

CO₂-Einsparung durch IKT und in der IKT in Hessen

Entwicklungspotenziale und Handlungsoptionen

Studie im Auftrag der Hessen IT

Autoren:

Jens Clausen, Severin Beucker und Ralph Hintemann

unter Mitarbeit von Olrik Thonig, Green Power GmbH

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH

Clayallee 323

D-14169 Berlin

www.borderstep.de

Berlin, Juni 2013

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1 Einleitung	8
1.1 Stromverbrauch durch IKT in Deutschland	8
1.2 IKT in Hessen	10
1.3 Ziel und Aufgabenstellung der Studie	11
2 Was ist Green IT?	12
3 Vorgehensweise	14
3.1 Struktur der Studie	14
3.2 Bezugsdaten	15
4 Aktueller Stromverbrauch durch IKT in Hessen	17
4.1 IKT Geräte in Haushalten	17
4.1.1 Green IT Potenziale	19
4.1.2 Leitlinien und Maßnahmen	20
4.2 Arbeitsplatz-Endgeräte in Unternehmen und Organisationen	21
4.2.1 Green IT Potenziale	23
4.2.2 Leitlinien und Maßnahmen	24
4.3 Netze	25
4.3.1 Festnetz	26
4.3.2 Mobilfunk	28
4.3.3 Prüfung anhand der Angaben in den Corporate Responsibility Berichten	31
4.3.4 Fazit Festnetz	32
4.3.5 Fazit Mobilnetze	34
4.3.6 Leitlinien und Maßnahmen	39
4.4 Rechenzentren	40
4.4.1 Stromverbrauch von Rechenzentren in Deutschland insgesamt	40
4.4.2 Rechenzentrumstypen	44

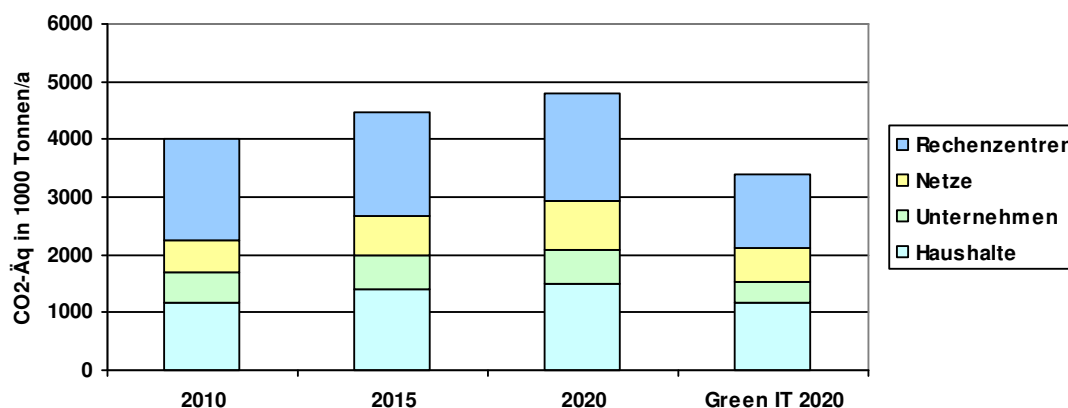
4.4.3	Rechenzentren in Hessen	48
4.4.4	Leitlinien und Maßnahmen	54
4.5	Status der Anwendung von Green durch IT-Lösungen	55
4.5.1	Smart Buildings	56
4.5.2	Smart Motors – Smart Industry	60
4.5.3	Smart Grid.....	62
4.5.4	Smart Mobility	76
4.6	Konsum	83
4.6.1	E- Books statt Bücher.....	83
4.6.2	E-commerce/ Onlinehandel.....	84
4.6.3	Ambient Assisted Living und E-Health.....	87
4.6.4	Fazit Konsum.....	89
4.7	Stromverbrauch und Einsparpotenziale der IT in Hessen.....	90
4.7.1	Entwicklung der Treibhausgasemissionen.....	91
4.7.2	Treibhausgas-Einsparpotenziale durch die IT	93
4.7.3	Treibhausgas-Einsparpotenziale durch IT in anderen Studien	97
4.7.4	Fazit.....	99
5	Erarbeitung von Leitlinien und Maßnahmen zur Förderung ausgewählter Green durch IT Bereiche	100
5.1	Smart Home und Gebäudeautomatisierung.....	100
5.1.1	Stand und Einsatzmöglichkeiten von Smart Home Technik	100
5.1.2	Verbreitung/Diffusion von Smart Home Technik	100
5.1.3	Energiemanagement: Schlüsselanwendung der intelligenten Heimvernetzung?	102
5.1.4	Leitlinien	103
5.2	Smart Industry.....	105
5.2.1	Beispiel chemische Industrie	107
5.2.2	Fazit.....	109
5.3	Telearbeit	110
5.3.1	Einflussfaktoren auf die Diffusion	110
5.3.2	Wirkungen der Diffusion	113

5.3.3 Zusammenfassende Bewertung Diffusionsanalyse	115
6 Literatur	118

Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie „CO₂-Einsparung durch IKT und in der IKT in Hessen wurde der aktuelle Stromverbrauch der IKT abgeschätzt sowie die CO₂-Minderungspotenziale, die aus dem Einsatz von IKT in Hessen (Green in der IT und Green durch IT) resultieren können erhoben. Es wurden Möglichkeiten und technische Maßnahmen zur Reduzierung des Stromverbrauchs ermittelt sowie Empfehlungen für Leitlinien und politische Maßnahmen erarbeitet. Weiter wurden zwei mögliche Green-IT Leuchtturmprojekte für Hessen identifiziert. Auf Basis der Erhebung lassen sich die Stromverbräuche die auf den Betrieb von IT in privaten Haushalten und der Wirtschaft zurückzuführen sind wie folgt abschätzen:

Abbildung 1: Entwicklung der Stromverbräuche und Green IT Potenziale in der IT in Hessen im Überblick



Die Daten des Szenarios zu „Green IT 2020“ gehen dabei davon aus, dass ein breites Spektrum an Maßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs in der IT zum Einsatz kommt.

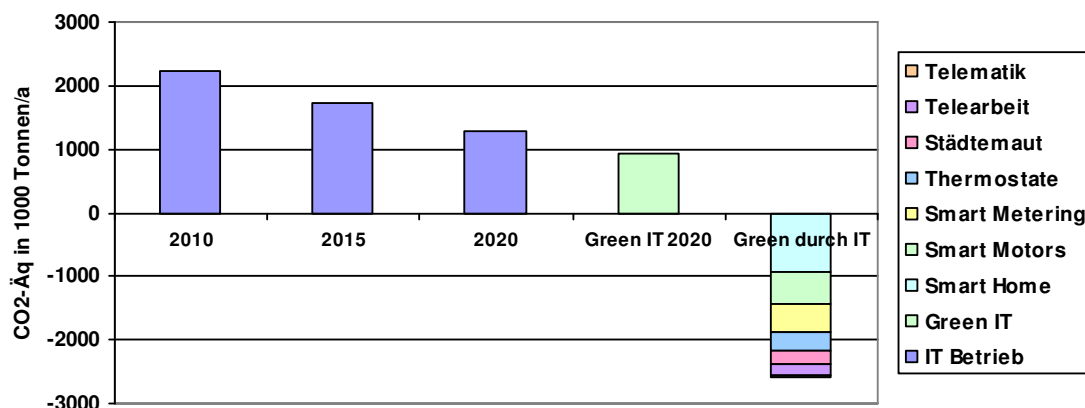
Im Rahmen der Untersuchung konnte eine besondere Stellung Hessens bei den Großrechenzentren nachgewiesen werden. Ca. 40% der bundesweit vorhandenen Server in Großrechenzentren stehen im Großraum Frankfurt am Main.

Die mit Blick auf den raschen weiteren Ausbau der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien, wie er im Energiekonzept der Bundesregierung vorgesehen ist, zu erwartende schnelle Verbesserung der CO₂-Effizienz der Stromversorgung führt dazu, dass sich die mit dem Betrieb der IT verbundenen CO₂-Emissionen vergleichsweise schnell reduzieren werden. Bis 2015 können sich die CO₂-Emissionen bereits um fast 500.000 Tonnen auf ca. 1,75 Millionen Tonnen pro Jahr absenken lassen, danach ist ein weiteres Absinken auf ca. 1,3 Millionen Tonnen im Jahr 2020 möglich.

Die im Green IT Szenario prognostizierte Reduktion des Stromverbrauchs der IT in Hessen im Zeitraum 2010 bis 2020 um etwa 15 %, führt unter Zugrundelegung der Emissionsdaten aus dem Lang-

fristszenario des BMU zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 1,3 Millionen Tonnen bzw. um fast ca. 60 % gegenüber dem Jahr 2010.

Abbildung 2: Entwicklung der Treibhausgasemissionen durch den Betrieb der IT sowie Einsparpotenziale in der IT und durch die IT (Basis BMU Langfristszenarien, DLR et al. 2012)



Durch eine Reihe zentraler Maßnahmen kann die hessische Landesregierung diese Entwicklung beschleunigen. Hierzu gehören insbesondere:

- eine verstärkte Thematisierung der Energieeffizienz der Telekommunikationsnetze, z.B. durch einen Workshop oder durch Initiativen bei der Bundesnetzagentur (BNA),
- die systematische Förderung der Energieeffizienz der in Hessen konzentrierten Großrechenzentren durch eine „Innovationsallianz Rechenzentren in Hessen“ und durch ein geeignetes Konzept für die Realisierung eines Leuchtturms „Hocheffizienzrechenzentrum Hessen“,
- die konzertierte Erschließung von Energieeinsparpotenzialen im Gebäudebestand durch die Förderung intelligenter Heimvernetzung mit offenen Plattformen, so dass Telekommunikation, Mediennutzung und Energiemanagement parallel entwickelt werden, ggf. in Verbindung mit einem Leuchtturmprojekt „Klimaschutz durch Energiemanagement und Low-Exergy“. Damit könnte eine auf IT und Low-Exergy-Energiequellen basierende Versorgung demonstriert werden, die bis zum Jahr 2020 eine Reduktion der CO₂-Emissionen in Wohngebäuden (Wärmeverbrauch 150 kWh/m²) um den Faktor 6,8 ermöglichen würde,
- ein Hinwirken auf die flächendeckende Einführung lastabhängiger Tarife, da ansonsten dem Smart Grid die ökonomische Grundlage fehlt, wofür aber letztlich eine bundesweite Initiative zur Neugestaltung des Energiewirtschaftsrechts notwendig ist,
- durch dezentrale Informationsveranstaltungen zu Energiemanagement in Industrie und Gewerbe (mit Fokus auf Qualität und Effektivität) und der Anwendung von Smart Motors in der Industrie,

- durch die Förderung von Telearbeit besonders in der Fläche, wodurch sich sowohl Verkehrsströme reduzieren und damit Treibhausgasemissionen senken, als auch ein Beitrag zur Verbesserung der Fachkräfteverfügbarkeit leisten ließe, da sich durch intelligente Arbeitsorganisation bei längeren Entfernungen von Wohn- zu Arbeitsort eine gute Work-Life-Balance erzielen lässt.

1 Einleitung

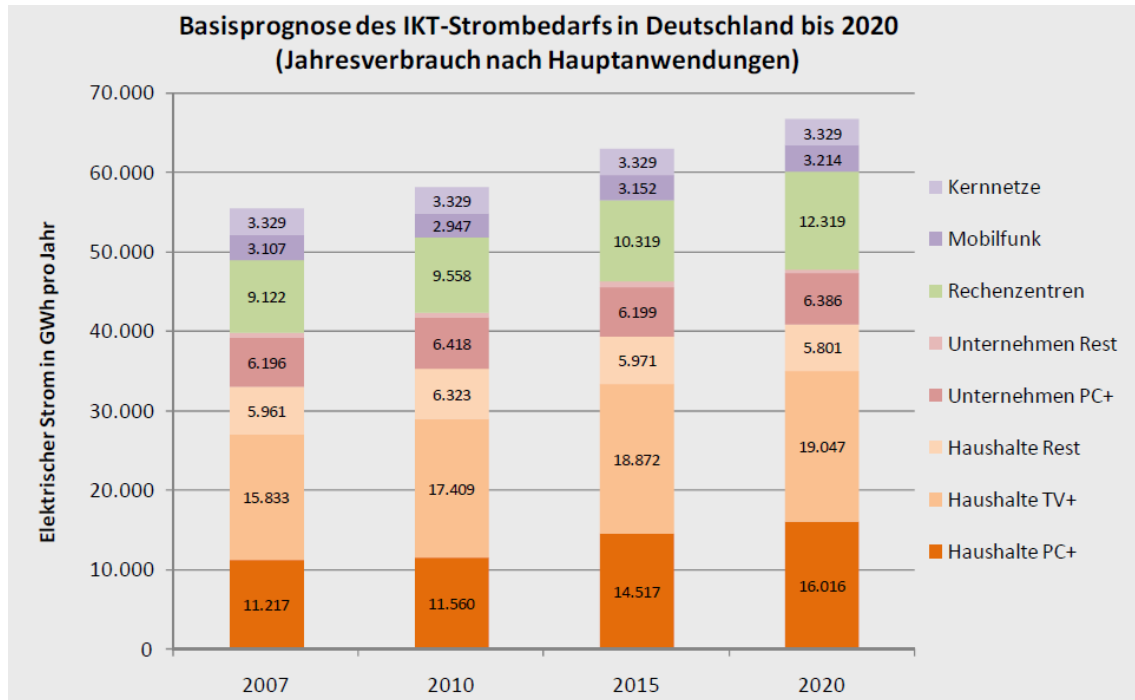
1.1 Stromverbrauch durch IKT in Deutschland

Für die heutige Informations- und Wissensgesellschaft bildet die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) die technische Basis und trägt als dynamisches Innovationsfeld maßgeblich zur wirtschaftlichen Entwicklung bei. IKT-Technologien sind entscheidende Technologietreiber in nahezu allen Branchen. Allerdings sind auch der Ressourcenbedarf und insbesondere der Energiebedarf für den Betrieb der IKT-Infrastruktur zu einem bedeutsamen ökonomischen und ökologischen Faktor geworden. Aus diesem Grund hat das Thema Green IT (Green in der IT) in den vergangenen Jahren hohe Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Der intelligente Einsatz von IKT kann zudem durch vielfältige Anwendungen (Green durch IT) einen substantiellen Beitrag zur Erreichung der umwelt- und industriepolitischen Zielsetzungen leisten; insbesondere zur Energie- und Ressourceneinsparung sowie zur Reduzierung von klimaschädlichen Treibhausgasemissionen. Gleichzeitig bilden neue, unter Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten gestaltete IKT-Produkte und -Lösungen zusätzliche Wachstumspotenziale für die Industrie und tragen so ebenfalls zur wirtschaftlichen Entwicklung bei.

In Deutschland wurde bislang eine Reihe von Initiativen ergriffen, die auf die Erschließung von Umweltentlastungspotenzialen in der IKT und durch IKT abzielen. Dazu zählen z.B. die Förderprogramme „it2green“ und „E-Energy“ des Bundeswirtschaftsministeriums, der Förderschwerpunkt „IT goes green“ im Umweltinnovationsprogramm von Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt oder der Schwerpunkt "Leistungselektronik zur Energieeffizienz-Steigerung" innerhalb des Förderprogramms "IKT2020" des Bundesforschungsministeriums.

Mit Blick auf den Stromverbrauch der IKT in Deutschland ist in den kommenden Jahren jedoch mit einem weiteren deutlichen Wachstum zu rechnen. Nach einer Prognose des Fraunhofer IZM (Stobbe et al. 2009) wird der Stromverbrauch, der durch Endgeräte (hier incl. privater Fernsehgeräte), Server und Rechenzentren sowie die Netze verursacht wird, von 59,6 TWh in 2010 auf 63 TWh in 2015 und 68 TWh in 2020 ansteigen.

Abbildung 3: Basisprognose der Entwicklung des Energieverbrauchs der IKT in Deutschland von 2007 bis 2020



Quelle: Stobbe et al., 2009, 69.

Der Entwicklung des Stromverbrauchs und den nötigen Effizienzmaßnahmen kommt daher eine erhebliche Bedeutung zu.

Die vorliegende Studie befasst sich grundsätzlich mit der gleichen Thematik wie das in 2012 erarbeitete „Gutachten zum Thema Green IT – Nachhaltigkeit für die Enquete Kommission Internet und digitale Gesellschaft des deutschen Bundestages“ (Fichter et al. 2012). Aufgrund des anders gesteckten Rahmens und der abweichenden Aufgabe unterscheiden sich allerdings viele Zahlenangaben. Grundsätzlich lässt sich zu Ähnlichkeiten und Abweichungen folgendes sagen:

Bei Endgeräten in Haushalten und an Arbeitsplätzen herrscht hinsichtlich der Daten ein hohes Maß an Ähnlichkeit, da auf den gleichen Basisstudien aufgebaut wurde.

Die Angaben zu Fest- und Mobilnetz sind aufgabengemäß deutlich aufwendiger recherchiert und weichen schon aufgrund des schnellen Netzausbaus (z.B. im LTE-Netz), aber auch aufgrund der fortschreitenden Projekte und ihrer Ergebnisse im Rahmen des Programms „IT2Green“ ab.

Die Abschätzungen des Energieverbrauchs der Rechenzentren berücksichtigen die hohe Konzentration von Rechenzentren in Hessen, schreiben die Daten mit wiederum aktuellen Daten fort und weichen letztendlich ebenfalls deutlich von den bundesweiten Prognosen des Gutachtens für die Enquete-Kommission ab.

In allen Bereichen von „Green durch IT“ gehen die Analysen ebenfalls deutlich weiter, da es explizit zur Aufgabenstellung gehörte, auch den schon erreichten Umsetzungsstand zu evaluieren. Beispielfürhaft bei Smart Logistics führte dies zu der Erkenntnis, dass die bisher postulierten Einsparpotenziale bereits weitgehend erschlossen sind.

1.2 IKT in Hessen

Hessen gehört zu den bedeutendsten IKT Standorten in Deutschland und Europa. Die diesbezüglichen Eckpfeiler bilden die vorhandene Netzinfrastruktur, der sehr dynamische IKT Sektor, das Finanz- und Logistikzentrum Frankfurt am Main und der ausgeprägte Forschungssektor vor allem in der Region Südhessen mit Darmstadt als Softwareindustrie- bzw. Forschungscluster.

Der IKT-Sektor in Hessen erzeugte nach Angabe der Hessen IT 2009 mit seinen 9.466 Unternehmen einen Umsatz von 17,8 Mrd. €. Dieser Umsatz teilt sich auf in IKT-Handel (2,13 Mrd. €), IKT-Dienstleistungen (11,12 Mrd. €) und IKT-Produktion (4,58 Mrd. €). In der IKT-Hardwareherstellung waren 12.120 Menschen beschäftigt, bei den IKT-Dienstleistern 58.106 und im IKT Handel 6.094.

Damit stellt die IKT-Branche die stärkste Technologiebranche in Hessen dar (76.300 Beschäftigte), etwa im Vergleich zur Chemiebranche (58.000 Beschäftigte), der Automobilindustrie (47.600 Beschäftigte) oder dem Maschinenbau (42.400 Beschäftigte) (Hessen IT 2012).

Die Aussichten der IKT-Branche sieht die hessische Konjunkturprognose positiv: *„Die Bruttowertschöpfung im Bereich „Information und Kommunikation“ profitiert strukturell von der technologischen Weiterentwicklung in vielen Informations- und Telekommunikationssparten. Weiteres Wachstum wird insbesondere im Bereich der internetbasierten Anwendungen, virtuellen Bezahlssysteme, Verkehrsleitsysteme und Cyber-physikalischen-Systeme gesehen. Im Jahr 2012 wird der Wirtschaftsbereich voraussichtlich um 3,7 % gegenüber dem Vorjahr wachsen. Im Jahr 2013 dürfte die Wertschöpfung mit 3,2 % erneut deutlich steigen“* (Hessisches Statistisches Landesamt 2012a, 34).

Dabei hat sich insbesondere die Region Südhessen um den Regierungsbezirk Darmstadt herum als international wahrnehmbarer IKT-Cluster herausgebildet (Elbert et al. 2009). So wurden gemäß einer Studie der TU Darmstadt bereits im Jahr 2006 ca. 90 % des Umsatzes der hessischen IKT-Branche innerhalb dieser Region erwirtschaftet (Elbert et al. 2009, 5).

Mit 30 Universitäten, 5 Niederlassungen des Fraunhofer Instituts (3 davon allein in Darmstadt), 5 Max-Planck Instituten und 32 weiteren Technologie- und Forschungsrechenzentren kann Hessen auch als Forschungscluster charakterisiert werden, mit einem entsprechend hohen Bedarf an Rechenkapazitäten.

Ein bedeutendes Absatzgebiet der hessischen IKT-Dienstleistungsindustrie bildet dabei Frankfurt am Main, sowohl als Finanzzentrum mit über 300 Banken als auch als Logistikzentrum. Hessen ist aufgrund des Großflughafens im Rhein-Main-Gebiet sowie der Warenverteilernetze in Nordhessen zudem ein wichtiger Standort im Logistiksektor.

Von Bedeutung für die Analyse erscheint weiter, dass das Land Hessen und besonders die Region Frankfurt am Main eine erhebliche Konzentration an Internetknoten im Internet Backbone aufweist¹. Dort wird dementsprechend eine Vielzahl von leistungsstarken Rechenzentren betrieben, deren Energieverbräuche Potenziale für Effizienzmaßnahmen bieten. In Frankfurt am Main befindet sich mit dem DE-CIX Internet-Knoten der größte Datenhub mit der größten Bandbreite und dem meisten Datenverkehr in der Welt. Am DE-CIX laufen Leitungen von insgesamt 480 Providern zusammen (DE-CIX 2012).

1.3 Ziel und Aufgabenstellung der Studie

Die Studie „CO₂-Einsparung durch IKT und in der IKT in Hessen“ soll auf Basis der o.a. Erkenntnisse folgende Bereiche umfassen (Zitat aus der Leistungsbeschreibung):

- (1) Aktuelle Abschätzung des Stromverbrauchs in Hessen durch die Anwendung von IKT (ohne Produktionstechnologie), getrennt nach Breitbandtechnologien sowie nach Anwendungen (Endgeräte Haushalte/ Büros, Rechenzentren etc.),
- (2) Priorisierung von kurz- und mittelfristig realisierbaren Einsparpotenzialen in der IKT-Branche in Hessen durch IKT-spezifische Optimierung: Effizienzsteigerung der Endgeräte, optimierte Verfahren in der IKT, Einsatz von Cloud Computing etc. mit Abschätzung des jeweils erforderlichen Invests,
- (3) Ableitung von Aussagen für einen „eco-effizienten“ (ökonomisch und ökologisch effizienten) Breitbandausbau in Hessen und in Deutschland,
- (4) Abschätzung von kurz- mittel- und langfristig erreichbaren Einsparpotenzialen durch Internet-technologien in anderen Bereichen (mobiles Arbeiten, E-Health, Konsum bspw. E-Books statt Bücher, E-Commerce/ Online Handel, Smart Technologies [Smart Grid, Smart Traffic, Smart Building], intelligente Steuerung etc.), etc.) auch unter Berücksichtigung von Nebeneffekten, realistische Einschätzung der Umsetzbarkeit und evtl. Barrieren. Ableitung von Aussagen zu Chancen und Herausforderungen einer nachhaltigen IKT unter dem Gesichtspunkt der Ökonomie, der Ökologie und der sozialen Benefits und insbesondere auch unter Betrachtung von Arbeitsplatzeffekten,
- (5) Ableitung von (ordnungspolitischen) Handlungsvorschlägen und eine Leitliniensetzung,
- (6) Vorschlag für ein (oder mehrere) hessische Leuchtturmprojekte in diesem Bereich, die mit Förderung aus einem Bundes- oder EU-Programm (neue Förderperiode) realisiert werden können, Benennung möglicher Partner, entsprechender Rahmenbedingungen und erzielbarer CO₂-Einsparungen; potente deutsche IKT-Unternehmen sollen dabei entsprechend mit einbezogen werden.

¹ Eine kurze Beschreibung von Internetknoten wie auch eine aktuelle Liste der größten Internetknoten findet sich unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Internet-Knoten>.

2 Was ist Green IT?

Green IT² bezeichnet den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien und deren Anwendung, die unter Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus im Vergleich zu bisherigen Lösungen zu einer deutlichen Entlastung der Umwelt führt. Green IT - Lösungen tragen also beispielsweise dazu bei, Energie und Rohstoffe effizienter zu nutzen, die Emissionen von Treibhausgasen wirksam zu reduzieren und das Klima zu schützen.

Grundsätzlich können zwei Arten von Green IT - Lösungen unterschieden werden. Zum einen existieren Lösungen, mit deren Hilfe der Energie- und Ressourcenbedarf der IKT selbst gesenkt wird. Diese Lösungen werden im Allgemeinen mit dem Begriff „Green in der IT“ beschrieben. Zum anderen existieren IKT-Lösungen, durch deren Einsatz in anderen Bereichen (außerhalb des IKT-Sektors) Ressourcen eingespart werden können. Solche Lösungen werden mit dem Begriff „Green durch IT“ bezeichnet. „Green durch IT“ - Lösungen sind insbesondere Lösungen in den Bereichen mobiles Arbeiten, E-Health, Konsum (E-Books statt Bücher, E-commerce/ Onlinehandel), Smart Technologies (Smart Grid, Smart Traffic, Smart Building) etc. Während insbesondere im Verkehrsbereich damit zu rechnen ist, dass Effizienzsteigerungen zu einem großen Teil zu einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems und damit zu mehr Verkehrsleistung führen können, sind in anderen Bereichen wie z.B. im Bereich Smart Building durchaus deutliche absolute Ressourceneinsparungen durch die effizientere Nutzung von Wärme und Strom möglich. Auch durch ein Smart Grid sind absolute Einsparungen zu erwarten (Fichter et al. 2012).

Green IT kann nicht nur viele Bereiche der IKT effizienter machen, sondern besitzt auch das Potenzial, viele Technologien über die IKT hinaus zu verändern. Die Herausforderung liegt daher auch darin, energie- und ressourceneffizienten Ansätzen, beispielsweise durch geeignete politische, und rechtlichen Rahmenbedingungen in den jeweiligen Teilfeldern, zum Durchbruch und Markterfolg zu verhelfen. Durch das Borderstep-Projekt „Diffusionspfade von Nachhaltigkeitsinnovationen“ (Fichter und Clausen 2013) konnte empirisch gezeigt werden, dass es grundlegend verschiedene Diffusionspfade und damit unterschiedliche Ansätze für die Unterstützung und Durchsetzung von Innovationen gibt. Dies gilt auch für Produkte der IKT. Die im Projekte untersuchten 100 umweltentlastenden Produkt- und Serviceinnovationen, davon 30 IKT Innovationen aus den Bereichen Endgeräten, Rechenzentrumstechnologien und Telekommunikation, zeigen, dass grundlegend neue Produkte und Dienstleistungen überwiegend von neu gegründeten Unternehmen entwickelt und am Markt eingeführt werden, während Verbesserungsinnovationen in erster Linie von etablierten Unternehmen realisiert werden.

Für die IKT bedeutet dies, dass viele Verbesserungsinnovationen, gerade mit Blick auf etablierte Technologien rund um Rechenzentren, sich erfreulich rasch und fast ohne staatliche Unterstützung

² Sachlich angebracht wäre es, von Green IKT zu sprechen. Da aber im allgemeinen Sprachgebrauch der Begriff Green IT verwendet wird, wird dies auch im vorliegenden Angebot so gehandhabt.

etablieren. Zusätzliche Fortschritte können hier eher durch Impulse in der Innovationsphase generiert werden. Andererseits wurden Neugründungen für die Entstehung „grüner“ Leitmärkte bisher in ihrer Bedeutung deutlich unterschätzt und sollten in Zukunft z.B. in Form einer leitmarktorientierten Gründerförderung stärker unterstützt werden. Denn auf Neugründungen sowie kleine und mittlere Unternehmen gehen meist die Grundlageninnovationen zurück, mit denen besondere Fortschritte möglich werden. Hier sind besonders Bezüge zu hochinnovativen Anwendungen in verschiedenen Bereichen von „Green durch IT“ zu erwarten. Das für die Förderung von Nachhaltigkeitsinnovationen wesentliche Instrumentenportfolio erstreckt sich von der Innovationsphase bis in die Diffusion.

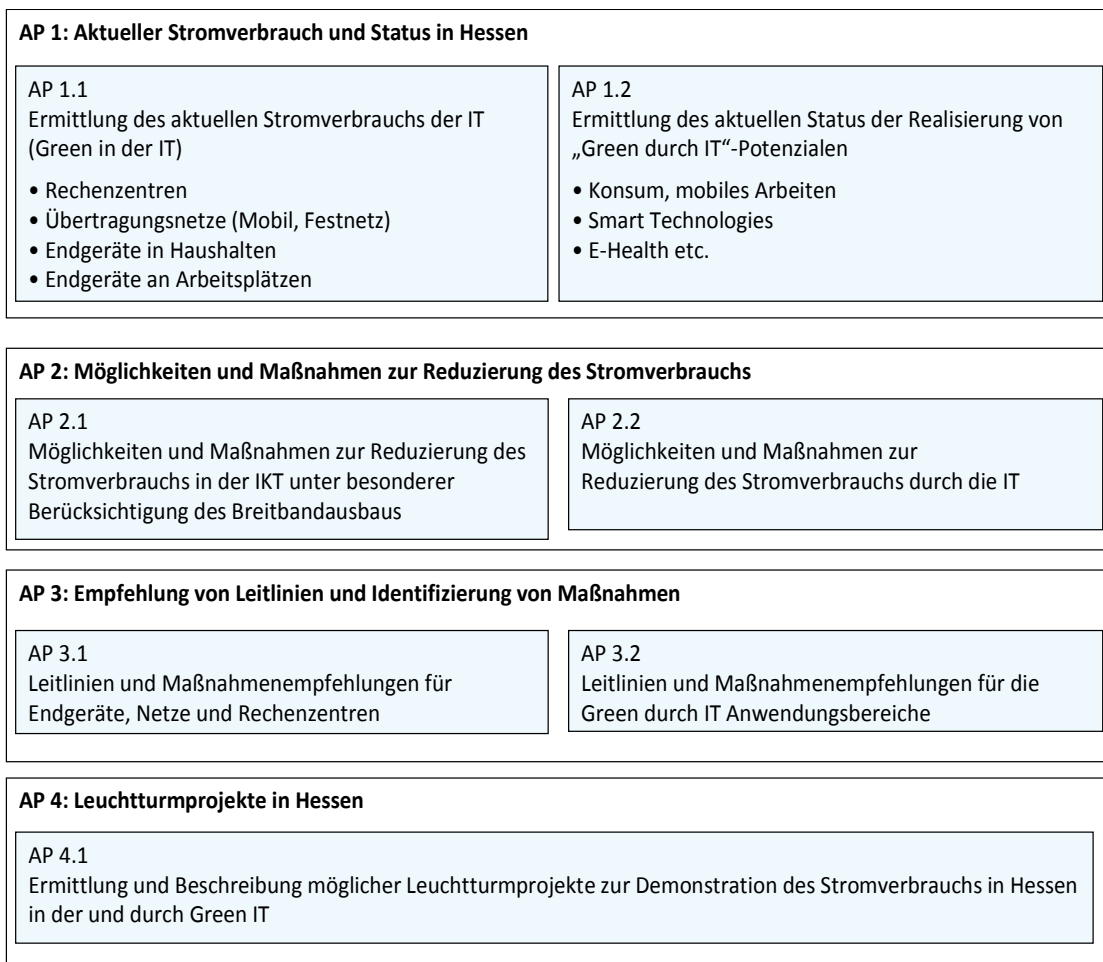
3 Vorgehensweise

3.1 Struktur der Studie

In enger Anlehnung an die Leistungsbeschreibung wird das Vorgehen in vier Hauptschritten geplant:

- (1) Aktuellen Stromverbrauch der IT und Status von Green durch IT in Hessen erheben,
- (2) Möglichkeiten und technische Maßnahmen zur Reduzierung des Stromverbrauchs ermitteln,
- (3) Leitlinien und politische Maßnahmen empfehlen,
- (4) Leuchtturmprojekte in Hessen identifizieren.

Abbildung 4: Struktur der Studie



Die Ermittlung des aktuellen Stromverbrauchs in der IT fand unter Verwendung verschiedener Quellen des Statistischen Landes- bzw. Bundesamtes sowie bestehender wissenschaftlicher Analysen

statt. Die jeweiligen Quellen werden in den entsprechenden Abschnitten genannt. Der Abschnitt zum Stromverbrauch der Netze wie auch die Aussagen zur Steigerung der Energieeffizienz der Netze wurde unter Mitwirkung von Olrik Thonig, Green Power GmbH Hannover, erstellt.

3.2 Bezugsdaten

Um den Anteil von Hessen an der IKT der gesamten Bundesrepublik Deutschland zu errechnen sind eine Reihe von Bezugsdaten zur Bevölkerung, der Erwerbstätigkeit sowie dem Energieverbrauch notwendig.

Das Statistische Bundesamt (Destatis 2013) gibt die Bevölkerung von Deutschland mit 81,8 Mio. an. Das Hessische Statistische Landesamt (2013) weist die hessische Bevölkerung zum 31.12.2011 mit 6,092 Mio. aus, was einem Anteil von 7,45 % entspricht.

Die Zahl der Haushalte wird vom Statistischen Bundesamt (Destatis 2013a) mit bundesweit 40,44 Mio. angegeben. Auf Hessen entfallen davon 2,966 Mio., was einem Anteil von 7,33 % entspricht.

Das Hessische statistische Landesamt (2013) gibt die Zahl der Erwerbstätigen in Hessen nach Wirtschaftsbereichen wie folgt an (bundesweite Zahlen von Destatis):

Tabelle 1: Erwerbstätige in Hessen und Deutschland

Jahr	Insgesamt in 1000	Davon im Bereich			
		Landwirtschaft	Produzierendes Gewerbe	Handel, Gastgewerbe und Verkehr	übrige Dienstleistungen, Staat
		Anzahl in Hessen in 1000			
2009	2.882	34,5	717,6	772,3	1.360,3
2010	2.903	31,9	734,4	778,0	1.358,6
2011	3.011	27,1	734,6	822,0	1.427,2
		Anzahl in Deutschland in 1000			
2011	39.869	649	11.243	10.064	17.914
		Anteil Hessen in %			
2011	7,54	4,17	6,53	8,17	7,97

Quellen: Hessisches statistisches Landesamt (2013) und Destatis (2011, 38 und 99)

Hessen weist damit deutlich unterdurchschnittlich viele Erwerbstätige in Landwirtschaft und produzierendem Gewerbe und leicht überdurchschnittlich viele Erwerbstätige im Dienstleistungssektor auf.

Der gesamte Stromverbrauch in Hessen (Hessisches statistisches Landesamt 2012) belief sich in 2009 auf 132.138 TJ (36.705 GWh), wovon 35.932 TJ (9.981 GWh) im verarbeitenden Gewerbe, 92.012 TJ

(25.559 GWh) von Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungen sowie 4.194 TJ (1.165 GWh) durch den Verkehrssektor verbraucht wurden.

Der Verbrauch von Braunkohle, Mineralöl, Erdgas, Fernwärme und sonstigen erneuerbaren Energien (ohne Strom) in Hessen (Hessisches statistisches Landesamt 2012) belief sich ohne Verkehrssektor in 2009 auf 255.556 TJ (70.987 GWh), wovon 42.766 TJ (11.879 GWh) im verarbeitenden Gewerbe, 212.790 TJ (59.108 GWh) und von Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungen verbraucht wurden.

4 Aktueller Stromverbrauch durch IKT in Hessen

4.1 IKT Geräte in Haushalten

Zu den IKT-Geräten in Haushalten sind neben den Computern, Monitoren, Druckern und Telefonen auch Router zu rechnen. Unterhaltungselektronik wie Hifi- oder TV-Geräte werden im Rahmen dieser Studie nicht zur IKT gerechnet. Auf Basis der Zahl der Haushalte (Destatis 2013a) sowie den Ausstattungsbeständen der Haushalte (Destatis 2012 und 2013b) lässt sich abschätzen, wie viele PCs, Internetanschlüsse und Mobiltelefone in hessischen Haushalten vorhanden sind. Auf Basis von Stobbe (2009, 71) lassen sich auch die Zahlen für Drucker und Monitore ergänzen.

Tabelle 2: Ausstattungsgrad und Bestand deutscher Haushalte mit ITK, Bestand in Hessen

Gerätetyp	Ausstattungsgrad der Haushalte in %	Ausstattungsbestand in Geräten pro Haushalt	Zahl der Geräte in allen hessischen Haushalten in Mio.
PC (alle Bauarten)	82,0 %	1,45	4,30
Davon PC stationäre	61,1 %	0,777	2,30
Davon PC mobil (Notebook, Laptop, Netbook) ³	51,9 %	0,675	2,00
Internetanschluss	75,9 %	0,833	2,47
Festnetztelefon	92,7 %	1,15	3,41
Mobiltelefon	90,0 %	1,66	4,92
Drucker	54 %	0,54	1,60
Monitore	75 %	0,75	2,22

Quelle: Destatis 2012 und 2013 a und b, Stobbe et al., 2009.

Auf Basis dieser aktuellen Gerätezahlen lässt sich unter Rückgriff auf die Daten zu Verbrauch und Nutzungszeiten bei Stobbe et al. 2009 der Stromverbrauch der IKT in den Haushalten abschätzen. Die Internetanschlüsse sind dabei zu 71,7 % mit W-LAN und zu 28,3 % mit LAN-Router ausgestattet (Statista 2013). Die ermittelten Zahlen liegen damit um weniges höher als im Green IT Gutachten der Enquetekommission (Fichter et al. 2012, 50).

³ Die von der Statistik erfassten Daten beziehen sich auf Bestände im Jahr 2011. Da sowohl Tablets wie auch E-Book-Reader aber erst in 2011 nennenswerte Absatzzahlen erreichten, wurde nicht nach ihnen gefragt.

Tabelle 3: Stromverbrauch der ITK in Haushalten in Hessen

	Gerätezahl 2010 in 1000	Jahresstromverbrauch in kWh ⁴	Summe in GWh
Stationäre PC	2.300	256	588
Monitore	2.300	56	128
Notebook	2.000	77	154
Internetanschluss (Router)	700	35	25
Internetanschluss (W-LAN)	1.770	70	124
Festnetztelefon	3.410	26	89
Mobiltelefon	4.920	3	15
Drucker	1.600	36	58
		Summe alle Typen	1181

Quelle: Statista 2013, Stobbe et al., 2009.

Bezogen auf den gesamten Stromverbrauch von 25.559 GWh von hessischen Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungen sind dies etwa 4,6 %. Allein 2,8 % davon entfallen auf stationäre PCs und deren Monitore.

Zur Beurteilung dieser Zahlen ist ergänzend von Bedeutung, wofür die Menschen insbesondere PCs und Notebooks letztlich nutzen. Hier führt seit Jahren die Textverarbeitung (81,1 %) vor Internet (78,4 %) und E-Mail (69,5 %) (Statista 2013a). Weit verbreitet sind auch die Nutzung von Spielen (58,8 %), Datenbanken (38,2 %), Tabellenkalkulationen (33,3 %) und die Bearbeitung von Fotos und Videos (32,1 %) (a.a.O.). Für das Abspielen von Unterhaltungsmedien wie Musik (30,8 %), DVDs (23,9 %) und das Ansehen von Filmen (12,6 %) werden Computer langsam wichtiger und ergänzen die Geräte der Unterhaltungselektronik. Viele dieser Nutzungen stellen bereits Anwendungen im Cloud Computing dar, andere werden bereits alternativ als Cloud Services angeboten. Bezieht man die Tendenz zu schmalen Endgeräten wie Tablets oder Smartphones mit ihren Apps mit ein, erscheint es zunehmend realistisch, einen großen Anteil der privaten Computernutzung in die Cloud zu verlagern und im Mix der Endgeräte einen erheblich größeren Anteil an material- und energiesparenden Geräten zu etablieren.

Eine Verlagerung in die Cloud würde aber den ohnehin schon hohen Datenverkehr in den Netzen noch vergrößern. Der Anteil der Konsumenten am Gesamtverkehr lag 2008 bei ca. 71 % (Cisco 2008, 4). Innerhalb des durch die Konsumenten verursachten Internetverkehrs machen wiederum Videos etwa 55 % und das Filesharing weitere 21% aus (Cisco 2012, 6).

⁴ Nach Stobbe et al. 2009, 154, Werte für 2010.

Grenzen für die Leistungsfähigkeit der Datennetze werden für hohe Uploadraten gesehen (Stobbe 2009, 27ff) wie sie typisch für Onlinedienste zur Foto- oder Videobearbeitung sind. Nicht nur eine Leistungssteigerung der Netze, sondern besonders auch deren Effizienz rückt damit in das Zentrum möglicher Fortschritte zur Green IT. Dabei sollte nicht nur die Hardwareeffizienz betrachtet werden (siehe Abschnitt Netze). Die Erfahrung mit der Virtualisierung von Servern in Rechenzentren hat gezeigt, dass auch Softwarelösungen erhebliche Fortschritte ermöglichen können. Solche Fortschritte können auch in der Datenübertragung, z.B. durch neue Datenübertragungsprotokolle möglich sein (Hightechgründerfonds 2011).

Trends:

Stark wachsende Nutzung des Internets, besonders für Videos mit hohem Volumen über digitales Fernsehen, Onlinevideo (auch für Upload) u.a.m.

Gartner (2013) schätzt die kommenden Veränderungen im Konsumentenmarkt wie folgt ein: *“Tablets have dramatically changed the device landscape for PCs, not so much by ‘cannibalizing’ PC sales, but by causing PC users to shift consumption to tablets rather than replacing older PCs,” said Mikako Kitagawa, principal analyst at Gartner. “Whereas as once we imagined a world in which individual users would have both a PC and a tablet as personal devices, we increasingly suspect that most individuals will shift consumption activity to a personal tablet, and perform creative and administrative tasks on a shared PC. There will be some individuals who retain both, but we believe they will be exception and not the norm. Therefore, we hypothesize that buyers will not replace secondary PCs in the household, instead allowing them to age out and shifting consumption to a tablet.”*⁵

IKT dringt damit in immer mehr Lebensbereiche. Nach Angaben des BITKOM (2012) verfügte 2012 fast jeder zweite verkaufte Fernseher (46 %) über einen Internetanschluss.

Prognose:

Bis 2020 ist in Anlehnung an Stobbe et al. 2009, getrieben durch steigende Endgerätezahlen, mit folgender Entwicklung des Stromverbrauchs der IKT in den Haushalten in Hessen zu rechnen. Parallel scheinen die unten aufgeführten Green IT Potenziale zu erschließen.

4.1.1 Green IT Potenziale

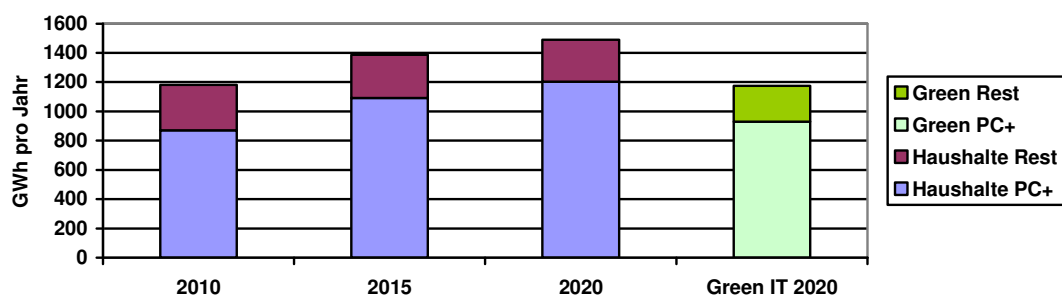
Es scheint eine Reduzierung des Bestands von stationären PCs zugunsten der Nutzung von energieeffizienten Notebooks und Tablets möglich: Minus 50 % PCs, minus 50 % Monitore, +50 % Notebooks/Tablets. Die Erschließung dieses Potenzials könnte durch den von Gartner (s.u.) erwähnten Konsumtrend eigendynamisch erfolgen.

⁵ Letztlich bestätigen die PC und Notebook-Verkaufszahlen diesen Trend. Die PC und Notebook-Verkäufe gingen im Vergleich des jeweils 4. Quartals 2011 und 2012 in Europa um 10,7% zurück (IDC 2013). Wie alle Trend-schätzungen ist natürlich auch die Gartner-Vorhersage letztlich unsicher.

Eine deutliche Ineffizienz wird auch mit Blick auf Router und W-LAN Geräte deutlich. Wenn es hier gelänge, Geräte mit Standbyfunktion zu etablieren, könnten diese in Privathaushalten zumindest nachts, u.U. aber auch tagsüber wenn alle „auf Arbeit“ sind auf Standby gehen und so ca. 1/3 des Stromverbrauchs (8 von 24 Stunden) einsparen.

An dieser Stelle sei bemerkt, dass diese Abschätzungen mit großen Unsicherheiten verbunden sind. Der Energieverbrauch von IKT-Geräten im Haushalt hängt auch maßgeblich von den Nutzungsmustern von Konsumenten ab. Obwohl einzelne Geräte effizienter werden und Anwendungen auf energieeffizientere Endgeräte verlagert werden (z.B. surfen im Internet über einen Tablet-PC, anstelle eines Desktop-PC's), so ist doch zu befürchten, dass durch die Vielzahl der neuen Endgeräte (Notebooks, Tablet-PC, Smartphones, E-Reader, zusätzliche W-LAN Router auf verschiedenen Etagen etc.) sowie die damit verbundenen Applikationen (Livestreaming von Musik, Fernsehen und Filmen, Soziale Netzwerke, Heimvernetzungsdienste, etc.) sowie die dafür notwendige Infrastruktur (Breitbandanschlüsse, leistungsfähige Sendetechniken, etc.) die Einsparungen überkompensiert werden.

Abbildung 5: Stromverbrauch der ITK in Haushalten in Hessen, Entwicklung bis 2020 und Green IT Potenziale



4.1.2 Leitlinien und Maßnahmen

Die einzige Handlungsleitlinie, die für ein Bundesland mit Blick auf private IT-Endgeräte zurzeit erkennbar ist besteht darin, Effizienzpotenziale zu erschließen, die sich durch die Verlagerung der eigentlichen Rechenleistung vom privaten Endgerät in die Cloud ergeben. Wie in den Tabellen 2 und 3 sowie in Abbildung 5 erkennbar ist, könnten so erhebliche Einsparpotenziale erschlossen werden.

Als Maßnahme wäre eine Informationskampagne von Hessen IT gemeinsam mit dem Branchenverband BITKOM denkbar, die über die ökologischen und Kostenvorteile schlanker Endgeräte aufklärt.

Eine solche Informationskampagne sollte gekoppelt werden mit Informationen über die Risiken des Cloud Computing im Bereich des Datenschutzes und der Datensicherheit und könnte so parallel das Ziel verfolgen, die mittelständischen und großen Anbieter von Cloud Dienstleistungen in Hessen und/oder Gesamtdeutschland als High-End einer „trusted Cloud“ zu etablieren.

4.2 Arbeitsplatz-Endgeräte in Unternehmen und Organisationen

Die Ausstattung der Unternehmen und Organisationen mit Computern wird weiter zunehmen. Die Roadmap "Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020" von BMU, UBA und Bitkom (2010, 27) geht für 2010 von einem bundesweiten Bestand von 26,5 Mio. Computerarbeitsplätzen in Unternehmen, Behörden und Bildungseinrichtungen aus, der sich bis 2015 auf 32,1 Mio. und bis 2020 auf 37,5 Mio. Arbeitsplätze erhöhen wird.

Der in 2010 veranschlagte Bestand von 26,5 Mio. Geräten erklärt sich, wenn für jeden Erwerbstätigen in der Landwirtschaft 0,5 Geräte zur Verfügung stehen, im produzierenden Gewerbe ebenfalls 0,5 Geräte, im Handel, Gastgewerbe und Verkehr 0,53 Geräte und in den Unternehmen der übrigen Dienstleistungen und beim Staat eine deutlich höhere Zahl von 0,85 Geräten pro Erwerbstätigem (eigene Schätzung). Während in Hessen 7,54 % der bundesweit Erwerbstätigen beschäftigt sind führt die starke Dienstleistungsbranche dazu, dass in Hessen ca. 7,66 % der Computerarbeitsplätze in Unternehmen vorhanden sein dürften. Wird diese etwas vom Bundesmittel abweichende Struktur der hessischen Wirtschaft berücksichtigt, so lässt sich für das Land Hessen ein Bestand von 2.030.000 Computerarbeitsplätzen errechnen.

Wiederum unter Bezug auf die Zahlen der Roadmap "Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020" (2010, 78, vergleichbar Fichter et al. 2012) lässt sich dieser Gesamtbestand wie folgt auf die Gerätetypen aufteilen:

Tabelle 4: Anzahl und Stromverbrauch der Arbeitsplatz-Endgeräte in Hessen

	Anteile	Gerätezahl 2010	Jahresstromverbrauch in kWh ohne Monitor	Jahresstromverbrauch in kWh Monitor ⁶	Summe pro Gerät in kWh	Summe in GWh
PC	49,10 %	996.730	201	50	251	250
Mini-PC	1,10 %	22.330	74	50	124	3
Notebook	41,50 %	842.450	65	407	105	88
Thin Client	8,30 %	168.490	43	50	93	16
				Summe alle Typen		357

Quelle: BMU, UBA und Bitkom 2010

⁶ Auf Basis der Annahmen zu Leistungsaufnahme, Betriebszuständen und Nutzungszeiten bei Stobbe et al. 2009, 135ff sowie unter Annahme eines Bestandes von 100 % LCD-Monitoren.

⁷ Reduzierte Nutzungszeit des notwendigen separaten Monitors durch mobile Nutzung.

BMU, UBA und Bitkom (2010, 75ff.) erwarten bei einer Fortschreibung des Business as usual trotz steigender Gerätezahl eine leichte Reduktion dieser Verbräuche, im Green IT Szenario bei ebenfalls steigender Gerätezahl sehen sie ein Potenzial, diese Verbräuche deutlich zu reduzieren.

Über Computer und Monitore hinaus berücksichtigen Stobbe et al. (2009) die Geräteklassen Drucker, Telefone und Router als Elemente der IKT in Unternehmen.

Tabelle 5: Stromverbrauch von Druckern, Telefonen und Routern in Unternehmen in Hessen

	Jahresstromverbrauch Deutschland in GWh	Anteil Hessen	Jahresstromverbrauch in kWh
Drucker	1.321	7,66 %	101
Telefone	547	7,66 %	42
Router	83	7,66 %	6
		Summe alle Typen	149

Quelle: nach Stobbe et al., 2009.

Stobbe et al. (2009, 80) erwarten bei den Druckern aufgrund eines besseren Energiemanagements eine Reduktion bis 2020 um ca. 30 %, bei den Routern aufgrund zunehmender Internetnutzung und W-LAN-Versorgung ein Plus von 20 % und bei den Telefonen keine Veränderung.

Trends:

BMU, UBA und Bitkom (2010) erwähnen eine Reihe von Trends:

- Insgesamt effizientere Geräte aller Typen durch weitere Miniaturisierung von Komponenten. Energieverbrauch und Materialeinsatz pro Gerät sinken, Einsatz von SSD statt Festplatten.
- Weniger PCs, mehr Mini-PCs, Thin Clients und mobile Geräte.
- Zunehmende Bereitstellung von Software aus privater oder öffentlicher Cloud.
- Zunehmende Anzahl bedienter Clients pro Server in allen Varianten des Cloud Computing.

Als weiteren Trend benennt Stobbe (2012, 20):

- *Thin Clients haben Potenzial zur Senkung des Carbon Footprints, wenn das Leistungs-Energie-Verhältnis von Servern sich weiter verbessert.*

Die Auswirkungen dieser Trends auf die Rechenlast der Rechenzentren werden im entsprechenden Abschnitt mit behandelt.

Prognose:

Bis 2020 ist in Anlehnung an BMU, UBA und Bitkom (2010) (Unternehmen PC+) und Stobbe et al. (2009) (Unternehmen Rest) mit der in Abbildung 6 dargestellten Entwicklung des Stromverbrauchs der IKT in den Unternehmen in Hessen zu rechnen.

4.2.1 Green IT Potenziale

Trotz einer in Hessen von 2,03 Mio. Arbeitsplatzrechnern auf 2,87 Mio. Stück steigenden Gerätezahl scheinen erhebliche Einsparpotenziale vorhanden zu sein.

Veränderungen in der Struktur der Endgeräte: Statt 49,1 % PCs, nur noch 15,01 %, statt dessen eine von 1,1 % auf 11,81 % anwachsender Bestand an Mini-PCs, eine von 41,5 % auf 49,51 % steigende Zahl von Notebooks und eine von 8,3 % auf 23,67 % steigende Zahl von Thin Clients.

Beispiel: Effiziente Endgeräte in den Schulen im Main-Kinzig-Kreis durch Cloud Computing

Der Main-Kinzig-Kreis (MKK) hat im Rahmen des Sonderinvestitionsprogramms eine Schulverwaltungcloud für 101 Schulen geplant und umgesetzt. Die Vorteile liegen nicht nur in der höheren Sicherheit und Verfügbarkeit, sondern auch in der ca. 70 % Energieersparnis zum vorherigen System auf Basis dezentraler Client-Server-Strukturen.

Diese Erfahrungen will der MKK nun auch im Rahmen eines schulpädagogischen Konzeptes umsetzen. Dies ist möglich, da der Kreis eine Breitbandinitiative gestartet hat, bei der die Schulen integriert werden. Es soll eine „pädagogische Cloud“ aufgebaut werden, in der ein finales Konsolidierungspotenzial von ca. 5.000 PC-Systemen und ca. 200 Servern in den Schulen des Landkreises besteht. Nach ersten Schätzungen werden hier ebenfalls Energieeinsparungen von bis zu 70 % erwartet. Sofern öffentliche Rechenzentren auf Landesebene eine ähnliche Cloud-Architektur bereitstellen würden, ließe sich die Einsparung noch erhöhen, da Spitzenlastzeiten nicht von jedem Landkreis als Schulträger selbst vorgehalten werden müssten, sondern in die Landes-Cloud verlagert werden könnten. Es gibt hierzu bereits erste Gespräche mit anderen Landkreisen. Die geplante Lösung bietet weiterhin die Möglichkeit, dass für die Schulen die freie Wahl der möglichen Endgeräte besteht, Schüler und Lehrer dieselbe Plattform von überall nutzen können und sofort pädagogischer Content in Form von ca. 3.000 Paketen von pädagogischer Software bereitgestellt werden kann. Die Schulen können sich diese Pakete, teilweise gegen Bezahlung, freischalten und so die ihnen zur Verfügung stehende Software selbst bestimmen. Die Lösung greift damit nicht in die pädagogische Entfaltung der Schulen ein, sondern fördert diese vielmehr durch moderne Technologien und Schnittstellen.

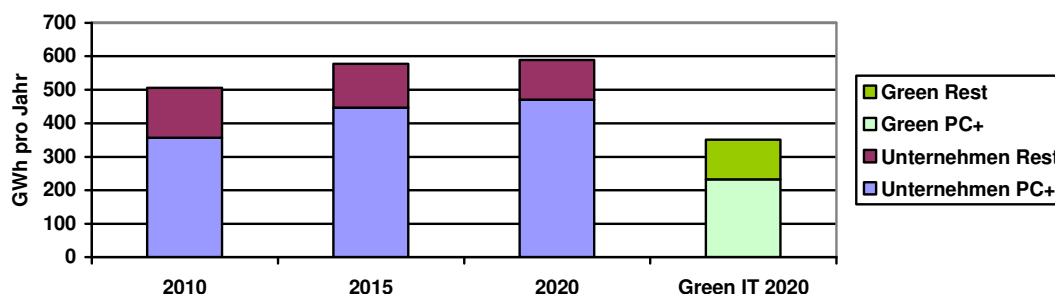
Quelle: Auskunft acentrix IT-Beratung im Auftrag des Main-Kinzig-Kreises

Sinkende Verbräuche der Endgeräte durch Miniaturisierung: PC-Stromverbrauch fallend von 201 kWh/a in 2010 auf 121 kWh/a in 2020, Mini-PC-Verbrauch fallend von 74 kWh/a auf 51 kWh/a, No-

tebookverbrauch fallend von 65 kWh/a auf 43 kWh/a, Thin Client Verbrauch fallend von 43 kWh/a auf 22 kWh/a und Monitor Verbrauch fallend von 50 kWh/a in 2010 auf 35 kWh/a in 2020.

Mit Blick auf die ähnliche Größenordnung des hier angenommenen Verbrauchs von Notebooks, Mini-PCs und Thin Clients wären auch Verschiebungen zwischen diesen Typen nicht wesentlich ergebnisrelevant. Sollten sich die ebenfalls sehr effizienten Tablets stärker etablieren, wären auch noch niedrigere Werte denkbar.

Abbildung 6: Stromverbrauch Unternehmens-ITK in Hessen, Entwicklung bis 2020 und Green IT Potenziale



4.2.2 Leitlinien und Maßnahmen

Als Leitlinie für den Bereich der Arbeitsplatzcomputer sind prioritär diejenigen Effizienzpotenziale zu erschließen, die sich durch die Verlagerung der eigentlichen Rechenleistung vom einzelnen Endgerät in die Cloud ergeben. Wie Abbildung 6 erkennbar ist, könnten so erhebliche Einsparpotenziale erschlossen werden.

Als Maßnahme wäre eine Informationskampagne von Hessen IT gemeinsam mit dem Branchenverband BITKOM denkbar, die über die ökologischen und Kostenvorteile schlanker Endgeräte aufklärt.

Eine solche Informationskampagne sollte gekoppelt werden mit Informationen über die Risiken des Cloud Computing im Bereich des Datenschutzes und der Datensicherheit und könnte so parallel das Ziel verfolgen, die mittelständischen und großen Anbieter von Cloud Dienstleistungen in Hessen und/oder Gesamtdeutschland als High-End einer „trusted Cloud“ zu etablieren.

Mit Blick auf die IT-Nutzung durch öffentliche Einrichtungen empfiehlt sich darüber hinaus, die besondere Verantwortung des Staates und seiner Institutionen und deren besonders hohen Ansprüche an Datensicherheit und Datenschutz dahingehend zu berücksichtigen, als der Aufbau einer hochsicheren und in öffentlich-rechtlicher Kontrolle befindlichen Landes-Cloud erwogen werden sollte. Hier könnten nicht nur für Organisationen der Verwaltung, sondern auch für z.B. Schulen Dienste angeboten werden. Auch so würden zusätzliche Effizienzpotenziale erschlossen.

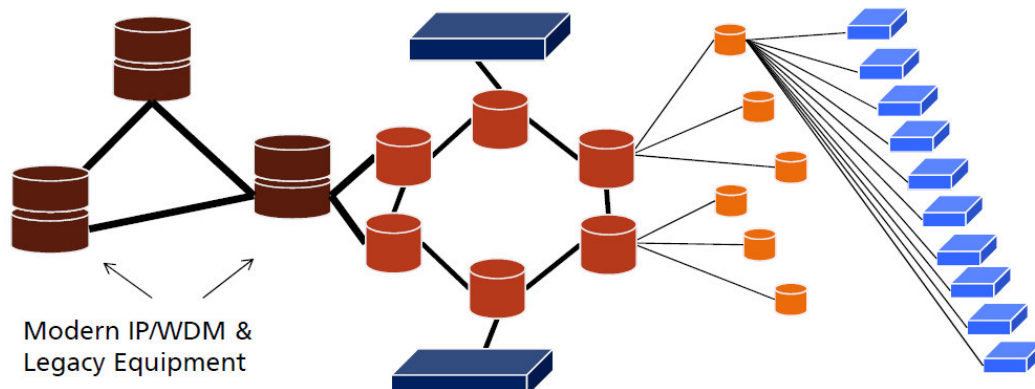
Die Beschaffung besonders energieeffizienter und umweltfreundlicher Endgeräte könnte auch dadurch gefördert werden, dass große Ausschreibungen für Endgeräte landesweit koordiniert und so ausgeführt werden, dass eine möglichst große Zahl von öffentlichen Institutionen im Kontext von Rahmenverträgen von den Ergebnissen solcher Ausschreibungen profitiert.

4.3 Netze

Stobbe (2012) beschreibt die Struktur der Telekommunikationsnetze wie in folgender Abbildung dargestellt. Grundsätzlich geht er davon aus, dass sich bisher mit Ausnahme der Endgeräte kaum lastadaptive Komponenten durchgesetzt haben. Dies bedeutet, dass der Verbrauch der Netztechnik eine im Wesentlichen von der aktuellen Last unabhängige Konstante ist.

Abbildung 7: Modell der Telekommunikationsnetze

DE	Backbone	Aggregation	Access	User
Equipment Bestand (Deutschland)	~50 Units IP/MPLS Router, Optical Link,	~10 ⁴ Units 12-14 Nodes to Internet	~10 ⁵ Units Skalierung: ca. 1 : 200-2000	~10 ⁸ Units CPE + PC, NB, TC,
Leistung (W) Equipment	200 – 20.000 W (kaum lastadaptiv)	1.000 - 5.000 W (kaum lastadaptiv)	500 – 2.500 W (kaum lastadaptiv)	10 – 300 W (lastadaptiv)



Quelle: Stobbe 2012, 18.

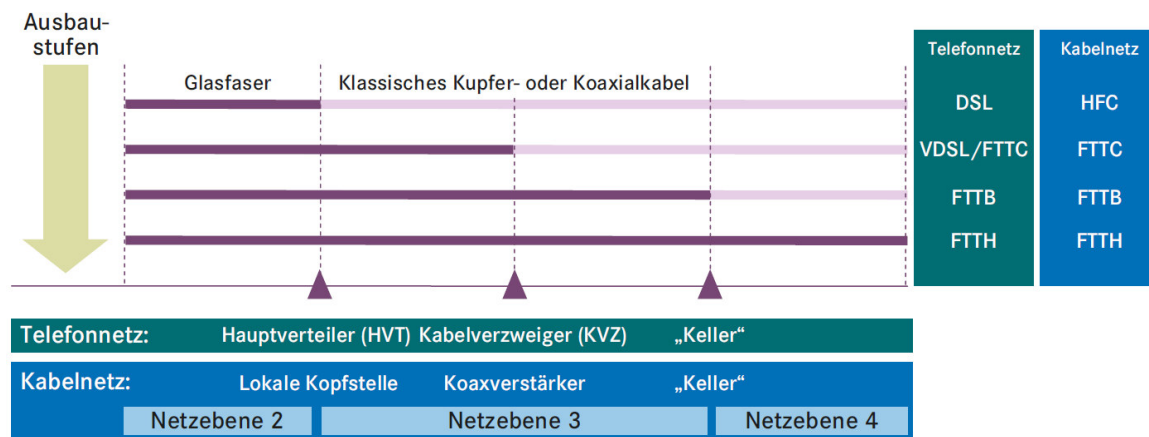
Aus der Struktur der Mobilfunknetze wird zumindest über die Zahl der Funkanlagen regelmäßig von der Bundesnetzagentur (2013) Bericht erstattet. Darüber hinaus sind über die Hardware der Netze nur wenige Fakten mit direktem Bezug zum Energieverbrauch bekannt.

Für die Struktur wie auch die Energieeffizienz sowohl des Festnetzes wie auch des Mobilfunknetzes sind jedoch nicht nur technische, sondern auch ökonomische und institutionelle Faktoren von Bedeutung.

4.3.1 Festnetz

Im Festnetz befinden sich verschiedene Technologien im Einsatz, die sich zzt. hauptsächlich dadurch unterscheiden, bis wohin die Leitung schon als Glasfaserkabel ausgeführt wird. Im DSL-Netz geht dies bis zum Hauptverteiler (Stadtteil), im VDSL bis zum Kabelverzweiger (Straße), im Fiber to the Building (FTTB) bis in den Keller des (Mehrfamilien-) Hauses und im Fiber to the Home (FTTH) bis in die Wohnung.

Abbildung 8: Breitbandausbauformen



Quelle: Nationaler IT Gipfel 2011, 35

Diese Netzstrukturen existieren im umfangreichsten Ausmaß bei der deutschen Telekom. Parallel dazu werden von den großen Festnetzbetreibern Vodafone und Telefonica/O2 eigene Netze betrieben, die sich je nach Ort und Kundendichte unterschiedlich weit erstrecken. Gemeinsam ist diesen Netzen die sogenannte „letzte Meile“, d.h. die Verbindung zwischen dem Kabelverzweiger und der Wohnung. Hinzu kommen des weiteren Netze regionaler Telekommunikationsgesellschaften, die zwar auf nationaler Ebene klein sind, regional aber erhebliche Überschneidungen mit den Netzen der großen Anbieter ausweisen können.

Diese Doppelstrukturen wären bei anderen Netzen, z.B. dem Eisenbahnnetz, unvorstellbar. Bietet z.B. die Cantus Bahn (www.cantus-bahn.de) Eisenbahnverbindungen von Fulda nach Kassel an, so wird dafür keineswegs eine neue Strecke gebaut. Die wachsende Zahl der Privatbahnen führt vielmehr zu einer langsam wachsenden Auslastung des vorhandenen Streckennetzes.

Im Telekommunikations-Festnetz ist dies teilweise anders. Netzstrukturen werden häufig von mehreren Anbietern parallel aufgebaut, um in den Wettbewerb eintreten zu können. Der Grund hierfür liegt in den vergleichsweise hohen Gebühren für die Teilnehmeranschlussleitung (TAL) und für die Nutzung der Infrastruktur hinter dem Kabelverzweiger (KVZ-TAL). Die Kosten der TAL zum Hauptverteiler in Höhe von 10,08 Euro (Bundesnetzagentur 2013a) sind fix und werden durch die Bundesnetz-

agentur festgelegt. Die Kosten für die nicht ganz so lange „letzte Meile“ betragen zwischen Kabelverzweiger und Kunden 7,17 Euro (Bundesnetzagentur 2013), deshalb sind Telekommunikationsanbieter bestrebt so wenig Vorleistung wie möglich bei der Telekom einzukaufen. Ein weiterer Grund für den parallelen Ausbau der Netze liegt darin, dass im Gegensatz zur Durchleitungspflicht in der „letzten Meile“ für die Telekom keine Pflicht besteht, ihren Mitbewerbern Zugang zum Backbone zu ermöglichen. Viele Telekommunikationsanbieter wollen und müssen daher unabhängig vom ehemaligen Monopolisten Telekom agieren, welche noch immer in marktbeherrschender Position den Festnetzbereich dominiert, was zu einem zusätzlichen parallelen Ausbau der Anbieter führt.

Hinzu kommen die „virtuellen Unternehmen“, die Datenmengen einkaufen und an ihre Kunden weiterverkaufen. Und weiter kommen diejenigen Telekommunikationsbetreiber hinzu, die keine Anbieter öffentlicher Telekommunikationsdienstleistungen sind. So existieren parallel zu den öffentlichen Netzen das Behördennetz, das Bahnnetz⁸ und das Forschungsnetz.

Ein weiterer Effekt liegt in der Leistungssteigerung für Breitbandzugänge. Diese waren Ende 2011 für viel mehr Haushalte verfügbar, als sie tatsächlich genutzt wurden.

Tabelle 6: Technologie-Nutzung in Relation zur Verfügbarkeit

	Verfügbarkeit	Nutzungsrate
VDSL	ca. 11 Mio.	4,0 %
Kabel	ca. 24 Mio.	5,6 % ^{***}
FTTB	650.000 [*]	39,0 %
FTTH	111.000 ^{**}	k. A.

Quelle: Nationaler IT Gipfel 2011, 29⁹

Diese Tatsache hat letztlich eine hohe Bedeutung für Energieeffizienz. Denn Stobbe (a.a.O.) führt aus, dass die eingesetzte Netztechnologie im Wesentlichen nicht lastadaptiv ist. Aber gerade bei geringen Nutzungsraten der Breitbandanschlüsse werden viele Netzkomponenten nur teilweise ausgelastet. Es spricht also vieles für eine in der Summe sehr niedrige Energieeffizienz.

⁸ Das interne Fernmeldenetz der Bahn wird von der Bahn-Tochter DB System GmbH betrieben. DB System verfügt über eine moderne IT- und TK-Infrastruktur. So unterhält das Unternehmen zwei Rechenzentren mit rund 3.200 Servern unterschiedlicher Größe und Bauart. Darüber hinaus betreiben DB System ein Datennetz mit rund 330.000 IP-Anschlüssen auf Basis unterschiedlichster Technologien von DSL bis hin zu Breitband-Glasfaser. Die von DB System verantwortete TK-Infrastruktur der Bahn umfasst unter anderem das digitale Mobilfunknetz GSM-R; aktuell stellen DB System derzeit die Telefonanschlüsse im gesamten Bahnkonzern auf "Voice over IP" um und betreuen derzeit ca. 92.000 VoIP-Anschlüsse (www.dbsystem.de).

⁹ Ein aktualisierter Band ist in Arbeit, aber noch nicht publiziert.

Zudem betreibt allein die Telekom zwei weitgehend parallele Festnetze: das PSTN (englisch Public Switched Telephone Network), auch digitales Netz genannt, welches das frühere analoge Netz in den 1990er Jahren ablöste, sowie ein auf Voice over IP umgestelltes Computernetz. Technisch könnte dieses Netz das nun schon ältere digitale Netz ablösen, welches dem entsprechend abgebaut werden könnte. Durch das Telekommunikationsgesetz (Bundesregierung Deutschland 2012) sah sich die Telekom jedoch aufgrund des § 2 Abs.2 Nr.4 zur Aufrechterhaltung der Grundversorgung gezwungen, was den Weiterbetrieb des digitalen Netzes erforderte. Die Deutsche Telekom hat nun jedoch die Absicht, die Ära des PSTN-Festnetzes bis zum Jahr 2016 definitiv zu beenden. „Das bestätigte Telekom-Deutschland-Vorstand Niek Jan van Damme [...] noch einmal auf der CeBIT 2013 in Hannover. Die Umstellung auf All-IP-Anschlüsse sei alternativlos, so van Damme“ (Teltarif 2013). Dieser ambitionierte Plan der Telekom lässt aber zumindest hinsichtlich des Zeitplans Zweifel übrig, denn er erfordert wesentliche Fortschritte:

- (1) Sämtliche restliche Analog-Anschlüsse müssten in den Vermittlungsstellen auf POTS-Karten (Plain Old Telephone System) umgestellt werden, bis dato gibt es seitens der Netzbetreiber aber noch keinen Standard für solche Karten (Stand Dezember 2012).
- (2) In Ostdeutschland und Berlin wurde Anfang der 90er Jahre die HYTAS Technik eingeführt, die zwar auf Glasfaser basiert, aber technisch veraltet ist und sich äußerst schwer auf VOIP umrüsten lässt.
- (3) Im Handel wird es zu Umstellungsproblemen kommen, da zurzeit der Großteil der Zahlungsterminals und Geldautomaten per analoger Leitung oder per ISDN angeschlossen sind. Es gibt auch IP Terminals, aber diese setzen sich nur langsam durch und sind mit Kosten im Handel und bei den Banken verbunden.
- (4) ISDN wird nicht mehr möglich sein. Was passiert wenn ein Kunde auf seinen ISDN- oder Analog-Anschluss besteht?

Eine Reihe von Details scheinen insoweit noch nicht vollständig geklärt und zumindest der Zeitplan damit zweifelhaft.

Eine weitere technische Änderung im Festnetz stellt das sogenannte Vectoring oder VCSL2 dar. Diese durch einen Beschluss der Bundesnetzagentur (2013b) ermöglichte Technologie könnte den Energieverbrauch des noch verbliebenen Kupfernetzes eventuell weiter erhöhen. Aus Sicht des Breko ist zudem die Auswirkung auf den Wettbewerb fatal: „Damit wird der Breitbandausbau der Wettbewerber massiv erschwert“ (Breko 2013).

4.3.2 Mobilfunk

Ähnlich wie im Festnetz sind auch im Mobilfunk verschiedene Technologiegenerationen zu unterscheiden, die im Elektronik-Kompodium wie folgt tabellarisch dargestellt werden:

Tabelle 7: Generationen von Mobilfunksystemen

Generation	Technik	Einführung	Übertragung	Bandbreite
1G	AMPS	1985	analog, leitungsvermittelt	-
2G	GSM	1990	digital, leitungsvermittelt	9,6 kBit/s
2.5G	HSCSD		digital, leitungsvermittelt	57,6 kBit/s
	GPRS	2001	digital, paketvermittelt	115 kBit/s
2.75G	EDGE		digital, paketvermittelt	236 kBit/s
3G	UMTS	2002	digital, paketvermittelt	384 kBit/s
3.5G	HSPA	2006	digital, paketvermittelt	14,4 MBit/s
3.5G	HSPA +	2009	digital, paketvermittelt	42 MBit/s
3.9G	LTE	2012	digital, paketvermittelt	150 MBit/s
4G	LTE Advanced		digital, paketvermittelt	1 GBit/s

Quelle: Elektronik-Kompodium 2013, HSPA+ ergänzt, Einführungsjahre: LfM 2013

Der Gerätebestand des Mobilfunks besteht aus Funkanlagen und Vermittlungsknoten. Stobbe et al. (2009) rechnen auch die öffentlichen W-LAN Hotspots hinzu.

Die Zahl der Funkanlagen ist durch die Bundesnetzagentur (2013) veröffentlicht. Aus der Zahl der Funkanlagenstandorte und den Daten zur Mitbenutzung lässt sich für 2011 für Deutschland eine Anzahl von ca. 163.000 Funkanlagen an knapp 70.000 Standorten abschätzen. Von diesen standen 2011 in Hessen an 5.100 Standorten ca. 11.900 Funkanlagen.

Das Portal „4G.de“ (4G.de 2013) ermittelte durch die Auswertung von Verfügbarkeitsabfragen die Netzabdeckung des 3G (UMTS) und 4G-Netzes (LTE). Mitte Februar 2013 wird basierend auf 104.175 Abfragen aus den letzten 90 Tagen eine Netzabdeckung von 83 % für UMTS und 45 % für LTE angegeben. Daraus lässt sich die Zahl der seit 2011 zusätzlich installierten Funkanlagen des LTE-Netzes in Relation zum UMTS Netz schätzen. Die zukünftige Entwicklung wurde auf Basis einer angestrebten kompletten Netzabdeckung durch die Netzbetreiber geschätzt.

Die Zahl der Netzknoten, sogenannter Vermittlungsanlagen, schätzen Stobbe et al. (2009) auf einen Vermittlungsknoten je 240 Funkanlagen. In Hessen wären demnach ca. 75 Vermittlungsknoten erforderlich.

Von einem Bestand von bundesweit ca. 15.000 W-LAN Hotspots entfallen 7,5 % oder ca. 1.000 auf Hessen.

Analog zu Stobbe et al. (2009) kann mit den aktuell verfügbaren Daten und unter Annahme eines weiteren Anstiegs der LTE-Funkanlagenzahl auf 98.000 in 2020 der Verbrauch der Mobilnetze in Deutschland wie folgt abgeschätzt werden:

Tabelle 8: Funkanlagen im Mobilfunk, Leistungsaufnahme und Stromverbrauch bis 2020 in Deutschland

	Zahl der Anlagen			Erwartete Leistungsaufnahme der Geräte			Erwarteter Stromverbrauch aller Geräte		
	Anzahl 2010	Anzahl 2015	Anzahl 2020	2010 in kWh	2015 in kWh	2020 in kWh	2010 in GWh	2015 in GWh	2020 in GWh
Mobilfunk 2. Generation Funkanlagen	85.000	85.000	85.000	1,7	1,6	1,4	1.236.852	1.172.133	1.006.740
Mobilfunk UMTS Funkanlagen	78.000	78.000	78.000	1,7	1,6	1,4	1.134.994	1.075.604	923.832
Mobilfunk LTE Funkanlagen	45.000	85000	98.000	1,4	1,4	1,4	532.980	1.006.740	1.160.712
Mobilfunk Vermittlungsknoten	867	1.033	1.088	150,0	150,0	150,0	1.099.800	1.311.300	1.380.038
W-LAN Hotspots	15.000	28.000	45.000	0,0	0,0	0,0	2.538	4.738	7.614
						Summe	4.007.164	4.570.515	4.478.936

Quelle: Stobbe 2009, fortgeschrieben mit aktuellen Zahlen der Bundesnetzagentur 2013. Zahlen zu LTE-Anlagen für 2012, da deren Installation erst 2011 begann¹⁰.

Dies liegt deutlich höher als die Annahmen von Stobbe et al. (2009, 152), die einen Anstieg von 3 TWh/a in 2010 auf ca. 3,2 TWh/a in 2020 erwarten. Für Hessen lassen sich diese Zahlen analog aufstellen:

¹⁰ Die in dieser und der folgenden Tabelle aufgeführten Daten sind bewusst nur hinsichtlich der fehlenden LTE-Technologie gegenüber Stobbe et al. 2009 verändert worden. Weitere Änderungen wie z.B. eine Veränderung der Effizienzpfade der Mobilfunkanlagen der zweiten Generation (bei denen u.U. nicht effizientere Technologie installiert wird, sondern die statt dessen durch modernere Techniken abgelöst wird) sind nicht durchgeführt worden. Den eigentlichen Kontrapunkt zu den Prognosen von Stobbe et al. stellt stattdessen die Fortschreibung der Zahlen aus den CR-Berichten dar.

Tabelle 9: Funkanlagen im Mobilfunk, Leistungsaufnahme und Stromverbrauch bis 2020 in Hessen

	Zahl der Anlagen			Erwartete Leistungsaufnahme der Geräte			Erwarteter Stromverbrauch aller Geräte		
	Anzahl 2010	Anzahl 2015	Anzahl 2020	2010 in kWh	2015 in kWh	2020 in kWh	2010 in GWh	2015 in GWh	2020 in GWh
Mobilfunk 2. Generation Funkanlagen	6.375	6.375	6.375	1,7	1,6	1,4	92.764	87.910	75.506
Mobilfunk UMTS	5.092	5.100	5.100	1,7	1,6	1,4	74.095	70.328	60.404
Mobilfunk LTE	2.937	5.900	6.600	1,4	1,4	1,4	34.786	69.880	78.170
Mobilfunk Vermittlungsknoten	60	72	75	150,0	150,0	150,0	76.161	91.870	95.572
W-LAN Hotspots	1.125	2.100	3.375	0,0	0,0	0,0	190	355	571
						Summe	277.996	320.343	310.223

Quelle: auf Basis von Stobbe et al. 2009, fortgeschrieben mit aktuellen Zahlen der Bundesnetzagentur 2013 und bezogen auf Hessen. Zahlen zu LTE-Anlagen für 2012, da deren Installation erst 2011 begann.

Vergleichende Informationen „zu den Energiebilanzen der unterschiedlichen Breitbandtechnologien, wie DSL, VDSL, Glasfaser (Fibre to the Home), Breitbandinternet über TV- Kabelnetze und der drahtlosen Technologien wie UMTS, LTE, Satellit, WIMAX und WLAN etc.“ lagen nach Auskunft der Bundesregierung (Deutscher Bundestag 2011) in 2011 nicht vor.

4.3.3 Prüfung anhand der Angaben in den Corporate Responsibility Berichten

Die Telekommunikationsunternehmen machen in ihren Corporate Responsibility Berichten (CR-Berichte) mit Ausnahme der Unternehmen 1und1, Kabel Deutschland, Unitymedia Kabel BW sowie „Sonstige“ durchweg Angaben zum Energieverbrauch. Der Marktanteil der nicht berichtenden Unternehmen bezieht sich ausschließlich auf das Festnetz und umfasst 34 %.

Bis auf die Telekom (2011) geben die Unternehmen Telefonica/O2 (2011, 2012), Vodafone (2012) und E-Plus (2012) auch den Teilverbrauch der Netze an, der meist über 90 % liegt. Für die Telekom wurde der Verbrauch der Netze auf 90 % des Gesamtverbrauchs geschätzt.

Stobbe et al. (2009) schätzen den Energieverbrauch des Festnetzes auf konstant 3,3 TWh/a, hinzu kommen die für 2010 fortgeschriebenen Verbräuche für das Mobilfunknetz von ca. 3,2 TWh in 2010.

Da die Angaben nicht nach Festnetz und Mobilnetz differenzieren, kann hier nur die Summe aller Netze errechnet werden.

Tabelle 10: Stromverbrauch der Telekommunikationsnetze errechnet aus den Angaben der CR-Berichte

	Verbrauch 2008 in GWh	Verbrauch 2009 in GWh	Verbrauch 2010 in GWh	Verbrauch 2011 in GWh
Telekom	5394	5892	5983	6229
Telekom Netze (90 %)	4854	5302	5384	5606
Vodafone	624	610	610	610
Telefonica O2	329	376	386	430
E Plus	230	230	250	270
	6037	6518	6630	6916
incl. 34 % Festnetz nicht erklärt (+17 %)	7063	7626	7757	8091
Stobbe et al. (2009)			6500	

Quelle: eigene

Es ist festzuhalten, dass der auf Basis der Angaben in den CR-Berichten errechnete Realverbrauch der Netze zusammen um 20 % über den von Stobbe et al. (2009) geschätzten Werten liegt. Die Werte stimmen dagegen deutlich besser mit den oben für das Festnetz (3,3 TWh/a) und das Mobilnetz (4 TWh/a) errechneten, fortgeschriebenen und um die LTE-Technik ergänzten Werten überein. Aufgrund der aktualisierten Datenbasis zur Zahl und Art der Funkstationen sowie auf Basis der Überprüfung von Daten aus den CR-Berichten liegen die für Deutschland ermittelten Werte deutlich oberhalb von denen in Fichter et al. (2012, 53f.) publizierten Daten.

Weiter ist festzuhalten, dass der in den CR-Berichten dokumentierte Verbrauch der Netze von 2008 bis 2011 trotz erheblicher Effizienzmaßnahmen um real 4,5 % pro Jahr anstieg. Projiziert man eine solche Steigerung auf die Zeit bis 2020, so würde sich im Jahr 2020 ein um knapp 50 % höherer, bzw. 12 TWh größerer Energieverbrauch als in 2011 ergeben. Für Hessen würde dies eine Steigerung auf ca. 900 GWh im Jahr 2020 bedeuten.

4.3.4 Fazit Festnetz

Prognose

Die technische Struktur der Festnetze war Stobbe et al. (2009) noch wenig bekannt, sie erwarteten dennoch bis 2020 keine relevanten Änderungen. Der Stromverbrauch der Festnetze wird von ihnen auf ca. 3,3 TWh/a geschätzt und von Stobbe dadurch abgesichert, dass er sich diese Zahl aus der Industrie bestätigen lässt.

Gemessen am Anteil der Wohnbevölkerung und der Erwerbstätigen wäre davon ein Anteil von ca. 7,5 % Hessen zuzurechnen. Jedoch weist die Zahl der nicht für den Mobilfunk verwendeten Telekommunikations-Funkanlagenstandorte darauf hin, dass die Festnetze in Hessen höher verdichtet sind. Von diesen Standorten liegen 1.203 von insgesamt 13.469 in Hessen, was 8,9 % entspricht.

Der anteilige Stromverbrauch für die Festnetze in Hessen kann damit auf ca. 8,9 % des bundesweiten Wertes von 3,3 TWh/a oder 293 GWh/a abgeschätzt werden. Stobbe (2009) nimmt an, dass dieser Wert bis 2020 gleich bleibt.

Green IT Potenziale

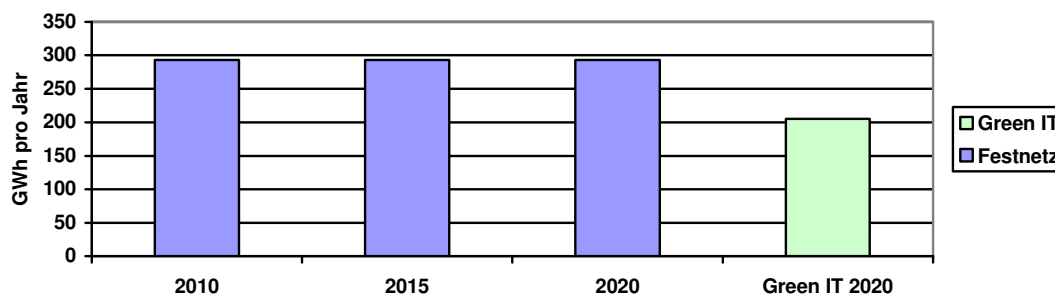
Energiesparpotenziale ergeben sich aus dem Parallelbetrieb des modernen IP-Netzes und des veralteten PSTN-Netzes (welches bis 2016 abgeschaltet werden wird). Weitere Potenziale liegen im last-adaptiven Betrieb von Komponenten, in energieeffizienter Hardware und in der Standby-Optimierung. Bisher liegen in der Literatur zu den Energieeinsparpotenzialen aber kaum quantitative Abschätzungen vor.

Konkret vermutet Werner (2012) erhebliche Einsparpotenziale von bis zu 50 % im Backbone des Festnetzes. Innerhalb von IP-Backbone-Netzen können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. So lassen sich durch einen flächendeckenden Einsatz der Glasfasertechnologie bei der Übertragung von Daten bis zu 30 % Energie einsparen (BCG und GeSi 2009, 25).

Durch den Einsatz von Swichtes, Routern sowie anderen aktiven Komponenten gemäß IEEE 802.3az Standard (IEEE Standards Association 2010) ließen sich in VoiP-Netzen mit bis zu 1.000 Clients in Projekten der Green Power GmbH aus der Erfahrung des Mitautors Olrik Thonig heraus 50 % Energie für das Netzwerk einsparen. Solche Einsparungen halten die Autoren daher auch in öffentlichen Netzen durch Einsatz von aktiven Komponenten gemäß IEEE 802.3az Standard für durchaus realistisch. Auf der ordnungspolitischen Ebene könnte der Gesetzgeber den IEEE 802.3az Standard verbindlich vorschreiben. Im Bereich der Automobilindustrie sowie im Bereich der Consumer-Elektronik gibt es schon heute gesetzliche Vorschriften zum CO₂ Ausstoß und Energieverbrauch im Standby-Betrieb. Bis dato gibt es aber keine verbindlichen Vorschriften zur Energieeffizienz von Telekommunikationsnetzen.

In der Studie Smart 2020 Addendum Deutschland werden Einsparpotenziale von 30 % im Festnetz gesehen (BCG und GeSi 2009, 25): „Dies kann erreicht werden durch einen weiteren, flächendeckenden Ausbau von energiesparenden Glasfaserleitungen, die zunehmend Kupferanschlüsse ersetzen“ (BCG und GeSi 2009, 21). Mit Blick auf die oben angeführten Potenziale, die über die Maßnahme „Glasfaser“ hinausgehen, können Energieeinsparung von 30 % im Festnetz als realistisch angesehen werden.

Abbildung 9: Stromverbrauch Festnetz in Hessen, Entwicklung bis 2020 und Green IT Potenziale, Stobbe-Prognose



4.3.5 Fazit Mobilnetze

Trends

Interessant sind die CR-Berichte auch hinsichtlich der Maßnahmen, mit denen der Verbrauch begrenzt werden soll. Grundsätzlich berichten alle Unternehmen über neue und effizientere Gerätegenerationen, ohne jedoch übergreifende Ziele zu nennen.

Nur E-Plus schreibt (2012): „Wir haben uns zum Ziel gesetzt, die Effizienz der eingesetzten Mobilfunktechnik gegenüber 2009 bis Ende 2012 um fünf Prozent und bis 2020 um 20 Prozent zu reduzieren.“ Gehen wir davon aus, dass die Effizienz nicht reduziert, sondern verbessert werden soll, wird dennoch der Verbrauch der Netze in 2020 so nicht abschätzbar.

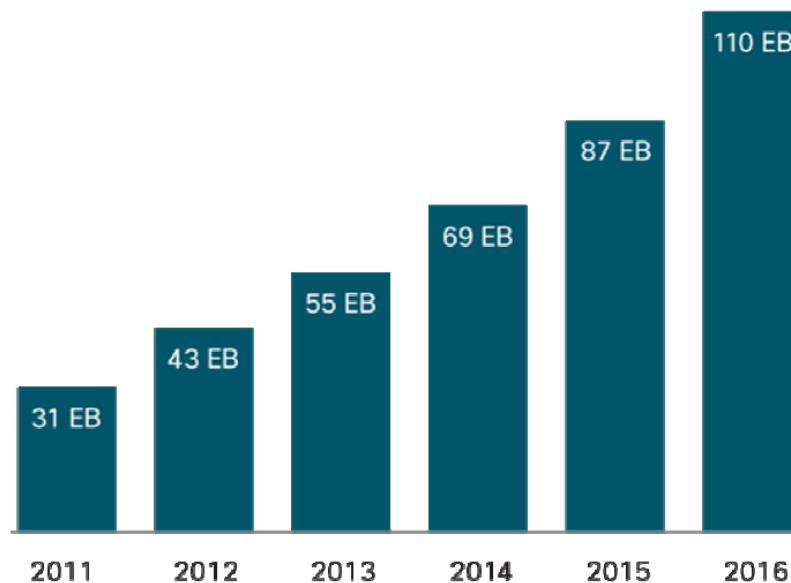
Telefonica (2012) schreibt: „In den Basisstationen unserer Netze haben wir – abhängig vom Hersteller – die neuen Sendeeinheiten im Access-Netz so programmiert, dass sie sich abschalten, wenn sie nicht benötigt werden. Derzeit laufen noch Versuche, wie diese Maßnahme auf alle Einheiten ausgedehnt werden kann.“ Hier werden also erste Schritte der Lastadaptivität gegangen.

Lastadaptivität spielt auch in den Angaben von Telefonica (s.o.) als Perspektive eine wesentliche Rolle und findet sich auch in den Befunden des Projektes ComGreen, welches von Ericsson, der Telekom, den Universitäten in Berlin und Paderborn sowie des Heinrich Hertz Instituts der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt wird. Röhm (2012) führte hierzu in einem Rundfunkinterview aus: „Das größte Einsparpotenzial ist, dass man lastadaptive Geräte insbesondere bei Basisstationen und bei Transportknoten hat. Die wirklich autark selber sich an die Verkehrslast anpassen, auch so entsprechend Schlafmodi unterstützen. Durch die reine Anzahl dieser Geräte im Netz ist das absolut das größte Einsparpotenzial. Wir können aber auch sehen, dass wenn wir aus den drei Bereichen redundante Netztopologie, lastadaptive Geräte und auch energieeffiziente Routingmechanismen, also wenn man alle drei miteinander kombiniert, können wir durchaus noch mehr Effekte und größeres Einsparpotenzial erzielen.“

Auch der Bericht Smart 2020, Addendum Deutschland (BCG&GeSi 2009) weist als Trends zur Optimierung der Mobilfunknetze auf die gleichen Dinge hin: Energieeffiziente Komponenten und Stand-by-Optimierung.

Ob und wie sich diese Einsparmöglichkeiten am Ende auf den Gesamtverbrauch auswirken ist kaum einzuschätzen, da der weltweite Internetverkehr und mit ihm die Nutzung des mobilen Internets weiter deutlich wachsen werden. Cisco (2013) sagt für den mobilen Internet-Traffic in den nächsten Jahren Wachstumsraten von 78 %/a voraus.

Abbildung 10: IP-Traffic weltweit pro Monat in Exabyte



Quelle: Cisco 2012, 4

Prognose

Bis 2020 ist unter Bezug auf die in Abbildung 11 aufgeführten Zahlen damit zu rechnen, dass der Verbrauch der Telekommunikationsnetze zunächst bis 2015 auf 320 GWh/a steigt und danach wieder auf 310 GWh/a fällt.

Green IT Potenziale

Energiesparpotenziale im Mobilfunk liegen in der Frage des Parallelbetriebs moderner und veralteter Netze, im lastadaptiven Betrieb von Komponenten, in energieeffizienter Hardware und in der Stand-by-Optimierung. Bisher liegen in der Literatur zu den Energieeinsparpotenzialen aber kaum Quantifizierungen vor.

Im Bereich der **Mobilfunktechnologien** werden Einsparpotenziale seitens der Politik sowie der Marktteilnehmer bisher nicht wahrnehmbar eingefordert. Die großen Mobilfunkanbieter nutzen ihre Einflussmöglichkeiten auf die Netzwerkausrüster nicht.

Leider zeigen die Netzwerkausrüster von sich aus nur wenig Interesse an der Entwicklung energieeffizienter Mobilfunkstationen. In der IT- Wirtschaft sind aber hohe **Einsparpotenziale im Bereich der Hardware** typisch. So kamen z.B. in 2008 sogenannte Mini-PCs auf den Markt, deren Hardware auf Notebookkomponenten beruhte und die im Vergleich zum vorher üblichen Desktop-PC den Energieverbrauch auf etwa ein Drittel reduzierten. Es scheint daher nicht unwahrscheinlich, dass auch innerhalb der Netzstrukturen durch Effizienzmaßnahmen deutlich zweistellige Einsparpotenziale zu erschließen sind. Smart 2020 (BCG und Gesi 2009, 25) war 2009 auch mit Blick auf die Mobilfunknetze optimistisch: *„Anbieter von mobilen Basisstationen, wie z. B. Huawei, gehen von Reduktionen um 60 bis 70 % aus. Da Basisstationen für etwa 90 % des gesamten Stromverbrauchs des Mobilfunknetzwerks verantwortlich sind, werden insgesamt Einsparungen von 50 % angenommen.“* In einem neueren Whitepaper aus 2011 nennt Huawei (2011, 4) ein deutlich niedrigeres Reduktionspotenzial von 40 % bei Funknetzstationen im Mobilnetz. Die Telekom (Neves 2013, 15) erwähnt zusätzlich noch alleine 4.500 MWh Einsparungen pro Jahr an 198 Klimagebäuden an 144 Standorten in Hessen

Deutlich schwieriger wird es vermutlich, den Energieverbrauch von Telekommunikationsanlagen zu senken. Bei den Herstellern handelt es sich um ein weltweit operierendes Oligopol, dem die Unternehmen Nokia-Siemens Networks (Finnland), Ericsson (Schweden), Alcatel-Lucent (USA-Frankreich), Huawei und ZTE (beide China) und Samsung (Südkorea) angehören. Es wird zudem von einer weiteren Konsolidierung des Marktes ausgegangen (Ohler 2012). Aufgrund der enormen Ausbauraten der Telekommunikationsnetze ist die Auftragslage der Anlagenhersteller sehr gut und ihre Möglichkeiten, hohe Preise durchzusetzen sind abgesehen von der Konkurrenz aus China nicht schlecht. Die Entwicklungszyklen innerhalb der Mobilfunkbranche sind extrem kurz. So werden ca. alle 24 Monate weitere Ausbaustufen innerhalb der Infrastruktur eingeführt, um dem gestiegenen Bedarf an Bandbreite gerecht zu werden. Es ist anzunehmen, dass bei diesen kurzen Entwicklungszyklen der Fokus eher auf die technischen Eigenschaften gelegt wird und weniger auf die Energieeffizienz. Sämtliche Produkte im Funkbereich müssen durch die örtlichen Behörden, wie z.B. FCC Federal Communications Commission oder die Bundesnetzagentur abgenommen werden. In deren Vorschriften werden bislang nur technische Vorgaben gemacht aber nicht der Energiebedarf sowie die Energieverbräuche der Produkte und Strukturen beachtet.

An dieser Stelle wäre der Gesetzgeber auf europäischer Ebene gefordert, verbindliche Obergrenzen für Energieverbräuche festzulegen. Die Mitglieder der Europäischen Union können über ihre nationalen Regulierungsbehörden Einfluss auf zukünftige Telekommunikationsstandards nehmen. Energieeffizienz könnte so zum Bestandteil zukünftiger Mobilfunkstandards gemacht werden und der Energieverbrauch von Produkten, die auf dem Europäischen Markt vertrieben werden somit gesenkt werden.

Auf nationaler Ebene ließen sich im Bereich der Mobilfunkinfrastrukturen Einsparungen realisieren, wenn eine **gemeinsame Nutzung der Netze** durch mehrere Mobilfunkanbieter stattfinden würde, um die Anzahl der Basisstationen zu reduzieren. Die Netzanbieter müssten ihre Netze koordiniert aus-

bauen und kooperieren, damit bereits vorhandene Strukturen optimal genutzt und ein paralleler Ausbau der Netze und damit verbundener steigender Energieverbrauch vermieden würden. Zurzeit besteht im Mobilfunkbereich in den Ballungsräumen dagegen eine deutliche Überversorgung.

Durch Regulierung und durch wirtschaftliche Anreize, z.B. durch die Gebührenstrukturen der Bundesnetzagentur, könnten die Marktteilnehmer für energieeffiziente Maßnahmen sensibilisiert und der Energieverbrauch thematisiert werden. Auch könnte der Gesetzgeber eine nationale Roaming Verordnung erlassen, um Netzanbieter in überversorgten Gebieten zu ermutigen, ihre Netze gemeinsam zu nutzen oder zusammenzulegen. Der Zugang zu der Netzinfrastruktur müsste jedem Telekommunikationsanbieter möglich sein, um so Einsparungen zu generieren.

Solche Kooperationen gab es Anfang der 90er Jahre schon zwischen den Anbietern O2 und der Telekom und sie wurde im Jahr 2012 im Bereich der Breitbandanbindung von LTE Basisstationen wieder aufgenommen. Seit Ende des Jahres 2012 gibt es offenbar Überlegungen, das Netz von O2 und E-Plus zusammenzulegen (vgl. Teltarif.de 2012). Allerdings stellte dies aus wettbewerbsrechtlicher Sicht ein Problem dar und wäre somit genehmigungspflichtig nach § 55 TKG. Insofern müssten hierbei der Wettbewerb und die Energieeffizienz in Einklang gebracht werden.

Eine weitere Maßnahme im Bereich der Mobilfunkinfrastruktur ist das mittelfristige Abschalten des alten GSM Standards der 2. Mobilfunkgeneration. Dieser Standard ist wie die Digitalvermittlungstechnik im Festnetz veraltet. GSM Netze benötigen wesentlich mehr Basisstationen als moderne Funkstandards. Die Abschaltung des GSM Netzes ohne weitere Maßnahmen wird aber nicht zu einem Rückgang von Basisstationen in gleicher Höhe führen, da ihre Kapazität aufgrund der Wachstumsraten im Breitbandmobilfunk ersetzt werden muss.

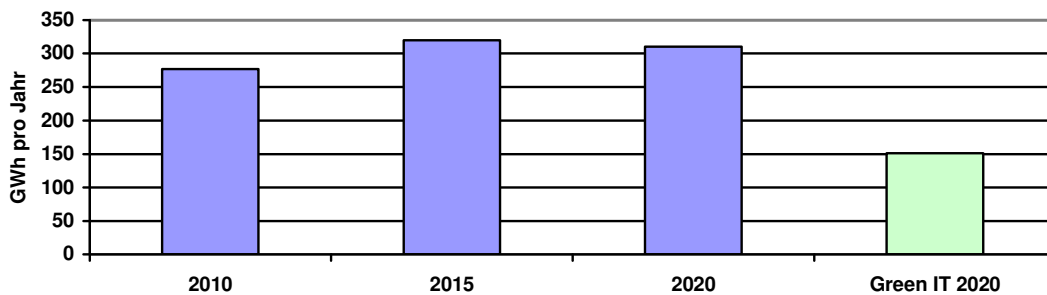
Ein interessanter Bezug der hier vorgestellten Daten und Potenziale besteht auch zu Arbeiten des Projektes Comgreen¹¹ im Projektverbund IT2Green des BMWi. Im Rahmen dieses Projektes wurde in engem Austausch mit dem Projektpartner Ericsson GmbH und den Telecom Innovation Laboratories eine Simulation des Mobilfunknetzes in Hessen erstellt. Auf der Hannovermesse 2013 wurden Ergebnisse dieser Simulation vorgestellt (Beister 2013). Der gegenwärtige Verbrauch der Mobilfunknetze in Hessen wurde in dieser Simulation mit 300 GWh/a errechnet. Durch die lastadaptive Komponenten des Backbones könnte dieser Verbrauch auf ca. 260 GWh/a gedrückt werden, durch lastadaptive Funkstationen könnte er gar um 75 % auf ca. 75 GWh/a sinken. Nicht eingerechnet in die Simulation ist dabei die Wachstumsdynamik der Mobilfunknetze. Ebenfalls wurden nur „idealtypische Einsparpotenziale“ durchgerechnet, so dass also verfügbare und einsetzbare Technologien der simulierten Art nicht durchgängig verfügbar sind. Gleichzeitig wurden erste Ideen für lastadaptive Funkanlagen präsentiert, bei denen z.B. nachts von drei Antennen nur eine betrieben wird. Ein „realistisches Einsparpotenzial“ insgesamt wurde im Gespräch auf ca. 30 % veranschlagt.

Zur Abschätzung eines Green IT-Potenzials werden diese Möglichkeiten wie folgt in ein Szenario eingearbeitet:

¹¹ Details unter www.communicate-green.de.

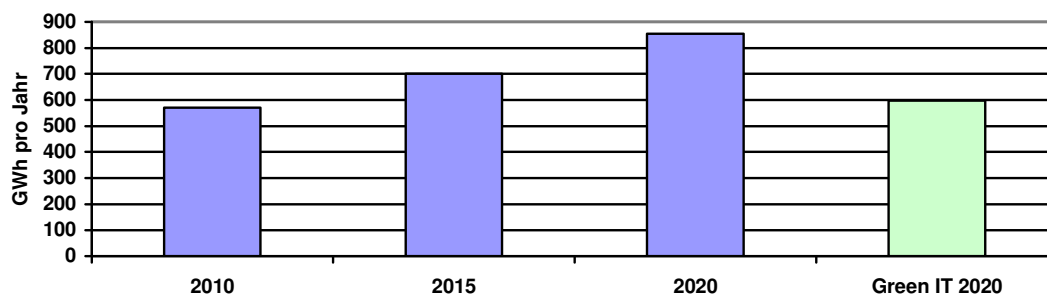
- Für die Mobilfunk-Basisstationen wird über die Annahmen in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** hinaus eine Reduktion der Leistungsaufnahme um 200 Watt in 2015 und um 400 Watt in 2020 angenommen. Dies würde insgesamt den 40 % entsprechen, die Huawei (2011) als in 2011 noch vorhandenes Potenzial aufführt.
- Durch effiziente Hardware und lastadaptive Steuerung wird eine Reduktion der Leistungsaufnahme von Vermittlungsknoten von 150 kW auf 125 kW in 2015 und 100 kW in 2020 angenommen.
- Durch die Zusammenlegung von Netzen aufgrund des ökonomischen Drucks auf die Marktteilnehmer und u.U. befördert durch eine nationale Roaming-Verordnung sinkt die Zahl der Basisstationen um 30 % bis 2015 und um 70 % bis 2020 in den Netzen der zweiten Generation sowie um 20 % bis 2015 und 40 % bis 2020 im UMTS-Netz.

Abbildung 11: Stromverbrauch der Mobilfunknetze in Hessen, Entwicklung bis 2020 und Green IT Potenziale, Stobbe-Prognose



Sowohl die Prognose des Stromverbrauchs des hessischen Festnetzes in Abbildung 9 wie auch des Mobilfunknetzes in Abbildung 11 stehen letztlich im Widerspruch zur Höhe der Verbrauchsdaten in den CR-Berichten wie auch zu ihrer Dynamik. Legt man für eine Abschätzung der in Hessen zu erwartenden Verbräuche sowohl Zahlen wie auch Wachstumsdynamik der CR-Berichte zu Grunde, dann ergibt sich ein deutlich anderes Bild. Als Green IT-Potenzial wurde hier ein Reduktionspotenzial von insgesamt 30 % angenommen, sowohl im Festnetz wie auch im Mobilfunknetz.

Abbildung 12: Stromverbrauch der Fest- und Mobilfunknetze in Hessen, Entwicklung bis 2020 und Green IT Potenziale, Prognose durch Fortschreibung der Daten aus den CR-Berichten



Es wird deutlich, dass in diesem letzten Szenario ein nicht unerhebliches Einsparpotenzial gerade ausreicht, um die erwarteten Steigerungen des Verbrauchs zu kompensieren. Parallel zur Wachstumsdynamik müssten zur Realisierung der Green IT Potenziale:

- die letzten Teile der Backbones und wesentliche Teile des Festnetzes auf Glasfaser umgerüstet werden,
- die Vermittlungsknoten auf neue optische und energieeffiziente IT-Technik umgestellt werden,
- zumindest alle neuen Funkanlagen so bald als möglich lastadaptiv ausgeführt werden.

Dies alles ist vor dem Hintergrund zu beurteilen, dass die Schwere zwischen Leistungswachstum einerseits und Effizienzpotenzialen andererseits extrem weit geöffnet ist. In Abbildung 10 wird eine Erhöhung des IP Traffics schon zwischen 2012 und 2016 um fast den Faktor drei prognostiziert, das Projekt ComGreen (Beister 2013) errechnet dagegen – ohne steigenden Traffic zu berücksichtigen – theoretische, mittelfristige Einsparpotenziale von 75 % im Mobilfunknetz.

4.3.6 Leitlinien und Maßnahmen

Vor dem Hintergrund der erheblichen Unsicherheiten in der Prognose und dem dürftigen Literaturstand in Bezug auf Green IT Potenziale sehen wir die Basis für eine auf das Netz gerichtete Effizienzpolitik darin, das Telekommunikationsnetz und seine Technik aus dem Dunkel der wenigen Fachzulieferer und dem Oligopol der Netzbetreiber herauszuholen und am Rande der Strategie um den Breitbandausbau eine aktive Debatte um höchstmögliche Effizienz mit zu führen. Ein erster Meilenstein einer Effizienzstrategie könnte sein, konkrete Anforderungen an die Energieeffizienz von Netzkomponenten in die Zuwendungsvoraussetzungen der Breitbandförderung¹² oder gar in die Zulassungsvoraussetzungen bei der Zulassung durch die Bundesnetzagentur zu integrieren.

¹² Wie aus dem Leitfaden zur Breitbandförderung (BMW 2012) deutlich wird, gibt es gegenwärtig in keinem einzigen Bundesland solche Anforderungen.

Auch wäre zu erwägen, im Telekommunikationsgesetz (Bundesrepublik Deutschland 2012) den §2 Abs. 2 um eine neue Nummer 4a zu erweitern, der wie folgt zu formulieren wäre:

4a. die Begrenzung des Material- und Energieverbrauchs der Netze und die kontinuierliche Verbesserung der Material- und Energieeffizienz der einzelnen Komponenten,

Als eine Maßnahme hierzu wird vorgeschlagen, einen Workshop zum energieeffizienten Breitbandausbau zu veranstalten. Zu einem solchen Workshop wären einzuladen die Telekommunikationsunternehmen, die Anbieter einschlägiger Technik (z.B. Huawei Technologies Deutschland GmbH in Eschborn) sowie Vertreter der Forschung (z.B. des Projektes ComGreen, Desi und Intellispektrum im Rahmen des BMWi-Programmes IT2Green). Weiter wäre die Bundesnetzagentur zu beteiligen.

Da zu erwarten ist, dass die wirksame Implementierung des Effizienzziels in die Branche einige Zeit dauert, wäre es vermutlich hilfreich, auf der Bundesebene im Wirtschaftsministerium, in der Bundesnetzagentur oder an anderer geeigneter Stelle ein Kompetenzteam Energieeffizienz einzurichten. Ein solches Team könnte sich auf sehr wenige Personen beschränken (zunächst eine oder zwei) und hätte die Aufgabe, den State of the Art und die Umsetzung der Energieeffizienz der Netztechnologie zu beobachten, zu dokumentieren und als Fachpromotoren an geeigneten Stellen zu vertreten. Sowohl im Kontext der Beschaffung wie auch im Kontext eines energieeffizienten Breitbandausbaus würde eine solche Fachstelle von Bedeutung sein.

Eine weitere Aufgabe einer solchen Fachstelle läge darin, Qualifikationsdefizite bei Anbietern oder Betreibern von Telekommunikationstechnologie zu erkennen und in Zusammenarbeit mit geeigneten Bildungsträgern (z.B. Bitkom Akademie) Angebote zu entwickeln, mit denen ein hoher Wissens- und Qualifikationsstand in Fragen der Energieeffizienz in allen hierfür wichtigen Organisationen und Unternehmen entwickelt werden kann. Bildungsangebote könnten auch für die Betreiber privater Telekommunikationsnetze und der Spezialnetze (z.B. Behördennetz) von hoher Bedeutung sein.

4.4 Rechenzentren

4.4.1 Stromverbrauch von Rechenzentren in Deutschland insgesamt

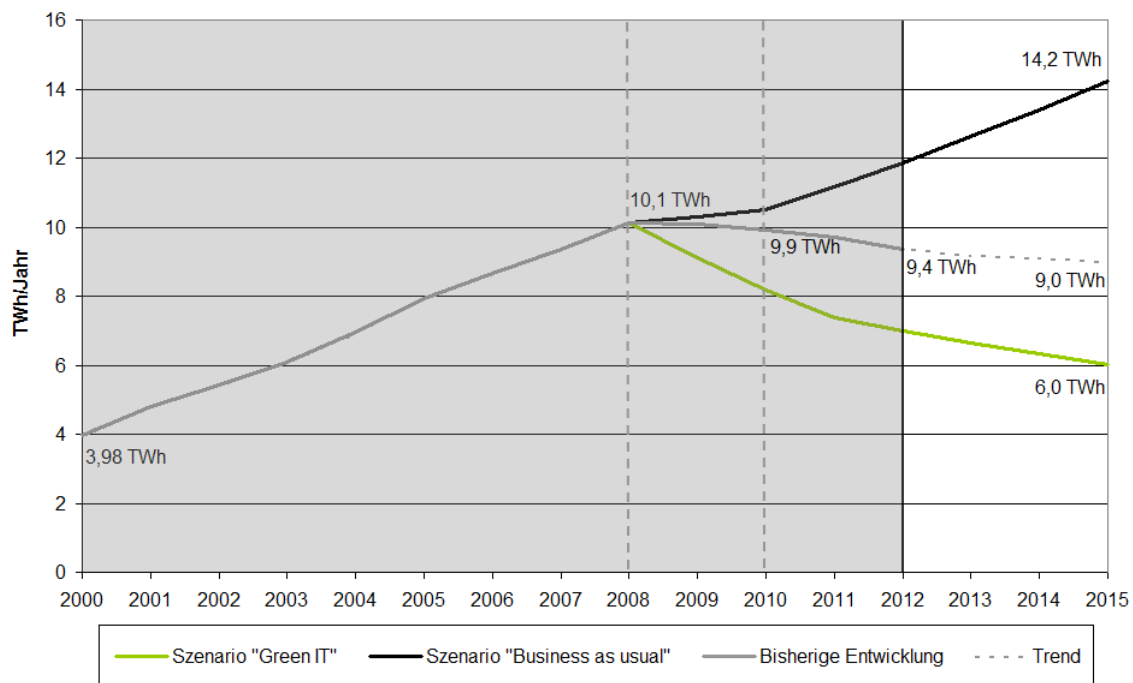
Nach einer Berechnung des Borderstep Instituts (Hintemann und Fichter 2013) lag der Stromverbrauch von Servern und Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2012 bei 9,4 TWh. Damit konnte seit dem Jahr 2008 eine leichte Absenkung des Stromverbrauchs erreicht werden. Zuvor hatte sich der Verbrauch seit dem Jahr 2000 um den Faktor 2,5 erhöht. Der Stromverbrauch entspricht einem Anteil von 1,8 % am Gesamtstromverbrauch in Deutschland. Die mit dem Stromverbrauch der Server und Rechenzentren verbundenen Stromkosten belaufen sich auf ca. 1,2 Mrd. €/a. Bedingt durch die gestiegenen Strompreise sind die Stromkosten im Vergleich zum Jahr 2008 um 11 % angestiegen.¹³

¹³ Zur Berechnung der Stromkosten der Rechenzentren wurden die durchschnittlichen Strompreise für Industriekunden in Deutschland herangezogen (Preise für Kunden mit einer maximalen Abnahme von 500 kW). Im

Im Jahr 2012 gab es in Deutschland ca. 2,25 Mio. Server (4 % mehr als im Jahr 2008), von denen 1,47 Mio. in Rechenzentren installiert waren und 0,78 Mio. als Stand-Alone-Server betrieben wurden.

Die Daten zeigen, dass es in den vergangenen Jahren zumindest vorübergehend gelungen ist, den Trend des ansteigenden Stromverbrauchs der Server und Rechenzentren in Deutschland zu stoppen. Die folgende Abbildung stellt die aktuelle Entwicklung sowie den Trend bis zum Jahr 2015 dar. Zum Vergleich sind die Ergebnisse einer Studie eingetragen, in der der Stromverbrauch der Server und Rechenzentren im Jahr 2008 ermittelt und in zwei Szenarien bis zum Jahr 2015 prognostiziert wurden (Fichter et al. 2009).

Abbildung 13: Entwicklung des Stromverbrauchs von Servern und Rechenzentren in Deutschland



Quelle: Hintemann und Fichter 2012, 2, aktualisiert¹⁴

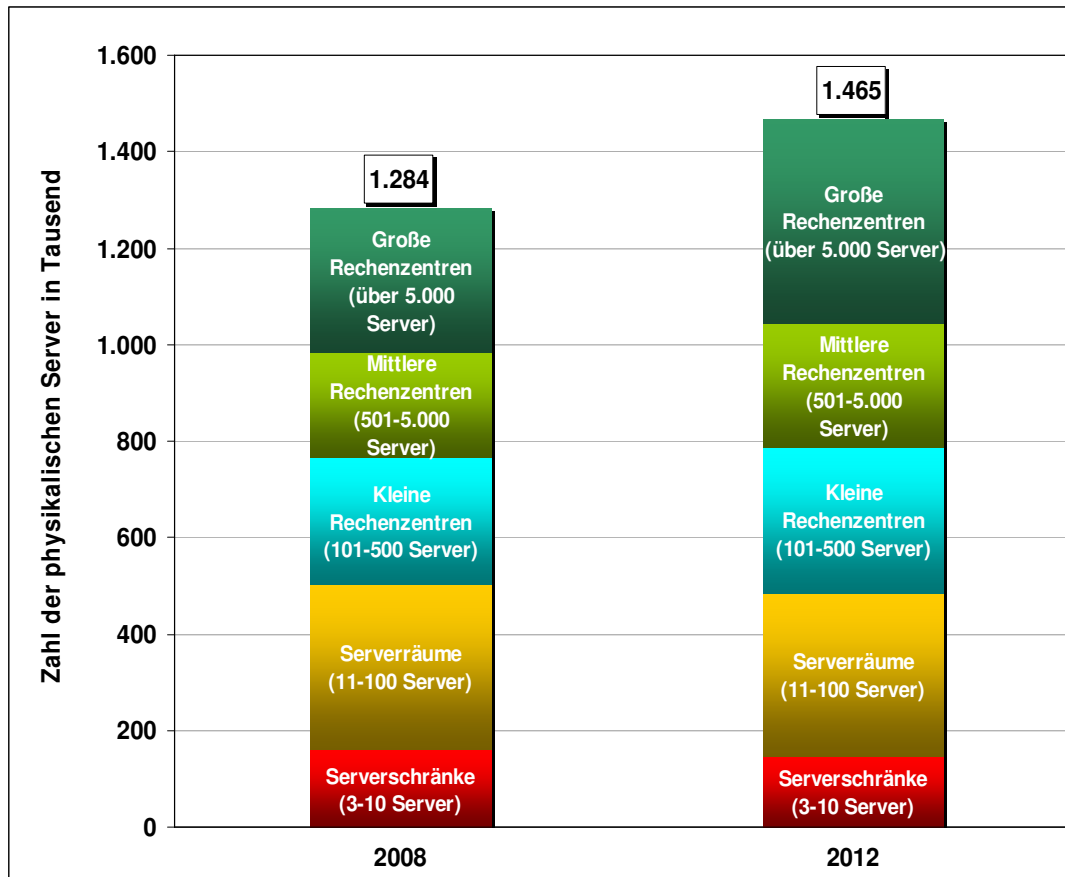
Jahr 2012 lag dieser durchschnittliche Preis bei 12,77 €-Cent/kWh ohne Mehrwertsteuer (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2012): Internationaler Energiepreisvergleich für Industrie (Quelle: Eurostat), online unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/Energiedaten/energiepreise-energiekosten.html>). Da insbesondere Betreiber von kleinen Rechenzentren teilweise auch höhere Strompreise zahlen, handelt es sich hierbei eher um eine Abschätzung nach unten.

¹⁴ Die Aktualisierung der Daten erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes AC4DC (www.ac4dc.de)

Der Stromverbrauch der Server und Rechenzentren im Jahr 2012 liegt um ca. 2,6 TWh unter dem Verbrauch, der im „Business as usual“-Szenario zu erwarten gewesen wäre. Im Vergleich zum „Green IT“-Szenario liegt der Verbrauch jedoch um 2,3 TWh höher. Das „Green IT“-Szenario stellt die Entwicklung dar, die durch den konsequenten Einsatz der aktuell verfügbaren und wirtschaftlich sinnvoll anzuwendenden Effizienztechnologien erreichbar wäre. Die möglichen Einsparpotenziale sind also bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Der Energiebedarf könnte mit vorhandenen Technologien noch um ca. 25 % reduziert werden.

Die erreichte Reduktion des Stromverbrauchs hat verschiedene Gründe. Zum einen ist die Informationstechnik selbst effizienter geworden. Insbesondere im Teillastbereich, also in Zeiten, in denen die Server nicht voll ausgelastet sind, konnte der Stromverbrauch verringert werden. Allerdings wurde die verbesserte Effizienz der Informationstechnik durch die steigende Zahl der Server, die erhöhten Speicherbedarfe und das Mehr an Netzwerktechnik ausgeglichen. Insgesamt stieg der Stromverbrauch der IT-Komponenten in den Rechenzentren sogar um 6 % an. Dass der Anstieg nicht höher ausgefallen ist, ist auch durch die wirtschaftliche Krise des Jahres 2009 begründet, die in diesem Jahr zu einem Einbruch der Serververkäufe um mehr als 10 % geführt hat. Dadurch ist der Bestand der Server in den Jahren 2008 bis 2012 deutlich geringer angestiegen als in den Jahren zuvor.

Abbildung 14: Entwicklung der Serverstruktur in den Rechenzentren in Deutschland



Quelle: Hintemann und Fichter 2012, 4, aktualisiert¹⁵

Die erreichte Verringerung des Strombedarfs der Rechenzentren um ca. 700 Gigawattstunden ist durch die deutlichen Effizienzgewinne in der Klimatisierung und bei den Unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USV) begründet.

Ob sich der Trend des sinkenden Stromverbrauchs fortsetzt, kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Zu groß sind die Unwägbarkeiten hinsichtlich des künftigen Einsatzes und des Bedarfs an IT-Leistung. Werden beispielsweise in den nächsten Jahren wieder Wachstumsraten im Serverbestand von jährlich ca. 8 % erreicht – so wie sie in der Vergangenheit üblich waren – wird der Energiebedarf der Server- und Rechenzentren voraussichtlich wieder ansteigen.

Insgesamt gab es in Deutschland im Jahr 2012 ca. 51.000 Rechenzentren, 4 % weniger als im Jahr 2008. Diese Verringerung ist im Wesentlichen darauf zurück zu führen, dass die Zahl der kleinen Lo-

¹⁵ Die Aktualisierung der Daten erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes AC4DC (www.ac4dc.de)

kationen (Serverschränke) von über 33.000 auf ca. 31.000 zurückgegangen ist. Die Zahl der Mittleren und Großen Rechenzentren (über 500 physikalische Server) ist dagegen angestiegen. Im Jahr 2012 stieg die Zahl der Server in diesen Kategorien gegenüber 2008 um ca. 30 % auf ca. 680.000 (Abbildung 14). Der Trend zum Cloud-Computing und Outsourcing ist in Deutschland deutlich zu spüren, auch wenn die Mega-Rechenzentren der Internetgiganten Google, Facebook, Microsoft, Amazon und Apple bislang nicht hier errichtet werden.

4.4.2 Rechenzentrumstypen

Der Aufbau, die Größe, die Struktur und der Zweck eines Rechenzentrums können sehr unterschiedlich sein – dementsprechend heterogen ist die Rechenzentrumslandschaft. Die folgende Tabelle zeigt die Struktur der Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2012 nach ihrer Größe.

Tabelle 11: Struktur der Rechenzentren in Deutschland nach Größe

Rechenzentrumstyp	Serverzahl (physikalisch)	Ø Anschlussleistung der IT	Ø Fläche	Anzahl im Jahr 2012
Serverschrank	3-10	ca. 1,5 kW	ca. 5 m ²	ca. 31.000
Serverraum	11-100	ca. 6 kW	ca. 20 m ²	ca. 18.000
Kleines Rechenzentrum	101-500	ca. 50 kW	ca. 150 m ²	ca. 2.000
Mittleres Rechenzentrum	501-5.000	ca. 400 kW	ca. 1000 m ²	ca. 250
Großes Rechenzentrum	über 5.000	ca. 2.500 kW	ca. 7.000 m ²	ca. 60

Quelle: Hintemann und Fichter 2010, 23, aktualisiert¹⁶

Neben der Typologisierung der Rechenzentren nach der Größe bieten sich noch weitere Kriterien zur Unterscheidung der Art der Rechenzentren an. In der Literatur und Praxis verwendete Kriterien hierfür sind üblicherweise das Maß der Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit der Rechenzentren, der Zweck der Rechenzentren und die Art des Betreibers der Rechenzentren (Hintemann und Fichter 2010, 16).

Für die Fragestellungen in dieser Untersuchung bietet sich eine Betrachtung nach Zweck der Rechenzentren und nach Art des Betreibers an. Im Folgenden werden daher sechs Typen von Rechenzentren unterschieden¹⁷:

- Rechenzentren von Colocation-Anbietern,

¹⁶ Die Aktualisierung der Daten erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes AC4DC (www.ac4dc.de).

¹⁷ Diese Typologie wurde im Rahmen des Forschungsprojektes AC4DC (www.ac4dc.de) von Borderstep entwickelt.

- Rechenzentren von Hosting-Anbietern,
- Rechenzentren von Cloud-Anbietern,
- Rechenzentren von Großunternehmen exklusive IT-Dienstleistungssektor,
- Gebietsrechenzentren und kommunale IT-Dienstleister,
- Rechenzentren deutscher Hochschulen.

Rechenzentren von Colocation-Anbietern

In sogenannten Colocation-Rechenzentren werden Infrastrukturkapazitäten für das Auslagern bzw. Unterbringen von Servern vermietet. Das Dienstleistungsspektrum dieser Rechenzentren umfasst das Bereitstellen von Stellflächen für Server bzw. für Serverschränke, deren Stromversorgung, Kühlung, Zugangsschutz und Brandsicherung, etc. sowie die Anbindung an vorhandene Telekommunikationsnetzwerke. Kunden von Colocation-Rechenzentren sind Unternehmen und Institutionen, die aus verschiedenen Gründen keine eigenen Infrastrukturen betreiben können oder wollen.

In Deutschland gibt es mehr als 200 Colocation-Rechenzentren mit einer IT-Fläche ab ca. 100 m². Darunter sind viele Mittlere und Große Rechenzentren mit IT-Flächen von mehr als 500 m² bis zu 60.000 m². In der Kategorie der Großen Rechenzentren sind fast 50 % aller Rechenzentren Colocation-Rechenzentren. Diese Rechenzentren haben einen Stromverbrauch im Megawatt-Bereich. Unternehmen wie Equinix Inc., die e-shelter facility services GmbH und Interoute Germany GmbH gehören zu den größten Playern am Markt. Diese Anbieter sind nahezu in allen deutschen Ballungsgebieten vertreten.

Rechenzentren von Hosting-Anbietern

Hosting-Unternehmen bieten ihren Kunden über das Internet Dienstleistungen an wie die Bereitstellung von virtuellen oder dedizierten Servern, Speicherplatz im Internet, Webdiensten wie Webshop-systeme oder andere Webseiten für Privatunternehmen, Firmen oder Behörden.

Nach Angabe der Webseite <http://www.webhostlist.de/> gibt es in Deutschland über 2.000 Anbieter von Webhosting-Angeboten. Davon haben ca. 900 Unternehmen ihren Serverstandort ausschließlich in Deutschland. Ca. 50 % der Colocation-Anbieter bieten auch Hosting-Dienstleistungen an. Viele Hosting-Anbieter betreiben ihre Hardware auch in Colocation-Rechenzentren. Ca. ein Viertel der Großen Rechenzentren sind Hosting-Rechenzentren.

Rechenzentren von Cloud-Anbietern

Cloud Computing bedeutet das dynamische Bereitstellen von IT-Leistungen über das Internet. Die Spannweite reicht dabei von der Bereitstellung von IT-Infrastruktur wie Rechenleistung oder Speicherkapazität (Infrastructure as a Service), über Entwicklungsplattformen (Platform as a Service) bis hin zur Softwarediensten (Software as a Service). Cloud-Computing und Hosting haben je nach Art

der Definition deutliche Überschneidungen. Da sie vom Markt allerdings noch weitgehend getrennt wahrgenommen werden, wird die Unterscheidung hier zunächst aufrechterhalten.

Laut einer Studie von Deloitte und BITKOM sind die bekanntesten Cloud-Anbieter in Deutschland Google, Microsoft, Amazon, IBM und Salesforce (Deloitte 2011). Insbesondere Unternehmen wie Google, Amazon, Microsoft, Facebook und Apple bauen weltweit sehr große Rechenzentren für ihre Cloud-Dienste auf. Dabei sind die Energieversorgung, die Energiepreise sowie günstige Rahmenbedingungen wie niedrige Außentemperaturen oft mit entscheidend für die Standortwahl. Auch in Deutschland werden Kapazitäten für Cloud-Computing aufgebaut. Hier liegen die Gründe vor allem darin, dass die Kunden ihre Daten nicht ins Ausland verlagern wollen oder dürfen (GOLEM 2011). Cloud Anbieter in Deutschland nutzen oft das Angebot von Colocation Dienstleistern. Es werden aber auch einige große Cloud-Rechenzentren in Deutschland aufgebaut, wie z.B. ein 24.000 m² großes Rechenzentrum von der Deutschen Telekom in Magdeburg (Chip online 2010).

Gebietsrechenzentren und kommunale IT-Dienstleister

In dieser Art Rechenzentrum werden umfassende IT-Dienstleistungen für Behörden erbracht. Die Bereitstellung und Betreuung der IT-Infrastruktur verschiedener öffentlicher Institutionen wie beispielsweise der Justiz-, Kriminal- und Finanzbehörden werden auf Landesebene oft innerhalb weniger Rechenzentren durchgeführt. Die Hessische Zentrale für Datenverarbeitung (HZD) beispielsweise betreibt im Auftrag der hessischen Polizei die zentrale IT-Infrastruktur und gewährleistet die gesicherte Arbeitsfähigkeit von rund 18.000 Anwendern in 220 Organisationseinheiten. Darüber hinaus sind laut eigener Angaben ca. 1800 landesbehördliche Dienststellen (Justiz, Steuer etc.) und rund 2000 Schulen an das HZD angeschlossen. Zur Unterstützung von insgesamt 65.000 Büroarbeitsplätzen werden im hauseigenen Rechenzentrum ca. 3000 Server und 480 Terabyte zentral verwalteter Festplattenspeicher und 1.200 Terabyte Bandspeicher benötigt (HZD 2012).

Selbst genutzte Rechenzentren von Unternehmen und Behörden (exklusive IT-Dienstleistungssektor)

Die meisten deutschen Rechenzentren sind solche, die innerhalb von Unternehmen und Behörden für eigene Zwecke genutzt werden. In diesen Rechenzentren laufen Dienste wie z.B. E-Mail, Datenbanksysteme, Internetplattformen, Software zur Unterstützung von Geschäftsprozessen wie Buchführung, Controlling, Vertrieb, Einkauf, Produktion, Lagerhaltung und Personalwesen oder Software, die für Forschung und Entwicklung eingesetzt wird. Der Aufbau der Rechenzentren und die Art der Dienste sind je nach Zweck des Unternehmens sehr unterschiedlich. Die ca. 49.000 Rechenzentren in Deutschland, in denen weniger als 100 physikalische Server betrieben werden, sind fast ausschließlich dieser Kategorie zuzuordnen. Aber auch sehr große Rechenzentren mit Stromaufnahmen im Megawattbereich werden in Deutschland von Unternehmen z.B. des Energiesektors, des Banken- und Versicherungsbereichs, des Telekommunikationsbereichs oder von Automobilkonzernen betrieben.

Rechenzentren deutscher Hochschulen und Forschungseinrichtungen

Auch in Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen gibt es einen hohen Bedarf an Rechenkapazität. Neben dem Rechenbedarf, der durch den Betrieb eigener Internetauftritte, Kommunikations- und Online-Lernplattformen entsteht, benötigen vor allem Forschungseinrichtungen im natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Bereich ein hohes Maß an Rechenleistung. Diese kann dann durch sogenannte Hochleistungsrechner und Rechencluster in Rechenzentren bereitgestellt werden.

Der Bedarf an Serverkapazitäten und somit an Rechenzentrumsfläche im universitären Bereich hängt sowohl von der Größe als auch der jeweiligen wissenschaftlichen Ausrichtung ab. Die Anzahl an Zugriffen auf die Webangebote einer Universität und der interne, kommunikationsbedingte Datenverkehr korrelieren vermutlich stark mit der jeweiligen Studierendenzahl. In Deutschland gibt es ca. 30 Hochschulstandorte, die über verhältnismäßig große Rechenzentren in der Größenordnung von ca. 300 m² und mehr verfügen. Die Goethe Universität Frankfurt hat für ihr Loewe CSC Rechenzentrum den Green IT Best Practice Award 2011 erhalten. Am GSI Helmholtz-Zentrum für Schwerionenforschung GmbH in Darmstadt wird zurzeit ein Rechenzentrum für die Beschleunigeranlage „FAIR“ mit einer Kapazität von bis zu 50.000 Servern gebaut (Gauß-Allianz 2012).¹⁸

Beispiel: e-cube Architektur

Die Frankfurter e-cube-Architektur für HPC-Systeme wurde innerhalb weniger Wochen gleich drei Mal ausgezeichnet. Nach dem GreenIT Best Practice Award für einen der ersten CO₂-neutralen Supercomputer, den LOEWE-CSC-Rechner der Goethe-Universität Frankfurt, wurde der Rechner auch im Rahmen der Initiative „Land der Ideen“ der Bundesregierung geehrt. Zuletzt erhielt das Rechenzentrum „MiniCube“ des Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung (GSI) den Deutschen Rechenzentrumspreis 2012 in der Kategorie Klima und Kältetechnik. Das Besondere an der von Prof. Volker Lindenstruth, Goethe-Universität Frankfurt und dem GSI entwickelten e-cube-Rechnerarchitektur, ist das innovative energie- und kostensparende Kühlkonzept. Die Türen der Rechnerschränke werden mit Wasser gekühlt, so dass praktisch keine Wärme in die Raumluft gelangt. Dies wurde am Center for Scientific Computing (CSC) der Goethe-Universität erprobt. Da keine zusätzlichen Ventilatoren benötigt werden, reichen für die Kühlung fünf bis sieben Prozent des Strombedarfs des Computers zusätzlich aus. Neben der Senkung der Betriebskosten ermöglicht die e-cube-Architektur ein reduziertes Bauvolumen und stellt geringere Anforderungen an die Gebäudeinfrastruktur als herkömmliche Höchstleistungsrechner. In Darmstadt entsteht bis 2014 nach diesem Modell das Rechenzentrum „Green-Cube“ mit einer geplanten Kühlleistung von 16 MW für das internationale Beschleunigerzentrum „FAIR“ mit etwa 800 Rechnerschränken.

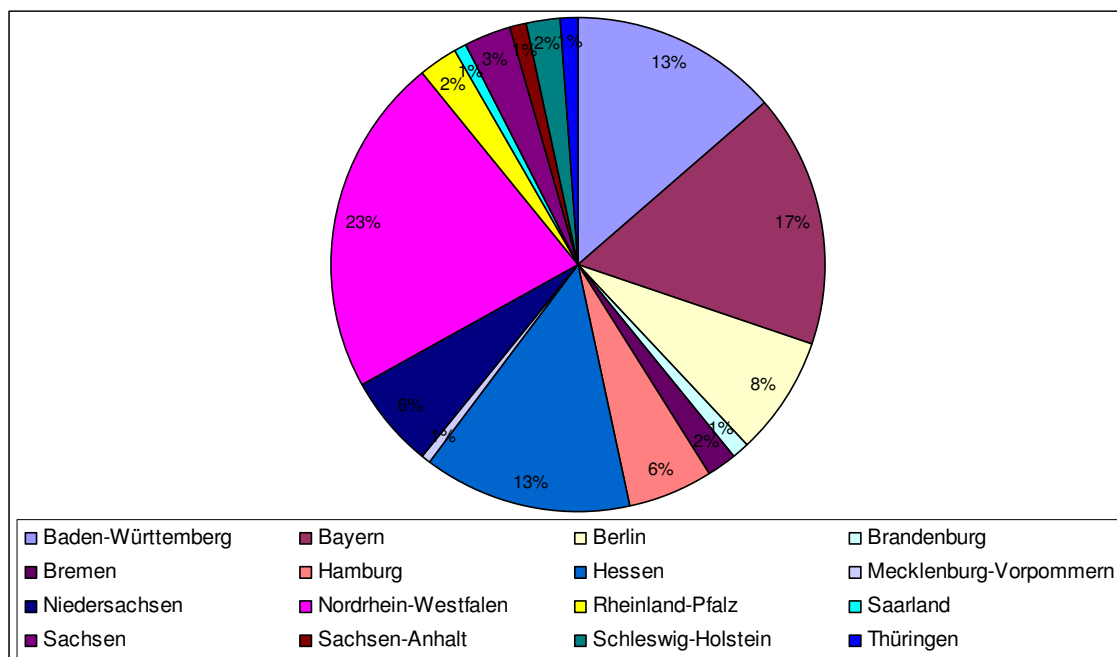
Quelle: Gauß-Allianz 2012

¹⁸ Vgl. auch das Video der Preisvergabe auf <http://compeng.uni-frankfurt.de/index.php?id=72&L=1> vom 20.2.2013.

4.4.3 Rechenzentren in Hessen

Bislang konnte nur eine Studie des Bundes Deutscher Rechenzentren (BDR) (German Cloud 2012) identifiziert werden, die aktuelle Daten über die Zahl der in den einzelnen Bundesländer ansässigen Unternehmen des Wirtschaftszweiges 63.1 „Datenverarbeitung, Hosting und damit verbundene Tätigkeiten, Webportale“ dokumentiert. Wie der folgenden Abbildung zu entnehmen ist, entfallen gemäß dieser Studie 100 der 741 ermittelten Unternehmen (13,5 %) auf das Land Hessen. Des Weiteren würde nach dieser Berechnung mit 166 Unternehmen der größte Teil auf Nordrhein-Westfalen fallen, gefolgt von Bayern (125 Unternehmen) und an dritter Stelle Baden-Württemberg und Hessen mit jeweils 100 Unternehmen.

Abbildung 15: Anteile der RZ-Unternehmen nach Bundesland 2012



Quelle: German Cloud 2012 (eigene Darstellung)

Diese Zahlen erlauben eine erste – allerdings sehr grobe - Einschätzung der Bedeutung der Rechenzentrumsbranche in Hessen. Vor allem aus zwei Gründen ist aber zu erwarten, dass der tatsächliche Anteil der Rechenzentren in Hessen größer ist. Zum einen werden in dem zugrunde gelegten Wirtschaftszweig nur die IT-Dienstleistungsunternehmen berücksichtigt – vornehmlich also die Rechenzentren aus den Bereichen Hosting und Cloud-Computing sowie Gebietsrechenzentren und kommunale IT-Dienstleister. Eigene Rechenzentren von Unternehmen, von denen gerade in Hessen aufgrund der hohen Bedeutung der Finanzwirtschaft viele vorhanden sind, finden z.B. keine Berücksichtigung. Ob Colocation-Anbieter in der Studie berücksichtigt sind, ist nicht eindeutig festzustellen. Im

Grundsatz bieten diese Facility Management Leistungen und keine IT-Dienstleistung an, so dass angenommen werden kann, dass zumindest nicht alle Anbieter berücksichtigt sind. Zum zweiten betrachtet die o.g. Untersuchung nicht die Größe der Rechenzentren. Hessen ist dafür bekannt, dass hier insbesondere sehr große Rechenzentren betrieben werden.

Borderstep hat im Rahmen des Projektes AC4DC die Rechenzentrumsverteilung der Großen und Mittleren Rechenzentren in Deutschland näher untersucht. Basierend auf diesen Ergebnissen konnte auch eine Auswertung für das Land Hessen durchgeführt werden. Von den ca. 60 Großen Rechenzentren in Deutschland, in denen mehr als 5.000 Server installiert sind, konnte Borderstep bislang 50 konkret identifizieren – davon liegen knapp über 35 % in Hessen. Mit Blick auf die Rechenzentrumsflächen ist der Anteil Hessens noch größer. Von den insgesamt ca. 500.000m² an IT-Fläche aller 60 Großen Rechenzentren in Deutschland sind allein rund 40 % dieser Fläche auf die bereits identifizierten Rechenzentren im Raum Frankfurt a.M. verteilt (ca. 200.000m²). Das größte dieser Rechenzentren bietet eine Stellfläche von ca. 60.000m². Borderstep schätzt für die Großen Rechenzentren und bezogen auf Fläche und Serverzahl daher einen Anteil Hessens von 40 % an allen deutschen großen Rechenzentren.

Im Bereich der Mittleren Rechenzentren (über 500 bis 5.000 Server) konnte Borderstep von den ca. 250 Rechenzentren ca. zwei Drittel identifizieren. Hier liegt der Anteil der hessischen Rechenzentren bei 20 %.

Für die kleineren Rechenzentren in Hessen wird angenommen, dass ihr Anteil dem Anteil der Erwerbstätigen in Hessen an der Gesamtanzahl der Erwerbstätigen in Deutschland entspricht (7,54 %). Geht man davon aus, dass die genannten Abschätzungen zutreffen, so errechnet sich ein Gesamtenergiebedarf der Server und Rechenzentren in Hessen im Jahr 2012 von ca. 1,75 TWh/a. Dies sind 18,6 % des Energieverbrauchs aller Server und Rechenzentren in Deutschland.

Zur Validierung dieser Größenordnung können Zahlen des Stromversorgungsunternehmens Mainova herangezogen werden. Für Frankfurt gibt Mainova an, dass der „Rechenzentrums-Hotspot“ für 20 % der insgesamt knapp 5 TWh Stromverbrauch p.a. verantwortlich ist, also für eine TWh (Mainova Imagebroschüre, 5). Rechnet man die Großen und Mittleren hessischen Rechenzentren außerhalb von Frankfurt sowie die vermutlich nicht berücksichtigten kleineren Rechenzentren hinzu, so wird die hier ermittelte Größenordnung des Stromverbrauchs der Server und Rechenzentren in Hessen gut bestätigt.

Tabelle 12: Abschätzung des Energieverbrauchs der Server und Rechenzentren in Hessen im Jahr 2012

Jahr	Rechenzentrums-Kategorie	Deutschland insgesamt		Hessen	
		Anzahl Rechenzentren	Energieverbrauch (in TWh)	Anteil an den Rechenzentren	Energieverbrauch (in TWh)
2012	Serverschrank	31.000	0,49	7,54 %	0,04
	Serverraum	18.000	1,46	7,54 %	0,11
	Kleines RZ	2.000	1,49	7,54 %	0,11
	Mittleres RZ	250	1,64	20 %	0,33
	Großes RZ	60	2,57	40 %	1,03
	Insgesamt in RZ		7,65		1,62
	Stand-Alone-Server		1,71	7,54 %	0,13
	Gesamt Server und Rechenzentren		9,71		1,75

Quelle: eigene

Bestimmt man mit der gleichen Methode den Energiebedarf der Server und Rechenzentren in Hessen für das Jahr 2008, so errechnet sich ebenfalls ein Energiebedarf von 1,75 TWh/a. Die für Deutschland insgesamt erreichte Verringerung des Stromverbrauchs der Rechenzentren um 7 % seit 2008 konnte in Hessen nicht in gleichem Umfang erreicht werden. Verantwortlich hierfür ist vor allem die hohe Anzahl der Rechenzentren in den Segmenten „Mittleres Rechenzentrum“ und „Großes Rechenzentrum“. Diese Segmente wachsen weiterhin stark an, zwischen 2008 und 2012 stieg ihr Stromverbrauch trotz Effizienzverbesserungen und Wirtschaftskrise um 5 %.

Da der Stromverbrauch der Rechenzentren in Hessen zwischen 2008 und 2012 konstant geblieben ist, ergibt sich für das in dieser Untersuchung zugrunde gelegte Basisjahr 2010 auch ein Stromverbrauch von 1,75 TWh/a.

Trends

Smart 2020 (BCI und Gesi 2008, 21) dokumentieren weltweit in 2008 ca. 18 Mio. Server und erwarten in 2020 stolze 122 Mio. Server, unter Einrechnung von Virtualisierungseffekten ca. 83 Mio. Dies wieder würde einem Wachstum der Serverzahl von 13,5 % pro Jahr entsprechen.

Cloud Computing als Megatrend der IT wird die Bedeutung der Rechenzentren im gesamten IT-Kontext weiter anheben.

Um neue, sehr große Rechenzentren möglichst energieeffizient zu betreiben, werden sie zunehmend in nördlichen Regionen mit geringen Jahresdurchschnittstemperaturen errichtet. Hier kann weitgehend frei gekühlt werden. Deutschland kann von diesem Trend aufgrund der mittleren Außentempe-

raturen bislang noch nicht besonders profitieren. Durch Technologien, die den Serverbetrieb bei höheren Temperaturen ermöglichen, kann es allerdings in Zukunft möglich sein, auch in unseren Breiten noch mehr bzw. ausschließlich frei zu kühlen. Große energieeffizient gekühlte Rechenzentren könnten dann wieder nutzernah entstehen. Die Möglichkeit, hohe Temperaturen zu realisieren könnte damit zu einer Schlüsseltechnologie für den Rechenzentrumsstandort Frankfurt wie auch für andere Rechenzentrumsstandorte werden.

Prognose

Schreibt man die Trends bei der Entwicklung der Rechenzentren in Deutschland fort und geht davon aus, dass die Anteile der hessischen Rechenzentren bis zum Jahr 2015 in den einzelnen Kategorien konstant bleiben, so errechnet sich ein Energiebedarf der Server und Rechenzentren in Hessen im Jahr 2015 von 1,80 TWh/a. Dies sind dann ca. 20 % des Energiebedarfs aller Server und Rechenzentren in Deutschland

Tabelle 13: Abschätzung des Energieverbrauchs der Server und Rechenzentren in Hessen im Jahr 2015

Jahr	Rechenzentrums-Kategorie	Deutschland insgesamt		Hessen	
		Anzahl Rechenzentren	Energieverbrauch (in TWh)	Anteil an den Rechenzentren	Energieverbrauch (in TWh)
2015	Serverschrank	29.700	0,43	7,54 %	0,03
	Serverraum	18.000	1,37	7,54 %	0,10
	Kleines RZ	2.250	1,50	7,54 %	0,11
	Mittleres RZ	280	1,57	20 %	0,31
	Großes RZ	75	2,85	40 %	1,14
	Insgesamt in RZ		7,65		1,70
	Stand-Alone-Server		1,71	7,54 %	0,10
	Gesamt Server und Rechenzentren		9,71		1,80

Eine Abschätzung für das Jahr 2020 scheint uns gegenwärtig kaum möglich. Hier steht ein weltweit prognostiziertes Wachstum der Serverzahlen von 13,5 % p.a. bis 2020 in Smart 2020 (BCI und Gesi 2008, 21) einer Stagnation, regional sogar fallenden Verkaufszahlen in Westeuropa in den letzten zwei Jahren gegenüber (Fokus Online 2011, Computerwoche 2012, crn.de 2013). Wie die Verkaufszahlen sich weiter entwickeln und inwieweit der Internetknoten Frankfurt mit seinen Rechenzentren davon profitiert, ist von der Entwicklung der im Abschnitt Trends dargestellten Faktoren abhängig. Das Stromversorgungsunternehmen Mainova geht davon z.B. aus, dass sich der Stromverbrauch im Raum Frankfurt bis zum Jahr 2020 um 18 % im Vergleich zum Jahr 2010 erhöhen wird, vor allem getrieben durch eine Zunahme im Bereich Rechenzentren (Mainova Imagebroschüre, 5). Dies würde eine erhebliche weitere Zunahme an Rechenzentrumskapazitäten im Raum Frankfurt bedeuten.

Für diese Untersuchung wird konservativ unterstellt, dass die Entwicklung nach 2015 dem aktuellen Trend folgt. Damit errechnet sich ein Strombedarf der Server und Rechenzentren in Hessen von ca. 1,85 TWh im Jahr 2020.

Green IT Potenziale

Schon die Prognose geht von der Erschließung weiterer wesentlicher Energiesparpotenziale aus, denn sie sagt trotz steigender Rechenlast durch Cloud Computing im kommerziellen wie im privaten Bereich einen relativ konstanten Energieverbrauch der Rechenzentren voraus. Dies kann nur geschehen, wenn:

- die Virtualisierung von Servern weiter fortgesetzt wird,
- durch Strukturwandelprozesse weiter Rechenlast von weniger effizienten kleinen in effizientere größere Rechenzentren verlagert wird (wovon im übrigen die Region Frankfurt deutlich profitieren dürfte),
- weiterhin hocheffiziente Klima- und Stromversorgungstechnologien in immer mehr Rechenzentren eingebaut werden.

Dennoch gibt es ein hohes Green IT-Potenzial darüber hinaus. Allein durch die Nutzung vorhandener und aktuell wirtschaftlich zu betreibender Technologien ließe sich der Energiebedarf der Rechenzentren aktuell um 25 % reduzieren (siehe Abschnitt 4.4.1). Zusätzlich sind in neuester Zeit weitere Entwicklungen zu verzeichnen, die das Potenzial noch einmal erhöhen können:

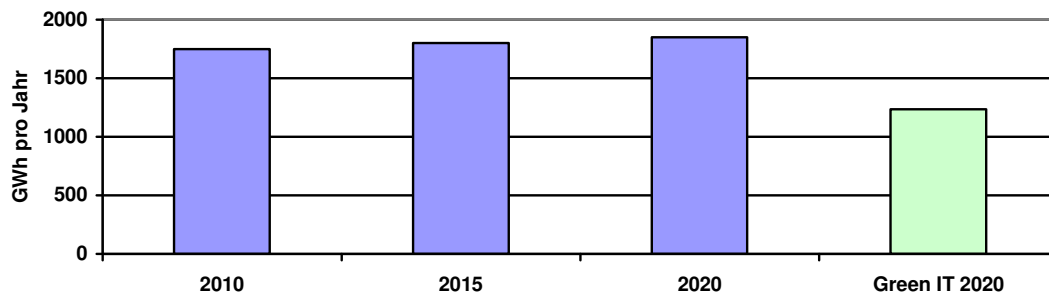
- Erste Rechenzentren richten die Beschaffung von IT-Hardware an der Bedingung aus, eine Zulufttemperatur von 26°C und eine Ablufttemperatur von 36°C zu realisieren. Damit wird freie Kühlung mit sogenannten adiabaten (befeuchteten) freien Kühlern bis auf ca. 100 bis 300 Stunden im Jahr möglich und der Stromverbrauch für Kältemaschinen kann deutlich reduziert werden.
- Das e-Cube Konzept ermöglicht ebenfalls eine Energieeinsparung beim Kühlen, die über das bisher mögliche hinausgeht. Auch dieses Konzept arbeitet mit vergleichsweise hohen Temperaturen.
- *„Unter dem Namen RECS (Resource Efficient Computing & Storage) entwickelte der deutsche Serverhersteller Christmann¹⁹ eine Serverarchitektur, die es durch konsequente Materialeffizienz erlaubt, bei Neubauten von Rechenzentren mehr als 50 Prozent der Herstellungskosten einzusparen. Im laufenden Betrieb sind ebenso hohe Einsparungen bei den Energiekosten möglich. Der*

¹⁹ Seit 2005 ist Christmann Informationstechnik + Medien GmbH & Co. KG Hersteller von leistungsfähigen und ressourceneffizienten (= material- und energieeffizienten) IT-Systemen, sowohl im Server- als auch im Desktopbereich. Seit Jahren entwickelt das Unternehmen Lösungen im Bereich hocheffiziente IT und Green-IT. Christmann hat beim Wettbewerb GreenIT Best Practice Award 2012 in der Kategorie 1 "Energieeffiziente Systeme" neben der Deutschen Bundesagentur für Arbeit gewonnen (Meyer 2012).

Schwerpunkt bei RECS liegt auf mittleren bis großen Infrastruktursystemen für die Hauptanwendungsbereiche Cloud-Computing und HPC (High Performance Computing)“ (Meyer 2012).

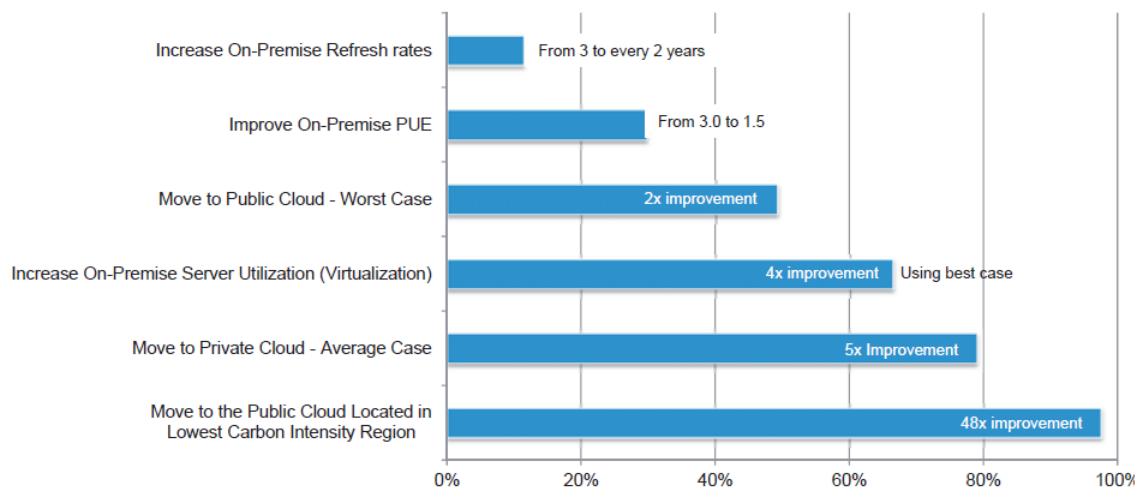
Mittelfristig erscheint es damit möglich, dass sowohl durch extrem effiziente Rechenhardware wie auch durch hohe Raumtemperaturen und effiziente Kühlung im Rechenzentrum jeweils Einsparungen von insgesamt ca. 30 % oberhalb des in der Prognose zugrunde gelegten Effizienzpfades möglich sein könnten.

Abbildung 16: Stromverbrauch der Rechenzentren in Hessen, Entwicklung bis 2015 und Green IT Potenziale bis 2020



Weiter wäre im Kontext der Rechenzentren auch der Frage nachzugehen, inwieweit diese durch effizientes Cloud Computing das Gesamtsystem der IT effizienter machen könnten. Sowohl im Kontext der IT-Endgeräte in Haushalten (Abschnitt 4.1) wie an den Arbeitsplätzen (Abschnitt 4.2) wurde davon ausgegangen, dass leistungsschwächere Endgeräte wie Tablets, Notebooks oder Thin Clients zunehmend eingesetzt werden, weil zeitgleich die Verlagerung der eigentlichen Rechenarbeit in die Cloud stattfindet. Schon eine Studie von Accenture und WSP (2010) stellt deutliche Effizienzvorteile von Cloud Computing in Großrechenzentren dar. Gegenüber der Datenverarbeitung in kleinen Serverräumen wird hier ein Effizienzvorteil (gemessen in CO₂-Emissionen) von über 90 % errechnet. Selbst gegenüber der Datenverarbeitung in den (ebenfalls großen) Rechenzentren von Großunternehmen nennt die Studie noch einen Effizienzvorteil des Cloud Computings von je nach eingesetzter Software 20 % bis 80 %. Im Auftrag des Natural Resources Defense Council stellte WSP Ende 2012 die Reduktionspotenzial für Treibhausgasemissionen durch Cloud Computing wie folgt dar.

Abbildung 17: Reduktionspotenzial für Treibhausgasemissionen durch Cloud Computing im Vergleich zu dezentralen, nicht-virtualisierten Servern in den USA



Quelle: WSP et al. 2012, 11

Treiber dieser hohen Treibhausgas-Effizienz ist zum einen die Virtualisierung der Server, zum zweiten die bessere Server-Ausnutzung, die aufgrund der Vielfalt der Kunden in der Cloud und effizienter Skalierung der jeweils eingesetzten Hardware möglich wird, und zum dritten der Energiemix der Stromerzeugung. Aus Sicht des Klimaschutzes scheint Cloud Computing selbst dann eine wichtige Option der Energieeffizienz zu sein, wenn hier die Effekte des Energiemixes nicht berücksichtigt werden. Bei der Bewertung des Cloud Computings aus energetischer Sicht ist allerdings auch der Energieverbrauch des Übertragungsnetzes zu berücksichtigen, der insbesondere im Fall der Mobilfunknetze einen erheblichen Anteil darstellen kann (siehe Abschnitt 4.3.2)

4.4.4 Leitlinien und Maßnahmen

Leitlinie für die Wirtschaftspolitik sollte sein, den Rechenzentrumsstandort Frankfurt zu sichern und auszubauen. Mit Blick auf die zentrale Lage Frankfurts für die Internetinfrastruktur und die gegenwärtig erfreuliche Eigendynamik scheinen hierzu gute Voraussetzungen zu bestehen. Die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit darf jedoch auch angesichts der guten Ausgangssituation nicht als Selbstverständlichkeit gesehen werden.

Die zentrale und erste Maßnahme besteht in der Gründung einer „Innovationsallianz Rechenzentren in Hessen“. Die Zielgruppe hierfür sind RZ-Betreiber in Hessen, ein Ankerunternehmen der Rechenzentrumstechnologie könnte die Rittal GmbH & Co KG in Herborn sein. Die Aktivitäten einer solchen Innovationsallianz können umfassen den Best Practice Austausch u.a. zum Thema Energieeffizienz sowie die Planung und Begleitung von Leuchtturmaktivitäten, z.B. Erprobung neuer Klimasysteme,

Hochtemperaturbetriebe (über 40°C Ablufttemperatur), hocheffiziente Server (z.B. RECS, vgl. Meyer 2012).

Innerhalb einer solchen Innovationsallianz sollte auch das geplante Rechenzentrum am GSI Helmholtz-Zentrum für Schwerionenforschung GmbH für die Beschleunigeranlage FAIR mit einer Kapazität von bis zu 50.000 Servern beteiligt werden. Die Technik wurde schon mit dem Green IT Best Practice Award ausgezeichnet (vgl. Beispiel e-cube Architektur weiter oben).

Weitere wesentliche Akteure, die in eine solche Innovationsallianz eingebunden werden sollten, sind Energieversorgungsunternehmen. Zu nennen ist hier insbesondere das Unternehmen Mainova mit dem oben bereits genannten sehr hohen Anteil von 20 % des Stromabsatzes für den Rechenzentrums-Hotspot in Frankfurt – wobei hier bis 2020 sogar mit weiter steigenden Anteilen gerechnet wird (Mainova Imagebroschüre, 5). Rechenzentren bieten also sehr interessante und attraktive Optionen für die künftige Gestaltung der Stromversorgung und für das Netzmanagement. Als Herausforderung und Chance können hier auch die Trends zu Verbesserungen der Effizienz von IT und Versorgungsinfrastrukturen im Teillastbereich sowie zu mehr Lastmanagement im Rechenzentrum gesehen werden. Beide Trends führen dazu, dass der Strombedarf der Rechenzentren künftig deutlich höheren zeitlichen Schwankungen unterliegt, aber gleichzeitig auch (in gewissen Grenzen) beeinflussbar wird.

Nicht zuletzt sollte aufgrund der hohen wirtschaftlichen Bedeutung der Rechenzentrumsbranche in Frankfurt auch die Stadt Frankfurt in eine solche Innovationsallianz integriert werden.

Leuchtturmprojekt Hocheffizienzrechenzentrum Hessen

Mit der zu gründenden „Innovationsallianz Rechenzentren in Hessen“ gemeinsam ist zu prüfen, ob und wie ein modellhaftes Hocheffizienzrechenzentrum Hessen eine positive Wirkung entfalten könnte. Aus heutiger Sicht erscheint offen, wie ein solches Leuchtturmprojekt bei begrenzten Mitteln seine maximale Wirksamkeit erreichen kann.

- Eine Möglichkeit wäre, alle verfügbaren Green IT Potenziale modellhaft einmalig in einem kleinen RZ zu realisieren und dieses quasi als Showroom des State-of-the-Art zu betreiben.
- Eine zweite Möglichkeit bestünde darin, im Rahmen geeigneter Projekte, in denen Rechenzentren völlig oder weitgehend neu errichtet werden, jeweils einzelne Cutting-Edge-Technologies zu demonstrieren und so im Lauf der Zeit ein Mosaik an Leuchtturmaktivitäten entstehen zu lassen.

Mit Blick auf den extrem schnellen Innovationsrhythmus der IT-Branche erscheint die zweite Möglichkeit deutlich attraktiver.

4.5 Status der Anwendung von Green durch IT-Lösungen

Green durch IT-Lösungen wird im Allgemeinen ein sehr hohes Potenzial zur Ressourceneinsparung zugeschrieben. So kommt die Studie „Smart 2020 Addendum Deutschland“ zu dem Ergebnis, dass mit „Green durch IT“ - Lösungen bis zum Jahr 2020 in Deutschland über 200 Mt CO₂e eingespart werden können.

Die vorliegende Studie stellt zunächst den aktuellen Umsetzungsstand von „Green durch IT“-Technologien dar. Mit Bezug zur Ausschreibung werden vier Bereiche der Smart Technologies analysiert: Smart Buildings, Smart Motors/Industry, Smart Grid und Smart Mobility. Zusätzlich werden IKT Anwendungen analysiert, die gegenwärtig den Konsum verändern.

4.5.1 Smart Buildings

Gebäude tragen mit ihrem Energieverbrauch (Wärme und Strom) zu einem wesentlichen Teil zum Energieverbrauch in Deutschland bei. Insbesondere der Verbrauch privater Haushalte ist dabei neben den Bereichen Industrie, Verkehr und Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen hoch, denn auf die privaten Haushalte entfallen 28 % des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs. Davon wiederum entfallen ca. 73 % auf Raumwärme (UGR, 2011) und damit Heizenergie. Der tatsächliche Heizenergieverbrauch im Gebäude hängt hauptsächlich von der Heiztechnik (Zentralheizung, Etagenheizung, Fernwärme, etc.), dem bauphysikalischen Zustand (Baujahr, Sanierungszustand, etc.), dem Klima sowie dem Verhalten der Nutzer ab. Ein großes Potenzial für Energieeinsparungen in Gebäuden liegt im mehrgeschossigen Wohnungsbau. Rund 53 % bzw. 21,5 Mio. privaten Haushalte in Deutschland leben in sogenannten Mehrfamilienhäusern, d.h. in Gebäuden mit drei und mehr Wohnungen (Statistisches Bundesamt, 2009, siehe auch **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Etwa die Hälfte der Wohnungen muss in den nächsten 20 Jahren energietechnisch saniert werden.

Tabelle 14: Wohngebäudeart privater Haushalte

Haushalt/ Gebäudeart	Einheit	Deutschland			Altes Bundesgebiet			Neue Länder / Berlin Ost		
		1998	2003	2008	1998	2003	2008	1998	2003	2008
Erfasste Haushalte	Anzahl	68.863	59.713	58.984	54.928	48.227	45.652	13.935	11.486	13.332
Hochgerechnete Haushalte	1000	36.703	37.931	39.077	29.921	30.861	31.771	6.783	7.070	7.306
Wohngebäude mit 3 und mehr Wohnungen	%	53,4	52,2	53,3	49,8	49,3	50,8	70,6	64,6	64,3
Einfamilienhaus	%	30,8	32	33	32,8	33,6	34,3	21,3	25,6	27,4
Zweifamilienhaus	%	14,3	13,9	11,9	15,9	15,2	13,1	7,3	8,2	6,7
Sonstige Gebäude	%	1,4	1,8	1,7	1,5	1,9	1,8	0,8	1,6	1,5

Quelle: Statistisches Bundesamt 2009.

Neben den bekannten, klassischen Dämm- und Sanierungsmaßnahmen (Außenwand-, Dach- und Kellerdeckendämmung, Tausch von Fenstern und Türen), durch die bis zu 30 % an Heizenergie in Gebäuden eingespart werden können, können IKT-Anwendungen einen vergleichbaren Beitrag leisten. Dies verdeutliche die folgenden Beispiele:

Adaptive Heizungssteuerung und Hausautomatisierungstechnik

Durch intelligenter Gebäude- und Hausautomatisierungstechnik lassen sich bis zu 30 % des Heizenergieverbrauchs einsparen (Riedel 2006; Riedel 2007). Die damit verbundenen Einsparpotenziale sind mit denen klassischer Wärmedämmverbundsysteme vergleichbar. Während in normalen Heizungsanlagen die Anpassung der Heizleistung über die Außentemperatur sowie indirekt über die Drosselung des Wärmeabrufs durch Thermostatventile in den Wohnungen erfolgt, nutzt eine adaptive Heizungssteuerung Informationen aus den einzelnen Wohnungen im Gebäude, um daraus kontinuierliche die optimale Heizkurve zu berechnen. Mit Hilfe von Sensoren und Aktoren, den hinterlegten Solltemperaturen und Nutzungsprofilen der Bewohner wird die erforderliche Heizleistung errechnet und der Kessel im jeweiligen Betriebsoptimum geführt. Zum einen kann so eine hohe Prognosegüte für den zeitlich variablen Heizbedarf eines Gebäudes erreicht werden und zum anderen kann die Steuerung über Optimierungsalgorithmen den in Bezug auf die Gebäudephysik und den Heizbedarf energetisch optimalen Verlauf der Heizkurve bestimmen.

Berechnungen des Borderstep Institutes haben ergeben (Beucker et al. 2012), dass sich durch eine gezielte Förderung dieser Technik und der Kombination mit klassischen Dämm- und Sanierungsmaßnahmen im mehrgeschossigen Wohnungsbau, die im Energiekonzept der Bundesregierung formulierte Zielsetzung einer Reduktion des Wärmeverbrauchs um 20 % bis zum Jahr 2020 erreichen ließen und sich CO₂-Emissionen in einer Größenordnung von 15 Mt vermeiden ließen.

Weitere Anwendungsfelder der Technik liegen in Immobilien der öffentlichen Hand (Schulen, Ämter, Verwaltungsgebäude etc.). Vergleichbare Erfolge werden auch durch den Einsatz von Mess-, Steuer- und Regelungstechnik für das Energiecontrolling und die Lüftungs- und Heizungssteuerung in Industrie und Gewerbe erzielt (Dena, 2009).

Beispiel: Dezentrales Energiemanagement

In Weißenfels, Sachsen-Anhalt hat die lokale Wohnungsbau und Wohnungsverwaltung Weißenfels GmbH vor mehr als 10 Jahren begonnen ihren Bestand an ca. 5.000 Wohnungen energetisch zu sanieren. Dadurch sollten die Nebenkosten für die Mieter reduziert sowie der Aufwand für Verwaltung, Wartung und Instandhaltung der Gebäudetechnik gesenkt werden.

Ein Teil der Wohnungen wurde mit einer adaptiven selbstlernenden Heizungs- und Lüftungssteuerung ausgestattet. Mit diesem System können in den Wohnungen und einzelnen Räumen die Solltemperaturen einfach und individuell eingestellt werden. Die zentrale Heizungssteuerung im Gebäude ermittelt aus diesen Daten optimale Vorheizzeiten und Mindesttemperaturen. Über eine Fernüberwachung und -steuerung der Anlagen können zudem Wartungsdiagnosen erstellt und Rückfra-

gen der Mieter zur Funktionsfähigkeit der Anlagen beantwortet werden. Durch das installierte System wurden Energieeinsparungen um rund 30 % erzielt und die Warmmiete konnten je Wohnung monatlich um durchschnittlich 49 Euro gesenkt werden.

Quelle: Dena, 2009

Trotz der großen erzielbaren Energieeinsparungen und verhältnismäßig geringer Investitionskosten (siehe Beucker et al., 2012), ist die Technik der adaptiven Heizungssteuerung noch relativ unbekannt und im Vergleich zur hochinvestiven Gebäudeaußendämmung wenig verbreitet. Insbesondere für Hessen und seine Ballungsgebiete mit hohem Anteil an Wohnungen im mehrgeschossigen Wohnungsbau ist das erschließbare Potenzial für Energieeinsparungen groß. Skaliert man den bundesdeutschen Wohnungsbestand von 21,5 Mio. privaten Haushalten auf Hessen herunter, so könnten 1,56 Mio. Haushalte mit der Technik ausgerüstet werden und große Mengen an Energie eingespart werden (siehe unten).

Über die Heizungs- und Lüftungssteuerung hinaus lassen sich mit Hausautomatisierungstechnik auch zukünftige variable Stromtarife nutzen. Geräte in Haushalten können so für ein Demand-Side-Management (siehe auch Kap. 4.5.3) erschlossen werden. Beucker et al. (2012, 17) zeigen, dass die zusätzlich erzielbare Stromkostenreduzierung in Haushalten durch Einsparungen und Verlagerung in Zeiten mit niedrigeren Tarifen bei bis zu 10 % liegen können. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen die durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten E-Energy-Projekte (siehe BAUM, 2012).

Elektronische geregelte Thermostatventile

Ein weiteres Beispiel für Energieeinsparungen, wenngleich auch kleinerer Größenordnung, liefern elektronisch geregelte Heizkörperthermostatventile. Diese ermöglichen das Einstellen einer Solltemperatur am Heizkörper. Da sie jedoch nicht über eine Verbindung zur Heizungssteuerung verfügen, sind die durch sie erzielbaren Energieeinsparungen geringer als im Fall der adaptiven Heizungssteuerung. Die Stiftung Warentest gibt die erzielbaren Einsparungen bei den Energiekosten mit ca. 10 % an²⁰.

Die Anzahl der in den etwa 40 Mio. deutschen Haushalten installierten Thermostatventile wird bei durchschnittlich 7 je Haushalt auf ca. 280 Mio. geschätzt. Davon sind ca. 107 Mio. (38 %) älter als 15 Jahre (alle Angaben siehe Ökoinstitut 2012, 7). Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von ca. 25 Jahren ergibt sich ein jährlicher Austausch von ca. 11 Mio. Geräten. Pro Jahr werden auf dem deutschen Markt ca. 1,5 bis 2 Mio. elektronische Heizkörperthermostatventile verkauft, davon ca. 0,5 Mio. Stück über Discounter (a.a.O.), was einem Marktanteil von 13 % bis 18 % entspricht. Einer der ersten Anbieter elektrischer Heizkörperthermostate war zum Ende des letzten Jahrtausends das Un-

²⁰ Siehe Testergebnisse unter <http://www.test.de/Heizkoerperthermostate-Auf-Sparen-programmiert-1672635-0/> (Abruf 20.02.2013)

ternehmen Honeywell (Stiftung Warentest 2000, 64). Geht man von einem linear wachsenden Marktanteil elektronischer Heizkörperthermostate aus, so lässt dies auf einen Bestand von 5 bis 8 Mio. Stück schließen.

In den 2,966 Mio. Haushalten in Hessen dürfte der Gesamtbestand an Thermostatventilen bei ca. 21 Mio. liegen, davon ca. 1 bis 1,5 Mio. (5 bis 7 %) elektronisch regelbar. 19,5 bis 20 Mio. Thermostate wären gegenwärtig noch von klassischer Bauart.

Fazit:

Der Endenergieverbrauch für Raumwärme in privaten Haushalten und im Gewerbe sank in den letzten Jahren von 587 TWh (2114 PJ) im Jahr 2000 auf 509 TWh (1833 PJ) in 2008 (DLR et al 2012, 62f). In den Haushalten in Hessen werden davon voraussichtlich 7,33 % verbraucht, also ca. 37 TWh/a.

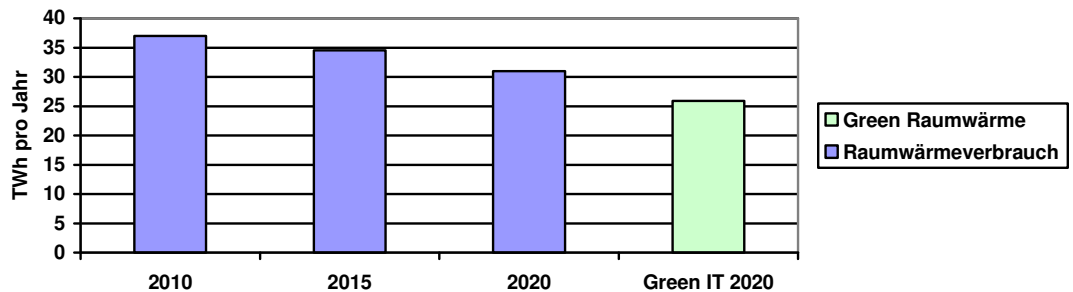
Trends:

Der Heizwärmeverbrauch von Gebäuden wird durch die energetische Sanierung und Dämmung wie auch durch den Ersatz von Alt- durch Neubauten weiter sinken. Es wird jedoch bezweifelt, dass die von DLR et al. (2012) in den BMU-Langfristszenarien zugrunde gelegte Geschwindigkeit gehalten werden kann. Aufgrund der Kapitalintensität von Dämmmaßnahmen wird die durch die Bundesregierung angestrebte Sanierungsrate von 2 %/a und die damit verbundenen vollständige Sanierung des Gebäudebestands bis 2050 als kaum realisierbar angesehen. Es wird daher als dringend notwendig angesehen ergänzende Maßnahmen z.B. aus dem Bereich der adaptiven Heizungssteuerung und Hausautomatisierungstechnik zu fördern und politische Maßnahmen (Ordnungsrecht, Zuschüsse, Abschreibungsregeln etc.) zu flankieren.

Prognose:

Lehnt man die Entwicklung des Raumwärmeverbrauchs in Hessen an das Szenario der Leitstudie des BMU (DLR et al. 2012, 126) an, ergibt sich folgende zu erwartende Entwicklung bis 2020.

Abbildung 18: Raumwärmeverbrauch der Haushalte in Hessen, Entwicklung bis 2020 und Green IT Potenziale



Green IT Potenziale:

Durch dezentrales Energiemanagement und Ausrüstung aller Wohnungen mit Temperatur-Einzelraumregelung in allen Mehrfamilienhäusern, die ca. 50 % des Wohnungsbestandes ausmachen (Hessisches statistisches Landesamt 2013b), könnten in diesen, vorsichtig geschätzt, ca. 25 % der Endenergie für Raumwärme eingespart werden. In energetischen Einheiten wären dies ca. 3,9 TWh/a.

Durch flächendeckenden Einbau elektronischer und zeitgesteuerter Heizkörperthermostate in allen anderen Objekten (was wieder ca. 50 % des Wohnungsbestandes ausmacht) könnten vom Endenergieverbrauch für Raumwärme in privaten Haushalten in Hessen in Höhe von ca. 31 TWh/a in 2020 die Hälfte der Objekte erschlossen und dort ca. 5 % bis 10 % gespart werden. Der Einbau elektronischer und zeitgesteuerter Heizkörperthermostate würde so weitere 0,75 bis 1,5 TWh einsparen.

4.5.2 Smart Motors – Smart Industry

In der produzierenden Wirtschaft in Deutschland verbrauchten in 2005 Elektromotoren insgesamt 161,2 TWh Strom, was einem Anteil von 64 % des Gesamtverbrauchs der produzierenden Wirtschaft entspricht (Fraunhofer ISI 2007). Der Anteil von Hessen wäre in Anlehnung an die Zahl der Arbeitnehmer in der produzierenden Wirtschaft von 6,53 % zu ca. 10,5 TWh/a zu errechnen. *„In Europa ist der Verkaufsanteil der Hocheffizienzmotoren – trotz ihrer hohen Wirtschaftlichkeit – in zehn Jahren von zwei Prozent auf rund neun Prozent gestiegen“* (UBA 2009). *„In den nächsten Jahren wird sich dieser Anteil erhöhen, denn laut EU dürfen ab 2011 Motoren der bisherigen Effizienzklasse EFF2 nicht mehr verkauft werden. ... Ein weiterer Schritt, den Wirkungsgrad der Elektromotoren zu erhöhen folgt ab Januar 2015: Dann dürfen in der Effizienzklasse IE2 im Leistungsbereich 7,5 kW bis 375 kW nur noch Elektromotoren mit Drehzahlregelung in Verkehr gebracht werden. Andernfalls müssen sie die höhere Effizienzklasse IE3 erfüllen. Ab Januar 2017 gilt dies auch für Elektromotoren des Leistungsbereichs 0,75 kW bis 7,5 kW“* (a.a.O.).

In den USA gelten seit Jahren Mindesteffizienzstandards. Dort erreichen die Hocheffizienzmotoren (IE2) bereits einen Anteil von 54 % und die noch effizienteren IE3-Motoren derzeit schon 16 %. In Deutschland und Europa liegt der Anteil der IE3-Motoren noch bei unter 1 % (Umweltbundesamt 2009).

Beispiel: Volkswagen

Seit 2001 werden [...] die Standard-Elektromotoren in der Produktion sukzessive auf Energiesparmotoren von Siemens umgestellt. Ausschlaggebend für Volkswagen war dabei die Betrachtung der Kosten über den gesamten Lebenszeitraum der Motoren. So überwiegen die über die Betriebsdauer akkumulierten Energiekosten den Anschaffungspreis eines Elektromotors in aller Regel bei weitem. Bei einer Nutzungsdauer von ca. 3.000 Stunden im Jahr und der typischen statistischen Lebensdauer eines Elektromotors - je nach Leistungsklasse zwischen 12 und 20 Jahre - liegt der Energiekostenanteil deutlich über 95 %, bei großen Motoren sogar über 99 %. Installation, Inbetriebsetzung und Wartung verursachen dagegen meist weniger als 1 % der Life-Cycle-Kosten und fallen daher kaum ins Gewicht. Selbst bei industrieüblich niedrigen Energiepreisen haben sich die Mehrkosten für einen

Energiesparmotor der Effizienzklasse EFF1 deshalb allein durch die Stromersparnis bereits nach 12 bis 18 Monaten amortisiert - und das schon im Vergleich zu EFF2-Motoren, die gegenüber herkömmlichen "Standard"-Motoren bereits wirkungsgradverbessert sind.

Die niedrigere Verlustleistung der EFF1-Motoren hat noch weitere positive Auswirkungen: In Betriebssituationen, die die Spezifikation des ursprünglichen Motors ausreizen - z.B. bei häufigem Grenzlastbetrieb, vielen Überlastzyklen, extremen Umgebungsbedingungen -, erwärmen sich EFF1-Motoren dank ihrer geringeren Verlustleistung deutlich weniger als ihre Pendanten in EFF2- oder gar EFF3-Ausführung. Diese geringere thermische und mechanische Belastung senkt die Ausfallwahrscheinlichkeit und verlängert die Lebensdauer des Motors. Der sehr niedrige Schmiermittelbedarf wirkt sich zudem günstig auf Wartungsintervalle und -kosten aus.

Quelle: Siemens 2006

Die Studie Smart 2020 (BCG & GeSi 2009) arbeitet aus dem Kontext von Smart Industry ausschließlich den Bereich Smart Motors aus. Die Einsparpotenziale werden dabei zu ca. 70 % den „variable speed motor systems“ zugeordnet, zu ca. 30 % den „ICT driven automation in key industrial processes“. Diese zweite Kategorie lässt darauf schließen, dass auch die Vielfalt der Prozessinnovationen mitgedacht wurde. Beide Kategorien zusammen werden aber wieder als „Total ICT Smart Motor System Abatements“ bezeichnet. Dies lässt den Schluss zu, dass der größte Teil des Gesamtstromverbrauchs der produzierenden Wirtschaft eben gerade für Motorantriebe genutzt wird. Auch Verfahrens-ICT wirkt sich daher letztlich indirekt über verringerte Motorleistung auf den Stromverbrauch aus. Hinzu kommen ggf. noch verringerte Wärmebedarfe. Die Prozesswärmebedarfe der Industrie sehen aber wiederum DLR et al. (2012, 127) bis 2020 nur wenig um ca. 10 % heruntergehen.

Große Potenziale liegen auch im Zustandsmonitoring von Motoren, Maschinen und Anlagenteilen sowie der Optimierung von industrieller Prozesssteuerung und Fertigungslogistik (Schischke et al., 2009). Dabei wird neben Energiesparpotenzialen auch die Ressourcennutzung effizienter, denn durch Zustandsüberwachung kann Verschleiß vorher erkannt und Anlagen können gewartet werden, bevor Schäden eintreten. Damit kann letztlich „graue Energie“ zur Produktion von Ersatzteilen eingespart werden, die aber nur durch aufwendige Ökobilanzen für Einzelfälle zu quantifizieren wäre.

Zwei neuere Studien zu Smart Industry in Deutschland stammen von der Forschungsunion (2012) sowie von acatech (2012). Hier wird zwar das Leitbild eines Internets der Dinge weiter ausgearbeitet, eine Abschätzung der aus der Anwendung folgenden Energieeinsparpotenziale findet aber nicht einmal im Ansatz statt. Der letztlich heute quantifizierbare Teil der Perspektive Smart Industry ist daher der Bereich Smart Motors.

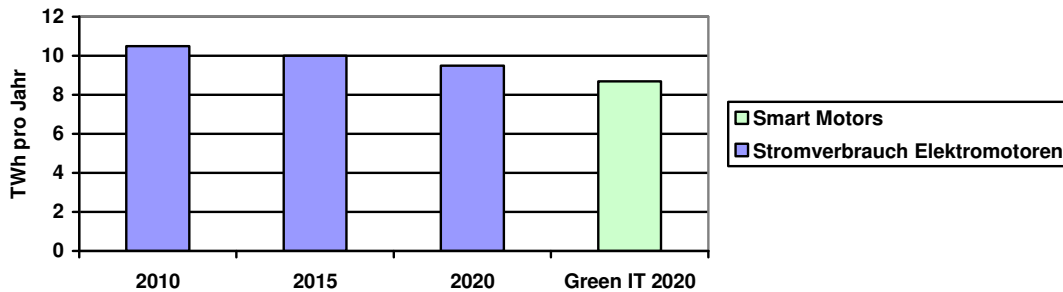
Trend:

Mit Blick auf die hohe Wirtschaftlichkeit von drehzahlgeregelten Motoren kann von einer eigendynamischen Diffusion ausgegangen werden.

Prognose:

Die vom Fraunhofer ISI (2007), UBA (2009) und der Boston Consulting Group (2009) benannten Potenziale lassen auf einen langsamen Rückgang der Stromverbräuche durch Elektromotoren um ca. 15 % schließen.

Abbildung 19: Stromverbrauch der Elektromotoren in der produzierenden Industrie in Hessen, Entwicklung bis 2020 und Green IT Potenziale



Green IT Potenziale:

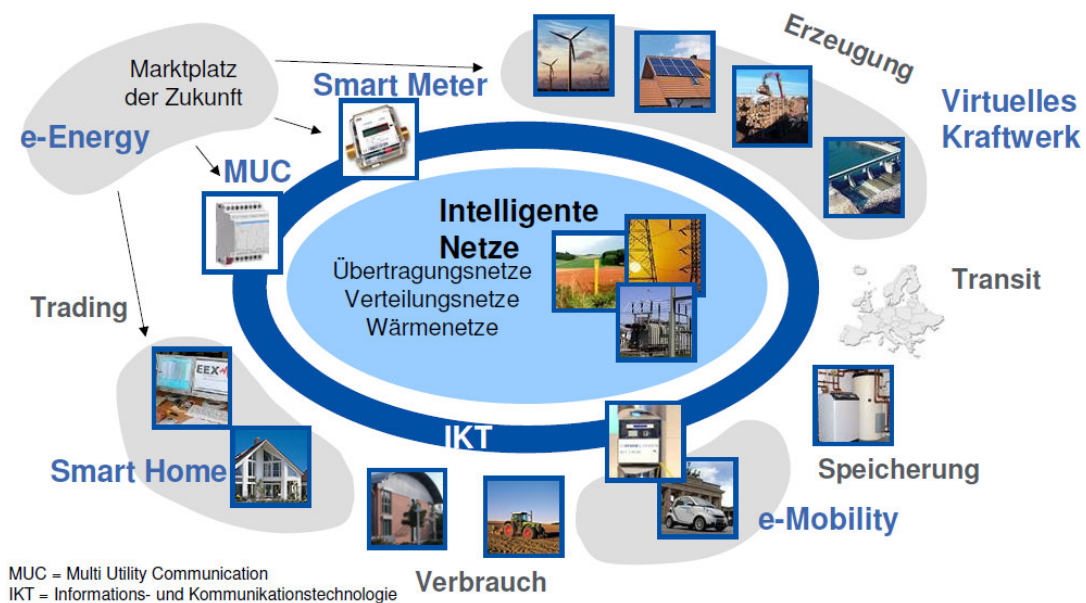
Für Deutschland rechnete das UBA 2009 mit einem mittelfristigen Einsparpotenzial durch energieeffiziente Elektromotoren von 27 TWh/a. Auf Hessen mit seinem Anteil von 6,53 % an den Erwerbstätigen der produzierenden Wirtschaft würden davon ca. 1,76 TWh/a entfallen. Mit Blick auf die bestehenden und zu erwartenden Vorschriften ist es grundsätzlich nicht nötig, hier tätig zu werden, jedoch wirft das Beispiel Volkswagen einen Blick auf das Problem aus der Kostenperspektive.

Es wäre also möglich, das Thema Smart Motors über die Wirtschaftsförderung bzw. -beratung als Ansatz der Kostensenkung zu kommunizieren.

4.5.3 Smart Grid

Das deutsche Stromnetz wird in den kommenden Jahren erheblich umstrukturiert werden. Grund dafür ist zum einen der hohe Investitionsbedarf in die veraltete Netzinfrastruktur, denn seit der Liberalisierung des Strommarktes 1998 sind die Investitionen in die Netzinfrastruktur deutlich zurückgegangen (Mattes 2013). Zum anderen liegt der Grund in dem aus der Energiewende erwachsenden Änderungsbedarf hinsichtlich eines engmaschigeren und intelligenteren Stromnetzes. Strom wird künftig durch eine Vielzahl von Energieproduzenten dezentral eingespeist werden. Die Netzbetreiber haben verschiedene Möglichkeiten, auf diese Entwicklung zu reagieren, RWE (Heinen 2011) zeigt die Möglichkeiten des Smart Grid im Überblick:

Abbildung 20: Komponenten des Smart Grid



Quelle: Heinen 2011

Rund um das Stromnetz sind mindestens drei neue Technologien von zentraler Bedeutung: Die Optimierung unterschiedlicher Kraftwerke und Energieerzeugungsanlagen im Verbund (auch virtuelles Kraftwerk genannt), die Erschließung regelbarer Stromverbraucher zur gezielten Kappung positiver wie negativer Lastspitzen sowie die damit letztlich zusammenhängende Technologie des Smart Meters.

Virtuelle Kraftwerke

Mit einem virtuellen Kraftwerk soll durch Regelung einzelner Komponenten erreicht werden, dass sich eine Gruppe von Stromerzeugern mit zeitlich schwankender Erzeugung insgesamt so verhält wie ein Grundlast (oder ein anderes an der Strombörse gehandeltes Produkt, s.u.) lieferndes Kraftwerk. Ein virtuelles Kraftwerk stellt ein System aus mindestens drei Komponenten dar: Stromerzeuger, Energiespeicher und Regelung.

Zum Verständnis der ökonomischen Rationalität des virtuellen Kraftwerks ist es wichtig zu wissen, dass am Strommarkt nicht nur Strom in Megawattstunden gehandelt wird, sondern auf unterschiedlichen Handelsplätzen, je nach Über- oder Unterangebotsituation, sehr unterschiedliche Leistungen bezahlt werden. So werden folgende Produkte an der Strombörse gehandelt (Keitlinghaus 2011):

- Langfristige Versorgung (über x Jahre),
- 24h-Block (Grundlast),

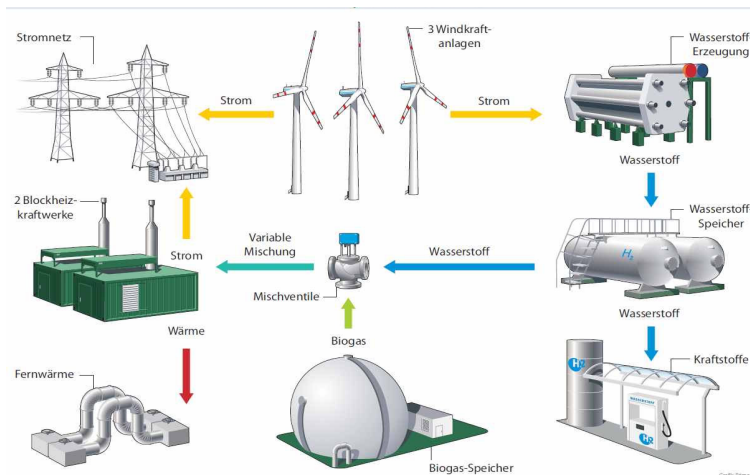
- 12h-Block (Spitzenlast),
- Einzelstundenverträge,
- Regelenergie (Ziel: 50Hz),
- Primärregelenergie (0-30sek. autom.),
- Sekundärregelenergie (0,5-15min. autom.),
- Minutenreserve (15-60 min.).

Biogasanlagen z.B. eignen sich nicht nur zur Grundlastherzeugung, sondern auch zur Bereitstellung negativer Minutenreserven, da die Anlage einige tausend Kubikmeter Gas aufnehmen kann, das BHKW also problemlos einige Zeit heruntergefahren werden kann (Keitlinghaus 2011). Durch den Verkauf „negativer Minutenreserve“ an der Leipziger Strombörse hofft z.B. die Next Kraftwerke GmbH dem Biogasanlagenbetreiber einerseits eine Kompensation bei Deaktivierung in Höhe von 30ct/nicht eingespeister kWh zahlen zu können sowie darüber hinaus eine Bereitschaftsvergütung von ca. 14.000€/a für eine 500 kW-Anlage (Keitlinghaus 2011).

In ähnlicher Weise kontraktiert die Balance Power GmbH in Hannover (2011) Notstromgeneratoren, deren Zusatzleistung sie als positive Minutenreserve vermarktet.

Andere Konzepte wie z.B. von Enertrag sehen zur Erzielung zeitlicher Steuerbarkeit einen Wasserstoffspeicher vor.

Abbildung 21: Funktionsprinzip eines virtuellen Kraftwerks

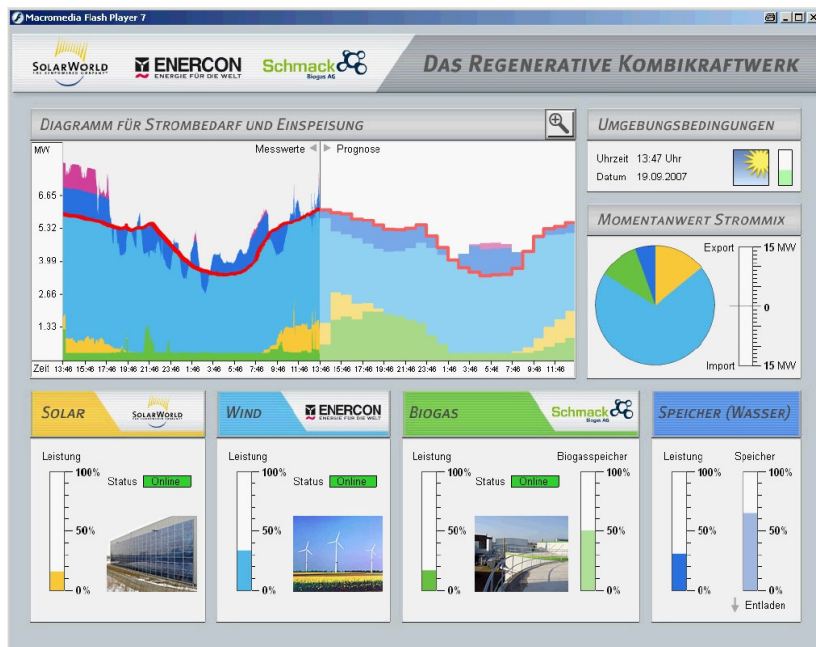


Quelle: Enertrag 2011

Mit dem ersten regenerativen Kombikraftwerk haben Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik und zahlreiche Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft gezeigt, dass der Strombedarf allein aus erneuerbaren Energien in Kombination mit Speichern ge-

deckt werden kann (Kombikraftwerk 2011). Im Ergebnis wird gezeigt, dass die kombinierte Kurve der Strombereitstellung der Bedarfskurve folgt:

Abbildung 22: Diagramm für Strombedarf und Einspeisung des 1. Kombikraftwerks



Quelle: DENA 2008

Ein Folgeprojekt „Kombikraftwerk 2“ soll nun erproben, ob 100 % erneuerbare Energien in Kombination mit Stromspeichern eine stabile Stromerzeugung und Netzversorgung gewährleisten können – ganz ohne fossile und nukleare Kraftwerkskapazitäten (Kombikraftwerk 2011).

Wie weit stellen aber virtuelle Kraftwerke ein wirtschaftliches Potenzial für Hessen dar?

Durch die intelligente Steuerung von Kraftwerkskapazitäten kann der Neubau von Kraftwerken bzw. Speichern vermieden werden, wodurch ein Umweltentlastungseffekt erzielt wird, der die ökonomische Effizienz der Energieversorgung verbessert.

Einer Untersuchung von Ecofys zufolge ging im Jahr 2011 der Rekordwert von bis zu 407 Gigawattstunden (GWh) Windstrom durch Zwangsabschaltung verloren, 2010 waren es erst 150 GWh (Ecofys 2012, 4). Die Gründe hierfür lagen in fehlender zeitgleicher Abnahme und zu schwachen Leitungen. Bezogen auf eine Windstromerzeugung von 2011 insgesamt 48,9 TWh (BMU 2012, 14) entspricht dies einem Anteil von 0,83 %. Bei einem Preis von 50 €/MWh ist dies in 2011 mit einem Verlust von ca. 20 Mio. € zu bewerten. Diese Verluste traten primär in Nord- und Ostdeutschland auf. Der Anteil Hessens muss schon deswegen niedrig sein, weil in Hessen nur ca. 0,69 GW (ca. 2,3 %) der bundesweit installierten 29 GW Windleistung installiert sind (BWE 2013).

Der Anteil der Photovoltaik an den Verlusten durch Zwangsabschaltung ist anteilig vermutlich höher. Fraunhofer ISE (2013, 26) beruft sich mit einer Angabe von Verlusten in Höhe von 2 % bis 5 % allerdings auf eine internationale Zeitschrift aus 2011 und nicht auf aktuelle und nationale Primärdaten. Für Schleswig-Holstein liegen solche Primärdaten zwar vor (Ecofys 2012a), weisen aber für das eher auf Windenergie orientierte Schleswig-Holstein erwartungsgemäß nur einen kleinen Anteil an PV an den Verlusten aus.

Im Jahr 2011 existierten in Deutschland insgesamt 7.215 Biogasanlagen, davon 170 in Hessen (Statista 2013b), was ca. 2,3 % entspricht. Für die Biogasanlagen reduziert die Technologie des virtuellen Kraftwerks weniger das Risiko von Abschaltverlusten; eher stellt sie eine Chance für zusätzliche Gewinne dar. Aber auch hier ist die Bedeutung mit Blick auf die überschaubare Anlagenzahl für Hessen klein.

Die Technologie des virtuellen Kraftwerks wird auch für Hessen eine hohe Bedeutung für die Erzielung von Netzstabilität haben. Smart 2020 Addendum Deutschland (BCG und GeSI 2009, 49f.) sieht das virtuelle Kraftwerk als Schlüsseltechnologie für den Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung. Das erhebliche CO₂-Reduktionspotenzial virtueller Kraftwerke liegt darin, dass sie die Einspeisung eines höheren Anteils von regenerativem Strom überhaupt erst ermöglichen. Sie führen also dazu, dass z.B. fossile Kraftwerkskapazitäten nicht mehr oder weniger in Betrieb sind.

Beispiel: Virtuelles Kraftwerk der ABG FRANKFURT HOLDING und der Mainova AG

Die ABG FRANKFURT HOLDING und die Mainova AG haben im April 2012 Frankfurts erstes Virtuelles Kraftwerk mit BHKW gestartet. Es werden zunächst zehn BHKW in verschiedenen Liegenschaften der ABG mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik vernetzt.

Das Virtuelle Kraftwerk der Mainova und ABG soll aber wachsen und bestehende BHKW in das Netzwerk einzubinden, unabhängig von Hersteller, Typ und Baujahr. In Frankfurt gibt es nach Recherchen des Energiereferats Frankfurt rund 200 BHKW mit einer Gesamtsumme an elektrischer Leistung von ca. 25 MW, diese könnten in das virtuelle Kraftwerk integriert werden. Das Energiereferat beziffert zudem das zusätzliche Potenzial an BHKW in Frankfurt mit 40 MW. Neben BHKW anderer Betreiber sollen zukünftig auch Stromverbraucher in den Verbund aufgenommen werden.

Durch die zentrale Steuerung der BHKW soll die Erzeugung der Wärme möglichst auf die Zeiten verschoben werden, wenn Strom im Netz benötigt wird. Diese zeitliche Entkoppelung erfolgt durch Warmwasserspeicher, denn die Wärmeversorgung soll nicht beeinträchtigt werden. Das Virtuelle Kraftwerk verwendet als Indiz für das Stromangebot aus Wind und Sonne den Strompreis an der Leipziger Börse EEX. Über den Fahrplan soll die Stromerzeugung in die "teuersten" Stunden verlagert werden.

Quelle: Darstellung leicht verändert übernommen von ABG Nova 2012

Demand Side Management und Smart Meter

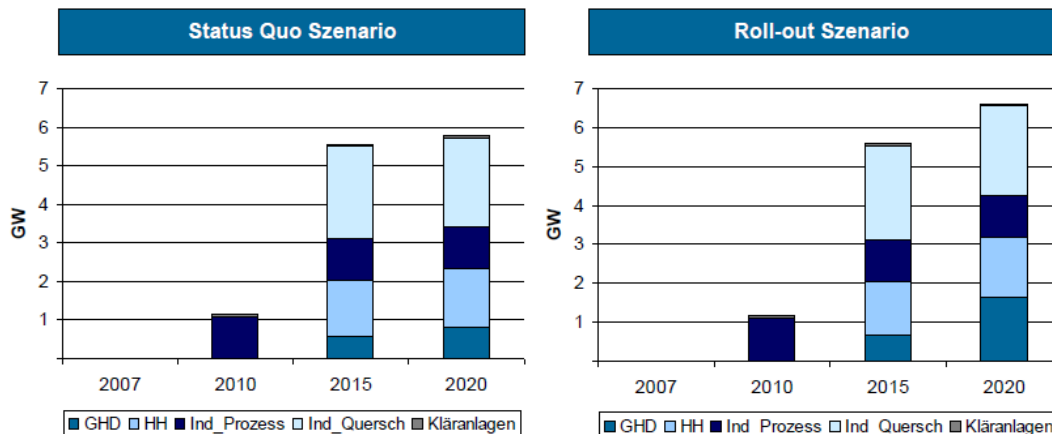
Das Demand Side Management (DSM) strebt an, durch entsprechende Ausrüstung stromintensiver Geräte zeitliche Verschiebungen (Lastverschiebung) der Nachfrage zu ermöglichen. Diese Reaktionen der privaten wie gewerblichen Stromverbraucher sollen dadurch induziert werden, dass:

- zum einen Stromzähler eingebaut werden, die die Abrechnung von über die Zeit wechselnden Tarifen ermöglichen (Smart Meter),
- zum zweiten die stromverbrauchenden Geräte und Anlagen so gebaut werden, dass sie sich durch eine Regelung nach jeweils gerätespezifisch eigenen Regeln steuern lassen,
- zum dritten der Stromtarif zeitlich variiert wird (billiger bei hohem und teurer bei knappem Stromangebot), so dass für die Endkunden ein ökonomischer Anreiz entsteht, bestimmte Geräte und Anlagen entweder früher oder später als geplant zu betreiben.

Weiter ist erforderlich, durch eine Überwachung des Netzes die Situationen von Über- und Unterangebot schnell zu erkennen und kurzfristig in Tarifsignale umzusetzen, nach denen dann wiederum die privaten und kommerziellen Endkunden ihr Verbrauchsverhalten ausrichten können. Voraussetzung für das Demand Side Management ist ein insgesamt intelligenteres Stromnetz, in welchem Stromerzeugung, Speicherung und Verbrauch so gesteuert werden können, dass einerseits die Versorgungssicherheit gewährleistet wird und andererseits Umweltauswirkungen und Kosten reduziert werden.

Bei installierten Kraftwerkskapazitäten von ca. 140 GW im Jahr 2008 (BMU 2011, 7) wird das Potenzial für ein Demand Side Management auf 5 bis 7 GW im Jahr 2020 geschätzt:

Abbildung 23: Durchschnittlich verfügbares DSM-Potenzial in Summe über alle Sektoren in Deutschland bis zum Jahr 2020



Quelle: Dena 2010, 535

Die DENA Netzstudie beurteilt das Potenzial des DSM als wichtigen Baustein für die Netzentwicklung: *„In allen im Rahmen dieser Studie untersuchten Sektoren, dem Haushaltssektor – dem GHD Sektor, dem Industriesektor sowie im Bereich kommunaler Einrichtungen – werden technische Potenziale für Demand Side Management bis zum Jahr 2020 erschlossen. Durch den massiven Einsatz von DSM im Bereich der Vorhaltung von Reserveleistung und Absicherung von Spitzenkapazitäten trägt DSM weit reichend zur Integration der erneuerbaren Energien in den deutschen Strommarkt bei. Dies wird zusätzlich, wenn auch moderat, durch Lastverschiebungen auf dem Großhandelsmarkt („Peak-Shaving“ und „Valley-Filling“) verstärkt. Die Nutzung von DSM im deutschen Strommarkt ermöglicht insgesamt Einsparungen von Spitzenlast- und Mittelastkapazität von rund 8,5 GW bis zum Jahr 2020. Hierdurch können kumulierte Kostenreduktionen von mehr als 10 Mrd. € realisiert werden, die insbesondere auf die Reduktion der Investitionskosten im konventionellen Kraftwerkspark zurückzuführen sind“* (DENA 2010, 542).

Zu berücksichtigen ist beim Verständnis von Demand Side Management Potenzialen auch, dass sie zu einem großen Teil nur kurzfristig in Anspruch genommen werden können. So schätzen von Roon und Gobmeier (2010, 15) das DMS-Potenzial in der Industrie für die ersten 5 Minuten auf 9 GW, schon nach 15 Minuten beträgt es nur noch 4,5 GW, nach einer Stunde ca. 2,2 GW und nach 4 Stunden nur noch 1 GW. Dies erklärt sich so, dass manche Prozesse, wie z.B. die Kühlung eines Kühlhauses, zwar einige Zeit aufgeschoben werden können, aber eben nicht beliebig lange. DSM dürfte recht gut zu nutzen sein, um z.B. den regelmäßigen Stromerzeugungsspeak der Photovoltaikanlagen gezielt und zeitnah zu verbrauchen. Mit Blick auf eine zweiwöchige Starkwindphase oder Flaute an der Nordsee hingegen dürfte die Bedeutung von DSM begrenzt sein.

In Hessen waren Ende 2011 schon 1.178 MWp Photovoltaik installiert (Agentur für Erneuerbare Energien 2013). Dies entsprach von den Ende 2011 bundesweit installierten 24,8 GWp (BSW-Solar 2012) einem Anteil von immerhin 4,7 %. DSM hätte daher auch für Hessen ein nicht unerhebliches Problemlösungspotenzial.

Zum Verständnis der realisierbaren DSM-Potenziale sind auch die Kostenschätzungen hilfreich, die die Dena in Bezug auf die Erschließung der Anlagen für eine zentrale Regelbarkeit vornimmt:

Tabelle 15: Investitionskosten für die untersuchten DSM-Prozesse je Sektor

Stromintensive Prozesse	Investitionskosten [€/kW] (Lernrate 7% pro Jahr)	
	2010	2020
Haushaltssektor		
Nachtspeicherheizung	2 – 42	< 1
Umwälzpumpen	779 – 3.850	16 – 77
Wärmepumpen	8 – 153	< 1 – 4
Elektrische Warmwasserbereitung	24 – 475	< 1 – 10
Kühleschränke, Gefrierschränke	3.000	600
Wasch-, Spülmaschinen, Trockner	150	3
GHD-Sektor		
Prozesskälte	3 – 886	< 1 - 55
Prozesswärme	28 – 179	2 - 13
Klimakälte	15 – 592	1 - 37
Nachtspeicherheizungen	8 – 46	< 1 - 3
Belüftungssysteme	349 – 1.227	25 - 87
Industriesektor		
Chloralkalielektrolyse	~ 1	~ 1
Aluminiumelektrolyse	~ 1	~ 2
Elektrolichtbogenofen	< 1	< 1
Roh- und Zementmühlen	7.071	14.141
Papierherstellung	7.071	14.141
Druckluft	22	< 2
Belüftungssysteme	389	28
Prozesskälte	4	< 1
Kommunale Einrichtungen		
Klärwerke	14 – 746	14- 746

Quelle: Dena 2010, 532

Der sich hier spiegelnde Investitionsaufwand wird dazu führen, dass sich DSM zunächst bei Anlagen etabliert, die viel Energie verbrauchen und ohne hohen Aufwand auf zentrale Steuerung umzurüsten sind.

Seiner Intention nach kann durch DSM aber nicht mit Einsparungen gerechnet werden. Im Kontext der privaten Haushalte wurde dennoch die Hypothese aufgestellt, dass ein Smart Meter nicht nur zu einer Verlagerung des Verbrauchs in Zeiten mit günstigen Tarifen führt, sondern die zeitnahe Verfügbarkeit von Verbrauchsdaten auch stromsparende Aktivitäten aller Art induziert.

Während BCG und Gesi (2009, 49) noch von einem Einsparpotenzial zwischen 5 % und 15 %, im Mittel 6,5 % berichten, die im Jahre 2006 in einer Studie in 400 Haushalten ermittelt wurden, ermittelt ein aktueller Feldversuch mit 2000 Haushalten, der im Kontext der sozialökologischen Forschung durchgeführt wurde, nur noch realisierte Einsparpotenziale von immer noch erheblichen 3,7 % (Intel-

liekon 2011, 8), was einer Strommenge von 125 kWh/a (Bezugspreis bei 25 Cent/kWh ca. 31 €/a) entspricht. In denjenigen Haushalten der Studie, denen ein deutlich gesplitteter Tarif angeboten wurde, konnten dennoch nur 2 % des Verbrauchs zeitlich verlagert werden. Dabei erzielten die Nutzer mit Verbrauchsfeedback und gesplitteten Tarifen aber deutlich höhere Einsparungen von knapp 9,5 %. Die durch das Smart Meter und das Webportal bereitgestellten Informationen verloren dabei für alle Nutzergruppen schnell an Reiz und wurden schon nach wenigen Monaten kaum noch abgerufen.

Die durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten E-Energy-Projekte ermittelten Einsparungen im Stromverbrauch von Haushalten von bis zu 5 % (BAUM 2012). Die Bereitschaft der Kunden aufgrund variabler Tarife Verbrauchsverlagerungen vorzunehmen, wird von den einzelnen E-Energy-Vorhaben sehr unterschiedlich bewertet. Sie hängt von einer Vielzahl von Faktoren wie der Tarifspreizung (in den E-Energy-Vorhaben wurden Tarife zwischen 10 und 60 Ct/ kWh genutzt), dem für die Einsparung notwendigen Aufwand und den Haushalten ab. Derzeit liegen nur vorläufige Auswertungen aus den E-Energy Modellregionen vor. Es wird jedoch von einer möglichen zeitlichen Verlagerung des Stromverbrauchs in Haushalten von 5 bis 10 % ausgegangen (BAUM 2012).

Beispiel: Demand Side Integration im Projekt web2energy

Im internationalen Projekt web2energy (www.web2energy.com) ist mit der Südhessischen Energie AG auch ein hessischer Versorger beteiligt (HEAG 2013). Ziel ist, Demand Side Integration im Verteilnetz Darmstadt mit einem virtuellen Kraftwerk und regelbaren Lasten zu erproben. Außerdem werden seit August 2011 in 6 Ortsbereichen des Netzes 200 Haushaltskunden in ein System variabler Tarife eingebunden. Die Bereitschaft der Kunden zur Teilnahme war prinzipiell gegeben. Allerdings ließ die Aufmerksamkeit für die manuelle Verschiebung des Verbrauchs in Schwachlastzeiten mit der Zeit nach, so dass für einen Erfolg entweder die monetären Anreize sehr hoch sein müssen oder die Geräte automatisch reagieren müssen.

Quelle: Buchholz et al. 2012

Geht man davon aus, dass ähnliche Einspareffekte nicht nur in Privathaushalten, sondern auch in Gewerbe und Dienstleistungsunternehmen erzielt werden können (Gölz 2010, 16), so ergibt sich bei einem GHD-Gesamt-Stromverbrauch von 25.559 GWh in 2009 ein Einsparpotenzial von 3,7 % oder ca. 945 GWh. Da dieser Effekt bereits mit einem einfachen Smart Meter erzielt werden kann, welches weniger Strom verbraucht als der übliche Ferraris Zähler (Behrendt 2011, 16), liegt letztlich der Einspareffekt noch ein wenig höher. Ein schlankes Smart Meter mit der Mindestmessrate nach Bundesnetzagentur (BNA), Übertragung der Werte je Gebäude und einem einfachen 8" Display kann im Vergleich zum Ferraris-Zähler demgegenüber sogar einen niedrigeren Verbrauch von ca. 16,5 kWh/a haben. Berücksichtigt man diese Eigenverbräuche, dann verändern sich die oben angegebenen Einsparungen. Für ein reines Verbrauchsfeedback verbessern sich die Einsparungen von etwa 125 kWh/a durch den Minderverbrauch des Messgerätes auf ca. 140 kWh/a und für den gesamten GHD-Bereich in Hessen auf ca. 1050 GWh/a.

Sollte durch gesplittete Tarife und Feedback der Verbrauchsinformationen ein höherer Einspareffekt eintreten so könnte dieser bei 9,5 % oder 2.415 GW liegen. In Betracht gezogen werden muss aber, dass die hierfür notwendige Smart Meter Technologie höhere Eigenverbräuche hat als die bisher üblichen, analogen Ferraris-Zähler. Diese verbrauchen selbst ungefähr 30 kWh/a (Behrendt 2011, 16). Ein Smart Meter mit Echtzeit-Visualisierung, GRPS-Übertragung und 14" Farbdisplay kann hingegen durch einen Eigenverbrauch von 109 kWh pro Jahr einen nicht unerheblichen Anteil der Einsparungen selbst wieder verbrauchen (Behrendt 2011, 17). Den Einsparungen von 2.415 GWh/a stehen jetzt Eigenverbräuche der aufwendigen Smart Meter von ca. knapp 600 GWh/a gegenüber. Die Kosten von Smart Metern werden derzeit weniger durch Komfortaspekte als vielmehr durch Anforderungen aus dem Datenschutz bestimmt. Für die meisten Anwendungen würde ein technisch einfaches Gerät ausreichen.

Zur Beurteilung der Einsparpotenziale sollte auch in Betracht gezogen werden, dass ca. 75 % der im Haushalt erschließbaren Einsparpotenziale investiven Charakters sind (Bürger 2009, 80ff). Geht man davon aus, dass die Einsparpotenziale investiven Charakters wie der Tausch von Glühbirnen gegen LED-Leuchten, der Ausbau von Nachtspeicherheizungen oder der Neukauf energieeffizienter Elektrogeräte auch unabhängig von Smart Metern durch einschlägige Maßnahmen wie Verbote oder Label deutlich vorangetrieben wird, dann ist zu schließen, dass ein Smart Meter diese Einsparpotenziale bestenfalls ein paar Jahre früher erschließt.

Einsparpotenziale durch geändertes Nutzungsverhalten werden durch Bürger (2009, 84) wie folgt beschrieben: *„Die größten absoluten Einsparwerte ergeben sich dabei aus dem Verzicht auf den Wäschetrockner (262 kWh/a), also die Rückkehr zum Trocknen an der Luft, sowie aus Verhaltensänderungen im Bereich des Kochens und Backens (123 kWh/a), der optimierten Beladung der Spülmaschine inkl. Warmwasseranschluss (140 kWh/a), einer bedarfsangepassten Reduktion der Leistung der Heizungspumpe (125 kWh/a) sowie einer Optimierung des Waschverhaltens (optimierte Beladung + Temperaturwahl + Warmwasseranschluss). Die Einsparpotenziale, die sich aus dem Warmwasseranschluss von Wasch- und Spülmaschine ergeben, setzen allerdings voraus, dass hierfür günstige Bedingungen am jeweiligen Anschlussort vorliegen...“* Abgesehen davon, dass der Verzicht auf den Wäschetrockner eigentlich eine De-Investitionsentscheidung ist und auch die Reduktion der Leistung der Heizungspumpe nicht durch Verhalten, sondern durch Neukauf erreicht wird, ist die Frage zu stellen, ob durch Smart Metering ein kontinuierlicher Anreiz zur Änderung und Beibehaltung eines energiesparenden Nutzungsverhaltens erreicht werden kann. Diese Frage ist umso plausibler, als die Verhaltensänderung langfristig aufrechterhalten werden muss, die Informationen der Smart Meter aber nur wenige Wochen lang überhaupt rezipiert werden (Intelliekon 2011, 7).

Als Konsequenz ist abzuleiten, dass jede gute Smart Meter Technologie einen geringeren Eigenverbrauch aufweisen sollte als die Ferraris-Zähler. Denn wenn sie selbst einen Beitrag zum Energiesparen leisten würde, könnte ihre Nützlichkeit durch solche Überlegungen nicht in Frage gestellt werden. Durch eine zeitgemäße effiziente Elektronik und unter Verzicht auf ein großes Display (welches ja nach wenigen Montane niemand mehr anschaut) sollte dies möglich sein.

Letztlich führen diese Fakten zu einer differenzierten Betrachtung der Smart Meter Varianten.

- Zum einen ist die energieeffiziente Optimierung des Smart Meter offenbar selbst von Bedeutung für einen hohen Einspareffekt.
- Zum zweiten bleibt in der durch Intelliekon gestesteten Variante aufgrund der in der Basisversion niedrigen Energieeinsparung von 125 kWh (bei 25 Cent/ kWh sind dies ca. 31 €/a) sowie die gleichfalls niedrigen Einsparungen durch Verlagerungs-Gewinne von nur 89 €/a mit und 45 € ohne Wäschetrockner (Gölz 2010, 30) offen, wer die Geräte bezahlen soll. Die Kosten werden vermutlich per Miete auf die Kunden umgelegt, energiewelt.de (2013) gibt eine Jahresmiete von 60€ an. Addiert man die Kosten des zusätzlichen Stromverbrauchs von ca. 25€ für ein aufwendiges Smart Meter, bleibt faktisch keine Einsparung übrig, von der der Endkunde profitieren würde.
- Es scheint daher von hohem Belang zu sein, die Verlagerungspotenziale auszuschöpfen. Hierfür ist es, wie die E-Energy Projekte zeigen (BAUM 2012) zentral, eine hinreichend große Tarifspreizung anzubieten, den Endkunden also von den Vorteilen der zeitlichen Verlagerung des Verbrauchs profitieren zu lassen. Weiter wird es wichtig sein, die Verbrauchsverlagerung zu automatisieren, also z.B. den Gefrierschrank grundsätzlich so einzustellen, dass das Gros der Kälteerzeugung bei niedrigen Tarifen erfolgt. Das jeweilige Signal bekommt der Gefrierschrank dann ohne weiteres steuerndes Eingreifen des Nutzers im Einzelfall vom Smart Meter.

Eine stark marktgetriebene und eigendynamische Diffusion kann ohne weitere staatliche Aktivität kaum erwartet werden. Vorgeschrieben sind Smart Meter nur für Neubauten und für Haushalte, die mehr als 6.000 kWh/a verbrauchen, was bei einem Haushalts-Durchschnittsverbrauch von 3.000 bis 4.000 kWh/a nicht allzu viele sein dürften. Die Dynamik, mit der sich die Stromkonzerne für Smart Meter einsetzen, erscheint gering. Die spiegelt sich auch darin, dass unserer Kenntnis nach auch für Gewerbekunden mit einer realistischen Möglichkeit des Demand Side Management (z.B. durch handelsübliche Programme zum Energiemanagement nach ISO 5001) keine Tarife mit unterschiedlichen Stromkosten je nach Netzbelastung angeboten werden. Insoweit folgen entsprechende Programme nur der Logik, durch zeitliche Verschiebung des Verbrauchs die Leistungsspitzen zu begrenzen und so die Preise für die Bereitstellung der Leistung (Anschlusspreis) zu begrenzen. Aus Sicht der Netzentlastung wäre dagegen notwendig, eine hohe Leistungsabnahme zu Zeiten hohen Angebots zu erreichen.

Eine Absicht der Konzerne, den privaten wie gewerblichen Endkunden von den Vorteilen der zeitlichen Verlagerung des Verbrauchs profitieren zu lassen, scheint derzeit zu fehlen.

Neue Wechselrichter- und Transformatortechnologien

Seit 2010 liegt der Photovoltaik-Zubau über 7 GW im Jahr, in 2012 wurde der bisherige Spitzenwert von 7,6 GW erreicht (BSW-Solar 2013). „Bislang reagieren die Netzbetreiber auf die dezentrale Erzeugung mit herkömmlichen Lösungsansätzen, beispielsweise mit dem Bau zusätzlicher Ortsnetzstationen oder Parallel-Kabellegungen. Deren Nachteil sind vor allem die hohen Kosten und die vielen Baumaßnahmen, die oft eine aufwendige Wiederherstellung der Oberflächen mit sich bringen“ (EW-On 2012, 26). Durch neue Wechselrichter- und Transformatortechnologien leistet IKT Beiträge zur Netzstabilität.

Wechselrichter haben eine nicht unerhebliche Bedeutung für die Stabilität des Stromnetzes. Fraunhofer-IWES (2009) konstatiert, dass viele Windkraftanlagen und Photovoltaik-Wechselrichter bereits heute über geeignete Leistungselektronik verfügen, die ihre Netzintegration fördert. Aber mit wachsender Leistung der regenerativen Stromerzeugung ergaben sich steigende Anforderungen an diese Funktionalität, wie sie z.B. in den Empfehlungen zum Update aller Photovoltaik-Wechselrichter an 315.000 Anlagen mit mehr als 10 kW-Peak deutlich werden (ifk und ecofys 2011).

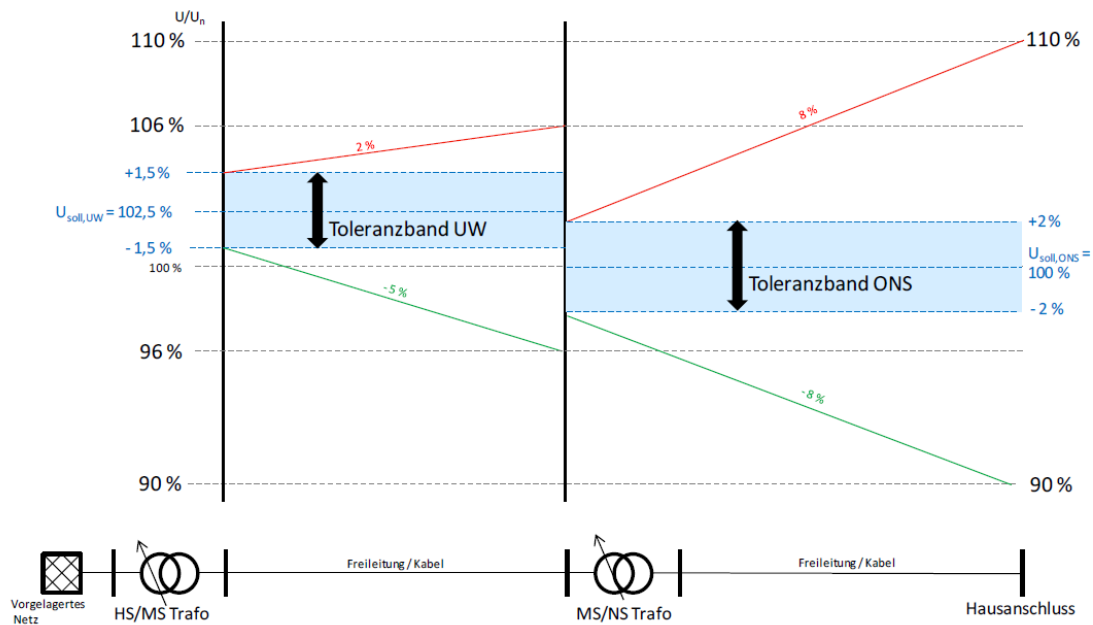
Auch die Wechselrichter von Photovoltaik- und Windanlagen, die den Gleichstrom der Anlagen in Wechselstrom für das Stromnetz wandeln, können aber, wenn sie intelligent betrieben werden, einen zusätzlichen Beitrag zur Netzstabilität leisten. *„Derzeit speist jeder Wechselrichter unabhängig von den Anderen Strom in die Niederspannungsnetze der Gemeinden und Städte ein. Künftig stimmt man durch Messeinrichtungen in den Trafos dieser Ortsnetze die Aktivität der Wechselrichter aufeinander ab. Das stabilisiert das Stromnetz. Vor allem in Regionen mit sehr hohem Photovoltaik-Anteil ist dieser Ansatz interessant, da die Niederspannungsnetze noch nicht über die hochauflösende Messtechnik der Hochspannungsnetze verfügen“* (Fraunhofer-Gesellschaft 2011).

Ein weiterer Ansatzpunkt sind Wechselrichter, die nicht nur Wirk- sondern auch Blindleistung liefern und damit eine sogenannte Virtuelle Synchronmaschine darstellen. Auch dies ist ein Beitrag zur Netzstabilität. Das Institut für elektrische Energietechnik Clausthal (2011) beschreibt die recht komplexe Funktion wie folgt: *„Die Überlegungen zur Zusammenführung der Vorzüge der aktuellen Stromrichtertechnik und der netzwichtigen Merkmale der elektromechanischen Synchronmaschine führten zur Entwicklung der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA), einem Einspeisewechselrichter mit spezifischem Steuerungs- und Regelungskonzept, der den jeweiligen Erzeuger am Netz statisch wie dynamisch wie eine elektromechanische Synchronmaschine erscheinen lässt. Das Prinzip des Konzeptes beinhaltet bei jeweils echtzeitiger Ausführung die Erfassung der Netzspannung, die Berechnung des Statorstromes einer Synchronmaschine auf einem schnellen Prozessrechner sowie die Überführung des errechneten Maschinenstromwertes auf einen dynamischen, phasenstromgeregelten Wechselrichter zur Einprägung ins Netz.“*

Die genannte Analogie hat bezüglich der hieraus hervorgehenden Funktionsmerkmale weitreichende Bedeutung. Die dezentral verteilten Erzeuger können ohne zusätzliche Kommunikationsverbindung am Netz betrieben werden, wobei eine netzglobale Frequenz- und eine netzlokale Spannungsinteraktivität zwischen den einzelnen VISMA-Systemen entsteht.

Ein anderer Ansatz zur Lösung des Problems zu hoher Einspeisung in Ortsnetze ist der regelbare Ortsnetztrafo. *„Gleich mehrere renommierte Hersteller – Siemens, Magtech, Schneider Electric und die Maschinenfabrik Reinhausen – befinden sich derzeit mit verschiedenen Prototypen eines „regelbaren Ortsnetztrafos“, kurz RONT, im Entwicklungs-Wettstreit“* (E-On 2012, 26). Die Idee ist einfach. Droht aufgrund hoher lokaler Einspeisung die Spannung im Ortsnetz zu hoch zu steigen, wäre das konventionelle Gegenmittel, die PV sukzessive vom Netz zu nehmen. Durch den RONT lässt sich aber die Grundspannung des Ortsnetzes absenken, so dass eine höhere lokale Einspeisung wieder verkräftet werden kann.

Abbildung 24: Funktionsweise eines regelbaren Ortsnetztransformators



Quelle: E-On Avacon 2013

Beide Technologien stellen neue Arten von regelbarer Leistungselektronik dar. Durch sie wird zwar keine Energie gespart, aber es wird das Potenzial der regenerativen Stromerzeugungsanlagen besser genutzt, letztlich also die erzeugte Menge gesteigert.

Fazit:

Primär dient das Smart Grid nicht der Senkung des Endenergieverbrauchs sondern es hat das Hauptziel, durch Flexibilisierung von Angebot und Nachfrage Ausgleichsmöglichkeiten zu schaffen, die aufgrund der zeitlich kaum steuerbaren Erträge aus Windstrom und Photovoltaik notwendig werden. Das erhebliche CO₂-Reduktionspotenzial des Smart Grid liegt darin, dass sie die Einspeisung einer höheren Anteils von regenerativem Strom überhaupt erst ermöglicht wird. Dies führt dazu, dass z.B. fossile Kraftwerkskapazitäten nicht mehr oder weniger in Betrieb sind.

Trend:

Immer mehr dezentrale Erzeuger wie BHKW oder Biogas-BHKW werden in virtuellen Kraftwerken gemeinsam gesteuert werden, um Strom möglichst dann zu erzeugen, wenn die Preise hoch sind. Dadurch tragen sie zur Bedarfsdeckung bei, wenn die Erzeugung aus Windkraft und Photovoltaik niedrig sind.

Immer mehr Verbraucher werden soweit wie möglich dann aktiviert, wenn die Strompreise niedrig sind. Dadurch tragen sie dazu bei, ein Überangebot von Windstrom oder Photovoltaik möglichst zeit-

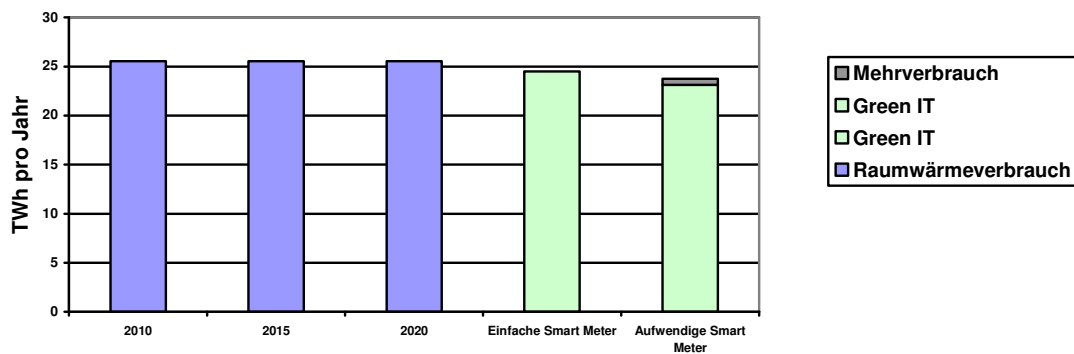
gleich zu verbrauchen, so dass möglichst wenig Strom aufwendig gespeichert oder unter hohen Leitungsverlusten über weite Strecken transportiert werden muss.

Die Einführung von Smart Metern ist beschlossen und wird über die nächsten Jahrzehnte hinweg stattfinden. Die zeitnähere und höher auflösende Information über den Verbrauch wird Verbraucher stimulieren, Stromsparpotenziale früher zu erschließen, als sie dies vielleicht sonst getan hätten.

Prognose:

Die Grafik legt als Business as usual einen gleichbleibenden Verbrauch des GHD-Sektors zugrunde. Der Stromverbrauch der Endkunden im GHD-Bereich wird sich aber durch Smart Metering leicht reduzieren. Die Reduktion wird durch den Eigenverbrauch der Smart Meter u.U. kleiner.

Abbildung 25: Stromverbrauch GHD bis 2020 und Green IT Potenziale



Green IT Potenziale:

Durch einfache Smart Meter und ohne Tarifspreizung kann nur eine kleine Einsparung von im Durchschnitt 3,7 % des Stromverbrauchs erschlossen werden. Zu den Einsparungen trägt auch bei, dass einfache Smart Meter weniger Eigenverbrauch haben als die üblichen Ferraris-Zähler.

Durch aufwendigere Smart Meter lässt sich eine größere Einsparung erzielen, jedoch kann diese mit einer Erhöhung des Eigenverbrauchs für die Messtechnik in Höhe von 25 % der Einsparungen verbunden sein. Da der zentrale Anreiz für zusätzliche Einsparungen und Verlagerungen in den gesplitteten Tarifen und nicht in einer aufwendigen Messtechnik liegt, kann dieser Eigenverbrauch für ein funktionierendes System vermutlich auf Null reduziert werden. Es erscheint darüber hinaus plausibel, dass zusätzliche Einsparungen durch eine Automatisierung einzelner Geräte möglich werden, z.B. durch automatische Ein- und Ausschaltung von Kühl- und Waschtechnik abhängig von den Tarifsignalen.

Fortschritte in der Lastverschiebung zur Netzentlastung ließen sich vermutlich nur dann erzielen, wenn das Angebotssignal (reichlich oder knapp) durch eine korrespondierende Tarifgestaltung an den privaten wie gewerblichen Kunden weitergegeben wird. Dies erfolgt jedoch so gut wie nicht.

4.5.4 Smart Mobility

Unter dem Titel Smart Mobility fokussiert diese Studie auf die meisten der in Smart 2020 Addendum Deutschland (BCG & GeSi 2009) genannte Felder. Nicht vertieft werden die Fragen der Anzeige von CO₂-Emissionen in Fahrzeugen wie auch die Fragen des Fahrtrainings durch in Automobilen und LKWs installierte IT-Geräte. Beide Bereiche werden eher dem Automobilbau zugerechnet als der Frage der Smart Mobility.

Zusätzlich wird die Frage des mobilen Arbeitens fokussiert, die in Abweichung von der Klassifikation in Smart 2020 nicht „Dematerialisierung“ und Konsum zugerechnet wird, sondern eben der Mobilität.

Smart Logistics

Smart 2020 (BCG & GeSi 2009, 42) schildert die Vorteile von Logistikapplikationen wie folgt: *„Durch den Einsatz von Logistikapplikationen kann einerseits erreicht werden, dass der Auslastungsgrad von Transporten und Lagerhäusern erhöht wird und damit weniger Fahrten und Fahrzeuge eingesetzt werden müssen. Andererseits werden durch die Echtzeitinformationen auch die Schnittstellen zwischen Transportmedien optimiert, z. B. zwischen dem Lastkraftverkehr und der Schiene, wodurch mehr Transporte auf CO₂-effizientere Verkehrswege verlagert werden können.“*

Weil aber im Logistikbereich Flottenavigationslösungen und Software für die Optimierung der Auslastung schon im Jahr 2009 weitgehend Standard waren, sind die noch vorhandenen Einsparpotenziale gering (BCG & GeSi 2009, 42). Die Erschließung dieser Einsparpotenziale wird auch als eher unwahrscheinlich gesehen, weil es meist um die Entwicklung von intelligenteren Einzellösungen geht, die in der Regel umfangreiche individuelle Anpassungen an einzelne Kunden erfordern (BCG & GeSi 2009, 42).

Mc Kinnon (2012) erwähnt unter den Dekarbonisierungspotenzialen durchaus einige, die für die IT wichtig wären. So erwarteten Logistikexperten noch 2006, dass bis 2020 die Leerfahrten um 19 % reduziert und das Ladegewicht um 12 % erhöht würde (McKinnon 2012, 157). Wie viel davon bereits umgesetzt ist und welche Rolle IT dabei genau spielt, wird nicht erwähnt. Weiter erwähnt McKinnon (a.a.O. 158), dass unternehmensübergreifende Logistikpartnerschaften erhebliches zusätzliches Potenzial für eine Konsolidierung von Ladungen schaffen würden. Auch hier dürfte IT eine Rolle spielen. Die meisten anderen der genannten Maßnahmen, wie eine beginnende Abkehr vom Just-in-Time Prinzip, regionale Beschaffung oder die Verlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsträger haben keinen direkten Bezug zur IT.

Letztlich lassen sich etwa noch vorhandene Energiesparpotenziale durch IT in der Logistik zzt. nicht mit hinreichender Genauigkeit quantifizieren.

Verkehrstelematik und Navigationssysteme

Mit **Verkehrstelematik** wird schon heute harmonisierend auf den Verkehrsfluss eingewirkt, aktuell auf rund 1.225 Kilometer Bundesautobahn entsprechend 2.450 Kilometer Richtungsfahrbahn (Bast 2012). Weitere Ausbaupläne bestehen mit dem „Projektplan Straßenverkehrstelematik 2015.“ Am Ende des Programmzeitraumes werden voraussichtlich weitere rund 1.000 Richtungskilometer Bundesautobahn mit Anlagen zur Streckenbeeinflussung sowie rund 350 Richtungskilometer mit Anlagen zur temporären Seitenstreifenfreigabe neu ausgestattet sein (Bast 2012). Die Bundesanstalt für Straßenwesen beschreibt die Ziele der Telematik wie folgt: *„Automatisch gesteuerte Verkehrsbeeinflussungsanlagen erhöhen auf besonders hoch belasteten oder unfallträchtigen Streckenabschnitten nachweislich die Verkehrssicherheit, verbessern den Verkehrsfluss und steigern die Leistungsfähigkeit. Die verkehrs- und witterungsabhängige Steuerung des Straßenverkehrs trägt auch zur Verringerung der Umweltbelastung sowie von Zeit- und Energieverlusten bei“* (Bast 2012). Zur Höhe der Energieeffekte ist jedoch weder bei Bast noch beim BMVBS ein Hinweis zu finden.

Smart 2020 wiederum zitiert, dass Forschungen an der Universität von Virginia ergeben haben, dass sich durch IKT-Lösungen für Verkehrsflusssteuerungen bis zu 10 % Kraftstoff und CO₂ einsparen lassen (BCG & GeSi 2009, 43).

Eine generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf 120 km/h in Deutschland würde dagegen nur zu einer Benzineinsparung von 2 % führen, mit einer Beschränkung auf 100 km/h würden nur 3 % erreicht (UBA 1999, 8f.). Ebenfalls nur 2 % führt der Arbeitskreis der Automobilimporteure Österreich als Einsparung durch ein Tempolimit von 100 km/h auf Autobahnen und 80 km/h auf Landstraßen an (2011, 9). Diese Aussagen lassen den Schluss zu, dass sich auch durch eine mit Telematik angestrebte Verstärkung des Verkehrsflusses nur ein vermutlich kleiner Einspareffekt erreichen ließe.

Zur Wirkung integrierter Telematiksysteme werden schon längere Zeit Simulationen durchgeführt. So wurde durch die Forschungsvereinigung Automobiltechniker (1994, 185) errechnet, dass der Energieverbrauch des Straßenverkehrs sich durch integrierte Telematik und dadurch verursachte Staureduzierung und Fahrstreckenverkürzung der Energieverbrauch des Straßenverkehrs um 1,77 % reduzieren ließe. Die Einsparungen würden zu 35 % auf Bundesautobahnen, zu 26 % auf Kreisstraßen, zu 21 % auf Bundesstraßen und zu 16 % auf Landesstraßen erzielt und wären mit Investitionen in Milliardenhöhe verbunden.

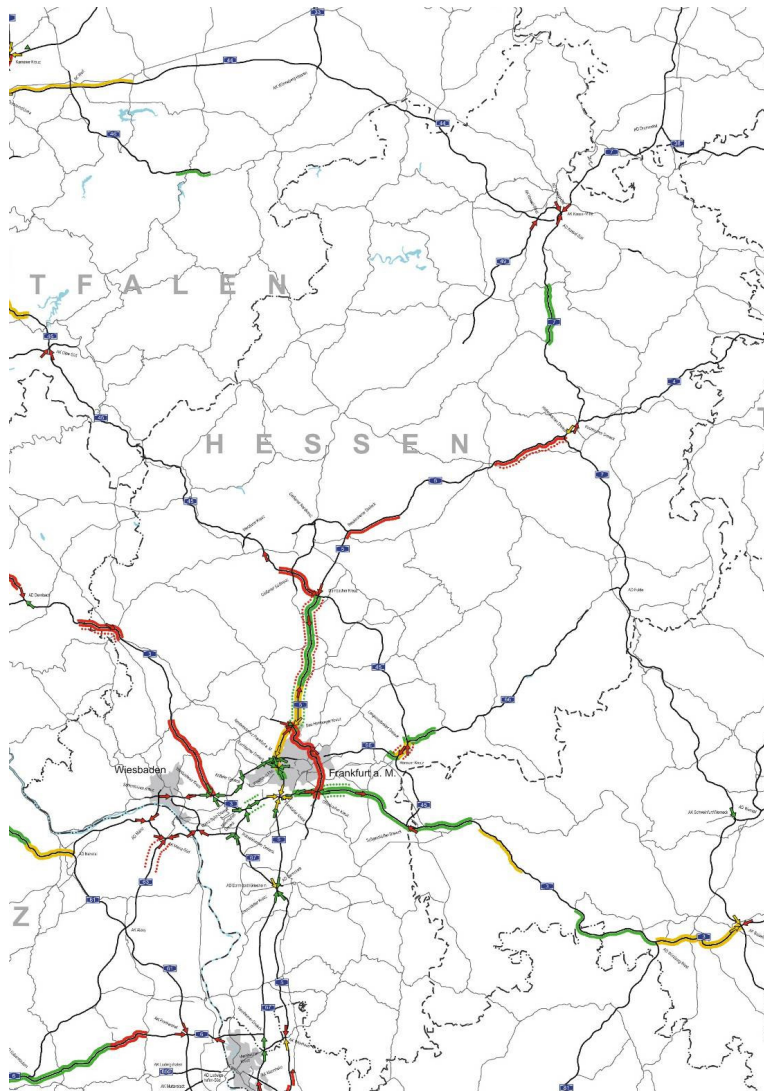
Im Bericht der Kommission Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung (KZV 2012) wird die Telematik zwar erwähnt, aber zu ihrem ökologischen Nutzen keine Aussage gemacht.

Letztlich ist festzustellen, dass es zwar eine Reihe von Hinweisen auf kleine Energiesparpotenziale durch Telematik gibt, die Schätzung von SMART 2020 jedoch als unplausibel hoch eingestuft wird. In Ermangelung aktueller Zahlen wird daher davon ausgegangen, dass ein flächendeckendes Telematiksystem zu Einsparungen auf Bundesautobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen von insgesamt 1,77 % führt. Wie die Karte in Abbildung 26 zeigt, ist aber die Ausstattung der hessischen Autobahnen mit Telematikanlagen (grün und gelb eingezeichnet, gelb bedeutet Erneuerungsbedarf) schon vergleichsweise weit fortgeschritten, zusätzliche Abschnitte sollen bis 2015 ausgestattet werden (rot eingezeichnet).

Da die Einführung von Telematiksystemen auf Bundes-, Land- und Kreisstraßen eher unwahrscheinlich ist, da hier Navigationssysteme erhebliche und für den Staat kostenlose Beiträge leisten, reduziert sich das Einsparpotenzial auf die noch nicht ausgerüsteten Abschnitte der Autobahnen. Werden diese auf ca. 50 % geschätzt, so ergibt sich ein Einsparpotenzial von der Hälfte des Anteils von 35 % der Bundesautobahnen am Gesamtpotenzial von 1,77 %.

Bei einem Gesamtenergieverbrauch des hessischen Straßenverkehrs von 176 PJ/a, entsprechend 48,9 TWh/a (Hessisches statistisches Landesamt 2012, 33) würde dieser Anteil immerhin 150 GWh ausmachen.

Abbildung 26: Projektplan Straßenverkehrstelematik 2015: Kartenausschnitt Hessen



Quelle: Bast 2012

Navigationsgeräte entwickeln sich zum Standard. Schon 2010 war jeder zweite Autofahrer damit ausgestattet (Bitkom 2010a). Im Vergleich zu einem mobilen **Navigationsgerät** ohne Stauumfahrungsfunktion, berücksichtigen Geräte, welche über diese Funktion mittels Traffic Message Channels (TMC)-Empfang verfügen, bei der Berechnung einer Route vorausliegende Autobahnstaus und bieten dem Nutzer eine daraufhin optimierte Route an. Hierbei berücksichtigt das Navigationsgerät neben der Länge des Staus zudem die voraussichtliche Wartezeit. Sofern die für den Umweg benötigte Zeit kürzer ist als die angenommene Wartezeit im Stau wird eine Umleitung empfohlen. Damit dies möglich ist, greifen entsprechende Geräte auf Informationen zu, welche mittels des TMC übertragen werden. Es handelt sich hierbei um Verkehrsinformationen, welche auch in den üblichen Verkehrsnachrichten kommuniziert werden, jedoch kann der Nutzer hierauf ständig zugreifen und nicht nur alle halbe Stunde zu den Nachrichten. Die Informationen werden dabei neben dem Radio-Data-System (RDS)-Signal über den UKW-Rundfunk übertragen. Der Verkaufsanteil der Geräte mit TMC lag bereits 2006 bei 74 %. In jüngster Zeit geht der Verkauf von Navigationsgeräten bereits wieder zurück, da diese Funktion über Smartphone-Apps bereitgestellt werden kann.

Wie hoch der Anteil des Potenzials ist, der schon durch Navigationssysteme mit Stauumfahrungsfunktion ausgeschöpft wird, ist nicht bekannt. In Anbetracht des hohen Verbreitungsgrades von Navigationsgeräten bei den Autofahrern dürfte deren Potenzial zur Reduktion des Energieverbrauchs des Verkehrs weitgehend ausgeschöpft sein.

IT-Gestützte Städttemaut

Zwar weist Smart 2020 (BCG & GeSi 2009, 40ff.) die IT-gestützte Städttemaut als einzige Maßnahme im Mobilitätskontext aus, mit der bei hoher wirtschaftlicher Attraktivität deutliche Energiesparpotenziale zu erschließen wären, in der politischen Diskussion ist aber über die Einführung einer Städttemaut gegenwärtig nicht viel zu vernehmen. Zwar sieht die Kommission Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung (KZV 2012, 85) Vorteile in der Entlastung der Innenstädte und in der Ökologie, stellt ihnen aber auch erhebliche Nachteile gegenüber. Letztlich spricht die Kommission keinerlei Empfehlungen aus, da ihr Auftrag nur in der Erarbeitung eines Instrumentenüberblicks lag.

Smart 2020 (BCG & GeSi 2009, 42) führt dagegen konkret aus: *„Ausgehend vom Londoner Mautgebiet von ca. 38 km² müssten in Deutschland Innenstadtflächen von insgesamt ca. 144 km² durch Kameras lückenlos überwacht werden. Bei einer vergleichbaren Kostenstruktur wie im Londoner Beispiel würde sich für die IKT-Industrie ein Umsatzpotenzial im Milliardenbereich ergeben.“* Mit Blick auf Kosten und Datenschutzprobleme ist vermutlich in absehbarer Zeit mit einer Städttemaut in vielen deutschen und damit hessischen Städten eher nicht zu rechnen.

Sollte dennoch ein Projekt in einer hessischen Stadt wie Frankfurt am Main realisiert werden, würde aus der Erfahrung der Projekte in Stockholm und London mit einer Reduktion des Verkehrs in der Innenstadt um 25 % bis 30 % zu rechnen sein (BCG & GeSi 2009, 40f.). Für die Einführung des Systems in einer deutschen Großstadt errechnet Smart 2020 (S. 41) eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 290.000 Tonnen, denen eine Reduktion des Energieverbrauchs von ca. 1.000 GWh (eigene Berechnung) entsprechen würde.

Telearbeit und Homeoffice

Seit den 90er Jahren wird das mobile Arbeiten als Maßnahme zur Reduktion des Berufsverkehrs sowie zur besseren Vereinbarkeit von Familienleben und Berufstätigkeit beschrieben. Unter Stichwörtern wie non-territoriale Bürokonzepte, Shared Desk oder Plug & Work wurden viele neue Büro- und Arbeitsmodelle erprobt. Diese Ansätze greifen zum einen das ältere Konzept des Teleworking auf und tragen zum anderen aktuellen Entwicklungen wie zunehmender Mobilität in spezifischen Branchen (Versicherungen, Softwareindustrie, etc.), erhöhten Betriebskosten und dem Wunsch nach einer Flexibilisierung von Arbeitsmodellen und -zeiten Rechnung (Fichter et al. 2012, 16).

Renner dokumentiert schon 1998 für Deutschland Schätzungen der Zahl der Telearbeitsplätze zwischen 2.000 und 200.000. *„Die große Differenz der Zahlen ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die verschiedenen Autoren den Begriff Telearbeit nicht einheitlich definieren und somit eine unterschiedliche Anzahl von Tätigkeiten darunter subsumieren“* (Renner 1998, 5). Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales und das Wirtschaftsministerium (BMAS und BMWi 2001) berufen sich einige Jahre später auf eine Untersuchung des Fraunhofer Instituts Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO). *„Hierbei wurden ca. 3.500 Unternehmen und Behörden befragt, von denen ca. 750 den Fragebogen beantwortet haben. In einer Hochrechnung geht das IAO davon aus, dass derzeit bei vergleichsweise weiter Begriffsauslegung ca. 875.000 Telearbeitsplätze bestehen. Hiervon entfallen ca. 500.000 auf die mobile Telearbeit, ca. 350.000 auf die alternierende Telearbeit, ca. 22.000 auf Telearbeit ausschließlich zu Hause und ca. 3.500 auf Satelliten- und Nachbarschaftsbüros“* (BMAS und BMWi 2001, 19f.). Hier deutet sich an, dass die Idee des „Arbeitens nur von zu Hause“ sich zunächst kaum verbreitete, sondern das mobile Arbeiten entweder unterwegs erfolgt, oder alternierend an einigen Tagen der Woche.

Sowohl Renner (1998) wie auch BMAS und BMWi (2001) erwähnen ein hohes Interesse an Telearbeit. Aber *„neben dem Interesse an Telearbeit muss ... auch die Eignung der Arbeitsplätze berücksichtigt werden. Hierdurch reduziert sich das Telearbeitspotenzial allerdings deutlich und liegt dann in den untersuchten Ländern zwischen 6,6 % und 8,2 % der Arbeitsplätze. In Deutschland würde nach dieser Berechnung ein Potenzial für Telearbeit von ca. 2,5 Mio. Arbeitsplätzen bestehen“* (BMAS und BMWi 2001, 19).

Bis 2010 haben sich die Zahlen deutlich erhöht. In einer repräsentativen Umfrage unter 1.000 Personen im Auftrag des Bitkom (2010) wurde ermittelt, dass schon 10 % der Erwerbstätigen ganz oder teilweise im Home Office arbeiten. 20 % würden gerne täglich und weitere 37 % einige Tage in der Woche zu Hause arbeiten. *„Nur noch 30 Prozent der befragten Arbeitnehmer gehen dagegen am liebsten jeden Tag ins Büro“* (Bitkom 2010). Auch Prognos (2005, 31) schätzt in 2005 das Potenzial mit 36 % der Erwerbstätigen ähnlich ein.

Als weitere Quelle zur Abschätzung des Anteils der Telearbeit kann eine Befragung des Umweltbundesamtes zur Mobilität seiner eigenen Angestellten dienen (UBA 2010). Hier darf zwar davon ausgegangen werden, dass die Organisation hinsichtlich der Verkehrsvermeidung grundsätzlich abgeschlossen und insoweit in der Entwicklung auch weit fortgeschritten ist, für die Ermittlung der Poten-

ziale ist dies aber keineswegs schädlich. In dieser Umfrage wurden die Anteile der Nutzer wie auch der Bekanntheitsgrad und die Bewertung der Maßnahmen abgefragt.

Tabelle 16: Nutzung und Bewertung der Möglichkeit zum mobilen Arbeiten durch Beschäftigte des Umweltbundesamtes

Methode	Bekanntheitsgrad	Anteil der Nutzer	Voraussetzungen derzeit nicht gegeben, Situation hat sich nicht ergeben	Durchschnittliche Bewertung durch die Nutzer
Telearbeit	97,1 %	10,0 %	45,7 %	1,3
Mobiles Arbeiten	80,3 %	30,2 %	33,7 %	1,4
Telefonkonferenz	94 %	42,9 %	45,3 %	2,4
Videokonferenz	96,7 %	53,7 %	38,1 %	2,3

Quelle: UBA 2010, 41ff.

Die vom Bitkom (2010) ermittelte Zahl von 10 % der Erwerbstätigen, die ganz oder teilweise zu Hause arbeiten, findet sich auch in dieser Umfrage. Hinzu kommen 30 % der UBA-Beschäftigten, die fallweise mobil arbeiten. Die Bewertung beider Methoden ist äußerst positiv, was durch eine erhebliche persönliche Entlastung zu erklären sein dürfte. Nicht ganz so positiv fällt dagegen die Bewertung von Video- und Telefonkonferenzen aus. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass die persönliche Entlastung durch diese Methoden geringer ist. Denn während Telearbeit grundsätzlich zu weniger berufsbezogenen Wegen führt, wirken sich Telefon- oder Videokonferenzen nur in geringem Umfang auf die Dienstreiseaktivitäten aus (vgl. Abschnitt Telefon-, Web- und Videokonferenzen).

Resümierend kann daher geschätzt werden, dass zusätzlich zu den vermutlich auch in Hessen bereits vorhandenen 10 % Telearbeitern unter den Erwerbstätigen ein weiteres Potenzial von 20 bis 30 % existiert, das hohes Interesse an dieser Arbeitsform hat und sie in den nächsten Jahren nutzen wird.

Geht man von einem durchschnittlichen Umfang der Telearbeit von ca. 2 Tagen in der Woche aus, so lässt sich das Reduktionspotenzial für den Berufsverkehr abschätzen. Würde zusätzlich zu den schon Telearbeit praktizierenden 10 % jeder vierte Erwerbstätige 2 Tage pro Woche daheim arbeiten, so wäre der Berufsverkehr um 10 % geringer.

Das Umweltbundesamt (2012) gibt für den Berufsverkehr im bundesweiten Mittel einen Modal Split von 81,4 % motorisierter Individualverkehr (MIV), 6 % ÖPNV, 9,5 % Schienenverkehr und 3,1 % Fußgänger und Radfahrer an. In großen Städten wie Frankfurt am Main sind es dagegen nur 34 % MIV, aber 23 % ÖPNV und Schienenverkehr sowie 43 % Fußgänger und Radfahrer.

Insgesamt fahren die Deutschen 214,8 Milliarden Personenkilometer im Berufsverkehr (UBA 2012, 26). Die 7,54 % der Erwerbstätigen in Hessen fahren davon anteilig 16,2 Milliarden Personenkilometer. Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs daran beträgt 81,4 % oder 13,2 Milliarden Personenkilometer. Nur diesbezüglich sind Einsparungen zu erwarten, denn durch die Tatsache, dass Ho-

me-Office Tage sich mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf alle Wochentage gleichmäßig verteilen, dürfte ein Kapazitätsabbau im ÖPNV oder im Schienenverkehr kaum zu erwarten sein.

Ein Einsparpotenzial von 10 % bezogen auf den motorisierten Berufsverkehr in Hessen würde eine Reduktion der Fahrstrecke um 1,32 Milliarden Personenkilometer bedeuten. Nach Statista 2008 kommen dabei auf 56,1 Selbstfahrer 3,5 Mitfahrer, so dass durch die Mitfahrer nur 1,24 Milliarden Fahrkilometer von Personenwagen weniger anfallen.

Ein Auto in Deutschland hat im Mittel einen Benzinverbrauch von 7,5 l/100 km (BMVBS 2011). Der mittlere Energiegehalt von Super liegt bei 8,9 kWh/l (Chemie.de 2013), so dass also der Energieverbrauch bei 66,75 kWh/100 km liegt. 1,24 Milliarden Fahrkilometer würden daher ca. 820 GWh entsprechen.

Nun hat der Berufsverkehr bundesweit seit 2002 von 206,1 Milliarden Personenkilometern bis 2009 auf 214,8 Milliarden Personenkilometern um 4,2 % zugenommen. Im selben Zeitraum hat jedoch auch die Erwerbstätigkeit um 3 % zugenommen (Bundesagentur für Arbeit 2013). Die gefahrenen Entfernungen scheinen also nur noch sehr langsam zuzunehmen, so dass mit wesentlichen Reboundeffekten (noch weiteres Pendeln, da die Strecke nicht mehr täglich zurückgelegt werden muss) eher nicht zu rechnen ist.

Mobiles Arbeiten

Die oben zitierte Literatur weist auf einen Anteil von bis zu 30 % der Erwerbstätigen hin, die mehr oder weniger intensiv durch die Nutzung von Notebooks und Internet von unterwegs arbeiten. Untersuchungen, die auf dieses Verhalten eine Einsparung von Wegen zurückführen, sind nicht bekannt.

Von einer möglichen Erschließung von Einsparpotenzialen ist daher nicht oder nur marginal auszugehen.

Telefon-, Web- und Videokonferenzen

Ähnlich schwierig wie die Bestimmung des Potenzials für Telearbeit erscheint die Bestimmung des Potenzials für die Reduktion von Geschäftsreisen durch Video- oder Telefonkonferenzen. Das PIK (2003, 5) ermittelt: *„Der Anteil der videokonferenznutzenden Unternehmen, die eine Verminderung der Geschäftsreisetätigkeit verzeichnet haben und die Anzahl der Unternehmen, in denen dies nicht erreicht werden konnte, ist genau gleich.“* Letztlich schätzte das PIK, dass bis zum Zeitraum 2015 bis 2020 ca. 10 % der Geschäftsreisen durch Videokonferenzen substituiert werden könnten.

In 2011 führte der TÜV Rheinland (2011, 20f.) eine Umfrage unter Unternehmen mit 157 rücklaufenden und auswertbaren Fragebögen durch. Dabei gaben 55 % der Unternehmen an, Telefon-, Web- und Videokonferenzen zu nutzen, am häufigsten Telefonkonferenzen, da sie technisch am einfachsten sind. Von den Nutzern gaben 23 Unternehmen an, durch virtuelle Meetings weniger als 10 % der Geschäftsreisen zu sparen, 10 Unternehmen meinten, weniger als 25 % zu sparen und 6 Unternehmen schätzten die Reduktion auf mehr als 25 %. 16 Unternehmen gaben keine Schätzung ab. „Wäh-

rend einige Unternehmen noch Potenzial für die verstärkte Nutzung dieser Technologien sehen, schätzen andere die Relevanz als nicht steigend ein“, resümiert der TÜV (2011, 21). Die Intensität der Nutzung führt der TÜV dabei auch auf unternehmenskulturelle Faktoren zurück.

Wird davon ausgegangen, dass sich kulturelle und verhaltensändernde Innovationen langsam ausbreiten, so ist recht wahrscheinlich, dass noch nicht das gesamte Potenzial ausgeschöpft ist. Es wird daher durch die weitere Verbreitung von Telefon-, Web- und Videokonferenzen in hessischen Unternehmen und Organisationen von einem noch nicht erschlossenen Potenzial zur Reduktion von Geschäftsreisen in Höhe von 5 % ausgegangen. Hinzu kommt, dass die bisher teilweise aufwendigen Videokonferenzsysteme zunehmend von einfachen Systemen wie z.B. Skype abgelöst werden, mit denen einfach der Bildkontakt hergestellt werden kann.

Nun hat der Geschäftsreiseverkehr bundesweit seit 2002 von 146,3 Milliarden Personenkilometern bis 2009 auf 164,8 Milliarden Personenkilometern um 12,6 % zugenommen. Zeitparallel haben sich Telefon-, Web- und Videokonferenzen etabliert. Vor diesem Hintergrund wieder ist zu erwarten, dass die 5 % bestenfalls den zu befürchtenden weiteren Anstieg etwas flacher ausfallen lassen. Ein wirk-samer Beitrag zum Klimaschutz ist nicht wahrscheinlich.

4.6 Konsum

4.6.1 E- Books statt Bücher

In der Vorstudie zur Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen für E-Book-Reader erarbeitete das Ökoinstitut (2011) einen Überblick über die Studien zum Vergleich von E-Books und Büchern aus Frischfaser- und Recyclingpapier. Die fortgeschrittenere Variante des E-Book-Readers mit einem sogenannten e-ink Display erreicht dabei gegenüber einem Buch aus Frischfasern ab 22 gelesenen Exemplaren einen Vorteil beim Global Warming Potenzial, gegenüber einem Buch aus Recyclingpapier sind es 28 Bücher. Beim Versauerungspotenzial hingegen wird dieser Vorteil erst ab einer Zahl von 68 (Frischfaser) bzw. 214 (Recycling) erreicht.

Tabelle 17: Break-Even-Point E-Book-Reader und konventionelles Buch

	KEA	GWP	AP	EP	POCP
BEP E-Book-Reader mit eInk-Display – Buch aus Frischfaserpapier	10,76	21,97	68,28	20,01	47,84
BEP E-Book-Reader mit LCD-Display – Buch aus Frischfaserpapier	11,88	26,78	76,84	21,49	53,03
BEP E-Book-Reader mit eInk-Display – Buch aus Recyclingpapier	24,98	27,88	214,81	35,07	108,34
BEP E-Book-Reader mit LCD-Display – Buch aus Recyclingpapier	31,30	35,94	258,52	38,74	124,15

Quelle: Ökoinstitut 2011, 22, Kumulierter Primärenergieaufwand (KEA), Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP), Photochemische Oxidantienbildung (POCP)

Eine Analyse der GfK Panel Services berichtet, dass in 2009 rund 36 Mio. aller Deutschen Bücher gekauft haben. Durchschnittlich erwarb jeder Kunde elf Bücher. Dafür wurden rund 110 Euro ausgegeben. Schulbücher und Fachliteratur sind in der Untersuchung nicht berücksichtigt worden (Börsenblatt.net 2010).

Geht man bei einem E-Book-Reader von einer zu erwartenden Lebensdauer von drei bis fünf Jahren aus, wie sie analog zu Notebooks und Thin Clients zu schätzen wäre (BMU, UBA und Bitkom 2010), dann würde ein normaler Kunde in dieser Zeit mit seinem E-Book-Reader 33 bis 55 Bücher lesen. Als Beitrag zum Treibhauseffekt wie zum Eutrophierungspotenzial wäre hiermit jeweils ein kleiner Vorteil verbunden, der Faktor Versauerung würde dagegen wie auch die photochemische Oxidantienbildung zusätzlich belastet. Mit Blick auf den Faktor Treibhauseffekt wäre also ein begrenzter Vorteil zu erzielen, mit Blick auf andere Messgrößen der Ökobilanzierung dagegen nicht (Ökoinstitut 21011, 22).

Im Januar 2012 besaßen insgesamt 1,6 Mio Deutsche einen E-Book-Reader, ein Jahr vorher waren es nur 380.000 (Buchreport 2012).

Ein E-Book-Reader mit E-Ink Display verbraucht pro Jahr ca. 0,6 kWh Strom (Ökoinstitut 2011, 17). Das Hessische Statistische Landesamt (2013) weist die hessische Bevölkerung zum 31.12.2011 mit 6,092 Mio. aus, was einem Anteil von 7,45 % der Bundesbevölkerung entspricht. Davon sind, wie oben zitiert, 36 Mio. regelmäßige Buchkäufer (Börsenblatt.net 2010) und davon haben ca. 1,6 Mio. bereits einen E-Book-Reader. Es bleiben 34,4 Mio. potenzielle E-Book Käufer, von denen 7,45 % in Hessen wohnen, was wiederum 2,57 Mio. sind. Würden diese komplett ihre Bücher auf dem E-Book-Reader lesen ergäbe sich ein zusätzlicher Stromverbrauch für das Lesen von 1,54 GWh/a in Hessen.

Die Ableitung einer Aussage zu möglichen Energieeinsparungen in Hessen ist auf Grundlage dieser Zahlen aber nicht möglich. Denn es findet ja nicht nur eine Verkleinerung des Beitrags zum Treibhauseffekt statt, gleichzeitig verlagert sich der Beitrag von den Standorten der Papierproduktion, des Drucks und der Logistik zum Ort des Buchkonsums. Abschätzbar ist damit der zusätzliche Stromverbrauch der IT, nicht abschätzbar sind die Reduktionen des Verbrauchs in Papierfabriken, Druckereien und Buchhandlungen. Nicht abschätzbar ist auch der kulturelle Verlust, der mit einem völligen Kollaps der vielen Druckereien und Buchhandlungen und dem Verlust der meisten Arbeitsplätze dort einherginge²¹.

4.6.2 E-commerce/ Onlinehandel

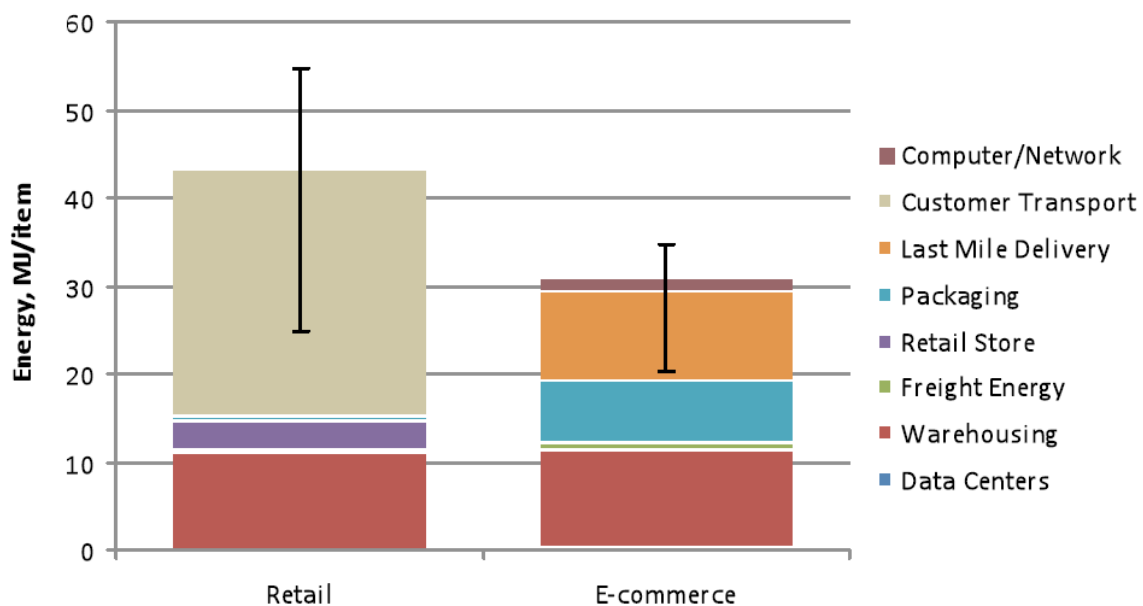
E-Commerce wird zumeist mit „elektronischer Handel“ oder „elektronischer Geschäftsverkehr“ übersetzt und bezeichnet in der Regel die Möglichkeiten, Vorgänge im Absatz- und Beschaffungsbereich elektronisch zu unterstützen. Behrendt et al. (2003, 5) charakterisieren als eine der ersten Bewer-

²¹ So gab am 7.2.2013 die Bertelsmann AG die Schließung einer Großdruckerei in Itzehoe/ Schleswig-Holstein mit dem Verlust von 1.000 Arbeitsplätzen bekannt, die aufgrund der zunehmenden Verlagerung von Informationen ins Internet und daher weniger Druckaufträgen begründet wurde (Hannoversche Allgemeine Zeitung vom 7.2.2013).

tungen die ökologische Seite des e-commerce: „Die Kernerkenntnis des vorliegenden Literaturberichtes ist, dass die ökologischen Folgen des E-Commerce keinem Automatismus unterliegen, sondern von politisch und wirtschaftspraktisch beeinflussbaren Variablen abhängen. Umweltentlastungen durch E-Commerce sind bisher in der Regel nicht-intendierte zufällige Nebeneffekte, da E-Commerce primär zur Beschleunigung von Geschäftsprozessen und zur Erschließung von Märkten und zur Sicherung von Geschäftsfeldern eingesetzt wird.“

Dies lässt sich durch eine Reihe von aktuelleren Ökobilanzen zeigen, die anhand jeweils einzelner Produkte e-commerce mit konventionellem Handel verglichen. Den Verbrauch von Primärenergie für die komplette Logistikkette eines Speicherlaufwerkes ermitteln Weber et al. (2008) z.B. wie folgt:

Abbildung 27: Verbrauch von Primärenergie für die komplette Logistikkette eines Speicherlaufwerkes



Quelle: Weber et al. 2008, 11

Es zeigt sich, dass die Standardabweichung angedeutet durch die senkrechten Linien, im Vergleich zu den absoluten Werten sehr groß ist. Weiter wird der Energieverbrauch der klassischen Einzelhandelskette dominiert durch den Verbrauch des Kunden auf dem Weg zum Händler. Auf dem Land mit großen Entfernungen, die im Auto zurückgelegt werden, ist das Ergebnis also völlig verschieden von einer kleinräumigen, städtischen Umgebung, für die im oben dargestellten Fall der klassische Einzelhandel sogar deutlich im Vorteil sein dürfte.

Am Beispiel von Produktion, Handel und Nutzung einer Hose ermittelt Marks & Spencer (2002, V) einen Unterschied von nur 0,8 % mehr Energieverbrauch durch realen Einzelhandel auf die gesamte Produktlinie bezogen. Der e-commerce der Hose allein benötigt 11,83 kWh Energie, der reale Handel

8,09 kWh. Im e-commerce Szenario ist aber der Verbrauch beim Konsumenten niedriger, wegen der eingesparten Mobilität zum Kauf. Letztlich läuft es auf ein qualitativ ähnliches Ergebnis wie bei Weber et al. (2008) hinaus.

Weber et al. (2010) erweitern die Analyse auf den Vergleich von Handelswegen für Musik am Beispiel einer CD, wobei sie auch das Download einbeziehen. Wenig überraschend finden sie, dass der klassische Einzelhandel mit 50 MJ pro verkaufter CD wiederum den höchsten Energieverbrauch hat, wobei wiederum 27 MJ auf den Transport durch den Kunden nach Hause entfallen. Der e-commerce erzielt 33 MJ bei Lieferung über Strasse und 38 MJ bei Lieferung per Luftfracht. Digitales Download verbraucht 8 MJ falls keine CD gebrannt wird, bei 12 MJ, wenn eine CD gebrannt wird und bei 22 MJ, wenn diese auch eine Plastikverpackung bekommt. Wiederum macht die „letzte Meile“ zur Wohnung des Kunden den entscheidenden Unterschied zwischen realem Einzelhandel und e-commerce aus.

Letztlich weisen die Studien darauf hin, dass durch e-commerce in ländlichen Regionen mit notorisch langen Fahrstrecken des Endkunden zum Händler hin der e-commerce bei gutem Flottenmanagement der Paketdienste Einsparpotenziale erschließen kann. In städtischen Regionen mit hohem Anteil an Einkäufern zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln und insgesamt kurzen Wegen weist dagegen vieles darauf hin, dass der klassische Einzelhandel ökoeffizienter ist als der e-commerce. Die Ergebnisse des Vergleichs sind aber vorsichtig zu bewerten, denn letztlich hängen sie am seidenen Pfaden der Annahmen zum Mobilitätsverhalten des Endkunden. Fährt dieser nur wöchentlich nur einmal samstags in die Kleinstadt und erledigt mit einer Tour alle Einkäufe oder fährt er täglich für jede Kleinigkeit? Letztlich entscheiden so die Annahmen über das letztlich komplexe Mobilitätsverhalten über den Ausgang des Vergleichs.

Unabhängig vom Wohnort dürfte e-commerce dagegen Vorteile beim Einkauf aller Arten von nicht-materiellen Produkten wie z.B. Musik oder Videos haben.

Interessant ist e-commerce auch für den Handel mit gebrauchten Produkten. In ihrer Studie zur Wiederverkaufskultur im Internet stellen Behrendt et al. (2011) den Fall eBay dar. Online-Handels- und Auktionsplattformen schaffen aus ihrer Sicht einen „Quantensprung“ im Gebrauchtwarenhandel. Durch das Internet werden nicht nur lokale oder regionale Reichweiten erzielt, sondern erheblich mehr Nutzerkreise erreicht als dies bisher über Second-Hand-Märkte der Fall war. Der große Zuspruch erklärt sich aber nicht nur aus geringen Transaktionskosten. Für die zunehmende Bedeutung von Gebrauchtgütermärkten sind auch sekundäre Funktionen wie Spaß am Kaufen und Verkaufen sowie Community-Effekte ausschlaggebend. Entscheidend für den Aspekt der Lebensdauerverlängerung und Vermeidung von Neuproduktion ist dabei die Frage, welche Produkte gehandelt werden. Bei bestimmten Produkten, deren ökologische Effekte primär in der Gebrauchsphase entstehen, kann die Anschaffung eines verbrauchsarmen Neugerätes ökologisch sinnvoller sein als die Weiternutzung eines alten Gerätes. Während bei Produkten, bei denen die Herstellung den größten Anteil an den Umweltwirkungen einnimmt, eine Weiternutzung mit oft erheblicher Verlängerung der Nutzungsdauer erhebliche ökologische Vorteile (v.a. Ressourceneinsparungen durch die Vermeidung von Neukäufen) bieten kann (z.B. Kleidung, Bücher, Technologieware). Letztlich stellen reale Flohmärkte nur in bestimmten Produktgruppen überhaupt einen Wettbewerb zur oft bundesweiten Auswahl auf

großen Gebrauchsgüterportalen dar. Ein Einsparpotenzial konnte durch Behrendt et al. (2011) für verschiedene Produktgruppen nachgewiesen werden.

In letzter Konsequenz ist ein mögliches Energiesparpotenzial durch e-commerce für das Bundesland Hessen gegenwärtig nicht abschätzbar. Abgesehen von dem Faktum, dass nur für wenige und insgesamt für den Konsum nicht ausreichend repräsentative Produkte vergleichende Ökobilanzen vorliegen, scheinen die Ergebnisse für ländliche und städtische Regionen zu jeweils unterschiedlichen Konsequenzen zu führen. Ein Einsparpotenzial lässt sich insoweit genauso wenig wie ein Mehrverbrauch errechnen.

4.6.3 Ambient Assisted Living und E-Health

Zu den Assistenzsystemen des altersgerechten Wohnens werden von Fachinger und Koch (2012, 5) vier größere Bereiche gerechnet:

- Sicherheit und Privatsphäre mit Alarm-, Schließ- und Überwachungssystemen, vernetzten Feuer-, Rauch- und Gasmeldern, Anwesenheitssimulation, Steuerung für Fenster, Rollläden und Schließanlagen, Hauskontrolle über Webcam u.a.m.,
- Haushalt und Versorgung mit Systemen der Hausautomatisierung bis hin zur Robotik, Reinigung, Lieferservices u.a.m.,
- Kommunikation und Soziales mit Telekommunikations- und Medienangeboten, aber auch quartiersbezogenen Angeboten wie „Schwarzes Brett“, Servicevermittlung oder lokale Communities,
- Gesundheit und Pflege mit Angeboten zur Behandlung, Rehabilitation und Pflege.

Im Bereich Gesundheit und Pflege führen Fachinger und Koch (2012, 5) im Detail auf:

- Stationäre und ambulante medizinische Informationssysteme,
- Telemonitoring,
- Telemedizin und Homecare,
- Hausnotruf und Aktivitätscheck,
- personalisierte Gesundheitssysteme und –dienstleistungen aus verschiedenen medizinischen Bereichen,
- e-Health,
- Informationsnetzwerke und
- elektronische Patientenakten.

Damit taucht das eigentlich als Oberbegriff gedachte Wort e-Health als Unterkategorie wieder auf. Fachinger und Koch (2012, 15) sehen erhebliche Umsatzpotenziale in der Ausstattung von ca. 8,5 Mio. Ein- und Zweipersonenhaushalten mit mindestens einer Person über 50 Jahre, von denen jedoch nur ca. 240.000 von gesundheitlich eingeschränkten Personen bewohnt werden. Sie schätzen folgende Investitionsbedarfe bzw. Umsatzpotenziale für einschlägige Produkte:

- Sicherheit und Privatsphäre: 9.295,50 € pro Wohnung und 79,4 Mrd. € bundesweit,
- Haushalt und Versorgung: 594 € pro Wohnung und 5 Mrd. € bundesweit,
- Kommunikation und Soziales: 524 € pro Wohnung und 2,3 Mrd. € bundesweit,
- Gesundheit und Pflege: 1.661,40 € pro Wohnung und 0,4 Mrd. € bundesweit.

Es bleibt die Frage, was genau e-Health ist. Wirth (2010) rechnet alles dazu, was auf der Verschmelzung medizinischer Versorgung mit IKT basiert. Neben der gesamten Kommunikation zwischen Ärzten, Therapeuten und Krankenhäusern auf Basis von elektronisch ausgetauschten Dokumenten oder der elektronischen Patientenakte gehören auch Monitoringsysteme dazu, die Patientendaten kontinuierlich erheben und an Ärzte oder Therapeuten weiterleiten. Wirth grenzt von diesem Kern der e-Health den Begriff e-Health 2.0 ab und fasst hier die soziale Interaktion in Form von Patientennetzwerken oder Selbsthilfegruppen zusammen. Auf Basis von Erfahrungen mit Facebook, Twitter und Co. entwickelt sich eine direkte Kommunikation zwischen Patienten, die sich gegenseitig beraten oder Erfahrungen mit Medikamenten oder Therapien austauschen. Auch die Kommunikation von Arzt oder Therapeut und Patient oder Patientengruppe auf einer Internetplattform gehört dazu, wodurch z.B. virtuelle Therapiesitzungen möglich werden.

Zu der eher materiellen Erscheinungsform von e-health bei Fachinger und Koch (2012, Details bei Braesecke et al. 2011, 32ff) gehören ein Blutdruck- und ein Blutzuckermesser, eine Waage und ein mobiles EKG-Gerät, die alle an ein Telemonitoring angeschlossen sind, weiter eine Sturzmatte mit Zubehör und Meldefunktion sowie eine Medikamentenbox mit Erinnerungsfunktion. Keines dieser Geräte verspricht direkte Energieeinsparungen.

Aus der Perspektive des Energiesparens sind hier einige Gruppen von IKT-Lösungen zu unterscheiden:

Viele Lösungen im Kontext Sicherheit und Privatsphäre sind neue und zusätzliche IKT-Anwendungen, die bisher rein mechanische und somit energieverbrauchsfreie Lösungen elektronisch lösen und damit neuen Energieverbrauch generieren. Zwar benötigt ein einzelner Sensor, der z.B. den Zustand eines Fensters oder einer Tür kontrolliert, nicht viel Strom, aber einige Dutzend im Haus verteilte Sensoren und der sich zwischen ihnen aufbauende Netzwerktraffic sowie der Verbrauch eines zentralen Steuergerätes tragen insgesamt doch zu einem höheren Stromverbrauch bei. Wird zum Zwecke der Anwesenheitssimulation noch phasenweise Licht angeschaltet, steigt der Stromverbrauch weiter an. Wird in den Ein- und Zweipersonenhaushalten mit mindestens einer Person über 50 Jahren, in Hessen sind dies mit 7,54 % von 8,5 Mio. etwa 641.000, nur jeweils ganzjährig 30 Watt pro Haushalt für Sensoren und Steuergeräte verbraucht²², dann entspricht dies einem zusätzlichen Stromverbrauch von ca. 166 GWh/a in Hessen. Wird von diesem Markt bis 2020 ein Drittel erschlossen, wäre ein Mehrverbrauch von ca. 55 GWh/a in 2020 zu erwarten.

²² ABUS gibt z.B. allein für seine „Secvest 2WAY Funk-Alarmzentrale“ eine Leistungsaufnahme von 22 Watt an. Zusätzlich würden allein 2 „IR VGA WLAN Netzwerk Außenkamera“ zusätzliche 7,2 Watt Leistungsaufnahme aufweisen (ABUS 2013).

Gleiches gilt für Robotik zur Hausautomatisierung und letztlich auch für neue und zusätzliche elektronische Funktionen wie Patientenmonitoring. Auch hier ist Energie für den Betrieb von Sensoren und Netzwerken erforderlich. Hinzu kommt ein vermutlich nicht unerheblicher Materialverbrauch für Herstellung und regelmäßigen Ersatz. Denn viele IKT-Geräte sind nach 5 Jahren oder kurz danach erneuerungsbedürftig. Damit verwandeln sich auch die oben von Fachinger und Koch (2012) dokumentierten Investitionsbedarfe von einmaligen Kosten in wiederkehrende Belastungen, was letztlich die Marktgröße beschränken dürfte.

Funktionen der Kommunikation im Kontext des Ambient Assisted Living sind nicht nur die preiswertesten (s.o.), sondern dürften auch unter dem Blickwinkel der Energie- und Ressourceneffizienz weitgehend unproblematisch sein. Denn sie werden vermutlich weitgehend mit vorhandenen Geräten wie Telefon, Mobiltelefon oder internetfähigem Endgerät durchgeführt und letztlich recht energieeffizient betrieben. Ob hier eine Nutzungszeitverlängerung eintritt oder ob sich eher Kommunikation verlagert, z.B. von Fernsehen zu einem Chat in der Nachbarschaft, wäre ebenfalls zu klären. Ähnliches gilt u.U. auch für Aktivitäten in Patientennetzwerken im Rahmen von e-Health 2.0.

Ob und wie die elektronische Patientenakte gegenüber der Akte auf Papier mit ihren jeweils verschiedenen Kommunikationsmöglichkeiten Energie verbraucht oder einspart ist im Rahmen dieser Studie nicht zu klären. U.U. kann auf eine gewisse Analogie zur Substitution von Büchern auf Papier zu e-Books verwiesen werden. Im Kontext von elektronischen Röntgenaufnahmen, bei denen auch die Photochemie gespart wird, sind die Zusammenhänge jedoch weit komplexer.

Letztlich bleiben einige wenige Kontexte, z.B. der virtuellen Therapie oder des virtuellen Arztbesuches, z.B. über Skype, bei denen dem IKT Aufwand ein bisher notwendiger materieller Reiseaufwand gegengerechnet werden kann. Einsparungen analog denen bei Video- oder Telefonkonferenzen wären die Folge. Hier sind aber erhebliche Reboundeffekte zu erwarten. So erwähnt der RTL-Bericht über die Online agierende Kasseler Stottertherapie das Beispiel einer Patientin aus Berlin und die Absicht der internationalen Ausweitung des Angebots (RTL 2012). Reisen aber Patienten auch nur wenige Male aus großer Entfernung an, dürfte im Vergleich zu einer regionalen Therapie eine ökologische Verbesserung wieder nicht eintreten. Es mag zwar ein besserer Zugang zu Therapien möglich werden, ein Beitrag zum Klimaschutz würde letztlich kaum abzuleiten sein.

4.6.4 Fazit Konsum

Alle Erscheinungsformen von E-Konsum, E-Books, E-Commerce und E-Health versprechen keine direkten Energieeinsparungen. Konkret abschätzen lässt sich in einigen Bereichen ein zu erwartender Mehrverbrauch. Einsparungen sind auf Basis der vorliegenden Analysen nicht erkennbar oder abschätzbar.

4.7 Stromverbrauch und Einsparpotenziale der IT in Hessen

Fasst man alle Green IT Potenziale in der IT und durch IT zusammen, so ergibt sich folgendes Gesamtbild:

Tabelle 18: Green IT Potenziale der Energieeinsparung im Verbrauch und zu erwartende Mehrverbräuche im Überblick

Handlungsfeld	Mehrverbräuche p.a. bis 2020 in GWh	Potenziale p.a. bis 2020 in GWh (Strom), (Wärme) und (Kraftstoffe)	Bemerkungen
IKT in Haushalten	300	300	
IKT in Unternehmen	100	250	
TK-Netze: Festnetz	0	88	
TK-Netze: Mobilfunk	33	136	
Rechenzentren	0	540	Insbesondere durch hocheffiziente Server-technologie, hohe Raumtemperaturen und neue Kühlkonzepte.
Smart Building			
Dezentrales Energiemanagement	0	3.900	
Elektronische Heizkörperthermostate	0	750 bis 1.500	
Smart Motors	0	1.800	Sehr wirtschaftlich
Smart Grid			
Virtuelle Kraftwerke	0	0	Aber erhebliche CO ₂ -Einsparungen durch höheren EE-Anteil im Stromnetz
Einfache Smart Meters in GHD, die Ferraris Zähler ersetzen	0	1.050	
Aufwendige Smart Meters mit gesplitteten Tarife und Feedback der Verbrauchsinformationen	600	2.415	Effekt wird durch Eigenverbrauch reduziert
Smart Mobility			
Smart Logistics	0	0	Bereits weitgehend Standard
Verkehrstelematik und Navigationssysteme auf Bundesautobahnen in Hessen	?	150	Eigenverbrauch nicht bekannt, bereits durch Navigationssysteme erschlossenes Potenzial nicht bekannt
IT gestützte Städtetaut	0	1.000	Einführung in einer Großstadt, gesellschaftli-

			cher Konsens zur Einführung aber zzt. nicht absehbar
Telearbeit und Homeoffice	?	820	Reboundeffekte durch zusätzliche Privatfahrten
Mobiles Arbeiten	0	0	Einsparpotenzial einerseits unbekannt, andererseits – wenn vorhanden – bereits weitgehend erschlossen
Telefon-, Web- und Videokonferenzen	0	0	Geringes Einsparpotenzial ist im Kontext kontinuierlich wachsender Reiseaufwände zu bewerten
Konsum			
E-Book-Reader	1,5	?	Einsparungen würden durch kollabierende Druckereien, Papierfabriken oder Buchhandlungen erzielt, Potenzial unbekannt
e-commerce	0	0	Einsparpotenzial auf dem Lande eher wahrscheinlich, in Städten eher unwahrscheinlich, insgesamt mangelhafte Datenlage
Ambient Assitant Living – Sicherheit und Privatsphäre	55	0	Mehrverbräuche durch zusätzliche Funktionen.
e-Health	0	0	Vorteile und Reboundeffekte vorhanden, aber von der Größe her unbekannt

4.7.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Bei der Errechnung der aus dem Stromverbrauch der IT folgenden Treibhausgasemissionen sind neben der Höhe des gesamten Stromverbrauchs die im Laufe der nächsten Jahre abnehmende Treibhausgasemissionen pro kWh erzeugtem Strom zu berücksichtigen.

In 2010 war der Verbrauch einer kWh Strom mit Emissionen von 555 g CO₂/kWh verbunden (UBA 2012a, 4). Für die weitere Entwicklung wird in unterschiedlichen Studien ein mehr oder weniger schneller Rückgang der Treibhausgasemissionen pro kWh erwartet. So wird im Szenario II des EWI (EWI 2010, 60ff) mit einem Absinken dieses Wertes auf ca. 520 g CO₂/KWh bis 2015 gerechnet, bis 2020 mit einem Absinken auf ca. 422 g CO₂/kWh (EWI 2010, 62). Den Langfristszenarien des BMU (DLR, Fraunhofer IWES, IfnE 2012 und Nitsch 2013) liegt hingegen ein Reduktionspfad auf 389 g CO₂/KWh bis 2015 und bis 271 g CO₂/kWh bis 2020 zugrunde.

Treibhausgas-Emissionspfad nach EWI 2010

Mit den Daten des EWI lassen sich die Treibhausgasemissionen aus dem Betrieb des hessischen IT wie folgt abschätzen:

Tabelle 19: Entwicklung der Stromverbräuche, Treibhausgasemissionen und Green IT Potenziale in der IT in Hessen im Überblick (Basis EWI Szenario II)

	Haushalte	Unternehmen	Netze	Rechenzentren	Gesamt
Verbrauch 2010 in GWh	1.181	506	570	1.750	4.007
CO ₂ -Emissionen 2010 in Tonnen	655.455	280.830	316.350	971.250	2.223.885
Verbrauch 2015 in GWh	1.386	588	700	1.800	4.447
CO ₂ -Emissionen 2015 in Tonnen	720.720	305.760	364.000	936.000	2.326.480
Verbrauch 2020 in GWh	1.490	589	854	1.850	4.783
CO ₂ -Emissionen 2020 in Tonnen	628.780	248.558	360.388	780.700	2.018.426
Verbrauch Green IT 2020 in GWh	1.175	351	598	1.260	3.384
CO ₂ -Emissionen Green IT 2020 in Tonnen	495.850	148.122	252.356	531.720	1.428.048

Die ohne die Durchführung zusätzlicher Green IT Maßnahmen erwartete Entwicklung läuft daher auf ein langsames Ansteigen des gesamten Stromverbrauches der IT in Hessen bis 2020 von ca. 4.000 GWh in 2010 auf ca. 4.800 GWh in 2020 hinaus. Durch die sich langsam verbessernde CO₂-Effizienz der Stromversorgung wäre in diesem Fall bis 2015 eine Stagnation der aus dem Betrieb der IT folgenden CO₂-Emissionen bei ca. 2,2 bis 2,3 Mio. Tonnen pro Jahr, danach ein Absinken auf ca. 2,0 Mio. Tonnen zu erwarten.

Das Green IT Szenario ermöglicht eine Reduktion des Stromverbrauchs der IT in Hessen gegenüber 2010 um etwa 15 % bis 2020, was wiederum aufgrund der sich langsam verbessernden CO₂-Effizienz der Stromversorgung zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen um ca. 35 % oder 800.000 Tonnen bis 2020 führen würde.

Treibhausgas-Emissionspfad nach EWI 2010

Mit den Daten der BMU Langfristszenarien lassen sich die Treibhausgasemissionen aus dem Betrieb des hessischen IT wie folgt abschätzen:

Tabelle 20: Entwicklung der Stromverbräuche, Treibhausgasemissionen und Green IT Potenziale in der IT in Hessen im Überblick (Basis BMU Langfristszenarien)

	Haushalte	Unternehmen	Netze	Rechenzentren	Gesamt
Verbrauch 2010 in GWh	1.181	506	570	1.750	4.007
CO ₂ -Emissionen 2010 in Tonnen	655.455	280.830	316.350	971.250	2.223.885
Verbrauch 2015 in GWh	1.386	588	700	1.800	4.474
CO ₂ -Emissionen 2015 in Tonnen	539.154	228.732	272.300	700.200	1.740.386
Verbrauch 2020 in GWh	1.490	589	854	1.850	4.783
CO ₂ -Emissionen 2020 in Tonnen	403.790	159.619	231.434	501.350	1.296.193
Verbrauch Green IT 2020 in GWh	1.175	351	598	1.260	3.384
CO ₂ -Emissionen Green IT 2020 in Tonnen	318.425	95.121	162.058	341.460	917.064

Die im BMU Langfristszenario unterstellte schnell verbessernde CO₂-Effizienz der Stromversorgung führt dazu, dass sich in diesem Szenario die erreichbare Reduktion der aus dem Betrieb der IT folgenden CO₂-Emissionen schneller einstellen wird als unter Zugrundelegung der Daten aus dem EWI Szenario II. Bis 2015 werden sich die CO₂-Emissionen bereits um fast 500.000 Tonnen auf ca. 1,75 Mio. Tonnen pro Jahr reduzieren lassen, danach ist ein weiteres Absinken auf ca. 1,3 Mio. Tonnen in 2020 zu erwarten.

Die im Green IT Szenario mögliche Reduktion des Stromverbrauchs der IT in Hessen um etwa 15 % bis 2020 führt unter Zugrundelegung der Daten aus dem BMU Langfristszenario zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 1,3 Mio. Tonnen bzw. um fast ca. 60 % gegenüber 2010.

4.7.2 Treibhausgas-Einsparpotenziale durch die IT

Weitere Einsparpotenziale ergeben sich durch die Anwendung einer Reihe von „Green durch IT“ Technologien. Diese lassen sich wie folgt in Treibhausgas-Minderungspotenziale (CO₂-Äquivalente) umrechnen.

Die durch Smart Motors und die verschiedenen Varianten des Smart Metering erzielbaren Einsparungen führen direkt zu Stromeinsparungen. Die Errechnung der Treibhausgas-Minderungspotenziale erfolgte daher analog zu der Abschätzung der Treibhausgasemissionen in der IT.

Tabelle 21: Einsparpotenziale der Stromverbräuche und Treibhausgasemissionen durch Smart Motors und Smart Metering in Hessen

Handlungsfeld	Green IT Einsparpotenzial in GWh (korrespondierende Mehrverbräuche nicht berücksichtigt)	Treibhausgas-Minderungspotenzial in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten in 2020 (EWI 2010)	Treibhausgas-Minderungspotenzial in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten in 2020 (Nitsch 2013)
Smart Motors	1.800	760.000	488.000
Smart Metering (je nach Technologie)	1.000 bis 2.400	440.000 bis 1.010.000	280.000 bis 650.000

Der Effekt der Treibhausgas-Emissionsminderung durch effizientere Nutzung der Raumwärme aufgrund von Smart Home und elektronischen Heizkörperthermostaten wirkt sich zwar auf die verbrauchte Menge an Raumwärme aus, nicht jedoch auf den dahinterliegenden Energieträgermix. Der hier zugrunde gelegte Energieträgermix basiert auf dem Endenergieeinsatz für Raumwärme im Szenario 2011 A der Leitstudie 2012 des BMU (DLR et al. 2012, 126). Die Ansätze für die Treibhausgasemissionen gemessen in CO₂-Äquivalenten basieren auf der GEMIS Version 4.8.1 (IINAS 2008).

Tabelle 22: Treibhausgasemissionen durch die Bereitstellung von Raumwärme in 2015 und 2020

Option [g/kWh]	CO ₂ -Äquivalent in Gramm/kWh	Anteile 2015 %	Anteile 2020 %	CO ₂ in 2015 in Gramm / kWh	CO ₂ in 2020 in Gramm / kWh
Heizöl	374	13 %	8 %	48,62	29,92
Heizöl Brennwert	325	8 %	5 %	26,00	16,25
Erdgas	285	10 %	5 %	28,50	14,25
Erdgas-Brennwert	246	37 %	39 %	91,02	95,94
Elektro-mix	596	4 %	5 %	24,58	27,09
Fernwärme-mix-DE	255	13 %	17 %	34,18	43,47
Holz-Stücke-Hzg	23	2 %	2 %	0,47	0,52
Holz-Pellet-Hzg	28	2 %	2 %	0,43	0,64
Holz-Hackschnitzel-Wald-Hzg	25	2 %	2 %	0,39	0,57
Solar-Kollektor Cu Warmwasser	24	1 %	2 %	0,25	0,36
Solar-Kollektor Vakuum Warmwasser	35	0 %	1 %	0,00	0,18
Nahwärme-Biogas-mix-BHKW	114	7 %	9 %	8,23	10,36
Geothermie-HW	21	1 %	3 %	0,22	0,72
Summe		100 %	100 %	262,88	240,26

Für das Jahr 2015 ergibt sich so pro kWh eingesparte Heizwärme eine Minderung der Treibhausgasemissionen von ca. 263 Gramm/kWh, für 2020 eine solche von 240 Gramm/kWh. Für den Bereich der

durch Smart Home und elektronischen Heizkörperthermostate erzielbaren Einsparungen von 4.650 GWh/a bis 5.400 GWh/a errechnet sich so für 2015 ein Treibhausgas-Minderungspotenzial von 1,2 bis 1,4 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten, für 2020 von 1,1 bis 1,3 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten.

Der Effekt der Treibhausgas-Emissionsminderung durch Telearbeit lässt sich wie folgt abschätzen. Das Kraftfahrtbundesamt (2011, 7) gibt die durchschnittlichen CO₂-Emissionen der zugelassenen Neuwagen für 2006 mit 173 gCO₂/km an. In seinem Jahresbericht 2011 (Kraftfahrtbundesamt 2013, 17) ist ein entsprechender Wert für 2011 mit 146 gCO₂/km enthalten. Weiter gibt der Jahresbericht 2011 das durchschnittliche Fahrzeualter mit 8,5 Jahren an, sodass sich also die Emissionen des Bestandes im Durchschnitt anhand der Daten der Neuwagen mit jeweils acht bis neun Jahren Zeitverzug abschätzen lassen. Die Emissionen für 2015 lassen sich so auf Basis der Neuwagendaten aus 2006 abschätzen, die für 2020 auf Basis der Neuwagendaten aus 2011. Würde durch Telearbeit eine Fahrstrecke von jährlich 1,24 Milliarden Fahrkilometer gespart, so würde dies in 2015 zu einer Reduktion von Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 214.000 Tonnen CO₂ führen, in 2020 zu einer Reduktion von Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 181.000 Tonnen CO₂.

Analog (relativ zu der jeweiligen Kraftstoffeinsparung in GWh in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) errechnen sich die Effekte der Treibhausgas-Emissionsminderung der IT gestützten Städttemaut in einer Großstadt und der Verkehrstelematik.

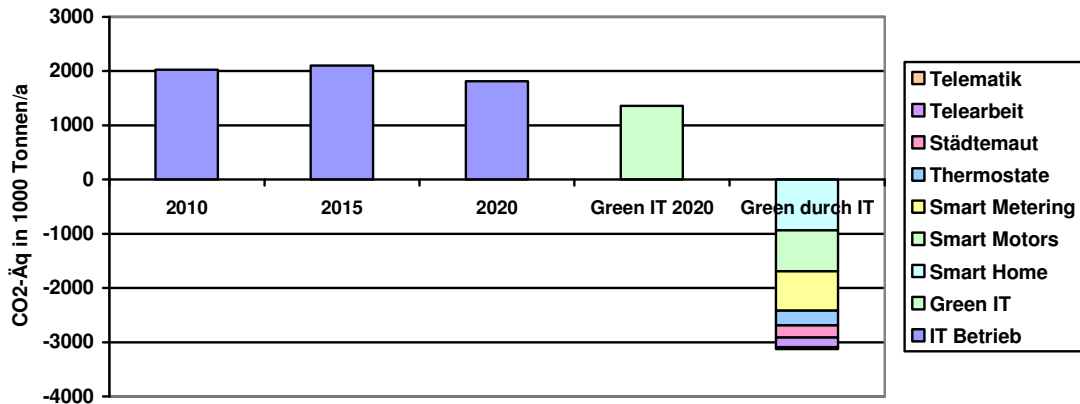
Innerhalb der Anwendungsfelder „Green durch IT“ ergibt sich damit insgesamt eine Rangfolge der Potenziale zur Energieeinsparung und Treibhausgasminderung.

Tabelle 23: Energieeinsparung und Treibhausgasminderung durch Green IT in 2020

Handlungsfeld	Green IT Einsparpotenzial in GWh (korrespondierende Mehrverbräuche nicht berücksichtigt)	Treibhausgas-Minderungspotenzial in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten in 2020 (EWI 2010)	Treibhausgas-Minderungspotenzial in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten in 2020 (Nitsch 2013)
Dezentrales Energiemanagement	3.900	936.000	
Smart Motors	1.800	760.000	488.000
Smart Metering (je nach Technologie)	1.000 bis 2.400	440.000 bis 1.010.000	280.000 bis 650.000
Elektronische Heizkörperthermostate	750 bis 1.500	180.000 bis 360.000	
IT gestützte Städttemaut in einer Großstadt	1.000	220.000	
Telearbeit und Homeoffice	820	181.000	
Verkehrstelematik	150	33.000	

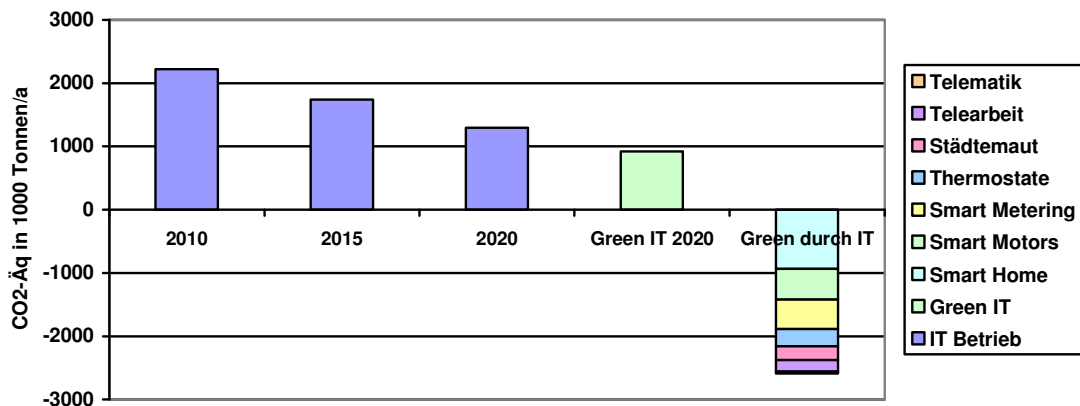
In der Perspektive bis 2020 lassen sich so die Entwicklung der durch den Betrieb der IT verursachten Treibhausgasemissionen sowie die korrespondierenden Einsparpotenziale zusammen darstellen.

Abbildung 28: Entwicklung der Treibhausgasemissionen durch den Betrieb der IT sowie Einsparpotenziale in der IT und durch die IT (Basis EWI 2010)



In summa ist auf Basis der Annahmen des EWI (2010) bis auf weiteres mit durch den IT-Betrieb verursachten Treibhausgasemissionen von ca. 2,2 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr zu rechnen, die bis 2020 durch zusätzliche Green in der IT Maßnahmen um ca. 800.000 Tonnen CO₂-Äquivalente zu reduzieren sind. Durch die Anwendung der IT in den beschriebenen Einsatzfeldern scheint ein Einsparpotenzial von ca. 3 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten erschließbar.

Abbildung 29: Entwicklung der Treibhausgasemissionen durch den Betrieb der IT sowie Einsparpotenziale in der IT und durch die IT (Basis BMU Langfristszenarien)



Es ist auf Basis der Annahmen der BMU Langfristszenarien (Nitsch 2013) mit einem Absinken der durch den IT-Betrieb verursachten Treibhausgasemissionen von ca. 2,2 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten in 2010 auf nur noch ca. 1,3 Mio. Tonnen in 2020 zu rechnen. Durch zusätzliche Green in der IT Maßnahmen ließe sich dieser Wert nochmals um ca. 400.000 Tonnen CO₂-Äquivalente reduzieren. Durch die Anwendung der IT in den beschriebenen Einsatzfeldern scheint ein Einsparpotenzial

von ca. 2,5 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten erschließbar, welches aufgrund der höheren CO₂-Effizienz der Stromerzeugung geringer als im EWI-Szenario ausfällt.

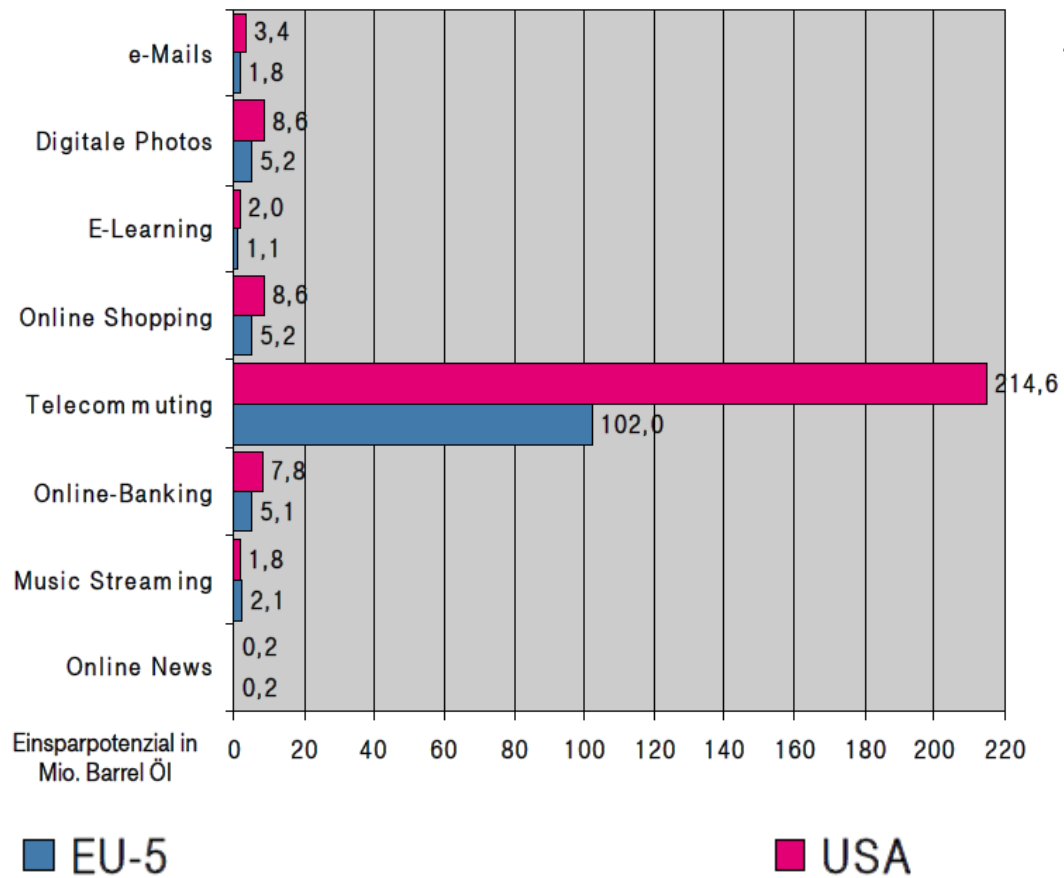
4.7.3 Treibhausgas-Einsparpotenziale durch IT in anderen Studien

In der vorliegenden Studie wurde der Begriff „Green durch IT“ vergleichsweise breit ausgelegt und umfasst explizit auch dezentrale IT und nicht nur Breitbandtechnologien. Letztere wurden in einer Studie der Yankee Group im Auftrag der Global e-Sustainability Initiative (GeSI), unterstützt durch BT, Deutsche Telekom, Ericsson and Verizon untersucht (Neves 2013). Im Fokus standen die Berechnung der Energie- und CO₂-Einsparpotenziale durch Adaption von Breitband Services auf der Basis einer quantitativen Analyse der Nutzung von acht ausgewählten Aktivitäten in den USA, Deutschland, England, Frankreich, Italien und Spanien. Dabei wurden folgende ökonomische Aktivitäten untersucht (Neves 2013, 27):

- (1) Telecommuting (Über Internet von zu Hause aus arbeiten),
- (2) Nutzung des Internets für Nachrichten anstelle von Zeitungen,
- (3) Download von Filmen und Musik über das Internet,
- (4) Online Banking,
- (5) Online Käufe und Auktionen,
- (6) Online Bildung,
- (7) Nutzung digitaler Fotografie,
- (8) Nutzung von E-Mails anstelle von Briefen.

Mit Ausnahme von Banking, Fotografie und Bildung waren diese Anwendungen mit etwas anderen Abgrenzungen auch Gegenstand der vorliegenden Studie. Die Yankee Group Studie findet dabei über 80 % der gesamten Einsparpotenziale im Telecommuting.

Abbildung 30: Energiesparpotenzial von 8 untersuchter Breitbandanwendungen



Quelle: Neves 2013, 6

Dabei wurden folgende Annahmen zur Einsparkalkulation getroffen (Neves 2013, 7):

- 16,6 Mio. Stellen sind grundsätzlich für Telecommuting geeignet (Basis 41,5 Mio. Erwerbstätige.)
- Im Schnitt sind 3 Tage Telecommuting pro Woche möglich
- Arbeitswochen pro Jahr: 47
- Durchschnittlicher Weg zur Arbeit: ca. 23 Km (1 Strecke)
- Durchschnittsverbrauch: 7,48 l/100 Km
- Einsparungen Elektrizität: 18 % von 8.700 KWh Jahresverbrauch im Büro
- Deflator für Reboundeffekte: 1,25

Diese Annahmen liegen teilweise deutlich oberhalb der in dieser Studie getroffenen Annahmen. Während hier von 25 % oder ca. 10 Mio. möglichen Telearbeitern mit je 2 Tagen die Woche ausgegangen wurde, also in Deutschland national einem Potenzial von ca. 20 Mio. einsparbaren Arbeitstagen die Woche, geht die Yankee Studie von 50 Mio. einsparbaren Arbeitstagen pro Woche aus. Während hier von 6 Wochen Urlaub und ca. 1 Woche Krankheit ausgegangen wurde, also 45 netto Arbeitswochen zu je 5 Tagen, nimmt die Yankee Studie 47 netto Arbeitswochen an. Während sich aus der deutschen Mobilitätsstatistik (UBA 2012) eine durchschnittliche Pendelentfernung von 16 km (1 Strecke) ergibt, geht Yankee von 23 km (1 Strecke) aus.

Letztlich dürften die real möglichen Einsparungen also etwas niedriger sein als von Yankee (Neves 2013) angenommen.

4.7.4 Fazit

In Absprache mit dem Auftraggeber wurde festgelegt, folgende „Green durch IT“ Bereiche weiter zu vertiefen:

- Dezentrales Energiemanagement und Smart Metering unter dem Arbeitstitel „Smart Home“ gemeinsam, da letztlich die Steuerung bestimmter Funktionen der Haustechnik sich überschneidende Potenziale erschließen werden,
- Smart Industry, Smart Motors sowie
- Telearbeit und Homeoffice

5 Erarbeitung von Leitlinien und Maßnahmen zur Förderung ausgewählter Green durch IT Bereiche

5.1 Smart Home und Gebäudeautomatisierung

5.1.1 Stand und Einsatzmöglichkeiten von Smart Home Technik

Der Begriff Smart Home, im deutschen auch als intelligentes oder vernetztes Wohnen bezeichnet, umfasst eine Vielzahl von Konzepten und Ansätzen der Gebäude- und Hausautomation, der Hausgerätesteuerung sowie zunehmend auch der Vernetzung in der Unterhaltungselektronik. Dementsprechend werden unter Smart Home Technik unterschiedliche Hardware-Komponenten (intelligente Steuerungs- und Endgeräte, Sensoren, Aktoren, etc.) und Software-Komponenten (Betriebssystem, Optimierungsalgorithmen, Webservices, Apps etc.) zusammengefasst.

In der Vergangenheit setzten Anwendungen des intelligenten Wohnens umfangreiche Investitionen in Steuerungs- und Automatisierungstechnik (Bus-Systeme, Speicherprogrammierbare Steuerungen, etc.) voraus, die meist auf proprietärer Bus- und Steuerungstechnik beruhten. Dies hat sich mit der Einführung und Durchsetzung des Internets, der Verfügbarkeit einer Vielzahl von kostengünstigen draht- und funkgebundenen Sensoren und Aktoren sowie der Etablierung von offenen Standards für deren Interoperabilität deutlich verändert. Ethernet- und IP-Technik sowie die über die heutigen Betriebssysteme nutzbaren Softwareapplikationen (Apps), haben das mögliche Anwendungsspektrum und die Geschäftsmodelle für das Smart Home grundlegenden verändert. Neben Lüftungs- und Heizungssteuerung sowie Sicherheitstechnik, werden heute auch Anwendungen aus der Gesundheitsvorsorge, dem unterstützten Wohnen (Ambient Assisted Living) sowie der Mediennutzung (Streaming von Musik, Filmen, Fernsehen, Internetnutzung und Telekommunikation) zu den zentralen Feldern der intelligenten Heimvernetzung gezählt.

Darüber hinaus wird die Technik der Gebäude- und Hausautomation seit vielen Jahren zur Bewirtschaftung von öffentlich und gewerblich genutzten Gebäuden eingesetzt (Dena 2009). So wird beispielsweise intelligente Automatisierungstechnik zunehmend genutzt, um Heizung und Lüftung in Produktionsstätten, Schulen sowie Verwaltungsgebäuden zu optimieren und Wartungsaufwendungen zu reduzieren. Die Grenzen zur Prozesssteuerungstechnik, über die in der Industrie auch Produktionsprozesse (inklusive Antriebs- und Fördertechnik, Druckluftbereitstellung, etc.) gesteuert werden, sind bei diesen Anwendungen fließend.

5.1.2 Verbreitung/Diffusion von Smart Home Technik

Smart Home und Gebäudeautomatisierungstechnik haben sich bisher noch nicht als Anwendungen in einem Massenmarkt durchsetzen können, dafür werden die folgenden Gründe als ursächlich angesehen:

- Bisher war die Entwicklung vieler Smart Home Produkte stark durch technische Möglichkeiten der Automatisierungstechnik getrieben. So wurden beispielsweise bereits in den 1990er Jahren

erste Heizungssteuerungen angeboten, die per Textnachricht über Mobilfunk gesteuert werden konnten. Diese Lösungen waren jedoch aufgrund ihrer komplizierten Bedienung und ihres hohen Preises nicht für den Massenmarkt tauglich. Neuere Angebote weichen in Bezug auf Kosten und Bedienbarkeit davon deutlich ab. Sie orientieren sich stärker an den Anforderungen von Anwendern/ Nutzern, sind intuitiv bedienbar und bedingt durch den technischen Fortschritt und der Fertigungstechnik für Sensorik, Aktorik, Softwaretechnik und Steuerungselektronik deutlich preisgünstiger und leistungsfähiger.

- Ebenfalls hemmend für die Erschließung eines Smart Home Massenmarktes hat sich bisher die mangelnde Interoperabilität der verfügbaren Angebote der Heimvernetzungsstechnik erwiesen. Zwar sind proprietäre Bus-Systeme mit eigenen Daten- und Kommunikationsformaten verfügbar, die Integration von fremden Komponenten, beispielsweise Sensoren und Aktoren, in einer Heimsteuerung über offene Schnittstellen ist bis dato jedoch nur sehr begrenzt möglich. Dies soll nicht heißen, dass innerhalb einer Smart Lösung oder Applikation nicht proprietäre Bereiche und Funktionen existieren sollten, der Daten- und Informationsaustausch zwischen Komponenten und Anwendungen wird jedoch als eine notwendige Voraussetzung für die Erschließung eines Massenmarktes angesehen. Eine Reihe von Initiativen wie das Innovationszentrum Connected Living (www.connected-living.org/), das Fraunhofer in-Haus-Zentrum (www.inhaus.fraunhofer.de/) oder auch die EEBus Initiative (www.eebus.org/) haben sich zum Ziel gesetzt die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Systemen und Standards der Heimvernetzung zu verbessern.
- Einen weiteren Hinderungsgrund für die Verbreitung leistungsfähiger Smart Home Anwendungen, insbesondere solcher, die ein hohes Datenaufkommen erzeugen (z.B. Mediennutzung), stellte in der Vergangenheit der unzureichende Ausbau und die mangelnde Leistungsfähigkeit der Internet- und Telekommunikationsnetze dar. Dies hat sich mit dem Ausbau des Netzes und der zunehmenden Verfügbarkeit von DSL und LTE grundsätzlich verändert. Breitbandverbindungen sind daher heute weniger ein limitierender Faktor, als noch in den 2000er Jahren. Die Gewährleistung eines leistungsfähigen Breitbandanschlusses bleibt jedoch eine Herausforderung, da mit dem Ausbau von Smart Home Angeboten auch das Datenaufkommen (insb. aus Mediennutzung) sprunghaft ansteigen kann.
- Die genannten Gründe verdeutlichen einige der Hindernisse, die in der Vergangenheit die Entwicklung eines Massenmarktes für Smart Home behindert haben. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es trotz einiger erfolgreicher Nischenanwendungen bis heute keine Schlüsselanwendung (Hard- oder Software) der intelligenten Heimvernetzung gibt, die in Verbindung mit einem leistungsfähigen Geschäftsmodell und einer entsprechenden Zahlungsbereitschaft seitens der Kunden den wirtschaftlichen Durchbruch auf dem Massenmarkt geschafft hat.

5.1.3 Energiemanagement: Schlüsselanwendung der intelligenten Heimvernetzung?

Trotz der genannten Einschränkungen und Hindernisse für die bisherige Entwicklung eines Smart Home Marktes, könnte die Heimvernetzung vor allem durch das Thema Energiemanagement in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen. Dafür sprechen die folgenden Entwicklungen:

- Bedingt durch die Energiepolitik der Bundesregierung (Energiekonzept und Energiewende) muss bis zum Jahr 2020 der Anteil erneuerbarer Energien an der Strom- und Wärmeversorgung erhöht und die Effizienz bei der Nutzung konventioneller Energien deutlich verbessert werden. Hierfür ist besonders der Energieverbrauch im Gebäudebestand betroffen, denn private Haushalte tragen mit etwa 27 % zum Gesamtenergieverbrauch in Deutschland bei, wovon 71 % auf Raumwärme und Warmwasserbereitung entfallen (Destatis 2012a). Außendämmung, der Tausch von Fenstern oder die Modernisierung von Heizungsanlagen verringern den Energieverbrauch von Gebäuden zwar, alleine über diese Maßnahmen lassen sich die formulierten Ziele jedoch nicht erreichen. Große Einsparungen im Wärmeverbrauch können zusätzlich über dezentrales Energiemanagement und intelligente Heimvernetzung (siehe Kap. 4.5.1) wirtschaftlich erschlossen werden. Bei geringeren Investitionskosten lassen sich damit im Gebäudebestand Energieeinsparungen in ähnlicher Höhe wie mit der Gebäudeaußendämmung erzielen. Dies gilt gleichermaßen für Wohngebäude, wie auch für öffentlich und gewerblich genutzte Gebäude.
- Darüber hinaus kann über dezentrales Energiemanagement und intelligente Heimvernetzung auch eine Verbrauchsreduktion von Strom in Haushalten erreicht werden. Dezentrales Energiemanagement kann einen entscheidenden Beitrag für eine zukünftige Energieversorgung in intelligenten Stromnetzen leisten. Es ermöglicht, den Stromverbrauch von Haushalten mit größerer Genauigkeit und Güte als bisher zu prognostizieren. Deshalb kann die Technik auch dafür genutzt werden, um Lastspitzen im Stromverbrauch sowie der Erzeugung zu vermeiden. So lassen sich z.B. fluktuierende oder variable Energiequellen (Strom aus Wind- oder Solaranlagen, Strom aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, etc.) besser auslasten und in die Energieversorgungsstruktur integrieren. Dies wird durch den Einsatz von Smart-Home- und Gebäudeautomatisierungstechnik sowie deren Verbindung mit dem Stromnetz (Smart-Grid) möglich. Daraus entstehen Vorteile für Verbraucher, Vermieter bzw. Gebäudeeigentümer und die Energiewirtschaft, denn eine bedarfsgerechte Steuerung des Energieverbrauchs in Haushalten in Verbindung mit einer flexibleren Energieversorgung kann den Energieverbrauch stabilisieren oder senken. Dezentrales Energiemanagement und intelligente Heimvernetzung können daher ein entscheidendes Element einer zukünftigen und intelligenten Energieversorgung darstellen.
- Schließlich kann über die Technik des dezentralen Energiemanagementsystems eine Plattform für die intelligente Heimvernetzung in Haushalten geschaffen werden. Die hierfür benötigte Steuerungstechnik in Form von Wohnungs- und Gebäudemanagern kann als Infrastruktur für weitere Produkte und Dienste der Heimvernetzung aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen wie Unterhaltung, Kommunikation, Sicherheit und Gesundheit genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass es sich um einen offenen Plattformansatz handelt (siehe z.B. die Ziele und Aktivi-

täten von Connected Living unter www.connected-living.org), der die Integration und Harmonisierung unterschiedlicher Datenformate, Schnittstellen und Anwendungen verfolgt.

Das dezentrale Energiemanagement besitzt daher das Potenzial, die Geschäftsmodelle und den Markt der intelligenten Heimvernetzung nachhaltig zu verändern. Über die aus der Energieeffizienz (Wärme und Strom) erzielbaren Einsparungen lassen sich neue und leistungsfähig Refinanzierungs- und Geschäftsmodelle für die Heimvernetzung entwickeln.

5.1.4 Leitlinien

Aus dem vorangegangenen Kapitel wurde bereits deutlich, dass Anwendungen des Energiemanagements eine zentrale Rolle für die Entwicklung von Geschäftsmodellen sowie eines Marktes der intelligenten Heimvernetzung spielen können. Es ist auch deutlich geworden, dass die Technik der intelligenten Heimvernetzung nicht grundsätzlich neu ist, ihre Anwendbarkeit und Leistungsfähigkeit sich jedoch deutlich verbessert hat. Förderpolitische Aktivitäten sollten sich daher vor allem darauf konzentrieren die durch die Technik erzielbaren großen Einsparungen von Heizenergie und Strom in Form von Leuchtturmprojekten zu demonstrieren. Da dezentrales Energiemanagement aufgrund von bauphysikalischen und heizungstechnischen Gründen seine größten Einspar- und Breitenwirkungen im mehrgeschossigen Wohnungsbau erzielt, sollte auch gezielt Demonstrationsvorhaben und Förderansätze in Zusammenarbeit mit der Wohnungswirtschaft erarbeitet werden. Da über die Technik ein signifikanter Beitrag zu Energieeinsparungen im Gebäudebereich und damit zu energie- und klimapolitischen Zielsetzungen der Bundesregierung geleistet werden kann, können solche Leuchtturmprojekte sowohl eine Vorbildwirkung in Hessen als auch im Bund besitzen. Eine Förderung des dezentralen Energiemanagements erscheint auch vor dem Hintergrund sinnvoll, dass über die erzielbaren Einsparungen sowie die zugrundeliegende Technik eine Refinanzierungsgrundlage und Plattform für weitere Smart Home Anwendungen geschaffen werden kann. Es sollten grundsätzlich offene Plattformen forciert werden, die verschiedene Funktionen wie Medien, Gesundheit und Energie integrieren können und damit vermeiden, dass eine Vielzahl jeweils spezifischer Steuergeräte parallel zur Nutzung kommt.

Ansatzpunkte für Maßnahmen

Maßnahmen zur Förderung im Bereich Smart Home und Gebäudeautomatisierung in Hessen sollten sich nach Auffassung der Autoren daher auf folgende Punkte konzentrieren:

Leistungsfähigkeit des dezentralen Energiemanagements demonstrieren: Obwohl das dezentrale Energiemanagements seit vielen Jahren auf dem Markt angeboten wird und sich mit ihm nachweislich große Einsparungen erzielen lassen, findet es eine geringere Verbreitung als klassische energetische Sanierungsmaßnahmen (Dämmung, Austausch von Fenstern, etc.). Es ist daher nach wie vor notwendig, die Leistungsfähigkeit und Refinanzierbarkeit der Technik im Rahmen von Leuchtturmprojekten z.B. im mehrgeschossigen Wohnungsbau zu demonstrieren. Dabei kommt es auch darauf an, unterschiedliche auf dem Markt verfügbare Angebote praktisch zu erproben und zu differenzieren, denn nicht alle angebotenen Produkte können die versprochenen Einsparungen gleichermaßen

erzielen. Die Demonstration der Technik sollte daher durch ein Monitoring der erzielbaren Einsparungen und der Refinanzierungsmöglichkeiten begleitet werden.

Leuchtturmprojekt „Klimaschutz durch Energiemanagement und Low-Exergy“

Durch dezentrales Energiemanagement in Verbindung mit Low-Exergy-Technologien wird es möglich, bei einem konventionellen Wohngebäude mit einem spezifischen Wärmebedarf von $150 \text{ kWh} / \text{m}^2$ ohne weitere Gebäudeisolationsmaßnahmen die CO_2 -Emissionen bis 2020 um einen Faktor von 6,8 zu senken:

- Reduktion durch dezentrales Energiemanagement: $- 30 \text{ kWh} / \text{m}^2 = 120 \text{ kWh} / \text{m}^2$
- Deckungsanteil durch z.B. solarthermische Kollektoren: $- 20 \text{ kWh} / \text{m}^2 = 100 \text{ kWh} / \text{m}^2$
- Einsatz einer CO_2 -Wärmepumpe mit der Arbeitszahl 5: $100 \text{ kWh} / \text{m}^2 / 5 = 20 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Durch den Einsatz des dezentralen Energiemanagements, der Solarthermie und einer CO_2 -Wärmepumpe lässt sich also der Verbrauch eines konventionellen Wohngebäudes von $150 \text{ kWh} / \text{m}^2$ in Form von Gas oder Heizöl auf $20 \text{ kWh} / \text{m}^2$ in Form von Strom reduzieren. Gerechnet mit den zu erwartenden CO_2 -Emissionen für 2020 von $271 \text{ g} / \text{kWh}$ für Strom und $246 \text{ g} / \text{kWh}$ für Erdgas-Brennwert ergibt sich eine Emissionsreduktion von $36,9 \text{ kg} / \text{m}^2$ auf $5,4 \text{ kg} / \text{m}^2$, was einem Faktor 6,8 entspricht.

Integrierbarkeit von Angeboten der Heimvernetzung demonstrieren: Um die Vernetzbarkeit und Leistungsfähigkeit von Angeboten der intelligenten Heimvernetzung zu demonstrieren, sollte bei der Förderung von Forschung, Umsetzung und Leuchtturmprojekten in diesem Bereich darauf geachtet werden, dass es sich um technisch erweiterbare Ansätze handelt. Erst durch die Nutzung offener Plattformen können unterschiedliche Angebote aus der Heimvernetzung zugänglich gemacht werden. Voraussetzung für die Nutzung vielfältiger und leistungsfähiger Smart Home Anwendungen ist der Breitbandausbau des Festnetzes, wobei ggf. der aus dem Breitbandausbau resultierende Mehrverbrauch an Strom (beispielsweise aus Mediennutzung oder Smart Home Technik und Diensten) die Einsparungen aus dem Management von Stromverbrauch in den Haushalten überkompensieren kann. Eine Berücksichtigung der Effizienz des Gesamtsystems aus Netzen und Haushalten sollte daher unbedingt berücksichtigt werden. Grundsätzlich wird das Energiemanagement als eine Chance für die Bildung neuer Wertschöpfungspartnerschaften und Geschäftsmodelle in der Heimvernetzung angesehen, da über Einsparungen von Energie speziell im mehrgeschossigen Wohnungsbau Technik und Plattform der Heimvernetzung refinanzieren können. Dadurch kann das klassische Nutzer-Investoren-Dilemma aufgelöst werden, das häufig Investitionen zu Energieeinsparungen im Gebäudereich blockiert.

Orientierung and Anforderungen von Nutzern: Schließlich sollte bei der Förderung darauf geachtet werden, dass sich mögliche Aktivitäten und Vorhaben an den Anforderungen und Bedürfnissen der Nutzer orientieren. Viele Angebote der intelligenten Heimvernetzung mögen zwar realisierbar und technisch machbar sein, sie müssen jedoch auch der Kosten-Nutzen-Analyse der Kunden (Mieter, Immobilienbesitzer etc.) sowie der praktischen Umsetzung standhalten. So besitzt beispielsweise für die Umsetzung des Energiemanagements in der Wohnungswirtschaft das Thema Ausfallsicherheit

eine hohe Priorität und für Bewohner der Wohnungen stellen neben den erzielbaren Energieeinsparungen die einfache Bedienbarkeit der Technik und der Komfortgewinn eine wesentliche Bewertungsgröße dar. Sollen zusätzliche Angebote der intelligenten Heimvernetzung (z.B. Gesundheitsdienste oder AAL-Services) eingebunden werden, so besitzt dies auch rechtliche Implikationen zum Umgang und zur Sicherheit der erfassten Daten.

Netzentlastung durch Tarife: Ein Lösungsbeitrag von Smart Metern zur Netzentlastung ist überhaupt nur dann möglich, wenn die Tarifgestaltung ein Über- oder Unterangebot im Netz in Form eines Preissignals an die privaten und gewerblichen Endkunden weitergibt. Ein steuernder Eingriff der Energie- und Wirtschaftspolitik auf den Ausbau von Stromnetzen sowie die Preisbildung von Strom (Entgelte, Steuern etc.) erscheint unumgänglich, wenn die im Energiekonzept und der Energiewende formulierten Zielsetzungen erreicht werden sollen. Durch die bisherige Deregulierung des Strommarktes und die regulatorischen Vorgaben für die Beschaffung und den Handel mit Energie sind leistungsfähige Geschäftsmodelle für die effiziente Nutzung von Strom weitestgehend ausgeschlossen. Auch das Bundesland Hessen sollte prüfen, wie weit die Einführung eines lastvariablen Tarif durch die EVUs in Hessen realisiert und ggf. durch die Landesregierung befördert und unterstützt werden kann.

Neben den genannten Punkten ist vor allem der durch die Förderung erzielbarer umwelt- und wirtschaftspolitische Beitrag für Hessen von großer Relevanz. Smart Home Ansätze zur Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudebestand können hier eine entscheidende Rolle spielen, da die Energiebilanz vieler städtischer Ballungsgebiete dadurch verbessert werden kann und sie mit der Strategie des Landes und des Bundes zum Breitbandausbau von Kommunikationsnetzen kombinierbar sind.

5.2 Smart Industry

Unter dem Begriff Industrie 4.0 oder Smart Industry/ Smart Factory wird seit einigen Jahren die informationstechnische Weiterentwicklung der Industrie und insbesondere der Produktions- und Automatisierungstechnik verstanden. Die Bundesregierung hat im Rahmen ihrer Hightechstrategie (siehe www.hightech-strategie.de) einen eigenen Forschungsschwerpunkt zur Vernetzung von eingebetteten IKT-Systemen in der Industrie definiert. Durch die Entwicklung intelligenterer Monitoring- und autonomer Entscheidungsprozesse, sollen Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerke befähigt werden, Produktion und Logistik in Echtzeit steuern und optimieren zu können. Durch die Wandlungsfähigkeit der Produktion sowie die Integration von Kunden und Geschäftspartnern in Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse soll die Individualisierung von Produkten unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien-)Produktion (Mass Customization) vorangetrieben werden. Gleichzeitig soll die Ressourceneffizienz und die Ergonomie verbessert werden. Insgesamt sollen durch die Forschung auf diesem Gebiet Standortvorteile erarbeitet und neue Geschäfts- und Wertschöpfungsmodelle entwickelt werden. Aufgrund der in Hessen angesiedelten Produktions-, Maschinenbau- und Logistikindustrie ist die Forschung zu Smart Industry für das Bundesland von Relevanz. In Bezug auf Ressourcen- und CO₂-Einsparungen ist dieser Ansatz insofern von Interesse, als der Einsatz von IKT in der Produktions- und Automatisierungstechnik beispielsweise für eine effizientere Nutzung von Energie genutzt werden kann. Beispiele hierfür sind:

- Intelligente Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR), sie bildet den Oberbegriff für eine Vielzahl von intelligenten Komponenten und Anwendungen, die von internetfähigen Sensoren und Aktoren bis hin zu intelligenten Steuerungskonzepten in Form von neuronalen und selbstlernenden Steuerungseinheiten reichen. Gemeinsam ist diesen, dass sie auf IP-Technik basieren und die nahtlose Kommunikation über das Internet innerhalb eines Produktionsstandortes oder einer Wertschöpfungskette ermöglichen. Durch die Vernetzung der Komponenten über Internettechnik werden ehemals geräte- oder prozessspezifische Daten und Informationen für prozess-, standort- oder wertschöpfungskettenbezogene Optimierungsprozesse nutzbar.
- Intelligente Automatisierungstechnik, darunter werden verschiedene mechanische, elektrotechnische und pneumatische Komponenten für den automatisierten Betrieb von Maschinen und Anlagen verstanden. In Verbindung mit der oben genannten Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik bildet sie die Grundlage der meisten modernen Produktionsprozesse. Über eine intelligente und adaptive Automatisierungstechnik können heute bereits erhebliche Mengen an Energie eingespart werden. Beispiele hierfür sind intelligente Motoren und Antriebe (Smart Motors), deren Drehzahl in Abhängigkeit der anliegenden Lastbedingungen gesteuert wird (BCG und GeSi 2009) oder pneumatische Antriebe, die über intelligente Spar- und Abschaltungen den Energieverbrauch reduzieren (siehe Festo 2012).
- Intelligente Logistik und Wertschöpfungsketten, dies umfasst die informationstechnische und intelligente Unterstützung von Material-, Liefer- und Wertschöpfungsketten. So werden heute bereits RFID (Radio-Frequency-Identification)-Chips genutzt, um material- oder produktbezogene Informationen entlang der Lieferkette weiterzugeben und auszuwerten. Die Chips spielen bereits eine wichtige Rolle im Waren- und Bestandmanagement von Material und Gütern in der Lieferkette oder an einem Produktionsstandort sowie bei der Positionsbestimmung und dem Qualitätsmanagement (z.B. Überwachung von Kühlketten) in Zulieferketten.

An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass es sich bei vielen der genannten Ansätze aus dem Bereich Industrie 4.0 bzw. Smart Industry um Forschungsthemen mit hoher Innovationdynamik handelt. Wenngleich, wie die Beispiele zeigen, viele Einzellösungen existieren, ist eine durchgängige informationstechnische und IP-basierte Vernetzung vollständiger Prozessketten und Produktionsstandorte noch Zukunftsmusik. Den Vorteilen eines solchen Ansatzes, Mobilisierung großer Ressourceneffizienzpotenziale in der Fertigung, stehen Risiken gegenüber. Zum einen können durch eine vollständige Vernetzung in der Industrie Reboundeffekte entstehen, denn die Technik in Form der genannten informationstechnischen Komponenten und Anwendungen trägt selbst zu relevanten Ressourcen- und Energieverbräuchen bei. Zum anderen kann sich durch den Einsatz von Internettechnik in der Produktions- und Automatisierungstechnik das Risiko für Cyberattacken und die Anfälligkeit für Computerviren erhöhen. Industrie- und Fertigungsanlagen zählen zu den kritischen Infrastrukturen, die entsprechend informationstechnisch abgeschirmt werden müssen, die gilt bei allen möglichen Vorteilen im Rahmen der Forschung zur Industrie 4.0 zu berücksichtigen.

5.2.1 Beispiel chemische Industrie

Die Chemiebranche stellt mit 58.000 Beschäftigten einen der stärksten Industriesektoren in Hessen dar. In der Chemiebranche wird genau wie in allen anderen gegenwärtig intensiv daran gearbeitet, die Energie- und Ressourceneffizienz zu verbessern. Die explorierten Effizienzpotenziale sind dabei von vielfältiger Art. COPIRIDE ist z.B. ein EU-Projekt, welches eine Vision einer „Fabrik der Zukunft“ für die chemische Industrie entwickelt. Im Projekt COPIRIDE werden eine Reihe von Arbeitspaketen bearbeitet²³:

- Catalyst Optimisation,
- Intensifying Process Windows and Reactor Engineering,
- Modular Microreactor Design, Fabrication, and Testing,
- Development of Modular and other Mini-Production Plants,
- Industrial Demonstration Activities by Field Trials,
- LCA (life cycle assessment) and Cost Analysis.

Effizienzpotenziale werden hier nicht in IT-Lösungen, sondern eher in Katalysatoren sowie kleineren Anlagengrößen mit kontinuierlicher Prozessführung gesucht.

Auch das Projekt Innova2²⁴ zielt auf die Gestaltung und den Betrieb energieeffizienter Prozesse in allen Bereichen der stoffwandelnden Industrie, wie der petrochemischen, chemischen, spezialchemischen, pharmazeutischen, papier- oder lebensmittelverarbeitenden Industrie. Ziele des Verbundprojektes sind die Bewertung und apparative Optimierung innovativer Apparate zur Wärmeintegration sowie die Bereitstellung experimentell abgesicherter Dimensionierungsgrundlagen für diese. Damit wird die Steigerung der Energieeffizienz ausgeübter und neuer Produktionsverfahren durch Einsatz dieser Technologien befördert. Innova2 beschäftigt sich daher mit Apparatebau und nicht mit Prozesssteuerung.

Das ebenfalls sehr großvolumige EU-Projekt Synflow²⁵ und auch das EU-Projekt Polycat²⁶ fokussieren ebenso auf Katalysatoren und kleine Reaktoren. Polycat ergänzt aber diese Vorgehensweise durch einen Baustein zur Prozesssimulation:

- “Simulation of Catalysts and Reactions
- In silico simulations/calculations on structural, conformational and spectroscopic properties of catalyst systems and on reaction kinetics,

²³ Vgl. www.copiride.eu/workpackages.html vom 18.3.2013.

²⁴ Vgl. www.innova2.de vom 20.3.2013.

²⁵ Vgl. www.synflow.eu vom 18.3.2013.

²⁶ Vgl. www.polycat-fp7.eu vom 19.3.2013.

- Design and development of new algorithms, calculation protocols and implementations for the simulation of experimental results and geometry optimization procedures,
- Prediction of the nanoparticulate catalyst structure and their behavior in catalytic reactions,
- *Phenomenological interpretation of experimental data resulting in new material syntheses and reaction-process routes.*" 27

Ein Simulationsansatz spielt auch im wiederum sehr großen MultiMio.projekt Projekt F³ Factory eine Rolle. Das französische Unternehmen Arkema strebt im Rahmen des Projektes an, Acrylester mit einem um 10 bis 20 % niedrigeren Energieverbrauch herzustellen (Devaux 2011). Das auch in Hessen ansässige Unternehmen Evonic arbeitet im Rahmen des Projektes an einem neuen Typ eines Katalysator-Reaktors (PEC), mit dem ebenfalls ein um 10 bis 20 % niedrigerer Energieverbrauch angestrebt wird (F3-Factory 2012). Im Projekt wird eine Simulations-Software des Unternehmens Inosym-Consulting eingesetzt, von der sich das Unternehmen einen erheblichen Beitrag zu Einsparungen der eingesetzten Rohstoffe und Energien vorstellen kann.²⁸ Einfache Simulationen werden heute durch große wie kleine Chemieunternehmen bereits eingesetzt (Hellenkamp 2013). Durch aufwendigere Simulationen bis hin zur Computational Fluid Dynamics oder die aufwendige Steuerung der Energieflüsse in der Batch-Produktion (Energieintegration) lassen sich durch zeitgemäße IT dennoch zusätzliche Einsparpotenziale erschließen (Hellenkamp 2013).

Ein weiterer Ansatz ist die Verbesserung des Energiemanagements. Stehen alle erfassten Daten in Echtzeit auf einer einheitlichen Plattform zur Verfügung und können für das Energiemonitoring in der zentralen Datensoftware ausgewertet werden, so können oft erhebliche Einsparpotenziale erschlossen werden, häufig lassen sich 10 bis 20 % erreichen. Der spezialisierte Dienstleister deZem beschreibt die Wirkung wie folgt: *„Für die Analyse können verschieden aufbereitete Energiekennzahlen (Key Performance Indikatoren, KPI's) auf Basis individuell definierter Formeln (virtuelle Zähler) genutzt werden. Dazu gehören neben der tabellarischen Darstellung (inkl. Zielwertdefinition und Prognose) auch Jahresdauerlinien, Balkendiagramme und automatisierte Reports. Konfigurierte Verbrauchsübersichten lassen sich abspeichern und in einem personalisierten Energiebericht regelmäßig den betreffenden Nutzergruppen zustellen. Somit können die Verbräuche aller Kostenstellen, Liegenschaften, Gebäude, etc. zusammenfassend dargestellt und effizient ausgewertet werden. Das System eignet sich mithin hervorragend für ein umfangreiches betriebliches Energiemanagement“* (deZem 2013).

Stromverbrauch wird in Deutschland mit einer Öko-Steuer von 2,05 ct/kWh belastet. Es gibt allerdings Ausnahmen für stromintensive Betriebe. Näheres regelte noch bis zum 31. Dezember 2012 das Stromsteuergesetz. Mit der im November durch den Bundestag beschlossenen Verlängerung und Novellierung kommen betroffene Unternehmen auch die nächsten zehn Jahre in den Genuss von Steuerermäßigungen, wenn auch unter neuen Voraussetzungen. Jedes Unternehmen, das den sog-

²⁷ Vgl. www.polycat-fp7.eu/workpackages.html vom 19.3.2013.

²⁸ Vgl. www.inosim.de/f3.html vom 20.3.2013.

nannten Spitzenausgleich nutzen will, muss nachweisen, dass es sich um mehr Energieeffizienz bemüht. Für größere Unternehmen bedeutet dies konkret, dass sie 2013 mit dem Aufbau eines nach ISO EN 50001 oder EMAS zertifizierbares Energiemanagementsystem beginnen müssen. Kleine und mittlere Unternehmen mit weniger als 250 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von unter 50 Mio. € können alternativ Audits nach DIN EN 16247-1 einführen. Fördermöglichkeiten für den Erwerb von Software und Messtechnik für das Energiemanagement sowie für die Zertifizierung selbst sind in Planung (deZem 2012). Grundsätzlich besteht also ein Anreiz, Energiemanagementsysteme nunmehr in der Breite einzuführen. Für die Optimierung des Erfolgs im Energiesparen wird es dementsprechend wichtig, dass sich gute und wirksame Systeme durchsetzen.

5.2.2 Fazit

Insgesamt führt der kurze Überblick über eine Reihe der gegenwärtig laufender Projekte zur Steigerung von Wettbewerbsfähigkeit und Effizienz der chemischen Industrie zu einigen wesentlichen Erkenntnissen:

- Die Projekte sind durchweg ausgesprochen groß (F3-Factory spricht von einem Projektvolumen von 30 Mio. €) und von den Partnern international ausgerichtet.
- Im Zentrum mehrerer Projekte steht die Idee, durch neue Katalysatoren, kontinuierliche Prozessführung oder Energieintegration wesentliche Effizienzsprünge erreichen zu können.
- In einigen Projekten spiegelt sich aber auch der Trend der produzierenden Industrie, durch Simulation von Produkten, Produktverhalten oder Prozessen, teilweise auf Hochleistungsrechnern, die Entwicklung zu beschleunigen und für Versuche eingesetzte Rohstoffe und Energie einzusparen und ggf. auch die letztlich sich ergebende Effizienz der chemischen Prozesse zu verbessern. Ein Grund für optimalere Ergebnisse mag dabei darin liegen, dass im Rahmen von Simulationen mehr Varianten getestet werden können, als wenn jede Variante den Bau eines Versuchsobjekts bedeutet. Sei es nun ein Produkte wie ein Vorserienautomobil, welches verzichtbar ist, wenn man es stattdessen virtuell gegen die Betonwand fahren lässt, oder sei es ein chemischer Prozess, der sich studieren lässt, ohne für ihn eine Versuchs-Produktionsanlage zu bauen.

Mit Blick auf die so skizzierte Situation scheint zunächst die Förderung der Energieeffizienz der chemischen Industrie durch Einsatz von IT auf der Ebene eines Bundeslandes wenig aussichtsreich.

Ansatzpunkte für Maßnahmen

Ein zunehmender Bedarf der Industrie – nicht nur der chemischen – an Simulationsleistungen könnte jedoch grundsätzlich eine Geschäftschance für IT-Anbieter bedeuten.

Auch weist z.B. die Erfahrung von deZem (2013, auch Riegel 2013) darauf hin, dass durch weitere Optimierung der Mensch-Maschine Schnittstelle das Energiemanagement weiter optimiert und der Energieverbrauch in der Industrie – nicht nur der chemischen - weiter gesenkt werden kann. Konkret weist dies auf die Möglichkeit hin, durch die Initiierung von Informationsveranstaltungen den Quali-

tätsdiskurs um gute und schlechte Energiemanagementkonzepte und –systeme zu fördern und so zu erreichen, dass sich möglichst wirksame Systeme im Markt verbreiten.

Weiter ist in Erinnerung zu rufen, auch das Thema Smart Motors über die Wirtschaftsförderung bzw. -beratung als Ansatz der Kostensenkung zu kommunizieren. Ggf. könnte eine Informationskampagne auch die Themen Energiemanagement und Smart Motors integriert kommunizieren.

5.3 Telearbeit²⁹

Telearbeit ist wie aus Kap. 4.5.4 deutlich wurde keine neuer Ansatz, sondern ein stark durch die technische Umsetzbarkeit beeinflusstes Feld. Während in den 1980er Jahren, zur Zeit analoger Kommunikations- und Datenübermittlungstechnik, Telearbeit noch weitestgehend als Fiktion gesehen wurde (Harabi 2001, 44), hat sich dies mit Einführung des Internets und leistungsfähiger, digitaler Informations- und Kommunikationstechnik ab den 1990er Jahren grundlegend verändert.

Dies lässt sich auch anhand der Terminologie im Themenfeld nachzeichnen. Der Begriff der Telearbeit ist inzwischen einer Vielzahl neuer Büro- und Arbeitsmodelle wie Home-Office, non-territoriale Bürokonzepte, Shared Desk oder Plug & Work gewichen. Der im Jahr 1997 gegründete Verband Telearbeit Deutschland e.V. mit Sitz in Bonn wurde Ende Mai 2002 liquidiert. Auch dies ist ein Beleg dafür, dass sich Begriffe und Konzepte in diesem Feld verändert haben.

5.3.1 Einflussfaktoren auf die Diffusion

Die folgenden Tabellen dienen der Analyse von Einflussfaktoren auf die Diffusion der Telearbeit. Sie beruhen auf Arbeiten innerhalb des Borderstep-Projektes Diffusionspfade von Nachhaltigkeitsinnovationen. Die Methodik ist im Endbericht des Projektes dargestellt (Fichter und Clausen 2013), eine Kurzfassung ist unter www.borderstep.de verfügbar (Fichter und Clausen 2012). Der Maximalwert der Wertung beträgt bei allen Bewertungen 2 Punkte, der Minimalwert von -2 Punkte wird nur bei einigen deutlich hindernden Faktoren vergeben.

Produktbezogene Faktoren	Fakten	Wertung
1. <i>Relativer Vorteil der Innovation:</i> Welchen funktionellen oder ökonomischen Vorteil hat die Innovation im Vergleich zum Vorgängerprodukt?	Für die Beschäftigten ist Telearbeit mit mehr zeitlichen und räumlichen Freiheiten verbunden, auch lassen sich Familie und Beruf leichter miteinander verbinden. Das Unternehmen kann mit Telearbeit Mitarbeiter z.B. in der Familienphase besser halten und spart u.U. auch Bürofläche (Greisle 2003).	2
2. <i>Wahrnehmbarkeit:</i> Ist die Nutzung der Innovation durch Dritte	Durch die Beobachtung des Arbeitsverhaltens Dritter recht gut wahrnehmbar.	2

²⁹ Bevor ggf. Aktivitäten zur Förderung der Telearbeit begonnen werden, sollte die Frage des Begriffes hierzu nochmals überdacht werden. Telearbeit ist einerseits ein schon etwas in die Jahre gekommener Begriff, andererseits ist er kurz und einfach. Neben Telearbeit hat sich zumindest das Home-Office als Begriff etabliert.

wahrnehmbar, ohne das durch besondere Informationsanstrengungen auf sie hingewiesen wird?		
3. <i>Kompatibilität</i> : Ist die Innovation an ihr Umfeld technisch, institutionell und kulturell anschlussfähig?	Erhebliche Synergien im Lebensumfeld der Telearbeiter.	2
4. <i>Komplexität</i> : Ist die Innovation für den Adopter komplex und bedarf es besonderen Fachwissens zum Verständnis?	Nicht komplex.	2
5. <i>Erprobbarkeit</i> : Kann die Innovation ohne großen Aufwand durch Anwender erprobt werden?	Uneingeschränkt erprobbar.	2

Adopterbezogene Faktoren	Fakten	Wertung
6. <i>Nutzer-Innovatoren</i> : Lassen sich im <u>Innovationsprozess</u> bzw. bei der Markteinführung Innovatoren auf der Anwenderseite identifizieren? Wenn ja, wer sind diese und um welche Art von Innovatoren handelt es sich? Gibt es Hinweise, dass Nutzer-Innovatoren gezielt in der Herstellerinnovationsprozess integriert wurden?	Innovatoren waren Arbeitgeber, die Beschäftigte z.B. in der Familienphase halten oder entlasten wollten.	2
7. <i>Notwendigkeit von Verhaltensänderung</i> : Verlangt die Anwendung der Innovation beim Adopter eine Verhaltensänderung?	Erhebliche, aber gewollte Verhaltensänderungen. Mit der Geburt eines ersten Kindes existiert ein „Life-Event“ welches die Motivation zur Verhaltensänderung stark erhöht.	2
8. <i>Unsicherheiten bei Adoptoren</i> : Inwieweit gab oder gibt es unter den Adoptoren Unsicherheiten bezüglich der Innovation?	Befürchtet werden bei zu viel Telearbeit soziale Isolation, Karrierehindernisse und ein zu tiefes Eindringen der Arbeit ins Privatleben (Greisle 2003).	1
9. <i>Preise, Kosten, Wirtschaftlichkeit</i> : Inwieweit fördern oder hemmen Preis-, Kosten- oder Wirtschaftlichkeitsaspekte die Adoption?	Bei überschaubaren Kosten für die Infrastruktur führt Telearbeit zu erheblichen Verbesserungen bei vielen Indikatoren der Arbeitszufriedenheit, so dass es für viele Arbeitgeber offenbar wirtschaftlich ist (Greisle 2003). Beleg dafür ist auch die rasche Verbreitung.	2

Anbieterbezogene Faktoren	Fakten	Wertung
10. „Grüne“ Zielsetzungen der Pioniere: Zeichnen sich die Pionieranbieter der Innovation durch ökologische Zielsetzungen und Überzeugungen aus?	Das Nachhaltigkeitsziel der Familienfreundlichkeit der Arbeitsplätze war von Anfang an eines der Hauptziele der Pioniere. DA diese Pioniere aber Anwender und nicht Anbieter waren, erfolgt eine Bewertung dieses Faktors mit 0.	0
11. Größe und Reputation der Anbieter: Existieren bereits Anbieter der	Es gibt keine wirklichen Anbieter. Einige Unternehmens- und Organisationsberater unterstützen Unternehmen	1

Innovation, die über einen hohen Bekanntheitsgrad und hohe Reputation verfügen?	beim Aufbau von Telearbeit. Hinzu kommt die Notwendigkeit bestimmter IT-Ausstattungen.	
12. <i>Vollständigkeit und Verfügbarkeit der Serviceangebote</i> : Wird die Innovation mit einem vollständigen Servicepaket angeboten und ist sie für den Kundenkreis einfach verfügbar?	Es ist kaum Service erforderlich, es existiert jedoch auch kaum eine professionelle Hilfestellung.	1

Branchenbezogene Faktoren	Fakten	Wertung
13. <i>Rolle des Branchenverbandes</i> : Existiert zum Zeitpunkt der Markteinführung ein Branchenverband, verfügt er über politischen Einfluss und setzt er diesen für die Förderung der Innovation ein?	Verband Telearbeit Deutschland e.V, gegründet 1997, in 2002 aufgelöst.	0
14. <i>Rolle der Marktführer</i> : Wer waren die Marktführer in der Branche, in dem die Innovation eingeführt wurde und fördern oder hemmen sie die Diffusion?	Keine Marktführer.	0
15. <i>Intermediäre als Change Agencies</i> : Inwieweit haben Marktintermediäre (z.B. Handelsunternehmen) und Politikintermediäre (z.B. Energie-, Effizienz-, Klimaschutzagenturen) bis dato den Diffusionsverlauf beschleunigt oder gebremst?	Nur die berufundfamilie gGmbH treibt das Thema sichtbar voran.	1

Politische Faktoren	Fakten	Wertung
16. <i>Institutionelle Hemmnisse</i> : Inwieweit haben gesetzliche oder behördliche Regelungen die Verbreitung der Innovation bis dato gehemmt?	Keine.	2
17. <i>Staatliche Push- und Pull-Aktivitäten</i> : Inwieweit wurde die Innovation durch regionale, nationale oder EU-weite Vorschriften (Push) oder Förderaktivitäten (Pull) in ihrer Verbreitung beschleunigt? Spielen dabei explizite Umwelt- oder Nachhaltigkeitszielsetzungen eine Rolle?	Telearbeit wird mit den Argumenten „Sicherung von Beschäftigung“ wie auch „Familienfreundlichkeit“ sowohl vom BMAS wie auch vom BMFSFJ wenig engagiert und mit sehr begrenzten Mitteln unterstützt.	1
18. <i>Leitmarktpolitiken</i> : Ist die Innovation Teil einer gezielten Leitmarktpolitik auf regionaler, nationaler oder EU-Ebene? Spielen dabei expli-	Keine.	0

zite Umwelt- oder Nachhaltigkeitszielsetzungen eine Rolle?		
19. <i>Medien und Kampagnen</i> : Inwieweit haben Medien (Presse, Rundfunk etc.) und Kampagnen von NGOs den Diffusionsverlauf beschleunigt oder gebremst?	Telearbeit ist immer wieder Gegenstand von Berichten gewesen, Kampagnen für Telearbeit sind aber nicht bekannt.	1

Pfadbezogene Faktoren	Fakten	Wertung
20. <i>Pfadabhängigkeiten</i> : Inwieweit haben technologische oder wirtschaftliche Pfadabhängigkeiten die bisherige Diffusionsgeschwindigkeit gebremst?	Telearbeit widerstrebt vielen Managern. Widerstand im mittleren Management und das Fehlen geeigneter Kontrollmöglichkeiten werden von Greisle (2003) als wesentliche Barrieren bei der Einführung dargestellt.	-2
21. <i>Preisentwicklung</i> : Wie hat sich der (inflationsbereinigte) Preis im Verlauf des Diffusionsprozesses entwickelt?	In Unternehmen, in denen bereits Server Based Computing oder Cloud Computing genutzt wird und die den Beschäftigten Telearbeit vom eigenen PC gestatten, ist Telearbeit praktisch kostenlos zu haben. Durch die Entwicklung des Internet und der Preise für Datentransfer ist der Preis für die notwendige Infrastruktur seit den 90er Jahren stark gesunken.	2
22. Selbstverstärkende Effekte: Sind im sozialen System des Diffusionsprozesses selbstverstärkende Effekte wie z.B. Nachahmungseffekte aufgrund von Vorbildern/ Prominenten/ Meinungsführern oder kritische Masse-Phänomene zu beobachten?	Positive Effekte scheinen sich rasch herumsprechen.	2

5.3.2 Wirkungen der Diffusion

Wirkungen auf Produktebene: Hat das Einzelprodukt eine nachgewiesene soziale oder ökologische Verbesserungswirkung? Liegen dazu Daten und Fakten vor?

Als Umweltwirkungen der Telearbeit werden eine Reduktion des Verkehrsaufkommens sowie ein reduzierter Aufwand für die Bereitstellung von Büroraum aufgeführt.

Rebound-Effekte: Lassen sich Rebound-Effekte beobachten bzw. sind diese in der Zukunft wahrscheinlich?

Wie bisherige Untersuchungen zu Umwelteffekten der Telearbeit aber zeigen, kann die Umweltbilanz durch die zusätzlich benötigte Infrastruktur (Flächenbedarf und Beheizung des Home Office, zusätzliche IT-Geräte etc.) und durch eine größere Freiheit bei der Wohnortwahl und damit größeren Entfernungen bis ins Büro negativ beeinflusst werden (Grieshammer et al. 1997, 42 ff sowie Arnfalk 1999, 100).

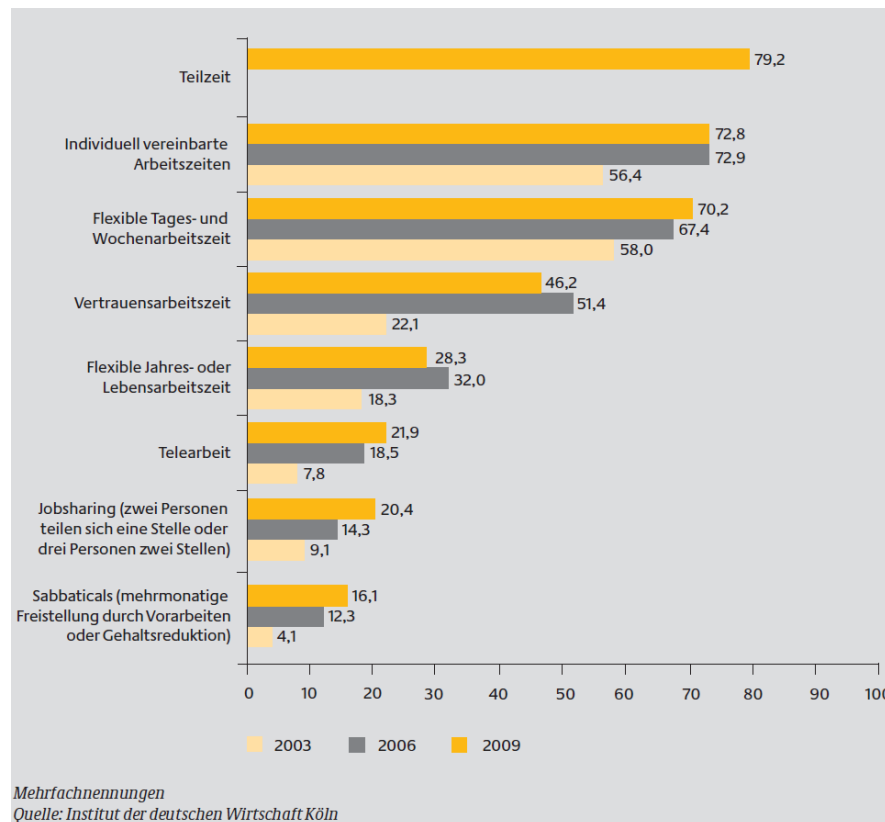
Re-Inventionsfähigkeit: Bietet die Innovation die Möglichkeit für regionale oder anwenderspezifische Anpassungen und Erfindungen? Bietet die Innovation eine Grundlage für Folgeinnovationen?

Über die ohnehin starke Innovation im Bereich mobiler Geräte hinaus ist durch „nur“ Telearbeit kein weiterer innovativer Impuls in die IT hinein zu erwarten. In der Arbeitsorganisation hingegen sind weitere Innovationen sehr wahrscheinlich, z.B. durch das vermehrte Entstehen „fraktaler“ Unternehmen auch im Dienstleistungsbereich.

Diffusionskurve: Welche Daten sind über die Diffusion im Laufe der Zeit bekannt und wie groß ist der Marktanteil der Innovation in Deutschland heute?

Innerhalb der Instrumente zur Flexibilisierung von Arbeitszeit und Arbeitsort gehört die Telearbeit zum Mittelfeld. Sie wird zzt. von 21,9 % der Unternehmen angeboten.

Abbildung 31: Anteil der Unternehmen mit einer bestimmten familienfreundlichen Maßnahme in Prozent



Quelle: BMFSFJ 2010

Fraunhofer IAO (2002) gibt für Deutschland schon im Jahr 2002 einen Anteil von 16,6 % der Erwerbstätigen als Nutzer von Telearbeit an. 1999 sind es nur 6 % gewesen. Für das Jahr 2013 sagen die vom Fraunhofer IAO befragten Experten (Meier 2008) sogar für ein Drittel aller Beschäftigten Telearbeit voraus.

5.3.3 Zusammenfassende Bewertung Diffusionsanalyse

Der Charakter des Diffusionspfades Telearbeit lässt sich vergleichsweise deutlich machen, indem man die in den Faktorengruppen durchschnittlich erreichte Punktzahl (bezogen auf die Maximalpunktzahl von 2) betrachtet. Es zeigt sich, dass eine Innovation mit sehr vorteilhaften Eigenschaften und sehr hohem Adopterinteresse vorliegt. In allen anderen Faktorengruppen schneidet die Innovation in unserer Analyse schlecht ab:

Tabelle 24: Bewertung der Faktorengruppen in der Diffusion der Telearbeit

Faktorengruppe	Durchschnittliche Punktzahl
Produktbezogene Einflussfaktoren	2
Adoptorbezogene Einflussfaktoren	1,75
Anbieterbezogene Einflussfaktoren	0,66
Branchenbezogene Einflussfaktoren	0,33
Politikbezogene Einflussfaktoren	1
Pfadbezogene Einflussfaktoren	0,66

Professionelle Anbieter der Innovation, die Unterstützung leisten könnten, gibt es nicht. Zwar bietet die IT-Branche Service, um die IT Nutzung mobil oder aus dem Homeoffice möglich zu machen, bei den arbeitsorganisatorischen Fragen hilft sie jedoch nicht. Hier ist der Anwender auf Unterstützung durch schriftliche Unterlagen oder Berater aus der Arbeitsorganisation bzw. Organisationsentwicklung angewiesen.

Eine Branche, die Telearbeit anbietet, gibt es im engeren Sinne nicht. Mangels einschlägiger Anbieter existieren auch keine Marktführer, die mit höherem Bekanntheitsgrad neue Anwenderkreise erschließen. Der Verband Telearbeit e.V. existierte nur kurze Zeit und die Zahl von Initiativen und Kampagnen scheint begrenzt zu sein. Einschlägig aktive Markt- oder Politikintermediäre sind uns ebenfalls nur wenige bekannt. Regelmäßig thematisiert wird die Telearbeit durch das Programm auditberufundfamilie (www.beruf-und-familie.de) der gemeinnützigen berufundfamilie GmbH, einer Gründung der Hertie-Stiftung.

Zwar sind keine politisch veranlassten institutionellen Hemmnisse bekannt, die Unterstützung der Politik beschränkt sich aber auf wenige und eher unsichtbare Aktivitäten. So existiert von BMAS und BMWi (2001) ein Leitfaden für Telearbeit, der jedoch schon ein wenig in die Jahre gekommen ist. Auch bieten BMAS und BMFSFJ selbst alternierende Telearbeit an, wie es z.B. im Kurzportrait zum auditberufundfamilie des BMAS aus 2008 dokumentiert wird (BMAS). Das BMFSFJ hat in seinem „Unternehmensmonitor Familienfreundlichkeit 2010“ (BMFSFJ 2010) zwar auch die Verbreitung der Telearbeit untersucht, aber darüber hinaus fast nichts zu seiner Verbreitung unternommen.

Gerade in KMUs scheint sich Telearbeit nur langsam auszubreiten. Widerstand im mittleren Management und das Fehlen geeigneter Kontrollmöglichkeiten werden von Greisle (2003) als wesentliche Barrieren bei der Einführung dargestellt. Im Kontext des Cloud Computing könnte es jedoch zu einem Pfadwechsel in der IT kommen, der grundsätzlich unterstützend und vermutlich auch deutlich preisenkend für die Telearbeit wirkt. Jedoch entstehen so nur technische Möglichkeiten im Kontext der nötigen IT-Konzepte, die Hemmnisse der Organisationsentwicklung und Personalführung werden so nicht geringer. Ebenso wird ein Pfadwechsel offenbar dadurch unterstützt, dass Telearbeit bereits deutlich verbreitet ist. Sowohl Bitkom (2010) als auch UBA (2010) berichten über Nutzerquoten von 10 %, was auf ein Überschreiten der sogenannten „kritischen Masse“ Hinweisen könnte.

Ansatzpunkte für Maßnahmen

Kern möglicher Aktivitäten zur Förderung der Telearbeit muss es sein, die in vielen Unternehmen offenbar noch vorhandenen Widerstände zu reduzieren und durch geduldige Beratung im Detail an immer mehr geeigneten Arbeitsplätzen in immer mehr Unternehmen Telearbeit möglich zu machen. Es finden sich zwei offensichtliche Ansatzpunkte:

- Es besteht offenbar ein deutlicher Mangel an wirtschaftlichen Akteuren, die an der Einführung von Telearbeit interessiert sind, weil sie daran verdienen. Ein solches Angebot kann aber nur erfolgreich sein, wenn sowohl IT-Kompetenzen als auch Kompetenzen in der Organisationsentwicklung vorhanden sind. Letztlich wäre es u. U. hilfreich, eine Reihe von Partnerschaften von Systemhäusern und Organisationsberatungen zu initiieren, die interessierten Anwendern ein Komplettpaket bieten könnten.
- Genauso scheint es erforderlich, den typischerweise lang andauernden kulturellen Wandel, der mit dem Übergang von festen Arbeitszeiten und -orten zu Telearbeit verbunden ist, durch eine kontinuierliche Informations- und Überzeugungsarbeit zu unterstützen. Für eine solche Initiative gibt es aufgrund aktueller Megatrends aus Sicht der Wirtschaftspolitik wie der Anwender zwei gute Gründe:
 - a) Zum einen verstärkt der demographische Wandel schon heute den Wettbewerb um gut ausgebildete Fachkräfte. Solche Fachkräfte gewinnen Unternehmen aber auch durch Arbeitsbedingungen wie Telearbeit, die ein produktives Mitarbeiten mit einer erfüllenden Work-Life-Balance verbinden.
 - b) Zum zweiten schafft, wie oben schon angedeutet, der Megatrend Cloud Computing den technischen Rahmen für einen raschen und kostengünstigen Einstieg in Telearbeit.
- Ausgangspunkt für mögliche Aktivitäten wäre eine Informations- und Überzeugungskampagne. Diese könnte in Kooperation mit den IHKs und ggf. auch den Handwerkskammern sowie den Gewerkschaften aufgebaut werden. Die Zielgruppen einer solchen Kampagne wären einerseits die Anwender, andererseits aber auch mögliche Anbieter von Beratungs- und Umstellungsdienstleistungen in der IT und der Organisationsberatung.

- Als niedrigschwelliger Einstieg könnte mit Broschüren oder Internetauftritten gearbeitet werden. Auch ein Format des Blended Learning wäre denkbar, in dem interessierte Anwender sich Stufe für Stufe durch einen internetgestützten Lernprozess arbeiten könnten.
- Weiter wäre das Format der Beratungsveranstaltung wichtig, auf denen sowohl Fachleute wie erfahrene Anwender über Konzepte und Erfahrungen vor interessierten Anwendern berichten würden. Eine solche Veranstaltung müsste quasi als Roadshow konzipiert werden und an vielleicht 10 oder 20 Orten in Hessen durchgeführt werden.

Parallel wäre durch eine Reihe von Workshops der Hessen IT an der Vernetzung von interessierten Systemhäusern und Organisationsberatungen zu arbeiten. Geht man grundsätzlich von der Annahme aus, dass kaum ein Unternehmen aufgrund eines Projektes zur Telearbeit das Systemhaus wechseln dürfte, würden die Systemhäuser hier die für den Marktzugang wesentlichsten Kernakteure darstellen.

Abzurunden wären die Aktivitäten durch eine zentrale Institution, die die Projektleitung und Koordination übernimmt und auch zu festen Bürozeiten telefonisch zur Verfügung steht. Für diese Funktion müsste eine geeignete Stelle gefunden werden.

6 Literatur

- 4G.de (2013): Live-Statistiken zum mobilen Internet in Deutschland. 3G vs. 4G Netzabdeckung und Bundesländer im 4G Vergleich. Online unter www.4g.de/statistiken/ vom 13.2.2013.
- ABG Nova (2013): Virtuelles Kraftwerk. Website. Online unter www.abgnova.de/aktionen/virtuelles_kraftwerk.php vom 12.2.2013.
- ABUS (2013): Homepage Objektsicherheit. Online unter www.abus.com/Objektsicherheit vom 8.2.2013.
- Acatech (Hrsg.) (2012): agenda CPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Acatech Studie. München und Berlin. Online unter www.acatech.de vom 23.1.2013.
- Accenture und WSP (2010): Cloud Computing and Sustainability: The Environmental Benefits of Moving to the Cloud. Studie in Kooperation mit Microsoft. Online unter www.accenture.com vom 16.9.2011.
- Agentur für Erneuerbare Energien (2013): Landesinfo Hessen. Online unter www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/HE/kategorie/solar vom 28.1.2013.
- Arbeitskreis der Automobilimporteure (2011): Fakten statt Vorurteile. KLARE ANTWORTEN ZUM THEMA UMWELT, KLIMA & AUTO. Online unter http://wko.at/fahrzeuge/main_frame/statistik/wf_automobil/Folder%20Autoland%20%C3%96sterreich.pdf vom 31.1.2013.
- Arnfolk, P. (1999): Information Technology in Pollution Prevention, Teleconferencing and Telework Used as Tools in the Reduction of Work Related Travel, IIEEEDissertations, The International Institute for Industrial Environmental Economics. Lund University, Lund/Schweden.
- Balance Power GmbH (2011): Minutenreserve. Zusatzerlöse für Betreiber von Notstromaggregaten, Stromerzeugern oder Stromverbrauchern. Online unter www.balancepower.de vom 27.9.2011.
- BAUM (2012): Smart Energy made in Germany, Zwischenergebnisse der E-Energy-Modellprojekte auf dem Weg zum Internet der Energie. München, Berlin.
- Behrendt, S. (2011): Smart Metering: Potenziale und Erfolgsfaktoren für Energieeinsparung in Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsyste. Vortrag auf der Jahrestagung Wissenschaftsforum Green IT in Berlin am 2.11.2011.
- Behrendt, S., Jonuschat, H., Heinze, M. & Fichter, K. (2003): Literaturstudie zu den ökologischen Folgen des E-Commerce. IZT-Werkstattbericht Nr. 51. Berlin.
- Behrendt, S., Blättel-Mink, B. & Clausen, J. (Hrsg.) (2011): Wiederverkaufskultur im Internet. Chancen für nachhaltigen Konsum am Beispiel von eBay. Springer. Heidelberg, Dordrecht, London, New York.
- Beister, F. (2013): Universität Paderborn. Persönliches Gespräch auf dem BMWI-Stand der Hannover Messe am 6.3.2013.

- Beucker, S. et al. (2013): Geschäftsmodelle für den Zukunftsmarkt des dezentralen Energiemanagements in Privathaushalten - Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt Connected Energy – SHAPE. Berlin. Im Erscheinen.
- BITKOM (2007): Umsatz mit mobilen Navigationsgeräten klettert erstmal über 1 Milliarde €. Presseinformation vom 15.3.2007. Berlin. Online unter www.bitkom.org/files/documents/BITKOM_Presseinfo_Navigationsgeraete.pdf vom 2.2.2013.
- Bitkom (2010): Berufstätige wünschen sich flexiblere Arbeitsbedingungen. Pressemeldung vom 27.4.2010. Online unter www.bitkom.org/de/presse/66442_63496.aspx vom 4.2.2013.
- Bitkom (2010a): Landkarten haben bei der Fahrt in den Urlaub ausgedient. Pressemeldung vom 20.7.2010. Online unter www.bitkom.org/de/presse/66442_64603.aspx vom 8.2.2013.
- BITKOM (2011): Weniger Auto-Navigationsgeräte, mehr Navi-Apps. Presseinformation vom 14.8.2011. Berlin. Online unter www.bitkom.org/de/presse/66442_63496.aspx vom 4.2.2013.
- BITKOM (2012): Fernseher mit Internet Anschluss werden Standard. Pressemeldung vom 20.5.2012. Online unter www.bitkom.org/de/presse/8477_72261.aspx vom 14.2.2013.
- BMAS (2008): auditberufundfamilie. Kurzportrait. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Online unter www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/audit-zertifikat-2008.pdf?__blob=publication File vom 15.3.2013.
- BMAS und BMWi (2001): Telearbeit. Leitfaden für flexibles Arbeiten in der Praxis. Bonn und Berlin. Online unter www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=12200.html vom 15.3.2013.
- BMFSFJ (2010): Unternehmensmonitor Familienfreundlichkeit 2010. Online unter www.bmfsfj.bund.de/RedaktionBMFSFJ/Broschuerenstelle/Pdf-Anlagen/unternehmensmonitor-2010,property=pdf,bereich=bmfsfj,sprache=de,rwb=true.pdf vom 30.1.2011.
- BMVBS (2011): Verkehr in Zahlen 2010/11. Hamburg.
- BMWi und BMRBS (1998): Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung - HeizAnIV) Neufassung vom 4. Mai 1998 (BGBl. I 1998 S. 851). Online unter www.zentralheizung.de/gesetze-und-verordnungen/heizungsanlagenverordnung-heizanlv.php vom 16.1.2013.
- Börsenblatt.net (2010): GfK-Studie zur Situation auf dem deutschen Buchmarkt. Meldung vom 15.03.2010. Online unter www.boersenblatt.net/373561/template/bb_tpl_branchenstudien/ vom 4.2.2013.
- Boston Consulting Group & Global e-Sustainability Initiative (BCG & GeSI) (Hrsg.) (2009): SMART 2020 Addendum Deutschland: Die IKT-Industrie als treibende Kraft auf dem Weg zu nachhaltigem Klimaschutz. Verfügbar unter www.telekom.com/static/-/10038/1/smart-2020-si vom 20.11.2012.
- Braeseke, G., Merda, M., Henke, K.-D., Troppens, S., Fachinger, U. & Koch, H. (2011): Teilergebnisse zur Studie "Ökonomische Potenziale und neuartige Geschäftsmodelle im Bereich altersgerechte Assistenzsysteme" im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Discussion Paper 2/2011, Vechta: Institut für Gerontologie - Ökonomie und Demographischer Wandel.

- Breko (2013): Vectoring: Bundesnetzagentur erschwert massiv den Breitbandausbau für Wettbewerber. Pressemeldung vom 9. April 2013. Online unter [www.brekoverband.de/presse/breko-pressemitteilungen/breko-pressemitteilungen-detailseite/?no_cache=1&tx_iwpresse_pi1\[showUid\]=124&cHash=8fd77375baa1666ec11824bb51e350bd](http://www.brekoverband.de/presse/breko-pressemitteilungen/breko-pressemitteilungen-detailseite/?no_cache=1&tx_iwpresse_pi1[showUid]=124&cHash=8fd77375baa1666ec11824bb51e350bd) vom 24.4.2013.
- BSW-Solar (2012): Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche. Online unter www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/bsw_solar_fakten_pv.pdf vom 28.1.2013.
- BSW-Solar (2013): Entwicklung des deutschen PV-Marktes. Online unter www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/bnetza_0112_kurz.pdf vom 11.2.2013.
- Buchholz, B. M. et al. (2012): Intelligentes Lastmanagement - Erfahrungen aus der Praxis. Vortrag auf dem VDE-Kongress "Smart Grid" - Intelligente Energieversorgung der Zukunft am 5. und 6. November 2012 in Stuttgart. Online unter www.web2energy.com/news-downloads/publications/ vom 14.2.2013.
- Buchreport (2012): GfK: E-Books steuern 1% zum Buchmarkt bei. Vermessung der digitalen Buchwelt. Meldung vom 14.3.2012. Online unter www.buchreport.de/nachrichten/online/online_nachricht/datum/2012/03/14/vermessung-der-digitalen-buchwelt.htm vom 4.2.2013.
- Bundesagentur für Arbeit (2012): Arbeitsmarkt in Zahlen. November 2012. Online unter <http://statistik.arbeitsagentur.de/Statistikdaten/Detail/201211/iiia6/sozbe-monatsheft-wz/monatsheft-wz-d-0-pdf.pdf> vom 2.2.2013.
- Bundesagentur für Arbeit (2013): Der Arbeits- und Ausbildungsmarkt in Deutschland. Dezember und das Jahr 2012, Nürnberg. Online unter <http://statistik.arbeitsagentur.de/Statischer-Content/Arbeitsmarktberichte/Monatsbericht-Arbeits-Ausbildungsmarkt-Deutschland/Monatsberichte/Generische-Publikationen/Monatsbericht-201212.pdf> vom 19.2.2013.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BaSt) (2012): Projektplan Straßenverkehrstelematik 2015. Online unter www.bast.de/DE/Aufgaben/abteilung-v/referat-v5/projektplan-telematik/projektplan.html vom 1.2.2013.
- Bundesnetzagentur (2013): Statistik Funkanlagenstandorte vom 16. August 2011 und Statistik Standortmitbenutzung 2010. Online unter http://emf2.bundesnetzagentur.de/statistik_funk.html vom 18.1.2013.
- Bundesnetzagentur (2013a): TAL-Entgelte. Stand Januar 2013. Online unter www.bundesnetzagentur.de/cln_1911/DE/DieBundesnetzagentur/Beschlusskammern/1BK-Geschaeftszeichen-Datenbank/BK3-GZ/2011/2011_001bis100/BK3-11-003_BKV/BK3-11-003_Tenor_vorl%C3%A4ufiger_Beschluss_BKV.html?nn=78380 vom 19.3.2013.
- Bundesnetzagentur (2013b): Bundesnetzagentur veröffentlicht Entscheidungsentwurf zu Vectoring. Pressemeldung vom 9.4.2013. Online unter www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2013/130409_Entwurf_TAL_Vectoring.html?nn=65116 vom 24.4.2013.
- Bundesrepublik Deutschland (2012): Telekommunikationsgesetz. Gesetz vom 22.06.2004 (BGBl. I S. 1190) zuletzt geändert durch Gesetz vom 03.05.2012 (BGBl. I S. 958, ber. S. 1717) m.W.v. 10.05.2012, 01.09.2012 bzw. 01.12.2012. Online unter www.dejure.org/gesetze/TKG vom 13.2.2013.

- Bundesumweltministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2012): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Stand Juli 2012. Berlin.
- Bundesumweltministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltbundesamt & BITKOM (BMU, UBA & BITKOM Hrsg.) (2010): Roadmap "Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020 - Entwicklung eines Leitmarkts für Green-Office Computing", Berlin. Online unter www.bitkom.de vom 12.1.2013.
- Bürger, V: (2009): Identifikation, Quantifizierung und Systematisierung technischer und verhaltensbedingter Stromeinsparpotenziale privater Haushalte. Transponse Working Paper 3. Freiburg. Online unter www.uni-muenster.de/imperia/md/content/transpose/publikationen/b__rger_2009_neu.pdf vom 1.2.2013.
- BWE (2013): Windenergie in Hessen. Online unter www.wind-energie.de/infocenter/statistiken/bundeslaender/windenergie-hessen vom 28.1.2013.
- CHEMIE.DE Information Service GmbH (2013): Website Benzin. Online unter www.chemie.de/lexikon/Benzin.html vom 21.3.2013.
- Chip online (2010): Telekom baut größtes Cloud-Rechenzentrum. Online Artikel vom 16.06.2010. Online unter http://business.chip.de/news/Telekom-baut-groesstes-Cloud-Rechenzentrum_43394596.html vom 22.2.2013.
- Cisco (2008): Approaching the Zettabyte Era, White Paper, Online unter www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481374_ns827_Networking_Solutions_White_Paper.html vom 15.1.2013.
- Cisco (2012): The Zettabyte Era, White Paper, Online unter www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/VNI_Hyperconnectivity_WP.html vom 15.1.2013.
- Cisco (2013): Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2011-2016. Online unter www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360_ns827_Networking_Solutions_White_Paper.html vom 19.2.2013.
- Computerwoche (2012): Dem Server-Markt in Westeuropa geht es gar nicht gut. Meldung vom 30.08.2012. Online unter www.computerwoche.de/a/dem-server-markt-in-westeuropa-geht-es-gar-nicht-gut,2521684 vom 13.3.2013.
- Crn.de (2013): Server-Verkäufe im vierten Quartal 2012. Server-Umsätze in Europa gehen weiter zurück. Meldung vom 1.3.2013. Online unter www.crn.de/hardware/artikel-98460.html vom 13.3.2013.
- DE-CIX Competence Center Frankfurt (2012): Quick facts. Online unter www.de-cix.net/about/quick-facts/ vom 22.2.2013.
- Dena (2008): Hintergrundpapier: Das Kombikraftwerk. Online unter www.kombikraftwerk.de vom 12.9.2011.
- Dena (2009): Green IT: Potenzial für die Zukunft. Online unter <http://www.dena.de/publikationen/stromnutzung/broschuere-green-it-potenzial-fuer-die-zukunft.html> vom 20.02.2013

- Destatis (2011): Mikrozensus. Bevölkerung und Erwerbstätigkeit. Fachserie 1 Reihe 4.1.1. Wiesbaden. Online unter www.destatis.de vom 9.1.2013.
- Destatis (2012): Private Haushalte in der Informationsgesellschaft 2012. Fachserie 15 Reihe 4. Wiesbaden.
- Destatis (2012a): Umweltnutzung und Wirtschaft - Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2012. Online unter www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Querschnitt/UmweltnutzungundWirtschaftBericht5850001127004.html vom 21.3.2013.
- Destatis (2013): Bevölkerungsentwicklung. Online unter www.destatis.de vom 9.1.2013.
- Destatis (2013a): Gebiet und Bevölkerung – Haushalte. Online unter www.destatis.de vom 9.1.2013.
- Destatis (2013b): Ausstattung privater Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnik – Deutschland. Online unter www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsgueter/Tabellen/Infotechnik_D.html vom 14.1.2013.
- Deutsche Telekom AG (2011): Corporate Responsibility 2010/2011. Wir leben Verantwortung. Bonn.
- Deutscher Bundestag (2011): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Ingrid Nestle, Tabea Rößner, Dr. Valerie Wilms, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/7257 . Berlin. Online unter <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/074/1707472.pdf> vom 24.1.2013.
- Devaux, J. F. (2011): Improving competitiveness and carbon footprint of high-volume chemicals. In: F3 Factory Newsletter ISSUE 2 09/2011 S. 4. Online unter www.f3factory.com vom 20.3.2013.
- deZem (2012): Stromsteuer und Spitzenausgleich – Energiemanagement wird Voraussetzung für die Erstattung. Online unter www.dezem.de/index.php/de/depesche.html?n=10#article46 <http://www.dezem.de/> vom 21.3.2013.
- deZem (2013): Energiecontrolling klar und direkt. Website. Online unter www.dezem.de/ vom 21.3.2013.
- DLR, Fraunhofer IWES & IfnE (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht. Stuttgart, Kassel, Teltow.
- Ecofys (2012): Abschätzung der Bedeutung des Einspeisemanagements nach § 11 EEG und § 13 Abs. 2 EnWG. Studie im Auftrag des BWE. Online unter www.ecofys.com/de/veroeffentlichung/ vom 12.2.2013.
- Ecofys (2012a): Einspeisemanagement in Schleswig-Holstein. Endbericht. Studie im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Online unter www.ecofys.com/de/veroeffentlichung/ vom 12.2.2013.

- Elbert, R., Müller, F. & Persch, J. D. (2009): IKT-Cluster: Potenzial der Region Südhessen/Rhein Main Neckar zur Entwicklung eines Clusters der Informations- und Kommunikationstechnologie. Kurzfassung. Publikation der Technischen Universität Darmstadt, Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Betriebswirtschaftliche Fachgebiete (BWL) 57322. Online unter: www.hessen-it.de/mm/IKT-Studie-Kurzfassung_V4_tcm17-53762.pdf vom 22.2.2013.
- Elektronik-Kompendium (2013): Grundlagen Mobilfunk. Online unter www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/0406221.htm vom 31.1.2013.
- Elsberg, M. (2012): BLACKOUT - Morgen ist es zu spät. Blanvalet. München.
- energiewelt.de (2013): Smart Meter. Onlineinformation. Online unter www.energiewelt.de/web/cms/de/1237568/energieberatung/intelligentes-haus/smart-meter vom 30.1.2013.
- Enertrag (2011): Funktionsprinzip Hybridkraftwerk Online unter www.enertrag.com vom 12.9.2011.
- E-On (2012): Die Lösung des gordischen Knotens. Die Energiewende schafft für das Netz manche Herausforderungen. Der regelbare Ortsnetztrafo (rONT) könnte Teil der Lösung sein. In: E-On World. Mitarbeitermagazin Nr. 1 /2012 S. 26-27.
- E-On Avacon (2013): Funktionsweise eines regelbaren Ortsnetztransformators (rONT). Poster auf dem Kongress 100% für den Klimaschutz am 7.2.2013 in Hannover.
- E-Plus Gruppe (2012): UNSERE Verantwortung 2011. Corporate Responsibility Bericht der E-Plus Gruppe. Düsseldorf.
- ewi (2010): POTENZIALE DER ELEKTROMOBILITÄT BIS 2050. Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration. Online unter www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2010/EWI_2010-07-02_Elektromobilitaet-Studie.pdf vom 24.4.2013
- F3-Factory (2012): New production technologies for highly exothermic reactions. In: F3 Factory Newsletter ISSUE 3 08/2012 S. 4. Online unter www.f3factory.com vom 20.3.2013.
- Fachinger, U. & Koch, H. (2012): Ökonomische Potenziale altersgerechter Assistenzsysteme. Ergebnisse der „Studie zu Ökonomischen Potenzialen und neuartigen Geschäftsmodellen im Bereich altersgerechte Assistenzsysteme. Studie im Auftrag des BMBF. Online www.aal-deutschland.de/deutschland/dokumente/Endbericht%20AAL-Marktstudie.pdf vom 6.2.2013.
- Festo (2012): Energieeffizienz@Festo – Lösungen für eine wirtschaftliche und nachhaltige Zukunft, Broschüre der Festo AG & Co. KG, Esslingen. Online unter: http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/9820/Energieeffizienz_2012_de.pdf
- Fichter, K. & Clausen, J. (2012): Erfolg und Scheitern »grüner« Innovationen. Diffusionspfade für Nachhaltigkeitsinnovationen. Broschüre. Berlin. Online unter www.borderstep.de vom 14.3.2013.
- Fichter, K. & Clausen, J. (2013): Erfolg und Scheitern „grüner“ Innovationen: Warum einige Nachhaltigkeitsinnovation am Markt erfolgreich sind und andere nicht, Metropolis-Verlag, Marburg. Im Erscheinen.

- Fichter, K., Clausen, J. & Eimertenbrink, M. (2009): Energieeffiziente Rechenzentren - Best-Practice Beispiele aus Europa, USA und Asien, Berlin. Broschüre herausgegeben vom Bundesumweltministerium. 2. Auflage. Berlin.
- Fichter, K., Hintemann, R. & Beucker, S. (2012): Gutachten zum Thema Green IT – Nachhaltigkeit für die Enquete Kommission Internet und digitale Gesellschaft des deutschen Bundestages. Berlin. Online unter www.bundestag.de/internetenquete/dokumentation/Sitzungen/20121126/18_Sitzung_2012-11-26_A-Drs_17_24_058_PGWAG_Gutachten_Green_IT-Nachhaltigkeit.pdf vom 24.1.2013.
- Fokus Online (2011): Gartner: Servermarkt in Westeuropa sackt ein. Meldung vom 29.11.2011. Online unter www.fokus.de/digital/computer/computer-gartner-servermarkt-in-westeuropa-sackt-ein_aid_689008.html vom 13.3.2013.
- Forschungsunion (2012): Bericht der Promotorengruppe Kommunikation. Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 Handlungsempfehlungen zur Umsetzung. Berlin. Online unter www.forschungsunion.de vom 24.1.2013.
- Forschungsvereinigung Automobiltechniker (FAT) (1994): Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Rationalisierungsmaßnahmen im Straßenverkehr. FAT Schriftenreihe 113. Frankfurt am Main.
- Fraunhofer ISE (2013): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fassung vom 8.1.2013. Freiburg. Online unter www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf
[http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/energie/Fakten zur PV 120202.pdf](http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/energie/Fakten_zur_PV_120202.pdf) vom 12.2.2013.
- Fraunhofer ISI (Hrsg.) (2007): Technischer Leitfaden LÖSUNGEN ZUR VERBESSERUNG IHRER MOTOREN-SYSTEME . Karlsruhe.
- Fraunhofer-Gesellschaft (2011): Damit das Stromnetz stabil bleibt. Presseinformation 16.03.2011. Online unter www.fraunhofer.de vom 29.9.2011.
- Gartner (2013): Gartner Says Declining Worldwide PC Shipments in Fourth Quarter of 2012 Signal Structural Shift of PC Market. Pressemeldung vom 14.1.2013. Online unter www.gartner.com vom 22.1.2013.
- Gauß-Allianz (2012): Infobrief Nr. 10 Juli 2012. Online unter www.gauss-allianz.net/en/infobrief/2012-07-24-12-10-50#beitrag4 vom 20.2.2013.
- German Cloud (2012): Spitzenreiter Nordrhein-Westfalen hat die meisten Rechenzentren in Deutschland. Pressemeldung zur Studie des Bundes deutscher Rechenzentren vom 13.08.2012. Online unter www.german-cloud.de/presse/ vom 19.2.2013.
- GOLEM.DE (2011): Nationale Lösung – Kunden wollen ihre Cloud in Deutschland. Online Artikel vom 01.06.2011. Online unter www.golem.de/1106/83916.html vom 22.2.2013.
- Gözl, S. (2010): Smart Metering und der Endkunde. Erfahrungen aus dem Intelliekon-Projekt zu Akzeptanz von elektronischen Zählern für den Endverbraucher. Vortrag auf der E-world energy & water 2010 in Essen am 9. bis 11. Februar 2010. Online unter www.intelliekon.de vom 28.1.2013.

- Greisle, A. (2002): Telearbeit – Zukunft der Arbeit? Präsentation der Fraunhofer IAO vom 27.5.2003. Online unter www.morgenkommichspaeterrein.de/ressources/download/icp_tearbeit.pdf vom 30.1.2011.
- Grieshammer, R. et al. (1997): Umweltschutz im Cyberspace. Zur Rolle der Telekommunikation für eine nachhaltige Entwicklung, Öko-Institut Freiburg.
- Harabi, N., Schoch, R. & Hespeler, F. (2001): Die Diffusion von Telearbeit – Wo steht die Schweiz heute im internationalen Vergleich? Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. München.
- HEAG (2013): The intelligent energy network of the future. Projektinformation. Online unter www.web2energy.com vom 28.1.2013.
- Heinen, J. (2011): Smart Grid Projekte bei RWE. Online unter www.fven.de/pdf/Vortraege_Symposium_2011/4_RWE_Smart_Grid_Projekte_bei_RWE.pdf vom 30.9.2011.
- Hessen IT (2012): Datenblatt IKT in Hessen. Wiesbaden. Online unter www.hessen-it.de vom 7.12.2012.
- Hessische Zentrale für Datenverarbeitung (HZD) (2012): Die HZD – IT-Kompetenz aus einer Hand. Informationsbroschüre der HZD. Online unter www.hzd.hessen.de/irj/HZD_Internet?cid=fe61e965bf1da99999575e8904d6e47f vom 22.02.2013.
- Hessisches Statistisches Landesamt (2012): Hessische Energiebilanz 2009 und CO₂-Bilanz 2008. Wiesbaden.
- Hessisches Statistisches Landesamt (2012a): Konjunkturprognose Hessen 2013. Online unter www.statistik-hessen.de/publikationen/download/520/index.html vom 19.2.2013.
- Hessisches Statistisches Landesamt (2013): Erwerbstätige nach Wirtschaftsbereichen in Hessen. Online unter www.statistik-hessen.de/themenauswahl/erwerbstaetigkeit/landesdaten/mikrozensus-erwerbstaetigkeit/erwerbstaetige-wirtschaftsbereiche/index.html vom 7.1.2013.
- Hessisches Statistisches Landesamt (2013a): Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte des Landes Hessen. Online unter www.statistik-hessen.de vom 9.1.2013.
- Hessisches Statistisches Landesamt (2013a): Erwerbstätige nach der Stellung im Beruf in Hessen. Online unter www.statistik-hessen.de/themenauswahl/erwerbstaetigkeit/landesdaten/mikrozensus-erwerbstaetigkeit/erwerbstaetige-stellung-im-beruf/index.html vom 2.2.2013.
- Hessisches Statistisches Landesamt (2013b): Wohngebäude- und Wohnungsbestand* in Hessen 2000 bis 2011. Online unter www.statistik-hessen.de vom 9.1.2013.
- Hightechgründerfonds (2011): Kapitalspritze für Höchstgeschwindigkeits-Datenübertragungstechnologie aus Hannover. Meldung vom 30.03.2011. Online unter www.high-tech-gruenderfonds.de/2011/03/kapitalspritze-fur-hochstgeschwindigkeits-datenubertragungstechnologie-aus-hannover vom 24.1.2013.
- Hintemann, R. & Fichter, K. (2010): Materialbestand in deutschen Rechenzentren – Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz. Online unter www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/3708_93_302_materialbestand_bf.pdf vom 19.2.2013.

- Hintemann, R. & Fichter, K. (2012): Energieverbrauch und Energiekosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland. Aktuelle Trends und Einsparpotenziale bis 2015. (Kurzstudie Rechenzentren). Online unter www.borderstep.de vom 19.2.2013.
- Hintemann, R. & Fichter, K. (2013): Server und Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2012, Berlin 2013. Online unter www.borderstep.de vom 14.5.2013.
- Huawei (2011): Improving Energy Efficiency, Lowering CO2 Emissions and TCO. Huawei Whitepaper on Energy Efficiency and Carbon Reduction. Shenzhen. Online unter www.huawei.com/en/static/hw-076768.pdf vom 28.1.2013.
- IDC (2013): EMEA PC Shipments Declined by 10.7% in 4Q12 as Weakness in Consumer and Commercial Demand Persist, Says IDC. Pressemeldung vom 17.1.2013. Online unter www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUK23910013#.USMhw_L-sfY vom 19.2.2013.
- IEEE Standards Association (2010): IEEE P802.3az Energy Efficient Ethernet Standard. Online unter <http://standards.ieee.org/about/get/> vom 13.6.2012.
- lfk, ecofys (2011): Auswirkungen eines hohen Anteils dezentraler Erzeugungsanlagen auf die Netzstabilität bei Überfrequenz & Entwicklung von Lösungsvorschlägen zu deren Überwindung - Kurzfassung. Online unter www.vde.com/de/fnn/arbeitsgebiete/tab/Documents/2011-09_Ecofys_IFK_50-2-Hz_Kurzfassung.pdf vom 30.9.2011.
- Institut für elektrische Energietechnik Clausthal (2011): Virtuelle Synchronmaschine VISMA. Online Information. Online unter www.iee.tu-clausthal.de/forschung/projekte/abgeschlossene-projekte/virtuelle-synchronmaschine-visma/ vom 30.9.2011.
- Intelliekon (2011): Nachhaltiger Energiekonsum von Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsysteme. Ergebnisbericht November 2011. Online unter www.intelliekon.de/ergebnisse/downloads/307_Ergebnisbericht_RZ_klein_sortiert.pdf vom 28.1.2013.
- Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien (IINAS) (2008): Excel-Datei mit ausgewählten Ergebnisdaten für Energiesysteme aus GEMIS 4.81. Online unter www.iinas.org/gemis-download-de.html vom 26.4.2013.
- Keitlinghaus, H. (2011): Virtuelle Kraftwerke durch Vernetzung von Biogasanlagen. Vortrag im März 2011 im Haus Düsse. Online unter www.duesse.de vom 12.9.2011.
- Kombikraftwerk (2011): Projektinfos. Online unter www.kombikraftwerk.de vom 12.9.2011.
- Kommission Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung (KZV) (2012): Der Bericht der Kommission „Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“. Online unter www.dstgb.de vom 31.1.2013.
- Kraftfahrtbundesamt (2011): Fachartikel: Emissionen und Kraftstoffe Stand: 15.03.2011. Online unter www.kba.de/nn_1157760/DE/Statistik/Fahrzeuge/Publikationen/Fachartikel/emission__20110315,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/emission_20110315.pdf vom 25.4.2013.
- Kraftfahrtbundesamt (2013): Jahresbericht 2011. Online unter www.kba.de/cln_030/nn_124588/DE/Presse/Jahresberichte/jahresberichte__node.html?__nnn=true vom 25.4.2013. Landesanstalt für Medien Nordrhein-Westfalen (LfM 2013): LTE in NRW. Generationen von Mobil-

- funksystemen. Online unter www.lte-nrw.de/teedrei/Vorlaeufer.146.0.html vom 31.1.2013.
- Mainova (o.J.): Zukunft – eine Nahaufnahme (Imagebroschüre). Online unter: http://www.mainova-unternehmen.de/imagebroschuere/data/download/Mainova_Imagebroschuere_022013_dt.pdf vom 20.05.2013.
- Marks & Spencer (2002): Streamlined Life Cycle Assessment of Two Marks & Spencer plc Apparel Products. Online unter <http://researchingsustainability.files.wordpress.com/2012/01/streamlined-lca-of-2-marks-spencer-pls-apparel-products.pdf> vom 6.2.2013.
- Matthes, C. (2013): „Stolpersteine und neue Wege zur Transformation des Energiesystems in Deutschland“, Vortrag im Rahmen des 3. Kongress der Deutschen Umwelthilfe e.V. zum ökologischen und regional akzeptierten Umbau der Stromnetze am 19. und 20. Februar 2013, Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin. Online demnächst unter www.forum-netzintegration.de vom 25.2.2013.
- McKinnon, A. (2012): Ansätze für eine „Dekarbonisierung“ der Logistik. In: Deutsche Post AG (2012): DELIVERING TOMORROW. Logistik 2050. Eine Szenariostudie. S. 154 – 159.
- Meier, P. (2008): Die zukünftige Arbeitswelt. Ein Drittel der Beschäftigten wird in Zukunft Telearbeit praktizieren. In: KMU Magazin September 2008 S. 52 - 55.
- Meyer, J.-B. (2012): So grün kann IT machen. Meldung zum Green IT Best Practice Award vom 26.11.2012 in der Computerwoche. Online unter www.computerwoche.de/a/so-gruen-kann-it-machen,2528234 vom 19.2.2013. .
- Nationaler IT Gipfel (2011): Digitale Infrastrukturen. Jahrbuch 2011/12. Online unter www.zukunft-breitband.de vom 30.1.2013.
- Neves, L. (2013): Deutsche Telekom: Klimaschutz aus unternehmerischer Verantwortung. Vortrag auf dem TK-Tag Hessen am 14.2.2013 in Wiesbaden.
- Nitsch, J. (2013): E-Mail vom 29.4.2013.
- Ohler, A. (2012): Konkurrenz aus Asien: Gerangel um Platz drei der Netzwerker. FTD vom 30.05.2012. Online unter www.ftd.de/it-medien/it-telekommunikation/:konkurrenz-aus-asien-gerangel-um-platz-drei-der-netzwerker/70043895.html vom 13.2.2013.
- Ökoinstitut (2011): PROSA. E-Book-Reader. Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen. Studie im Rahmen des Projekts „Top 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“. Online unter www.oeko.de/oekodoc/1179/2011-037-de.pdf vom 4.2.2013.
- Ökoinstitut (2012): PROSA. Programmierbare Heizkörperthermostate. Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen. Freiburg. Online unter www.oeko.de/oekodoc/1594/2012-450-de.pdf vom 16.1.2013.
- PIK (2003): Substitution von Geschäftsreisen durch Videokonferenzen. Wege zur Ausschöpfung der Potenziale zur Reduktion von Emissionen aus dem Geschäftsreiseverkehr. Online unter www.atmosfair.de/fileadmin/user_upload/Medienecke/Downloadmaterial/PIK_Videokonferenzen_Zusammenfassung_Studie.pdf vom 4.2.2013.

- Premiumpresse (2002): Verband Telearbeit Deutschland e.V. aufgelöst. Meldung vom 23.5.2002. Online unter www.premiumpresse.de/verband-telearbeit-deutschland-e-v-aufgeloesst-PR132497.html vom 30.1.2011.
- Prognos (2005): Work-Life-Balance als Motor für wirtschaftliches Wachstum und gesellschaftliche Stabilität. Band 1: Betriebliche Maßnahmen und gesellschaftliche Trends. Berlin / Basel. Online unter www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/work-life-balance-band-1,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf vom 4.2.2013.
- Rähm, J. (2012): Energiesparen beim Mobilfunk. Forscher simulieren, wie Hessens Handynetze effizienter gemacht werden könnten. Meldung von Deutschland Radio vom 17.12.2012. Online unter www.dradio.de/dlf/sendungen/forschak/1952994 vom 24.1.2013.
- Renner, W. (1998): Akzeptanz, Verbreitung und Potenzial von Telearbeit. TeleJournal. Online unter www.teleinstitut.de vom 1.2.2013.
- Riedel, M. (2006): Hausautomation als wirtschaftliches Instrument für Energieeffizienz. In Pöschk, J., Energieeffizienz in Gebäuden, Jahrbuch 2006. Berlin: VME Verlag.
- Riedel, M. (2007): Mehrebenensteuerung für Energieeinspar-Contracting in Schulen und Kitas - Heizen nach Stundenplan, in: Pöschk, J.: Energieeffizienz in Gebäuden, Jahrbuch 2007, VME, Berlin.
- Riegel, G. (2013): Geschäftsführer deZem GmbH. Telefonat vom 21.3.2013.
- Roon v., S. & Gobmeier, T. (2009): Demand Response in der Industrie. Status und Potenziale in Deutschland. Forschungsstelle für Energiewirtschaft. München.
- RTL (2012): Online-Therapie gegen Stottern. Bericht von RTL Hessen am 3. September 2012. Online unter www.kasseler-stottertherapie.de/medienberichte.html vom 6.2.2013.
- Schischke, K., Beucker, S., Clausen, J. & Niedermayer, M. (2009): Innovations- und Technikanalyse Autonomer Verteilter Mikrosysteme. Berlin. Online unter: <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-115640.html> vom 28.1.2013.
- Schmiesing, J. (2009): Wohin mit dem Netz? Vortrag beim FEN-Symposium in Oldenburg am 25.9.2009. Online unter www.fven.de/pdf/WohinmitdemNetz.pdf vom 30.9.2011.
- Seris, M. (1989): Telearbeit am Beispiel der Workcenters für Informatiker bei der Schweizerischen Kreditanstalt. In: Telearbeit - Utopie oder Chance zur Entspannung der Arbeitsmärkte? Tages-Anzeiger Zürich 1989.
- Siemens (2006): Energiesparmotoren steigern Effizienz im VW-Motorenwerk. Energie sparende Motoren in der Automobilindustrie. Anwenderbeispiel. Online unter www.automation.siemens.com vom 15.1.2013.
- Statista (2008): Für den Weg zur Arbeit genutzte Verkehrsmittel von Pendlern in Deutschland im Jahr 2008. Online unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/70408/umfrage/pendler-fuer-arbeitsweg-benutzte-verkehrsmittel-2008/> vom 4.2.2013.

- Statista (2013): Anteil der Haushalte mit W-LAN in ausgewählten Ländern 2011. Online unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/222242/umfrage/anteil-der-haushalte-mit-w-lan-in-ausgewaehlten-laendern/> vom 14.1.2013.
- Statista (2013a): Für welche Verwendungszwecke nutzen Sie ihren PC. Online unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/151579/umfrage/art-der-pc-nutzung-privater-haushalte-nach-verwendungszweck-in-deutschland/> vom 15.1.2013.
- Statista (2013b): Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland nach Bundesland in den Jahren 2010 und 2011. Online unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/164247/umfrage/anzahl-der-biogasanlagen-nach-bundesland> vom 28.1.2013.
- Stiftung Warentest (2008): Heizkörperthermostate: Auf Sparen programmiert. Heft 5/2008.
- Stobbe, L. & Schlösser, A. (2010): Strombedarf der IK in Haushalten: Technik, Nutzung und Systemdesign, Fraunhofer-IZM. Online unter http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/pdf/publikationen/veranstaltungen/3_HOME-ICT_Stobbe_Schloesser.pdf vom 7.12.2012.
- Stobbe, L. (2009): Umweltaspekte von vernetzter IT und Cloud Computing. 3. Jahrestagung des Wissenschaftsforum Green IT am 13.12.2012 in Berlin. Berlin und Karlsruhe.
- Stobbe, L. et al. (2009): Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
- Telefonica Germany (2011): 2010 CORPORATE RESPONSIBILITY BERICHT. München.
- Telefonica Germany (2012): Corporate Responsibility – Schlüsselkennzahlen 2011
- Teltarif.de (2012): Netz-Fusion von o2 und E-Plus: Das sind die Kriterien der BNetzA. Meldung vom 29.10.2012. Online unter www.teltarif.de/netz-kooperation-fusion-o2-e-plus-kriterien-bnetza/news/48703.html vom 13.2.2013.
- Teltarif.de (2013): Definitiv: Deutsche Telekom stellt alle Analog-Kunden auf All-IP um (Update). Meldung vom 4.3.2013. Online unter www.teltarif.de/deutsche-telekom-ende-analoges-festnetz-all-ip-umstellung/news/50229.html vom 12.3.2013.
- TÜV Rheinland (2011): Nachhaltigkeit in der Geschäftsreiseorganisation. Online unter www.tuv.com/media/germany/50_trainingandconsulting/pdf/csr_1/Geschaeftsreise_Studie.pdf vom 4.2.2013.
- UGR (2011): Umweltnutzung und Wirtschaft, Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen, Statisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Umweltbundesamt (UBA) (2009): Energieeffizienz bei Elektromotoren . Mindestanforderungen für Umweltentlastungen und Stromeinsparungen beschlossen. Presse-Information 053/2009 vom 31.7.2009. Online unter www.umweltbundesamt.de vom 15.1.2013.
- Umweltbundesamt (UBA) (2010): Mobilitätsumfrage des Umweltbundesamtes 2009. Aktualisierung und Modifizierung der Mobilitätsumfrage aus dem Jahr 2006. Reihe Texte 31/2010. Online unter www.umweltbundesamt.de vom 1.2.2013.
- Umweltbundesamt (UBA) (2011): Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland. Reihe Climate Change Nr. 02/2011. Dessau.

- Umweltbundesamt (UBA) (2012): Daten zum Verkehr. Ausgabe 2012. Online unter www.umweltbundesamt.de vom 1.2.2013.
- Umweltbundesamt (UBA) (2012a): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011. Dessau-Roßlau. Online unter www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf vom 24.4.2013.
- Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (1999): Umweltauswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen. Texte 40/99 Berlin.
- Vodafone (2012): CR-Report 2010/11. Düsseldorf
- Weber, C. L., Hendrickson, C., Jaramillo, P., Matthews, S., Nagengast, A. & Nealer, R. (2008): Life Cycle Comparison of Traditional Retail and E-commerce Logistics for Electronic Products: A Case Study of buy.com. Online unter www.ce.cmu.edu/~greendesign/research/Buy_com_report_final_030209.pdf vom 6.2.2013.
- Weber, C. L., Koomey, J. G. & Matthews, S. (2010): The Energy and Climate Change Implications of Different Music Delivery Methods. In: Journal of Industrial Ecology Volume 14, Number 5 S. 754 -768.
- Werner, A. (2012): Optimierungsmodelle zur Berechnung von Energieeinsparpotenzialen im Festnetz. Vortrag auf dem IT2Green Fachgruppentreffen am 13. November 2012. Online unter www.desi-it2green.de/dokumente/IT2Green-Fachgrtr-2012-11-13_ZIB.pdf vom 24.1.2012.
- Wirth, U. (2010): Neues aus Digit@lien – Soziale Netzwerke im Gesundheitssektor (1). Zur Ortsbestimmung von Health 2.0 in Europa. In: mdi – Forum der Medizin-Dokumentation und Medizin-Informatik 2 (2010), S. 67-73.
- WSP Environment & Energy, LLC, Natural Resources Defense Council (2012): THE CARBON EMISSIONS OF SERVER COMPUTING FOR SMALL- TO MEDIUM-SIZED ORGANIZATIONS. A Performance Study of On-Premise vs. The Cloud. Online unter www.wspenvironmental.com/media/docs/ourlocations/usa/NRDC-WSP_Cloud_Computing.pdf vom 25.2.2013.