optimiert durch informations- und kommunikationstechnische Lösungen. Einer domänenübergreifenden Planung, Betriebsweise und Optimierung dieser zellularen Strukturen kommt daher für die intelligente Stadt der Zukunft eine besondere Bedeutung zuteil. Wesentlicher Aspekt, der die Komplexität dieser Sichtweise erhöht, ist insbesondere die Dynamik der einzelnen Systeme. Zellulare Strukturen erlauben den Übergang von vertikaler zu horizontaler Optimierung. Die Optimierung mehrerer Faktoren auf niedrigster Ebene, z. B. auf Haushalts- oder Gebäudeebene, führt zur Identifikation ganzheitlicher und nachhaltiger Lösungen. Die Berücksichtigung spezifischer Eigenschaften der betrachteten Subsysteme führt zu einer effizienteren Zusammenwirkung der einzelnen Komponenten der Smart City und somit einer effizienteren Ressourcennutzung in Bezug auf das Gesamtsystem. Diese Studie stellt einen neuartigen integrativen Ansatz zur Modellierung komplexer Stadtstrukturen vor. Die einzelnen Teilsysteme und Systemkomponenten lassen sich so intelligent miteinander verknüpfen.

Die horizontale Optimierung und die damit einhergehende optimierte Ressourcenbilanzierung erfordert eine Unterscheidung im Entwicklungsprozess zur Smart City of the Future. Eine Trennung zwischen bestehenden Städten im Umbau sowie neu entstehenden Städten ist dringend vorzunehmen. Die Studie beschreibt detailliert den „Brown Field“ sowie „Green Field“ Ansatz. Erstere beschreiben Maßnahmen der Umwandlung bestehender städtischer Infrastrukturen in eine Smart City. „Green Field“ bezieht sich in der Regel auf Schwellen- bzw. Entwicklungsländer, in denen Städte bzw. Systeme komplett neu geplant werden. Die Wege, Technologien und Herausforderungen zu dem jeweiligen Ziel unterscheiden sich je nach Ansatz deutlich. Das Ziel, die intelligente Stadt der Zukunft, ist stets identisch.

Wesentlicher Aspekt der gesamten Studie und allen vorgestellten Ergebnissen gemein ist das Ziel, dass stets der Bürger selbst im Mittelpunkt stehen sollte. Eine Wandlung hin zur intelligenten Stadt geschieht nicht für die Technologie, sondern für die Bevölkerung.

Die folgenden Handlungsempfehlungen und Schlussfolgerungen sind als Kernaussagen der Studie zu sehen und lassen sich aus den beschriebenen Kapiteln, insbesondere dem Kapitel Smart City of the Future und dem Abschnitt eines integrativen Ansatzes der Modellierung, Simulation und Optimierung herleiten.

## 5.1 Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

### 5.1.1 Quartiersansatz und eine validierte Datenplattform sind die Grundlagen einer intelligenten Stadt

- Die intelligente Stadt muss ein System aus Systemen werden und dient damit Bürgern und Besuchern, Verwaltung, Wirtschaft und Umwelt
- Der Quartiersansatz mit zellularen Strukturen ist ein vielversprechender Lösungsansatz
- Grundlegende Infrastrukturen wie Energie-, Wasser-, Kommunikations- und Verkehrsnetze müssen neu strukturiert, vernetzt und den zukünftigen Anforderungen angepasst werden
- Verantwortlich für die validierte Datenplattform ist die Stadt
- Horizontale Organisationsformen unterstützen den systemischen Ansatz. Dazu müssen vertikale Organisationsformen aufgegeben werden.
- Die Einbeziehung des Hinterlands bzw. der Metropolregion in die Planung einer intelligenten Stadt ist unabdingbar
- Die Planung einer intelligenten Stadt muss langfristig angelegt sein und einer interessenübergreifenden Strategie folgen

### 5.1.2 Dezentrale, verteilte, mobile und energieeffiziente Technologien sind Basis intelligenter Stadtstrukturen

- Ortsabhängige Lösungen und Dienstleistungen schaffen neue Möglichkeiten
- Systeme müssen robust ausgelegt werden
- Energieautarke Lösungen bieten betriebliche und finanzielle Vorteile
- Neue, dynamische, integrative Werkzeuge zur Planung, Simulation, Betrieb und Optimierung müssen die angestrebten Strukturen unterstützen
- Weltweite Standardisierung zur Sicherung der Interoperabilität ist unabdingbar. Dadurch werden wirtschaftliche Lösungen möglich, die auch die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands stärken
- Konzeptionelles Design unter ausschließlicher Verwendung anonymisierter Daten ist anzustreben

### 5.1.3 Eine intelligente Stadt braucht den aktiven Bürger

- Rechtzeitige und umfassende Informationen erhöhen die Bürgerakzeptanz – Bürger 2.0
- Aktive Bürger gestalten Planung, Betrieb und Optimierung ihrer intelligenten Stadt mit – Bürger 3.0
- Finanzielle Eigeninitiative durch Bürger schafft zusätzliche Lösungen – Bürger 4.0
- Umfassender Schutz und Privatheit der Daten sind Voraussetzung für die Bürgerakzeptanz

#### 5.1.4 Intelligente Städte benötigen neue Rahmenbedingungen

- Neue Geschäftsmodelle und Fördermaßnahmen vergrößern den Finanzierungsrahmen
- Aktive Bürger investieren in ihre Stadt
- Neue Strukturen heben Einsparpotenziale
- Zusätzliche Nutzung vorhandener technischer Einrichtungen schaffen weitere Services ohne Mehrkosten
- Systemorientierte Ausbildungsgänge mit interdisziplinärem Ansatz müssen ausgebaut werden
- Neue technische Lösungen und Geschäftsmodelle erfordern die Novellierung der juristischen Rahmenbedingungen
- Die intelligente Stadt in einer vernetzten Welt benötigt einen internationalen Rechtsrahmen

## 6 Weiterer Klärungsbedarf

Es ist im Rahmen der Studie deutlich geworden, dass die Definition der Smart City und insbesondere der Weg zu einer intelligenten Stadt der Zukunft von sehr vielen, untereinander heterogenen Faktoren abhängig ist. Im Mittelpunkt steht jedoch immer der Bürger. In dem Folgenden Kapitel werden nun einzelne Aspekte, die in dieser Studie nicht, beziehungsweise nur teilweise thematisiert werden konnten, aufgeführt.

### 6.1 Bildung

Die intelligente Stadt braucht intelligente, für die neuen Strukturen aufgeschlossene Bürger, denn nur dann können sie mündig sein. Durch die intelligente Stadt wird dem Bürger ermöglicht, sich mit Informationen zu versorgen. Die erfolgreiche Realisierung der Smart City bedingt eine Veränderung der Berufsbilder: Von der Planung und Realisierung von Smart City-Systemen durch die Verwaltungsorgane der Stadt über Installationen von IKT und Sensorik für den Betrieb und die Wartung und Bedienung der Smart Home- und Smart City-Systeme. Dies bedeutet, dass eine Weiterbildung z. B. in den Bereichen Stadtverwaltung und Handwerk dringend notwendig wird und die Ausbildungsgänge an die neuen Technologien und veränderten Rahmenbedingungen angepasst werden. Das Prinzip des lebenslangen Lernens muss Anwendung finden. Diese Aspekte wurden in der Studie nicht weiter behandelt, bedürfen aber einer vertiefenden Untersuchung.

### 6.2 Engere Vernetzung der Strom/Gas/Wasser-Abwasser/Wärme-Systeme

Weitere Voraussetzung einer intelligenten Stadt ist die engere Zusammenführung der Energiesysteme zur Integration der volatilen erneuerbaren Energien, Flexibilisierung des Energieverbrauchs und zur Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems. Hier sind unter dem Aspekt der städtischen Versorgung weitere Untersuchungen erforderlich, dabei sind insbesondere Fragen der Energiespeicherung über Wärme oder Gas, Schaffung zellulärer Strukturen sowie gemeinsame Metering- und Steuerungssysteme zu betrachten.

### 6.3 Zivile Sicherheit

Für die zivile Sicherheit der Smart City ist es ein wichtiges Ziel, sicherzustellen, dass wichtige Geschäftsprozesse (z.B. die Versorgung mit Strom, Wasser, Gas oder auch Informationen) selbst in kritischen Situationen (z.B.

völliger Ausfall des Stromversorgungsnetzes, Schwarzfall) nicht oder nur temporär unterbrochen werden und die wirtschaftliche Existenz der Smart City auch bei einem großen Schadensereignis gesichert ist.

In einer Smart City genügt es nicht, nur die Versorgungsinfrastruktur zu sichern. Die „lokale“ IT-Sicherheit und das eigene Notfallmanagement sind die Grundlagen, die geschaffen werden müssen, damit eine übergreifende Sicherheit erreicht werden kann. Sichere kommunale Rechenzentren, die mit einem Backup-Rechenzentrum und redundanten Infrastrukturen ausgestattet sind, können Ausfälle und damit verbundene Schäden effizient vermindern oder begrenzen. Die Rechenzentren müssen sich auf dem höchstmöglichen Sicherheits-Standard befinden, um auf die möglichen Risiken vorbereitet zu sein.

## 6.4 Normung und Standardisierung

Eine funktionierende Smart City wird maßgeblich durch die Interoperabilität und Kompatibilität ihrer einzelnen Komponenten und Systeme bestimmt. Um reibungslose Interaktion zu ermöglichen, ist die Normung und Standardisierung insbesondere der Schnittstellen essentiell.

Bisher fehlen jedoch klare domänenübergreifende Anwendungsfälle (sog. Use Cases). Erst mithilfe solcher Anwendungsfälle ist es möglich, den Normungsbedarf in der domänenübergreifenden Vernetzung festzustellen und eine umfangreiche Lückenanalyse durchzuführen. Zusätzliche Herausforderungen sind eine bisher fehlende einheitliche Terminologie und die noch aufzustellende vollständige Domänenübersicht.

## 6.5 Datenplattform der intelligenten Stadt

Eine Datenplattform für die intelligente Stadt ist der grundlegende Baustein hin zur horizontalen Betrachtung und Integration im System Smart City. Die Plattform ermöglicht den holistischen Datenzugriff und verbindet die vertikalen Bereiche. Aktuell bestehen bereits Bemühungen auf europäischer Ebene Datenplattformen für die Smart City zu entwickeln und zu benutzen, z. B. Open FIWARE Plattform. Für eine Plattform im Bereich Smart City gelten, analog zu den genannten Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen, folgende Anforderungen: 1) Die Plattform muss auf offenen internationalen Standards basieren und Datensicherheit/-schutz garantieren. 2) Skalierbarkeit in Bezug auf Teilnehmer und Datenmengen garantieren. 2) Die Plattform muss schnellen Datenaustausch zwischen den partizipierenden Entitäten ermöglichen 3) Große heterogene Datenmengen müssen schnell und sicher verarbeitet werden. 4) Dritte müssen Zugang zur Plattform haben, um weitere Applikationen anbieten zu können. Weitere Überlegungen müssen für ein Business Model der Datenplattform getroffen werden. In diesem Zusammenhang könnten viele verschiedene

Szenarien denkbar sein, u.a. zum Beispiel Präferenzen für lokal ansässige Unternehmen.

## 6.6 Kulturdimension

Es bestehen starke Wechselwirkungen einer Smart City mit dem interkulturellen Zusammenleben einer Stadt. Dies birgt sowohl neue Möglichkeiten als auch Risiken – dabei muss sichergestellt sein, dass die Gesamtheit der Bürger von den Errungenschaften der Smart City profitieren kann. Diesbezüglich besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

## 6.7 Demokratische Willensbildung in einer Smart City

Prozesse der demokratischen Willensbildung können mit Hilfe der Smart City unterstützt werden. Rechtzeitige und umfassende Informationen helfen der Öffentlichkeit und der Presse, Entscheidungsprozesse in Politik und Verwaltung zu verfolgen und deren Ursachen, Argumentationen und Konsequenzen zu verstehen. Elektronische Vorgangsbearbeitungssysteme erlauben es Antragstellern, sich über Bearbeitungsstände zu informieren. Marktübersichten tragen bei kommunalen Ausschreibungsvorgängen zur Angebotstransparenz bei. All dies fördert die Bürgerakzeptanz. Betrachtungen diesbezüglich wurden im Rahmen der Studie nicht angestellt.

## 6.8 Konkretisierung der Weiterentwicklung von juristischen und regulatorischen Voraussetzungen für die Smart City

Die Realisierung einer Smart City setzt voraus, dass in vielen Bereichen die Gesetzeslage überprüft und an die neuen Gegebenheiten angepasst wird. Themen: Zusammenwachsen der Stromnetze mit den Gas/Wasser/Wärme-Netzen, die Einführung neuer Verkehrssysteme wie Car-Sharing bis hin zum autonomen Fahren von Kfz, die Nutzung und der Besitz der in der Smart City erhobenen Daten, einschließlich der notwendigen Voraussetzungen für die Datensicherheit und den Datenschutz (Safety and Security).

## 6.9 Internationale Dimension und Verknüpfung

Im Zuge der zunehmenden europäischen Integration, der Übernahme von Städtepartnerschaften sowie der Harmonisierung der Lebensbedingungen der Bürger in europäischen Konglomerationen sind auch die internationalen Dimensionen der Entwicklung von Smart Cities umfassender zu berücksichtigen. So kooperieren z. B. 60 europäische Städte und Regionen seit 1989 in dem länderübergreifenden Netzwerk POLIS mit dem Ziel, innovati-



ve, nachhaltige städtische Verkehrssysteme umzusetzen. Im Städtenetzwerk EUROCITIES arbeiten über 140 Großstädte in 30 europäischen Ländern in den Bereichen Wirtschaft, Umwelt, Mobilität, Wissensgesellschaft, Kultur, und soziale Angelegenheiten aufs engste zusammen. Hier werden zukünftig verstärkte Anstrengungen zur Erarbeitung, Einführung und Übernahme einheitlicher europäischer Standards, Normen, Umwelt- und Rechtsvorschriften im Rahmen der Umgestaltung zu Smart Cities erforderlich sei.

*Spezifisch für Administration (Kapitel 2. Integrationsstufe)*

- „Aufgeklärtes“ Gewährleistungsstaatsmodell: der Staat muss nicht alles selbst machen, sondern der, der es am besten kann
- Perspektive der Geschäftsprozesse: nur so kann sich das volle Potenzial von Vernetzung und vernetzten Organisationsformen entfalten
- Aufspaltung von Prozessen in einzelne Bestandteile, die dann neu oder anders verteilt werden können
  - > so entsteht eine vernetzte, smarte, intelligente Verwaltung
- Möglichkeit zur Integration in übergeordnete Strukturen, z. B. auf nationaler und internationaler Ebene
- Von der einzelnen Dienstleistung zur umfassenden Plattform
- Vernetzung zwischen Bürgern, Wirtschaft, Stadtverwaltung und Infrastruktur
- Entscheidungen dynamisch in Dialog treffen, Volksentscheid?

## 7 Anhang

### 7.1 Barcelona, Spanien



#### Stadtdaten

Barcelona ist die Hauptstadt Kataloniens und die zweitgrößte Stadt Spaniens mit 1,62 Millionen Einwohnern auf einer Fläche von etwa 101 km<sup>2</sup>. Sie liegt am Mittelmeer, circa 120 Kilometer südlich der Pyrenäen und der Grenze zu Frankreich.

#### Projektname

BCN – Smart City

#### Ziel des Projektes

Barcelona will die erste, sich mit Fabrikationslabors selbst versorgende Kommune bei möglichst wenig Ausstoß von Treibhausgasen werden.

#### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Transformationsprojekt.

#### Aktueller Status

Das Projekt wurde 2010 gestartet. Die Stadtverwaltung lies zunächst einen „Smart City Campus“ im „Diagonale-Entwicklungszentrum“ am nördlichen Stadtrand einrichten. Gemeinsam mit einem neuen Forschungsinstitut für Städtewirtschaft sollte es unter anderem Modelle erarbeiten, wie bislang nicht genutzte Dachböden in „Fab Labs“ umgewandelt werden könnten. Das Center „Bits and Atoms“ am Massachusetts Institute of Technology (MIT) unterstützt das Vorhaben.



#### Internet

<http://smartcity.bcn.cat/en/bcn-smart-city.html>

## 7.2 Friedrichshafen, Deutschland



### Stadtdaten

Friedrichshafen ist eine Universitätsstadt am nördlichen Ufer des Bodensees mit ca. 60.000 Einwohnern auf einer Fläche von 69,91 km<sup>2</sup>. Sie ist die Kreisstadt des Bodenseekreises, zugleich dessen größte Stadt und nach Konstanz die zweitgrößte Stadt am Bodensee..

### Projektname

T-City bis Februar 2012

Telekom-City ab März 2012

### Ziel des Projektes

Gemeinsam mit Verwaltung, Wissenschaft, Unternehmen, Vereinen und Bürgern haben die Deutsche Telekom und die Stadt Friedrichshafen mithilfe modernster Telekommunikations- und Informationstechnologien zukunftsweisende Ideen verwirklicht, um die Lebens- und Standortqualität nachhaltig zu steigern. Kooperationen spielen für das Gemeinschaftsprojekt T-City eine besondere Rolle. Neben vielen Unternehmen oder Institutionen in den jeweiligen Einzelprojekten begleiten vier Partner das Projekt über die gesamte Laufzeit: Alcatel-Lucent, Samsung Electronics, der Deutsche Städte- und Gemeindebund sowie die Universität Bonn.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Transformationsprojekt.

### Aktueller Status

Aufgrund der positiven Erfahrungen aus dem T-City Projekt haben die Stadt Friedrichshafen und die Deutsche Telekom im Dezember 2011 eine weitere Zusammenarbeit für drei Jahre vereinbart. Der Schwerpunkt liegt jetzt auf den Themenbereichen Energie, Gesundheit und Verkehr. Dabei wollen die Partner an bisher erzielte Erfolge anknüpfen. So werden einzelne Projekte aus T-City in Friedrichshafen weitergeführt, Zudem starten neue Projekte.

Erstes Projekt 05/ 2006 – 09/ 2012

Zweites Projekt (Anschlussprojekt) 01/ 2012-12/ 2014



### Internet

<http://www.t-city.de/>

## 7.3 Glasgow



### Stadtdaten

Glasgow ist die größte Stadt Schottlands und nach London und Birmingham die drittgrößte Stadt des Vereinigten Königreiches mit 595.000 Einwohnern auf einer Fläche von 175,5 km<sup>2</sup>.

### Projektname

Future City Glasgow

### Ziel des Projektes

Glasgow has won a £24 million grant from the UK's Technology Strategy Board (TSB) to become Britain's first „smart city“. The money will be spent by the council on services for residents that will make the quality of living in the city better. The project is part of Glasgow City Council's wider ambitions to become one of the most sustainable cities in Europe within the next 20 years, cutting carbon emissions which contribute to climate change, nurturing the creation of renewable energy projects and jobs, setting up its own energy services company and increasing access to affordable energy for city residents.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Brown-field Projekt bzw. ein Transformationsprojekt.

### Aktueller Status

Das Projekt startete im April 2013. Enden sollte es im August 2014.

City Technology Platform: More than 200 data streams have been identified in Glasgow. They include information on everything from bin collections to footfall in retail areas.

Operations Centre: A state-of-the-art Integrated Operations centre is being created which will monitor and control the city's new network of CCTV cameras.

Active Travel: The Active Travel Demonstrator will show how technology can help make the city more cyclist friendly.

Energy Efficiency: From smart meters to smart grids - we're targeting energy efficiency on a grand scale in the energy demonstrator.

Social Transport: The Social Transport project will demonstrate how technology can assist in the creation of a flexible and efficient, demand responsive transport service.

Street Lighting: Intelligent Street Lighting will be trialled in two pilot projects as part of the Future Cities Demonstrator.

Citizen Science Mapping: People will be encouraged to share their local knowledge of Glasgow as part of our Mapping Demonstrator project.



### Internet

<http://futurecity.glasgow.gov.uk/>

## 7.4 Lusail City



Lusail is a new city under construction in Qatar and located 22km to the north of Doha and stretches over an area of 38km<sup>2</sup> with 28km waterfront.

### Ziel des Projektes

Once completed, Lusail City will have an estimated population of 450,000 (made up of 200,000 residents, 170,000 employees, 80.000 visitors). Lusail City is being developed as part of Qatar 2030, the national vision for 2030. Some of the major elements of the city include the Marina District, Energy City Qatar, Entertainment City and the Fox Hills residential area. Energy City Qatar is the first full-fledged oil and gas hub of the region. Qatar has been chosen to host World Cup 2022 games. A key development undertaken in this respect in the city is Lusail Iconic Stadium with a capacity of more than 80,000 seats.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Greenfield Projekt.

### Aktueller Status

The construction started in 2006 and is expected to be completed by 2019. In October 2012, Lusail City was selected as the best mixed-use development at the International Property Awards, Arabia. In early 2012, Samsung C&T Engineering & Construction Group of South Korea was awarded a \$296m contract to build one of the primary roads in the city. Dorsch Gruppe is providing supervision and consultancy services contract for the project under a contract signed in April 2012. In October 2012, Lusail Real Estate Development Company (LREDC) awarded a contract to Al Jaber & Partners (AJP) for the construction of highways, roadway structures, intersections and utility networks as part of construction package six of the city's development. In April 2011, Draieh Contracting received \$164m contract from Damac Properties to construct the Business Square, Piazza 1 and Piazza 2 developments. In the same month, Parsons and AECOM entered into a five-year contract with Qatar Railways Development Company to serve as a project manager and consultant for the light rail transit system in Lusail. In 2006, China-based Sinohydro was awarded the contract for the marine, earth work and site preparation as part of construction package one of the project.

## 7.5 Masdar, Vereinigte Arabische Emirate



### Stadtdaten

Masdar liegt in den Vereinigten Arabischen Emiraten etwa 30 Kilometer östlich der Hauptstadt Abu Dhabi und westlich des International Airport. Auf einer Fläche von 6 km<sup>2</sup> sollen bis im Jahr 2015 insgesamt 40.000 Menschen wohnen und bis 50.000 Pendler bei bis zu 1500 Firmen bzw. Instituten arbeiten.

### Projektname

Masdar City

### Ziel des Projektes

Der Kern dieses Projektes ist Masdar City, eine geplante Ökostadt im Emirat Abu Dhabi. Kein Punkt im Stadtgebiet wird mehr als 200 Meter von einer Haltestelle der öffentlichen Verkehrsmittel entfernt sein. Das als „CO<sub>2</sub>-neutrale Wissenschaftsstadt“ angekündigte Vorhaben soll vollständig durch erneuerbare Energien versorgt werden. Es ist der erklärte Wille der Masdar-Initiatoren, mit dieser Musterurbanisierung zu demonstrieren, dass dem in den Vereinigten Arabischen Emiraten sehr hohen Energieverbrauch entgegengewirkt werden kann. Masdar City soll durch ein eigenes Solarkraftwerk und einen Kranz von Windkraftträgern weitgehend eigenständig sein. Masdar wird weltweit die erste Stadt sein, die ein PRT-Netz für eine autofreie Stadt einsetzt.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Green-Field Projekt.

### Aktueller Status

Initiiert im Jahre 2006, wurde mit dem Bau im Februar 2008 begonnen. Der Erstbezug ist ab 2016 geplant. Im Frühjahr 2010 wurde jedoch in diversen Medien über zeitliche Verzögerungen und finanzielle Probleme berichtet. Die Bauarbeiten haben an Tempo und Zielstrebigkeit verloren, als neuer Fertigstellungstermin des Gesamtprojekts wird nun das Jahr 2025 genannt. Das Teilprojekt Masdar-Kernstadt soll im Jahr 2016 arbeitsfähig sein.



### Internet

<http://masdar.ae/en/masdar-city/live-work-play>

## 7.6 Doha, Qatar



### Stadtdaten

Doha ist die Hauptstadt von Katar. Auf einer Fläche von 234 km<sup>2</sup> lebten 2010 etwas mehr als 520.000 Einwohner. Die Metropolregion mit den Städte Ar-Rayyan und Education City beherbergte etwa 800.000 Einwohner in 2010. Msheireb ist der historische Stadtkern von Doha mit einer Fläche von 31 ha und 100 Gebäuden.

### Projektname

Msheireb

### Ziel des Projektes

When completed, Msheireb will be the world's largest collection of LEED (Leadership in Energy & Environmental Design = is a green building certification program that recognizes best-in-class building strategies and practices) certified buildings. Msheireb will regenerate and preserve the historical downtown of Doha. It will revive the old commercial heart of the city through a new architectural language that is based on community living, across a 31 hectare (76 acre) site. The Msheireb project will blend traditional Qatari heritage and aesthetics with modern technology, and focus on sustainability and harmony with the environment. The aim of the project is to bring people back to their roots – to make Doha unique and rediscover a sense of community and togetherness.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Transformations-Projekt.

### Aktueller Status

First phase of Msheireb Downtown Doha is Phase 1A, which consists of Diwan Amiri Quarter (Diwan Annex, Amiri Guard and National Archive), Heritage buildings and Amenity & Infrastructure (District Cooling Plant, Substations and Service Corridors).  
 Designs: Designs for major components are complete. Enabling Works: Enabling works were awarded to Bauer in June 2009 and the works are 100% Complete. Infrastructure Works: Infrastructure works were awarded to CAT in March 2010. Presently substructure works are in progress, currently 96.55% Complete. Main Building works: Hyundai/ HBK consortium was awarded the Main Building Works in April 2010. Superstructure works for the main building works are in progress and currently 66.03% Complete. 5.Design Build of District Cooling Plant is in progress. Construction work is in Progress. Heritage Quarter Main contract awarded to Qatari Arabian Construction Company (QACC) in Aug-2012 and contractor commenced on site in Sep-2012.

*Further Achievements:* Excavation: 1,389,878 cum; No. of shoring piles installed: 2,295; No. Of Working Piles installed: 726; Concrete poured: 268,944 m<sup>3</sup>; Stone installed: 55,597 m<sup>2</sup>; 'Power On' achieved in 66 KV substation



### Internet

<http://www.msheireb.com/en-us/projects/msheirebdowntowndoha.aspx>

## 7.7 Santander, Spanien



### Stadtdaten

Santander ist die Hauptstadt der zu Spanien gehörenden autonomen Gemeinschaft Kantabriens im Norden des Landes. Auf einer Fläche von 34 km<sup>2</sup> lebten im Jahr 2014 über 175.000 Einwohner und damit etwa ein Drittel der Bevölkerung Kantabriens.

### Projektname

SmartSantander

### Ziel des Projektes

Mit SmartSantander entsteht ein einzigartiges Testfeld, in der die Stadt selbst zum Labor wird. Santander will zeigen, was es für Bürger tatsächlich bedeutet, in einer intelligenten Stadt zu leben. 3.000 von insgesamt 12.000 geplante Sensoren, wurden binnen weniger Monate quer durch die Stadt bereits installiert. Damit geht SmartSantander weiter als die traditionellen Smart-City-Projekte. Das erklärte Ziel ist: die Belastung der Gesundheit durch Lärm deutlich zu senken.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Transformationsprojekt.

### Aktueller Status

Start des Projektes war Mitte 2010; es wurde in 2014 beendet.

Betrieben mit langlebigen Lithium-Batterien, senden Sensoren im Abstand weniger Minuten ihre Messdaten per Funk zu nahegelegenen Knotenpunkten, den Gateways. Diese sind bestückt mit Antennen wie bei einem WLAN-Router und senden die Informationen über Mobilfunknetz oder eine fest verkabelte Internetanbindung an einen Zentralrechner. Schon heute kann jeder Bürger diese ständig aktualisierten Daten auf einem Stadtplan im Web abrufen. Es steht ein interaktiver Service für die ersten Straßenzüge mit Verkehrs-, Lärm- und Wetterdaten in einer App für Android-Smartphones oder iPhones zur Verfügung. So wird Santander in Zukunft nicht nur als Labor für immer neue Sensornetzwerke, sondern auch als Prüfstein für die Strategie „Akzeptanz durch Transparenz“ dienen. Die erste Projektphase, die nur unkritische Bereiche wie Verkehr, Wetter oder Luftqualität berührt, erzeugte verständlicherweise keinen Widerspruch. Doch sobald Smartphones über Bluetooth- oder GPS-Ortung persönliche Bewegungsdaten weitergeben und so den Abstand zur Privatsphäre schrumpfen lassen, könnten kritische Mahner ihre Stimme erheben. Wie weit die Technologie in das Leben der Santander Bürger hinein reichen wird, wird nach Abschluss des EU-Projekts spätestens 2014 sichtbar werden.

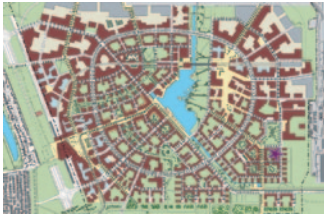


### Internet

<http://www.smartsantander.eu/>



## 7.8 Wien, Österreich



### Stadtdaten

Wien ist die Hauptstadt von Österreich und zugleich eines der neun österreichischen Bundesländer. Auf einer Fläche von 415 km<sup>2</sup> lebten im Jahr 2014 1,8 Millionen Einwohner. Im Großraum Wien leben etwa 2,6 Millionen Menschen und damit rund ein Viertel der österreichischen Bevölkerung. Die Seestadt Aspern ist ein in Bau befindlicher Stadtteil im 22. Wiener Gemeindebezirk Donaustadt. Das Areal nordöstlich des historischen Ortes Aspern im Marchfeld wurde nach einem künstlichen See in der Mitte des Entwicklungsgebiets benannt.

### Projektname

aspern – Die Seestadt Wiens

### Ziel des Projektes

Über einen Zeitraum von rund 20 Jahren soll ein neuer Stadtteil entstehen, in dem über 20.000 Menschen wohnen und arbeiten sollen.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Konversionsprojekt.

### Aktueller Status

Die Errichtung der Seestadt Aspern soll bis 2028 in drei Etappen erfolgen:

**Etappe 1 (2009 bis 2017):** Die Entwicklungsgesellschaft Wien 3420 Aspern Development AG errichtet die Grünräume sowie die technische Infrastruktur (Straßen, Kanal usw.) und leistet damit den Anschlag für die Entwicklung der Seestadt. Im ersten großflächigen Ausbau im südwestlichen Teil der Seestadt entsteht ein gemischtes Quartier mit ca. 2.600 Wohneinheiten, Büros, Handels- und Dienstleistungsunternehmen sowie Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Das große Volumen soll die Nahversorgung und den angestrebten Nutzungsmix von Beginn an sicherstellen. Im Oktober 2013 sind die U-Bahn-Stationen Aspern Nord am Nordrand des Gebiets und Seestadt als Endstation der Linie U2 im Süden eröffnet worden. In diese Etappe fällt ebenso der Aufbau eines F&E-Parks (Forschung und Entwicklung). Als erstes Impulsprojekt entsteht dort ein Innovationsquartier (Technologiezentrum), für das ein Realisierungswettbewerb gestartet wurde. Mit dem aspern IQ wurde per 2012 ein erster Ansiedlungskern erstellt.

**Etappe 2 (2017 bis 2022):** Der Bahnhof ‚Aspern Nord‘ sowie die Verbindung durch eine leistungsfähige Stadtstraße an die Autobahn A 23 und die Spange S 1 werden fertiggestellt. Weitere Wohn- und Mischquartiere und das Bahnhofs- und Büroviertel entstehen. **Etappe 3 (ab 2022):** An den Bahnhof, die Einkaufsstraße und die U-Bahntrasse angrenzende Gebiete werden weiter verdichtet, der Nutzungsmix wird weiter verbessert.



### Internet

<http://www.aspern-seestadt.at/>

## 7.9 Incheon, Südkorea



### Stadtdaten

Incheon ist eine Hafen- und Industriestadt an der Nordwestküste Südkoreas. Sie liegt 28 km westlich der Hauptstadt Seoul. Im Jahr 2009 war sie mit etwa 2,7 Mio Einwohnern auf 965 km<sup>2</sup> die drittgrößte Stadt Südkoreas. Songdo City ist eine Planstadt als Teil von Incheon. Auf einer Fläche von 6 km<sup>2</sup> sollen bis zu 70.000 Einwohner angesiedelt werden. Das Projekt ist eingebunden in die von der Stadt Incheon auf den Weg gebrachte Freihandelszone Incheon Free Economic Zone.

### Projektname

Songdo City (auch genannt New Songdo City oder Songdo New City)

### Ziel des Projektes

Die Urbanisation ist ein Kooperationsprojekt des koreanischen Unternehmens POSCO und des amerikanischen Bauträgers Gale International mit Sitz in New York City. Der Masterplan stammt von der Architektengruppe Kohn Pedersen Fox (KPF). Vorgesehene Bauleistung: Wohnflächen von rund 3,2 Millionen Quadratmetern und weitere rund 4,7 Millionen Quadratmeter Büro-, Handels- und öffentliche Flächen sollen entstehen. Die hier insgesamt herzustellende Baumasse soll derjenigen von Boston-City entsprechen.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Green-Field Projekt.

### Aktueller Status

Das Gesamtprojekt ist konzipiert für drei Bauphasen von 2003 bis 2020: Phase 1 bis 2009, Phase 2 bis 2014, Phase 3 bis 2020. Nach Genehmigung des Masterplans 2003 wurden die etwa 8 Kilometer vom Zentrum Incheons liegenden künstlichen Flächen geschaffen. Die Wattpolder mit ca. 14 Kilometer langen Deichen hat man mit rund 4 Millionen Kubikmeter Erdreich aufgefüllt und mechanisch verdichtet, was von Umwelt- und Tierschützern kritisiert wurde. Wegen des schlickhaltigen Untergrunds müssen die meisten Hochbauten mit Pfahlgründungen tief abgesichert werden. Nach Fertigstellung der Versorgungs-Infrastruktur wurden ab 2004 die ersten Hochbauten errichtet. Das architektonisch der Oper Sydney nachempfundene Tagungszentrum mit 144 Meter weiten, völlig stützenlosen Hallen wurde 2005 begonnen und im Oktober 2008 eröffnet. Im August 2009 wurde der 40 Hektar große Central Park eröffnet. Im September 2009 bezog die Universität Incheon ihren neuen Campus für fast 13.000 Studenten im Entwicklungsgebiet. Im September 2010 öffnete die Chadwick International School für 2.100 Schüler. Auch die Yonsei University eröffnete den sogenannten International Campus 2010, welcher Kritik hervorrief. Ebenfalls 2010 waren der außenliegende Golfplatz mit einigen hundert integrierten Villengrundstücken, 25 Kilometer Radwege und der zentrale Northeast Asia Trade Tower fertig. Ein Krankenhaus nach internationalem Standard soll Ende 2015 eröffnet werden. Seit 26. Oktober 2009 wurde die Incheon-Brücke auf die Flughafeninsel Yeongjong eröffnet.

### Internet

<http://www.songdo.com/>



## 7.10 Tianjin, Volksrepublik China



### Stadtdaten

Tianjin ist eine Hafenstadt in der Volksrepublik China und eine von insgesamt vier Regierungsunmittelbaren Städten. Das heißt, sie ist direkt der Zentralregierung unterstellt und hat damit denselben Status wie eine Provinz.

Das gesamte Verwaltungsgebiet umfasst eine Fläche von 11.943 km<sup>2</sup> und hatte mehr als 12 Mio Einwohner im Jahr 2009.

Tianjin Eco City liegt etwa 40 km vom Stadtzentrum Tianjins entfernt.

### Projektname

Tianjin Eco City

### Ziel des Projektes

Tianjin Eco-City is a flagship collaborative project between Singapore and China. Both of them see Tianjin as a way to demonstrate their commitment to sustainability. Tianjin has some of China's strictest building energy-efficiency standards. Each apartment comes with an underground parking space, and government officials say that charging stations and subsidies for electric cars are planned. It is built on the vision of being "a thriving city which is socially harmonious, environmentally friendly and resource-efficient. Tianjin Eco-City is build deliberately on heavily polluted land with no access to fresh water to prove that this project can work everywhere. They are building the city from scratch and the city will include schools, medical facilities and business districts. It will have everything that a City needs to attract residents from nearby cities like Beijing and Tianjin.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Green-Field Projekt.

### Aktueller Status

Established in 2007; construction works began in 2008 will be completed in 2020.

### Internet

<http://www.tianjineco-city.com/en/>



## 7.11 Hamburg, Deutschland



### Stadtdaten

Die Freie und Hansestadt Hamburg ist als Stadtstaat ein Land der Bundesrepublik Deutschland. Auf einer Fläche von 755 km<sup>2</sup> lebten Ende des Jahres 2013 1,75 Mio Einwohner. Sie ist damit die zweitgrößte Stadt Deutschlands.

In der Hafencity als innerstädtisches Entwicklungsprojekt werden auf einer Fläche von 157 ha Fläche 6.000 Wohnungen und über 45.000 Arbeitsplätze bis ins Jahr 2025 entstehen.

### Projektname

Hafencity

### Ziel des Projektes

Innovative Stadtentwicklung mit neuen Konzepten zu mehr Nachhaltigkeit, Ökologie und neuen Lebenskonzepten, die Mobilität einschließen.

### Typ des Projekts

Es handelt sich um ein Transformationsprojekt.

### Aktueller Status

Masterplan von 2000, Fertigstellung voraussichtlich bis 2025.

### Internet

<http://www.hafencity.com/>



## 7.12 Econnect Trier

Das auf die Dauer von 2,5 Jahren ausgelegte Forschungsprojekt verfolgt das Ziel Elektromobilität deutschlandweit zukunftsfähig zu gestalten. Dazu haben sich die Projektpartner zu einem Forschungsverbund zusammengeschlossen, um intelligente elektromobile Verkehrsanwendungen und die Integration der Elektromobilität in das intelligente Stromnetz der Zukunft mittels Informations- und Kommunikationstechnologie zu erforschen, zu entwickeln und zu erproben.

### **Ziel des Projektes**

Das Ziel des Forschungsvorhabens in der Smart City Trier ist es, den Bedarf an elektrischer Energie mithilfe eines virtuellen Energieverbunds vollständig aus regionaler und regenerativer Erzeugung zu decken. Die Nutzung von Elektrofahrzeugbatterien ermöglicht dabei in Zeiten von Überkapazitäten Energie zu speichern und somit einen Beitrag zum Gleichgewicht zwischen Stromerzeugung und Stromverbrauch zu leisten.

### **Typ des Projekts**

Es handelt sich um ein Transformationsprojekt.

### **Aktueller Status**

Projekt beendet im Jahr 2014.

## Abkürzungsverzeichnis

MFH	Mehrfamilienhaus
MS	Mittelspannung: typisch 10.000 bis 30.000 V
MW	Megawatt: Maßeinheit für Leistung, entspricht 1.000.000 W (Watt)
NaS	Natrium-Schwefel: kommt in Batterien zum Einsatz
NiCd	Nickel-Cadmium: kommt in Batterien zum Einsatz
WE	Wohneinheit
WEA	Windenergieanlagen

## Literaturverzeichnis

- [1] Neusel-Lange, N. et al: Die intelligente Stadt von morgen – Handlungsempfehlungen der ETG/ITG Task Force „Smart Cities“, VDE-Kongress 2014 - Smart Cities – Intelligente Lösungen für das Leben in der Zukunft in Frankfurt
- [2] Stoyanova, I., Monti, A., Speh, R.: Modulares Konzept für die Modellierung, Simulation und Optimierung von Smart Cities, VDE-Kongress 2014 - Smart Cities – Intelligente Lösungen für das Leben in der Zukunft in Frankfurt
- [3] European Renewable Energy Council (EREC), Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020, Brussels, 2008.
- [4] C. Aichele, Smart Energy, Von der reaktiven Kundenverwaltung zum proaktiven Kundenmanagement, 2012.
- [5] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., „Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken,“ 2013.
- [6] H.-G. S. e. al., Smart Energy, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.
- [7] Karnouskos, Stamatis (Senior Member, IEEE), „Demand Side Management via Prosumer Interactions in a Smart City Energy Marketplace“.
- [8] BDEW Bundesverband der Energie Wasserwirtschaft e.V., „Smart Grids: Das Zusammenwirken von Netz und Markt,“ 2012.
- [9] H. Vogt, H. Weiss, P. Spiess und A. P. Karduck, „Market-Based Prosumer Participation in the Smart Grid,“ in s 4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2010), 2010.
- [10] C. Molitor et al., „New Energy Concepts and Related Information Technologies: Dual Demand Side Management, Proceedings of IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, 2012
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Zahlen und Fakten Energiedaten“, 2014
- [12] Grötschel et al; „Production Factor Mathematics“, Springer Verlag, 2010.
- [13] H. Wolisz, H. Harb, P. Matthes, R. Streblov, D. Müller, „Dynamic simulation of thermal capacity and charging/discharging performance for sensible heat storage in building wall mass, Proceedings of 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 2013
- [14] C. Nabe, et al., „Potenziale der Wärmepumpe zum Lastmanagement im Strommarkt und zur Netzintegration erneuerbarer Energien, Ecofys, Berlin, 2011
- [15] J. Teuwsen, H. J. Belitz, C. Rehtanz, „Provision of Energy and Ancillary Services Using the Interconnected Operation of cogeneration Units in Residential Buildings, VDE Verlag, Berlin, 2011
- [16] S. Mueller et al., „Balancing Fluctuating Renewable Energy Generation Using Cogeneration and Heat Pump Systems, Energy Technology 2014, 2, pp. 83 - 89
- [17] Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament: Aktionsplan urbane Mobilität, KOM (2009) 490
- [18] Deutsche Gesellschaft für die Vereinter Nationen e.V. (DGVN), 2013: Urbanisierung, abrufbar unter: <http://menschliche-entwicklung-staerken.dgvn.de/index.php?id=648>
- [19] Beckmann, K.-J.: Stadtverkehr als eigenständiges nationales Konzept oder als zentraler Handlungsbaustein der nationalen Verkehrs- und Stadtentwicklungspolitik, Diskussionspapier vom 28.09.2009
- [20] Weißbuch der EU: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, KOM (2011) 144, endgültig, Brüssel 28.03.2011

- [21] European Renewable Energy Council (EREC), Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020, Brussels, 2008.
- [22] C. Aichele, Smart Energy, Von der reaktiven Kundenverwaltung zum proaktiven Kundenmanagement, 2012.
- [23] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., „Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken,“ 2013.
- [24] H.-G. S. e. al., Smart Energy, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.
- [25] Karnouskos, Stamatias (Senior Member, IEEE), „Demand Side Management via Prosumer Interactions in a Smart City Energy Marketplace“.
- [26] BDEW Bundesverband der Energie Wasserwirtschaft e.V., „Smart Grids: Das Zusammenwirken von Netz und Markt,“ 2012.
- [27] H. Vogt, H. Weiss, P. Spiess und A. P. Karduck, „Market-Based Prosumer Participation in the Smart Grid,“ in s 4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2010), 2010.
- [28] C. Molitor et al., „New Energy Concepts and Related Information Technologies: Dual Demand Side Management, Proceedings of IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, 2012
- [29] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Zahlen und Fakten Energiedaten“, 2014
- [30] Grötschel et al; „Production Factor Mathematics“, Springer Verlag, 2010.
- [31] H. Wolisz, H. Harb, P. Matthes, R. Streblow, D. Müller, „Dynamic simulation of thermal capacity and charging/discharging performance for sensible heat storage in building wall mass, Proceedings of 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 2013
- [32] C. Nabe, et al., „Potenziale der Wärmepumpe zum Lastmanagement im Strommarkt und zur Netzintegration erneuerbarer Energien, Ecofys, Berlin, 2011
- [33] J. Teuwsen, H. J. Belitz, C. Rehtanz, „Provision of Energy and Ancillary Services Using the Interconnected Operation of cogeneration Units in Residential Buildings, VDE Verlag, Berlin, 2011
- [34] S. Mueller et al., „Balancing Fluctuating Renewable Energy Generation Using Cogeneration and Heat Pump Systems, Energy Technology 2014, 2, pp. 83 – 89
- [35] Neusel-Lange, N.; Oerter, C.; Zdrallek, M.; Friedrich, W.; Stiegler, M.; Wodtcke, T.; Birkner, P., Sichere Betriebsführung von Niederspannungsnetzen durch dezentrale Netzautomatisierung, ETG-Fachbericht Band 130, Berlin/Offenbach: VDE Verlag (2011).
- [36] P. Birkner, S. Küppers und M. Zdrallek, „Anforderungen und zukünftiger Bedarf für intelligente Netze in Deutschland,“ Tagungsband zum VDE-Kongress E-Mobility, Leipzig, 2010.
- [37] Energietechnische Gesellschaft im VDE, „Smart Energy 2020 - vom Smart Metering zum Smart Grid,“ VDE, Berlin/Offenbach, 2010.
- [38] Ernst & Young, „Kosten-Nutzen-Analyse für den flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler,“ 2013.
- [39] C. Rehtanz, W. Horenkamp und A. Worgull, „Smart Metering Technologien: Mehrwert durch Standardisierung der Zähler und Kommunikationsstrukturen der „letzten Meile“,“ Tagungsband zum Internationalen ETG-Kongress, Düsseldorf, 2009.
- [40] R. Reichel, „Der M-Bus - ein Überblick,“ Kompakt+ (ew-Sonderpublikation), Nr. 2/2010, pp. 43-45, 2010.
- [41] M. Kapsa und D. Wallikewitz, „Changes and Risks during the Implementation of Smart Meters,“ Tagungsband zum Internationalen ETG-Kongress, Düsseldorf, 2009.
- [42] N. Neusel-Lange, „Dezentrale Zustandsüberwachung für intelligente Niederspannungsnetze,“ Bergische Universität Wuppertal, 2013.



- [43] Mit Gas-Innovationen in die Zukunft – Intelligente Technologien für die Energiewende, DVGW-Forschung
- [44] Hybridnetze als Schlüssel der Energiewende, Julia Antoni, Prof. Dr.-Ing. Peter Birkner & Ingo Franke (Mainova AG)
- [45] Heinrich, C. et al.: Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie, *Climate Change*, 25/2014, Umweltbundesamt, 2014.
- [46] Mueller, S. et al.: Balancing Fluctuating Renewable Energy Generation Using Cogeneration and Heat Pump Systems, *Energy Technology*, 2014, 2 pp. 83 – 89
- [47] Gebäudeklimatisierung: Marktentwicklung – Energieverbrauch – Alternativen, IKZ Fachplaner, 4/2006
- [48] Adams, W.M.: *Green Development: Environment and Sustainability in a Developing World*, 2008; ISBN-13: 978-0415395083
- [49] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Zahlen und Fakten Energiedaten“, 2014
- [50] ZSW (2013): *Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen* (<http://www.zsw-bw.de>)
- [51] Fraunhofer ISI (2012): *Technologie-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030*
- [52] Bundesregierung (2010): *Energiekonzept 2050*
- [53] Adams, W.M. (2006). „The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century.“ Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, 29–31 January 2006. Retrieved on: 2009-02-16
- [54] [Data.worldbank.org](http://data.worldbank.org), (2014). Urban population (% of total) | Data | Table. [online] Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> [Accessed 29 Apr. 2014].
- [55] De Vries, B. (2013) *Sustainability science*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, Chap. 1-2.
- [56] <http://www.berlin-institut.org>: Studie: „Stadt für alle Lebensalter“
- [57] WHO Technical Report Serie 916, 2003
- [58] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs355/en/> : Fact Sheet “Noncommunicable Diseases“, 2013
- [59] Siehe GHO (Global Health Observatory) der WHO: [www.who.int/gho/ncd/en/](http://www.who.int/gho/ncd/en/)
- [60] Siehe [www.tk.de](http://www.tk.de): Zivilisationskrankheiten
- [61] Siehe: Gesundheitsberichterstattung des Bundes: [www.gbe-bund.de](http://www.gbe-bund.de)
- [62] Siehe dazu [www.bundesregierung.de/Content/DE/Magazine/emags/ebalance/050/t5-gesundes-europa.html](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Magazine/emags/ebalance/050/t5-gesundes-europa.html)
- [63] <http://www.bmg.bund.de/glossar-begriffe/p-q/praevention.html>
- [64] Leitfaden Prävention - Handlungsfelder und Kriterien des GKV-Spitzenverbandes zur Umsetzung von §§ 20 und 20a SGB V vom 21. Juni 2000 in der Fassung vom 27. August 2010
- [65] Siehe [www.rki.de](http://www.rki.de): ISBN978-3-89606-215-4: „Evaluation komplexer Interventionsprogramme in der Prävention“; 2012
- [66] Reinhold Harnisch, IT krisenfest machen - brauchen wir das überhaupt?, in: . Neue Krisen - Ein Blick in die Zukunft, Dokumentation einer Tagung des Deutschen Städte und Gemeindeforschungsbundes, erschienen bei der Alcatel-Lucent Stiftung für Kommunikationsforschung, Juni 2013.
- [67] Drexhage, J., & Murphy, D. (2010). *Sustainable development: from Brundtland to Rio 2012*. Background Paper for the High Level Panel on Global Sustainability, United Nations, New York.
- [68] Egger, S., (2006). Determining a sustainable city model. *Environmental Modelling & Software*, Issue 21, pp. 1235-1246.
- [69] Freire, M., & Hoornweg, D. (2013). *Building Sustainability in an Urbanizing World: A Partnership Report*.

- [70] <http://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/geschaeftsfelder/mobilitaets-und-stadtsystem-gestaltung/1433-eu-foerderung-fuer-nachhaltige-stadtkonzepte.html> (abgerufen: 2015-04-27 15:57 Uhr)
- [71] <https://www.fokus.fraunhofer.de/97415ec5e402284c> (abgerufen: 2015-04-27 15:57 Uhr)
- [72] <http://www.eneff-stadt.info/de/news/news/details/eu-projekt-triangulum-intelligente-stadtquartiere-in-drei-vorreiterkommunen/> (abgerufen: 2015-04-27 15:57 Uhr)
- [73] Dtsch Arztebl 2015; 112(10): A-428; [www.kommunikationsverband.de](http://www.kommunikationsverband.de)
- [74] International Institute for Sustainable Development, (2011). Introduction to Sustainable Development. [online] Available at: [http://www.iisd.org/pdf/2011/intro\\_to\\_sd.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2011/intro_to_sd.pdf) [Accessed 13 Feb. 2014].
- [75] Linda Clarkson, Vern Morrisette, and Gabriel Regallet (1992). Our responsibility to the seventh generation: Indigenous peoples and sustainable development, Winnipeg: IISD.
- [76] Metro Times, (2014). Detroit is not alone. [online] Available at: <http://www2.metrotimes.com/editorial/story.asp?id=5718> [Accessed 29 Apr. 2014].
- [77] OECD/China Development Research Foundation, (2010). Trends in Urbanization and Urban Policies in OECD Countries: What Lessons for China?
- [78] Sachs, Jeffrey D. (n.d.) What is Sustainable Development? Chapter 11
- [79] Smart Cities Council (2013). Smart Cities Readiness Guide. Seattle: Smart Cities
- [80] OECD (1996). Sustainable Development OECD Policy Approaches for the 21st Century
- [81] OECD (1999), Urban Policy in Germany: Towards Sustainable Urban Development
- [82] UN DESA(2013), World Economic and Social Survey 2013 Sustainable Development Challenges
- [83] Economist Intelligence Unit: Hot Spots, Benchmarking Global City Competitiveness, 2012
- [84] United Nations Population Division: AN OVERVIEW OF URBANIZATION, INTERNAL MIGRATION, POPULATION DISTRIBUTION AND DEVELOPMENT IN THE WORLD [http://www.un.org/esa/population/meetings/EGM\\_PopDist/P01\\_UNPopDiv.pdf](http://www.un.org/esa/population/meetings/EGM_PopDist/P01_UNPopDiv.pdf)
- [85] C40Cities, <http://www.c40cities.org/>
- [86] DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN, „Smart Cities – Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft - Aufgaben und Chancen,“ Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2011.
- [87] BUNDESVERBAND INFORMATIONSWIRTSCHAFT, TELEKOMMUNIKATION UND NEUE MEDIEN E. V. (HRSG.); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG ISI, „Gesamtwirtschaftliche Potenziale intelligenter Netze in Deutschland,“ BITKOM, Berlin, 2012.
- [88] Krzikalla, N.; Achner, S.; Brühl, S.: Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus erneuerbaren Energien, Studie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie, 2013
- [89] Wohnungsmarktatlant Deutschland 2012, Ottenströer Immobilienwirtschaft, 2012
- [90] Online: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-smartcities-LR-en.pdf>, zuletzt besucht am 21.04.2015
- [91] ENERGIETECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE, „Dezentrale Energieversorgung 2020“ VDE, Frankfurt am Main, 2007.
- [92] INFORMATIONSTECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE, „Energieinformationsnetze und -systeme; Teil A - Verteilungsnetzautomatisierung im Smart Grid,“ VDE, Frankfurt am Main, 2012.
- [93] INFORMATIONSTECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE, „Energieinformationsnetze und -systeme; Teil B - Künftige Geschäftsmodelle für Verteilungsnetzbetreiber im Smart Grid der Zukunft,“ VDE, Frankfurt am Main, 2012.
- [94] ENERGIETECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE, „Aktive Energienetze im Kontext der Energiewende“ VDE, Frankfurt am Main, 2013.
- [95] ENERGIETECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE, „Smart Distribution 2020“ VDE, Frankfurt am Main, 2008.

- [96] ENERGIETECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE, „Smart Energy 2020“ VDE, Frankfurt am Main, 2010.
- [97] ENERGIETECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE, „Demand Side Integration“ VDE, Frankfurt am Main, 2012.
- [98] BDEW Bundesverband der Energie Wasserwirtschaft e.V., „Smart Grids: Das Zusammenwirken von Netz und Markt,“ 2012.
- [99] VERBAND DER ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK E.V., „Energiehorizonte 2020“ VDE, Frankfurt am Main, 2012.
- [100] T. Braje und T. Hofmann, Auswertung nationaler und internationaler Smart Grid-Studien im Hinblick auf die Einbindung in eine Smart City, Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal, 2013.
- [101] Beckmann, J. /Brägger, A.: Kollaborative Mobilität in: Internationales Verkehrswesen, 65 (2) 2013, S. 57 - 59
- [102] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesamt, BITKOM: „Smart Cities“ – Grüne ITK zur Zukunftssicherung moderner Städte, Diskussionspapier zur 5. Jahreskonferenz BMV/UBA/BITKOM, Mai 2011
- [103] Siemens AG: Cooperativity in motion – Der Verkehr der Zukunft ist vernetzt, 2013, www.siemens.com
- [104] Andrea Caragliu et al. (2009): Smart Cities in Europe, Proceedings of the 3rd Central European Conference in Regional Science, Košice, S. 45 - 59.
- [105] Friedericke Rohde und Thomas Loew (2011): Smart City - Begriff, Charakteristika und Beispiele, Wiener Stadtwerke Holding AG, Wien.
- [106] Jörn von Lucke, Florian Schumacher und andere (2015): Verwaltung 4.0, Whitepaper, Fraunhofer FOKUS und Zeppelin Universität, Berlin/Friedrichshafen, in Veröffentlichung.
- [107] Jörn von Lucke (2014): Open Government Collaboration - Offene Formen der Zusammenarbeit beim Regieren und Verwalten, in: Jörn von Lucke (Hrsg.): Das offene Regierungs- und Verwaltungshandeln und seine Perspektiven im Wahljahr 2013, Schriftenreihe des Deutsche Telekom Institute for Connected Cities | TICC der Zeppelin Universität Friedrichshafen, Band 6, epubli GmbH, Berlin, S. 19 - 78.
- [108] Jörn von Lucke (2015): Technische urbane Innovationen – Potenziale von Open Government, offenen Daten und intelligenten Städten, in: Norbert Kersting (Hrsg.): Urbane Innovation, in Veröffentlichung.
- [109] Jörn von Lucke (2012): Innovationsschübe durch eine Öffnung von Staat und Verwaltung, frei zugängliche Daten, Datenportale und Umsetzungswettbewerbe, in: Wolfgang Eixelsberger und Jürgen Stember (Hrsg.): E-Government – Zwischen Partizipation und Kooperation, Springer Verlag, Wien New York, S. 229 - 241. ISBN: 978-3-7091-0916-8.
- [110] Harold Dwight Lasswell (1956): The Decision Process - Seven Categories of Functional Analysis, University of Maryland Press, College Park.
- [111] Jörn von Lucke und Christian Geiger (2010): Open Government Data - Frei verfügbare Daten des öffentlichen Sektors, in: Jörn von Lucke (Hrsg.): Entdeckung, Erkundung und Entwicklung 2.0: Open Government, Open Government Data und Open Budget 2.0, Schriftenreihe des Deutsche Telekom Institute for Connected Cities | TICC der Zeppelin Universität Friedrichshafen, Band 1, epubli GmbH, Berlin, S. 105 - 156. ISBN 978-3-8442-1799-5.
- [112] von Lucke, Jörn 2014: Nationale Open Data Infrastruktur, in: Andreas Engel (Hrsg.): IT-Governance in Staat und Kommunen – Vernetzung, Zusammenarbeit und die Steuerung von Veränderungsprozessen in der öffentlichen Informationstechnik, Reihe E-Government und die Erneuerung des öffentlichen Sektors, Band 16, edition sigma, Berlin 2014, S. 219 - 236. ISBN: 978-3-894-048464.

- [113] G8 (2013): G8 Open Data Charter and Technical Annex, Cabinet Office London und Enniskillen. (<https://www.gov.uk/government/publications/open-data-charter/g8-open-data-charter-and-technical-annex>)
- [114] Bundesregierung (2014): Nationaler Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der G8-Charta, Berlin.
- [115] Jörn von Lucke (2014): Open Government in den Wahlprogrammen zur Bundestagswahl 2013 - Wie steht es mit dem offenen Regierungs- und Verwaltungshandeln? in: Jörn von Lucke (Hrsg.): Das offene Regierungs- und Verwaltungshandeln und seine Perspektiven im Wahljahr 2013, Schriftenreihe des Deutsche Telekom Institute for Connected Cities | TICC der Zeppelin Universität Friedrichshafen, Band 6, epubli GmbH, Berlin, S. 79 - 110.
- [116] Willy Kaczorowski (2014): Die smarte Stadt – Den digitalen Wandel intelligent gestalten – Handlungsfelder Herausforderungen Strategien, Richard Boorberg Verlag, Stuttgart.
- [117] von Lucke, Jörn; Herzberg, Johann; Kluge, Ulrike; vom Brocke, Jan; Müller, Oliver und Zimmermann, Hans-Dieter (2012): Offene gesellschaftliche Innovation – Die Seealemannische Definition, eSociety Bodensee 2020 Blog, Friedrichshafen, St. Gallen und Vaduz. (<https://esocietybodensee2020.files.wordpress.com/2012/10/ibh-121015-seealemannische-definition-v1.pdf>)
- [118] Kohlen, R.: Network-wide application of floating car data (FCD) particularly in cities using data fusion with measurement data of stationary traffic detection, MT-IST Conference 2013
- [119] Detecon International (Hrsg): Das Auto im Netz, Detecon Management Re-port MARKETS, Ausgabe 1/2013
- [120] Nationaler IT-Gipfel, AG2 Ergebnisbericht der Projektgruppe Intelligente Verkehrsnetze, 2013, [http://www.it-gipfel.de/IT\\_Gipfel/Redaktion/PDF/it-gipfel-2013-ergebnisbericht-intelligente-verkehrsnetze-ag2,property=pdf,bereich=itgipfel,sprache=de,rwb=true.pdf](http://www.it-gipfel.de/IT_Gipfel/Redaktion/PDF/it-gipfel-2013-ergebnisbericht-intelligente-verkehrsnetze-ag2,property=pdf,bereich=itgipfel,sprache=de,rwb=true.pdf)
- [121] Geisberger, E./Broy, M. (Hrsg.): Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical-Systems, acatech Studie, März 2012.
- [122] Geiger, J.: Autonomes fahren – Unklare Rechtslage, [www.firmenauto.de](http://www.firmenauto.de) vom 25.01.2015
- [123] [http://www.tianjinacity.gov.sg/bg\\_kpis.htm](http://www.tianjinacity.gov.sg/bg_kpis.htm)
- [124] <http://sustainablecitiescollective.com/david-thorpe/256536/key-performance-indicators-eco-cities-asia-pacific-region>
- [125] <http://www.siemens.com/entry/cc/de/greencityindex.htm>
- [126] ISO 37120:2014(en)
- [127] Sustainable development of communities — Indicators for city services and quality of life
- [128] Deutsches Institut für Normung e.V. DIN. (Juli 2008). DIN EN 12831. Heizsysteme in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast . Berlin, S. 1 ff.
- [129] Statistisches Bundesamt (Destatis). (2011). Bevölkerung und Erwerbstätigkeit - Entwicklung der Privathaushalte bis 2030 - Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung. Wiesbaden, S. 1ff.
- [130] Richardson, I., Thomson, M., Infield, D., & Clifford, C. (2010). Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model. Energy and Buildings, S. 1878–1887.
- [131] Hellwig, M. (2003). Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standardlastprofile. München: TU München, S. 1ff.
- [132] Fraunhofer ISI. (2013). Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010. Karlsruhe, S. 1ff.
- [133] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (2009). Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Berlin, S. 1ff.

- [134] Online: <https://www.modelica.org>; Specifications: <https://www.modelica.org/documents/Modelica-Spec33Revision1.pdf>; zuletzt besucht: 30.04.2015
- [135] Mohammadi, S., Vries, B., & Schaefer, W. (2013). A Comprehensive Review of Existing Urban Energy Models in the Built Environment. In S. Geertman, F. Toppen, & J. Stillwell (Eds.), *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Planning Support Systems for Sustainable Urban Development* (pp. 249–265). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg
- [136] EnEff:Stadt Energiekonzept Berater für Stadtquartiere, BMWi Förderkennzeichen 0327400N
- [137] Leitfaden Energienutzungsplan, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Feb. 2011
- [138] Robinson, D., Campbell, N., Gaiser, W., Kabel, K., Le-Mouel, A., Morel, N., . . . Stone, A. (2007). SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability. *Solar Energy*, 81(9), 1196–1211. doi:10.1016/j.solener.2007.06.002
- [139] James Keirstead, Nouri Samsatli, Nilay Shah (2010) SynCity: an integrated tool kit for urban energy systems modelling, 21-42. In World Bank
- [140] Online: <http://www.zeit.de/karriere/beruf/2013-09/home-office-mobiles-arbeiten/seite-2> Abruf: 27.03.2015

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Struktur der intelligenten Stadt von morgen – ein koordiniertes System von Systemen	12
Abbildung 2:	Smart Home Integration [12]	14
Abbildung 3:	Integriertes Verteilungsnetzmanagement-System für Mittel- und Niederspannungsnetze	17
Abbildung 4:	Hybridnetze als Schlüssel zur Energiewende [44]	20
Abbildung 5:	Mobile Geräte und im Haus installierte Komponenten sind Teil eines Kommunikationsnetzwerkes. In der Smart City gibt es variable Services durch spezielle Zentren. Diese decken unterschiedliche Bereiche an Unterstützungsleistungen ab.	23
Abbildung 6:	Venn-Diagramm für nachhaltige Entwicklung [48]	32
Abbildung 7:	Shares of World Urban Population and Regional Totals (2010-2050) [69]	33
Abbildung 8:	Urban and rural population in the world and the OECD (1950 - 2030) (Source: OECD/China Development Research Center, (2010) based on UN data)	34
Abbildung 9:	Säulen der Nachhaltigkeit für Städte (Source: UN DESA, 2013)	34
Abbildung 10:	Das Smart Grid Architecture Model (SGAM) als Orientierungsrahmen [92]	41
Abbildung 11:	Entwicklung des Primärenergiebedarfs seitens der gesetzlichen Anforderungen und in der Forschung	48
Abbildung 12:	Überblick Standardisierungsaktivitäten/Gremien im Bereich Smart City	56
Abbildung 13:	Struktur der intelligenten Stadt von morgen – ein koordiniertes System von Systemen	57
Abbildung 14:	Erstellen, Sammeln und Aufbereiten der Sensordaten in einer Smart City	64
Abbildung 15:	Struktur zur Datenaufnahme, -prozessierung und Modellbildung für die Smart City	65
Abbildung 16:	Beispiel für die Visualisierung der Netzqualität in einem Stadtteil. In den roten Bereichen erreicht die Spannung kritische Werte. Quelle: ABB	70
Abbildung 17:	Das Kommunikationsnetz als Basis für die Vernetzung der Smart City	71
Abbildung 18:	Verfügbare Technologien zur Anbindung des Wohnhauses an die Smart City	72
Abbildung 19:	Koordination von MIV- und ÖV-Maßnahmen zur Optimierung des urbanen Verkehrs	77
Abbildung 20:	Veränderung von Mobilitätsformen	78
Abbildung 21:	Funktionen von Verkehrsmanagementzentralen [118]	80
Abbildung 22:	Smart Metering Kommunikationsarchitektur	87
Abbildung 23:	Konzept einer intelligenten und automatisierten Steuerung der Ladeinfrastruktur	80
Abbildung 24:	Verschiebungspotenzial der Ladeleistung von Elektrofahrzeugen	89
Abbildung 25:	Darstellung eines Unterstützungssystems als Plattform für multimorbide Patienten	95
Abbildung 26:	Struktur der intelligenten Stadt von morgen – ein koordiniertes System von Systemen	103
Abbildung 27:	Übersicht quantitativer KPIs der Tianjun Eco-city [ <a href="http://www.tianjinecocity.gov.sg/bg_kpis.htm">http://www.tianjinecocity.gov.sg/bg_kpis.htm</a> ]	105
Abbildung 28:	Methodik des Green City Indexes [Quelle: Siemens]	106
Abbildung 29:	Sechsstufiger Politikzyklus und die Open Government Trends Quelle: von Lucke 2012	108
Abbildung 30:	Anordnung von Elementarbausteinen	118
Abbildung 31:	Aggregationsebenen	118
Abbildung 32:	Resource Balancing Principle	119
Abbildung 33:	Struktur eines Elements	121
Abbildung 34:	Elementstruktur des Ausbildungskomplexes	122
Abbildung 35:	Gesamtsystem Smart City	124
Abbildung 36:	Zusammengesetzte Smart City Komponente: Stadtteil mit zwei Siedlungen, Theater, Geschäft, Ausbildungszentrum, Bürokomplex	125

Abbildung 37: Leistungsaufnahme des Haushalts, Wasser- und Abwasserwerte	126
Abbildung 38: Leistungsaufnahme, Wasser- und Abwasserwerte für den Bürokomplex	127
Abbildung 39: Leistungsaufnahme, Wasser- und Abwasserwerte für das Ausbildungszentrum	128
Abbildung 40: Auslastung des Parkgeländes: Stellplätze belegt durch Einwohner (blau), und Mitarbeiter und Schulbesucher (rot)	128
Abbildung 41: Leistungsaufnahme, Wasser- und Abwasserwerte für das Geschäft	129
Abbildung 42: Leistungsaufnahme, Wasser- und Abwasserwerte für das Theater	130
Abbildung 43: BHKW als Schnittstelle zwischen den Domänen Gas, elektrische Energie und Wärme	132
Abbildung 44: Wasserpumpe als Schnittstelle zwischen den Domänen Wasser und elektrische Energie	132
Abbildung 45: Park'n'Ride als Schnittstelle zwischen Straßen- und Zugverkehr	133
Abbildung 46: Klassifizierung von Optimierungsproblemen nach [Xin She-Yang]	134
Abbildung 47: Metaheuristische Algorithmen	136
Abbildung 48: Zellulare Strukturen erlauben den Übergang von vertikaler zu horizontaler Optimierung (Quelle: Siemens)	137
Abbildung 49: Heizbedarf der vier Haushalte für zwei Tage	138
Abbildung 50: Leistungsaufnahme der vier Haushalte für zwei Tage	138
Abbildung 51: Aggregierter Heizbedarf für das Mehrfamilienhaus für zwei Tage	138
Abbildung 52: Aggregierte Leistungsaufnahme für das Mehrfamilienhaus für zwei Tage	138
Abbildung 53: Lastprofil des Mehrfamilienhauses mit Betrieb des BHKW zu den Spitzenlastzeiten	139
Abbildung 54: Verlauf des Ladezustandes des thermischen Speichers	139
Abbildung 55: Aggregierte Leistungsaufnahme für 250 Haushalte gemessen an dem Transformator	140
Abbildung 56: Leistungsaufnahme des Mehrfamilienhauses mit externem Schalten des BHKW	140
Abbildung 57: Ladezustand des Speichers des BHKW	141
Abbildung 58: Aggregierte Leistungsaufnahme gemessen am Transformator bei Steuerung von einem (rot) und von fünf BHKW (grün)	141
Abbildung 59: Temperaturverlauf an einem Sommertag an der Wetterstation in Trier-Petrisberg [Quelle: DWD]	142
Abbildung 60: Einspeiseleistung der PV-Anlage für einen Tag	143
Abbildung 61: Ladezustand des Wasserspeichers: In dem Brown-Field-Fall ist der Speicher voll um 14 Uhr	143
Abbildung 62: Ladezustand des Wasserspeichers: In dem Green-Field-Fall kann der Speicher über die ganze Zeit der erhöhten Energieerzeugung durch die PV gefüllt werden	144

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Überblick über betrachtete Studien zum Thema Smart Grid	40
Tabelle 2:	Ausgewählte nationale und internationale Forschungsprojekte zu Wärme und Kälte im Kontext Smart Grid	43
Tabelle 3:	Ausgewählte Internationale Forschungsprojekte zum Einsatz von I&K-Systemen zur Sicherstellung der individuellen Mobilität.	44
Tabelle 4:	Ausgewählte nationale und internationale Forschungsprojekte zu Gebäuden im Kontext Smart Grid	50
Tabelle 5:	Beispiele für die Modellierung von Elementen	124
Tabelle 6:	Beispiele für die Modellierung von Objekten	125
Tabelle 7:	Anwesenheit der Bewohner (0-24 Uhr am Freitag, Samstag, Sonntag)	126











# VDE

VDE VERBAND DER ELEKTROTECHNIK  
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.

Stresemannallee 15  
60596 Frankfurt am Main  
Telefon: 069 6308-0  
E-Mail: [service@vde.com](mailto:service@vde.com)  
Internet: <http://www.vde.com>