

Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland

– Abschlussbericht –

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
Projekt-Nr. 29/14

Projektleiter:

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, IZM, Berlin
Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin

Ansprechpartner:

Dr. phil. Lutz Stobbe (Dept. Environmental & Reliability Engineering)
Tel: 030-46403-139
Fax: 030-46403-131
Email: lutz.stobbe@izm.fraunhofer.de

Projektpartner:

Borderstep
Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH
Clayallee 323, D-14169 Berlin
Dr. Ralph Hintemann

Autoren:

Dr. Lutz Stobbe, Marina Proske, Hannes Zedel (Fraunhofer IZM)
Dr. Ralph Hintemann, Dr. Jens Clausen, Dr. Severin Beucker (Borderstep)

Datum: 18.11.2015

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	15
Glossar.....	17
1 Kurzdarstellung.....	23
1.1 Die Prognose im Überblick	23
1.1 Kernbotschaften	24
2 Methodik.....	27
2.1 Gegenstand der Studie	27
2.2 Modellbildung.....	29
2.3 Hinweise zur Berichtsstruktur	29
3 Basisprognose bis zum Jahr 2025.....	31
3.1 Entwicklung des IKT-bedingten Energiebedarfs.....	31
3.2 Analyse wesentlicher Einflussfaktoren (Trends).....	34
3.3 Prognose für Rechenzentren	41
3.4 Prognose für Telekommunikationsnetze	42
3.5 Prognose für IKT am Arbeitsplatz.....	43
3.6 Prognose für IKT in Haushalten.....	44
3.7 Prognose für IKT in der Öffentlichkeit.....	46
3.8 Prognose für IKT in der Gebäudeautomatisierung und -vernetzung	47
4 Alternative Entwicklungsszenarien	49
4.1 Szenarien Rechenzentrum	49
4.2 Szenarien Telekommunikation.....	52
4.3 Szenarien Arbeitsplatz	56
4.4 Szenarien Haushalte.....	57
5 Handlungsempfehlungen	61
5.1 Handlungsbedarf.....	61
5.2 Allgemeine Handlungsempfehlungen	62
5.3 Empfehlungen für Rechenzentren	63
5.4 Empfehlungen für Telekommunikationsnetze.....	64
5.5 Empfehlungen für IKT am Arbeitsplatz	65
5.6 Empfehlungen für IKT in Haushalten.....	65
5.7 Empfehlungen für IKT in der Öffentlichkeit	66
5.8 Empfehlungen für IKT in Gebäudeversorgung	66
6 Rechenzentren im Detail.....	67
6.1 Produktkategorien	67
6.2 Server.....	73
6.2.1 <i>Datenüberblick</i>	73
6.2.2 <i>Produktbestand</i>	74
6.2.3 <i>Entwicklungstrends</i>	74
6.2.4 <i>Nutzungsmuster</i>	75

6.2.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	76
6.2.6	<i>Energiebedarf</i>	77
6.3	Speicher	78
6.3.1	<i>Daten und Ergebnisse im Überblick</i>	78
6.3.2	<i>Produktbestand</i>	79
6.3.3	<i>Trends</i>	82
6.3.4	<i>Nutzungsmuster</i>	82
6.3.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	83
6.3.6	<i>Energiebedarf</i>	83
6.4	Netzwerktechnik.....	83
6.4.1	<i>Daten und Ergebnisse im Überblick</i>	83
6.4.2	<i>Produktbestand</i>	84
6.4.1	<i>Trends</i>	87
6.4.2	<i>Nutzungsmuster</i>	87
6.4.3	<i>Leistungsaufnahme</i>	87
6.4.4	<i>Energiebedarf</i>	88
6.5	Rechenzentrumsinfrastruktur.....	89
6.5.1	<i>Daten und Ergebnisse im Überblick</i>	89
6.5.2	<i>Produktbestand</i>	89
6.5.3	<i>Trends</i>	91
6.5.4	<i>Nutzungsmuster</i>	92
6.5.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	93
6.5.6	<i>Energiebedarf</i>	94
6.5.7	<i>Auswirkungen der Nutzung von End User Devices auf den Energiebedarf der Rechenzentren</i>	95
7	Telekommunikationsnetze im Detail	96
7.1	Produktkategorien	96
7.2	Mobilfunknetze	96
7.2.1	<i>Datenüberblick</i>	96
7.2.2	<i>Produktbestand</i>	97
7.2.3	<i>Entwicklungstrends</i>	101
7.2.4	<i>Nutzungsmuster</i>	102
7.2.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	102
7.2.6	<i>Energiebedarf</i>	105
7.3	Festnetze	106
7.3.1	<i>Datenüberblick</i>	106
7.3.2	<i>Bestand</i>	107
7.3.3	<i>Entwicklungstrends</i>	108
7.3.4	<i>Nutzungsmuster</i>	109
7.3.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	109
7.3.6	<i>Energiebedarf</i>	110
7.4	Kabelnetze	111
7.4.1	<i>Datenüberblick</i>	111
7.4.2	<i>Produktbestand</i>	112
7.4.3	<i>Entwicklungstrends</i>	113
7.4.4	<i>Nutzungsmuster</i>	114
7.4.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	114
7.4.6	<i>Energiebedarf</i>	115

8	IKT am Arbeitsplatz im Detail	116
8.1	Produktkategorien	116
8.2	Arbeitsplatzcomputer	117
8.2.1	<i>Datenüberblick</i>	117
8.2.2	<i>Produktbestand</i>	118
8.2.3	<i>Entwicklungstrends</i>	119
8.2.4	<i>Nutzungsmuster</i>	120
8.2.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	120
8.3	Monitore	122
8.3.1	<i>Datenüberblick Monitore</i>	122
8.3.2	<i>Trends</i>	122
8.3.3	<i>Bestand</i>	123
8.3.4	<i>Nutzungsmuster</i>	123
8.3.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	123
8.4	Computer-Peripheriegeräte	124
8.4.1	<i>Datenüberblick Drucker</i>	124
8.4.2	<i>Trends</i>	125
8.4.3	<i>Energiebedarf durch das Drucken</i>	125
8.4.4	<i>Datenüberblick Faxgeräte und Scanner</i>	127
8.4.5	<i>Bestand an Faxgeräten und Scannern</i>	127
8.4.6	<i>Nutzungsmuster von Faxgeräten und Scannern</i>	128
8.4.7	<i>Leistungsaufnahme von Faxgeräten und Scannern</i>	129
8.5	Netzwerke und Telefonie	129
8.5.1	<i>Datenüberblick</i>	129
8.5.2	<i>Trends</i>	131
8.5.3	<i>Bestand</i>	131
8.5.4	<i>Nutzungsmuster</i>	132
8.5.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	132
8.6	Präsentationstechnik.....	134
8.6.1	<i>Datenüberblick</i>	134
8.6.2	<i>Trends</i>	135
8.6.3	<i>Bestand</i>	135
8.6.4	<i>Nutzungsmuster</i>	136
8.6.5	<i>Leistungsaufnahme</i>	137
8.7	Fazit IT am Arbeitsplatz	137
9	IKT in Haushalten im Detail	139
9.1	Produktkategorien	139
9.1.1	<i>Ermittlung des Gerätebestandes</i>	140
9.1.2	<i>Zuordnung Nutzungsmuster und Leistungsaufnahme, Berechnung des Energiebedarfs</i>	141
9.2	Fernseher	145
9.2.1	<i>Trends</i>	146
9.2.2	<i>Bestand</i>	146
9.2.3	<i>Nutzungsmuster</i>	149
9.2.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	149
9.2.5	<i>Energiebedarf</i>	152
9.3	Fernsehperipherie	153
9.3.1	<i>Trends</i>	154

9.3.2	<i>Bestand</i>	155
9.3.3	<i>Nutzungsmuster</i>	156
9.3.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	156
9.3.5	<i>Energiebedarf</i>	158
9.4	Computer	158
9.4.1	<i>Trends</i>	159
9.4.2	<i>Bestand</i>	159
9.4.3	<i>Nutzungsmuster</i>	160
9.4.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	161
9.4.5	<i>Energiebedarf</i>	162
9.5	Computerperipherie	163
9.5.1	<i>Trends</i>	164
9.5.2	<i>Bestand</i>	164
9.5.3	<i>Nutzungsmuster</i>	165
9.5.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	165
9.5.5	<i>Energiebedarf</i>	166
9.6	Telekommunikation	167
9.6.1	<i>Trends</i>	168
9.6.2	<i>Bestand</i>	168
9.6.3	<i>Nutzungsmuster</i>	169
9.6.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	170
9.6.5	<i>Energiebedarf</i>	170
9.7	Audio	171
9.7.1	<i>Trends</i>	172
9.7.2	<i>Bestand</i>	172
9.7.3	<i>Nutzungsmuster</i>	173
9.7.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	173
9.7.5	<i>Energiebedarf</i>	174
9.8	Kamera.....	175
9.8.1	<i>Trends</i>	176
9.8.2	<i>Bestand</i>	176
9.8.3	<i>Nutzungsmuster</i>	176
9.8.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	176
9.8.5	<i>Energiebedarf</i>	176
10	Öffentlichkeit im Detail	178
10.1	Kassensysteme.....	179
10.1.1	<i>Trends</i>	179
10.1.2	<i>Bestand</i>	180
10.1.3	<i>Nutzungsmuster</i>	180
10.1.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	180
10.1.5	<i>Energiebedarf</i>	180
10.2	Bankautomaten	181
10.2.1	<i>Trends</i>	181
10.2.2	<i>Bestand</i>	181
10.2.3	<i>Nutzungsmuster</i>	181
10.2.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	182
10.2.5	<i>Energiebedarf</i>	182
10.3	Ticketautomaten.....	182

10.3.1	<i>Bestand</i>	182
10.3.2	<i>Nutzungsmuster</i>	182
10.3.3	<i>Leistungsaufnahme</i>	182
10.3.4	<i>Energiebedarf</i>	182
10.4	Hotspots	183
10.4.1	<i>Trends</i>	183
10.4.2	<i>Bestand</i>	183
10.4.3	<i>Nutzungsmuster</i>	183
10.4.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	183
10.4.5	<i>Energiebedarf</i>	183
10.5	Werbeanzeigen und Displays	183
10.5.1	<i>Trends</i>	184
10.5.2	<i>Bestand</i>	184
10.5.3	<i>Nutzungsmuster</i>	184
10.5.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	184
10.5.5	<i>Energiebedarf</i>	185
10.6	Mautsystem	185
10.6.1	<i>Bestand</i>	186
10.6.2	<i>Nutzungsmuster</i>	186
10.6.3	<i>Leistungsaufnahme</i>	186
10.6.4	<i>Energiebedarf</i>	186
11	Gebäudeautomation und –vernetzung im Detail.....	187
11.1	Intelligente Messsysteme	190
11.1.1	<i>Trends</i>	192
11.1.2	<i>Nutzungsmuster</i>	193
11.1.3	<i>Bestand</i>	193
11.1.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	194
11.1.5	<i>Energiebedarf</i>	194
11.2	Dezentrale Energiemanagementsysteme.....	195
11.2.1	<i>Trends</i>	196
11.2.2	<i>Bestand</i>	197
11.2.3	<i>Nutzungsmuster</i>	198
11.2.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	198
11.2.5	<i>Energiebedarf</i>	198
11.3	Energiemanagement.....	200
11.3.1	<i>Trends</i>	201
11.3.2	<i>Bestand</i>	202
11.3.3	<i>Nutzungsmuster</i>	202
11.3.4	<i>Leistungsaufnahme</i>	202
11.3.5	<i>Energiebedarf</i>	203
12	Alternative Entwicklungsszenarien im Detail.....	205
12.1	Szenarien Rechenzentrum	205
12.1.1	<i>Entwicklungsvariante R1: Grüne Prognose Server</i>	206
12.1.2	<i>Entwicklungsvariante R2: Grüne Prognose Speicher</i>	207
12.1.3	<i>Entwicklungsvariante R3: Grüne Prognose Netzwerk</i>	208
12.1.4	<i>Entwicklungsvariante R4: Grüne Prognose Infrastruktur</i>	209
12.1.5	<i>Entwicklungsvariante R5: Graue Prognose Server</i>	210
12.1.6	<i>Entwicklungsvariante R6: Graue Prognose Speicher</i>	211

12.1.7	<i>Entwicklungsvariante R7: Graue Prognose Netzwerk</i>	212
12.1.8	<i>Entwicklungsvariante R8: Graue Prognose Infrastruktur</i>	213
12.2	Szenarien Telekommunikation	214
12.2.1	<i>Grünes Szenario T1</i>	215
12.2.2	<i>Graues Szenario T2</i>	215
12.3	Szenarien Arbeitsplatz	217
12.3.1	<i>Entwicklungsvariante A1: Verbreitung des Energy Efficient Ethernet Standards IEEE 802.3az</i>	217
12.3.2	<i>Entwicklungsvariante A2: energiesparende Technologien für WLAN-Geräte und Telefone</i>	217
12.3.3	<i>Entwicklungsvariante A3: Hocheffiziente Desktop-PCs</i>	218
12.3.4	<i>Entwicklungsvariante A4: weniger Tablet-Computer an Arbeitsplätzen</i>	218
12.3.5	<i>Entwicklungsvarianten A5: Einfrieren der elektrischen Leistungsaufnahme im gesamten Bestand</i>	219
12.3.6	<i>Entwicklungsvariante A6: Verbreitung von extra großen Monitoren</i>	219
12.4	Szenarien Haushalte	220
12.4.1	<i>Entwicklungsvariante H1: Beschleunigte Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme im gesamten Bestand</i>	222
12.4.2	<i>Entwicklungsvariante H2: Einfrieren der elektrischen Leistungsaufnahme im gesamten Bestand</i>	223
12.4.3	<i>Entwicklungsvariante H3: Graue Fernseher-Entwicklungsvariante</i>	224
12.4.4	<i>Entwicklungsvariante H4: Graue Computer-Entwicklungsvariante</i>	225
12.4.5	<i>Entwicklungsvariante H5: Graue Set-Top-Boxen-Entwicklungsvariante</i>	226
12.4.6	<i>Entwicklungsvariante H6: Graue Router/Home-Gateway-Entwicklungsvariante</i>	227
13	Literatur	229
14	Anhang	241
14.1	Haushalte	241
14.2	Energy Star	245
14.3	Trends und Prognosen (Cisco VNI Forecasts)	246

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1: Produktgruppen und Unterkategorien für Rechenzentren	68
Tabelle 6-2: Server: Basisprognose für jährlichen Energiebedarf in 2010, 2015, 2020 und 2025	73
Tabelle 6-3: Server: Basisprognose für den Bestand der verschiedenen Servertypen in 2010, 2015, 2020 und 2025	74
Tabelle 6-4: Server: Leistungsaufnahme bei Neugeräten	76
Tabelle 6-5: Speicher: Basisprognose für jährlichen Energiebedarf in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025	79
Tabelle 6-6: Speicher: Bestand in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025 in der Basisprognose	82
Tabelle 6-7: Netzwerk: Basisprognose für jährlichen Energiebedarf in Rechenzentren in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025	84
Tabelle 6-8: Netzwerk: Bestand in Rechenzentren in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025 in der Basisprognose	87
Tabelle 6-9: Infrastruktur: Basisprognose für jährlichen Energiebedarf der Produktgruppe Infrastruktur in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025	89
Tabelle 6-10: Durchschnittliche Leistungsbedarfe für die Rechenzentrumsinfrastruktur in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025	91
Tabelle 6-11: Durchschnittliche PUE der Rechenzentren in Deutschland (Bestand).....	95
Tabelle 6-12: Durchschnittliche PUE in verschiedenen Rechenzentrums-kategorien im Jahr 2015 in Deutschland.....	95
Tabelle 7-1: Datenüberblick Basisprognose Mobilfunknetze.....	97
Tabelle 7-2: BNetzA-Statistik zur Standortmitbenutzung 2010 und 2015.....	99
Tabelle 7-3: Mobilfunknetze: Bestandszahlen für Basisstationen (Basisprognose).....	101
Tabelle 7-4: Mobilfunknetze: Annahmen für das Nutzungsmuster (Basisprognose)	102
Tabelle 7-5: Anforderungen an die elektrische Leistungsaufnahme von Basisstationen nach dem CoC Broadband Equipment V5.....	102
Tabelle 7-6: Mobilfunknetze: Elektrische Leistungsaufnahme von Basisstationen (Basisprognose)	103
Tabelle 7-7: Mobilfunknetze: Elektrische Leistungsaufnahme Kernnetz (Basisprognose)...	105
Tabelle 7-8: Mobilfunknetze: Energiebedarf 2010 bis 2025 (Basisprognose).....	106
Tabelle 7-9 Datenüberblick Basisprognose Festnetze	106
Tabelle 7-10: Festnetz: Bestand Zugangsnetzanschlüsse (Basisprognose)	107
Tabelle 7-11: Festnetz: Annahmen für das Nutzungsmuster (Basisprognose).....	109
Tabelle 7-12: Festnetz: Elektrische Leistungsaufnahme Zugangsnetzanschlüsse (Basisprognose)	110
Tabelle 7-13: Festnetz: Elektrische Leistungsaufnahme Kernnetz (Basisprognose).....	110
Tabelle 7-14: Festnetz: Energiebedarf von 2010 bis 2025 (Basisprognose)	110
Tabelle 7-15: Datenüberblick Basisprognose Kabelnetze.....	111
Tabelle 7-16: TV-Kabelnetz: Bestand Zugangsnetzanschlüsse (Basisprognose)	112

Tabelle 7-17: TV-Kabelnetz: Annahmen für das Nutzungsmuster (Basisprognose).....	114
Tabelle 7-18: TV-Kabelnetz: Elektrische Leistungsaufnahme Zugangsnetz (Basisprognose)	114
Tabelle 7-19: TV-Kabelnetz: Elektrische Leistungsaufnahme Kernnetz (Basisprognose) ...	115
Tabelle 7-20: TV-Kabelnetz: Energiebedarf von 2010 bis 2025 (Basisprognose)	115
Tabelle 8-1: Produktkategorien und –gruppen an IKT-Geräten in den Haushalten	116
Tabelle 8-2: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Arbeitsplatzcomputer	117
Tabelle 8-3: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Monitore	122
Tabelle 8-4: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Computer-Peripheriegeräte	124
Tabelle 8-5: Leistungsaufnahmedaten und Betriebszeiten von Druckern	125
Tabelle 8-6: Energiebedarf von Druckern errechnet anhand der Zahl der Büroarbeitsplätze	126
Tabelle 8-7: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Computer-Peripheriegeräte	127
Tabelle 8-8: Abschätzung der Zahl von Faxen und Scannern abhängig von der Unternehmenszahl und -größe	127
Tabelle 8-9: Entwicklung der Zahl der Faxgeräte im Zeitverlauf	128
Tabelle 8-10: Entwicklung der Zahl der Scanner im Zeitverlauf	128
Tabelle 8-11: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Netzwerke und Telefonie	130
Tabelle 8-12: Abschätzung der Zahl der LAN-Ports an Arbeitsplätzen	131
Tabelle 8-13: Leistungsaufnahme von Switches in Abhängigkeit von Portzahl und Standard	132
Tabelle 8-14: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Präsentationstechnik	134
Tabelle 8-15: Nutzungszeitmodell für Beamer nach Grieder und Huser (2006)	137
Tabelle 9-1: Produktkategorien und –gruppen an IKT-Geräten in den Haushalten	139
Tabelle 9-2: Beispiel für die Bestandsberechnung mit dem Distribution Delay Modell	141
Tabelle 9-3: Fristen und energiebezogene Anforderungen der Standby-Verordnung	143
Tabelle 9-4: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Fernseher (Basisprognose)	145
Tabelle 9-5: Max. Leistungsaufnahme für Fernseher nach ErP-Durchführungsmaßnahme (angenommenes Bildschirmformat: 16:9)	150
Tabelle 9-6: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Fernsehperipherie (Basisprognose)	153
Tabelle 9-7: US Energy Star-Daten zu STBs (Energy Star 2015a)	157
Tabelle 9-8: US Energy Star Daten zu Blu-ray Playern (Energy Star 2015b)	157
Tabelle 9-9: US Energy Star Daten zu DVD-Playern (Energy Star 2015c).....	158
Tabelle 9-10: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Computer (Basisprognose)	158
Tabelle 9-11: Durchschnittliche Leistungsaufnahme der im US Energy Star gelisteten Geräte im „Short Idle“ in Watt.....	162
Tabelle 9-12: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Computerperipherie (Basisprognose)	163
Tabelle 9-13: US Energy Star Daten zu Monitoren Energy Star (2015e)	165

Tabelle 9-14: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Telekommunikation (Basisprognose)	167
Tabelle 9-15: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Audio (Basisprognose)	171
Tabelle 9-16: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Kamera (Basisprognose).	175
Tabelle 10-1: Bestand und Energiebedarf Kassensysteme 2010 – 2025 (Basisprognose) .	179
Tabelle 10-2: Bestand und Energiebedarf von Bankautomaten 2010 – 2025 (Basisprognose)	181
Tabelle 10-3: Bestand und Energiebedarf von Fahrscheinautomaten 2010 – 2025 (Basisprognose)	182
Tabelle 10-4: Bestand und Energiebedarf öffentlicher Hotspots 2010 – 2025 (Basisprognose)	183
Tabelle 10-5: Bestand und Energiebedarf digitaler Anzeigen im Jahr 2010 – 2025 (Basisprognose)	184
Tabelle 10-6: US Energy Star Daten zu Signage (Energy Star 2015e)	185
Tabelle 10-7: Bestand und Energiebedarf des Mautsystems 2010 – 2025 (Basisprognose)	185
Tabelle 11-1: Bestand und voraussichtlicher Zubau von intelligenten Zählern bis zum Jahr 2025	193
Tabelle 11-2: Bestand und voraussichtlicher Energiebedarf von intelligenten Zählern.....	194
Tabelle 11-3: Bestand und voraussichtlicher Energiebedarf von intelligenten Messsystemen	194
Tabelle 11-4: Bestand und voraussichtlicher Energiebedarf von dezentralen Energiemanagementsystemen bis zum Jahr 2025	199
Tabelle 11-5: Bestand und voraussichtlicher Energiebedarf von Strommanagementsystemen bis zum Jahr 2025	203
Tabelle 12-1: Basisprognose, Grünes Szenario und graues Szenario Rechenzentren: Jährlicher Energiebedarf in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025	205
Tabelle 14-1: Absatzzahlen Konsumentenmarkt basierend auf CEMIX (grau) mit Kurventrend-Extrapolationen (weiß)	242
Tabelle 14-2: Hochgerechnete Bestandszahlen für Unterhaltungselektronik und IKT in Haushalten auf Basis der LWR bis 2015 (Laufende Wirtschaftsrechnungen) und den Haushaltszahlen des Mikrozensus. Prognose ab 2016.....	244
Tabelle 14-3: Energiebezogene Betriebszustände nach ACPI	245
Tabelle 14-4: Terminologie der Betriebszustände in Energy Star v6.....	246
Tabelle 14-5: Gewichtung der Modes für Desktops, Thin Clients und Integrated Desktops nach Energy Star v6	246
Tabelle 14-6: Gewichtung der Modes für Notebooks nach Energy Star v6	246

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Elektrischer Jahresenergiebedarf der IKT in Deutschland 2010 – 2025 (Basisprognose)	23
Abbildung 2-1: Produktkategorien	28
Abbildung 3-1: Vergleich der Prognosen der IKT-Studien der Jahre 2003, 2009 und 2015 (Untersuchungsrahmen variiert leicht)	31
Abbildung 3-2: IKT-Energiebedarf von 2001 bis 2020	32
Abbildung 3-3: Elektrischer Jahresenergiebedarf der IKT in Deutschland 2010 – 2025 (Basisprognose)	33
Abbildung 3-4: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Rechenzentren 2010 – 2025 (Basisprognose)	42
Abbildung 3-5: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Telekommunikation 2010 – 2025 (Basisprognose)	43
Abbildung 3-6: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Arbeitsplatz 2010 – 2025 (Basisprognose)	44
Abbildung 3-7: Jahresenergiebedarf des Bereichs Haushalte 2010 – 2025 (Basisprognose)	45
Abbildung 3-8: Prozentuale Verteilung des Jahresenergiebedarfs des Bereichs Haushalte 2010 – 2025 (Basisprognose)	46
Abbildung 3-9: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Öffentlichkeit 2010 – 2025 ..	47
Abbildung 3-10: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Gebäudeversorgung 2010 – 2025	47
Abbildung 4-1: Vergleich der Basisprognose mit alternativen Entwicklungsszenarien für den Bereich der Rechenzentren	50
Abbildung 4-2: Vergleich der Basisprognose mit alternativen Entwicklungsszenarien für den Bereich der Telekommunikationsnetze	53
Abbildung 4-3: Energiebedarf der Telekommunikationsnetze im grünen Szenario im Vergleich zur Basisprognose	54
Abbildung 4-4: Energiebedarf der Telekommunikationsnetze im grauen Szenario im Vergleich zur Basisprognose	55
Abbildung 4-5: Auslenkung der Prognose Arbeitsplätze durch grüne und graue Entwicklungsvarianten	57
Abbildung 4-6: Vergleich der Basisprognose mit alternativen Entwicklungsszenarien für den Bereich der Haushalte (Grauszenario: Entwicklungsvarianten H3 bis H6, Grünszenario: Entwicklungsvariante H1)	58
Abbildung 4-7: Anteil der Entwicklungsvarianten H3 bis H6 an der Steigerung des Energiebedarfs 2025 gegenüber der Basisprognose	59
Abbildung 6-1: Für die Untersuchung zugrunde gelegte Struktur eines Rechenzentrums	67
Abbildung 6-2: Aufteilung des Energiebedarfs eines typischen Rechenzentrums (ca. 1.000 m ² Rechenzentrumsfläche) im Jahr 2008 und 2015 (Quelle: BITKOM 2015b)	68
Abbildung 6-3: Anteile der verschiedenen Branchen am Serverbestand in Deutschland im Jahr 2015 (Berechnung auf Basis von Techconsult, 2015)	70
Abbildung 6-4: Deutlich steigender Anteil von Cloud Workload in weltweiten Rechenzentren (Quelle: (Bio by Deloitte& Fraunhofer IZM, 2015a, Cisco (2013))	70

Abbildung 6-5: Ergebnisse einer weltweiten Befragung von Rechenzentrumsbetreibern, wie Sie die Größe ihres Rechenzentrums im Jahr 2025 einschätzen (Anzahl der Befragungsteilnehmer: 829) (Quelle: Emerson Network Power, 2014).....	71
Abbildung 6-6: Server: Entwicklung des jährlichen Energiebedarfs in der Produktgruppe Server in der Basisprognose	78
Abbildung 6-7: IDC-Prognose zur Entwicklung des weltweiten Datenspeichervolumens (Gantz & Reinsel, 2012)	80
Abbildung 6-8: Marktanteile von verschiedenen Speichersystemen im Jahr 2013 (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015b)	81
Abbildung 6-9: Speicher: Entwicklung des jährlichen Energiebedarfs in der Produktgruppe Speicher in der Basisprognose.....	83
Abbildung 6-10: Netzwerk: Entwicklung des jährlichen Energiebedarfs in der Produktgruppe Netzwerk in der Basisprognose	88
Abbildung 6-11: Wirkungsgrade von Online-USVen in Abhängigkeit von der Auslastung (Quelle: (LBNL, 2005, eigene Darstellung)	93
Abbildung 6-12: Netzwerk: Entwicklung des jährlichen Energiebedarfs in der Produktgruppe Netzwerk in der Basisprognose	94
Abbildung 7-1: Mobilfunknetze: Technischelemente der Teilnetze	98
Abbildung 7-2: Festnetz: Technischelemente der Teilnetze	107
Abbildung 7-3: Daten zum Netz von Kabel Deutschland (2014)	113
Abbildung 8-1: Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb (Idle) in Abhängigkeit von der Prozessorgeschwindigkeit von 1500 verschiedenen Büro-Desktop PCs auf der aktuellen Website des EU Energy Star.....	120
Abbildung 8-2: Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb (Idle) in Abhängigkeit von der Prozessorgeschwindigkeit von 1500 verschiedenen Notebook PCs auf der aktuellen Website des EU Energy Star.....	121
Abbildung 8-3: Leistungsaufnahme (Idle) in Abhängigkeit von der Bildschirmdiagonale von 1231 verschiedenen Monitoren auf der aktuellen Website des EU Energy Star	124
Abbildung 8-4: Ausstattungsraten TV-Technik.....	136
Abbildung 8-5: Energiebedarf der IT am Arbeitsplatz von 2010 bis 2025.....	138
Abbildung 9-1: Prognose der durchschnittlichen Akkukapazität kleiner Mobilgeräte auf Basis der iPhone-Generationen	142
Abbildung 9-2: Nutzungsdauer von Flachbildfernsehern in Deutschland nach Absatzjahren	147
Abbildung 9-3: Bestandszusammensetzung der Fernseher nach Absatzjahr	148
Abbildung 9-4: Modellvergleich Bestand Flachbildfernseher in Deutschland	149
Abbildung 9-5: Entwicklung der durchschnittlichen Leistungsaufnahme von Flachbildfernsehern nach Verkaufsjahr und Größensegment (Datenbasis 2007-2013)	151
Abbildung 9-6: Vergleich der Annahmen in der vorliegenden Studie mit Werten von Stromverbrauch Info (schwarze Balken zeigen die Annahme für die jeweilige Größenklassen für 2015, die gepunktete Linien die jeweiligen Durchschnittswerte für nominale Leistungsaufnahme [oben] und Leistungsaufnahme im Eco-Mode [unten] aktueller Geräte)	152
Abbildung 9-7: Jahresenergiebedarf des Bestands an Fernsehern in den Jahren 2010 – 2025 (Basisprognose)	153

Abbildung 9-8: Energiebedarf der Produktkategorie Fernsehperipherie 2010 – 2025 (Basisprognose)	158
Abbildung 9-9: Energiebedarf der Produktkategorie Computer 2010 – 2025 (Basisprognose)	163
Abbildung 9-10: Leistungsaufnahme von Druckern nach StromverbrauchInfo (2015b).....	166
Abbildung 9-11: Energiebedarf der Produktkategorie Computerperipherie 2010 – 2025 (Basisprognose)	167
Abbildung 9-12: Bestandsentwicklung von Routern in Haushalten nach Technologie (Prognose ab 2014).....	169
Abbildung 9-13: Leistungsaufnahme von Routern nach Energy Star Energy Star (2015g) .	170
Abbildung 9-14: Energiebedarf der Produktkategorie Telekommunikation 2010 – 2025 (Basisprognose)	171
Abbildung 9-15: Absatzentwicklung Mp3-Player (CEMIX Datenbasis) mit Prognose ab 2015	173
Abbildung 9-16: Leistungsaufnahme von Audio-Systemen nach Energy Star (2015h)	174
Abbildung 9-17: Energiebedarf der Produktkategorie Audio 2010 – 2025 (Basisprognose)	175
Abbildung 9-18: Energiebedarf der Produktkategorie Kamera 2010 – 2025 (Basisprognose)	177
Abbildung 10-1: Energiebedarf der IKT im Bereich Öffentlichkeit 2010 – 2025 (Basisprognose)	178
Abbildung 11-1: Wohnungsbestand in Deutschland (Beucker et al. 2012 nach Daten von GdW 2011, AGE 2011)	188
Abbildung 11-2: Architektur für intelligente Messsysteme (Ernst & Young in Anlehnung an BSI, 2013)	191
Abbildung 11-3: Rolloutplan des Gesetzentwurfs zur Digitalisierung der Energiewende (BMWi 2015b)	192
Abbildung 11-4: Systemklassen von dezentralen Energiemanagementsystemen (Quelle: In Anlehnung an Beucker, Bergesen, Gibon 2015).....	196
Abbildung 12-1: Server: Grüne Entwicklungsvariante R1 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	207
Abbildung 12-2: Speicher: Grüne Entwicklungsvariante R2 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	208
Abbildung 12-3: Netzwerk: Grüne Entwicklungsvariante R3 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	209
Abbildung 12-4: Infrastruktur: Grüne Entwicklungsvariante R4 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	210
Abbildung 12-5: Server: Graue Entwicklungsvariante R5 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	211
Abbildung 12-6: Speicher: Graue Entwicklungsvariante R6 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	212
Abbildung 12-7: Netzwerk: Graue Entwicklungsvariante R7 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	213
Abbildung 12-8: Infrastruktur: Graue Entwicklungsvariante R8 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	214
Abbildung 12-9: Prognose Telekommunikationsnetze Grünes Szenario.....	215

Abbildung 12-10: Prognose Telekommunikationsnetze Graues Szenario.....	216
Abbildung 12-11: Grünes Szenario (Entwicklungsvarianten A1, A2, A3 und A4) im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	219
Abbildung 12-12: Graues Szenario (Entwicklungsvarianten A5 und A6) im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	220
Abbildung 12-13: Graues Szenario (Entwicklungsvarianten H3, H4, H5 und H6) im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	221
Abbildung 12-14: Anteil der Entwicklungsvarianten H3 bis H6 an der Steigerung des Energiebedarfs 2025 gegenüber der Basisprognose.....	222
Abbildung 12-15: Entwicklungsvariante H1 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	223
Abbildung 12-16: Entwicklungsvariante H2 im Vergleich zur Basisprognose 2010 – 2025	224
Abbildung 12-17: Entwicklungsvariante H3 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	225
Abbildung 12-18: Szenario H4 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025.....	226
Abbildung 12-19: Entwicklungsvariante H5 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	227
Abbildung 12-20: Entwicklungsvariante H6 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025	228
Abbildung 14-1: Amazon-Stichprobe von Fernsehern der Größe 50-55" im Baujahr 2015 [Stand 14.09.2015]	241

Abkürzungsverzeichnis

5G	5. Generation Mobilfunk
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMD	Advanced Micro Devices Inc.
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASUS	ASUSTeK Computer Inc.
BNetzA	Bundesnetzagentur
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
CAS	Content Addressed Storage
CRT	Cathode Ray Tube
DAS	Direct Attached Storage
DEMS	Dezentrales Energiemanagementsystem
DSL	Digital Subscriber Line
EIBA	European Installation Bus Association, Europäische Standardisierungsinitiativen zur Heimvernetzung
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EU	Europäische Union
FC	Fibre Channel
FTTH	Fibre to the Home: Glasfaseranschluss bis ins Haus/in die Wohnung
Gbps	Gigabit per second
GSM	Global System for Mobile Communications
GWh	Gigawattstunden
HP	Hewlett-Packard L.P.
IBM	International Business Machines Corporation
IDC	International Data Corporation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IPTV	Internet Protocol Television
iSCSI	internet Small Computer System Interface
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting
IT	Informationstechnik
JAZ	Jahresarbeitszahl
kWh	Kilowattstunden
KWKG	Kraft-Wärme- Kopplungsgesetz
LAN	Local Area Network, Lokales Datennetz in der Computertechnik.

LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
LTE	Long Term Evolution
Mini-PC	Personal Computer kleiner Bauart
ms	Millisekunde
NAS	Network Attached Storage
NEC	NEC Corporation
NFS	Network File System
NSA	National Security Agency
PC	Personal Computer
PSTN	Public switched telephone network
PUE	Power Usage Effectiveness
SAN	Storage Area Network
SERT	Server Efficiency Rating Tool
SNIA	Storage Networking Industry Association
SPEC	The Standard Performance Evaluation Corporation
SSD	Solid State Drive / Solid State Disk
Thin Client	Endkunden-Computer, der nur in Wechselwirkung mit Servern arbeitet
TWh	Terawattstunden
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
WLAN	Wireless Local Area Network

Glossar¹

2-Sockel-Server: Server mit zwei Steckplätzen für Hauptprozessoren.

ASHRAE: ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ist ein Berufsverband aus dem Bereich Heizung, Kühlung, Lüftung und Klimatisierung. Sitz der Vereinigung ist Atlanta. ASHRAE wurde 1894 gegründet und gibt regelmäßig Handlungsempfehlungen und Standards insbesondere im Bereich der Klimatechnik heraus.

Big Data: Unter Big Data werden in der Regel Anwendungen und Technologien verstanden, die sich mit dem Sammeln und Auswerten von sehr großen Datenmengen befassen.

Blade Server: Sehr flache Serverbauweise, bei der die einzelnen Server (Blades) in der Regel nur eine eigene Hauptplatine mit Mikroprozessoren und Arbeitsspeicher besitzen. Mehrere Blades werden in einem gemeinsamen Baugruppenträger (Blade-Center oder Blade-Enclosure) betrieben, der ihnen Stromversorgung, Lüftung, Laufwerke, Netzwerkanschlüsse etc. bereitstellt.

Brennstoffzelle: Eine Brennstoffzelle ist ein Energiewandler, der die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels direkt in elektrische Energie wandelt. Damit ist die Brennstoffzelle potenziell energieeffizienter als andere – heute typischerweise verwendete – Energiewandler, die chemische Energie zunächst in mechanische Energie und dann in elektrische Energie wandeln. Im IKT-Bereich ist die Brennstoffzelle insbesondere für den Einsatz als energieeffizientes Notstromaggregat oder für mobile Rechenzentren geeignet.

Content Adressed Storage (CAS): Mit CAS wird ein Speicherverfahren bezeichnet, bei dem ein direkter Zugriff auf einzelne Objekte möglich ist und gleichzeitig die Unveränderbarkeit der gespeicherten Information sichergestellt wird.

Cloud Computing: Cloud Computing bezeichnet einen Ansatz für IT-Lösungen, in dem die Computeranwender die Software und die dazu notwendige Hardware nicht mehr selbst betreiben, sondern hierzu auf einen Dienstleister zurückgreifen. Anwendungen und Daten befinden sich dabei nicht mehr auf dem lokalen Rechner. Sie werden über ein leistungsfähiges Netzwerk von einer Anzahl von entfernten Systemen bereitgestellt.

Colocation Rechenzentren: Rechenzentrum, in dem ein Anbieter seinen Kunden Rechenzentrumsfläche und Versorgungsinfrastruktur bereitstellt. Die IT-Geräte sind aber im Besitz des Kunden.

Direct Attached Storage (DAS): Direct Attached Storage bezeichnet an einen einzelnen Server angeschlossene Festplatten, die sich in einem separaten Gehäuse befinden.

Energy Efficient Ethernet: Energy Efficient Ethernet (Industriestandard IEEE 802.3az) ist ein wichtiger Baustein bei der Etablierung lastadaptiver Telekommunikations- und

¹ Basierend auf Hintemann/Fichter 2010, Hintemann/Clausen 2014

Computernetzwerke. Der Standard wurde Ende des Jahres 2010 veröffentlicht und bildet die Basis für die Entwicklung neuer Ethernet-Netzwerkkomponenten. Eine wesentliche Errungenschaft dieses Standards ist die Reduzierung der elektrischen Leistungsaufnahme, wenn kein aktiver Datentransport über die Ports eines Netzwerkgerätes erfolgt.

Ethernet: Ethernet ist eine Datenübertragungstechnik mit Paketen variable Größe. Die Ethernet-Technologie spezifiziert Software (Protokolle usw.) und Hardware (Kabel, Verteiler, Netzwerkkarten usw.) für kabelgebundene Datennetze. Ursprünglich waren mit Ethernet maximal 10 MBit/s über Kupferkabel möglich. Nächste Entwicklungsstufe war das weit verbreitete Fast Ethernet (100 Mbit/s). Zurzeit werden bei Neuinstallationen vielfach 1 Gigabit-Ethernet und 10 Gigabit-Ethernet eingesetzt. Auch Netzwerktechniken, die Glasfaser und Funk nutzen, verwenden heute Ethernet-Frames. Von der Standardisierungsorganisation IEEE Standards wurden bereits Standards bis zu 100 Gigabit-Ethernet entwickelt, die Arbeiten an den Standards für 400 Gigabit-Ethernet sind begonnen.

Fibre Channel: Fibre Channel ist eine Datentransfer-Technologie aus dem Bereich der Speichernetzwerke, die hohe Datenübertragungsraten ermöglicht. Fibre Channel ist nicht beschränkt auf die Übertragung von optischen Signalen durch Glasfasern, sondern kann auch mit Kupferkabeln genutzt werden.

Fibre Channel over Ethernet (FCoE): FCoE ist ein Protokoll zur Übertragung von Fibre-Channel-Rahmen in Ethernet-Netzwerken. FCoE wurde insbesondere entwickelt, um Netzwerke auf der Basis von Ethernet zu konsolidieren und damit die physischer Komplexität von Netzwerkstrukturen in Rechenzentren zu reduzieren.

Flash-Speicher: Digitale Speicherchips, bei denen auch ohne Stromzuführung die Daten erhalten bleiben. Flash-Speicher sind sehr energieeffizient.

Freie Kühlung: Bei Freikühlsystemen wird bei entsprechend niedrigen Temperaturen die Außenluft zur Kühlung genutzt. Bei der Direkten Freien Kühlung wird die Außenluft direkt in den zu kühlenden Raum geleitet. Bei der Indirekten Freien Kühlung werden Wärmetauscher zur indirekten Kühlung der Raumluft über die Außenluft genutzt.

Gleich- und Wechselstromversorgung in Rechenzentren: Typischerweise werden Rechenzentren mit Wechselstrom versorgt. Die erforderlichen Stromwandlungen (z.B. Doppelwandlung in der USV, Wandlung auf die verschiedenen Spannungsniveaus in Servern) führen jeweils zu Stromwandlungsverlusten. Daher bietet eine zentrale Stromversorgung von Rechenzentren mit Gleichstrom ein erhebliches Effizienzpotenzial. Versuche zeigen, dass durch die Reduktion von Wandlungsverlusten sowie den Einsatz gleichstromfähiger Komponenten (Server, USV, etc.) in Rechenzentren mindestens 10 % Energie im Vergleich zum effizienten Betrieb mit Wechselstrom eingespart werden können. Aufgrund der für die Energieeffizienz ungünstigeren Spannungsversorgung in den USA im Mittel- und Niederspannungsbereich sind dort die Energieeffizienzvorteile, die durch Gleichstromversorgung erreicht werden können, besonders hoch.

IDLE: IDLE – englisch für „untätig“ oder „unausgenutzt“ wird in der Informationstechnik für Zustände des IT-Systems verwendet, in denen sich dieses im Leerlauf befindet, also keine Aufgaben erfüllt.

In Memory Computing: Beim In Memory Computing wird der Arbeitsspeicher eines Computers als Datenspeicher für eine Datenbank genutzt. Herkömmliche Datenbankmanagementsysteme nutzen hierzu Festplattenlaufwerke. verwenden. Da der Arbeitsspeicher eines Rechners wesentlich höhere Zugriffsgeschwindigkeiten als Festplattenlaufwerke bietet und die Algorithmen für den Zugriff einfacher sind, sind In-Memory-Datenbanken deutlich schneller und ihre Zugriffszeiten sind besser vorhersagbar als bei der Nutzung von Festplatten.

iSCSI - internet Small Computer System Interface: iSCSI ist ein Protokoll für Storage Area Networks, das in Ethernet-Netzwerken verwendet werden kann. Wie FCoE wurde iSCSI entwickelt, um die Netzwerke in Rechenzentren zu konsolidieren und bestehende Infrastruktur aus Ethernet auch für Speichernetzwerke zu nutzen.

IT-Fläche: Die IT-Fläche ist die Fläche innerhalb von Rechenzentren, die für das Aufstellen von IT-Equipment wie Server, Speichersysteme und Netzwerkkomponenten zur Verfügung steht.

Jahresarbeitszahl (JAZ): Die Jahresarbeitszahl gibt auf das Jahr bezogen das Verhältnis der aus dem Rechenzentrum abzuführenden Wärmemenge zu der dafür einzusetzenden Energie an.

Konsolidierung: Mit Konsolidierung ist der Prozess der Vereinheitlichung und Zusammenführung von Systemen, Applikationen, Datenbeständen oder Strategien gemeint. Ziel ist hier meist die Vereinfachung und Flexibilisierung der Infrastruktur. Damit einher geht in der Regel auch eine erhebliche Absenkung des Energieverbrauchs.

KNX Association: Internationaler Zusammenschluss von Unternehmen, die sich auf eine einheitliche Kommunikation zwischen Sensoren und Aktoren der Heimvernetzung in einem Bussystem verständigt haben

Latenz: Unter Latenzzeit wird in der Telekommunikation die Zeit verstanden, die von einem Ereignis bis zum Eintreten eines erwarteten Folgeereignisses vergeht. Damit ist also z.B. die Zeit gemeint, die vom Absenden eines Datenpaketes an einem Standort bis zum Empfang des Datenpaketes an einem anderen Standort vergeht.

Mainframe Server: Großrechner (Highend Server), der auf Zuverlässigkeit und hohen Datendurchsatz ausgelegt ist. Die typischen Anwendungen eines Mainframes sind in Banken, Versicherungen, großen Unternehmen und in der öffentlichen Verwaltung gegeben. Das Marktforschungsunternehmen IDC definiert Mainframe Server über die Preisklasse größer 500.000 \$.

Microserver: Unter Microserver werden unterschiedliche Systeme verstanden, die sich dadurch auszeichnen, dass die Baugröße der Server im Vergleich zu klassischen Serverbauarten (Rackserver, Towerserver) sehr gering ist. Microserver können z.B. Server in sehr kleinen Gehäusen sein. Aber auch Server, die auf einer kleinen Platine

gemeinsam mit vielen anderen in einem einzigen Gehäuse installiert werden, werden als Microserver bezeichnet.

Midrange Sever: Ein Midrange Server ist ein Server mittlerer Größe und Rechenleistung. Das Marktforschungsunternehmen IDC definiert Midrange Server über die Preisklasse zwischen 25.000 und 500.000 \$.

Nearline-Speicher: Unter Nearline-Speicher versteht man Speichersysteme, bei denen die Datenspeicherung auf einem Wechseldatenträger erfolgt.

Network Attached Storage (NAS): Ein NAS-System ist ein Dateiserver (Fileserver) der Dateisysteme oder einen Teil eines Dateisystems in einem Rechnernetz zur Verfügung stellt. Die Festplatten sind also nicht an einen einzelnen Server gebunden, sondern eine eigenständige Einheit im Netzwerk.

NFS – Network File System: NFS ist ein Protokoll, das dazu dient, die Dateisysteme eines Netzes zu verwalten und die Verbindungen zu kontrollieren. Per NFS können Clients auf die von Servern im Netzwerk bereitgestellten Verzeichnisse und Dateien zugreifen.

Online-Speicher: Unter Online Speicher wird der direkt verfügbare Speicher bezeichnet, der entweder direkt an einen Server angeschlossen ist oder als eigenständige Komponente über ein Netzwerk zur Verfügung steht.

Port: Port ist die englische Bezeichnung für eine Schnittstelle. Der Begriff wird insbesondere im Zusammenhang mit Netzwerken verwendet.

PUE: Power Usage Effectivness. Die PUE gibt das Verhältnis des Gesamtenergieverbrauchs eines Rechenzentrums zum Energieverbrauch der IT im Rechenzentrum an. Der theoretisch optimale PUE-Wert ist 1, weil dann die gesamte Leistung in die eigentliche IT fließt. Der Kehrwert der PUE ist die Data Center Infrastructure Efficiency. Die DCiE gibt das Verhältnis des Energieverbrauchs der IT zum Gesamtenergieverbrauch eines Rechenzentrums in Prozent an. PUE und DCiE sind weit verbreitete Kennzahlen zur Bewertung der Energieeffizienz der Infrastruktur eines Rechenzentrums.

Rack: Unter einem Rack wird ein Gestell zum Einbau von Elektrogeräten/IT-Geräten (Server, Netzwerkgeräte, etc.) mit einer genormten Breite von 19 Zoll verstanden.

Rackserver: Serverbauart, die insbesondere in Rechenzentren eingesetzt wird. Es haben sich Rack-Server im 19-Zoll-Standardformat etabliert (siehe Rack). Rackserver werden in unterschiedlichen Bauhöhen realisiert. In die flachsten Systeme mit 1 HE (Höheneinheit der Height Unit/HU, 1,75 Zoll, etwa 4,5 Zentimeter) Bauhöhe passen bis zu zwei (selten vier) Prozessoren.

Software Defined Data Center – SDDC: Mit SDDC ist einer Vision für die IT Infrastrukturen in einem Rechenzentrum gemeint, bei der alle Elemente (Netzwerk, Speicher, Server, Sicherheit, etc.) virtualisiert sind und als Service zur Verfügung gestellt werden.

Software Defined Networks – SDN: Mit SDN werden Konzepte für Netzwerke bezeichnet, in denen für die Netzwerkadministration keine manuelle Konfiguration der Hardware mehr nötig ist.

Software Defined Storage: Beim Konzept des Software Defined Storage wird Datenspeicherung, ihre Merkmale und die Datenverwaltung von der zugrunde liegenden Hardware abstrahiert.

SSD: Ein Solid State Drive (auch Solid State Disk) ist ein nichtflüchtiges elektronisches Speichermedium. Es basiert auf Halbleitertechnik und kann als Ersatz für die heute oft noch üblichen Festplatten mit Magnetspeichertechnik dienen. Der Vorteil von SSD liegt in der schnelleren Zugriffszeit, der Robustheit und dem geringeren Stromverbrauch.

Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC) / SPECpower / SPEC SERT: SPEC ist eine Non-Profit-Organisation, die Benchmarks zur Leistungsbewertung von Hardware und Software entwickelt. Der Benchmark-Test SPECpower_ssj2008 gibt Auskunft über das Verhältnis von Rechenleistung zum Energieverbrauch eines Servers. SPEC SERT™ ist ein neuer Benchmark zur Bestimmung der Energieeffizienz von Servern, vorgesehen für das Energy Star Programm für Server.

Storage Area Network (SAN): Ein SAN ist ein Netzwerk zwischen Servern und von ihnen genutzten externen Speicherressourcen (Festplattensysteme, Magnetbandlaufwerke, etc.).

Switch: Ein Switch (engl. Schalter) ist ein Netzwerk-Gerät zur Verbindung mehrerer Computer bzw. Netz-Segmente in einem lokalen Netzwerk (LAN). Switches sind intelligente Netzwerkgeräte, die den Netzwerkverkehr analysieren und logische Entscheidungen treffen.

Thin Client: Computerendgerät, dessen Hardwareausstattung im Vergleich zum PC bewusst reduziert ist und das im Wesentlichen zur Ein- und Ausgabe von Daten dient. Die eigentliche Datenverarbeitung erfolgt auf einem zentralen Server, auf welchen der Thin Client zugreift.

Towerserver: Serverbauart mit Towergehäuse. Diese Stand-Alone-Variante von Servern wird insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen verwendet.

Virtualisierung: Mit Virtualisierung können Computerressourcen zusammengefasst oder aufgeteilt werden. Virtualisierung abstrahiert von der tatsächlich vorhandenen Hardware und stellt logische Systeme zur Verfügung. Ein typisches Anwendungsgebiet ist die Servervirtualisierung, bei der ein Hardwareserver so aufgeteilt wird, dass dem Anwender mehrere logische Server zur Verfügung gestellt werden, auf denen z.B. verschiedene Betriebssysteme installiert werden können.

VoIP – Voice over IP: VoIP bezeichnet das Telefonieren über Computernetzwerke, die nach Internetstandards aufgebaut sind.

Internet der Dinge: Das Internet der Dinge ist die technische Vision, Objekte jeder Art in ein universales digitales Netz zu integrieren (Deutscher Bundestag 2012).

Industrie 4.0 „Industrie 4.0 meint im Kern die technische Integration von Cyber-Physical Systems in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation.“ (VDMA 2014)

1 Kurzdarstellung

1.1 Die Prognose im Überblick

Der elektrische Energiebedarf der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ist in der letzten Dekade kontinuierlich angestiegen und entsprach im Jahr 2007 bereits mehr als zehn Prozent des bundesweiten Energiebedarfs. Diese negative Entwicklung wurde aufgrund mehrerer Studien auch international aktiv thematisiert. Im Rahmen der Europäischen Öko-design-Richtlinie wurden recht schnell für viele Produktgruppen Mindestanforderungen zur Energieeffizienz festgelegt. Gleichzeitig wurde dem Thema Energieeffizienz auch im Kontext von Rechenzentren und Telekommunikation aus Kostengründen zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt.

Die vorliegende Studie präsentiert eine aktuelle Prognose des IKT-bedingten Energiebedarfs für Deutschland bis zum Jahr 2025. Sie schlüsselt den jährlichen Energiebedarf wesentlicher IKT-Anwendungsbereiche auf einzelne Produktgruppen auf und erläutert in diesem Zusammenhang auch spezifische Entwicklungsfaktoren. Hierzu zählen die technische und produktbezogene Marktentwicklung, das Nutzerverhalten und regulative Maßnahmen der Gesetzgeber. Betrachtet werden die IKT-Bereiche Rechenzentren, Telekommunikation, Arbeitsplatz-IT, IKT in Haushalten, IKT in der Öffentlichkeit und Gebäudeversorgung.

Auf Basis der vorliegenden aktuellen Berechnung ist der jährliche Energiebedarf der IKT in Deutschland im Zeitraum von 2010 bis 2015 von 56,0 TWh auf 47,8 TWh um etwa 15 Prozent gesunken. Dieser abnehmende Trend wird sich mittelfristig bis zum Jahr 2020 noch fortsetzen und dann von 45,2 TWh wieder leicht auf 46,2 TWh in 2025 ansteigen. Damit zeichnet sich grundsätzlich eine positive Entwicklung des IKT-bedingten Energiebedarfs ab.

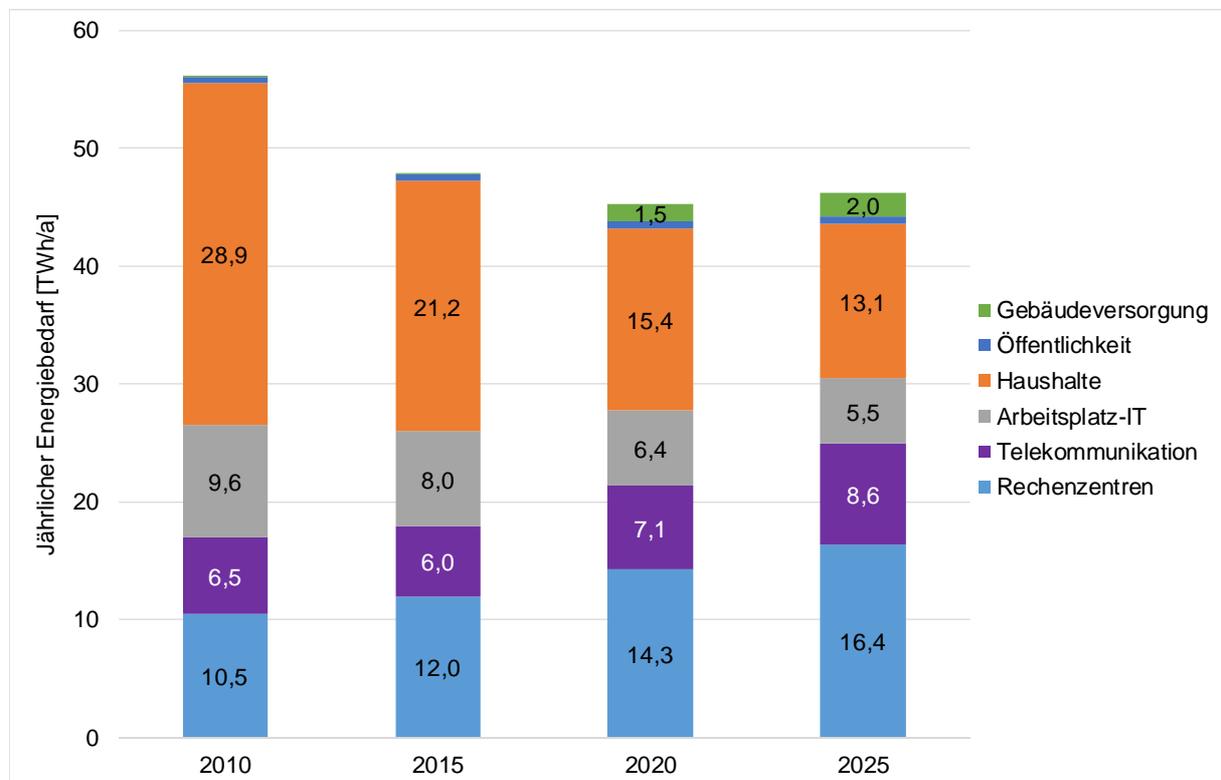


Abbildung 1-1: Elektrischer Jahresenergiebedarf der IKT in Deutschland 2010 – 2025 (Basisprognose)

In der Binnengliederung verdeutlicht sich die Ursache für den insgesamt rückläufigen Trend. Der Energiebedarf der IKT in Haushalten und an Arbeitsplätzen nimmt in den kommenden Jahren weiterhin sukzessive ab und verringert sich von 2015 bis 2025 um gut ein Drittel. Gegenläufig hingegen ist der Trend in den Bereichen der Telekommunikation und Rechenzentren, wo mittelfristig aufgrund eines kontinuierlich steigenden Datenverkehrs der IKT-bedingte Energiebedarf trotz Ausschöpfung erheblicher Verbesserungspotentiale leicht ansteigen wird. Der Energiebedarf der Telekommunikationsnetze und Rechenzentren wird in Summe von 18 TWh im Jahr 2015 auf 25 TWh in Jahr 2025 ansteigen. Berücksichtigt wurde in der vorliegenden Basisprognose bereits die Implementierung vieler Energiesparmaßnahmen, da das Thema Green-IT einen hohen Stellenwert in Deutschland hat.

Die technischen, ökonomischen und nutzungsbezogenen Daten, welche die Berechnungsgrundlage für die aktuelle Prognose liefern, weisen in der langfristigen Entwicklung über den Prognosezeitraum von 2025 hinaus allerdings auch wieder auf einem leichten Anstieg des Energiebedarfs hin. Mit der weiteren Vernetzung von Sensoren und Steuerelementen beispielsweise in Gebäuden, in Fahrzeugen, in Anlagen der Landwirtschaft und Industrie wird das sogenannte Internet der Dinge geschaffen, welches ein erhöhtes Maß an Netzwerktechnik und Rechenleistung benötigt. Es werden immer mehr Daten automatisch erzeugt, übertragen, verarbeitet und gespeichert werden.

Diese Entwicklung könnte den IKT-bedingten Energiebedarf wieder ansteigen lassen. Allerdings sollte auch zur Kenntnis genommen werden, dass die fortwährende Steigerung der Effizienz (Kooomey's Gesetz) ein Merkmal der IKT-Branche ist. In der Technologie- und Produktentwicklung werden heute der effektive Einsatz und die effiziente Nutzung von IKT auch unter dem Energieaspekt weitaus konsequenter berücksichtigt. Beispiele hierfür sind lastvariable Mobilfunknetze oder durch Virtualisierung und Lastverschiebung hoch ausgelastete Rechenzentren. Wie die vorliegende Studie mittels vieler Detailinformationen verdeutlichen wird, wirken technische, ökonomische und nutzungsbezogene Faktoren vielfach gegenläufig auf den IKT-bedingten Energiebedarf. Die Studie hat damit das Anliegen, eine ausreichende Faktenlage zur Beurteilung des Status quo und künftiger Entwicklungen zu schaffen.

1.1 Kernbotschaften

Der elektrische Energiebedarf der IKT in Deutschland ist in Summe rückläufig. Gegenüber dem Höchststand von 56 TWh im Referenzjahr 2010 wird bis zum Jahr 2025 ein Rückgang um etwa 10 TWh prognostiziert.

Diese substantielle Verbesserung begründet sich maßgeblich aus der technischen Optimierung von IKT-Endgeräten, insbesondere der deutlichen Reduktion der Leistungsaufnahme bei Fernsehern, Monitoren und Computern. Des Weiteren ist eine intensivere Nutzung energiesparenderer, konvergenter und mobiler Produkte wie Notebooks, Tablets und insbesondere Smartphones anstelle von Desktop PCs und anderen Geräten zu verzeichnen. In Summe benötigen IKT-Endgeräte im Jahr 2025 fast 20 TWh weniger elektrische Energie als noch im Jahr 2010.

Einen relevanten Einfluss auf diese positive Entwicklung hat die sukzessive Regulierung von Produkteigenschaften im Rahmen der Europäischen Ökodesign-Richtlinie sowie dem Europäischen Energielabel seit 2008. Neben einer produktübergreifenden Regulierung der elektrischen Leistungsaufnahme im Standby-Zustand wurden mit dem Energielabel insbesondere bei den Fernsehern rechtzeitig Anreize zur schnellen Einführung modernster LED-Technik geschaffen. Die Ökodesign-Richtlinie und das Energielabel haben sich damit als ein brauchbares Instrumentarium der Europäischen Energie- und Umweltpolitik erwiesen.

Auf technischer Ebene unterstützt das noch immer anhaltende Miniaturisierungsparadigma der Elektronikindustrie, das sogenannte Moore'sche Gesetz, die periodische Verbesserung der Leistungsfähigkeit der IKT bei gleichbleibenden oder gar sinkendem Energiebedarf. Diese auf der Hardwareebene realisierte Energieeffizienz wird in der Produktgestaltung durch ein immer anspruchsvolleres Energiemanagement auf der Softwareebene noch weiter unterstützt. Aufgrund dieser konsequenten Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen wird in den kommenden Jahren das realisierbare Optimierungspotenzial im Bereich der IKT-Endgeräte aber auch etwas abnehmen, sodass sich die elektrische Leistungsaufnahme je nach technischen Parametern bzw. Gerätekonfiguration nur noch wenig verbessern wird.

Anders gestaltet sich die Entwicklung des Energiebedarfs bei den IKT-Infrastruktursystemen also in den Bereichen Rechenzentren und Telekommunikation. Hier wird es trotz sichtbarer Konsolidierungsmaßnahmen und erheblicher Anstrengungen im Bereich der Energieeffizienz mittelfristig dennoch zu einem Anstieg des jährlichen Energiebedarfs von etwa 17 TWh im Jahr 2010 und auf 25 TWh im Jahr 2025 kommen. Diese negative Entwicklung ist primär auf eine intensivere Internetnutzung zurückzuführen. Bei den internetbasierten Diensten führt gerade das Streaming von hochauflösenden Videos zu steigenden Datenvolumen, deren Bereitstellung insbesondere zu Spitzenzeiten am Abend technisch abgesichert werden muss.

So werden die Telekommunikationsnetze und viele Rechenzentren auf Spitzenlastzeiten ausgelegt, was dazu führt, dass in den weniger aktiven Phasen eine meist ineffizientere Überkapazität besteht. Ein lastadaptiver Betrieb, wie es die meisten Endgeräte heute durch ein schnelles automatisches Umschalten in Energiesparzustände beherrschen, ist bei Rechenzentrums- und Telekommunikationstechnik in dieser Einfachheit noch nicht möglich. Die verzugsfreie Bereitstellung von Rechenleistung und Netzwerkkapazität ist eine große Herausforderung für ein automatisiertes Energiemanagement.

In diesem Zusammenhang steht auch die ressourcenintensive Flächenabdeckung ländlicher Gebiete. Grundsätzlich sind Telekommunikationsanlagen in urbanen Gebieten besser ausgelastet und erzielen daher eine hohe Energieperformanz. Im ländlichen Bereich ist das Datenaufkommen meist deutlich geringer, aber die Kosten für die Telekommunikationsinfrastrukturen höher. Eine angemessene Dimensionierung, flexible Skalierung und bedarfsgerechte Bereitstellung von Bandbreite sind eine große Herausforderung. Die Energieeffizienz sollte beim Ausbau eine Schlüsselrolle spielen. Mit dem Beschluss der Bundesregierung bis 2018 flächendeckend mindestens 50 Mbit/s auszubauen, wird ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung getan.

Tendenziell könnte das Internet der Dinge langfristig zu einem steigenden Energiebedarf der Telekommunikationsnetze und Rechenzentren beitragen. Mit der geplanten Vernetzung von Maschinen, Fahrzeugen, Elektrogeräten und Gebäudetechnik wird die Anzahl der netzwerkfähigen Objekte, d.h. Sensoren, Steuerelemente und Anzeigesysteme, nochmals deutlich steigen. Faktisch steigt der Netzwerkbedarf allein durch die Anbindung dieser Objekte an, da relativ unabhängig von der spezifischen Nutzung, der Signalisierungsaufwand in den IKT-Infrastruktursystemen zu Datenverkehr führt. Eine Herausforderung liegt auch insbesondere bei der drahtlosen Datenübertragung bzw. im Mobilfunk, wo es ein begrenztes Funkspektrum gibt. Die fünfte Mobilfunkgeneration (5G) soll dieses Problem lösen, aber derzeit ist dieser Standardisierungsprozess noch in der Entwicklung.

Rechenzentren und Telekommunikationsnetze werden nach heutiger Datenlage im Jahr 2025 fast die Hälfte des gesamten IKT-bedingten Energiebedarfs ausmachen. Dabei wird bereits berücksichtigt, dass der technische Fortschritt auch weiterhin in regelmäßigen Abständen eine Leistungsverbesserung auf Komponentenebene generiert, schrittweise das

Power Management weiterentwickelt und damit auch softwareseitig die Energieeffizienz verbessert wird. Durch die weitere Miniaturisierung von Elektronikkomponenten, der verstärkten Nutzung von optischen Technologien zur Datenübertragung auch innerhalb von Geräten (Silicon Photonics), der Einführung nichtflüchtiger Speicher im gesamten Applikationsspektrum, sowie der Implementierung höchst effizienter Stromversorgungssysteme wird die benötigte Energie bereits deutlich reduziert. Gleichzeitig werden auch die Energiewandlungsverluste minimiert, was den Energiebedarf des externen Klimatisierungsaufwand ebenfalls reduziert. Trotz allem bleibt das Thema Energieeffizienz in fast allen Anwendungsbereichen weiterhin aktuell, da die Potenziale der IKT-Anwendung noch lange nicht ausgeschöpft sind.

Was ist zu tun? Vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden positiven Entwicklungen könnte der Eindruck entstehen, dass dem Thema „Energieeffizienz der IKT“ keine weitere Beachtung geschenkt werden muss. Diese Schlussfolgerung wäre falsch; einerseits weil die IKT-Infrastrukturen ausgebaut werden müssen, um den steigenden Datenverkehr zu bewältigen, und andererseits, weil die vernetzten Endgeräte im Zusammenspiel mit der Telekommunikationsinfrastruktur optimiert werden sollten, um der Netztechnik ein effizientes Energiemanagement zu ermöglichen.

Aus den Erfolgen der Ökodesign-Richtlinie bei den Endgeräten lernen wir, dass eine umfassende, technische und ökonomische Produktanalyse die Grundlage bildet für die Identifizierung von Verbesserungsoptionen und insbesondere für die Quantifizierung von Energieeffizienzzielen. Eine periodische Überprüfung des technischen Entwicklungsstandes und der realen Situation im Anwendermarkt ist angeraten, um möglichen Fehlentwicklungen frühzeitig entgegenwirken zu können. Auch wird eine Erweiterung des Produktspektrums bei der Analyse des IKT-bedingten Energiebedarfs empfohlen. Im Blickpunkt stehen dabei zum Beispiel das Internet der Dinge, Elektromobilität, Industrie 4.0.

Der Ausbau breitbandiger Kommunikationsnetze einschließlich eines erweiterten Funkspektrums wird zu einem wesentlichen Faktor für ein energieeffizientes Internet der Dinge. Der softwareseitigen Gestaltung eines Internet der Dinge kommt eine besondere Rolle zu. Beispielsweise wirkt sich der oft unbedacht erzeugte hohe Signalisierungsaufwand vieler Mobilfunkapplikationen (Apps) äußerst negativ auf die Energiesparaktivitäten der Telekommunikationsnetzbetreiber aus. Die Softwareentwickler müssen auf allen Softwareebenen, vom eingebetteten System bis zur Anwendungssoftware, die bestmögliche Energieeinsparung unterstützen. Unter dem Stichwort „Grüne Software“ werden Grundlagen diesbezüglich durch diverse Forschungsaktivitäten geschaffen.

Die Studie zum IKT-bedingten Energiebedarf sollte in kürzeren Zeitintervallen wieder durchgeführt werden und dabei eine Erweiterung des Produktspektrums erfolgen um frühzeitig Transparenz zum Energiebedarf des Internet der Dinge bzw. des Industriellen Internets (Industrie 4.0) zu schaffen.

2 Methodik

2.1 Gegenstand der Studie

Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) beinhaltet grundsätzlich die digitale Datenerfassung, Datenverarbeitung, Datenspeicherung, Datenübertragung und Datenausgabe. Da dieses Funktionalitätsspektrum aufgrund des immer höheren Miniaturisierungsgrades der Elektronik kontinuierlich zunimmt, entwickeln sich die Anwendungsintensität und der Anwendungsraum von IKT weiterhin sehr dynamisch. Der elektrische Energiebedarf der IKT steht in einer engen Wechselwirkung von Technikentwicklung und Anwendung. Sinkende Kosten für Hardware und Software, aber auch der Nutzung von Telekommunikationsnetzen und Internetdiensten, resultieren in einer schnellen Marktdurchdringung neuer Technologien und Anwendungen. Änderungen im IKT-bedingten Energiebedarf können hierdurch ähnlich dynamisch erfolgen.

Gegenstand der Studie ist die Bestandsaufnahme des Status quo (2015) und eine Prognose (2025) der weiteren Entwicklung des Energiebedarfs der IKT in Deutschland mit dem Ziel, eine solide Faktenlage zu schaffen, auf deren Basis aktionsorientierte Empfehlungen formuliert werden können. IKT muss nicht nur energieeffizient gemacht werden, sie muss auch effektiv, d.h. richtig dimensioniert, zum Einsatz kommen. Detaillierte Informationen bilden die Grundlage für ggf. notwendige Korrekturen und entsprechende Maßnahmen. Die vorliegende Studie ist die nunmehr Dritte dieser Art seit den Jahren 2003 und 2009:

- BMWi 2009: Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft in Deutschland. Erstellt vom Fraunhofer IZM und ISI. (BMWi 2009)
- BMWA 2003: Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010, Erstellt vom Fraunhofer ISI und CEPE. (BMWA 2003)

Die vorliegende Studie basiert wie die vorangegangenen Studien auf modellbasierten Berechnungen des IKT-bedingten Energiebedarfs. Dabei werden der Gerätebestand typischer Anwendungsbereiche, die technischen Eigenschaften der Geräte und nutzungsrelevante Daten in höchst möglichem Detaillierungsgrad zur Berechnung herangezogen. Die Datenquellen sind weitgehend öffentliche Marktstatistiken, technische Datenblätter und Verbraucherstudien. Das neue Referenzjahr ist 2015 und die Prognose erstreckt sich bis zum Jahr 2025. In der aktuellen Studie wurde für eine verbesserte Vergleichbarkeit auf Basis aktueller Zahlen rückwirkend das Jahr 2010 neu berechnet. Bezüglich der Prognose müssen umfangreiche Annahmen getroffen werden. Diesen Annahmen speisen sich aus einer Analyse technischer und nutzungsbezogener Trends. Die Prognose, einschließlich der Trendanalyse, bildet die Basis für die Formulierung von politischen Handlungsempfehlungen. Diese fokussieren auf eine weitere Verbesserung der Energieeffizienz von IKT in allen erfassten Anwendungsbereichen unter Berücksichtigung von technischen und anwendungsbezogenen Wechselwirkungen.

Untersuchungsrahmen

Um eine möglichst präzise Aufschlüsselung des IKT-bedingten Energiebedarfs zu gewährleisten, werden in der Modellierung die folgenden übergeordneten IKT-Bereiche unterschieden (siehe Abbildung 2-1):

- **Rechenzentren** einschließlich Server, Storage und Netzwerktechnik. Sowie unterbrechungsfreie Stromversorgung, Kühl- und Klimatisierungssysteme als wesentliche Beispiele, standortbezogener Infrastrukturtechnik.

- **Telekommunikation** einschließlich (alter) PSTN Telefonvermittlungstechnik, digitalem Mobilfunk- und Kabelzugang, Aggregations- und Kernnetzen. Ebenso wie unterbrechungsfreie Stromversorgung, Kühl- und Klimatisierungssysteme als wesentliche, standortbezogene Infrastrukturtechnik.
- **Arbeitsplatz** einschließlich mobiler Endgeräte, Personal Computer, Thin Clients, Displays, Lokale Speicher, Kopierer und Drucker, Telefon- und Netzwerktechnik in Büros und im erweiterten Arbeitsumfeld.
- **Haushalte** einschließlich mobiler Endgeräte, Personal Computer, Spielekonsolen, Displays, Fernseher, ebenso digitale Audio- und Videotechniken, etc.
- **Öffentlichkeit** einschließlich digitaler Beschilderung und Videowände (Signage), Geld- und Ticketautomaten, öffentliche Internetzugänge, etc.
- **Gebäudeversorgung** einschließlich digitaler Mess- und Steuertechniken (Monitoring/Metering/Control) im Bereich der Stromversorgung, des Wassers, der Wärme und Gases.

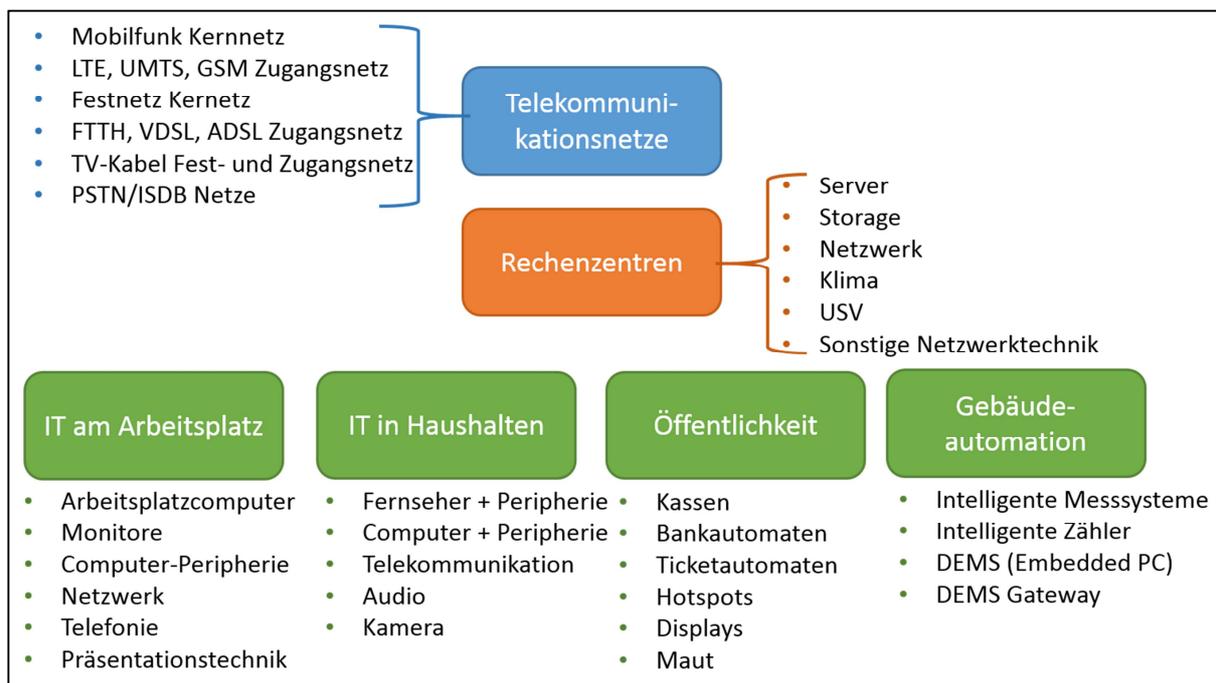


Abbildung 2-1: Produktkategorien

Für diese Produktbereiche wird eine Basisprognose für die Jahre 2010, 2015, 2020 und 2025 erstellt (Ergebnisse in Kapitel 3, Details in Kapitel 6 bis 11). Für einzelne Entwicklungen werden alternative Entwicklungsszenarien (2020 und 2025) untersucht (Ergebnisse in Kapitel 4, Details in Kapitel 12).

Der Untersuchungsrahmen deckt sich weitestgehend mit der Vorgängerstudie (BMW 2009) und klammert bei der Abschätzung des IKT-bedingten Energiebedarfs folgende Produktbereiche aus:

- Behördenfunk TETRA
- Verwaltungskommunikationsnetz DOI
- Medizintechnik
- Fahrzeugtechnik
- Militärtechnik
- Logistiktechnik
- Verkehrsleittechnik
- Maschinen- und Anlagentechnik

- Analytik- und Labortechnik

Ebenso ausgeschlossen sind ubiquitär verteilte Sensoren z.B. im Kontext von Industrie 4.0 oder vernetzter Fahrzeuge, sowie einzelne Produktgruppen, die keinen relevanten Anteil am Gesamtenergiebedarf haben.

2.2 Modellbildung

Das Berechnungsmodell basiert auf einer strukturierten und bestmöglichen quantitativen Erfassung des IKT-Gerätebestandes in unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Der Gerätekategorie werden energierelevante Technik- und Nutzungsparameter zugeordnet und damit die daraus resultierende elektrische Leistungsaufnahme als Endenergiebedarf berechnet.

Das mehrlagige und verknüpfte Berechnungsmodell beinhaltet vier Basisparameter:

- Art und Anzahl des Gerätebestandes (Produktgruppe).
- Lastabhängige elektrische Leistungsaufnahme (Technikparameter).
- Nutzerspezifische Anwendungen bzw. Lastprofile (Nutzungsparameter).
- Interaktion im Netzwerk bzw. mit anderen Geräten (Datenverkehr).

Der IKT-bedingte Energiebedarf wird in Terawattstunden pro Jahr (TWh/a) für die jeweiligen Referenzjahre ermittelt.

Das Berechnungsmodell baut im Wesentlichen auf vergleichbaren Modellen aus vorangegangenen Studien auf. Hieraus sind folgende exemplarisch zu nennen:

- BMWi [2009]: Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft in Deutschland. Erstellt vom Fraunhofer IZM und ISI.
- DG TREN Lot 26 [2011]: Preparatory Studies for Eco-Design Requirements for Energy-using Products, Lot 26: Networked Standby Losses. Erstellt vom Fraunhofer IZM und BioIS.
- BITKOM [2014]: Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation im Auftrag des BITKOM. Erstellt vom Borderstep Institut.
- DG Connect [2014]: SMART2012, Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT – cost/benefit analysis. Erstellt von Ökoinstitut und Technische Universität Berlin (in Kooperation mit Fraunhofer IZM).
- Umweltbundesamt [2010]: Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland, Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz, Erstellt vom Borderstep Institut unter Mitarbeit des Fraunhofer IZM und in Zusammenarbeit mit BITKOM.

Die Granularität der Ermittlung des IKT-bedingten Energiebedarfs, soll über alle Teilbereiche der IKT weitgehend ausgeglichen sein. Die im Projekt angestrebte Granularität, soll etwa auf eine TWh pro Jahr genau ausgelegt sein. Dies bedeutet folgendes Vorgehen in der Modellierung:

- Eine Produktgruppe, die in Summe mehr als eine TWh pro Jahr an elektrischem Energiebedarf erzeugt, wird wenn möglich stärker ausdifferenziert.
- Eine Produktgruppe, die in Summe weniger als eine TWh pro Jahr an elektrischem Energiebedarf erzeugt, wird stärker aggregiert.

2.3 Hinweise zur Berichtsstruktur

Die vorliegende Studie ist nach dem Prinzip „vom Gesamtergebnis zum Detail“ aufgebaut.

Die Beschreibung und Erläuterung der wichtigsten Ergebnisse der Basisprognose erfolgt zu Beginn des Berichts in Abschnitt 3 und beinhaltet auch die Trendanalyse aller Bereiche:

- Rechenzentren: Kapitel 0
- Telekommunikationsnetze Kapitel 0
- IKT am Arbeitsplatz Kapitel 3.5
- IKT in Haushalten Kapitel 3.6
- IKT in der Öffentlichkeit Kapitel 3.7
- Gebäudeautomation und –vernetzung Kapitel 3.8

Dem folgt die Untersuchung des Einflusses alternativer Entwicklungsszenarien (Ergebnisse in Kapitel 4) und die Beschreibung der Handlungsempfehlungen (Kapitel 5). Im Anschluss daran erfolgt die Beschreibung der Basisprognose für die einzelnen Bereiche im Detail, inkl. der Erläuterung aller Annahmen und verwendeten Quellen:

- Rechenzentren im Detail: Kapitel 6
- Telekommunikationsnetze im Detail: Kapitel 7
- IKT am Arbeitsplatz im Detail: Kapitel 8
- IKT in Haushalten im Detail: Kapitel 9
- IKT in der Öffentlichkeit im Detail: Kapitel 10
- Gebäudeautomation und –vernetzung im Detail: Kapitel 11

Die detaillierte Beschreibung der alternativen Entwicklungsszenarien erfolgt in Kapitel 12.

Das Literaturverzeichnis (Kapitel 13) und ein Anhang mit erweitertem Tabellenmaterial (Kapitel 14) findet sich am Ende des Berichts.

3 Basisprognose bis zum Jahr 2025

3.1 Entwicklung des IKT-bedingten Energiebedarfs

Die Abbildung 3-1 zeigt die früheren Prognosen der Jahre 2003 (blau) und 2009 (orange) im direkten Vergleich mit der aktuellen Basisprognose des Jahres 2015 (grün). Die älteren Studien prognostizierten einen kontinuierlich steigenden Energiebedarf der IKT und begründeten diesen im Wesentlichen mit einer Zunahme an Geräten, vermehrten Standby und einer erheblichen Nutzungsintensivierung durch das Internet.

Die aktuelle Basisprognose zeigt jedoch eine gegenläufige Entwicklung. Die Daten der vorliegenden Studie lassen die Aussage zu, dass es mittelfristig bis zum Jahr 2020 einen deutlichen Rückgang des IKT-bedingten Energiebedarfs in Deutschland geben wird. In der langfristigen Prognose bis zum Jahr 2025 kann es aber wieder zu einem leichten Anstieg kommen, da bis dahin viele Verbesserungspotenziale ausgeschöpft wurden und weitere Einsparpotenziale mit höheren Kosten verbunden sind. Der IKT-bedingte Energiebedarf für die erfassten Anwendungsbereiche (Haushalte, Arbeitsplatz, Rechenzentren, Telekommunikation, Öffentlichkeit und Gebäudeversorgung) wird auf Basis heutiger Daten allerdings den Spitzenwert fast 60 TWh im 2010 nicht mehr überschreiten und sich bei etwa 45 TWh pro Jahr einpegeln.

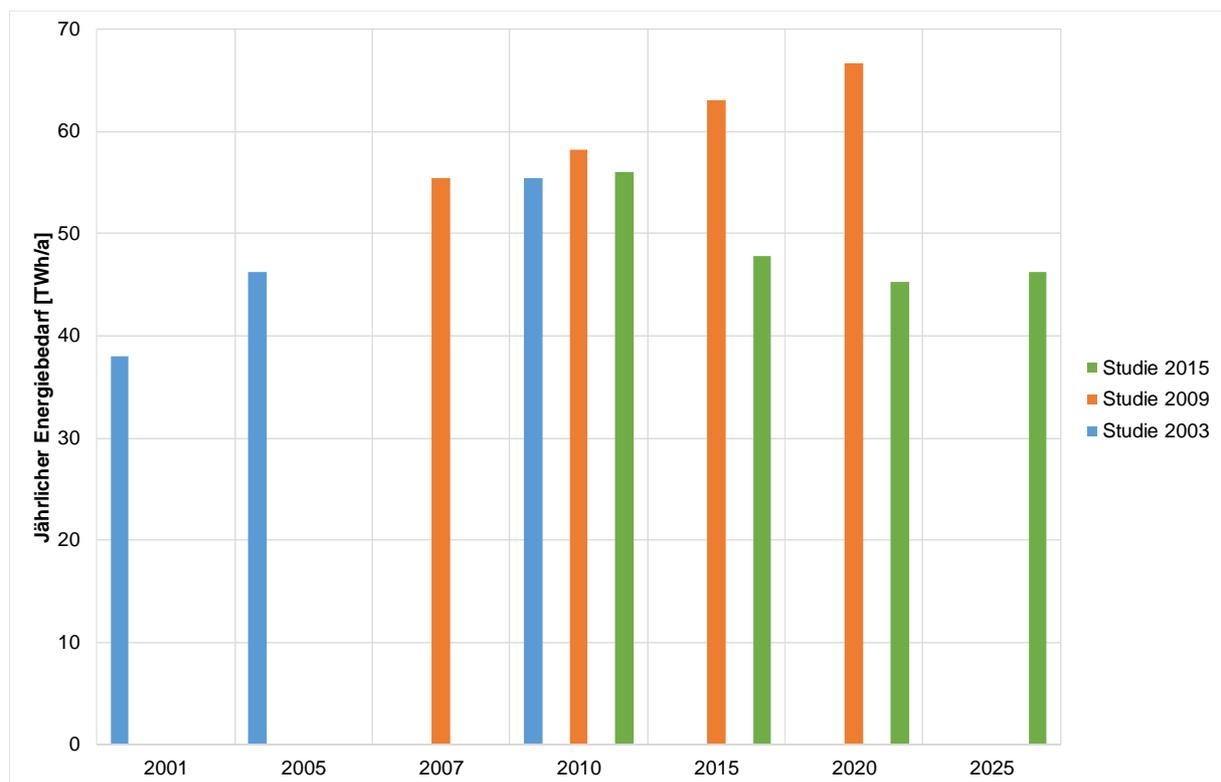


Abbildung 3-1: Vergleich der Prognosen der IKT-Studien der Jahre 2003, 2009 und 2015 (Untersuchungsrahmen variiert leicht)

Die Abbildung 3-2 zeigt die Entwicklung des IKT-bedingten Energiebedarfs erneut für den Zeitraum von 2001 bis 2025 basierend auf den aggregierten Daten der drei existierenden Studien. Diese Darstellung beinhaltet in ihrer Binnengliederung die Prognosen für die einzelnen Anwendungsbereiche. Sie vermittelt einen klareren Eindruck von dem substanziellen Wandel, der sich aktuell vollzieht. Deutlich zu erkennen ist, dass der mittelfristige Rückgang des IKT-bedingten Energiebedarfs insgesamt maßgeblich durch eine Reduktion des Energiebedarfs der IKT in Haushalten und am Arbeitsplatz bestimmt wird. Bis zum Jahr 2010

machte der Energiebedarf der Endgeräte etwa zwei Drittel des Gesamtenergiebedarfs der IKT aus.

Diese Situation ändert sich in Zukunft signifikant. So wirken sich die technischen Verbesserungen bei Computern und Displays sowie der wachsende Bestand mobiler Endgeräte sehr positiv auf den Gesamtenergiebedarf der IKT aus. Ein sicherlich wichtiger Grund für die forcierte technische Verbesserung der Endgeräte sind regulative Maßnahmen, welche die Europäische Kommission in den vergangenen Jahren im Rahmen der Europäischen Ökodesign-Richtlinie und der Energieeffizienz-Kennzeichnung ergriffen hat (vgl. Kapitel 3.2). Die Wirkung dieser Maßnahmen, die etwa ab 2008 sukzessive implementiert wurden, auf den Markt ist dauerhaft.

Parallel zu der sehr positiven Entwicklung im Bereich der Endgeräte wächst der Energiebedarf der IKT-Infrastrukturbereiche, d.h. der Rechenzentren und Telekommunikationsnetze, trotz existierender Energieeffizienzmaßnahmen in den kommenden Jahren aufgrund des erheblich ansteigenden Datenvolumens weiterhin an. Mit einem prognostizierten Gesamtanteil von zusammen fast 50 % in 2025 rücken beide Bereiche in den Fokus des Handlungsbedarfs.

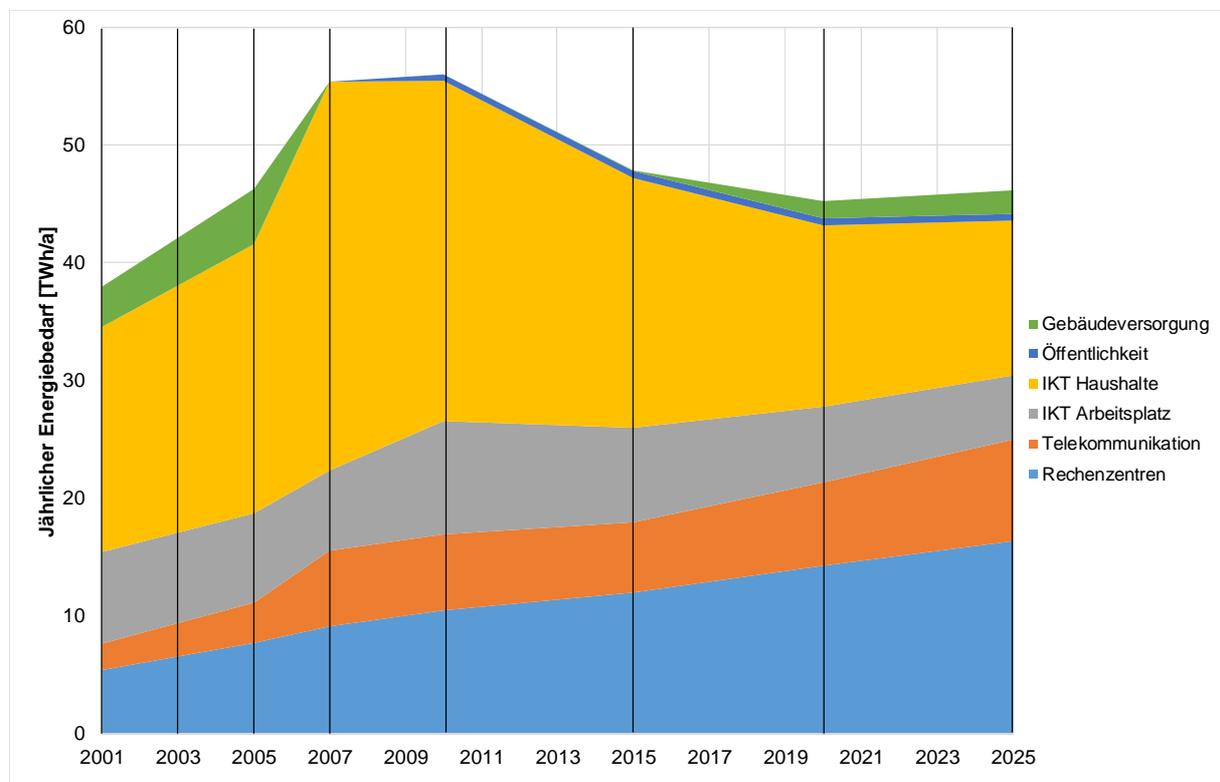


Abbildung 3-2: IKT-Energiebedarf von 2001 bis 2020²

Abbildung 3-3 zeigt die aktuelle Basisprognose in der Binnengliederung. Laut der aktuellen Berechnung ist der elektrische Energiebedarf der IKT in Deutschland im Zeitraum von 2010 bis 2015 von etwa 56,0 TWh auf 47,8 TWh um gut 15 Prozent gesunken. Der Energiebedarf wird mittelfristig bis 2020 noch weiter leicht abnehmen und dann von 45,2 TWh auf 46,2 TWh in 2025 wieder etwas zunehmen. Gemessen am deutschen Gesamtenergiebedarf von rund 576 TWh im Jahr 2014 beträgt der Anteil des aktuellen IKT-bedingten Energiebedarfs etwa acht Prozent (Stromreport 2014).

² Prognosejahre: 2001, 2003 und 2005: (BMWA 2003), Prognosejahr 2007: (BMW 2009), Prognosejahre 2010, 2015 und 2020: aktuelle Studie (Untersuchungsrahmen variiert leicht)

Der aktuelle Rückgang des Energiebedarfs der IKT steht wie oben genannt im Gegensatz zur vorherigen Prognose aus dem Jahr 2009, die einen ansteigenden Energiebedarf auf 62,4 TWh/a bis zum Jahr 2015 berechnet hatte (BMWi 2009) und damit die erheblichen Auswirkungen der Ökodesign-Richtlinie unterschätzte. Der Anstieg über das Jahr 2020 hinaus, zeigt aber auch, dass durch den Einsatz effizienterer Technologien gerade eine Talsohle durchlaufen wird, die anschließend durch den weiteren Ausbau und die verstärkte Nutzung der Infrastruktur (Rechenzentren und Telekommunikationsnetze) wieder leicht ansteigen wird.

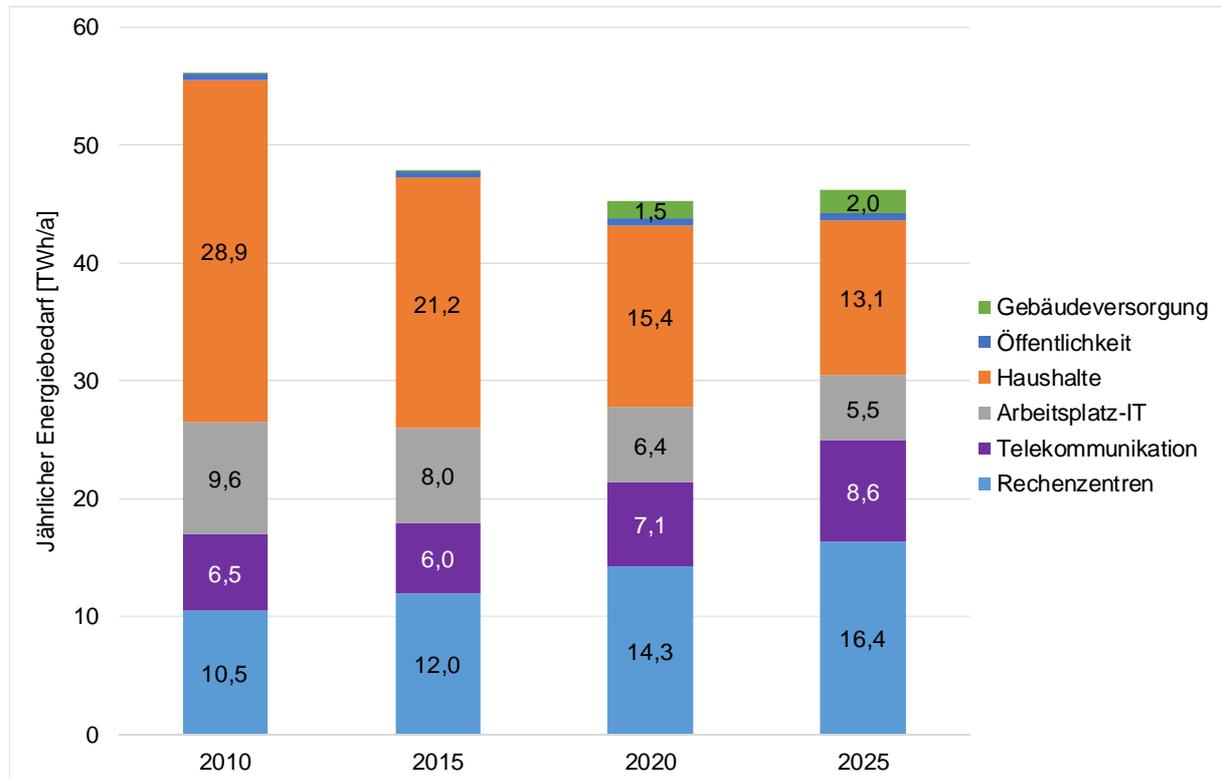


Abbildung 3-3: Elektrischer Jahresenergiebedarf der IKT in Deutschland 2010 – 2025 (Basisprognose)

In der Binnengliederung verdeutlicht sich nochmals der gegenläufige Trend von IKT-Endgeräten und IKT-Infrastruktur. Der Energiebedarf der IKT in Haushalten und am Arbeitsplatz nimmt in den kommenden Jahren weiterhin sukzessive ab bzw. schwingt langfristig ein. Gründe für diese Entwicklung liegen u.a. im erfolgreichen Ausschöpfen vorhandener, technischer Verbesserungspotenziale. Einen großen Einfluss hat die deutliche Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme von Displays (TV und Monitor) sowie Computern. Energiemanagement und sehr geringer Standby sind für fast alle Endgeräte aufgrund der Europäischen Ökodesign-Richtlinie verpflichtend. Einen weiteren Einfluss hat die noch immer anhaltende dynamische Durchdringung des Marktes mit sehr leistungsfähigen für die mobile Nutzung optimierten Endgeräten wie Notebooks, Tablets und Smartphones. Diese hoch energieeffizienten Geräte verdrängen teilweise die konventionellen Desktop PCs und werden für die „schnelle Internetnutzung“ herangezogen. Diese prinzipiellen Vorzüge mobiler Endgeräte führen auch am Arbeitsplatz zu weiteren Energieeinsparungen.

Die relative Stabilisierung des Energiebedarfs der IKT im Zeitraum von 2020 bis 2025 kann damit erklärt werden, dass wesentliche Einsparpotenziale ausgeschöpft sind und weitere Verbesserungen dem leicht steigenden Gesamtgerätebestand und der noch intensiveren Internetnutzung gegenüberstehen. Noch gleichen die periodisch realisierten Leistungszuwächse der Chiphersteller die Nutzungsintensivierung hinsichtlich Prozessorleistung, Spei-

cherkapazität und Bandbreite relativ gut aus. Die Entwicklungskosten und der Fertigungsaufwand steigen jedoch. Dieser ökonomische Druck wurde in den vergangenen Jahren über ein gleichbleibendes Marktwachstum kompensiert. Wie sich der Markt in Zukunft gestaltet und ob die Technologiepotentiale wie bislang in regelmäßigen Zeitabständen realisiert werden, kann nur schwer beurteilt werden. Große Elektronikhersteller geben sich allerdings zuversichtlich, was dafür spricht, dass trotz rasant steigender Datenmengen es nicht zu einem übermäßigen Anstieg des Energiebedarfs kommen wird.

In der folgenden Analyse werden wesentliche Entwicklungsfaktoren dargestellt, die aktuell zu dem positiven Trend eines abnehmenden Energiebedarfs beitragen. Es werden in diesem Zusammenhang u.a. die Entwicklung energieeffizienter Produkte im Kontext zunehmender regulatorischer Anforderungen und bestehende technisch-ökonomische Entwicklungsparadigmen erläutert.

3.2 Analyse wesentlicher Einflussfaktoren (Trends)

Europäische Ökodesign-Richtlinie: Die Europäische Ökodesign-Richtlinie (EC 125/2009) bzw. das in Deutschland umgesetzte Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (BMWi 2011) hatte ohne Zweifel einen substanziellen Einfluss auf die erheblichen Energieeffizienzsteigerungen der letzten fünf Jahre. Im Rahmen dieser Rahmenrichtlinie begann ab dem Jahr 2005 ein intensiver Prozess der Entwicklungen und schrittweisen Implementierung energiesparender Technologien im Bereich der IKT einschließlich der Geräteklassen Personal Computer, Monitore, Fernseher, Set-Top Boxen, Drucker und Kopierer.

Im Rahmen der Europäische Ökodesign-Richtlinie wurde des Weiteren mit der Standby-Verordnung (EC 1275/2008) und der aktuellen Novelle zum Netzwerk-Standby (EC 801/2013) eine produktübergreifende Vereinheitlichung der Höchstleistungsaufnahme im Bereitschaftszustand sowie weitgehend standardisierte Latenzzeiten für das Energiemanagement festgeschrieben. Damit wurde eine erhebliche Energievergeudung konsequent begrenzt. Allein diese regulatorischen Maßnahmen, die mit der herstellenden Industrie in einem transparenten Stakeholder-Prozess gemeinsam entwickelt wurden, tragen heute maßgeblich zum Rückgang des Energiebedarfs der IKT in privaten Haushalten und am Arbeitsplatz in einer Größenordnung von fast 8 TWh/a bei.

Einen weiteren horizontalen bzw. produktübergreifenden Ansatz trägt auch die Verordnung zu Externen Netzteilen (EC 278/2009). Diese reguliert zulässige Wirkungsgarde von Schalt-Netzteilen und unterliegt aktuell im Rahmen der Vorstudie DG ENTR Lot 7 einer Überarbeitung. Es ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass auch die Industrieinitiative 80 PLUS seit vielen Jahren einen erheblichen Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz von Netzteilen leistet (ecova 2015).

Die Regulierung von produktbezogenen Umwelteigenschaften wie der elektrischen Leistungsaufnahme wird aktuell auch auf größere IKT-Produkte wie Enterprise Server und Data Storage Systeme ausgeweitet. Die wissenschaftliche Vorstudie zu dieser Produktgruppe (DG ENTR Lot 9) wurde im Sommer 2015 abgeschlossen.³ Weitere Studien zu Telekommunikationstechnik wie Gateways, Basisstationen und auch Smartphones sind laut Arbeitsplan der Europäischen Kommission nicht ausgeschlossen (Öko-Institut e.V., Bio by Deloitte, ERA Technology 2014).

³ Die Abschlussberichte zur Vorstudie DG ENTR Lot 9 finden sich hier: <http://www.ecodesign-servers.eu/> [Stand: 14.07.2015]

Europäische Energielabel-Verordnung: Neben Mindestanforderungen an die elektrische Leistungsaufnahme in unterschiedlichen Betriebszuständen wurde u.a. im Bereich der Fernsehgeräte ein abgestuftes Energieeffizienzlabel (EC 1062/2010) entwickelt und umgesetzt. Es kann durchaus argumentiert werden, dass diese zum damaligen Zeitpunkt sehr anspruchsvollen Zielvorgaben die Technologieentwicklung gerade auch für energiesparende Displays positiv beeinflusst haben.

Code of Conduct Broadband Equipment. Der von der Europäischen Kommission initiierte Anforderungskatalog „Energy Consumption of Broadband Communication Equipment“ ist seit vielen Jahren ein wichtiges Instrument hinsichtlich der Verbesserung der Energieeffizienz von Netzwerkgeräten und Telekommunikationsanlagen (EC 2014). Der aktuelle Code of Conduct (CoC) in der Version 5.0 ist seit Januar 2014 gültig und beinhaltet anspruchsvolle Vorgaben für die elektrische Leistungsaufnahme unterschiedlichster Netzwerktechnologien und Gerätekonfigurationen sowohl für den aktiven Betrieb als auch für den Standby-Zustand. Mit dem CoC wird der Telekommunikationsbranche eine Orientierung gegeben, existierende bestverfügbare Technik zu implementieren. Die aktuelle Version wird von 19 internationalen Unternehmen getragen.

Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency: Ein weiterer Code of Conduct der Europäischen Kommission widmet sich der Energieeffizienz von Rechenzentren. Im Rahmen dieser gemeinsamen Initiative von Politik und Wirtschaft werden seit 2007 Schulungsmaterialien, Anforderungskataloge und Leitfäden entwickelt, an dem sich Rechenzentrumsbetreiber bei der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen orientieren können (EC 2015a). Parallel zu den Aktivitäten der Industrieinitiative The Green Grid ist der Europäische CoC Data Centre mit derzeit über 330 Teilnehmern eine wichtige Maßnahme zur Förderung der Energieeffizienz in dem immer zentraler werdenden Bereich der Rechenzentren.

The Green Grid: The Green Grid (TGG) ist eine seit 2008 bestehende internationale Industrieinitiative mit über 200 Mitgliedern, vornehmlich IT-Unternehmen. Im Juli 2012 fusionierte TGG mit der Climate Savers Computing Initiative (CSCI) und ist damit die weltweit führende Organisation, welche das Thema Energie- und Ressourceneffizienz in Rechenzentren fördert und nachhaltig beeinflusst.⁴ The Green Grid wurde bekannt für die Entwicklung der Energieeffizienz Kennzahl Power Usage Effectiveness (PUE). Die PUE-Kennzahl ist eine einfache Methode zur Bewertung der Energieeffizienz eines Rechenzentrums. Sie hat dem Thema Energieeffizienz auch in größeren IT-Systemen einen wichtigen Anstoß gegeben. Heute werden von TGG weitaus komplexere Methoden, Kennzahlen und Schulungswerkzeuge entwickelt, welche den Betreibern von Rechenzentren helfen, die Energie- und Ressourceneffizienz ihrer Anlagen individuell zu verbessern.

U.S. ENERGY STAR Programm: Parallel zur Europäischen Ökodesign-Richtlinie wirken sich aber auch Umweltlabel wie Der Blaue Engel⁵, TCO⁶, EPEAT⁷ und der ENERGY STAR⁸ weiterhin positiv auf die Entwicklung energieeffizienter IKT-Produkte aus. Gerade das U.S.-amerikanische ENERGY STAR Programm war in der Vergangenheit oftmals nicht nur Vorreiter bei der Entwicklung von Anforderungen an diverse Produktgruppen, sondern hat einen maßgeblichen Beitrag zur Entwicklung bzw. auch Harmonisierung von Testverfahren und

⁴ The Green Grid: <http://www.thegreengrid.org/> [Stand: 14.07.2015]

⁵ Das deutsche Umweltkennzeichen „Der Blaue Engel“: <https://www.blauer-engel.de/de> [Stand: 14.07.2015]

⁶ TCO Development: <http://tcodevelopment.de/> [Stand: 14.07.2015]

⁷ EPEAT ist eine Programm des Green Electronic Council: <http://www.epeat.net/> [Stand: 14.07.2015]

⁸ U.S. ENERGY STAR Programm: <https://www.energystar.gov/> [Stand: 14.07.2015]

Methoden zur Bewertung der produktspezifischen Energieeffizienz geleistet. Der ENERGY STAR bildet weiterhin eine wesentliche Grundlage für Umsetzungsmaßnahmen der Europäischen Ökodesign-Richtlinie.

Interessanterweise wurde vom U.S. ENERGY STAR Programm die wachsende Notwendigkeit der produktvergleichenden Energieeffizienzbewertung unter Berücksichtigung der Produktperformanz bereits vor mehreren Jahren erkannt. Dieses Prinzip der Nutzung von Performanz-Benchmarks zur Bemessung der Energieeffizienz wird aktuell mit dem SPEC SERT Benchmark für Enterprise Server entwickelt.⁹ Dieser prinzipielle Ansatz ist auch für andere energieintensive IKT-Systeme wie Speicher- und Netzwerksysteme zielführend, da hiermit nicht nur die unmittelbare Leistungsaufnahme sondern vielmehr die angemessene Konfiguration des IKT-Systems beurteilt wird. In der Praxis wird Energieeffizienz von IKT-Systemen heute dadurch bestimmt, wie angemessen das Produkt für eine gestellt Aufgabe konfiguriert ist. Mit anderen Worten, eine Überdimensionierung ist eine Vergeudung von Energie und materiellen Ressourcen. Die Prozessorleistung, der Arbeitsspeicher, die Netzwerkschnittstellen und auch die Netzteile sollten so dimensioniert werden, dass sie im aktiven Zustand hoch ausgelastet sind. Beispielsweise demonstrieren SPECpower und SPEC SERT Benchmark-Ergebnisse anschaulich, dass aktuelle Server-Produkte in Teillastbereichen von 60 bis 70 Prozent der Maximallast die höchste Energie-Performanz zeigen. Bei Netzwerkgeräten wie Switches nimmt die Energieeffizienz mit höherem Beschaltungsgrad aller zur Verfügung stehenden Ports schrittweise zu, da u.a. das Netzteil in einem meist günstigeren Teillastbereich und damit Wirkungsgrad arbeitet. Auch die energetische Wechselwirkung mit der Kühlungsinfrastruktur ist in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen.

Energy Efficient Ethernet: Der Industriestandard IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet ist ein wichtiger Baustein bei der Etablierung lastadaptiver Telekommunikations- und Computernetzwerke. Der Standard wurde Ende des Jahres 2010 veröffentlicht und bildet die Basis für die Entwicklung neuer Ethernet-Netzwerkkomponenten. Eine wesentliche Errungenschaft dieses Standards ist die Reduzierung der elektrischen Leistungsaufnahme, wenn kein aktiver Datentransport über die Ports eines Netzwerkgerätes erfolgt. Damit wird de facto ein Energiemanagement für Ethernet-basierte Computernetzwerke ermöglicht, ohne dass der Link verloren geht. Diese praxisnahe und auf Verfügbarkeit ausgelegte Lösung eines Power Management ist beispielhaft, aber leider auch einzigartig. Kein anderer Netzwerkstandard hat bislang so konsequent das Thema Energieeffizienz adressiert.

Green Touch: Dem Thema Energieeffizienz in der Telekommunikation wird in der Forschung erhebliche Aufmerksamkeit geschenkt. So förderte die Europäische Kommission seit 2010 mehrere große Verbundprojekte im Bereich Festnetz und Mobilfunk einschließlich der Projekte C2Power, CHRON, EARTH, ECONET und TREND. Des Weiteren gib es mit dem GREEN TOUCH CONSORTIUM unter der Leitung der Bell Labs eine wegweisende Industrieinitiative für Energieeffizienz der Telekommunikationsbranche.¹⁰ Diese, ebenfalls im Jahr 2010 begründete Initiative, bündelt heute vielfältige Forschungsaktivitäten zur Entwicklung hoch effizienter Netzwerkarchitekturen. Deklariertes Ziel ist es, die Effizienz der Telekommunikationsnetze um Faktor 1000 gegenüber dem Stand des Jahres 2010 zu verbessern. Damit wird neben der Entwicklung neuer, anwendungsnaher Technologien auch Grundlagenforschung betrieben.

⁹ Das Server Efficiency Rating Tool (SERT) wird durch die SPEC im Auftrag der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) seit 2009 entwickelt.

¹⁰ The Green Touch Consortium: <http://www.greentouch.org/> [Stand: 27.07.2015]

Beyond Moore's Law: Eine wesentliche Basis der technischen Entwicklung im Bereich der IKT und der wohl wichtigste Faktor für die kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz ist die kontinuierliche Miniaturisierung der integrierten Schaltkreise. Die periodische Verdoppelung der Transistoren auf gleichbleibender Chipfläche bei gleichbleibendem Preis wird seit nunmehr fünfzig Jahren mit dem sogenannten Moore'schen Gesetz beschrieben. Dieses steht synonym für ein breites Spektrum technologischer Ansätze zur immer höheren Integration von Mikroelektronik. Derzeit nähert man sich immer schneller den physikalischen Grenzen der konventionellen CMOS-Siliziumtechnik an. Die Strukturen bestehen derzeit nur noch aus wenigen Atomlagen. Der für die Zuverlässigkeit negative Effekt der Elektromigration gewinnt an Bedeutung. Künftig werden alternative Materialien und 3D-Architekturen dazu beitragen, dass die Performanz und Zuverlässigkeit trotz der kleinen Strukturen und immensen Energiedichte auch weiter steigt. Führende Firmen wie Intel und AMD gehen von einem Ende des Moore'schen Gesetzes um 2023 aus (Peckham, M. 2012).

Fluidik-Kühlung: Ein wesentliches Element für die weitere Leistungssteigerung ist die noch weitere Verbesserung der integrierten Kühlung. Die Fluidik-Kühlung auf Chipebene ist kein neues Konzept, wie der SuperMUC von IBM am Leibniz-Rechenzentrum in München zeigt (Ball, P. 2012). Sie hat erhebliches Potenzial bei leistungsstarken Prozessoren, die beispielsweise in Servern und Telekommunikationstechnik zum Einsatz kommen. Fluidik-Kühlungen haben auch ein hohes Potenzial zur direkten Abwärmenutzung. Die Fluidik-basierte Abführung von Wärme von den halbleiterbasierten Prozessoren und der Transport zu einem direkten Abnehmer ist für große Rechenzentren ein durchaus interessantes Szenario. Hier geht es um eine energetische Optimierung auf einer erweiterten Systemebene. Gerade diese Ansätze werden von der Europäischen Ökodesign-Richtlinie immer stärker gefordert.

Speichertechnologien: Die kontinuierliche Miniaturisierung der Integrierten Schaltkreise (monolithische Integration) wird seit längerer Zeit durch eine systemische Integration, d.h. den Aufbau von planaren bzw. auch gestapelten Multichip-Modulen ergänzt. Diese sogenannte Heterosystem-Integration ermöglicht sehr hohe Rechen- und Speicherleistung auf kleinem Raum und damit auch eine noch höhere funktionale Integration. Ein Beispiel ist die Entwicklung von halbleiterbasierten Flash-Speichern und Solid-State-Drive (SSD) Festspeichern. Diese SSDs kommen ohne mechanische Bauteile aus, sind damit kompakter und auch schneller im Vergleich zu konventionellen Hard-Disk-Drives (HDD). Aufgrund dieser Eigenschaften, insbesondere der fehlenden Mechanik, sind SSDs noch energieeffizienter als HDD. Die vergleichsweise hohen Kosten für SSDs und Flash nehmen ab. Grund hierfür sind immer effektivere Prozesse der Halbleiterindustrie. Größere Wafer (300 mm und 450 mm) und Wafer-level Packaging sind ökonomischer, erfordern jedoch hohe initiale Investitionen in entsprechende Fertigungsanlagen. Langfristig können insbesondere auch nichtflüchtige Speichertechnologien, welche höhere Geschwindigkeiten erreichen, eine Brücke schlagen zu heutigen flüchtigen DRAM-Arbeitsspeicher. Durch diese Technologie entstehen ganz neue Möglichkeiten für das Energiemanagement von Computern, da fast verzugsfrei ein- und ausgeschaltet werden kann.

Memristor: Der Memristor ist eine weitere Technologie mit erheblichen Potenzialen. Memristoren sind ein Hybrid von Memory und Transistor und stellen neben Widerständen, Kondensatoren und Induktivitäten ein weiteres grundlegendes Elektronikbauteil dar. Memristoren verbinden Elektronen mit Ionen bzw. elektrisch geladenen Atomen. Memristoren ermöglichen nicht nur nichtflüchtige Speicher sondern auch die Abkehr vom binären Code. Im Gegensatz zu Transistoren bieten Memristoren die Möglichkeit mehr als zwei Zustände einzunehmen. Allerdings stellt die Kontrolle dieser Zustände heute noch große Herausforderung dar. Com-

puterhersteller wie Hewlett Packard stellen Produkte auf Basis dieser Technologien bereits ab 2020 in Aussicht (HP 2014).

Silicon-Photonics: Die funktionale Integration auf Chipebene ermöglicht enorme Rechenkapazitäten, welche ebenso schnell zwischen den aktiven Komponenten und über die Leiterplatte transportiert werden müssen. Die Realisierung optischer Schnittstellen und Leitungen auf Chip- und Leiterplattenebene bieten die Möglichkeit einer deutlichen Steigerung der Input-Output-Performanz bei gleichzeitiger Verkleinerung des Formfaktors und der thermischen Belastung. Sogenannte Silicon-Photonics Technologien verfügen über ein enormes Potenzial zur direkten und indirekten (Kühlung) Energieeinsparung über die gesamte Kommunikationsstrecke beginnend bei der Hauptprozessoreinheit eines Servers über die Leiterplatte ins lokale Computernetzwerk, über ein Modem in das Weitverkehrsstelekommunikationsnetz bis hin zu einem Endkunden-Computer.¹¹ Weiter in der Zukunft liegen durchgängig optische Computer- und Telekommunikationsnetzwerke. Sie können langfristig noch einen erheblichen Anteil zur Senkung des Energiebedarfs leisten, da die Signale z.B. bei Verteilung (Switch/Router) zur Bearbeitung nicht mehr elektrisch-optisch bzw. wieder zurück gewandelt werden müssen. Die Vermeidung dieser Signalwandlung wird als substanziell für die Steigerung der Energieeffizienz eingeschätzt.

Display-Technologie: Eine der bedeutsamsten Technologien im Kontext der Energieeffizienz von IKT ist die Leuchtdioden-Technik (LED) zur Rückbeleuchtung von Liquid Crystal Displays (LCD). Im Bereich der Fernseher und Monitore hat die Umstellung auf diese Technologie zu einer substanziellen Reduktion der elektrischen Leistungsaufnahme geführt, sodass heute auch großflächige Bildschirme mit einem moderaten Energiebedarf realisiert werden können. Bildschirme auf Basis von organischen Leuchtdioden (OLED) haben im Vergleich zu LED-LCD Bildschirmen je nach Einstellung und Bildinhalt einen manchmal höheren oder niedrigeren Energiebedarf, da die elektrische Leistungsaufnahme maßgeblich durch die Helligkeit bestimmt wird.

Mobile Endgeräte: Die Entwicklung von batteriebetriebenen Endgeräten wie Notebooks und Smartphones, welche mit einer Batterieladung relativ lang nutzbar sind und gleichzeitig performant genug, um Funktionen konventioneller Computer zu erfüllen, beschleunigte in der unmittelbaren Vergangenheit nicht nur die Entwicklung energiesparender Technologien, sondern wird zu einer teilweisen Substitution konventioneller Desktop PCs und damit in der Breite zu einer signifikanten Energieeinsparung beitragen. Mobile Endgeräte haben die Entwicklung von Energiesparmechanismen (Power Management) und Technologien gefördert, die heute in den meisten IKT-Produkten zum Einsatz kommen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in den letzten zehn Jahren die technische Basis für hoch energieeffiziente IKT geschaffen wurde und mit der fortschreitenden Entwicklung hochintegrierter Komponenten, individualisierter Produktkonfiguration und einem lastadaptiven Energiemanagement auch in Zukunft weitere Effizienzgewinne möglich sind.

Breitbandtelekommunikation: Durch den zunehmenden Bedarf an Bandbreite im Zuge der Internetnutzung und Umstellung auf IP-basiertes Telefonieren und Fernsehen wird in den kommenden Jahren eine Vielzahl alter Telekommunikationssysteme stufenweise abgebaut. Ein Beispiel hierfür ist der aktuell bis 2018 geplante Rückbau des alten Telefonnetzes (PSTN, ISDN) und deren entsprechenden Vermittlungs- und Übertragungstechnik (SDH, ATM). Allein durch diese Maßnahme wird der elektrische Energiebedarf der Telekommunikationstechnik in Deutschland kurzfristig um etwa eine TWh pro Jahr gesenkt werden.

¹¹ Siehe u.a. EU Projekt Phox Trot: <http://www.phox Trot.eu/> [Stand: 27.07.2015]

Auch ein mittelfristiger Rückbau der 2G Mobilfunk (GSM) würde ein erhebliches Energieeinsparpotenzial bieten, da nur ein Bruchteil der Datenkommunikation im Mobilfunk über diese Technologie abgewickelt wird. Anfang Oktober 2015 kündigte die Swisscom doch recht überraschend konsequent an, ab Ende 2020 die GSM Technologie nicht mehr zu unterstützen, um genügend Frequenzen und Kapazitäten für zukünftige Kundenbedürfnisse bei der Telefonie und Datenkommunikation zu erhalten. Wörtlich heißt es in einer Pressemitteilung: Auf dem 2G-Netz läuft heute lediglich 0,5 Prozent des mobilen Datenverkehrs, die Technologie belegt aber 30 % der Antennenkapazität. Telefonie und SMS können heute bereits über die leistungsfähigen 3G und 4G/LTE Netze geführt werden, die sogar Sprachqualität in HD Qualität unterstützen. Die Abschaltung in fünf Jahren betrifft Privatkunden mit reinen 2G-fähigen Endgeräten sowie Geschäftskunden mit 2G-Lösungen oder 2G-basierte M2M-Anwendungen. Die Swisscom M2M-Plattform ist ab diesem Herbst voll 4G-fähig (Swisscom 2015). Der vollständige Rückbau von GSM wird in Deutschland bislang noch nicht angestrebt.

Next Generation Networks: Die fünfte Mobilfunkgeneration (5G), d.h. die Nachfolge von LTE, soll etwa ab 2020 an aufgebaut werden. Höchste Datenraten (> 5 Gbps) und Verfügbarkeit (< 5 ms) sind nur ein Ziel der Entwicklung. Die Anzahl der Netzteilnehmer muss ver Hundertfacht werden, damit ein Internet der Dinge mit Milliarden verteilter Terminals Realität werden kann. Das schließt autonom fahrende Fahrzeuge ebenso ein, wie voll vernetzte Maschinen in der Industrie und Landwirtschaft. Hierfür muss die spektrale Effizienz signifikant erhöht, die Netzelemente intelligent und die Architekturen flexibel gestaltet werden können. Mehr Funkfrequenzen und Glasfaserzugänge sind Bedingungen. Einen globalen 5G-Standard gibt es derzeit noch nicht. In Asien, Amerika und Europa wird intensiv an entscheidenden Software- und Hardwarelösungen gearbeitet. Der Sieger in diesem globalen Forschungswettbewerb wird später den Markt bestimmen. Daher ist 5G nicht allein ein Thema der Telekommunikationsindustrie. Bezüglich des Energiebedarfs bzw. des Energieeffizienzpotenzials von 5G gibt es kaum Daten. Sicher wird der elektrische Energiebedarf pro übertragendes Bit auch weiterhin abnehmen, aber der Zuwachs vernetzter Geräte (im zweistelligen Milliardenbereich) bedeutet auch eine Zunahme an netzwerkfähiger Hardware (Cisco VNI 2015). Die Zunahme an Hardware steht energetisch künftigen Effizienzverbesserungen gegenüber.

Mobile Bezahldienste: Mobile Bezahldienste haben sich in Deutschland – wo mehr als die Hälfte der Menschen am liebsten bar bezahlt – noch nicht weit durchgesetzt. Allerdings zeigen Trends, dass die Verbreitung, gerade in der Altersgruppe 14 bis 29 Jahren, stark zunimmt. Laut Bitkom nutzen bereits 10 % der Deutschen (und 20 % der 14- bis 29-Jährigen) mobile Bezahldienste. Am weitesten verbreitet ist dabei die NFC (Near Field Communication) Technologie. Dafür gibt es zurzeit (Stand Juni 2015) etwa 60.000 Akzeptanzstellen (Bitkom 2015a).

Videokompression: Kernthema der Entwicklungen im Bereich der Videokompression ist der Wechsel zu 4k Auflösungen. Videoübertragungen von 4k Dateien bedeuten eine weitere Erhöhung des Internetdatenverkehrs. Dem gegenüber stehen Bemühungen hoch effiziente Codecs zu entwickeln, die die Datenmenge begrenzen sollen. Die wichtigsten Codecs für 4k Auflösungen sind im Moment HEVC und VP9, welche mit unterschiedlichen Strategien für den kommenden Bedarf an 4k Übertragungen in den Markt etabliert werden. Es gibt für verschiedene Anwendungsgebiete eine Reihe technischer Ansätze, die solche Codecs optimieren können, ohne für den Endnutzer sichtbare Qualitätsminderungen zu erzeugen. Dazu zählen unter anderem das intelligente Ausfiltern von nicht wahrnehmbaren Bildanteilen, analog zur MP3 Technologie für Audiodateien, statistische Codierungsoptimierungen, die die

Verschlüsselung auf Basis von Wahrscheinlichkeiten verbessert (prediction layer) und alternative Ansätze wie User-Adaptive Video, bei dem die Bitrate eines Videostreams anhand von Umgebungsvariablen wie der Entfernung des Betrachters vom Bildschirm oder der Raumhelligkeit spontan angepasst wird um den Datenstrom zu minimieren (Ozer, J. 2015). Die Energieeffizienz aktueller Codecs wird in laufender Forschung adressiert und analysiert (LMS 2015). Die hohe Komplexität moderner Codecs wie der HEVC bedeutet eine relativ hohe Rechenlast der Endgeräte, was sich in erhöhtem Energiebedarf ausdrückt. Dem gegenüber stehen die Einsparungen durch die verringerte Menge übertragender Daten durch eine hohe Kompression. Während der verbesserten Videokompression ein grundlegender positiver Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf zugeschrieben wird so sind die genauen Zusammenhänge und Wechselwirkungen in Bezug auf aktuelle Codecs für die 4k Generation des Videostreamings Gegenstand laufender Forschung und können noch nicht abschließend bewertet oder quantifiziert werden.

Neben den regulatorischen und technischen Verbesserungen gibt es allerdings auch gegenläufige Trends, die zur Steigerung des Energiebedarfs beitragen:

Steigender Datenverkehr: Der wahrscheinlich wichtigste Trend hierbei ist die weiterhin rasant steigende Datenmenge in allen IKT-Anwendungsbereichen. Für private Anwendungen wird dies überwiegend durch Streaming-Dienste (Video on Demand) bei gleichzeitig steigenden Auflösungen wie 1080p Full HD und 2160p Ultra HD, aber auch zunehmende Nutzung von Social Media-Plattformen, Cloud-Diensten und Videotelefonie verursacht.¹² Gerade die Einführung legaler Streaming-Dienste wie z.B. Netflix und Amazon Prime hat in letzter Zeit nochmal zu einem Anstieg geführt (Chip 2014). Laut Cisco werden 2019 über 95 % des Video-on-Demand Datenverkehrs von Full HD und Ultra HD Videos verursacht. Hier greifen die wachsende Bandbreitenverfügbarkeit und die verbesserte Bildschirmtechnologie Hand in Hand. Neben Filmen wird auch Musik immer häufiger per streaming abgerufen (Internetradio) - sowohl auf stationären als auch mobilen Geräten (BLM 2013).

Viele mobile Anwendungen für Smartphones und Tablet PCs (Apps) sind Push-Dienste, die Aktualisierungen in kurzen Zeitintervallen beinhalten. Diese Dienste erzeugen im Telekommunikationsnetz einen erheblichen Signalisierungsaufwand, welcher Rechenkapazität zum Beispiel an den Netzübergängen (Gateways) benötigt. Für die Netzbetreiber stellen diese Push-Dienste eine erhebliche Kapazitätsbelastung und einen Energiebedarf dar, der über die Kundenverträge nicht abgedeckt ist (Payload).

Neue Gerätetypen: Die Verbreitung von Tablets und Smartphones führt gleichzeitig zu unterschiedlichen Effekten. Einerseits kommt es zu Konsolidierungseffekten, so dass häufig nur noch ein Gerät wie Smartphone/Tablet unterschiedliche Geräte ersetzt (Pocket-Kamera, MP3-Player, Handy). Gleichzeitig wird die Nutzungszeit von (semi-)stationären Geräten (Desktop PCs, Notebooks) auf mobile Smartphones und Tablet PCs verschoben, was zu weniger Energiebedarf führt. Insgesamt steigt aber die Nutzungsdauer von IT durch Vorhandensein dieser Geräte (Stichwort always online). Gerade auch die steigende mobile Nutzung stellt hohe Anforderungen an die Netze.

Cloud/Externe Dienste: Thin Clients, also minimal konfigurierte Geräte bzw. zum Teil reine Ein-/Ausgabeterminals, die auf die Auslagerung von Rechenleistung in Rechenzentren bauen – werden für den privaten Bereich immer wieder beschrieben, finden aber in der Realität

¹² Der „Visual Networking Index“ von Cisco (Cisco VNI 2015) prognostiziert für Deutschland z.B. einen jährlichen Anstieg des Internettraffics um 18% Die einzelnen Trendaussagen von Cisco sind auch nochmal im Anhang (Kapitel 14.3) aufgeführt.

kaum Anwendung. Hier ist auch in Zukunft, gerade auch durch immer performantere und gleichzeitig kleinere, mobile Geräte, kein Anstieg zu erwarten. Anders sieht es bei der Auslagerung von Speicher in die Cloud aus. Hier sind sowohl im privaten als auch im Business-Bereich steigende Nutzerzahlen und Speichergrößen zu beobachten und auch in Zukunft zu erwarten.

Datensicherheit: Verschlüsselung für Datensicherheit gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dies betrifft das verschlüsselte Speichern von Daten mittels Hard- oder Softwareverschlüsselung als auch die verschlüsselte Kommunikation und Datenübertragung aus Sicherheitsgründen. Für eine sichere Datenübertragung wird eine Information meist in kleinere Segmente zerteilt und diese vervielfacht und über mehrere Kanäle übertragen. Beim Empfänger werden die Einzelteile dann mittels eines Schlüssels wieder zusammengesetzt. In der Realität bedeutet diese einen steigenden Rechenaufwand und Bandbreitenbedarf, um eine schnelle Übertragung zu gewährleisten. In der Umlage bedeutet dies den Einsatz von mehr IKT-Ressourcen und damit auch Energie.

3.3 Prognose für Rechenzentren

Der elektrische Energiebedarf der Rechenzentren einschließlich der Server-, Speicher- und Netzwerktechnik sowie wesentlicher Infrastruktursysteme wird im Jahr 2015 etwa 12 TWh/a betragen und bis zum Jahr 2025 auf ca. 16,4 TWh/a ansteigen. Diese recht lineare Steigerung ist maßgeblich auf eine Erhöhung des Energiebedarfs von Servern, Storage und Netzwerktechnik von 7,1 TWh/a im Jahr 2015 auf 10,9 TWh/a im Jahr 2025 zurückzuführen. Durch den starken Zuwachs der Nachfrage an Rechenleistung in Rechenzentren wird vor allem der Energiebedarf der Server in diesem Zeitraum um über 60 % auf 7,0 TWh ansteigen. Im Speichersegment nimmt der Bedarf an Speicherkapazität besonders stark zu, durch neue Technologien wird der Hardwarezuwachs aber etwas ausgeglichen und der Energiebedarf steigt zwischen 2010 und 2015 um knapp 40 %. Allgemein verbessert sich die Energieeffizienz aller IT- und Infrastruktursysteme. Hierdurch wird der Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren begrenzt. Ein Indikator hierfür ist auch die Verbesserung des Verhältnisses von IT-Energiebedarf zum Gesamtenergiebedarf der Rechenzentren. Der Infrastrukturaufwand verbessert sich von einem Faktor 1,8 im Jahr 2010 auf einen Faktor 1,5 im Jahr 2025.

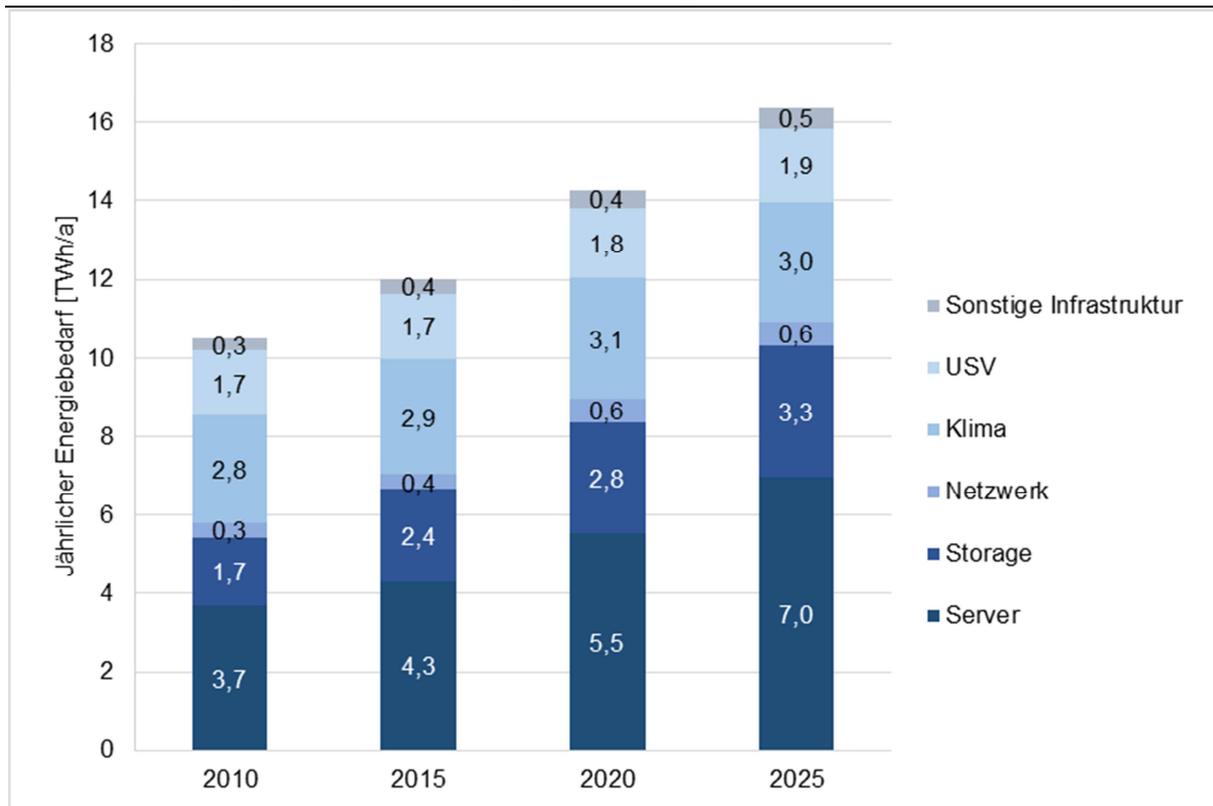


Abbildung 3-4: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Rechenzentren 2010 – 2025 (Basisprognose)

3.4 Prognose für Telekommunikationsnetze

Die Telekommunikationsnetze in Deutschland einschließlich aller Zugangs-, Aggregations- und Kernnetze sowohl des Festnetzes als auch des Mobilfunknetzes benötigen im Jahr 2015 rund 6 TWh/a. Dies ist ein Rückgang von 0,5 TWh/a gegenüber dem Jahr 2010. Ein wichtiger Grund hierfür ist der laufende Rückbau des alten Telefonnetzes (PSTN/ISDN). Mittelfristig wird diese positive Entwicklung jedoch wieder kompensiert, da das festnetz-basierte und mobilfunkbasierte Datenvolumen in den kommenden Jahren stark anwachsen wird (Cisco VNI 2015) und entsprechende Technologien und damit Netzkapazitäten ausgebaut werden. Neben einem anfänglichen Zuwachs der Zugangsnetze, welche insbesondere mit der Anschlussanzahl, dem Beschaltungsgrad der Zugangsmultiplexer und der unterstützten Datenrate skalieren, wird der elektrische Energiebedarf der Aggregations- und Kernnetze längerfristig deutlich steigen. Die Ursache hierfür ist das immer höhere Datenaufkommen, welches die Signalverarbeitung in den Netzknoten stark steigen lässt. Die Basisprognose zeigt langfristig eine Zunahme des Energiebedarfs auf ein Niveau von rund 8,6 TWh im Jahr 2025. Der Mobilfunk wird von rund 1,7 TWh in 2015 auf insgesamt 2,8 TWh in 2025 ansteigen. Dabei wird bereits ein zügiger Ausbau leistungsfähiger Mobilfunknetze (4G und 5G) angenommen. Der Festnetzbereich wird zwar mittelfristig durch den Rückbau alter Technik zunächst entlastet, wächst aber aufgrund der prognostizierten Datenvolumen, maßgeblich bedingt durch Video und TV, von 1,6 TWh in 2015 auf 3,2 TWh in 2025 ebenfalls um über eine Terawattstunde an. In der Prognose wächst auch der Energiebedarf der TV-Kabelnetze auf 2,6 TWh in 2025 an. Hierbei ist anzumerken, dass die Prognose von nur einem moderaten Anstieg der Anschlusszahlen ausgeht. Des Weiteren wird in der Berechnung aller Telekommunikationsnetze bereits von einer fortlaufenden Verbesserung des PUE-Wertes von Faktor 1,7 im Jahr 2010 auf Faktor 1,4 im Jahr 2025 ausgegangen.

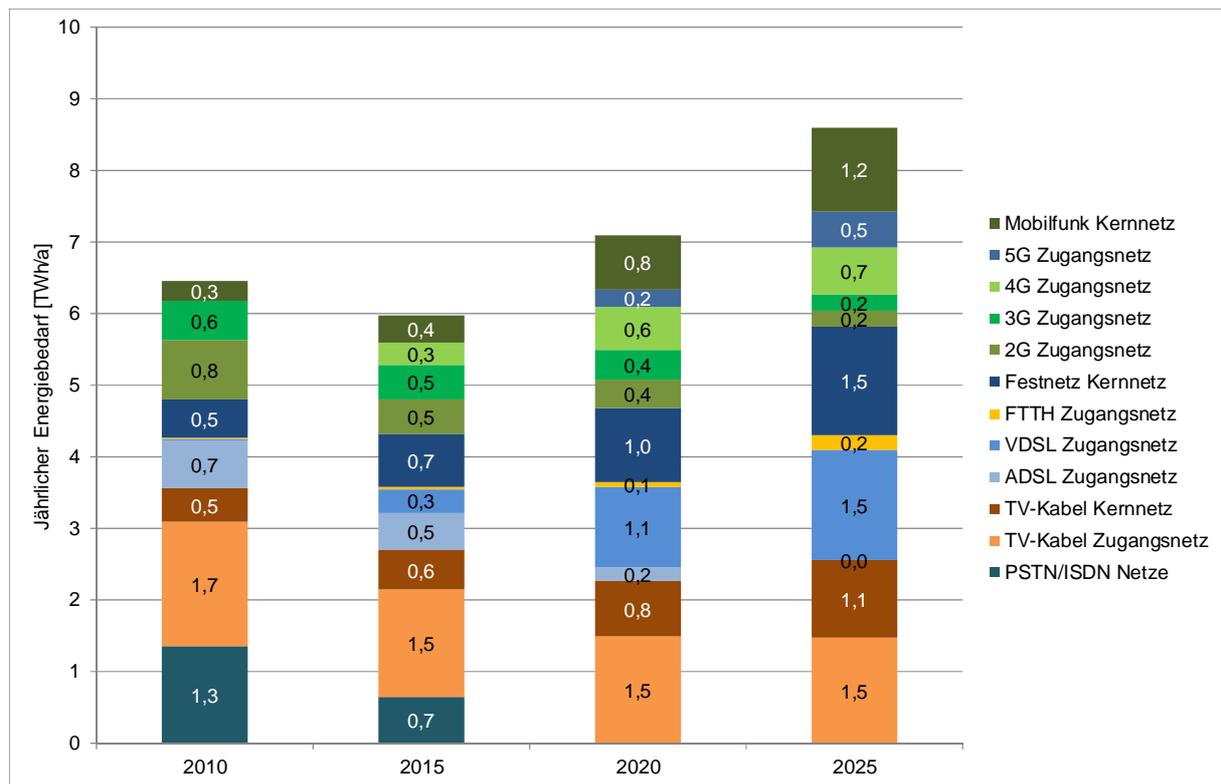


Abbildung 3-5: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Telekommunikation 2010 – 2025 (Basisprognose)

3.5 Prognose für IKT am Arbeitsplatz

Der elektrische Energiebedarf der IKT am Arbeitsplatz wird durch effizientere Technik stark sinken, von knapp 10 TWh/a in 2010 auf unter 6 TWh/a in 2025. Treiber für den sinkenden Energiebedarf sind einerseits die zunehmende Nutzung energieeffizienter Mobilgeräte wie Notebook-PCs anstelle von stationären Desktop-Arbeitsplatzcomputern und andererseits die deutliche Senkung der durchschnittlichen Leistungsaufnahme von Monitoren, Netzwerktechnik und auch Computern. Drucker und Multifunktionsgeräte haben eine nur leicht sinkende Tendenz. Der Bestand an Faxgeräten und Scannern nimmt ab und damit auch deren Energiebedarf. Ein leichter Anstieg ist im Bereich der Telefonie durch den Ausbau der WLAN-Netze in Unternehmen zu erwarten.

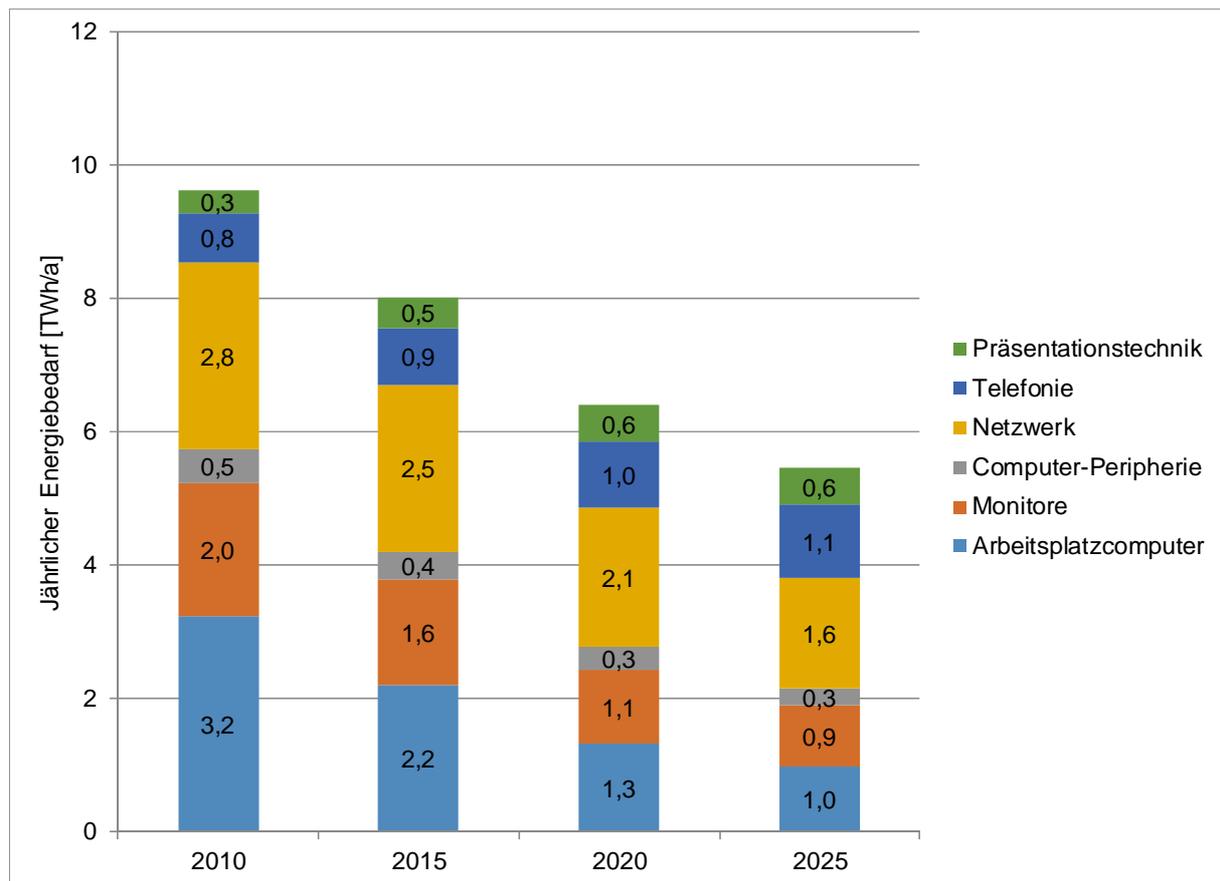


Abbildung 3-6: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Arbeitsplatz 2010 – 2025 (Basisprognose)

3.6 Prognose für IKT in Haushalten

Der elektrische Energiebedarf der IKT in Haushalten nimmt in Summe deutlich ab und sinkt von etwa 29 TWh/a im Jahr 2010 auf rund 13 TWh/a im Jahr 2025. Diese Halbierung des Energiebedarfs der IKT in Haushalten ist hinsichtlich des Gesamtenergiebedarfs der IKT bedeutsam. So entsprach der IKT-Energiebedarf 2010 einem Anteil von 21 % am Gesamtenergiebedarf der Haushalte (Destatis 2014). In den letzten Jahren stagniert der Gesamtenergiebedarf der Haushalte etwa bei 137 TWh/a. Nimmt man diesen Wert ebenfalls für 2015 an, sinkt der Anteil des IKT-Energiebedarfs auf ca. 15 %.

Langfristig, d.h. über das Jahr 2025 hinaus, wird der Energiebedarf der IKT in Haushalten auf einem Niveau von 10 bis 15 TWh/a einschwingen.

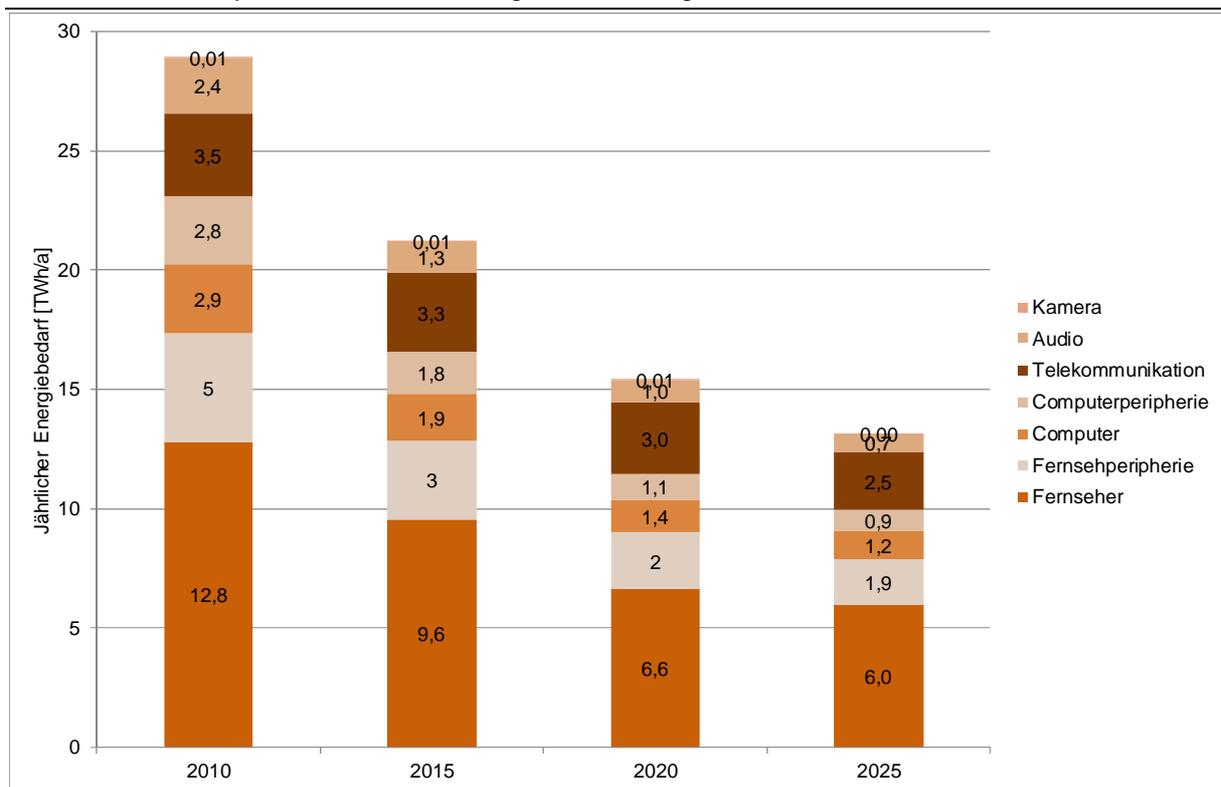


Abbildung 3-7: Jahresenergiebedarf des Bereichs Haushalte 2010 – 2025 (Basisprognose)

Diese starke Abnahme ergibt sich aus einer enormen Verbesserung der Energieeffizienz von Fernsehgeräten, Monitoren und Computern. So halbiert sich der Energiebedarf der Fernseher von 2010 bis 2025 von knapp 13 TWh/ auf 6 TWh/a bei 10 Mio mehr Geräten. Insbesondere bei den Fernsehgeräten wird der technische Fortschritt unter Berücksichtigung der Energieeffizienz anhand der berechneten Ergebnisse sehr deutlich. Diese Entwicklung wird auch durch die Europäische Ökodesign-Richtlinie positiv beeinflusst, da diese u.a. frühzeitig die Standby-Leistungsaufnahme und ein konsequentes Energiemanagement (Power Management) der wichtigsten Endgeräte geregelt hat. Ein weiterer Faktor, welcher den Energiebedarf positiv beeinflusst, ist die schnelle Marktdurchdringung mit leistungsfähigen und energieeffizienten mobilen Endgeräten, die bereits heute viele spezialisierte Geräte ersetzen. Darüber hinaus werden diese mobilen Endgeräte, wie Tablet-PCs und Smartphones, für Anwendungen genutzt, die früher mit energieintensiveren Desktop-PCs durchgeführt wurden.

Prozentual gesehen steigt der Anteil der Telekommunikation am Energiebedarf der IKT in Haushalten (siehe Abbildung 3-8) auch wenn der absolute Energiebedarf von 3,5 TWh im Jahr 2010 auf 2,5 TWh in 2020 sinkt, was durch die sinkende Leistungsaufnahme der DECT-Telefone (geringere Leistungsaufnahme bei kleinerem Bestand) und die technische Optimierung der Router getrieben wird. Gedämpft wird dieser Trend durch den steigenden Energiebedarf der Smartphones (0,02 TWh in 2010 auf 0,2 TWh im Jahr 2020), welche durch den stark wachsenden Bestand, aber auch die größeren Akkukapazitäten verursacht wird.

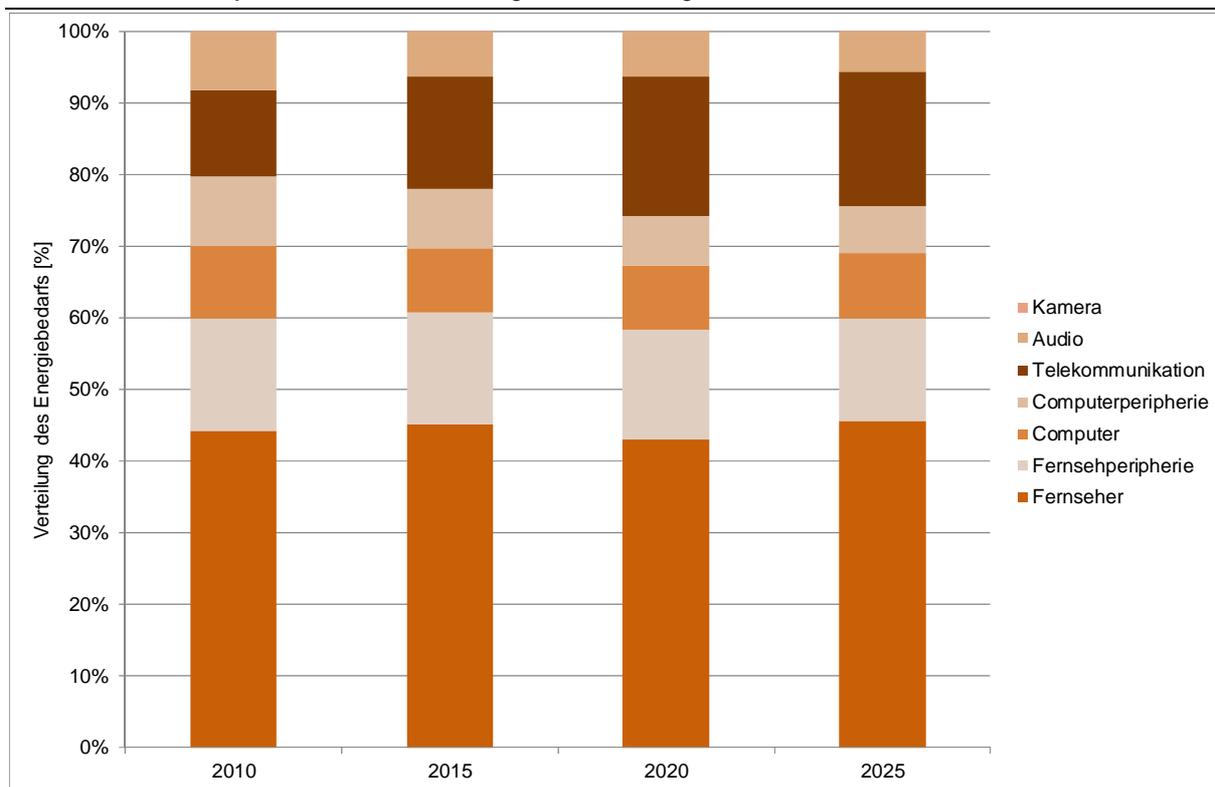


Abbildung 3-8: Prozentuale Verteilung des Jahresenergiebedarfs des Bereichs Haushalte 2010 – 2025 (Basisprognose)

3.7 Prognose für IKT in der Öffentlichkeit

Der elektrische Energiebedarf der IKT in der Öffentlichkeit nimmt zu, ist aber mit einem jährlichen Energiebedarf von 0,5 TWh/a nur bei einem Bruchteil des Energiebedarfs der anderen betrachteten Bereiche wie Telekommunikationsnetze, Rechenzentren und Haushalte.

Auch im Bereich der Öffentlichkeit liegen zwei gegenläufige Effekte vor: wachsende Stückzahlen – besonders im Bereich öffentliches WLAN und Displays – gegenüber einer zunehmend energieeffizienteren Technik. Treiber des wachsenden Energiebedarfs ist das Segment Displays, welche als Anzeigetafeln und Werbeflächen auftritt. Hierbei sind nicht nur der Markt und die Stückzahlen, sondern auch die Größen der verbauten Displays stark wachsend, sodass hier ein steigender Energiebedarf prognostiziert wird.

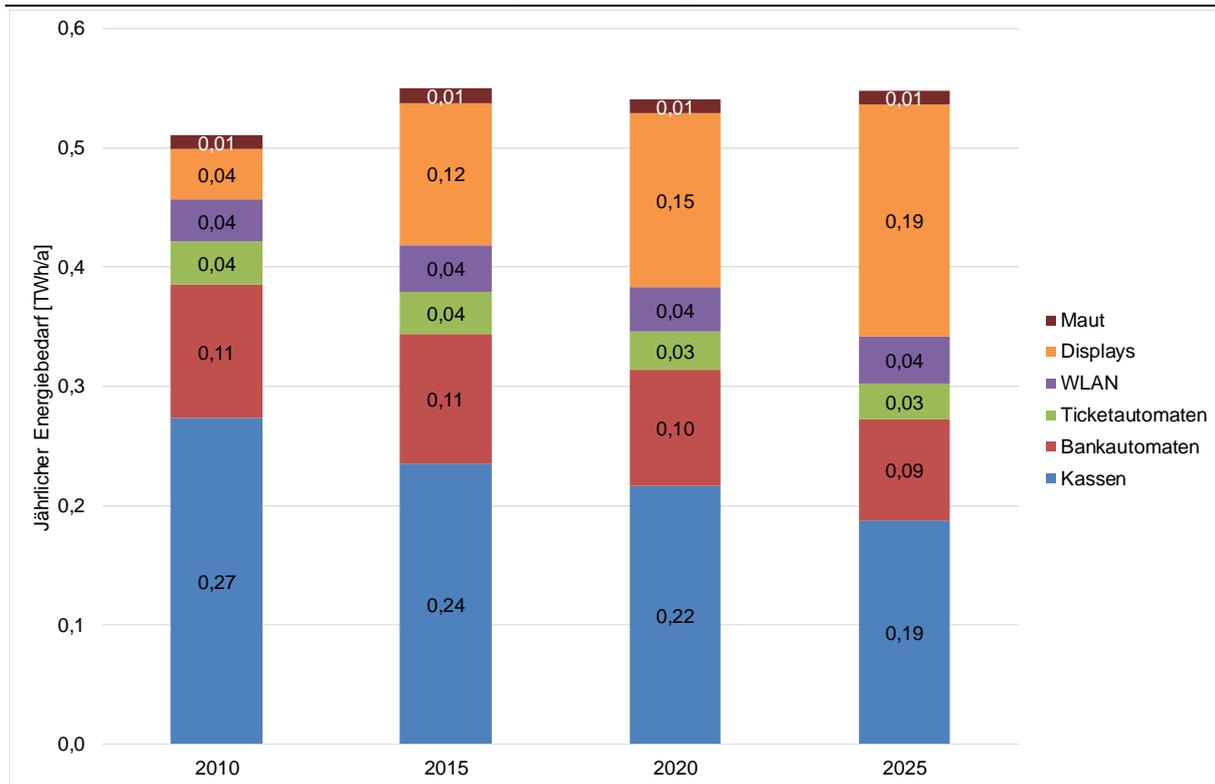


Abbildung 3-9: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Öffentlichkeit 2010 – 2025

3.8 Prognose für IKT in der Gebäudeautomatisierung und -vernetzung

Der elektrische Energiebedarf der IKT in der Gebäudeversorgung ist mit etwa 0,05 TWh/a im Jahr 2015 sehr gering. Erst mittelfristig könnte dieser Energiebedarf intelligenter Zähler, Sensoren und Aktoren auf rund 0,7 TWh/a steigen. Größeren Einfluss hat das Energiemanagement, was mittelfristig auf 1,3 TWh/a steigen kann, so dass der prognostizierte Energiebedarf der IKT-bedingten Gebäudeautomation bei 2 TWh/a für 2025 liegt.

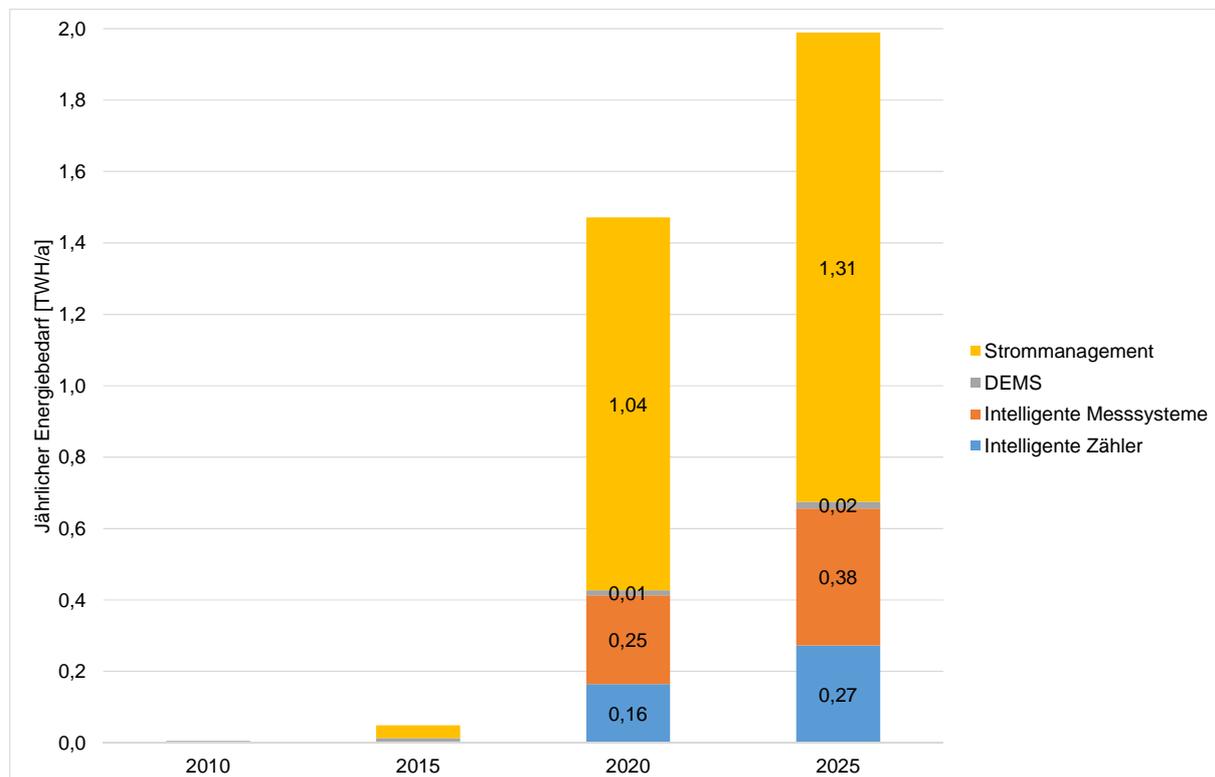


Abbildung 3-10: Elektrischer Jahresenergiebedarf des Bereichs Gebäudeversorgung 2010 – 2025

Die Prognosen für den Bereich Gebäudeautomation und –vernetzung sind vglsw. unsicher, da die analysierte Technik zum jetzigen Zeitpunkt fast nicht verbaut ist. Am relevantesten für den Energiebedarf wird der Bereich des Energiemanagements gesehen.

Im optimalen Fall kann das Energiemanagement als zusätzlicher Dienst über eine bereits bestehende Infrastruktur aus Smart Metern, Smart Meter Gateways oder eine anderen bestehenden Plattform erfolgen. Dies ist technisch möglich und hätte keinen signifikanten zusätzlichen Energiebedarf zur Folge, da die Energiebedarfe der existierenden Geräte bereits auf andere Dienste allokiert werden. Für die hier vorliegende Prognose wird allerdings der weniger optimale Fall angenommen, dass eine eigene Plattform, z.B. die eines Energieversorgers oder Aggregators zur Vernetzung der Geräte und dem Betrieb der Abrechnungsdienste im Haushalt installiert wird. Der Mehrbedarf an Energie hängt in diesem Fall von der Art der genutzten Plattform, ihrer Nutzung und der Anzahl der insgesamt in den Haushalten installierten Systeme ab. Nach derzeitigem Erkenntnisstand kann die Anzahl der Systeme, sollen diese auch Funktionen des Lastmanagements übernehmen und variable bzw. dynamische Tarife nutzen, die der Smart Meter bzw. Smart Meter Gateways nicht überschreiten, da diese eine notwendige Voraussetzung für die Übermittlung der entsprechenden Preis- oder Tarifsignale sind.

Darüber hinausgehende Energiebedarfe könnten im Fall eines verstärkten Ausbaus von Energiemanagementsystemen entstehen, die deutlich über die in der Roadmap des BMWi prognostizierten Zahlen zu Smart Metern und Smart Meter Gateways hinausgehen. In Verbindung mit variablen Stromtarifen könnte sich ein eigener Markt für Strom- und Lastmanagementsysteme entwickeln. Treibende Faktoren hierfür könnten, neben variablen bzw. dynamischen Stromtarifen, z.B. die verstärkte Eigenstromnutzung aus hauseigenen Energieerzeugungsanlagen (z.B. Blockheizkraftwerke oder Photovoltaikanlagen) oder die Speicherung von Strom in hauseigenen Senken (z.B. Batterien, Elektromobilen oder Warmwasserspeichern) sein. Der daraus resultierende Energiemehrbedarf für die Steuerung und Wandlung der Energieformen würde deutlich über den hier prognostizierten Zahlen liegen, müsste jedoch gegen die erzielbaren Einsparungs- und Verlagerungseffekte aufgewogen werden.

4 Alternative Entwicklungsszenarien

Im Folgenden werden die Auswirkungen möglicher alternativer Entwicklungsszenarien für die Prognose (2020 und 2025) der einzelnen IKT-Bereiche beschrieben. Die detaillierte Beschreibung aller zugrunde liegenden Annahmen findet sich in Kapitel 12.

Es werden jeweils sogenannte grüne (geringerer Energiebedarf) und graue Szenarien (höher Energiebedarf) beschrieben und ins Verhältnis zur Basisprognose gesetzt. Dabei wird für jeden IKT-Bereich der mögliche „Korridor“ der Entwicklung aufgezeigt im Sinne einer grünen, realistischen und grauen Prognose.

Eine Aufsummierung der minimalen und maximalen Entwicklungen über die einzelnen IKT-Bereiche (Telekommunikation, Rechenzentren, etc.) findet nicht statt, da der Schwerpunkt der alternativen Entwicklungsszenarien auf der Darstellung der Effekte und Einflüsse einzelner Trends liegt als Abweichung von der als am wahrscheinlichsten erachteten Basisprognose.

4.1 Szenarien Rechenzentrum

Für den Bereich Rechenzentren werden für die vier Teilbereiche Server, Speicher, Netzwerk und Infrastruktur jeweils eine grüne Prognose und eine graue Prognose abgegeben, so dass sich insgesamt acht Entwicklungsvarianten ergeben. Diese Entwicklungsvarianten beschränken sich auf die technischen Entwicklungen im Bereich Rechenzentren bzw. die Durchsetzung von Technologien und technischen Konzepten. Von größerer Bedeutung für die tatsächliche Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Deutschland wird voraussichtlich die Entwicklung der Standortfaktoren für Rechenzentren sein. Aktuell wächst der Rechenzentrumsmarkt in Deutschland deutlich – insbesondere durch die Anforderung von Rechenzentrumskunden, die Daten in Deutschland zu behalten (siehe Abschnitt 6.1). Inwieweit sich dieser Trend auch in Zukunft fortsetzt, ist aus aktueller Sicht nicht zu prognostizieren. Ein verstärktes Zurückgreifen der Rechenzentrumskunden auf Cloud-Dienste, die aus dem Ausland angeboten werden und z.B. durch effektive Verschlüsselung abgesichert sind, könnte auch dazu führen, dass sich die Zahl und die Kapazitäten der in Deutschland vorhandenen Rechenzentren verringert. Dies hätte dann einen geringeren Energiebedarf in Deutschland zu Folge. Allerdings würde dadurch der Energiebedarf in den Rechenzentren außerhalb Deutschlands erhöht. Der Nettoeffekt ist schwer abzuschätzen und abhängig von der Effizienz der Cloud-Rechenzentren im Ausland.

Der IKT-Bereich Rechenzentren zeichnet sich dadurch aus, dass die Einzelbereiche Server, Speicher, Netzwerk und Infrastruktur ein gemeinsames System bilden, das nur im Zusammenspiel aller Bereiche funktioniert. Die vorliegende Untersuchung trennt aus analytischen Gründen diese Einzelbereiche, um die Entwicklung des Energiebedarfs im Detail zu erfassen. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass Server, Speicher und Netzwerktechnik sich abhängig voneinander entwickeln und auch der Energiebedarf der Infrastruktur direkt abhängig davon ist, wie sich der Energiebedarf des IKT-Equipments entwickelt. Zudem kann z.B. eine hohe Dynamik im zeitlichen Verlauf des Energiebedarfs, die durch eine verbesserte Lastadaptivität des IKT-Equipments erreicht wird, zu einer Verschlechterung der Effizienz der Infrastruktur führen, wenn diese nicht gleichzeitig auch lastadaptiver wird.

Im Folgenden sind die einzelnen grünen und grauen Entwicklungsvarianten für Server, Speicher, Netzwerk und Infrastruktur im Überblick dargestellt. Die Prognosen stellen realisierbare

Entwicklungsmöglichkeiten dar, die derzeit tendenziell wahrscheinlich sind, und grenzen einen realistischen Korridor der zukünftigen Entwicklung ein.

Abbildung 4-1 zeigt die Basisprognose im Vergleich zu den beiden alternativen Entwicklungsszenarien.

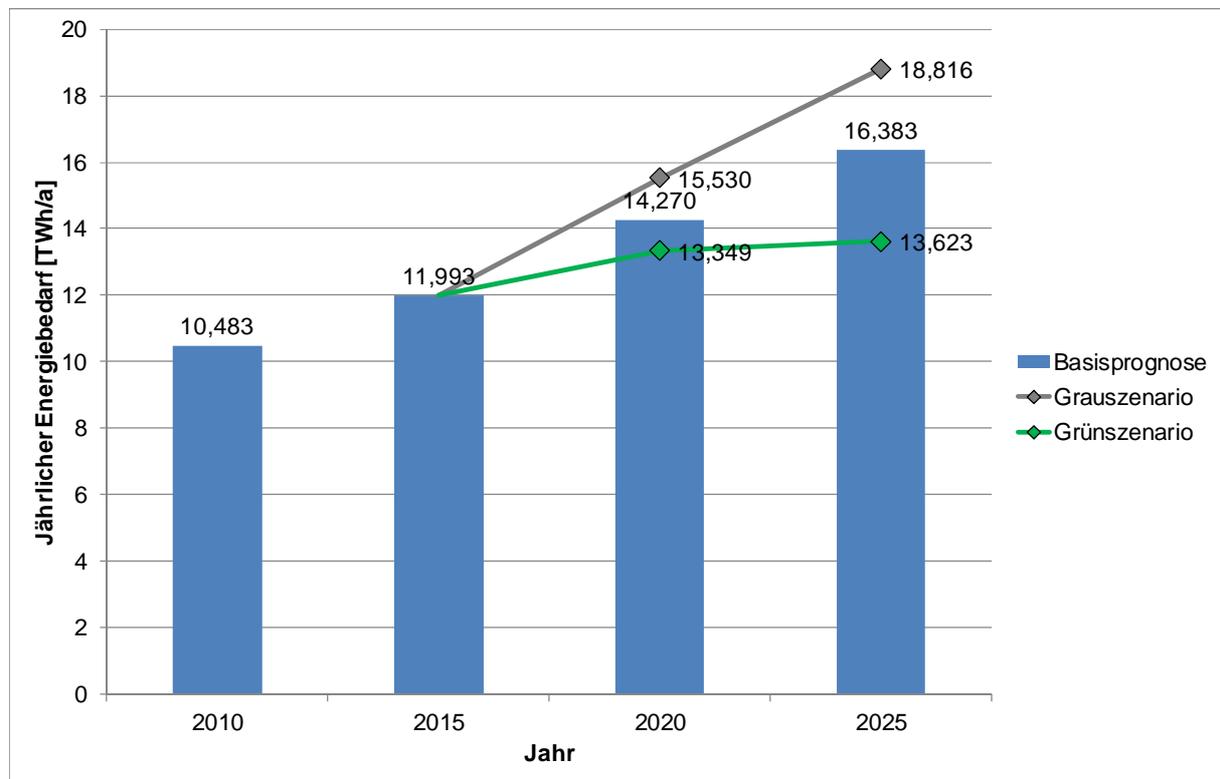


Abbildung 4-1: Vergleich der Basisprognose mit alternativen Entwicklungsszenarien für den Bereich der Rechenzentren

Grüne Entwicklungsvarianten:

- R1 Grüne Prognose Server
 - Auslastung steigt (vor allem durch Virtualisierung) noch stärker an, die mittlere Auslastung steigt bei Volumen-Servern im Jahr 2025 statt auf 50 % auf 60 % an. Dadurch kann 17 % der Serverhardware bei Volumen-Servern eingespart werden.
 - Durch zunehmende Virtualisierung und Konzepte zum Lastmanagement können die Server in Phasen, in denen sie nicht genutzt werden, heruntergefahren oder in einen energiesparenden Stand-by-Modus versetzt werden. Hierdurch reduziert sich der Energiebedarf der Server in den Phasen ohne Last, im Jahr 2025 im Durchschnitt um 30 %.
- R2 Grüne Prognose Speicher
 - Verstärkter Einsatz von SSD-Festplatten (auf 60 % der Verkäufe im Jahr 2025, statt auf 43 %)
 - Verbesserte Auslastung der Festplatten um ca. 10 % im Jahr 2025, verstärkter Einsatz von Deduplizierung und Komprimierung - dadurch verringerte Anzahl von Festplatten und Controllern (Verkaufszahlen – 20 % im Jahr 2025)
- R3 Grüne Prognose Netzwerk
 - Entsprechend der Verringerung der Anzahl der Server und der Speichersysteme auch eine Verringerung der Netzwerkhardware
 - Beschleunigte Verbreitung Green Ethernet Standard – dadurch Absenkung der Energiebedarfe pro Port um 20 % im Jahr 2025

- R4 Grüne Prognose Infrastruktur
 - Beschleunigter Ersatz alter Infrastruktur – Absenkung der durchschnittlichen Nutzungsdauer um drei Jahre
 - Verringerung des Anteils schlecht ausgelasteter USVen – statt 30 % im Jahr 2025 nur noch 15 %

Graue Entwicklungsvarianten:

- R5 Graue Prognose Server
 - Auslastung steigt weniger stark an, die mittlere Auslastung steigt bei Volumen-Servern im Jahr 2025 statt auf 50 % nur auf 40 % an. Dadurch wird 20 % mehr Serverhardware bei Volumen-Servern benötigt.
- R6 Graue Prognose Speicher
 - Weniger starker Einsatz von SSD-Festplatten (auf 30 % der Verkäufe im Jahr 2025, statt auf 43 %)
 - Niedrigere Auslastung der Festplatten um ca. 10 % im Jahr 2025, weniger Einsatz von Deduplizierung und Komprimierung - dadurch größere Anzahl von Festplatten und Controllern (Verkaufszahlen + 20 % im Jahr 2025)
- R7 Graue Prognose Netzwerk
 - Entsprechend der Erhöhung der Anzahl der Server und der Speichersysteme auch eine Erhöhung der Netzwerkhardwareelemente
 - Weniger schnelle Verbesserung der Energieeffizienz pro Port – dadurch Erhöhung der Energiebedarfe pro Port um 20 % im Jahr 2025
- R8 Graue Prognose Infrastruktur
 - Verlangsamter Ersatz alter Infrastruktur – Erhöhung der durchschnittlichen Nutzungsdauer um 3 Jahre

In Abbildung 4-1: Vergleich der Basisprognose mit alternativen Entwicklungsszenarien für den Bereich der Rechenzentren ist die Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren im Grünen Szenario und im Grauen Szenario im Vergleich zur Basisprognose dargestellt. Unter der Annahme, dass die grünen Entwicklungsvarianten R1, R2, R3 und R4 eintreten (Grünes Szenario) steigt der Energiebedarf der Rechenzentren im Vergleich zum Jahr 2015 weiter an, allerdings nur in einem verhältnismäßig geringen Umfang (+14 % bis 2025).

Im Vergleich zur Basisprognose ergibt sich im Grünen Szenario für das Jahr 2025 ein um 2,8 TWh geringerer Energiebedarf. Im Jahr 2020 wäre der Energiebedarf ca. 1 TWh geringer als bei der Basisprognose. Die anteilig größten Einsparungen würden bei Servern, also beim Eintreten der Prognose R1 erreicht. Würden nur sie eintreten, so ergäbe sich daraus allein ein um 1,3 TWh verringerter Energiebedarf im Jahr 2025. Träte nur die Prognose R2 ein, so würde sich der Energiebedarf im Jahr 2025 um 0,7 TWh verringern. Bei Prognose R3 lägen die Einsparungen bei weniger als 0,1 TWh und bei Prognose R4 bei 0,5 TWh.

Treten die grauen Entwicklungsvarianten R5, R6, R7 und R8 ein, so erhöht sich der Energiebedarf der Rechenzentren im Jahr 2025 im Vergleich zur Basisprognose um 2,4 TWh. Im Jahr 2020 läge der Energiebedarf im Grauen Szenario um 1,3 TWh höher als in der Basisprognose. Anteilig hätte die graue Prognose im Bereich der Server die stärkste Auswirkung. Tritt nur die Prognose R5 ein, würde sich der Energiebedarf der Rechenzentren im Jahr 2025 um 1,3 TWh erhöhen, tritt nur R6 ein, erhöhte sich der Energiebedarf um 0,7 TWh, bei R7 um weniger als 0,1 TWh und bei R8 um 0,2 TWh.

Aus der Entwicklung der Szenarien für Rechenzentren können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Der Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland wird auch bei den grünen Prognosen zur Entwicklung des Technikeinsatzes weiter ansteigen. Die Szenarien

berücksichtigen allerdings nicht mögliche Veränderungen, die sich aus der Entwicklung der Standortfaktoren für Rechenzentren ergeben und dazu führen können, dass mehr oder weniger Rechenzentren in Deutschland betrieben werden.

- Die Prognosen zur durchschnittlichen Auslastung der Server und zum Energiebedarf der Server im IDLE-Betrieb haben die stärksten Auswirkungen auf den Energiebedarf der Rechenzentren. Daraus lässt sich zum einen schließen, dass die Vorhersagequalität der Basisprognose deutlich abhängig davon ist, inwieweit die Annahmen zur durchschnittlichen Auslastung der Systeme zutreffen. Zum anderen können durch Maßnahmen, die eine Erhöhung der Auslastung bewirken und den Energiebedarf im IDLE-Modus der Server verringern, verhältnismäßig hohe Einsparungen erreicht werden.
- Auch durch einen beschleunigten Einsatz von Flashspeicherlösungen in Rechenzentren und Maßnahmen zur verbesserten Auslastung der Speichersysteme können erhebliche Energieeinsparungen erreicht werden.
- Aufgrund des verhältnismäßig geringen Anteils der Netzwerktechnik in Rechenzentren am Energiebedarf gibt es in diesem Segment auch nur geringe Auswirkungen der verschiedenen Prognosen auf den Energiebedarf der Rechenzentren.
- Maßnahmen zum beschleunigten Austausch veralteter Infrastruktur und zur verbesserten Auslastung der vorhandenen Infrastruktursysteme können ebenfalls einen merklichen Beitrag zur Absenkung des Energiebedarfs der Rechenzentren bewirken.

4.2 Szenarien Telekommunikation

Die Entwicklung des Energiebedarfs der Telekommunikationsnetze wird langfristig durch mehrere gegenläufige Faktoren bestimmt. Die Steigerung der Anschlusszahl und des zu transportierenden Datenvolumens könnte den Energiebedarf bei gleichbleibender Technologie und Dimensionierung der Netze grundsätzlich ansteigen lassen. Positiv könnte sich hingegen in allen Netzbereichen eine optimierte Netzarchitektur bzw. Dimensionierung mit einem hohen Beschaltungsgrad der Netzelemente, eine schnelle Modernisierung der Technik und damit die Bereitstellung einer hohen Bandbreite, sowie die Befähigung zum lastadaptiven Betrieb auswirken. Diese prinzipiellen Überlegungen liegen den folgenden zwei Szenarien zugrunde.

Abbildung 4-2 zeigt die Basisprognose im Vergleich zu den beiden alternativen Entwicklungsszenarien.

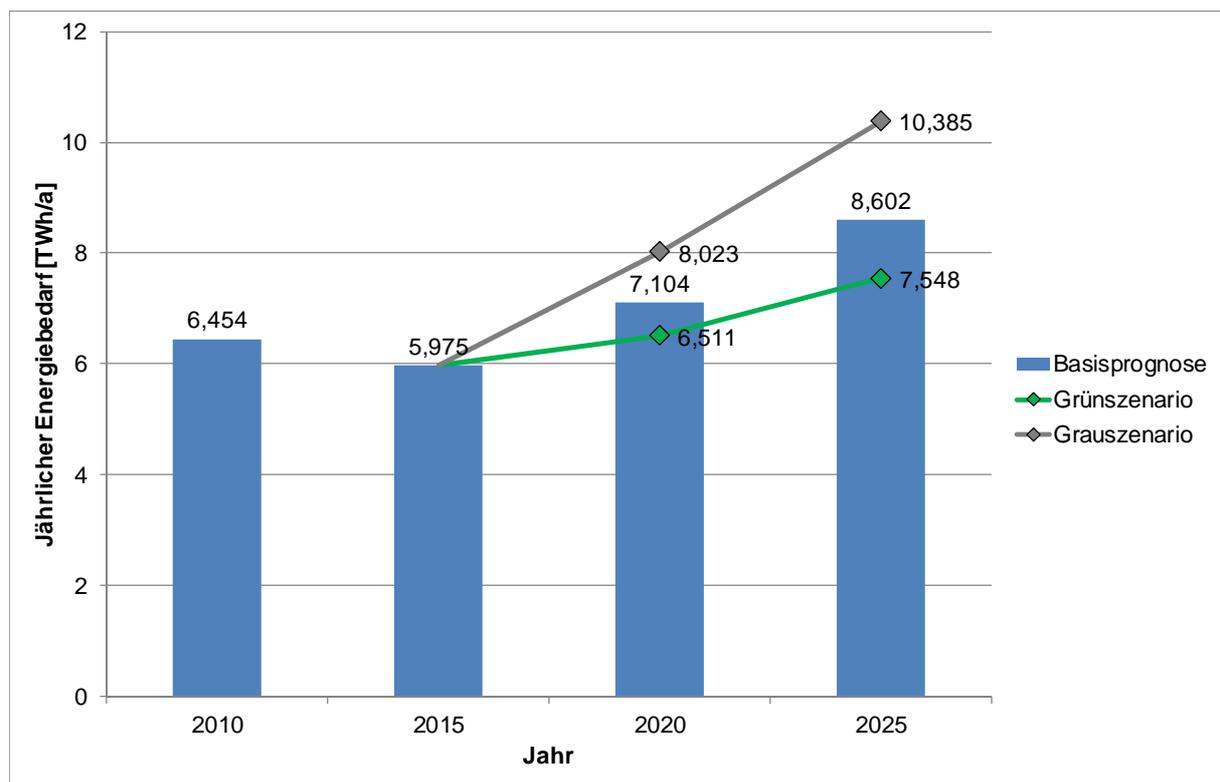


Abbildung 4-2: Vergleich der Basisprognose mit alternativen Entwicklungsszenarien für den Bereich der Telekommunikationsnetze

Grünes Szenario:

In der grünen Prognose wird insbesondere eine Verbesserung der Leistungsaufnahme pro Netzelement angenommen. Dahinter verbirgt sich ein Spektrum potenzieller Verbesserungsmaßnahmen wie die Steigerung des Beschaltungsgrades der Netzelemente, die Verbesserung des Wirkungsgrades der Energieversorgung und ein teilweise lastadaptiver Betrieb insbesondere durch einen Standby-Betrieb oder Low-Power-Mode in den Nachtstunden, wenn gewöhnlich weniger Datenverkehr existiert. Da singuläre Maßnahmen nur zu recht kleinen Energieeinsparungen führen, werden im Fall der Telekommunikationsnetze mehrere Maßnahmen bzw. entsprechende Annahmen in ein „Grünes Szenario“ integriert.

Die Annahmen im Grünen Szenario bewirken eine Energieeinsparung von 0,6 TWh in 2020 und rund 1,1 TWh in 2025 gegenüber der Basisprognose. Diese Energieeinsparung von etwa 12 % in 2025 führt allerdings immer noch zu einem weiterhin ansteigenden Trend des Gesamtenergiebedarfs der Telekommunikationsnetze. Erst gegenüber dem grauen Szenario wird die Größenordnung der durch angemessene Dimensionierung und Energiemanagement erzielten Verbesserung deutlich.

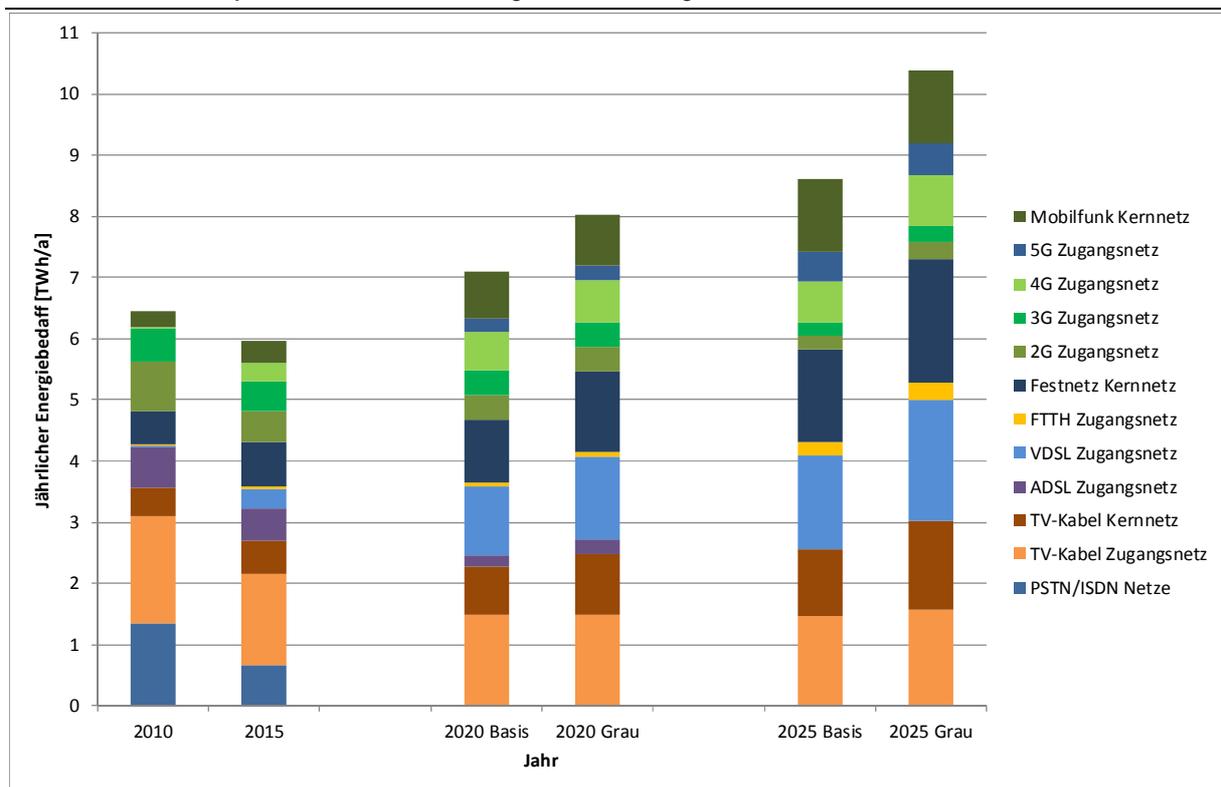


Abbildung 4-3: Energiebedarf der Telekommunikationsnetze im grünen Szenario im Vergleich zur Basisprognose

Graues Szenario:

In der grauen Prognose wird davon ausgegangen, dass sich die Modernisierungsmaßnahmen verzögern und die Netze vor dem Hintergrund des Verkehrsanstieges leicht überdimensioniert ausgebaut werden. Diese Entwicklung wird prinzipiell durch eine Erhöhung der Leistungsaufnahme pro Anschluss abgebildet. Analog zur grünen Prognose werden auch bei der grauen Prognose mehrere Annahmen in ein einzelnes „Graues Szenario“ zusammengefasst.

Im Grauen Szenario kommt es zu einem deutlich forcierten Anstieg des telekommunikationsbedingten Energiebedarfs. Laut dieser grauen Prognose wird der Energiebedarf in 2020 auf 8,0 TWh und in 2025 auf 10,4 TWh deutlich ansteigen. Gegenüber der Basisprognose fällt für das Jahr 2025 der Energiebedarf im Grauen Szenario um fast 21 % höher aus. Der Gesamtenergiebedarf im Grauen Szenario 2025 entspricht einem Zuwachs um 74 % gegenüber der Basisprognose für Jahr 2015. Diese Zahlen verdeutlichen, dass der Telekommunikationssektor hinsichtlich des Themas Energieeffizienz an Bedeutung gewinnt und Maßnahmen ergriffen werden sollten, um die Entwicklung positiv zu beeinflussen. Der Telekommunikationssektor entwickelt sich nicht nur zu einem noch wichtigeren Teilbereich der IKT sondern auch zu einem potenziell immer größeren Verbraucher von elektrischer Energie.

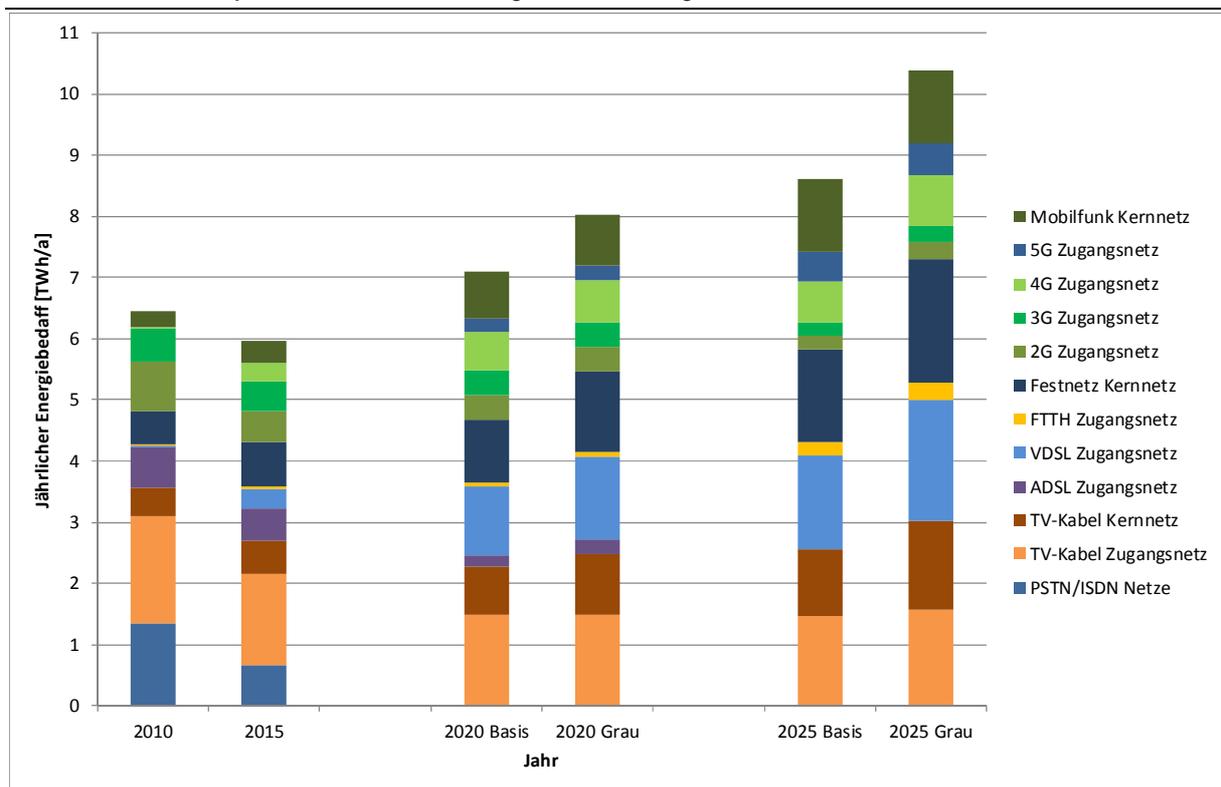


Abbildung 4-4: Energiebedarf der Telekommunikationsnetze im grauen Szenario im Vergleich zur Basisprognose

Aus der Entwicklung der Szenarien für Telekommunikationsnetze können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Das größte Effizienzpotenzial im Bereich der Telekommunikation liegt in der fortlaufenden Technikmodernisierung. Dazu gehört insbesondere der Ausbau von Breitbandtechnologien wie 4. und 5. Generation Mobilfunk, VDSL Vectoring, Glasfaseranschlüssen sowie leistungsfähiger TV-Kabelanschlüssen.
- Damit einher geht der Abbau ineffizienter Alttechnik, welche einen erheblichen Anteil am Energiebedarf ausmacht und gleichzeitig nur einen Bruchteil des Datenverkehrs bewältigt. Neben dem geplanten Rückbau von PSTN/ISDN ist auch im Mobilfunkbereich über einen mittelfristigen Rückbau der 2G (GSM) ein erheblicher Einspareffekt zu erwarten.
- Durch die höhere Leistungsfähigkeit moderner Breitbandtechnologien können Vermittlungsstandorte konsolidiert und damit in Summe Energie eingespart werden.
- Neben der allgemeinen Technikmodernisierung liegt ein großes Potenzial in der individuellen Standortoptimierung. Dazu gehört unter anderem die bedarfsgerechte Dimensionierung der Netztechnik einschließlich eines hohen Beschaltungsgrades.
- Ein wesentlicher Aspekt der Standortoptimierung ist auch die Modernisierung der Stromversorgung und Optimierung des Kühlkonzeptes (PuE). In Deutschland besteht ein hohes Potenzial durch die stärkere Nutzung von freien Kühlungs Optionen sowie eine Erhöhung der Kühltemperatur (ASHRAE A1) Energie zu sparen.
- Aufgrund der Auslegung des Telekommunikationsnetzes auf Spitzenlasten liegt ein weiteres Einsparpotenzial darin, in den Nachtstunden einen Teil der Netztechnik in den Zugangs- und Transportnetzen automatisiert abzuschalten bzw. in einen Niedrigenergiezustand zu versetzen (Lastmanagement).

4.3 Szenarien Arbeitsplatz

Für IKT an Arbeitsplätzen werden sechs Entwicklungsvarianten betrachtet. Zwei grüne Entwicklungsvarianten beleuchten positivere Entwicklungen bei Datennetzen und Telefonen, eines geht von effizienteren Desktop-PCs und eines von der langsameren Verbreitung zusätzlicher Tablet PCs aus. Zwei graue Entwicklungsvarianten fokussieren auf abnehmende Effizienzgewinne aller Geräte und eine stärkere Verbreitung sehr großer Monitore.

Grüne Entwicklungsvarianten:

- A1: Deutliche Förderung der Verbreitung des Energy Efficient Ethernet Standards IEEE 802.3az. Mit Blick auf das Jahr 2020 wird der Aktiv-Mode bei 1 GBit LAN auf 2 Watt, bis 2025 auf 1 Watt sinken.
- A2: Verbreitung energiesparender Technologien im Hinblick auf WLAN-Geräte (Halbierung Aktiv-Mode auf 5 Watt bis 2025) und Telefone (Stopp des Anstiegs bei 4 Watt).
- A3: Höhere Effizienzgewinne innerhalb eines schrumpfenden Bestandes an Desktop-PCs, die Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb fällt von 40 Watt in 2015 linear auf 15 Watt in 2025
- A4: Langsamere Verbreitung zusätzlicher Tablets: In 2025 wird nicht an jedem zweiten, sondern nur an jedem vierten Arbeitsplatz ein zusätzliches Tablet vorhanden sein.

Graue Entwicklungsvarianten:

- A5: Einfrieren der Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme ab 2016 im gesamten Bestand
- A6: Verbreitung der 27“ bis 32“ Monitore auf 30 % des Bestandes bei 150 % der Leistungsaufnahme der 22“ bis 24“ Kategorie.

Insgesamt zeigt sich, dass auf den gesamten Bestand gesehen nur die grünen Entwicklungsvarianten A1 und A2 und die pauschal graue Entwicklungsvariante A5 in relevanten Dimensionen etwas an der Gesamttendenz ändern. Entwicklungsvariante A1 führt im Jahr 2025 zu einer Abnahme gegenüber dem Basisszenario um 0,43 TWh (-7,8 %), Entwicklungsvariante A2 zu einer Abnahme gegenüber dem Basisszenario um 0,41 TWh (-7,5 %) und Entwicklungsvariante A5 zu einer Zunahme um 2,5 TWh (+38,7 %). Grafisch stellen sich die Auswirkungen der Entwicklungsvariante A1 bis A4 (grünes Szenario) sowie A5 und A6 (graues Szenario) wie folgt dar:

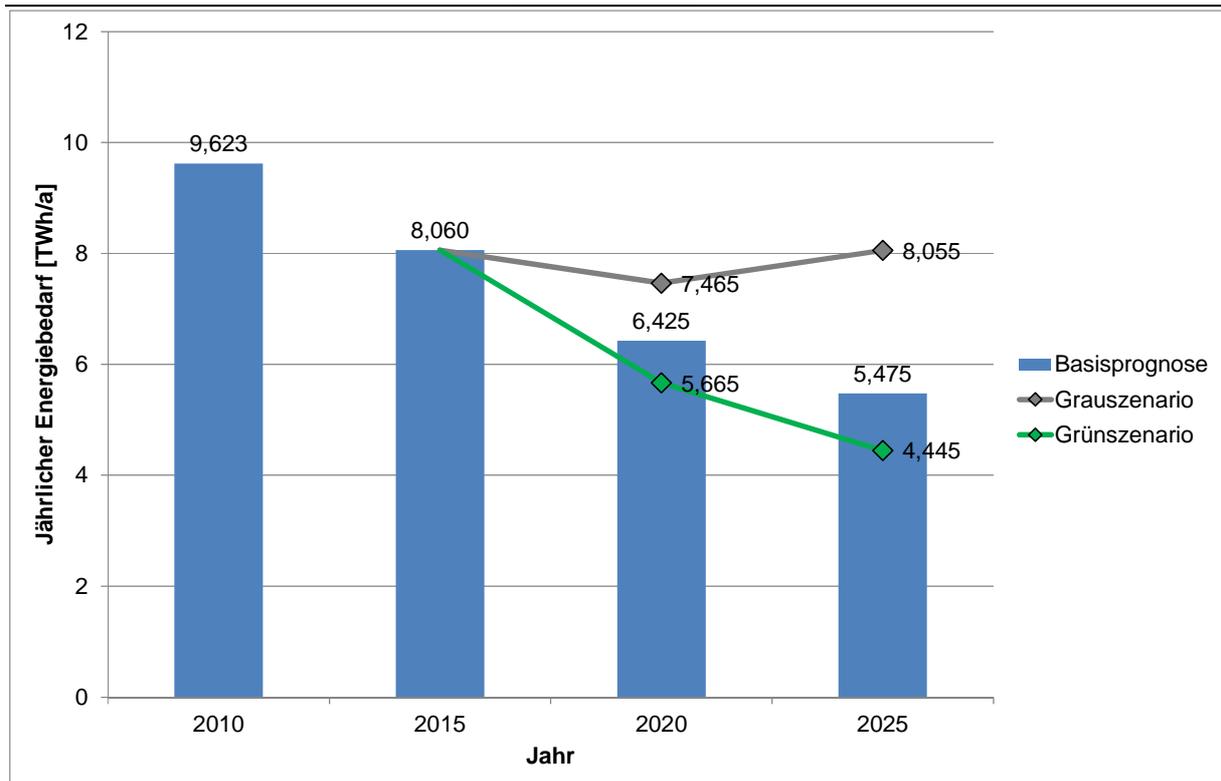


Abbildung 4-5: Auslenkung der Prognose Arbeitsplätze durch grüne und graue Entwicklungsvarianten

Aus der Entwicklung der Szenarien können drei Schlüsse gezogen werden:

- Ob bei Desktop-PCs etwas höhere Effizienzgewinne erzielt werden, sich die Tablets mehr oder weniger stark verbreiten oder etwa noch größere Monitore aufkommen wirkt sich letztlich nicht in relevantem Umfang auf den gesamten Energiebedarf an Arbeitsplätzen aus.
- Eine Förderung der Verbreitung des Energy Efficient Ethernet Standards sowie der Verbreitung energiesparender Technologien mit Blick auf WLAN-Geräte und Telefone ist in Anbetracht des hohen Anteils, den die Netzwerktechnik am Energiebedarf schon hat und noch entwickeln wird von hoher Bedeutung und kann insgesamt bezogen auf 2025 den Energiebedarf der IT am Arbeitsplatz um mehr als 15 % senken.
- Das Einstellen jeglicher effizienz erhöhender Verbesserungen und damit das Einfrieren der elektrischen Leistungsaufnahme der Geräte auf dem Stand von 2015 im gesamten Bestand wirkt sich mit einem Plus von 38,7 % stark erhöhend auf den Energiebedarf aus. Die Dynamik der Entwicklung weiterer mobiler Geräte über Smartphones und Tablets hinaus, z.B. der Wearables, lässt aber auch in Zukunft die Notwendigkeit der Verkleinerung und Effizienzerhöhung erwarten. Die hier erzielten Fortschritte werden sich insoweit auf Effizienzverbesserungen in der Breite der Geräte auswirken, ohne dass hierzu ein regulatives Eingreifen erforderlich wäre.

4.4 Szenarien Haushalte

Für IKT in Haushalten werden sechs Entwicklungsvarianten betrachtet. Im Basisszenario wird bereits eine kontinuierliche Verbesserung der IKT-Endgeräte angenommen, daher wird nur eine zusätzliche grüne Entwicklungsvariante betrachtet, sowie fünf graue Entwicklungsvarianten.

Abbildung 4-6 zeigt die Basisprognose im Vergleich zu den beiden alternativen Entwicklungsszenarien.

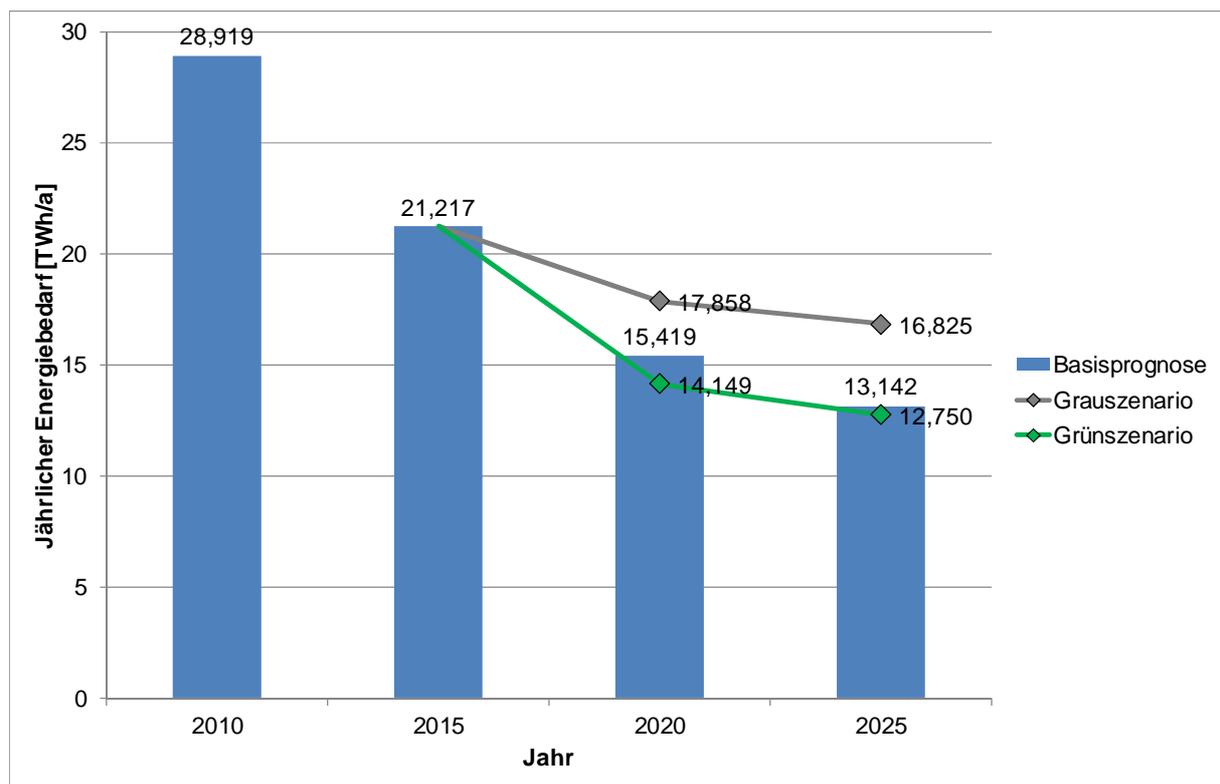


Abbildung 4-6: Vergleich der Basisprognose mit alternativen Entwicklungsszenarien für den Bereich der Haushalte (Grauszenario: Entwicklungsvarianten H3 bis H6, Grünszenario: Entwicklungsvariante H1)

Grüne Entwicklungsvariante:

- H1: Beschleunigte Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme im gesamten Bestand

Graue Entwicklungsvarianten:

- H2: Einfrieren der Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme ab 2016 im gesamten Bestand
- H3: Graues Fernseher-Szenario mit Verschiebung des Absatzes hin zu größeren Displays und intensiverer Nutzung
- H4: Graues Computer-Szenario mit Zuwachs des Absatzes bei Desktop PCs und Monitoren und gleichbleibend hoher Nutzungsdauer
- H5: Graues Set-Top-Boxen-Szenario mit stark steigendem STB-Absatz ab 2016
- H6: Graues Router/Home-Gateway-Szenario mit wachsendem Bestand bis zu einer Durchdringung von 1,3 Geräten pro Haushalt in 2025

Insgesamt zeigt sich, dass auf den gesamten Bestand gesehen sowohl die grüne (H1), als auch die pauschal graue (H2) Entwicklungsvariante wenig an der Gesamttendenz ändern. Die schnellere Durchsetzung effizienterer Technologien führt gegenüber den ohnehin angenommenen Verbesserungen zu einer sehr geringen Abnahme von 0,4 TWh (-3 %) im Jahr 2025 (H1). Ein Einfrieren der elektrischen Leistungsaufnahme auf dem Stand von 2015 (H2) hat hingegen einen Anstieg des Energiebedarfs um 2,6 TWh (+17 %) im Jahr 2025 zur Folge, ist aber bei der momentanen Technikentwicklung nicht zu erwarten. Realistischer ist, dass sich Steigerungen des Energiebedarfs durch andere Bestands- und Nutzungsentwicklungen ergeben könnten.

Diesen Fall adressieren die grauen Entwicklungsvarianten H3 bis H6, die steigende Stückzahlen für Monitore, Desktops, Set-Top-Boxen und Router annehmen sowie eine Verschie-

bung des Fernseherabsatzes hin zu größeren Displays. Addiert man die Effekte der grauen Entwicklungsvarianten H3, H4, H5 und H6 für einzelne Produktgruppen führt dies zu einer Erhöhung der Basisprognose für das Jahr 2025 um 3,7 TWh/a (+28 %). Dabei werden 62 % der Erhöhung durch die Entwicklungsvariante H3 – also der veränderten Prognose bei den Fernsehern – verursacht (Vgl. Abbildung 4-7).

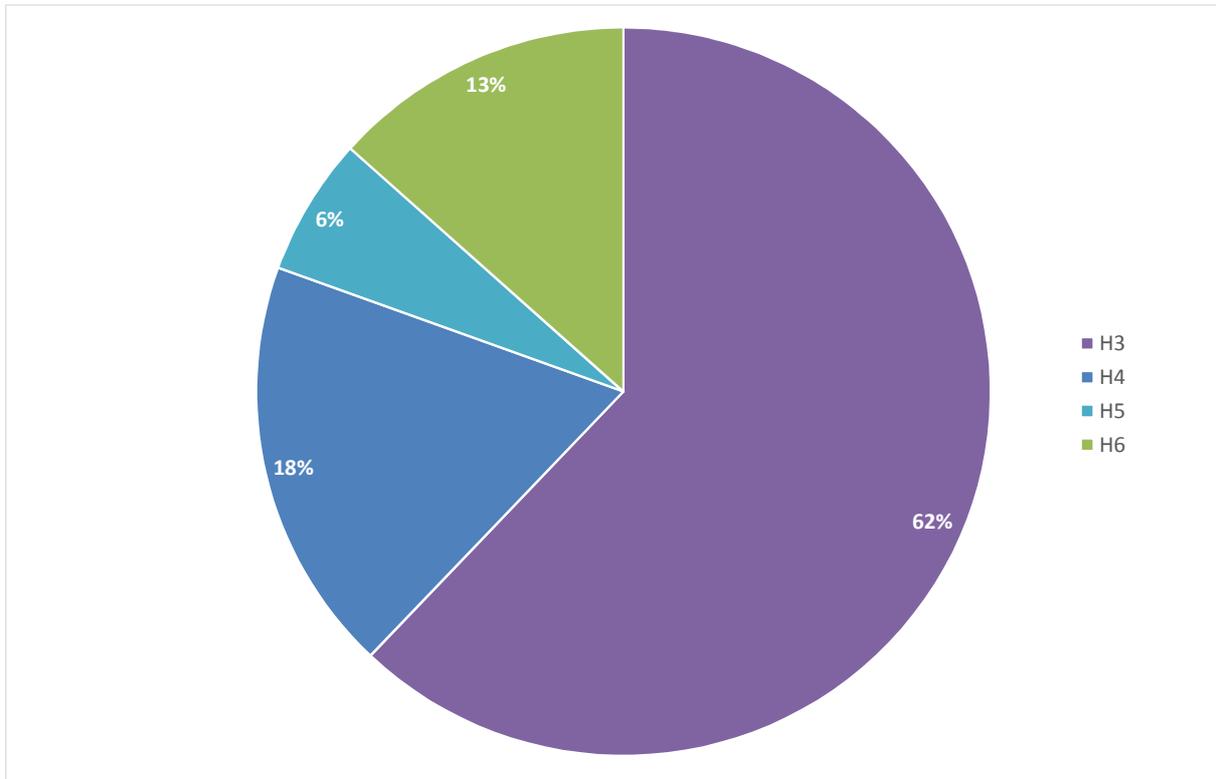


Abbildung 4-7: Anteil der Entwicklungsvarianten H3 bis H6 an der Steigerung des Energiebedarfs 2025 gegenüber der Basisprognose

Aus der Entwicklung der Szenarien im Bereich Haushalte können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Den größten Anteil am Energiebedarf der Haushalte haben in jedem Szenario (Basisprognose, grünes und graues Szenario) die Fernseher. Aufgrund der relativ hohen Stückzahlen genutzter Geräte machen sich auch geringe Veränderungen der Leistungsaufnahme deutlich im Gesamtenergiebedarf bemerkbar. Entscheidenden Einfluss auf den Energiebedarf hat daher die Frage, welche Größenklassen sich zukünftig durchsetzen werden.
- Selbst die Annahme, dass ab 2015 keine weiteren Effizienzgewinne erfolgen würden, führt zu einer Abnahme des Energiebedarfs ggü. 2015. Dies zeigt, dass die Ausmusterung von Altgeräten sich immernoch positiv auf den Gesamtenergiebedarf auswirkt.
- Einsparpotenziale liegen unter anderem in der Optimierung von Geräten, die dauerhaft an sind, da sich durch die durchgehende Nutzung auch kleine Veränderungen in der Leistungsaufnahme oder im Bestand deutlich auswirken. Dazu zählen u.a. Set-Top-Boxen und Router.

Insgesamt ist die Basisprognose bereits möglichst realistisch und stellt durch regulative Verbesserungen (z.B. Standby-Verordnung) bereits ein sehr energieeffizientes Szenario dar. Zudem sind neue mobile Produkte im Normalfall deutlich energiesparender als stationäre Produkte, was zu einer Reduzierung des Gesamtenergiebedarfs führt, wenn diese Produkte sich als vollwertiger Ersatz (und nicht als zusätzliche Produkte) im Markt durchsetzen. Die grauen Entwicklungsvarianten zeigen den Fall, dass bestehende Bemühungen und Prozesse

der Energieoptimierung unterbrochen oder verhindert werden bzw. eine deutliche Erhöhung des Bestandes stattfindet.

Die detaillierten Annahmen zu den Szenarien für Haushalte finden sich in Kapitel 12.4.

5 Handlungsempfehlungen

5.1 Handlungsbedarf

Vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden positiven Entwicklung einiger wesentlicher Bereiche könnte der Eindruck entstehen, dass dem Thema „Energieeffizienz der IKT“ keine weitere Beachtung geschenkt werden müsste und kein Handlungsbedarf besteht. Diese Schlussfolgerung ist aber falsch, wie die Analyse des spezifischen Energiebedarfs der einzelnen Anwendungsbereiche verdeutlicht. Der IKT-bedingte Energiebedarf ist weiterhin substanziell. Er nimmt im Bereich der Rechenzentren und Telekommunikationsnetze in den kommenden Jahren sogar stark zu.

Der Ausbau breitbandiger Kommunikationsnetze einschließlich eines erweiterten Funkspektrums wird zu einem wesentlichen Faktor für ein energieeffizientes Internet der Dinge. Der softwareseitigen Gestaltung eines Internets der Dinge kommt eine besondere Rolle zu. Beispielsweise wirkt sich der oft unbedacht durch Push-Dienste erzeugte hohe Signalisierungsaufwand vieler Mobilfunkapplikationen äußerst negativ auf die Energiesparaktivitäten der Telekommunikationsnetzbetreiber aus.

Auch erweiterte Funktionalitäten von Smartphones und Tablets stehen in enger Wechselwirkung mit unseren Telekommunikationsnetzen und Internet-basierten Diensten. Zur Maximierung der Akkudauer mobiler Endgeräte werden viele rechenintensive Prozesse wie Spracherkennung, Navigationsdienst und Online-Speicher in Rechenzentren ausgelagert. Dies führt zu einer Verschiebung der Rechenlast und damit zu einer Erhöhung des Energiebedarfs in die Rechenzentren, wo die Daten allerdings deutlich energieeffizienter verarbeitet werden können. Gleichzeitig führt diese Verschiebung zu erhöhten Datenverkehr der Mobilfunknetze bzw. einem kontinuierlichen Vorhalten großer Bandbreite. Eine Optimierung sollte daher im Idealfall ganzheitlich auf das Gesamtsystem ausgelegt sein. Ein geeignetes Forum an dem sich alle relevanten Akteure beteiligen ist derzeit nicht gegeben.

Auch bei den Endgeräten, die technisch hoch optimiert sind, kann ein Fehlverhalten der Nutzer zu unnötigen Energieverbräuchen beitragen. Einen Großbildfernseher mit eingeschaltetem Display zum Radiohören zu nutzen, ist nur ein Beispiel, wie der IKT-bedingte Energiebedarf unnötig steigen kann. Aus den Erfolgen der Ökodesign-Richtlinie bei den Endgeräten lernen wir zudem, dass eine umfassende, technische und ökonomische Produktanalyse die Grundlage bildet für die Identifizierung von Verbesserungsoptionen und insbesondere für die Quantifizierung von Energieeffizienzzielen. Eine periodische Überprüfung des technischen Entwicklungsstandes durch die Wissenschaft und der realen Situation im Anwendermarkt durch die Marktaufsicht ist angeraten, um möglichen Fehlentwicklungen frühzeitig entgegensteuern zu können.

Die weitere Förderung des technischen Fortschritts, der Implementierung modernster Technologien, der periodischen Erfassung des Ist-Zustandes, der Trendanalyse, der Schulung künftiger Fachkräfte aber auch des Verbrauchers sind alles Maßnahmen, die im Zusammenhang mit der langfristigen Verbesserung der Energieeffizienz von Bedeutung sind. Die folgenden Handlungsempfehlungen adressieren daher im Grundsatz drei Elemente zur Versteigerung einer energieeffizienten IKT-Nutzung:

- **Effektivität geht vor Effizienz:** Die angemessene Produktauswahl und Systemdimensionierung für eine intendierte Anwendung spart im Ansatz die meiste Energie. Die beste Technologie hilft nicht, wenn sie falsch eingesetzt wird.

- **Messen bedeutet managen:** Die kontinuierliche bzw. periodische Überprüfung des Ist-Zustandes liefert Hinweise zur weiteren Verbesserung. Planungssicherheit wird durch Informationen geschaffen.
- **Interoperabilität und Automatismen schaffen:** Da IKT vernetzt funktioniert, stellt jeder Link (Knoten) einen Flaschenhals dar. Die Realisierung weitgehend nahtloser Übergänge und automatischer Regelmechanismen schafft Energieeffizienz im erweiterten System.

Vor dem Hintergrund dieses Handlungsbedarfes werden an dieser Stelle zunächst einige allgemeine Handlungsempfehlungen gegeben. Nachfolgend werden ergänzend zu den allgemeinen Handlungsempfehlungen weitere, spezifische Handlungsempfehlungen für die einzelnen Anwendungsfelder dargelegt.

5.2 Allgemeine Handlungsempfehlungen

Die allgemeinen Handlungsempfehlungen beinhalten:

1. Die Europäische Ökodesign-Richtlinie und das Energieeffizienzlabel sollten kontinuierlich weiterentwickelt und für neue Produktbereiche angewendet werden. Einen neuen Schwerpunkt bildet die Netzwerktechnik im Heim- und Bürobereich sowie rechenzentrumsbasierte Technik. Ziel sollte die Etablierung lastadaptiver Netzwerke sein, die im System befähigt sind, ein automatisiertes Energiesparmanagement zu unterstützen.
2. Die periodische Überprüfung existierender Regulierungsmaßnahmen sollte mit Marktüberwachungsmaßnahmen gekoppelt werden. Einerseits dient eine solche Maßnahme einer statistischen Absicherung der Bewertung des Ist-Zustandes. Und andererseits kann auf Fehlzustände, wie beispielsweise unpassende Testverfahren etc., besser reagiert werden. Aktuelle Beispiele bei Waschmaschinen und Fernseher zeigen die Notwendigkeit dieser Maßnahme. Auch sollten die Standards für Energie-label sowie die Testprozeduren regelmäßig auf Praxisnähe geprüft werden, damit Uneindeutigkeiten, wie sie momentan hinsichtlich der Fernseher diskutiert werden, weniger auftreten.¹³
3. Verbraucherinformationen müssen aufgrund der schnellen Technikentwicklung regelmäßig angepasst werden. Dies betrifft Informationen sowohl für die private als auch kommerzielle Beschaffung. Oberstes Ziel ist eine anwendungsorientierte Produktausstattung. Eine funktionale bzw. performanzbezogene Überdimensionierung ist zu vermeiden. Individuelle Produktkonfigurationen sowie Aufrüstbarkeit sollten möglich sein.
4. Leitfäden sollten diesbezüglich auch auf funktionale Konvergenz und energieeffiziente Nutzung einzelner Gerätefunktionen eingehen. Beispielsweise sollte der Bildschirm von Fernseher nicht den ganzen Tag zum Radiohören eingeschaltet bleiben. Automatische Energiesparoptionen sollten regelmäßig geprüft und nicht benötigte Daten aus Speichern gelöscht werden. Ungenutzte Anwendungen sollten gerade bei mobilen Geräten deaktiviert werden, da diese ggf. im Hintergrund unnötigen Datenverkehr erzeugen und damit auch Energie benötigen.
5. Im Bereich der universitären Ausbildung und Forschung kommt dem Thema „Grüne Software“ eine immer größere Rolle zu. Die Softwareentwickler müssen auf allen Softwareebenen, vom eingebetteten System über Virtualisierung bis zur Anwendungssoftware, die bestmögliche Energieeinsparung unterstützen. Je nach Anwendungsfeld stellen sich diesbezüglich sehr unterschiedliche Anforderungen. Es wird empfohlen, Forschungsaktivitäten zu diesem Themenkomplex z.B. auch im Zusammenhang mit dem Thema Industrie 4.0 und Internet der Dinge intensiv zu fördern, da in diesem Bereich die Einsparpotenziale kaum erschlossen und genutzt sind.

¹³ WISO-Sendung vom 19.10.2015: Stromverbrauch von Fernsehern

6. Das Thema Energieeffizienz sollte nicht nur in der Ausbildung von Ingenieuren und Fachkräften gestärkt werden, sondern auch als Informationen im Handel und Verkauf. Hier gibt es bereits sehr gute Beispiele von Verkäufertrainings, die als Vorbild dienen und publik gemacht werden sollten.
7. Eine statistische Datenerhebung zum Energiebedarf von Telekommunikationsnetzen und Rechenzentren ist notwendig, um die prognostizierte Entwicklung besser einschätzen und gestalten zu können. In diesem Zusammenhang sollten Indikatoren zur Anwendung kommen, welche den Energiebedarf einzelner Technikelemente (Technologien) mit dem transportierten Datenvolumen bzw. dem verarbeitete Datenvolumen in Korrelation stellt.
8. Der Rückbau von alten und unproduktiven Technologien wie beispielsweise der zweiten Generation Mobilfunk (GSM) sollte sowohl für das Festnetz also auch für das Mobilfunknetz stärker geplant werden. Wichtig ist, den privaten aber insbesondere auch kommerziellen Kunden (z.B. M2M, IoT) frühzeitig Alternativen aufzuzeigen und die Möglichkeit zu geben, die individuellen Planungshorizonte zu erweitern.
9. Für den wirtschaftlichen Betrieb von Rechenzentren in Deutschland stellt die Energieeffizienz aufgrund des relativ hohen Strompreises eine entscheidende Rolle. Anreize und Information zur Verbesserung der Energieeffizienz sind grundsätzlich für den Rechenzentrumsstandort Deutschland von großer Bedeutung. Eine Zusammenarbeit von Unternehmen und angewandter Forschung zur individuellen Standortgestaltung sollte auch in Zukunft weiter gefördert werden.
10. Die vorliegende Studie zum IKT-bedingten Energiebedarf sollte in deutlich kürzeren Zeitintervallen auch in Zukunft wieder durchgeführt werden. Diesbezüglich wird auch eine Erweiterung des Produktspektrums bei der Analyse des IKT-bedingten Energiebedarfs empfohlen. Diese Maßnahmen können helfen, frühzeitig Transparenz zum Energiebedarf des Internet der Dinge bzw. des Industriellen Internets (Industrie 4.0) zu schaffen.
11. Die Umweltlast vieler IKT-Geräte resultiert nicht mehr ausschließlich aus dem Energiebedarf in der Nutzung. Der Energieaufwand und Rohstoffeinsatz für die Produktherstellung belastet schon heute die Umweltbilanz vieler Endgeräte, besonders von kurzlebigen Massenprodukten wie Smartphones, mehr als die eigentliche Nutzung. Bei aktuellen Produkten, die meist hoch energieoptimiert sind, ist eine lange Verwendungsdauer umweltseitig sinnvoll und sollte nicht aufgrund geringer Effizienzverbesserungen limitiert werden.

5.3 Empfehlungen für Rechenzentren

Folgende Empfehlungen werden zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz gegeben:

12. Konkret sollte das Monitoring des Energiebedarfs von Rechenzentren sowohl auf individueller als auch auf nationaler Ebene gefördert werden. Monitoring-Maßnahmen schaffen Transparenz und liefern praktische Hinweise für die Ausschöpfung von noch bestehenden Verbesserungspotenzialen.
13. Operative Maßnahmen zur Verbesserung der Auslastung und der Lastadaptivität aller Bereiche des Rechenzentrums versprechen verhältnismäßig große Einsparpotenziale. Mit Hilfe einer umfassenden Virtualisierung im Rechenzentrum und eine Adaptivität der Infrastrukturelemente wie Kühlung/Klimatisierung können zusätzliche Einsparpotenziale erschlossen werden. Eine gezielte Technologieförderung kann helfen, vorhandene Hürden zum Einsatz solcher Systeme zu verringern.
14. Bei Rechenzentren besteht insbesondere das Problem, dass neue bereits vorhandene Technologien sich nur zögerlich durchsetzen, da ihre Zuverlässigkeit aus Sicht der Betreiber noch nicht ausreichend nachgewiesen ist. Daher sollten zum einen Referenzprojekte gefördert werden, zum anderen aber auch die Verbreitung von Informationen zum erfolgreichen Einsatz neuer Technologien und Konzepte verbessert werden.
15. Bei der Beschaffung von Servern und anderem IT-Equipment im Rechenzentrum sollten geeignete Energie-Performance-Benchmarks herangezogen werden. Bislang

existieren solche Benchmarks nur teilweise und sind nicht allgemein akzeptiert. Benchmarks liefern Hinweise zur optimierten Konfiguration des Equipments. Überdimensionierungen führen meist zu unnötigen Energiebedarfen. Neben Maßnahmen, die auf die Einzeloptimierung der Komponenten abzielen, sollten auch die ganzheitliche Optimierung und die Entwicklung von neuen Rechenzentrumskonzepten im Fokus der Anstrengungen liegen.

16. Insbesondere bei der Rechenzentrumsinfrastruktur sind aufgrund der längeren Nutzungsdauer z.T. noch Systeme im Einsatz, die wenig effizient sind. Ein beschleunigter Austausch dieser Systeme (Klimatechnik und unterbrechungsfreie Stromversorgung) bietet zusätzliche Effizienzpotenziale. Auch hocheffiziente Netzteile (nach Standard „80-Plus“) leisten einen vergleichsweise einfach zu implementierenden Beitrag zur Energieeffizienz.
17. Dem Zusammenhang zwischen Nutzung internetfähiger Endgeräte und dem Energiebedarf in Rechenzentren muss mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen, die diesen Zusammenhang behandeln. Die Ergebnisse für den in Rechenzentren induzierten Energiebedarf variieren je nach Annahmen zum Teil sehr deutlich und liegen zwischen 2 kWh pro Endgerät und Jahr (CEET, 2013) und 400 kWh pro Endgerät und Jahr (Mills, 2013). Eine Untersuchung des Borderstep Institutes errechnet für das Jahr 2014 je nach Endgerät Energiebedarfe zwischen 17 und 50 kWh (Hintemann & Fichter, 2015). Insgesamt wird der durch die Nutzung von internetfähigen Endgeräten im Jahr 2014 induzierte Energiebedarf in Deutschland auf 2.500 GWh bestimmt. Im Jahr 2010 betrug dieser noch ca. 1.000 GWh. Ein größerer Teil dieses in Rechenzentren induzierten Energiebedarfes wird im Ausland anfallen, insbesondere bei den großen Cloud-Rechenzentren von Google, Facebook, Microsoft, etc. Dennoch ist auffällig, dass dieser Anstieg in der gleichen Größenordnung liegt, wie der Gesamtanstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren Deutschland in diesem Zeitraum.

5.4 Empfehlungen für Telekommunikationsnetze

Folgende Empfehlungen werden zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz gegeben:

18. Grundsätzlich sollte der Entwicklung des telekommunikationsbedingten Energiebedarfs verstärkte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Zielführend wäre die detaillierte Ausweisung des teilnetzbezogenen Energiebedarfs durch die Betreiber oder im Rahmen der statistischen Erfassung durch die Bundesnetzagentur.
19. Da Telekommunikationsnetze lokal sehr individuell ausgelegt werden müssen und die Betreiber sehr unterschiedliche Standortbedingungen vorfinden, wäre eine periodische Bestimmung des Energieeffizienzpotenzials einzelner Standorte (z.B. alle vier Jahre) eine zielführende Maßnahme. Auch ein Best Practice Forum könnte für kleinere Netzbetreiber wertvolle Informationen liefern.
20. Der Code of Conduct (CoC) Broadband Equipment V5 liefert eine aktuelle Informationsbasis für den Stand bestverfügbarer Technologien bzw. realistischer Anforderungen an die elektrische Leistungsaufnahme von Netzelementen im gesamten Spektrum heutiger Telekommunikationstechnik. Die Vorgaben des CoC können ggf. für die Festlegungen von Mindestanforderungen bei der Produktbeschaffung durch Netzbetreiber herangezogen werden.
21. Das Testen der performanzbezogenen Energieeffizienz von Telekommunikationsanlagen stellt eine Herausforderung dar, die beispielsweise auf dem Telecommunication Equipment Energy Efficiency Rating (T.E.E.E.R) (verizon 2011) aufbauend in Forschung und Entwicklung adressiert werden sollte. Die produktbezogenen und netzbezogenen Energieeffizienzkennzahlen sind geeignete Instrumente zur internen Prüfung der kontinuierlichen Verbesserung und zur Formulierung von Energieeffizienzzielen.
22. Der Bedarf an Bandbreite und insbesondere Funkfrequenzen wird in den kommenden Jahren trotz einer anhaltenden Verbesserung der spektralen Effizienz weiter steigen.

Die politische Debatte zur Unterstützung des Breitbandausbaus sollte auch den Themenkomplex spektrale Effizienz und damit Energieeffizienz berücksichtigen.

23. Bei der Software-Entwicklung beispielsweise bei Smartphone-Apps muss das Thema Energieeffizienz verankert werden. Viele Applikationen (Apps) beinhalten Pull- und Push-Dienstfunktionen zur Aktualisierung von Informationen. Diese Dienste führen in den Mobilfunknetzen zur sehr ineffizientem Signalisierungsverkehr, der weitere Energiesparmechanismen der Netze einschränkt.

5.5 Empfehlungen für IKT am Arbeitsplatz

Folgende Empfehlungen werden zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz gegeben:

24. Die Verbreitung des Green Ethernet Standards IEEE 802.3az sollte deutlich gefördert werden. Hierzu ist zunächst eine vertiefende Untersuchung des Standes der LAN-Technologie inkl. Verifizierung der in Abschnitt 8.5.5 getroffenen Annahmen erforderlich. Weiterhin ist die Auswirkung höherer Übertragungsgeschwindigkeiten (10 GBit, 40 GBit, 100 GBit) und die Wirkung der Nutzung des IEEE 802.3az diesbezüglich abzuschätzen. Auf dieser Basis können Maßnahmen zur Förderung der Verbreitung des IEEE 802.3az oder seiner aktualisierten Nachfolger entwickelt werden.
25. Parallel dazu ist die Anwendbarkeit energiesparender Technologien mit Blick auf WLAN und Telefone in den Blick zu nehmen. Zwar ist für sogenannte HiNA-Geräte¹⁴ ein oberer Grenzwert der Leistungsaufnahme festgelegt, die 12 Watt (ab 2017 noch acht Watt) nicht überschreiten darf. WLAN-Geräte wie auch VoIP-Telefone verfügen bisher jedoch noch kaum über lastadaptive Funktionen oder Funktionen des Powermanagement, von denen deutliche Einsparungen zu erwarten wären. Auch sind sie diesbezüglich nicht von der Netzwerkstandby-Verordnung erfasst. Bei stationären Telefonen werden z.Zt. anteilig bereits leistungsstarke Prozessoren verbaut, um auch stationär Smartphone-Funktionalitäten bereitstellen zu können. Hier stellt sich die Frage, ob gegengesteuert werden kann, da der Zusatznutzen solcher Dienste in Anbetracht der ja ohnehin verfügbaren Smartphones als überschaubar eingeschätzt wird. Eine weitere Möglichkeit bestände in der Förderung von oder Vorschriften für lastadaptive WLAN-Routern und Telefone mit Standbyfunktion, die zwar technisch möglich sind, aber bisher vom Markt aufgrund einer Aufwachzeit von ca. 1 Sekunde nicht akzeptiert werden. Mit Blick auf den wachsenden relativen Energiebedarf von WLAN-geräten und Telefonen ist zu erwägen, ob hier im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie ambitionierte Ziele entwickelt werden können.

5.6 Empfehlungen für IKT in Haushalten

Folgende Empfehlungen werden zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz gegeben:

26. Die Europäische Ökodesign-Richtlinie sollte auch weiterhin in periodischen Abständen von vier bis fünf Jahren die Energieeffizienzanforderungen der wesentlichen Produktgruppen (IKT-Endgeräte) prüfen und ggf. entsprechend des technischen Potenzials weiter anpassen. Beispielsweise führt sich der sinkende Trend der Leistungsaufnahme mit zunehmender Displayauflösung (4K) von Fernsehern und Monitoren nicht unmittelbar fort. Auch sollten bislang nicht regulierte Produktgruppen oder Produktgruppen die einer freiwilligen Selbstverpflichtung unterliegen regelmäßig geprüft werden.
27. Da Heim-Gateways (Router) und Netzwerktechnik (W/LAN) aufgrund der erhöhten Verfügbarkeit (Netzwerk-Standby) eine dauerhaft relativ hohe Leistungsaufnahme aufweisen, liegt hier ein Schwerpunkt der Energieoptimierung. Technologische Ansätze zur Lastadaptivität, wie sie dem Netzwerkstandard Energy Efficient Ethernet

¹⁴ Die Netzwerk-Standby-Verordnung (EU 801/2013 2013) definiert ein ‚vernetztes Gerät mit hoher Netzwerk-Verfügbarkeit‘ (HiNA-Gerät) als ein Gerät, „das als Hauptfunktion(en) ausschließlich eine oder mehrere der folgenden Funktionen erfüllt: Router, Netzwerk-Schalter, Drahtlos- Netzzugangspunkt, Hub, Modem, VoIP-Telefon, Videotelefon“.

(EEE) zugrunde liegen, sollten auch für andere Netzwerktechnologien etabliert werden.

28. Das Thema Energieeffizienz entwickelt sich aufgrund der dynamischen Technikentwicklung stetig weiter. Entsprechend sollten Verbraucherinformationen den neuen Produktbedingungen angepasst und regelmäßig aktualisiert werden. Trotz einer zunehmenden Verbreitung sehr energieeffizienter Endgeräte, kann der Nutzer durch Fehlverhalten einen deutlich höheren Energiebedarf generieren.
29. Bei den Endgeräten verlagert sich die Umweltlast zunehmend vom Energiebedarf in der Nutzungsphase zum Ressourcenverbrauch in der Herstellungsphase. Vor diesem Hintergrund sollte der Verbraucher auf die veränderten Umweltlasten seiner Endgeräte aufmerksam gemacht werden.

5.7 Empfehlungen für IKT in der Öffentlichkeit

Der Gesamtenergiebedarf der IKT in der Öffentlichkeit ist im Vergleich zu den anderen IKT-Bereichen gering, aber die Datenlage vergleichsweise spärlich. Daher sollte hier weiteres Monitoring stattfinden, besonders der zwei stark wachsenden Bereiche digitale Werbung/Bildschirme im öffentlichen Raum und Hotspots.

30. Die deutliche Zunahme bei der Verbreitung von digitalen Werbeanzeigen sollte die Durchsetzung effizienter Geräte – wie sie durch die enorme Technologieentwicklung im Bereich der Displays vorhanden sind – forciert werden. Dies kann zum einen über Umweltlabel adressiert werden. So deckt der US Energy Star bereits Professional Displays ab, hatte aber im Jahr 2013 noch eine recht geringe Marktdurchdringungsrate von 23 % (Energy Star 2013). Ebenso könnten Mindestanforderungen und Energielabel der Fernseher-Verordnung (EG 642/2009 2009) auf Werbedisplays ausgedehnt werden.

5.8 Empfehlungen für IKT in Gebäudeversorgung

Gebäudeautomation und IKT in der Gebäudeversorgung ist ein wachsender, aber auch ein sich gerader erst entwickelnder Markt. Aufgrund der unsicheren Entwicklung der Stückzahlen und der tatsächlichen Produkte und Dienstleistungen in diesem Bereich, ist eine Abschätzung des damit verbundenen Energiebedarfs mit großen Unsicherheiten verbunden. Die bisher installierten Systeme weisen aufgrund ihrer geringen Stückzahlen und ihrer Bauart sehr geringe Energiebedarfe auf. Zukünftige Produkte und Dienstleistungen könnten dann einen signifikanten Mehrbedarf an Energie erzeugen, wenn sich durch sie die Informations- und Kommunikationsinfrastruktur in Form von Gateways und Embedded PCs unkontrolliert vervielfachen und in hoher Redundanz ausbreiten würde.

Eine solche Entwicklung ist jedoch nach bisheriger Einschätzung nicht zu erwarten. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass redundante Infrastrukturen als einer der Haupthinderungsgründe für die Einführung von Smart-Home- und Smart-Building Technologien angesehen werden. Derzeit bemühen sich mehrere nationale – auch durch die Bunderegierung geförderte Initiativen – und internationale Initiativen um eine Standardisierung und offene Schnittstellen in der Heimvernetzungs-technik. Sind diese Initiativen erfolgreich, so ist eher mit der synergetischen Nutzung der Infrastrukturen durch unterschiedliche Anbieter zu rechnen, was sich positiv auf den Energiebedarf auswirken würde. Erste Untersuchungen legen zudem nahe, dass die Einsparungen aus dem Energiemanagement über Heimvernetzung die Verbräuche um ein vielfaches überkompensieren (siehe dazu Kap. 11.2). Daher kommt es in diesem Themenfeld vor allem auf ein weitergehendes Monitoring und eine Begleitung der Entwicklung an.

6 Rechenzentren im Detail

6.1 Produktkategorien

Die Nutzung von zentralen IT-Ressourcen in Rechenzentren nimmt seit Jahren deutlich zu. Insbesondere durch die stark ansteigende Nutzung von Cloud Computing ist davon auszugehen, dass weltweit immer mehr Rechenzentrumskapazitäten aufgebaut werden. Cisco geht von Wachstumsraten für die Workload Rechenzentren von jährlich 14 % aus. Dieses Wachstum wird im Wesentlichen in Cloud-Rechenzentren realisiert, in diesem Segment rechnet Cisco mit Wachstumsraten von jährlich 24 % (Cisco, 2013). Auch der deutsche Rechenzentrumsmarkt wächst aktuell deutlich (Schmitz & Ostler, 2015), die Ausgaben für IT-Hardware in deutschen Rechenzentren wachsen nach Berechnungen von Borderstep aktuell um ca. 3 % pro Jahr.

Rechenzentren bestehen aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten, die ein gemeinsames System bilden und in ihrer Entwicklung z.T. sehr deutlich voneinander abhängig sind. Je nach Größe und Zweck eines Rechenzentrums kann der Aufbau sehr unterschiedlich sein. In der vorliegenden Untersuchung werden die in Abbildung 6-1 dargestellten Produktgruppen unterschieden. Neben dem IT-Equipment (Server, Speicher und Netzwerk) ist ebenso die für den Betrieb der IKT notwendige Rechenzentrumsinfrastruktur bestehend aus Kühlung/Klimatisierung, Stromversorgung und sonstige Infrastruktur wie Brandschutzeinrichtungen, Beleuchtung, etc. zu betrachten. In diesem Kapitel werden auch diejenigen Server betrachtet, die nicht in Rechenzentren, sondern als Stand-Alone-Server üblicherweise in Büroumgebungen installiert sind.

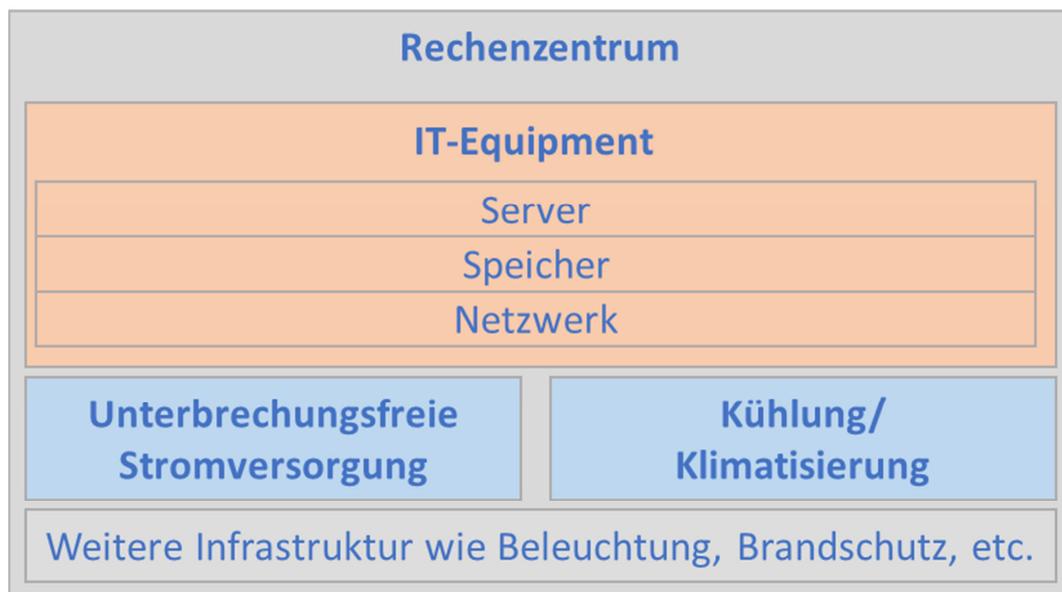


Abbildung 6-1: Für die Untersuchung zugrunde gelegte Struktur eines Rechenzentrums

Abbildung 6-2 zeigt die Aufteilung des Strombedarfs eines typischen Rechenzentrums mit 1.000 m² Rechenzentrumsfläche in den Jahren 2008 und 2015. Daraus ist zu erkennen, dass der Anteil der Infrastruktur am Energiebedarf abgenommen hat, es dominieren aber noch immer die Klimatisierung und die Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV). Deutlich zugenommen hat der Anteil der Speichersysteme am Energiebedarf. Auch der Anteil der Netzwerkkomponenten hat zugenommen. Daher werden diese Produktgruppen in der vorliegenden Untersuchung auch genauer betrachtet.

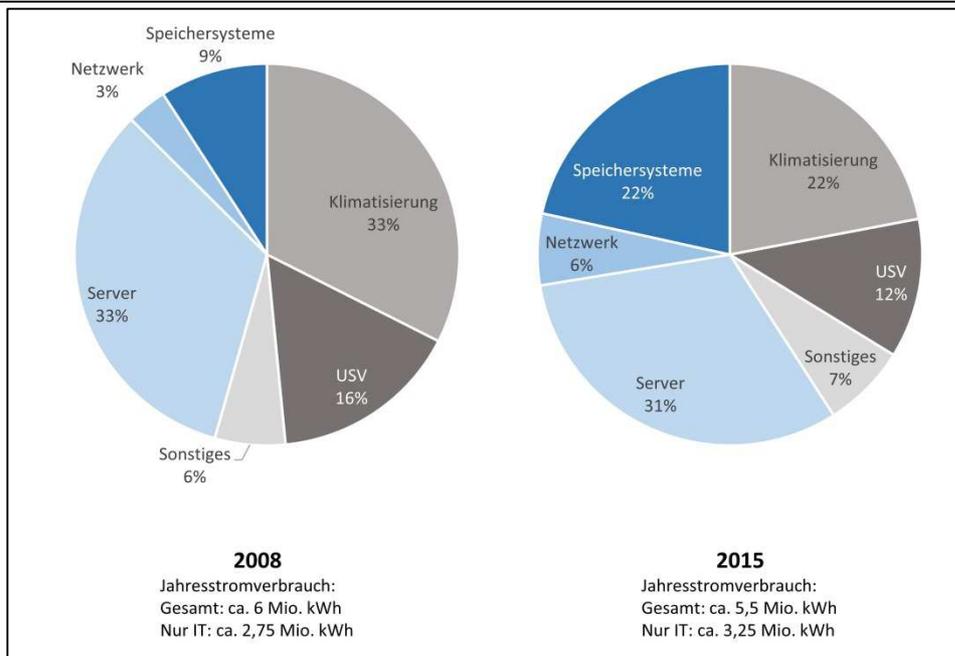


Abbildung 6-2: Aufteilung des Energiebedarfs eines typischen Rechenzentrums (ca. 1.000 m2 Rechenzentrumsfläche) im Jahr 2008 und 2015 (Quelle: BITKOM 2015b)

In Tabelle 6-1 sind die Produktgruppen und deren Unterkategorien für Rechenzentren dargestellt.

Tabelle 6-1: Produktgruppen und Unterkategorien für Rechenzentren

Produktgruppen	Unterkategorien
Server	<ul style="list-style-type: none"> • Bladeserver • Rack-/Towerserver • Midrange/Mainframe-Server
Speicher	<ul style="list-style-type: none"> • 3,5"-Festplatten • 2,5"-Festplatten • SSD-Festplatten • Speichercontroller
Netzwerk	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Gigabit Ethernet • 10 Gigabit Ethernet • 40 Gigabit Ethernet • Speicher Netzwerke
IT-Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Kühlung/Klimatisierung • Unterbrechungsfreie Stromversorgung • Sonstige Infrastruktur

Die Entwicklung im Rechenzentrumsmarkt ist von vielen Faktoren abhängig. Da die Anforderungen an IKT-Dienste oft direkt mit der Entwicklung der Unternehmenstätigkeit zusammenhängen, gibt es eine enge Kopplung der Marktentwicklung an die Entwicklung der allgemeinen wirtschaftlichen Lage. Die Ansiedlung von Rechenzentren erfolgte in der Vergangenheit

sehr oft in der Nähe der Kunden bzw. direkt bei dem Unternehmen, das die Rechenzentrumsleistung benötigte. Mit steigender Verfügbarkeit von Netzbandbreite und zunehmenden Outsourcing von IKT-Diensten ist diese räumliche Nähe nicht mehr in allen Fällen notwendig. Die Folge ist, dass es eine zunehmende Anzahl von Rechenzentren gibt, für die Faktoren wie Strompreise, günstige Möglichkeiten zu Kühlung o.a. entscheidend für die Standortwahl sind. Insbesondere die aktuell europaweit vergleichsweise hohen Strompreise können dazu führen, dass der Rechenzentrumsmarkt in Deutschland ein vergleichsweise geringes Wachstum aufweist (Hintemann & Clausen, 2014). Es gibt aktuell aber auch Entwicklungen – vor allem gefördert durch das durch die NSA-Affäre gestiegene Datenschutzbedürfnis – die dazu führen, dass ausländische Unternehmen wie Oracle, Amazon oder Salesforce neue Rechenzentren in Deutschland errichten (Hintemann, 2015a). Insgesamt kann festgestellt werden, dass eine Prognose der künftigen Marktentwicklung von Rechenzentren in Deutschland nur mit größerer Unsicherheit erfolgen kann.

Folgende übergreifende Markttrends können aktuell beobachtet werden:

- Rechenzentrumsmarkt in Deutschland wächst insgesamt seit Jahren an, im Jahr 2014 stieg der Serverbestand um 7 %, die Ausgaben für IT-Hardware + 3 %. Ein Wachstum war insbesondere auch bei Speichersystemen (+6 %) und beim Neubau und Modernisierung von Rechenzentrumsinfrastruktur festzustellen (+ 7 % Umsatzwachstum) (Hintemann, 2015a).
- Der Anteil von Colocation-Rechenzentren steigt an: Gemessen an der IT-Fläche in Deutschland stieg der Anteil zwischen 2008 und 2013 von 16,5 auf 18 %. Aktuell wird von Analysten ein deutlich beschleunigtes Wachstum dieses Marktsegments mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von ca. 7,5 % vorhergesagt (Hintemann & Clausen, 2014).
- Die für Rechenzentren bedeutendsten Branchen sind Dienstleistung, Industrie und öffentliche Verwaltung. Abbildung 6-3 stellt den Anteil am Serverbestand im Jahr 2015 dar. Besonders der Anteil der Dienstleistungen steigt seit Jahren an.
- Mit dem oben schon dargestellten Trend zu Cloud Computing verändern sich die Rechenzentrumslandschaften nachhaltig. Abbildung 6-4 zeigt die Entwicklung des Anteils der Cloud Workload nach Prognosen von Cisco. In Deutschland gibt es hinsichtlich der Cloud-Nutzung bislang noch deutliche Vorbehalte, insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen. In einer IDC-Umfrage in dieser Zielgruppe gaben 93 % der Unternehmen an, dass sie auch künftig den Betrieb von eigenen Rechenzentren als wichtig erachten (Nebuloni & Olah, 2014).

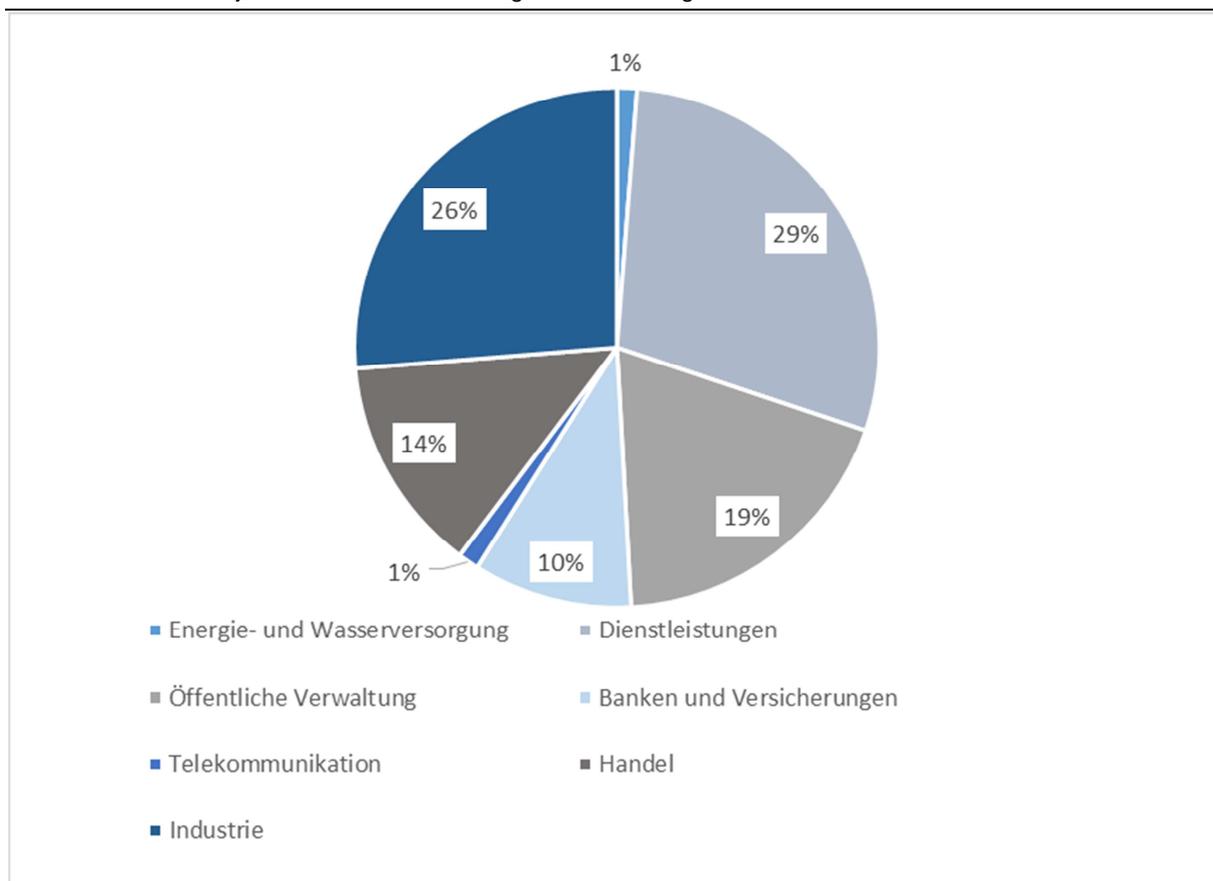


Abbildung 6-3: Anteile der verschiedenen Branchen am Serverbestand in Deutschland im Jahr 2015 (Berechnung auf Basis von Techconsult, 2015)

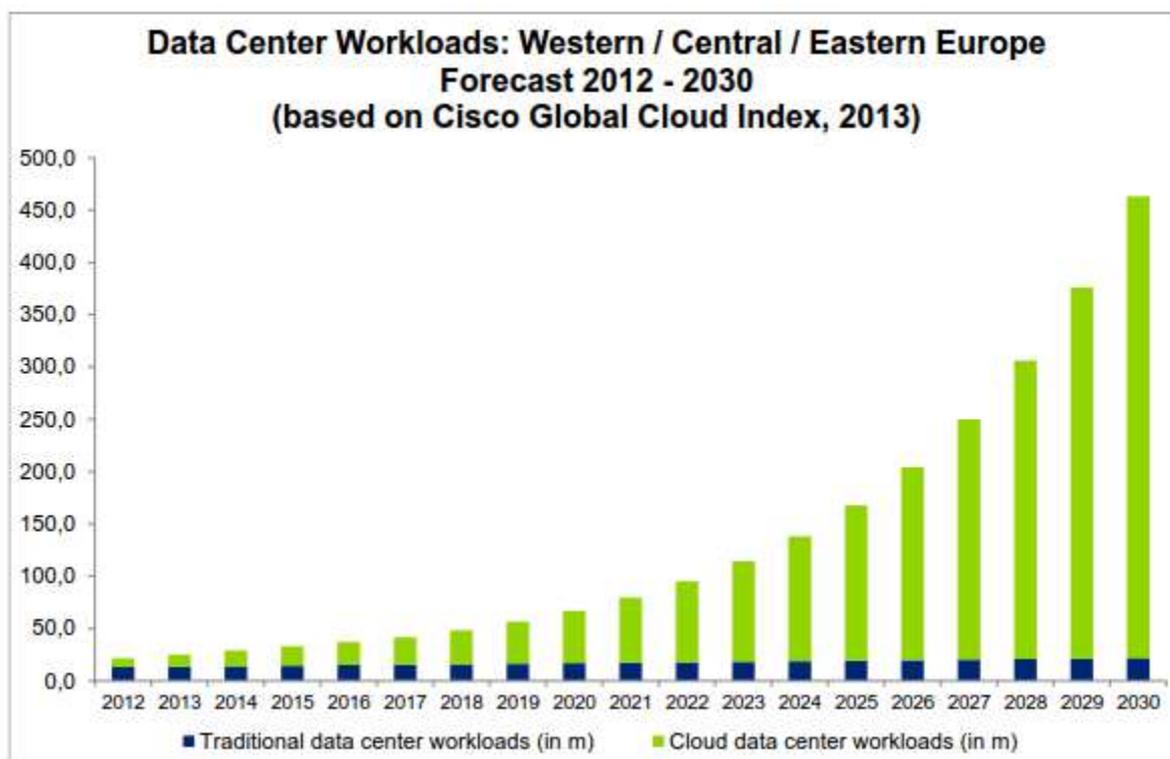


Abbildung 6-4: Deutlich steigender Anteil von Cloud Workload in weltweiten Rechenzentren (Quelle: (Bio by Deloitte& Fraunhofer IZM, 2015a, Cisco (2013)).

Durch die zunehmende Miniaturisierung der IT-Komponenten kommt es zu einer immer stärkeren Verdichtung von Rechenleistung. Schon heute sind Serverkonzepte verfügbar, bei

denen in einem einzigen Serverschrank 150 oder mehr Server mit je zwei Prozessoren untergebracht werden. Bei speziellen Serverarchitekturen werden sogar bis zu 600 Server pro Rack erreicht¹⁵. Setzt sich eine solche Entwicklung fort, so könnten künftig statt fabrikgroßer Hallen in vielen Fällen relativ kleine Räume ausreichen, um enorme Rechenleistungen zur Verfügung zu stellen. In einer weltweiten Befragung von Rechenzentrumsbetreibern aus dem Jahr 2014 gaben ca. 60 % der Befragten an, dass Sie davon ausgehen, dass ihr Rechenzentrum im Jahr 2025 deutlich kleiner sein wird als heute. Noch 27 % der Befragten gehen von einer weiteren Steigerung der Größe ihres Rechenzentrums aus.

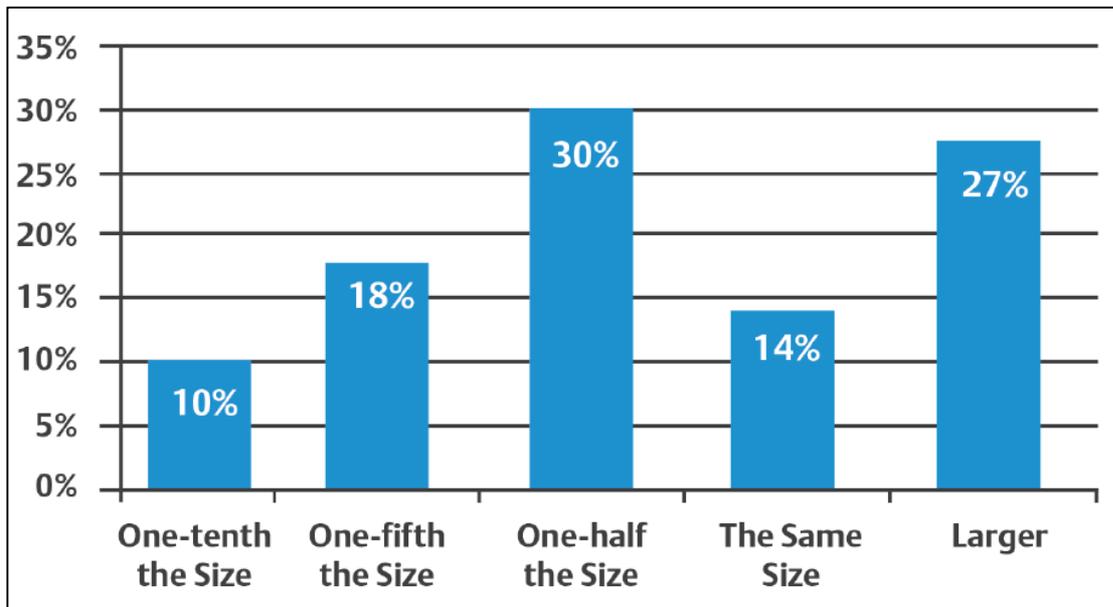


Abbildung 6-5: Ergebnisse einer weltweiten Befragung von Rechenzentrumsbetreibern, wie Sie die Größe ihres Rechenzentrums im Jahr 2025 einschätzen (Anzahl der Befragungsteilnehmer: 829) (Quelle: Emerson Network Power, 2014)

Es ist in der Vergangenheit allerdings zu beobachten, dass sich der Markt für räumlich hochverdichtete Systeme außerhalb des Bereichs des High Performance Computings nur langsam entwickelt. Insgesamt steigt die Rechenzentrumsfläche in Deutschland daher seit Jahren trotz zunehmender Verdichtung kontinuierlich an, im Schnitt um ca. 3 % jährlich (Hintemann & Clausen, 2014).

Auch bedingt durch die Green IT-Diskussionen sind die Temperaturen, bei denen Server und andere IT-Hardware betrieben werden können, in den vergangenen zehn Jahren deutlich angestiegen. Galt noch bis 2008 in den meisten Rechenzentren die Regel, dass die Zulufttemperatur bei 18 bis 20°C liegen sollte, so werden heute bereits viele Rechenzentren mit einer Zulufttemperatur von 25°C oder mehr betrieben. Außerdem wurde die Spannweite der zulässigen Luftfeuchtwerte deutlich erhöht. Aktuell verkaufte Serversysteme sind meist für eine Betriebstemperatur von 35°C zugelassen – einige sogar für höhere Temperaturen. Einen nicht unerheblichen Anteil an dieser Entwicklung hat die Vereinigung ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), die Empfehlungen für die klimatechnischen Rahmenbedingungen herausgibt, die weltweit als Standards verwendet werden. ASHRAE hat in seinen Empfehlungen im Jahr 2008 (ASHRAE 9.9 TC) die Spannweite der zulässigen Werte deutlich ausgeweitet. Temperaturen von bis zu 27°C für die Serverzuluft werden empfohlen, noch höhere Temperaturen sind aber auch zulässig.

¹⁵ So z.B. realisiert in der RECS-Box des niedersächsischen Herstellers Christmann (Vgl. www.christmann.info/cms/recssupsup_box).

Die Erhöhung der Temperaturen in Rechenzentren ist teilweise mit Herausforderungen verbunden. Diese liegen zum einen im Vorhandensein älterer Hardware (Legacy), die nicht für hohe Temperaturen ausgelegt ist. Außerdem müssen für USVen und insbesondere für Batterien eigene Klimazonen eingerichtet werden.

Eng verknüpft mit Moore's Law ist der Energiebedarf der IKT. Gemäß Koomey's Law (Koomey, Berard, Sanchez & Wong, 2011) verdoppelte sich die Anzahl der Rechenschritte pro Kilowattstunde in der Vergangenheit alle 1,57 Jahre. Da die Zunahme in der IKT-Nutzung stärker war als die Effizienzgewinne, stieg der Energiebedarf der IKT in der Vergangenheit aber dennoch stetig an (Hintemann, 2015b; Koomey et al., 2011; BMWi 2009). Es wird angenommen, dass verglichen mit 2012 der Strombedarf des Internets weltweit bis zum Jahr 2020 um 63 % ansteigen wird (Cook, Dowdall, Pomerantz & Wang, 2014).

Weitere Trends in der IT-Hardware, die einen erheblichen Einfluss auf die Energieeffizienz in Rechenzentren haben können, sind insbesondere:

- Das Konzept der Converged Infrastructure, in dem das Rechenzentrum oder zumindest Teile davon als eine Einheit betrachtet wird und die Elemente Hardware, Software und Operations gemeinsam betrachtet werden. Bei dem Konzept stehen die Aufgaben und Anforderungen an das Rechenzentrum im Zentrum. Hardwareanbieter bieten bereits eine Vielzahl von Converged Infrastructure Lösungen an, bei denen Server, Speicher, Netzwerk und die Orchestrierung der Abläufe als Gesamtlösung angeboten werden. Die Komponenten sind so für den Anwendungszweck optimal aufeinander abgestimmt und können sehr effizient betrieben werden.
- Die deutliche Zunahme an Arbeitsspeicher in Servern. Durch Konzepte wie In Memory Computing, Big Data, Virtualisierung, etc. steigt die Ausstattung der Server mit Arbeitsspeicher in den vergangenen Jahren sehr deutlich an – begünstigt durch weiter deutlich sinkende Speicherpreise. Server mit Arbeitsspeichern von 256 oder 512 GB sind heute keine Seltenheit mehr. Durch diese Entwicklung nimmt die Bedeutung des Arbeitsspeichers auf den Energiebedarf der Server immer mehr zu. War in der Vergangenheit noch der Prozessor der größte Stromverbraucher in einem Server (BITKOM, 2008), so ist es heute immer öfter der Arbeitsspeicher. Während die Energieeffizienz der Prozessoren vor allem bei geringer Auslastung in den letzten Jahren deutlich verbessert werden konnte, ist der Strombedarf des Arbeitsspeichers heute noch weitgehend unabhängig von der Auslastung.
- Eine weitere Auswirkung von Konzepten wie In Memory Computing, Big Data und Virtualisierung besteht in einer Änderung des Zusammenspiels zwischen Server und Speicherkomponenten im Rechenzentrum. Bei In Memory Computing sind z.B. andere Speicherarchitekturen denkbar. Experten rechnen in den kommenden Jahren mit der verbreiteten Markteinführung von nicht-flüchtigen Arbeitsspeichern insbesondere für solche Anwendungen. Nicht-flüchtige Arbeitsspeicher behalten die gespeicherten Informationen auch, wenn sie nicht mit Strom versorgt werden.

Hinsichtlich der Entwicklungen bei der eingesetzten Software in Rechenzentren gibt es eine Reihe von Trends, die eine besondere Bedeutung für die Energieeffizienz der Rechenzentren haben.

Die zunehmende Virtualisierung in Rechenzentren hat einen wesentlichen Einfluss auf die Auslastung der Hardware-Ressourcen und damit auf den Energiebedarf. Virtualisierung betrifft alle Bereiche im Rechenzentrum (Server, Speicher, Netzwerk), wird allerdings im Bereich der Server am weitesten verbreitet. In der Umfrage von Hintemann/Clausen (2014)

gaben mehr als 80 % der Befragten an, in hohem Maße Servervirtualisierung zu nutzen. In hohem Maße Speichervirtualisierung nutzen ca. 60 % der Befragten, während nur ca. 35 % angaben, in hohem Maße Netzwerkvirtualisierung zu nutzen. In Deutschland werden aktuell ca. 30 % der Server virtualisiert und es ist davon auszugehen, dass der Virtualisierungsgrad in Zukunft noch sehr deutlich ansteigen wird (Hintemann, Fichter & Schlitt, 2014).

In vielen Rechenzentren werden die einzelnen Komponenten und Ebenen im Rechenzentrum oft mit Hilfe sehr unterschiedlicher Tools gemanagt. Ein Ansatz, mit dem ein übergreifendes Management möglich ist, ist der Einsatz von sogenannten Data Center Infrastructure Management (DCIM) Lösungen. Unter diesem Begriff bietet eine Reihe von Herstellern unterschiedliche Lösungen an, die insbesondere die IT-Welt mit der Rechenzentrumsinfrastruktur-Welt verbinden sollen (Graß, 2014). Die Lösungen ermöglichen zumeist ein übergreifendes Monitoring und Management – erreichen aber in der Regel kein vollständiges integriertes Lastmanagement inklusive der Ebenen der Hardwarevirtualisierung und der Dienste.

Einen hohen Einfluss auf den Energiebedarf haben auch die bereits erwähnten Konzepte wie In Memory Computing und Big Data. Mit In Memory Computing können Softwareanwendungen und insbesondere Big Data Analysen deutlich schneller und effizienter ausgeführt werden. Diese Effizienzfortschritte führen einerseits wie oben beschrieben zu mehr Arbeitsspeicher in Servern und andererseits auch zu einer verstärkten Nutzung von Big Data Analysen.

Auch der Trend zum Software Defined Data Center, mit den Einzelaspekten wie Software Defined Networks oder Software Defined Storage, kann einen erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf der Rechenzentren haben. Voraussichtlich führen die Verwendung von standardisierter Hardware und die Optimierung der Software zu Verbesserungen bei der Auslastung und beim Energiebedarf.

6.2 Server

6.2.1 Datenüberblick

Die in Tabelle 6-2 zusammengefassten Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse für die Basisprognose bis 2025 werden in den anschließenden Abschnitten detailliert erläutert.

Tabelle 6-2: Server: Basisprognose für jährlichen Energiebedarf in 2010, 2015, 2020 und 2025

Server	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]	
Blade	254		497		606		721	
Rack / Tower	1.562		1.635		1.760		1.873	
Midrange / MF	190		141		108		80	
Nutzung								
Stunden pro Tag (365 Tage/Jahr)	Aktiv [h]	Leerlauf [h]	Aktiv [h]	Leerlauf [h]	Aktiv [h]	Leerlauf [h]	Aktiv [h]	Leerlauf [h]
Blade	19	5	19	5	19	5	19	5
Rack / Tower	19	5	19	5	19	5	19	5
Midrange / MF	19	5	19	5	19	5	19	5
Leistungs- aufnahme (mittlere Last)	Aktiv [W]	Leerlauf [W]	Aktiv [W]	Leerlauf [W]	Aktiv [W]	Leerlauf [W]	Aktiv [W]	Leerlauf [W]
Blade	123	115	144	120	193	120	246	120
Rack / Tower	149	140	171	140	238	143	307	148
Midrange / MF	883	700	1.196	700	1.462	708	1.758	731

Server	2010		2015		2020		2025	
	Gerät [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Blade	1.065	270	1.221	606	1.561	945	1.929	1.390
Rack / Tower	1.292	2.018	1.441	2.357	1.908	3.358	2.400	4.495
Midrange / MF	7.398	1.403	9.565	1.347	11.431	1.238	13.528	1.082
Server gesamt		3.692		4.310		5.541		6.967

6.2.2 Produktbestand

In Rechenzentren werden verschiedene Typen von Servern eingesetzt, die sich z.B. nach Bauart, Anwendungszweck, Größe, Zahl der Prozessoren oder dem Preis unterscheiden lassen. In der vorliegenden Untersuchung werden folgende drei Kategorien unterschieden:

- Blade-Server,
- Rack-/Tower-Server,
- Midrange-Server / Mainframes (MF)

Diese Unterscheidung wurde gewählt, da für diese drei Kategorien jeweils Erhebungen von Verkaufszahlen durch Techconsult vorliegen, die bis zum Jahr 2007 zurückgehen (Techconsult, 2008, 2013, 2014, 2015).

Die Anzahl der Mainframe-Server liegt deutlich unterhalb der Midrange-Server. Für Deutschland kalkuliert Techconsult ca. 4.000 Mainframe-Server im Bestand, die Anzahl der Midrange-Server ist mehr als dreißigmal höher. Im Folgenden werden diese beiden Gruppen zusammengefasst dargestellt.

Die Berechnung des individuellen Serverbestands erfolgt wie bereits erwähnt auf Basis der Daten von Techconsult. Für die Prognose ab dem Jahr 2017 wird davon ausgegangen, dass die sich die Verkaufszahlen wie im Durchschnitt der Jahre 2012 bis 2017 weiter entwickeln. Als Nutzungsdauer wird für Blade- und Rack-Server durchschnittlich fünf Jahre und für Midrange-Systeme durchschnittlich acht Jahre angenommen. Diese Nutzungsdauern berücksichtigen, dass nach Ende der Erstnutzung von Servern in Rechenzentren diese vielfach einer Weiternutzung zugeführt werden. Auf Basis dieser Annahmen errechnen sich die in Tabelle 6-3 dargestellten Gerätebestände für die untersuchten Servertypen.

Tabelle 6-3: Server: Basisprognose für den Bestand der verschiedenen Servertypen in 2010, 2015, 2020 und 2025

Server	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]
Blade	254	497	606	721
Rack / Tower	1.562	1.635	1.760	1.873
Midrange / MF	190	141	108	80

6.2.3 Entwicklungstrends

Folgend sind einige wesentliche Trends mit Bezug zur Energieeffizienz bei Servern kurz dargestellt:

- Die Effizienz der Systeme wird weiter verbessert, insbesondere ist davon auszugehen, dass der Wirkungsgrad bei geringer Auslastung wie bereits in der Vergangenheit weiter verbessert wird. Dazu tragen u.a. weiter verbesserte Netzteile bei.

- Neue Serverkonzepte wie Microserver werden zumeist für spezielle Anwendungen eingesetzt. Dabei werden unter dem Begriff Microserver unterschiedliche Technologieoptionen verstanden, vom kleine spezialisierten Rackserver, der insbesondere in Cloud-Rechenzentren eingesetzt wird bis zu Steckkarten für Serversysteme, mit denen mehrere hundert Kleinstserver in ein Rack installiert werden können. Letztere können eine Leistungsaufnahme von über 100 kW pro Rack erreichen, wodurch eine Luftkühlung nicht mehr praktikabel ist und auch die Stromzuleitung auf neue Herausforderungen stößt. Ob und in welchem Umfang sich solche Systeme in der breiten Anwendung durchsetzen, kann aktuell nicht abgeschätzt werden.
- Die Kühlung der Server wird – außer im Bereich des High Performance Computings – weiterhin zum großen Teil über Luft erfolgen.
- Die Virtualisierungsrate von Servern wird weiter deutlich ansteigen. Experten gehen von durchschnittlich mehr als 30 virtuellen Maschinen pro physikalischen Host im Jahr 2020 aus – im Jahr 2011 betrug dieser Wert noch ca. sechs (Hintemann et al., 2014; Veeam, 2011). Diese steigende Virtualisierung bedeutet eine ansteigende Auslastung der Server, aber auch höhere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit.
- Auch Konzepte wie In Memory Computing und Big Data führen zu steigende Leistungsanforderungen insbesondere hinsichtlich des Arbeitsspeichers.
- In Zukunft wird daher die Ausstattung und Leistungsfähigkeit der Server weiter ansteigen. Die zur Verfügung gestellte Prozessorleistung, die Ausstattung mit Arbeitsspeicher und die I/O-Bandbreite nehmen deutlich zu. Im Bereich von Blade-, Rack- und Tower-Servern wird der Einsatz von 2-Prozessorsystemen dominieren. Bei Speichersystemen wird zunehmend auf Flashspeicherlösungen gesetzt – sowohl integriert in Server als auch in externen Speichersystemen. Die maximale elektrische Leistungsaufnahme der Server steigt weiter an, obwohl der Energiebedarf im IDLE-Betrieb weiter sinkt.
- Die Entwicklung und der Einsatz von durchgängig optischen Systeme schreiten nur sehr langsam voran.

6.2.4 Nutzungsmuster

Server sind – wie die anderen Komponenten von Rechenzentren auch – 365 Tage im Jahr in Betrieb. Durchschnittliche Volume-Server (Blade und Rack/Tower) werden auch heute noch oft nur im geringen Maß ausgelastet. Eine aktuelle Studie der Stanford University gemeinsam mit der Anthesis Group kommt zu dem Schluss, dass 30 % aller Server in Rechenzentren zwar eingeschaltet sind, aber sich praktisch nur im Leerlauf-Betrieb befinden (Kooimey & Taylor, 2015). Eine Untersuchung von McKinsey aus dem Jahr 2008 ging von ca. 6 % durchschnittlicher Serverauslastung aus.

In der aktuellen Vorstudie zur Ökodesign-Richtlinie für Enterprise Server [ENTR Lot 9] wird über alle Serverkategorien hinweg eine durchschnittliche Auslastung von 20 % über 24 Stunden angenommen. Im resultierenden Nutzungsmuster wurde daher ein Aktiv-Betrieb mit 25 % Auslastung über 19 Stunden und ein Leerlauf-Betrieb in den verbleibenden fünf Stunden festgelegt (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015a).

Für die vorliegende Untersuchung wird dieses Nutzungsmuster einschließlich der der mittleren Auslastung von 25 % im Aktiv-Zustand als sinnvoll erachtet und für die Serverkategorien Blade und Rack/Tower übernommen. Die Midrange- und Mainframe-Server werden in der Regel deutlich höher ausgelastet. Daher wird eine mittlere Auslastung von 60 % über 19 Stunden im Aktiv-Betrieb und von fünf Stunden im Leerlauf-Betrieb angenommen. In der Basisprognose wird ein deutlicher Anstieg der durchschnittlichen Auslastung der Server erwartet. Für das Jahr 2025 wird im Bereich von Volumen-Servern von einer Auslastung von 50 % und im Bereich der Midrange- und Mainframe-Server von 80 % im Aktiv-Betrieb ausgegangen.

Für die Basisprognose wird ein Standby-Betrieb oder eine Abschaltung von Servern nicht angenommen, auch wenn dafür die technischen Möglichkeiten mittlerweile bestehen.

6.2.5 Leistungsaufnahme

Die elektrische Leistungsaufnahme von Servern wird durch folgende Aspekte maßgeblich bestimmt:

- Die Hardware-Konfiguration und insbesondere die Art und Anzahl der Prozessoren, die Arbeitsspeicherkapazität, die Netzteilauslegung und des Wirkungsgrades. Diese Parameter wirken sich sowohl auf die Höhe des Leerlaufs als auch auf die Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb aus.
- Die Auslastung im Aktiv-Betrieb aufgrund der prinzipiellen Energieproportionalität (Leistungsaufnahme und Performanz steigt mit zunehmender Last). In diesem Zusammenhang ist auch der Virtualisierungsgrad ein wichtiger Faktor.
- Die Betriebstemperaturen und Klimatisierungskonzepte, welche in einer Wechselwirkung mit dem Server-internen Wärmemanagement steht

In einer EU-Untersuchung zum Energiebedarf der IKT (Prakash, Baron, Ran, Proske & Schlösser, 2014) wird für einen durchschnittlichen Volume-Server von einer Leistungsaufnahme von 162 Watt ausgegangen (24 Stunden, 365 Tage). Midrange-Systeme werden in dieser Studie pauschal mit 22 % des Serverstrombedarfs angenommen.

Die Vorstudie zur Ökodesign-Richtlinie für Enterprise Server geht für das Technologiejahr 2012 und 2-Sockel-Rack-Server von einer durchschnittlichen Leerlauf-Leistungsaufnahme von 150 Watt und von einer Aktiv-Leistungsaufnahme bei 25 % Auslastung von 200 Watt aus.

Volume-Server mit zwei bestückten Prozessorsockeln haben aktuell eine maximale Leistungsaufnahme von 300 bis 400 Watt. Die Leistungsaufnahme im Leerlauf-Betrieb entspricht etwa 30 % des Maximalwertes also etwa 100 bis 140 Watt.

Die vorliegende Studie orientiert sich an diesen beiden Studien und nimmt die in Tabelle 6-4 dargestellten Werte für Neugeräte der jeweiligen Jahrgänge an. Für 2015 wird bei Volume-Servern im Durchschnitt jeweils von einem Arbeitsspeicher von 96 GB und einem Zwei-Sockel-System ausgegangen, bei dem aber nur ein Sockel bestückt ist. Blade-Server verfügen durchschnittlich über zwei Ethernet-Ports und einen Speichernetzwerk-Port, während Rack- und Towerserver durchschnittlich über drei Ethernetports und zwei Speichernetzwerkports verfügen. Für Midrange-Server wird angenommen, dass Sie in ihrer elektrischen Leistungsaufnahme um den Faktor fünf höher liegen als Rack-/Towerserver.

Es wird davon ausgegangen, dass durch die dargestellten Erhöhungen des Leistungsbedarfs der Energiebedarf der Server bei Vollast zwischen 2015 und 2025 um ca. 35 % zunehmen wird. Da die mittlere Auslastung deutlich ansteigt, erhöht sich der Energiebedarf im Aktiv-Betrieb sogar um ca. 100 %.

Tabelle 6-4: Server: Leistungsaufnahme bei Neugeräten

Server	2010	2015	2020	2025
	[Watt]	[Watt]	[Watt]	[Watt]
Leerlauf				
Blade	120	120	120	120
Rack / Tower	140	140	145	150
Midrange / Mainframe	700	700	725	750

Server	2010	2015	2020	2025
Vollast				
Blade	230	290	345	400
Rack / Tower	270	367	434	500
Midrange / Mainframe	1.350	1.835	2.168	2.500
Aktiv (bei mittlerer Auslastung)				
Blade	131	154	226	260
Rack / Tower	153	185	281	325
Midrange / Mainframe	960	1.381	1.735	2.150

6.2.6 Energiebedarf

In Abbildung 6-6 ist zusammenfassend die Entwicklung des Energiebedarfs aller Server in Deutschland in den Jahren 2010 und 2015 sowie in der Basisprognose für die Jahre 2020 und 2025 dargestellt. Während Midrange und Mainframe-Systeme weiter an Bedeutung verlieren werden, steigt der Energiebedarf bei den Volume-Servern deutlich an. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Energiebedarf aller Server zwischen 2015 und 2025 um ca. 60 % erhöht. Dieser Anstieg ist zum Teil auf den Anstieg der Anzahl der Server zurückzuführen. Insbesondere die Zahl der Blade-Server erhöht sich in der Basisprognose um 45 % zwischen 2015 und 2025. Die Zahl der Rack-/Towerserver steigt im gleichen Zeitraum um 15 %, während die Zahl der Midrange-/Mainframe-Systeme sich um über 40 % verringert. Der größere Teil des Anstiegs des Energiebedarfs ist auf die deutliche Zunahme der Leistungsfähigkeit der physikalischen Server zurückzuführen. In Verbindung mit einer erheblichen Zunahme des Virtualisierungsgrades und der damit verbundenen Erhöhung der Auslastung steigt der Energiebedarf pro Gerät und Jahr bei Volume-Servern um ca. 60 % und bei Midrange-/Mainframe-Servern um ca. 40 %.

Ansatzpunkte zur Verringerung des Anstiegs des Strombedarfs der Server ergeben sich insbesondere in einer weiteren Verbesserung der Energieeffizienz der Geräte z.B. im Leerlauf und in einer noch höheren Auslastung. Auch deutliche Verbesserungen in der Softwareeffizienz (Hilty et al. 2014) sowie verstärkte Durchsetzungen von Konzepten wie das Software Defined Data Center, die ebenfalls die Auslastung erhöhen, können zu sehr deutlichen Verringerungen des Energiebedarfs führen.

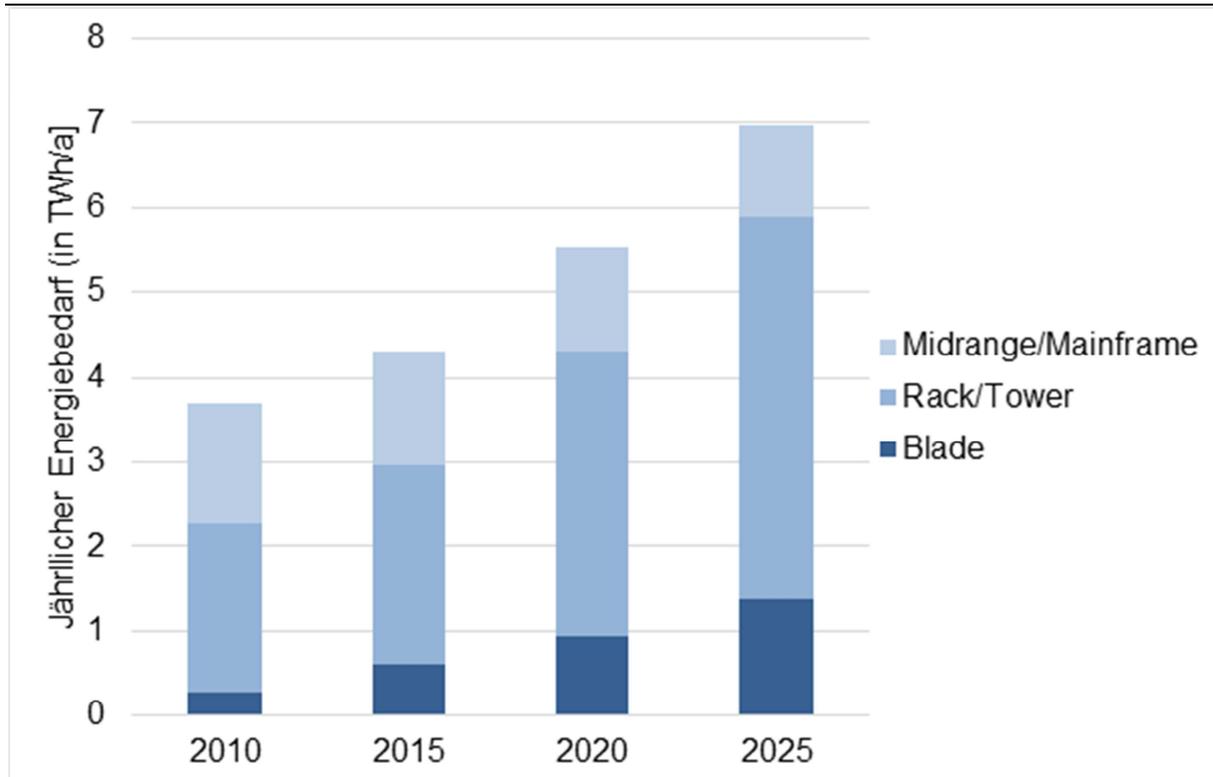


Abbildung 6-6: Server: Entwicklung des jährlichen Energiebedarfs in der Produktgruppe Server in der Basisprognose

Bei dieser Prognose liegt die Annahme zugrunde, dass sich die Serverkonzepte in den nächsten Jahren nicht wesentlich ändern werden. Insbesondere die deutlich zunehmende Virtualisierung führt zu einer Erhöhung der Auslastung verbunden mit einem exponentiellen Anstieg der Anzahl der virtuellen Server. Setzen sich andere Serverkonzepte wie z.B. Micro-server durch, so hätte dies zwar Auswirkungen auf die Zahl der physikalischen Systeme und den durchschnittlichen Energiebedarf pro System, würde aber gleichzeitig zu einer geringeren Virtualisierung führen. In Summe läge der Energiebedarf aller Server dann vermutlich in der gleichen Größenordnung.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass insbesondere die Prognose zwischen 2020 und 2025 aufgrund der hohen Dynamik in der technischen Entwicklung mit einer größeren Unsicherheit behaftet ist. Neue Server- und Rechenzentrumskonzepte können zu deutlich anderen Entwicklungen führen. Die Grundannahme, dass der Bedarf an zentraler Bereitstellung von Rechenleistung in Rechenzentren aufgrund der zunehmenden Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft weiterhin sehr stark zunehmen wird, ist allerdings sehr wahrscheinlich. Ob die in Deutschland benötigte Rechenleistung vornehmlich auch in inländischen Rechenzentren erbracht wird oder insbesondere durch Trends wie Cloud-Computing aus dem Ausland importiert wird, hängt wiederum von der Entwicklung der Standortfaktoren für Rechenzentren ab. Die vorliegende Prognose geht davon aus, dass sich der deutsche Standort auch in Zukunft als attraktiv für die Ansiedlung und den Betrieb von Rechenzentren herausstellt.

6.3 Speicher

6.3.1 Daten und Ergebnisse im Überblick

Tabelle 6-5 stellt die zusammengefassten Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse für die Produktgruppe Speicher in der Basisprognose bis 2025 dar. Die einzelnen Annahmen und Ergebnisse werden in den anschließenden Abschnitten detailliert erläutert.

Tabelle 6-5: Speicher: Basisprognose für jährlichen Energiebedarf in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025

Speicher	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]	
3,5" Festplatten	9.663		11.412		11.131		9.305	
2,5" Festplatten	2.881		8.635		14.411		21.592	
SSD Festplatten	422		2.353		7.928		18.899	
Controller	279		352		383		354	
Nutzung								
Stunden pro Tag (365 Tage/J)	Aktiv [h]	Leerlauf [h]						
3,5" Festplatten	19	5	19	5	19	5	19	5
2,5" Festplatten	19	5	19	5	19	5	19	5
SSD Festplatten	19	5	19	5	19	5	19	5
Controller	19	5	19	5	19	5	19	5
Leistungsaufnahme (mittlere Last) Bestand	Aktiv [W]	Leerlauf [W]						
3,5" Festplatten	9,4	8,9	8,9	8,4	8,5	8,0	8,6	8,0
2,5" Festplatten	5,9	5,6	5,5	5,2	5,3	5,0	5,3	5,0
SSD Festplatten	6,5	4,0	5,8	3,4	5,3	2,8	5,0	2,2
Controller	344	237	338	218	328	188	337	163
Energiebedarf pro Jahr	pro Gerät	Bestand						
	[kWh/a]	[GWh/a]	[kWh/a]	[GWh/a]	[kWh/a]	[GWh/a]	[kWh/a]	[GWh/a]
3,5" Festplatten	82	788	77	875	74	822	75	694
2,5" Festplatten	51	148	48	410	46	659	46	995
SSD Festplatten	52	22	46	109	42	330	38	726
Controller	2.822	788	2.740	963	2.621	1.003	2.636	933
Speichersysteme gesamt		1.746		2.357		2.814		3.348

6.3.2 Produktbestand

Das Thema Datenspeicherung gewinnt eine zunehmende Bedeutung in Rechenzentren. Trends wie Big Data, Internet der Dinge oder Industrie 4.0 führen zu einer Vervielfachung der Datenmenge. IDC geht davon aus, dass sich die Menge an Daten, die jährlich erzeugt, repliziert und genutzt wird, zwischen 2005 und 2020 um den Faktor 300 erhöhen wird (Abbildung 6-7).

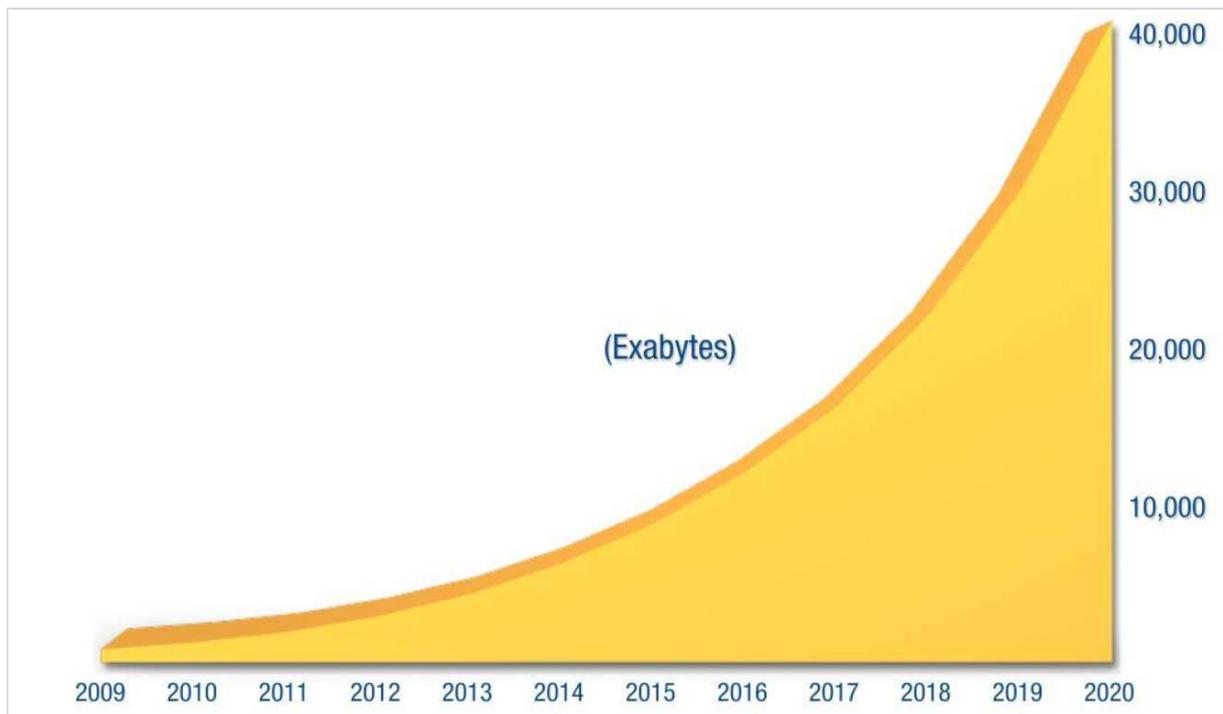


Abbildung 6-7: IDC-Prognose zur Entwicklung des weltweiten Datenspeichervolumens (Gantz & Reinsel, 2012)

Im Rechenzentrum werden Daten auf verschiedene Arten gespeichert. Zum einen verfügen die Server in der Regel über interne Festplatten. Diese werden bereits beim Energiebedarf der Server erfasst und sind nicht Gegenstand dieses Kapitels. Zum zweiten gibt es externe Speichersysteme, auf denen Daten abgelegt werden. Diese verfügen in der Regel über einen oder mehrere Speicher-Controller. Man unterscheidet bei solchen externen Speichersystemen meist zwischen Direct Attached Storage (DAS), Network Attached Storage (NAS) und Storage Area Networks (SAN). Bei DAS-Systemen werden die externen Speichersysteme direkt an einen (oder mehrere Server) angeschlossen. NAS- und SAN-Systeme stellen einem Netzwerk zentralen Speicher zur Verfügung. Dabei sind SAN-Systeme insbesondere auf hohe Zugriffsraten ausgelegt und werden vor allem in größeren IT-Installationen verwendet. Hierbei werden Festplatten mit geringerer Kapazität und schnellerem Datenzugriff verwendet. Neben DAS, NAS und SAN wird als weitere Art von Speichersystemen teilweise auch noch der Content Addressed Storage (CAS) genannt. Damit sind Systeme gemeint, bei denen die gespeicherten Daten nicht verändert werden sollen bzw. können. CAS-Systeme haben im Vergleich zu den drei anderen Arten des externen Speichers nur einen sehr geringen Anteil am Markt (Abbildung 6-8).

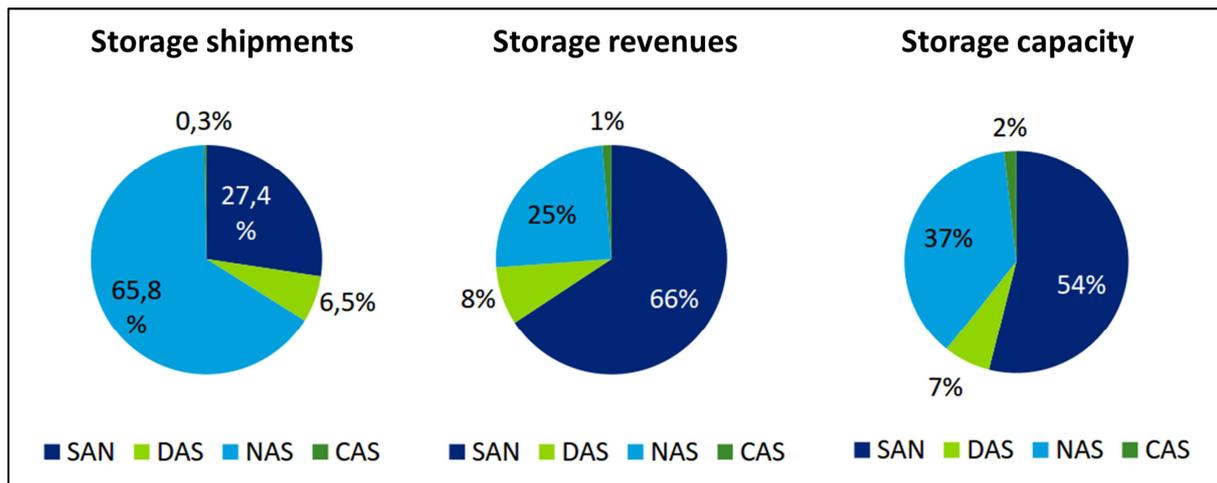


Abbildung 6-8: Marktanteile von verschiedenen Speichersystemen im Jahr 2013 (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015b)

Die verfügbaren Daten für den deutschen Markt von Techconsult unterscheiden ebenfalls nach SAN, DAS und NAS-Systemen, geben aber jeweils nur den Umsatz an.

Externe Speichersysteme werden auch danach unterschieden, wie leistungsfähig sie sind. Die internationale Organisation SNIA (Storage Networking Industry Association) unterscheidet hier nach der Zugriffsgeschwindigkeit die Kategorien Online-Speicher und Near-Online-Speicher. Für Backupsysteme werden Removable-Media-Library und Virtual-Media-Library unterschieden. Innerhalb der genannten Systeme werden wiederum nach der Leistungsfähigkeit jeweils unterschiedliche TIER-Level unterschieden.

Um den Energiebedarf der externen Speichersysteme zu bestimmen, wird in dieser Untersuchung ein Ansatz verfolgt, der sich sehr nah an der Hardware der Systeme orientiert, d.h. am Bestand der installierten Festplatten und an der Zahl der Speicher-Controller. Bei den Festplatten wird zwischen 2,5“- und 3,5“-Festplatten in klassischer Bauweise (rotierende Festplatten) und SSD-Festplatten unterschieden. Flash-Speicher-Systeme, die nicht in Bauform klassischer Festplatten eingesetzt werden, sind bei den SSD-Festplatten einbezogen. Speichersysteme mit optischen Laufwerken oder Bandlaufwerken werden aufgrund des geringen Marktanteils und des geringen Anteils am Energiebedarf nicht betrachtet.

Auf Basis der Umsatzzahlen von Techconsult kann mit Hilfe der Definition von typischen Speichersystemen grob abgeschätzt werden, wie hoch die Verkaufszahlen für die verschiedenen Festplattensysteme und die Speichercontroller sind. Die Definition eines typischen Speichersystems orientiert sich an den Untersuchungen zur Ecodesign-Richtlinie für Server und Daten Equipment (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015c). Hier werden für ein typisches System 16,66 Festplatten in der 3,5“-Bauweise, 12,07 Festplatten in 2,5“-Bauweise und 2,87 SSD sowie ein halber Controller angenommen (Technologiejahr 2012).

Für die Entwicklung bis 2025 wird prognostiziert, dass sich die Anzahl der Festplatten pro System insgesamt um 50 % erhöhen wird. Die Zahl der 3,5“-Festplatten wird abnehmen (2015: 15 Festplatten, 2025: 6 Festplatten); die Zahl der 2,5“-Festplatten wird zunehmen (2015: 15 Festplatten, 2025: 20 Festplatten). Bis zum Jahr 2025 wird sich die Zahl der SSD-Festplatten auf 20 erhöhen. Aufgrund der Entwicklung zu Software Defined Storage wird angenommen, dass sich die Zahl der Speichercontroller pro Systems auf 0,25 absenkt. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Umsätze für externe Speichersysteme ab 2017 sich mit der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate der Jahre 2012 bis 2017 von ca. 5,5 % entwickeln.

Auf Basis dieser Annahmen errechnen sich aus der Entwicklung der Umsätze für das Jahr 2015 Verkaufszahlen von ca. 4 Mio. Festplatten in klassischer Bauweise (2,5“ und 3,5“) sowie ca. 600.000 SSD-Festplatten und ca. 60.000 Speicher-Controller. Diese Zahlen werden in der Größenordnung durch die Erhebungen im Rahmen der Untersuchungen zur Ecode-sign-Richtlinie bestätigt (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015b), wenn man für Deutschland ca. 5 % des Weltmarktes ansetzt. Auch in Experteninterviews wurde die Größenordnung des Anteils von SSD-Festplatten bestätigt.

Tabelle 6-6 zeigt die mit Hilfe der genannten Annahmen errechneten Gerätebestände der Produktgruppe Speicher in der Basisprognose.

Tabelle 6-6: Speicher: Bestand in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025 in der Basisprognose

Speichersysteme	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]
3,5" Festplatten	9.663	11.412	11.131	9.305
2,5" Festplatten	2.881	8.635	14.411	21.592
SSD Festplatten	422	2.353	7.928	18.899
Controller	279	352	383	354

6.3.3 Trends

Folgende Trends sind im Bereich Speichersysteme zu beobachten:

- Es ist eine klare Zunahme des Einsatzes von 2,5“ Festplatten gegenüber 3,5“ Festplatten festzustellen.
- Der Einsatz von Solid State Disks (SSD) und Flash-Speicher in Rechenzentren nimmt deutlich zu. Als Alternative zu konventionellen Festplatten mit magnetischer Datenspeicherung bieten sie deutlich schnellere Zugriffszeiten und einen geringeren Energiebedarf. Aufgrund der sinkenden Preise für SSD haben sie bei allen Anwendungen, bei denen die Zugriffszeit von großer Bedeutung ist, das Potenzial, konventionelle Festplatten zu ersetzen.
- Software Defined Storage: Bisher gab es für die verschiedenen Speichersysteme immer dedizierte Hardware mit geschlossenen Betriebssystemen. Künftig ist davon auszugehen, dass die Speichersoftware von der Speicherhardware zunehmend voneinander getrennt wird und die Software auch auf Standardhardware eingesetzt werden kann. Die Zahl der expliziten Speicher-Controller wird daher in den nächsten zehn Jahren voraussichtlich abnehmen.
- Unter anderem bedingt durch den Trend zu Software Defined Storage und auch durch die Standardisierung von Komponenten verwischen die technologischen Grenzen zwischen verschiedenen Speichersystemen, insbesondere zwischen NAS und SAN zunehmend.

6.3.4 Nutzungsmuster

Gemäß den Nutzungsmustern der Server wird auch für die Speichersysteme angenommen, dass diese 365 Tage im Jahr jeweils mit 19 Stunden im Aktiv-Betrieb (25 % Auslastung) und fünf Stunden im IDLE-Modus betrieben werden. Es wird angenommen, dass die Auslastung bis zum Jahr 2025 auf 35 % steigen wird. Entsprechend den Annahmen der Untersuchungen im Rahmen der Eco-Designrichtlinie (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015c) wird von einer Nutzungsdauer von sechs Jahren für Speichersysteme ausgegangen.

6.3.5 Leistungsaufnahme

Die Annahmen zur durchschnittlichen Leistungsaufnahme der Festplatten orientieren sich an den Erhebungen im Rahmen der Ecodesign-Richtlinie für Server und Daten-Equipment. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Energiebedarfe von Festplatten zunächst noch etwas absenken, bis zum Jahr 2025 sich aber durch die steigende Auslastung im Aktiv-Betrieb wieder etwas erhöhen (siehe Kapitel 5).

6.3.6 Energiebedarf

In Abbildung 6-9 sind zusammenfassend die Ergebnisse zum Energiebedarf der Speichersysteme in Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2010 und 2015 sowie Prognosen zu den Jahren 2020 und 2025 dargestellt. Durch die stark ansteigenden Bedarfe an Speicherkapazitäten erhöht sich der Energiebedarf der Produktgruppe zwischen 2015 und 2025 in der Prognose um 42 %, obwohl zunehmend energieeffizientere 2,5“-Festplatten und SSD Festplatten eingesetzt werden. Der Energiebedarf der Controller wird aufgrund des zunehmenden Einsatzes von Software Defined Storage geringfügig abnehmen.

Eine Verringerung des Anstiegs des Energiebedarfs wäre z.B. durch einen beschleunigten Einsatz von SSD Festplatten, durch eine Verbesserung der Auslastung der Festplatten und durch verstärkten Einsatz von Kompressionstechniken und Deduplizierung möglich.

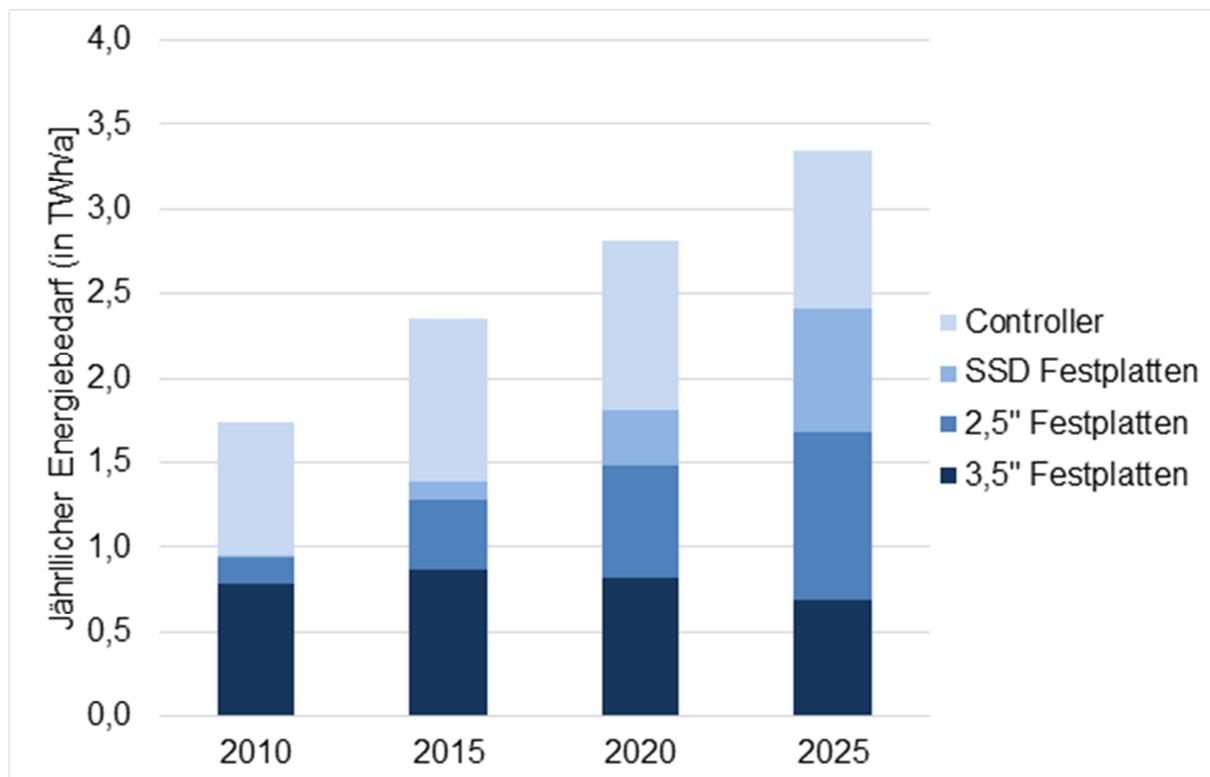


Abbildung 6-9: Speicher: Entwicklung des jährlichen Energiebedarfs in der Produktgruppe Speicher in der Basisprognose

6.4 Netzwerktechnik

6.4.1 Daten und Ergebnisse im Überblick

Tabelle 6-7 stellt die zusammengefassten Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse für die Produktgruppe Netzwerktechnik in der Basisprognose bis 2025 dar. Die einzelnen Annahmen und Ergebnisse werden in den anschließenden Abschnitten detailliert erläutert.

Tabelle 6-7: Netzwerk: Basisprognose für jährlichen Energiebedarf in Rechenzentren in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025

Netzwerk	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]		[Tsd. Stück]	
1 Gigabit-Ethernet-Ports	7.128		3.213		460		126	
10 Gigabit-Ethernet-Ports	0		3.481		3.487		1.624	
40 Gigabit-Ethernet-Ports	0		201		2.614		4.481	
Ports in Speichernetzwerken	4.025		4.269		4.494		4.738	
Nutzung Stunden pro Tag (365 Tage/Jahr)	Aktiv [h]	IDLE [h]						
1 Gigabit-Ethernet-Ports	19	5	19	5	19	5	19	5
10 Gigabit-Ethernet-Ports	19	5	19	5	19	5	19	5
40 Gigabit-Ethernet-Ports	19	5	19	5	19	5	19	5
Ports in Speichernetzwerken	19	5	19	5	19	5	19	5
Leistungsaufnahme (mittlere Last) Bestand	Aktiv [W]	IDLE [W]						
1 Gigabit-Ethernet-Ports	3,6	3,1	2,3	1,8	1,5	1,0	1,2	0,7
10 Gigabit-Ethernet-Ports	-	-	4,5	4,0	3,5	3,0	2,4	1,9
40 Gigabit-Ethernet-Ports	-	-	13,2	12,7	10,9	10,3	8,2	7,6
Ports in Speichernetzwerken	3,6	3,1	3,8	3,3	6,3	5,8	6,5	6,0
Energiebedarf pro Jahr	pro Port [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
1 Gigabit-Ethernet-Ports	31	220	20	63	12	6	10	1
10 Gigabit-Ethernet-Ports	-	0	38	134	29	103	21	33
40 Gigabit-Ethernet-Ports	-	0	115	23	95	248	70	316
Ports in Speichernetzwerken	31	124	32	137	54	245	56	266
Netzwerk gesamt		345		356		601		616

6.4.2 Produktbestand

Der Energiebedarf der Netzwerktechnik in Rechenzentren wird wie der Energiebedarf der Speichersysteme in den meisten bisherigen Untersuchungen nur grob abgeschätzt. Es wird ein Anteil zwischen 4 und 10 % der IT-Strombedarfs für Netzwerktechnik angenommen (Koohey, 2008; Prakash et al., 2014; BMWi 2009). Eine Ausnahme bildet bisher eine Unter-

suchung des Borderstep Institutes aus dem Jahr 2010, in der der Energiebedarf der Netzwerktechnik über die durchschnittliche Ausstattung von verschiedenen Rechenzentrumstypen mit Netzwerktechnik berechnet und ein Anteil von 8,6 % am IT-Strombedarf der Rechenzentren für 2008 bestimmt.

Die Bestimmung der in Rechenzentren eingesetzten Netzwerktechnik lässt sich nicht über verfügbare Verkaufsstatistiken ermitteln. Dies ist darin begründet, dass Netzwerktechnik nicht nur in Rechenzentren, sondern auch in anderen Netzwerkebenen eingesetzt wird und die verfügbaren Verkaufsstatistiken nicht nach Einsatzzweck differenzieren (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015b). Dominiert wird der Energiebedarf der Netzwerktechnik in Rechenzentren von den vorhandenen Switches. Bei der Technik der Switches kann unterschieden werden, ob sie gemanagt oder unmanaged sind. Gemanagte Switches werden teilweise auch in modularer Bauweise ausgeführt. In Rechenzentren werden hauptsächlich hochwertige gemanagte Switches mit hohen maximalen Übertragungsraten eingesetzt. Der Anteil von modularen Systemen beträgt hier ca. 30 bis 40 %.

Der Anteil des weiteren Equipments wie Loadbalancer, Firewalls und Gateways am Strombedarf der Netzwerktechnik liegt nach Expertenschätzung niedriger als 2 %. Auch werden solche Systeme teilweise virtualisiert auf Servern betrieben und können damit nicht eindeutig der Netzwerktechnik zugeordnet werden. Daher konzentriert sich diese Untersuchung auf die Bestimmung des Energiebedarfs der Switches. Dieser kann über die Abschätzung der Anzahl der Netzwerkports (Ethernet und Speichernetzwerk) in den Rechenzentren und ihrer Leistungsaufnahme bestimmt werden. Diese Vorgehensweise hat mehrere Vorteile:

- Die Zahl der Ports kann über die in den vorangegangenen Kapiteln bestimmten Bestandszahlen für Server und Speicherhardware abgeschätzt werden.
- Da auch die Verkaufszahlen für Netzwerktechnik in der Regel über die Portzahl angegeben werden, kann hierüber eine Kontrolle der ermittelten Werte erfolgen.
- Der Energiebedarf pro Port lässt sich aus verschiedenen Untersuchungen, Datenblättern und aus dem Code of Conduct zum Energiebedarf von Breitband-Equipment relativ gut bestimmen.

Für die Bestimmung des Bestandes an Netzwerkports wird davon ausgegangen, dass die Netzwerktechnik in Rechenzentren vergleichbare Nutzungsdauer wie die Server und Speichertechnik hat, d.h. die Verkaufszahlen für Netzwerkports lassen sich direkt aus den Server- und Speicherverkaufszahlen ableiten. Diese Annahme erscheint gerechtfertigt, da im Rechenzentrum die möglichen Übertragungsraten der Netzwerktechnik eine deutliche höhere Rolle als z.B. bei der Anbindung von Rechenzentren spielt und sich daher neue Technologien wie 10 Gigabit-Ethernet deutlich schneller durchsetzen. Dies führt zu einem schnelleren Ersatz alter Hardware durch neuere Geräte als in anderen Anwendungsfällen. Ein weiteres Argument für diese Annahme ist, dass im Rechenzentrum die IT-Architekturen zumeist in einem Schritt aufgebaut werden und dann nicht mehr verändert werden, bis sie ersetzt werden.

Zur Bestimmung der Anzahl der Ports wird aktuell von ca. drei Ethernetports pro Rackserver, zwei Ethernetports pro Bladeserver und acht Ethernetports pro Midrangeserver ausgegangen. Für die Server, die an ein Speichernetzwerk angeschlossen sind, wird von vier Ports pro Rackserver, zwei Ports pro Bladeserver, und 12 Ports pro Midrangeserver ausgegangen. Ca. 50 % der Server sind an Speichernetzwerken angeschlossen. Diese Zahlen orientieren sich an Hintemann et al. (2010) und sind mit Netzwerkexperten für den aktuellen Bestand in Rechenzentren abgestimmt. Hierbei sind die unterschiedlichen vorhandenen Netzwerktopologien (End of Row, End of Rack, etc.) berücksichtigt. Die Zahl der Netzwerkports pro Server nimmt durch die in den Trends beschriebenen Entwicklungen leicht ab. Es wird von einer

Abnahme von 20 % in zehn Jahren ausgegangen. D.h. z.B. ein neuer Rackserver wird im Jahr 2025 über 2,4 Ethernetports verfügen.

Mit diesem Ansatz ergeben sich für das Jahr 2015 Verkaufszahlen von 1,3 Mio. Ethernetports und 850.000 Speicher-Ports für deutsche Rechenzentren. Die Größenordnung dieser Zahlen erscheint plausibel. Die Plausibilität der Größenordnung der Zahlen wird auch durch die Untersuchungen der EU zum Ecodesign von Servern und Datentechnik (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015b, S. 2) bestätigt. Hier wurden 4,3 Mio. verkaufte Netzwerkports in modulare gemanagte Switche für die EU28 im Jahr 2013 ermittelt. Geht man davon aus, dass der deutsche Anteil ca. 20 % beträgt und ca. 50 % dieser Ports in Rechenzentren eingesetzt werden, so errechnen sich 430.000 verkaufte Ports für die deutschen Rechenzentren. Wie oben dargestellt, liegt der Anteil der Ports in gemanagten modularen Switchen an allen Ethernetports in Rechenzentren in der Größenordnung von ca. 30 bis 40 %.

Für den hier verfolgten Zweck wird beim Bestand der Ethernet-Netzwerktechnik zwischen drei Klassen der Übertragungsraten unterschieden: 1 Gigabit¹⁶, 10 Gigabit und 40 Gigabit. Es ist zwar davon auszugehen, dass bis zum Jahr 2025 sich auch andere Standards durchsetzen, wie z.B. 25, 50 oder 100 Gigabit-Ethernet. Eine größere Verbreitung dieser Technologien wird zu einer Absenkung der Anzahl der Ports führen (ein 100 Gigabit-Port kann zehn 10 Gigabit-Ports ersetzen). Allerdings skaliert der Energiebedarf der Ports relativ gut mit der maximalen Übertragungsrate, so dass dies kaum Auswirkungen auf den errechneten Energiebedarf hat.

Bei Speichernetzwerken werden in der Praxis verschiedene Technologien eingesetzt. Wurden in der Vergangenheit auch physikalisch getrennte Netzwerke – oft auf Basis des Fibre Channel Protokolls – eingesetzt, so nimmt aktuell aufgrund von Konsolidierungsanstrengungen der Einsatz von Ethernet-Technik deutlich zu. Mit dem Protokoll Fibre Channel over Ethernet (FCoE) kann die Übertragung von Fibre-Channel-Rahmen auch in Ethernet-basierten Netzwerken erfolgen. Da auf Basis der verfügbaren Daten zum Einsatz verschiedener Netzwerktechnologien in Speichernetzwerken keine plausiblen Annahmen gemacht werden können, werden diese in der vorliegenden Untersuchung nicht weiter unterschieden. Der Energiebedarf pro Port in Speichernetzwerken wird mit dem jeweiligen Durchschnittswert des Energiebedarfs in den Ethernet-Netzen angenommen.

Bei Neuanschaffungen von Ethernettechnik wird aktuell in Rechenzentren vor allem auf 10 Gigabit-Technik gesetzt. Diese Technik ist seit ca. fünf Jahren verfügbar. Es wird davon ausgegangen, dass der aktuelle Anteil an den verkauften Ports in Rechenzentren 80 % beträgt, der Anteil von 1 Gigabit-Technik beträgt noch 10 % und der Anteil der 40 Gigabit-Technik beträgt ebenfalls aktuell 10 %. Bis zum Jahr 2020 wird sich der Anteil der 40 Gigabit-Technik auf 60 % am Verkauf erhöhen.

Tabelle 6-8 zeigt die mit Hilfe der genannten Annahmen errechneten Gerätebestände der Produktgruppe Netzwerk in der Basisprognose.

¹⁶ Zwar existiert auch noch 100 Megabit-Technik (Fast-Ethernet) im Rechenzentren, allerdings sind dies meist ältere Geräte, die vom Energiebedarf pro Port in der Größenordnung von aktueller 1 Gigabit-Technik liegt, so dass dies in der Berechnung vernachlässigt werden kann.

Tabelle 6-8: Netzwerk: Bestand in Rechenzentren in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025 in der Basisprognose

Netzwerk	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]	[Tsd. Stück]
1 Gigabit-Ethernet-Ports	7.128	3.213	460	126
10 Gigabit-Ethernet-Ports	0	3.481	3.487	1.624
40 Gigabit-Ethernet-Ports	0	201	2.614	4.481
Ports in Speichernetzwerken	4.025	4.269	4.494	4.738

6.4.1 Trends

Folgende Trends haben aktuell eine hohe Bedeutung für die Entwicklung der Netzwerktechnik:

- Zunehmende Netzwerkvirtualisierung und virtuelle Switches im Hypervisor führen zu weniger Ports pro Server, während die zunehmende Servervirtualisierung zu höheren Anforderungen für Übertragungsleistung pro Server führt. In Summe ist davon auszugehen, dass die Verkaufszahlen von Serverports leicht rückläufig sind.
- Bei Speichernetzwerken werden aktuell vor allem die Protokolle Fibre Channel und zunehmend FC over Ethernet oder IP-Speicherprotokolle wie iSCSI und NFS eingesetzt. Welche Technologien sich in Zukunft in welchem Umfang durchsetzen werden ist kaum abzusehen.
- Hinsichtlich der Übertragungsraten bei Ethernet ist Folgendes festzustellen: 1 Gigabit Ethernet ist aktuell sehr weit verbreitet. Bei Neuanschaffungen in Rechenzentren wird vor allem 10 Gigabit Ethernet eingesetzt, 40 Gigabit Ethernet ist bereits verfügbar, 100 Gigabit Ethernet wird es bald geben. Außerdem sind die Standards für 25 und 50 Gigabit Ethernet angekündigt. Fast Ethernet (100 Megabit) spielt in Rechenzentren kaum noch eine Rolle
- Der Trend zu Software Defined Network führt zu einer weitergehenden Standardisierung der Netzwerkhardware.
- Kupferverkabelung ist immer noch dominierend in Rechenzentren und wird vor allem bei kurzen Strecken (z.B. innerhalb des Racks bei Top of Rack – Topologien) eingesetzt. Auch 40 Gigabit Ethernet kann bereits über Kupfer realisiert werden.
- Der Energiebedarf pro Port sinkt kontinuierlich ab, wie die Code of Conducts für Broadband Equipment (European Commission Joint Research Centre, 2008, 2013) zeigen. Ports mit höheren Übertragungsraten haben deutlich höhere Energiebedarfe.

6.4.2 Nutzungsmuster

Die Netzwerkinfrastruktur in Rechenzentren ist 365 Tage im Jahr durchgehend im Betrieb. Es wird – entsprechend den Annahmen für die Server- und Speicherinfrastruktur - davon ausgegangen, dass sie sich durchschnittlich pro Tag fünf Stunden im IDLE-Zustand und 19 Stunden im Aktiv-Betrieb befindet.

6.4.3 Leistungsaufnahme

Die Leistungsaufnahme eines Netzwerkports ist zum einen abhängig von der maximalen Übertragungsleistung des Ports. Die hier angenommenen Leistungsaufnahmen wurden durch Auswertung der Code of Conducts für Breitbandequipment, der technischen Daten aktueller verfügbarer Geräte und Interviews mit Netzwerkherstellern bestimmt. Auf eine Unterscheidung zwischen Kupfer- und Glasfasertechnik wird aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit

zur Verbreitung der Techniken in Rechenzentren verzichtet. Für aktuell verkaufte Technik in Rechenzentren werden folgenden Energiebedarfe angenommen:

- 1 Gigabit-Technik: 1,5 Watt im Aktive-Betrieb, 1 Watt IDLE
- 10 Gigabit-Technik: 3,5 Watt im Aktiv-Betrieb, 3 Watt IDLE
- 40 Gigabit-Technik: 13 Watt im Aktiv-Betrieb, 12,5 Watt IDLE

Der sich im Zeitablauf verringernde Energiebedarf der Netzwerktechnik wird wie folgt berücksichtigt. Für den Aktive-Betrieb wird für im Jahr 2010 neu angeschaffte 1 Gigabit-Technik ein Leistungsbedarf von drei Watt angenommen, für 10 Gigabit-Technik von sieben Watt. Für 2025 wird im Aktiv-Betrieb für 1 Gigabit-Technik ein Watt, für 10 Gigabit-Technik zwei Watt und für 40 Gigabit-Technik sieben Watt angenommen (IDLE-Modus jeweils ein halbes Watt weniger).

Für die Ports in Speichernetzwerken werden vereinfachend die mit den Stückzahlen gewichteten Durchschnittswerte der Ethernet-Ports in den jeweiligen Jahren angenommen.

6.4.4 Energiebedarf

In Abbildung 6-10 sind zusammenfassend die Ergebnisse zum Energiebedarf der Produktgruppe Netzwerk in Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2010 und 2015 sowie Prognosen zu den Jahren 2020 und 2025 dargestellt. Vor allem im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 ist durch die Zunahme leistungsfähiger Netzwerktechnik mit hohen Durchsatzraten ein Anstieg im Energiebedarf zu erwarten. In den folgenden Jahren werden dann durch weitere Verbesserungen der Energieeffizienz pro Port sowie durch den zunehmenden Einsatz von Netzwerkvirtualisierung die steigenden Leistungsbedarfe ausgeglichen, so dass es nicht zu einer weiteren Erhöhung des Energiebedarfs kommt.

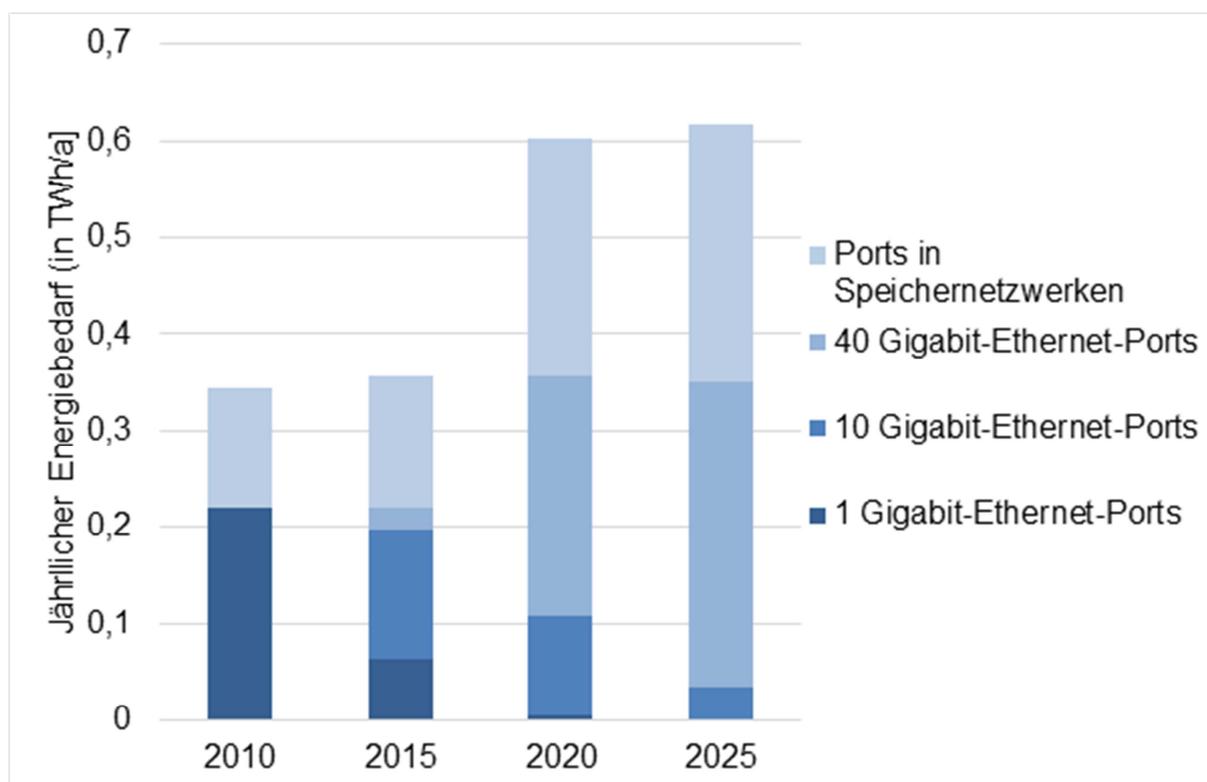


Abbildung 6-10: Netzwerk: Entwicklung des jährlichen Energiebedarfs in der Produktgruppe Netzwerk in der Basisprognose

6.5 Rechenzentrumsinfrastruktur

6.5.1 Daten und Ergebnisse im Überblick

Die in Tabelle 6-9 zusammengefassten Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse für die Basisprognose der Produktgruppe Infrastruktur bis 2025 werden in den anschließenden Abschnitten detailliert erläutert.

Tabelle 6-9: Infrastruktur: Basisprognose für jährlichen Energiebedarf der Produktgruppe Infrastruktur in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025

Infrastruktur	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[in GWh/a]	[in GWh/a]	[in GWh/a]	[in GWh/a]
benötigte Kühlenergie p.a.	4.306	5.730	7.848	9.886
IT-Energiebedarf p.a. (über USV abgesichert)	5.782	7.023	8.956	10.932
Nutzung Stunden pro Tag (365 Tage/Jahr)	Mittlere Last [h]	Mittlere Last [h]	Mittlere Last [h]	Mittlere Last [h]
Klimaanlagen	24	24	24	24
USV-Anlagen	24	24	24	24
Sonstige Infrastruktur	24	24	24	24
Durchschnittliche Effizienzwerte im Bestand				
Klimaanlagen (Jahresarbeitszahl)	1,56	1,95	2,55	3,24
USV-Anlagen	71 %	76 %	80 %	83 %
Energiebedarf pro Jahr	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
Klimaanlagen	2.757	2.944	3.083	3.047
USV-Anlagen	1.653	1.675	1.783	1.859
sonstiges (5 % des IT-Strombedarfs)	289	351	448	547
IT-Infrastruktur gesamt	4.700	4.970	5.314	5.452

6.5.2 Produktbestand

Die Rechenzentrumsinfrastruktur, d.h. insbesondere die Anlagen zur Klimatisierung und zur Stromversorgung, sind für einen erheblichen Teil des Energiebedarfs der Rechenzentren verantwortlich. Auch wenn diese Anlagen selbst nicht als IKT einzustufen sind, so ist doch ihr Energiebedarf direkt auf die IKT-Nutzung zurückzuführen, so dass sie im Rahmen dieser Untersuchung betrachtet werden. Die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur wird in der Regel mit Hilfe der Power Usage Effectiveness (PUE) beschrieben. Dieser Wert gibt an, wie hoch der Gesamtenergiebedarf eines Rechenzentrums pro Jahr im Verhältnis zum Energiebedarf der IKT des Rechenzentrums ist. Je nach Art und Baujahr von Rechenzentren variiert dieser Wert sehr stark. So gibt Google für seine Cloud-Rechenzentren z.B. einen durchschnittlichen PUE-Wert von 1,12 für seine Rechenzentren an (Google, 2014), die deutsche Telekom geht bei den Rechenzentren von T-Systems im Jahr 2014 von durchschnittlich 1,64 aus (Deutsche Telekom, 2014), Vodafone gibt für seine Rechenzentren in Europa einen Durchschnittswert von 1,46 an (Vodafone Group PLC, 2015). In einer Untersuchung von IDC, in der kleine Rechenzentren befragt wurden, ist eine durchschnittliche PUE von 2,4 ermittelt worden (Nebuloni & Olah, 2014). Die meisten bekannten Untersuchungen gehen aktuell von einer durchschnittlichen PUE aller Rechenzentren von ca. 2,0 aus (z.B. Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2015a; Koomey, 2011, 2008; Prakash et al., 2014; BMWi 2009).

Im Unterschied zu den genannten bisherigen Untersuchungen, in denen die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur pauschal abgeschätzt wird, verfolgt die vorliegende Untersuchung den Ansatz, den Energiebedarf der Anlagen detailliert zu modellieren. Dabei orientiert sich der Modellierungsansatz an den Berechnungsmodellen für die IKT-Komponenten, d.h. es werden jeweils die Jahresverkaufszahlen bestimmt sowie die dazugehörigen Daten zur Effizienz der Anlagen. Da Infrastrukturanlagen nur sehr schlecht in Stückzahlen bestimmt werden können, beziehen sich die Jahresverkaufszahlen auf die Leistungen der pro Jahr installierten Anlagen. Diese können aus den Verkaufszahlen für IT-Komponenten und Annahmen zu typischen Nutzungsdauern abgeleitet werden.

Es werden folgende Anlagenkategorien unterschieden:

- Anlagen zur Kühlung und Klimatisierung (kurz: Klima)
- Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV)
- Sonstige Rechenzentrumsinfrastruktur, wie Transformatoren, Überwachung, Brandschutz, etc.

Klima und USV werden detailliert modelliert, für die sonstige Rechenzentrumsinfrastruktur wird pauschal ein Energiebedarf von 5 % des Strombedarfs der IT angenommen. Das Modell berücksichtigt auch den Anteil freier Kühlung bei den Klimaanlagen sowie die Tatsache, dass ein großer Teil der USV-Anlagen nicht effizient genutzt wird, da ihre Auslastung teilweise deutlich unter 20 % liegt.

Ein bei der Modellierung zu berücksichtigender wesentlicher Sachverhalt ist die Tatsache, dass ein großer Teil der verkauften Server nicht in Rechenzentren betrieben wird, sondern in typischen Büroumgebungen. Diese sogenannten Stand-Alone-Server werden nicht über gesonderte Klimaanlagen gekühlt – allenfalls erfolgt eine Kühlung über die Büroklimaanlagen.¹⁷ Da auch Stand-Alone-Server oft wichtige Aufgaben erfüllen, sind sie zumeist über eine USV abgesichert. Für die Modellierung wird daher angenommen, dass alle betrachteten IKT-Geräte (Server, Speichersysteme, Netzwerktechnik) über USVen abgesichert sind. Die gesonderte Klimatisierung von Stand-Alone-Servern ist nicht notwendig, Speichersysteme und Netzwerktechnik werden klimatisiert.

Die Berechnung des Bestandes von Klimaanlagen und USVen erfolgt mit Hilfe der notwendigen Leistung der in diesem Kapitel betrachteten IKT-Geräte. Für USVen wird angenommen, dass die gesamte Leistungsaufnahme der IKT-Geräte über USVen abgesichert wird. Die notwendige Kühlleistung berechnet sich dagegen über die gesamte Leistungsaufnahme der IKT-Geräte abzüglich der Leistung der Stand-Alone-Server.

Im Jahr 2008 wurden nach einer Erhebung von Techconsult ca. 40 % der Server als Stand-Alone-Server betrieben (Hintemann et al., 2010). Aktuellere Zahlen hierzu sind leider nicht verfügbar. Es ist aber anzunehmen, dass mit den Trends der Konsolidierung und Zentralisierung der Anteil von Stand-Alone-Servern abnimmt. Dennoch wird er auch heute noch erheblich sein. Im Jahr 2015 wurden noch ca. 22 % der Server in Unternehmen verkauft, die weniger als zehn Mitarbeiter haben. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil dieser Server als Stand-Alone-Systeme und nicht in einem Rechenzentrum betrieben wird. Hinzu kommen noch die Server, die in größeren Unternehmen im Stand-Alone-Betrieb laufen.

Für die Modellierung wird angenommen, dass im Jahr 2010 noch 40 % der Server als Stand-Alone-Server betrieben wurden und dieser Anteil bis zum Jahr 2025 auf 15 % abnimmt.

¹⁷ Der Energiebedarf von Büroklimaanlagen ist nicht im Scope dieser Untersuchung, andernfalls müsste auch die Abwärme von PCs und Monitoren berücksichtigt werden.

Unter den gemachten Annahmen errechnen sich die in Tabelle 6-10 dargestellten im Jahresmittel durchschnittlichen Leistungsbedarfe für Klima und USV.

Tabelle 6-10: Durchschnittliche Leistungsbedarfe für die Rechenzentrumsinfrastruktur in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025

Infrastruktur	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[in MW]	[in MW]	[in MW]	[in MW]
benötigte Klimaleistung	492	647	826	996
über USVen abgesicherte IT-Leistung	660	794	949	1.113

Für Infrastrukturen in Rechenzentren wird eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 18 Jahren angenommen. Mit dieser Annahme für Ersatzinvestitionen und den Kapazitätsausweitungen für die einzelnen Jahre können die jährlich neu hinzukommenden Klima- und USV-Leistungen bestimmt werden. Hierbei handelt es sich um die Leistungsdaten im Jahresmittel. Die installierten Leistungen werden noch deutlich höher ausfallen, um den Leistungsbedarf in allen Situationen abdecken zu können. Da der Energiebedarf sich jedoch aus den durchschnittlichen Leistungen bestimmt, wird mit diesen Werten gerechnet.

6.5.3 Trends

Folgende wesentliche Trends sind bei der Rechenzentrumsinfrastruktur festzustellen:

- Die Effizienz in der Rechenzentrumsinfrastruktur ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich angestiegen – insbesondere in der Klimatisierung wurden bereits deutliche Fortschritte erreicht (Hintemann & Fichter, 2013). Die indirekte oder direkte freie Kühlung hat sich bei Neubau oder Modernisierung von Rechenzentren oberhalb 50 kW Leistungsaufnahme aufgrund der Effizienzgewinne als Standard durchgesetzt.
- Moderne Rechenzentren können bei der Klimatisierung eine Jahresarbeitszahl größer als fünf erreichen. Die Jahresarbeitszahl gibt auf das Jahr bezogen das Verhältnis der aus dem Rechenzentrum abzuführenden Wärmemenge zu der dafür einzusetzenden Energie an.
- Die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Rechenzentren wird auch in Zukunft höchste Priorität besitzen. Neue Technologien, deren Zuverlässigkeit nicht nachgewiesen ist und die größere Umstellungen im Gesamtkonzept erfordern, setzen sich daher nur langsam durch. Dies gilt z.B. für den Einsatz von Brennstoffzellen bei Netzersatzanlagen oder die Gleichstromversorgung von Rechenzentren. Außerdem ist davon auszugehen, dass auch weiterhin erhebliche Energiebedarfe dadurch verursacht werden, dass aus Redundanzgründen mehrere Infrastruktursysteme gleichzeitig betrieben werden.
- Rechenzentrumskonzepte, bei denen der Ausfall von Teilen der IT-Hardware bewusst in Kauf genommen wird, werden sich in Deutschland nur verzögert durchsetzen. Solche Konzepte werden insbesondere in sehr großen Cloud-Rechenzentren eingesetzt. Der Ausfall einzelner IT-Komponenten oder gar Teile eines Rechenzentrums kann durch andere IT-Strukturen – ggf. in anderen Rechenzentren – aufgefangen werden. Bei solchen Konzepten kann z.B. auf eine redundante Kühlung verzichtet werden oder direkt mit Außenluft gekühlt werden. In Deutschland werden solche Mega-Cloud-Rechenzentren bislang aber kaum aufgebaut (Hintemann 2015a).
- Die technologische Entwicklung verspricht auch in Zukunft weitere Effizienzgewinne in der Rechenzentrumsinfrastruktur, insbesondere auch durch Maßnahmen des übergreifenden (Energie-)Managements. Aufgrund des immer kleineren Anteils am Gesamtstrombedarf sinken jedoch die durch Effizienzverbesserungen in der Rechenzentrumsinfrastruktur möglichen Einsparpotenziale am Gesamtenergiebedarf der Rechenzentren im Zeitablauf kontinuierlich. Beispiel: In der Vergangenheit waren durch Optimierung der Kühlung Einsparungen am Gesamtstrombedarf eines Rechenzentrums in Größenordnungen von 20 bis 40 % keine Seltenheit. Erreicht ein modernes

Rechenzentrum eine Jahresarbeitszahl von fünf, so beträgt der Anteil der Kühlung meist insgesamt nur noch 20 bis 30 % des Gesamtstrombedarfs eines Rechenzentrums, die Potenziale für weitere Verbesserungen liegen also eher im einstelligen Prozentbereich.

- Der Energiebedarf der Kühlung kann auch ganz erheblichen Einfluss auf die künftige räumliche Struktur der Rechenzentren haben. Aktuell werden Standortentscheidungen bei neuen und sehr großen Cloud-Rechenzentren auch danach gefällt, wie hoch die Energiekosten für die Klimatisierung sind. Je höher die durchschnittliche Außentemperatur, desto höher die Klimatisierungskosten. Nicht zuletzt deshalb sind innerhalb von Europa vor allem die kühlen skandinavischen Länder und Island begehrte Rechenzentrumsstandorte (Automotive IT, 2012; Melanchthon, 2011; Windeck, 2013). Gelingt es, die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur weiter zu erhöhen, so spielt die Außentemperatur künftig eine geringere Rolle bei Standortentscheidungen internationaler Unternehmen. Insbesondere, wenn es gelingt, über eine Erhöhung der Zulufttemperatur in den Rechenzentren künftig ganzjährig freie Kühlung zu nutzen und damit auf Kompressionskälte zu verzichten, spielt die Außentemperatur kaum noch eine Rolle.

6.5.4 Nutzungsmuster

Die Rechenzentrumsinfrastrukturen sind im ganzen Jahr an 365 Tagen und 24 Stunden im Betrieb.

Bei USVen wird zwischen Anlagen unterschieden, die im normalen Leistungsbereich (meist 30 bis 50 %) ausgelastet werden und solchen Anlagen, die unterhalb von 20 % ausgelastet sind. Sinkt die Auslastung stark ab, so reduziert sich der Wirkungsgrad einer USV sehr deutlich (Abbildung 6-11). Durch die Erfordernis der Redundanz von USVen und die Tatsache, dass eine USV oft bereits für eine mögliche spätere Vollauslastung eines Rechenzentrums ausgelegt wird, treten solche Auslastungsgrade in der Praxis oft auf. Auch eine unzureichende Bestimmung der maximalen möglichen Leistungsaufnahme der IKT-Komponenten führt dazu, dass die Auslastungsgrade der USVen sehr niedrig sind (Terrahe & Wilkens, 2012).

Es wird davon ausgegangen, dass 30 % der USV-Anlagen im Auslastungsbereich unterhalb von 20 % betrieben werden. In Zukunft ist mit einem verstärkten Aufbau von neuen Rechenzentrumskapazitäten zu rechnen, die in der Regel in der Anfangszeit wenig ausgelastet sind. Daher wird angenommen, dass sich der Anteil dieser ineffizient betriebenen USVen bis zum Jahr 2025 nicht verringert.

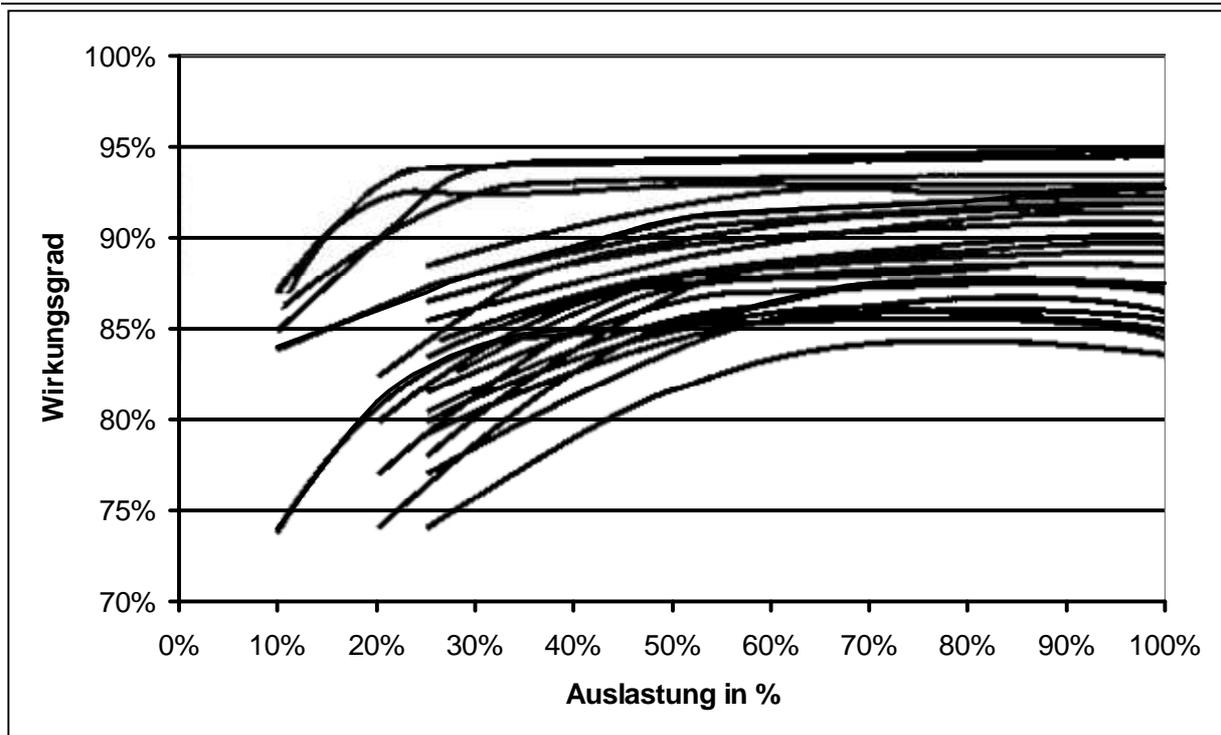


Abbildung 6-11: Wirkungsgrade von Online-USVen in Abhängigkeit von der Auslastung (Quelle: (LBNL, 2005, eigene Darstellung))

6.5.5 Leistungsaufnahme

Der technische Fortschritt im Bereich der Rechenzentrumsinfrastruktur war in den vergangenen Jahren erheblich. Waren vor sieben bis acht Jahren noch Rechenzentren mit einer PUE von über drei keine Seltenheit, so werden heute regelmäßig Rechenzentren mit PUE-Werten unterhalb von 1,5 in Betrieb genommen.

Im Code of Conduct für USVen (European Commission, 2011) werden für hohe Auslastungen und große USVen mit Leistungen über 200 kVA Wirkungsgrade von bis zu 98 % vorgesehen. Bei 25 % Auslastung können die Wirkungsgrade ebenfalls noch oberhalb von 95 % liegen. Für niedrigere Auslastungen sind keine Werte angegeben. Aufgrund der in Abbildung 6-11 dargestellten typischen Verläufe der Wirkungsgradkurven ist hier mit deutlich niedrigeren Wirkungsgraden zu rechnen. Für kleinere USV-Systeme können bei aktuellen Modellen gemäß Code of Conduct die maximalen Wirkungsgrade selbst bei hoher Auslastung unterhalb von 90 % liegen.

Für die Modellierung wird für das Jahr 2015 von einem Wirkungsgrad von Neuanlagen bei durchschnittlicher Auslastung von 95 % ausgegangen (2010: 93 %, 2025: 98 %). Bei sehr schlecht ausgelasteten Systemen wird aktuell von einem Wirkungsgrad von 50 % ausgegangen, der sich bis zum Jahr 2025 auf 60 % verbessert.

Der Energiebedarf der Klimatisierung liegt in vielen Bestandsrechenzentren noch in der Größenordnung des Energiebedarfs der IT, d.h. hier liegt die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Klimatisierung bei eins. In der aktuellen Vergabegrundlage für den Blauen Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL gGmbH, 2015) wird für neu gebaute Rechenzentren eine Jahresarbeitszahl von größer sieben gefordert. Für Anlagen bis zu einem Alter von fünf Jahren wird eine JAZ von fünf gefordert und für ältere Anlagen eine JAZ von 3,5. Diese Werte sind nur von sehr guten Rechenzentren mit Freier Kühlung einzuhalten. Für durchschnittliche Rechenzentren wird angenommen, dass die durchschnittliche JAZ von Neuanlagen bei Freier Kühlung aktuell 3,5 beträgt und sich bis zum Jahr 2025 auf fünf erhöht. Für ältere Anlagen wird mit niedrigeren Werten gerechnet (2005: JAZ 2,4 bei Freier Kühlung). Bei Anla-

gen ohne Freie Kühlung von einer JAZ aktuell (2015) durchschnittlich zwei und im Jahr 2025 von drei ausgegangen. Für 2005 wird hier eine JAZ von 1,2 angenommen. Solche Anlagen werden aktuell in der Regel nur noch in kleineren Rechenzentren installiert, bei denen dem Energiebedarf immer noch sehr wenig Aufmerksamkeit gewidmet wird, wie oben dargestellt.

Es wird davon ausgegangen, dass aktuell größere Rechenzentren (oberhalb 50 kW IT-Leistung) nur noch in Ausnahmefällen ohne Freie Kühlung neu gebaut werden. Der Anteil der neuen Rechenzentren ohne Freie Kühlung wird für 2015 mit 30 % angenommen. Er sinkt bis zum Jahr 2025 auf 10 %. Im Jahr 2010 betrug er noch 40 %.

Die sich aus den genannten Annahmen errechneten Effizienzwerte für Anlagen zu USV und Klima sind in Tabelle 6-9 dargestellt.

6.5.6 Energiebedarf

In Tabelle 6-10 sind zusammenfassend die Ergebnisse zum Energiebedarf der Produktgruppe Rechenzentrumsinfrastruktur in Deutschland in den Jahren 2010 und 2015 sowie Prognosen zu den Jahren 2020 und 2025 dargestellt. Trotz erheblicher Verbesserung der Effizienzkenzahlen steigt der Energiebedarf der Infrastrukturkomponenten in der Basisprognose zwischen 2015 und 2025 um 10 % an. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass sich die abzuführende Wärmeleistung in dem Zeitraum um 54 % erhöht und die über die USV abgesicherte IT-Leistung um 40 % erhöht. Aktuell und auch in Zukunft wird der größte Anteil des Energiebedarfs der Rechenzentrumsinfrastruktur durch die Kühlung und Klimatisierung verursacht.

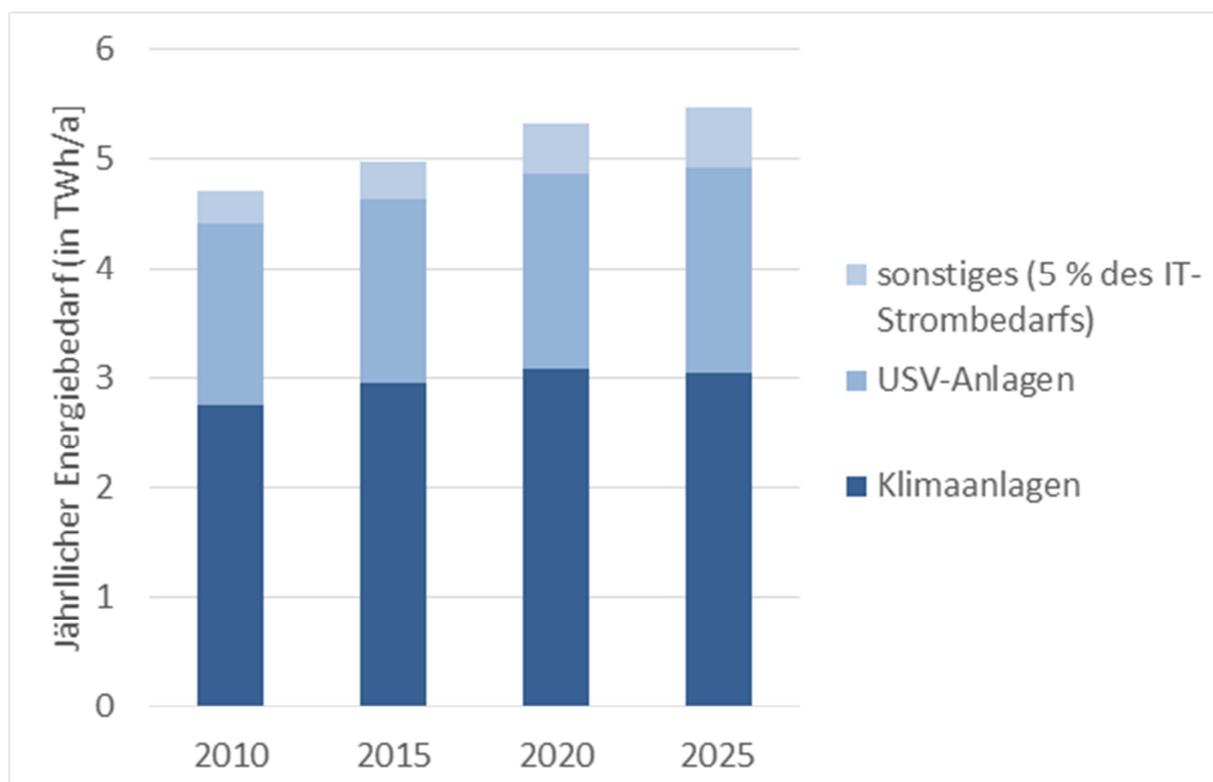


Abbildung 6-12: Netzwerk: Entwicklung des jährlichen Energiebedarfs in der Produktgruppe Netzwerk in der Basisprognose

Zur Einordnung der ermittelten Effizienzkenzahlen und zum Vergleich mit anderen Untersuchungen sind in Tabelle 6-11 die im Modell berechneten durchschnittlichen Werte für die PUE in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025 dargestellt. Hierbei sind die Stand-Alone-Server nicht berücksichtigt.

Tabelle 6-11: Durchschnittliche PUE der Rechenzentren in Deutschland (Bestand)

	2010	2015	2020	2025
PUE	1,98	1,80	1,65	1,54

Die Tabelle 6-12 stellt dar, wie sich die Werte für die PUE im Jahr 2015 auf die verschiedenen Größenklassen von Rechenzentren im Jahr 2015 aufteilen. Diese Aufteilung wurde mit Hilfe des Borderstep-Bestandsmodells für die Rechenzentrumsinfrastruktur errechnet. Große und Mittlere Rechenzentren, bei denen die jährlichen Stromkosten im Bereich von mehreren Millionen Euro liegen, weisen deutlich bessere Werte für die PUE auf als kleinere Lokationen. Eine Ursache hierfür ist auch der oben beschriebene Sachverhalt, dass aktuell das Wachstum der Rechenzentrumskapazitäten vor allem in den größeren Kategorien stattfindet, so dass diese im Durchschnitt moderner sind.

Tabelle 6-12: Durchschnittliche PUE in verschiedenen Rechenzentrumskategorien im Jahr 2015 in Deutschland

Rechenzentrumskategorie	PUE in 2015
Serverschrank und –raum (bis 100 m ² IT-Fläche)	2,1
Kleines Rechenzentrum (über 100 bis 500m ² IT-Fläche)	1,9
Mittleres Rechenzentrum (über 500 bis 5.000 m ² IT-Fläche)	1,7
Großes Rechenzentrum (über 5.000 m ² IT-Fläche)	1,6

6.5.7 Auswirkungen der Nutzung von End User Devices auf den Energiebedarf der Rechenzentren

Die zunehmende Nutzung von End User Devices wie Smartphones, Tablets, Notebooks, internetfähige Fernseher, deren Funktionen oft nur im Zusammenspiel mit zentralen Diensten in Rechenzentren möglich sind, führt dazu, dass sich der Energiebedarf der IKT zumindest teilweise verlagert. Die energieeffizienten Endgeräte selbst benötigen immer weniger Energie, während durch den zunehmenden Datenverkehr der Energiebedarf der Netze und der Rechenzentren ansteigt.

Für die hier betrachteten Rechenzentren gibt es bislang nur wenige Untersuchungen, die den Zusammenhang zwischen Nutzung von internetfähigen Endgeräten und Energiebedarf in Rechenzentren behandeln. Die Ergebnisse für den in Rechenzentren induzierten Energiebedarf variieren je nach Annahmen zum Teil sehr deutlich und liegen zwischen 2 kWh pro Endgerät und Jahr (CEET, 2013) und 400 kWh pro Endgerät und Jahr (Mills, 2013). Eine Untersuchung des Borderstep Institutes errechnet für das Jahr 2014 je nach Endgerät Energiebedarfe zwischen 17 und 50 kWh/a (Hintemann & Fichter, 2015). Insgesamt wird der durch die Nutzung von internetfähigen Endgeräten im Jahr 2014 induzierte Energiebedarf in Deutschland auf 2.500 GWh/a bestimmt. Im Jahr 2010 betrug dieser noch ca. 1.000 GWh/a. Zwar wird ein größerer Teil dieses in Rechenzentren induzierten Energiebedarfes im Ausland anfallen, insbesondere bei den großen Cloud-Rechenzentren von Google, Facebook, Microsoft, etc. Dennoch ist auffällig, dass dieser Anstieg in der gleichen Größenordnung liegt, wie der Gesamtanstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren Deutschland in diesem Zeitraum.

7 Telekommunikationsnetze im Detail

7.1 Produktkategorien

In der modellbasierten Berechnung des elektrischen Energiebedarfs der Telekommunikationsnetze werden Technikelemente aller wesentlichen Netzbereiche, d.h. dem Mobilfunknetzen und den Festnetzen einschließlich der dazugehörigen Aggregations- und Transportnetze erfasst. Die separate Erfassung unterschiedlicher Technologien (Technikelemente) reflektiert die historische Entwicklung des Netzausbaus und damit auch die Entwicklung der Leistungsfähigkeit mit Bezug auf den Datenverkehr. Diese Unterscheidung ist vor dem Hintergrund weiterhin schnell zunehmender Datenverkehrsmengen ein zentraler Aspekt in der Modellbildung.

In der modellbasierten Berechnung werden im Mobilfunkzugangnetz Technikelemente der zweiten bis vierten Mobilfunkgeneration (2G/GSM, 3G/UMTS, 4G/LTE), der künftigen fünften Mobilfunkgeneration (5G) sowie die dazugehörigen Aggregations- und Kernnetze erfasst. Die Festnetzzugangnetze beinhalten hauptsächlich die verschiedene Varianten der DSL-Technik (ADSL, VDSL, etc.), das koaxiale TV-Kabelnetz (DOCSIS) sowie die direkten Glasfaseranschlüsse (FTTH/B). Die entsprechenden Aggregations- und Kernnetze werden stark vereinfacht über ein Netzknotenmodell abgebildet. Letztlich wird auch noch das alte Telefonnetzes (PSTN, ISDN) und deren entsprechenden Vermittlungs- und Übertragungstechnik (SDH, ATM) erfasst, dessen Rückbau bis 2018 erfolgen soll.

Einführend sei gesagt, dass die Datenlage bezüglich des genauen Gerätebestandes, des Beschaltungsgrades der Anlagen und auch der sonstigen energiegebenötigenden Standortinfrastruktur, d.h. Art und Umfang einer separaten Kühlung bzw. auch der unterbrechungsfreien Stromversorgung, deutlich begrenzt ist und daher die Prognosen mit einer höheren Unsicherheit behaftet sind.

7.2 Mobilfunknetze

7.2.1 Datenüberblick

In der nachstehenden Tabelle sind alle wesentlichen Annahmen für die Basisprognose der Mobilfunknetze im Überblick angegeben. Diese Annahmen werden in den folgenden Abschnitten im Detail erläutert.

Tabelle 7-1: Datenüberblick Basisprognose Mobilfunknetze

Bestand an Mobilfunkanlagen	2010	2015	2020	2025
2G Mobilfunkanlagen	65.000	45.000	45.000	30.000
3G Mobilfunkanlagen	47.000	45.000	45.000	30.000
4G Mobilfunkanlagen	1.000	30.000	67.500	90.000
5G Mobilfunkanlagen	0	0	30.000	67.500
Gesamt	113.000	120.000	187.500	217.500
Leistungsaufnahme in Watt	2010	2015	2020	2025
2G Mobilfunkanlagen	850	780	690	600
3G Mobilfunkanlagen	800	780	690	600
4G Mobilfunkanlagen	750	750	690	600
5G Mobilfunkanlagen	0	0	600	600
PUE-Faktor	1,7	1,6	1,5	1,4
Mobilfunk Kernnetz	2010	2015	2020	2025
Bestand RAN	113.000	120.000	187.500	217.500
Anzahl Netzknoten	4	4	4	4
Nutzerzahl pro Netzknoten	100	100	100	100
Leistungsaufnahme pro Netzknoten	0,400	0,561	0,787	1,104
PUE-Faktor	1,7	1,6	1,5	1,4
Nutzungsmuster (alle)	2010	2015	2020	2025
365 Tage pro Jahr	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
	[h/d]	[h/d]	[h/d]	[h/d]
Stunden pro Tag	24	24	24	24
Energiebedarf in TWh/a	2010	2015	2020	2025
2G Mobilfunkanlagen	0,814	0,485	0,405	0,221
3G Mobilfunkanlagen	0,554	0,485	0,405	0,221
4G Mobilfunkanlagen	0,011	0,311	0,608	0,662
5G Mobilfunkanlagen	0	0	0,235	0,497
Mobilfunk Kernnetz	0,266	0,372	0,770	1,178
Gesamt	1,645	1,654	2,423	2,778

7.2.2 Produktbestand

Das Bestandsmodell reflektiert im Ansatz die prinzipielle Netzarchitektur heutiger Mobilfunknetze. So wird einerseits zwischen dem Zugangnetz mit seinen mehreren zehntausend Basisstationen sowie andererseits dem Aggregations- und Kernnetz mit seiner deutlich geringeren Anzahl an Netzsteuerungs- und Übertragungsanlagen unterschieden (siehe Abbildung 7-1). Darüber hinaus wird eine Unterscheidung zwischen zweiter (2G/GSM), dritter (3G/UMTS), vierter (4G/LTE) und fünfter (5G/SRAN) Mobilfunkgeneration vorgenommen. Dieser Ansatz begründet sich primär aus dem Umstand, dass neuere Technikgenerationen immer höhere Bitraten und damit internetbasierte Dienste mit wachsenden Datenmengen unterstützen. Gleichzeitig wird die neue Technik (Hardware) aufgrund des anhaltenden technischen Fortschritts im Bereich der Halbleiterbauelemente immer energieeffizienter. Mittelfristig werden die unterschiedlichen Technologiegenerationen einschließlich bislang getrennter Funktionen wie beispielsweise Elemente der Netzwerksteuerung immer stärker in eine

singuläre Hardwarelösung, sogenannte Single Radio Access Network (SRAN), migrieren. Hierdurch verändern sich die Anzahl der Hardwareelemente und damit der Gerätebestand in den einzelnen Netzbereichen. Vor diesem Hintergrund werden für die Modellierung des Technikbestandes funktionale Technikelemente aller Mobilfunkgenerationen unterschieden.

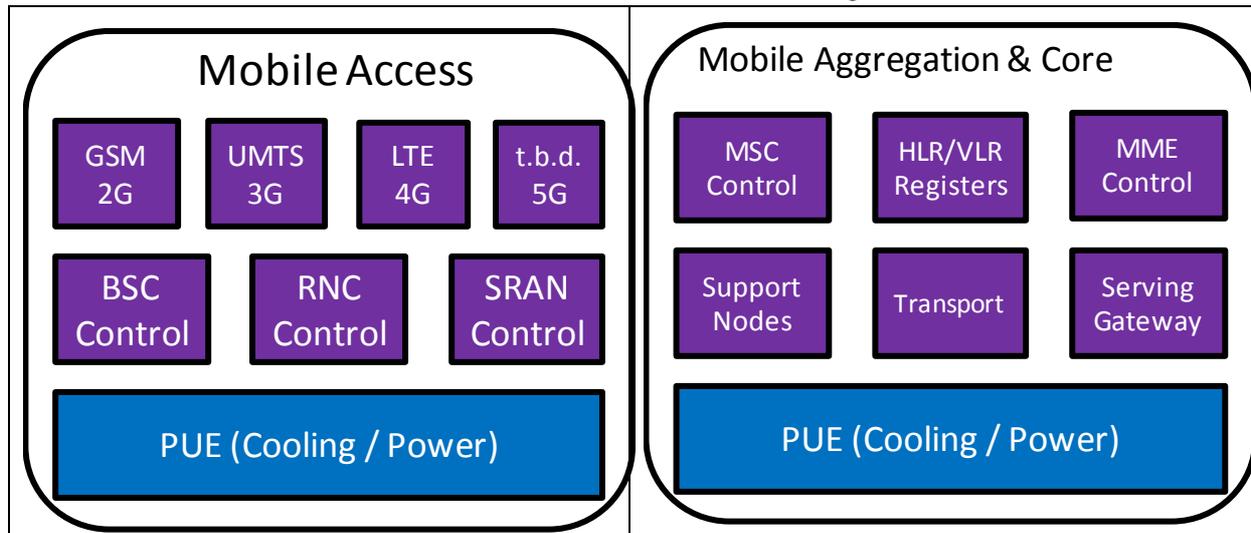


Abbildung 7-1: Mobilfunknetze: Technikelemente der Teilnetze

Mobilfunkzugangsnetze (Mobile Access):

Mobilfunkzugangsnetze (Radio Access Network, RAN) bestehen prinzipiell aus mehreren Technikelementen. Einerseits den Mobilfunkbasisstationen (Radio Base Station), welche die Funkverbindung zu den mobilen Endgeräten realisieren und andererseits der Netzwerk-Steuertechnik (Network Control), welche die Verbindung zum Aggregations- bzw. Kernnetz herstellen. Mobilfunkbasisstationen beinhalten aktive Elektronikmodule wie Modems, Netzwerk-Controller und Schnittstellen, Sende- und Empfangsverstärker und Antennen. Je nach Konfiguration und Standort ist die unterberechnungsfreie Stromversorgung und Kühlung der Mobilfunkanlagen ausgelegt.

Der elektrische Energiebedarf der Mobilfunkzugangsnetze resultiert maßgeblich aus der Art, Anzahl und Antennenkonfiguration der Mobilfunkbasisstationen. Die singular größte elektrische Leistungsaufnahme haben meist die Sende- und Empfangsverstärker (Transceiver) der Mobilfunkanlagen. Je nach Technologiegeneration (2G, 3G, etc.), funktionalem Integrationsgrad (Integrated oder Remote Radio Heads, etc.), Zellkonfiguration (klassische Makros oder heterogene Funkzellen unter Einsatz mehrere Kleinzellen) und auch Antennenanbindung (Coax-Kabel oder Glasfaser) variiert die elektrische Leistungsaufnahme der Mobilfunkbasisstation in Größenordnung von mehreren zehn bis hundert Watt. Diese Variationsmöglichkeiten erlauben es dem Betreiber, die Funkzellen effizient zu dimensionieren und mittelfristig auch lastadaptiv zu betreiben.

Vor diesem Hintergrund wären zur präzisen Berechnung des Energiebedarfs der Mobilfunkzugangsnetze umfangreiche statistische Daten zur Art, Anzahl, Konfiguration und Auslastung der Mobilfunkanlagen nötig. Diese Daten stehen öffentlich nur begrenzt zur Verfügung. Für die vorliegende Berechnung wurden hauptsächlich Statistiken der Bundesnetzagentur zum Bestand an Mobilfunkanlagen und der Anzahl von Mobilfunkstandorten in Deutschland verwendet (siehe unten). Da diese Statistik aber nicht zwischen einzelnen Technikelementen unterscheidet, werden einige Annahmen zum konkreten Technikbestand getroffen.

In der Modellbildung werden Mobilfunkanlagen der zweiten, dritten, vierten und fünften Mobilfunkgeneration unterschieden.¹⁸ Es wird die pragmatische Annahme getroffen, dass eine Mobilfunkanlage prinzipiell aus Antennen, der Sende- und Empfangstechnik (Radio Head mit Transceivern), Basisbandmodems und sonstige Signalverarbeitung (Basisstation), der Stromversorgung und integrierter Kühlung besteht. Es wird des Weiteren davon ausgegangen, dass die Mobilfunkanlage durchschnittlich drei Sektoren (Radio Heads) beinhaltet. In der mittelfristigen Prognose werden die bislang in separater Hardware aufgebauten Mobilfunkbasisstationen in eine Hardware als Multi-Standard-Basisstation (SRAN) zusammengeführt. Diese funktionale Integration beinhaltet auch Elemente der Netzsteuerungstechnik (NC), die bislang in getrennter Hardware betrieben wurde. Daher ändern sich die Annahmen zur elektrischen Leistungsaufnahme mit der Zeit und reduzieren sich aufgrund der angenommenen Integration.

Je nach Mobilfunkgeneration werden an den Funkanlagenstandorten neben den Basisstationen auch Netzsteuerungstechnik (Network Control) und Rücktransporttechnik (Backhaul) betrieben. Bestandszahlen zu diesen Netzzelementen waren für die vorliegende Studie nicht verfügbar und werden abgeschätzt. Diese Netzelemente werden im Modell dem Kernnetz zugeordnet.

Generell ist die Datenlage hinsichtlich Bestandszahlen im Mobilfunkbereich sehr begrenzt. Für die Studie wurde im Wesentlichen auf publizierte Daten der Bundesnetzagentur (BNetzA) aufgesetzt und mit Angaben beispielsweise aus Presseartikeln ergänzt. Die BNetzA veröffentlicht seit 2007 eine jährliche Statistik zur Ausstattung von Funkanlagenstandorten (BNetzA 2015a). Die genaue Anzahl und Art der Basisstationen lässt sich aus dieser Statistik zwar nicht herleiten, da unbekannt ist, welche anderen Anlagen an den Standorten betrieben werden, aber dennoch bietet die Statistik einige zusätzliche Anhaltspunkte zum Bestand (siehe Tabelle 7-2).

Tabelle 7-2: BNetzA-Statistik zur Standortmitbenutzung 2010 und 2015

Stand: Juni 2010			Anzahl Anlagen	Stand: Mai 2015		
Verteilung	Mobilfunkstandorte	Anlagen pro Standort		Verteilung	Mobilfunkstandorte	Anlagen pro Standort
37,00%	25.625	25.625	1	31,00%	22.622	22.622
31,00%	21.470	42.940	2	21,00%	15.325	30.649
13,00%	9.004	27.011	3	16,00%	11.676	35.028
8,00%	5.541	22.163	4	12,00%	8.757	35.028
5,00%	3.463	17.315	5	6,00%	4.378	21.892
3,00%	2.078	12.466	6	7,00%	5.108	30.649
3,00%	2.078	14.544	7	7,00%	5.108	35.757
100,00%	69.258	162.064		100,00%	72.974	211.625

Mit Stand Mai 2015 gab es bundesweit insgesamt 72.974 Standorte mit insgesamt 211.625 Mobilfunkanlagen (BNetzA 2015b). An einem Standort wurden also durchschnittlich 2,9 Mobilfunkanlagen betrieben. Damit waren knapp über 50 % aller Mobilfunkanlagen in Einzel- oder Doppelstandorten untergebracht. Bereits 32 % waren in mehrfach genutzten Standorten mit vier und mehr Mobilfunkanlagen installiert. Zum Vergleich; im Jahr 2010 gab es 69.258 Standorte mit insgesamt 162.064 Mobilfunkanlagen. Das entspricht etwa 2,3 Mobilfunkanla-

¹⁸ Die fünfte Mobilfunkgeneration (5G) ist in der Entwicklung. Allerdings sind spezifische Technologiestandards noch nicht veröffentlicht. Die Industrie geht jedoch von einer sehr zügigen Entwicklung und Einführung der 5G Technik in den nächsten Jahren aus.

gen pro Standort. Laut dieser Statistik nahm die durchschnittliche Anzahl der Mobilfunkanlagen pro Standort von 2010 bis 2015 um fast 30 % zu, während die Anzahl der Mobilfunkstandorte nur um etwa 5 % anstieg. Unklar ist, welche physischen Technikelemente unter dem Begriff Mobilfunkanlage zusammengefasst werden. Es ist zu vermuten, dass neben den Basisstationen auch weitere Netztechnik für das Netzmanagement (Control) und die Netzanbindung (Aggregation) hierbei erfasst wird.

Neben dieser Statistik zur Anzahl der Mobilfunkstandorte und Mobilfunkanlagen in Deutschland macht die Bundesnetzagentur in ihren Jahresberichten vereinzelt Angaben zum Bestand an Mobilfunkbasisstationen. Demnach gab es Ende des Jahres 2009 bundesweit knapp 106.000 und Mitte 2012 etwa 121.000 Basisstationen (BNetzA 2012). Für spätere Jahre liegen keine direkten Angaben der BNetzA vor. Daher wurde nach Daten gesucht, die den Bestand der einzelnen Mobilfunkbetreiber beschreiben. In Deutschland betreiben aktuell im Jahr 2015 nur die Deutsche Telekom, Vodafone und Telefónica (ehemals O2 und E-Plus) Mobilfunknetze.

Vodafone hatte im Jahr 2014 in Deutschland gut 23.000 fest installierte Sendeanlagen (Vodafone 2014). Dazu kommen mobile Anlagen für vorübergehenden Spitzenbedarf wie auf dem Oktoberfest, bei Massenveranstaltungen und auf Messen (Schraeder 2014). Laut einer anderen Pressemitteilung verfügt Telefónica (nach dem Zusammenschluss mit e-Plus) aktuell über etwa 40.000 Basisstationen, von denen mittelfristig gut 14.000 Anlagen abgebaut werden sollen (Die Welt 2015). Hinsichtlich des Mobilfunknetzes der Deutschen Telekom fanden sich keine aktuellen Zahlen. Auf Basis der Gesamtzahl der bundesweiten Basisstationen (laut BNetzA) wird von rund 55.000 Mobilfunkanlagen ausgegangen.

Auch bezüglich der Unterscheidung von einzelnen Mobilfunkgenerationen ist die Datenlage sehr begrenzt. Die Bundesnetzagentur verzeichnet für Mitte 2012 eine Anzahl von 53.000 UMTS-Basisstationen und 9.300 LTE-Basisstationen bundesweit. Im Jahresbericht 2014 wird bereits ein deutlicher Anstieg der LTE-Basisstationen von 17.800 im Jahr 2013 auf 28.700 zu Ende des Jahres 2014 verzeichnet. In der Tendenz wird LTE zügig ausgebaut. Es besteht die begründete Annahme, dass in diesem Zusammenhang ältere GSM- und UMTS-Anlagen abgebaut und funktional in neue Multi-Standard-Basisstationen (SRAN) integriert werden. Daneben wird der Bestand an Netzsteuerungs- und Transporttechnik an den Mobilfunkstandorten weiter zunehmen, wie die BNetzA-Statistik zur Standortmitbenutzung verdeutlicht (Vgl. Tabelle 7-2).

Vor dem Hintergrund dieser begrenzten Datenlage ist das Bestandsmodell sicherlich eine hohe Vereinfachung der Wirklichkeit, gleichwohl die Annahmen für 2010 und 2015 gut begründet sind. Für das Jahr 2015 wird von insgesamt 120.000 Basisstationen ausgegangen. Davon entfallen 30.000 Anlagen die vierte Mobilfunkgeneration LTE und die verbleibenden 90.000 Anlagen gleichermaßen auf die zweite und dritte Mobilfunkgeneration. In der Prognose erhöht sich der Technikbestand auf insgesamt 187.500 Anlagen. Diese Annahme spiegelt die Überlegung wieder, dass durch die deutliche Kapazitätsnachfrage der Kunden immer mehr Sende- und Empfangseinheiten für heterogene Funkzellen (hybride Makro / Mikro Zellkonfigurationen) benötigt werden. Diese Technikelemente werden in sehr unterschiedlicher Weise in bestehende Standorte integriert. Ein Trend dabei ist Zusammenführung und softwarebasierte Steuerung unterschiedlichster Mobilfunksysteme in SRAN-Basisstationen oder die dezentrale Integration von Antennen, Transceivern und Signalverarbeitung in kleinen Funkzellen. Langfristig wird die – noch nicht genau definierte – fünfte Mobilfunkgeneration eine gewisse Menge an neuer Hardware erfordern. Durch den technischen Fortschritt könnten ältere Mobilfunkgenerationen schrittweise abgebaut oder softwarebasiert in die neuen

Hardwaresysteme integriert werden. Die Bestandsannahmen für die Basisprognose werden in Tabelle 7-3 dargestellt.

Tabelle 7-3: Mobilfunknetze: Bestandszahlen für Basisstationen (Basisprognose)

Anzahl Basisstationen	2010	2015	2020	2025
2G Mobilfunkanlagen	65.000	45.000	45.000	30.000
3G Mobilfunkanlagen	47.000	45.000	45.000	30.000
4G Mobilfunkanlagen	1.000	30.000	67.500	90.000
5G Mobilfunkanlagen	0	0	30.000	67.500
Gesamt	113.000	120.000	187.500	217.500

Mobilfunkaggregations- und Kernnetze: Es wurden keine unternehmensspezifischen oder statistischen Daten bezüglich der Art und Anzahl der den Basisstationen nachgelagerten Netzelemente gefunden. Je nach Mobilfunktechnologie (Generation) gibt es im Mobilfunkaggregations- und Kernnetz unterschiedliche Netzsteuerungs-, Monitoring- und Transporttechnik. Diese diversen und real existierenden Switches, Gateways, etc. werden im Berechnungsmodell als ein hybrides Netzelement aggregiert und als Netzknoten bezeichnet. Die Anzahl dieser Netzknoten orientiert sich an der durchschnittlichen Anzahl von Routern (Hops), welche ein Signal in Deutschland von einem Endgerät bis zu einem Serviceprovider durchläuft. Eigene Traceroute-Tests ergaben durchschnittlich 3 bis 5 Hops ohne Berücksichtigung des Zugangsnetzes und Nutzerendgeräte (LAN Router). Daher wird im Berechnungsmodell von vier Netzknoten ausgegangen. Jedem dieser vier Netzknoten wird eine definierte elektrische Leistungsaufnahme pro Nutzer zugeordnet (Erläuterung siehe in Kapitel 7.2.5).

7.2.3 Entwicklungstrends

Die Mobilfunknetze werden mit der Einführung der vierten Mobilfunkgeneration LTE (Long Term Evolution) befähigt, relativ große Datentransferraten zu bewältigen. Hierdurch wird der Mobilfunknutzer in die Lage versetzt, breitbandige Internetdienste komfortabel zu nutzen und auch Videos problemlos zu streamen. Gleichzeitig können größere Datenmengen wie Fotos und Videos ins Internet hochgeladen werden. Die mobile Internetnutzung einschließlich sozialer Medienplattformen, Mediatheken, Informations- und Bestelldienste wird mittelfristig an Intensität gewinnen und das mobile Datenvolumen weiterhin steigen lassen.

Laut Cisco Visual Network Index (VNI) Forecast for Germany 2019 wird der mobile Datenverkehr von 2014 bis 2019 um das Siebenfache ansteigen (CAGR 49 %). Damit wird der mobile Datenverkehr 260 Petabytes pro Monat in 2019 erreichen und etwa 7 % des gesamten deutschen IP-Verkehrs ausmachen. Zum Vergleich; das Volumen des mobilen Datenverkehrs in 2019 entspricht laut Cisco der zweifachen Menge des gesamten deutschen Internetverkehrs im Jahr 2005 (Cisco VNI 2015).

Technisch wird diese nutzergetriebene Entwicklung durch eine kontinuierliche Netzerneuerung und den Ausbau von LTE abgesichert. Mit LTE sind derzeit maximale Geschwindigkeiten von bis zu 300 Megabit pro Sekunde (Mbps) pro Nutzer möglich (die nächste Generation 450 Mbps), gleichwohl in der realen Praxis den Nutzern meist deutlich geringere Datentransferraten bereitgestellt werden, damit mehr Nutzer pro Mobilfunkzelle abgedeckt werden können. Parallel zu den im Ausbau befindlichen LTE-Netzen werden ältere (und weniger breit-

bandige) Technologien wie GSM und UMTS aber erhalten bzw. nur langsam abgebaut.¹⁹ Dennoch findet auch bei diesen Mobilfunktechnologien eine Erneuerung statt, was den Energiebedarf mittelfristig reduzieren wird. GSM, UMTS und LTE werden zunehmend mit modernster Hardware in Single Radio Access Network (SRAN) oder Multi-Standard-Basisstationen integriert, was den Energiebedarf senken wird. Zudem ändern sich die Strukturen der Mobilfunkzellen hin zu sehr heterogenen Zellen (HetNet) inklusive einem massiven Einsatz von Kleinzellen. Mittel- bis langfristig werden diese Mobilfunkzellen stärker lastadaptiv betrieben werden, d.h. je nach Verkehrsaufkommen (Nutzerbedarf) werden einzelne Technikelemente zugeschaltet oder in Niedrigenergiezustände versetzt. Auch eine komplette Abschaltung einzelner Technikelemente beispielsweise zu Zeiten sehr geringer Auslastung, wie in den Nachtstunden, ist langfristig möglich.

7.2.4 Nutzungsmuster

In der Basisprognose wird ein kontinuierlicher 24h-Betrieb aller Netzelemente einschließlich der Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur (PUE) angenommen. Ein lastadaptiver Betrieb bzw. Standby-Betrieb erfolgt in der Basisprognose nicht.

Tabelle 7-4: Mobilfunknetze: Annahmen für das Nutzungsmuster (Basisprognose)

Mobilfunk	2010		2015		2020		2025	
	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]
365 Tage pro Jahr								
Basisstationen bzw. Mobilfunk-Zugangsnetze	24	0	24	0	24	0	24	0
Elemente der Mobilfunk-aggregations- u. Kernnetze	24	0	24	0	24	0	24	0
Kühlungs- und Stromversorgungstechnik (PUE)	24	0	24	0	24	0	24	0

7.2.5 Leistungsaufnahme

Mobilfunkzugangsnetz / Basisstationen: Die Annahmen für die elektrische Leistungsaufnahme berücksichtigen die Art und das Alter der Basisstationen sowie die mittlere Auslastung. Eine Datengrundlage bildet der aktuelle Code-of-Conduct Broadband Equipment V5 (EC 2014), welcher Werte für eine hohe, mittlere und geringe Auslastung für alle drei gängigen Mobilfunktechnologien (siehe Tabelle 7-5) beinhaltet.

Tabelle 7-5: Anforderungen an die elektrischen Leistungsaufnahme von Basisstationen nach dem CoC Broadband Equipment V5

Mobilfunk-Technologie	Leistungsaufnahme ab 2013	Leistungsaufnahme ab 2015
GSM (busy-hour-load state)	800 W	760 W
GSM (medium-load state)	700 W	650 W
GSM (low-load-state)	580 W	540 W

¹⁹ Der Grund für den Erhalt der älteren Technologien ist neben der Rückwärtskompatibilität und Nutzerversorgung auch die beschränkte Verfügbarkeit nutzbarer Frequenzbänder, da diese an teure Mobilfunk-Lizenzen geknüpft sind.

Mobilfunk-Technologie	Leistungsaufnahme ab 2013	Leistungsaufnahme ab 2015
UMTS (busy-hour-load state)	800 W	760 W
UMTS (medium-load state)	670 W	650 W
UMTS (low-load-state)	570 W	540 W
LTE (busy-hour-load state)	900 W	840 W
LTE (medium-load state)	750 W	700 W
LTE (low-load-state)	650 W	600 W

Für die Basisprognose werden Leistungsaufnahmewerte für die mittlere bis hohe Auslastung als Anhaltspunkt genommen, da die im Code-of-Conduct ausgewiesenen Werte die aktuell besten verfügbaren Produkte berücksichtigen. Diese etwas höheren Werte sollen den realen Energiebedarf der durchschnittlich etwas älteren Technik reflektieren. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass alle Basisstationen im Durchschnitt über drei Sektoren verfügen und eine entsprechende Anzahl an Sende- und Empfangseinheiten einschließlich Verstärker aufweisen. In der Modellannahme wird die elektrische Leistungsaufnahme über die Jahre kontinuierlich reduziert und für alle Technologien angeglichen. Diese Annahme reflektiert die immer stärkere Integration der unterschiedlichen Mobilfunktechnologien in eine Hardwareplattform, den allgemeinen technischen Fortschritt bei der Signalverarbeitung und die sukzessive Optimierung der Stromversorgung und integrierter Kühlung.

In der Basisprognose wird zudem die Annahme getroffen, dass der sichere Betrieb aller Netzelemente an den Standorten (in Räumen und Containern) mittels einer separaten Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur sichergestellt wird. Daher wird im Berechnungsmodell neben der technikspezifischen Leistungsaufnahme ein zusätzlicher Energiebedarf für die Infrastrukturtechnik angenommen und durch einen Aufschlagfaktor (PUE) abgebildet. Aufgrund der wachsenden Bedeutung der Energieeffizienz wurde in den vergangenen Jahren insbesondere diese Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur durch Umrüstungsmaßnahmen optimiert. So wird im Modell angenommen, dass sich der PUE-Wert von einem Faktor 1,7 im Jahr 2010 schrittweise auf einen Faktor von 1,4 im Jahr 2025 verbessert.

Tabelle 7-6 zeigt die in der Basisprognose verwendeten Werte.

Tabelle 7-6: Mobilfunknetze: Elektrische Leistungsaufnahme von Basisstationen (Basisprognose)

	2010	2015	2020	2025
2G Mobilfunkanlagen	850	780	690	600
3G Mobilfunkanlagen	800	780	690	600
4G Mobilfunkanlagen	750	750	690	600
5G Mobilfunkanlagen	0	0	600	600
PUE-Faktor	1,7	1,6	1,5	1,4

Mobilfunkaggregations- und Kernnetz: Aufgrund fehlender statistischer Daten zur Art und Anzahl der Netzelemente wurde im Berechnungsmodell ein hybrides Netzelement als sogenannter Netzknoten definiert. Die elektrische Leistungsaufnahme dieses hybriden Netzelements orientiert sich an dem mobilen Datenverkehrsaufkommen, welches über die Basisstationen abgewickelt wird. In der modellbasierten Berechnung des Energiebedarfs wird jeder Basisstation eine auf 24 Stunden bezogene, durchschnittliche Nutzeranzahl zugeordnet. Für das Jahr 2010 wird von durchschnittlich 100 Nutzern ausgegangen. In jedem darauffolgen-

den Jahr steigt in der Basisprognose die durchschnittliche Nutzerzahl um 5 Prozentpunkte an, so dass der Berechnung im Jahr 2015 rund 128 Nutzer, im Jahr 2020 rund 163 Nutzer und im Jahr 2025 rund 208 Nutzer pro Basisstation zugrunde gelegt werden. Diese scheinbar hohe durchschnittliche Nutzerzahl pro Basisstation muss im Kontext der Gesamtzahl der Mobilfunknutzer bzw. konkret der aktiv genutzten SIM-Karten betrachtet werden. Laut dem Jahresbericht der Bundesnetzagentur gab es Ende 2014 insgesamt rund 113.000.000 SIM-Karten in Deutschland von denen 108.000.000 SIM-Karten als aktiv eingestuft wurden. Etwa 13.000.000 SIM-Karten oder 12 Prozent entfallen auf LTE und damit potenziell auf Nutzer mit einem höheren Datentransfervolumen. Des Weiteren entfallen etwa 5.200.000 SIM-Karten auf die Datenkommunikation zwischen Maschinen (M2M) (BNetzA 2014).

Geht man nun von rund 110.000.000 SIM-Karten und 120.000 Basisstationen im Jahr 2015 aus (Berechnungsmodell) würden im Durchschnitt über 900 Nutzer (SIM-Karten) und bereits über 100 LTE-Nutzer auf eine Basisstation entfallen. In der Praxis variiert je nach Standort (Stadt, Land), Zeitpunkt (Tag, Nacht) und Zellstruktur (Größe, Konfiguration) die reale Nutzerzahl zwischen wenigen zehn oder mehreren hundert. Im Modell gehen wir von durchschnittlich 100 Nutzern dauerhaft pro Mobilfunkanlage aus.

Des Weiteren ist der Anstieg des Datenvolumens im Mobilfunk ein Hinweis auf die Nutzungsintensität und damit der Datenmengen, welche durch das Aggregations- und Kernnetz bewältigt werden muss. Laut Jahresbericht der Bundesnetzagentur stieg das Datenvolumen im Mobilfunk von rund 65 Petabyte (PB) im Jahr 2010 auf 393 PB im Jahr 2014 an. Dies entspricht 575 GB pro Basisstation im Jahr 2010 und 3.144 GB pro Basisstation im Jahr 2014. Für das Jahr 2014 entsprächen 3.144 GB einer dauerhaften Bitrate von rund acht Megabit pro Sekunde (Mbps) (BNetzA 2014). Bei gleichbleibender Steigerungsrate des mobilen Datenverkehrs würde in der Prognose 2015 die durchschnittliche (dauerhafte) Bitrate bei 10,4 Mbps, in 2020 bei 22,4 Mbps und in 2025 bei 34,4 Mbps liegen. Diese Werte vermitteln einen Eindruck von dem in Zukunft zu bewältigenden Datenvolumen (Vgl. auch die Prognose von Cisco VNI in Kapitel 7.2.3 Entwicklungstrends).

Es ist hierbei zu bedenken, dass die dargestellten Werte lediglich den kontinuierlich Jahresdurchschnitt und nicht die tagesbezogene Verteilung auf Spitzenlastzeiten und Niedriglastzeiten abbilden. Da Mobilfunknetze aber auf reale Nutzlasten ausgelegt sind und entsprechende Technischelemente mit einer ständigen elektrischen Grundlast aktiv betrieben werden, sollte der Energiebedarf der Netzknoten (hybride Netzelemente des Mobilfunkaggregations- und Kernnetzes) nicht nur an der durchschnittlichen Datenrate sondern auf Basis einer etwas höheren Datenrate bemessen werden.

Für die Berechnung des Energiebedarfs der Mobilfunkaggregations- und Kernnetze werden folgenden Annahmen getroffen. Nimmt man an, dass eine Basisstation im Jahr 2015 durchschnittlich 128 Nutzer mit je 10,4 Mbps unterstützten, würden im Minimum 1,3 Gbps an Datenverkehr bewältigt werden. Nimmt man nun an, dass zu Spitzenzeiten (6 Stunden pro Tag) die durchschnittliche Datenrate etwa um Faktor 4 höher liegt, würde 5,2 Gbps bewältigt werden müssen. Das bedeutet, dass rund 6x1GE (Gigabit Ethernet) Netzwerkschnittstellen (Ports) pro Basisstation benötigt werden. Kalkuliert man nun 2 Watt pro 1GE-Port werden 12 Watt für 128 Nutzer bzw. 0,1 Watt pro Nutzer und Eingangs-Port am Netzknoten benötigt. Da der Netzknoten aber nicht nur einen Eingangs-Port pro Nutzer sondern auch eine Datenverarbeitung (z.B. Gateway) und einen Ausgangs-Port besitzt, werden weitere Aufschläge pro Nutzer vorgenommen. Für die Datenverarbeitung der Gateways bzw. Router wird eine elektrische Leistungsaufnahme von rund 0,3 Watt angenommen und für den Ausgangs-Port nochmals 0,1 Watt. In Summe werden für das Jahr 2015 pro Nutzer und Netzknoten rund 0,5 Watt angenommen. In der Basisprognose für die Jahre 2020 und 2025 wird von einer

weiteren Zunahme dieses Energiebedarfs um 10 Prozent pro Jahr ausgegangen, welche mit dem Anstieg des Datenvolumens und insbesondere mit einer intensiveren Datenverarbeitung erklärt wird.

In der Basisprognose wird wie auch bei den Mobilfunkzugangsnetzen die Annahme getroffen, dass der sichere Betrieb aller Netzelemente (Telekommunikationstechnik) an den Standorten mittels einer separaten Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur sichergestellt wird. Daher wird im Berechnungsmodell neben der technikspezifischen Leistungsaufnahme ein zusätzlicher Energiebedarf für die Infrastrukturtechnik angenommen und durch einen Aufschlagfaktor (PUE) einbezogen. Aufgrund der wachsenden Bedeutung der Energieeffizienz wurde in den vergangenen Jahren insbesondere diese Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur durch Umrüstungsmaßnahmen optimiert. Daher wird angenommen, dass sich der PUE-Wert über die Jahre deutlich von 1,7 im Jahr 2010 auf 1,4 im Jahr 2025 verbessern wird.

Tabelle 7-7 zeigt die in der Basisprognose verwendeten Werte.

Tabelle 7-7: Mobilfunknetze: Elektrische Leistungsaufnahme Kernnetz (Basisprognose)

	2010	2015	2020	2025
Anzahl Netzknoten	4	4	4	4
Durchschnittliche Nutzerzahl	100	100	100	100
Elektrische Leistungsaufnahme pro Netzknoten pro Nutzer	0,4 W	0,6 W	0,8 W	1,1 W
PUE-Faktor (Aufschlagfaktor für Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur)	1,7	1,6	1,5	1,4

7.2.6 Energiebedarf

Der kumulierte Energiebedarf der Mobilfunknetze wird in den kommenden Jahren von etwa 1,6 TWh im Jahr 2015 auf 2,8 TWh im Jahr 2025 deutlich ansteigen und sich damit in zehn Jahren um Faktor 1,7 ansteigen. Treiber dieser Entwicklung sind der deutliche Zuwachs im Datenvolumen des Mobilfunks durch Endnutzer und die wachsende Menge an über Mobilfunk angeschlossenen Maschinen und Objekte. Diese Entwicklung wird den Energiebedarf der Zugangsnetze etwas erhöhen. Der Hauptzuwachs liegt beim Aggregations- und Kernnetz. Hier wirkt sich der rasch wachsende Datenverkehr am stärksten aus. Ausgleichend wirken die anhaltende technische Verbesserung der Hardwarekomponenten inklusive Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur (PuE), die standortoptimierte Konfiguration der Funkzellen (heterogene Netze) und ein immer stärkerer lastadaptiver Betrieb, der insbesondere in den Nachtstunden zu Einsparungen führen kann.

Tabelle 7-8: Mobilfunknetze: Energiebedarf 2010 bis 2025 (Basisprognose)

Energiebedarf in TWh/a	2010	2015	2020	2025
2G Mobilfunkanlagen	0,814	0,485	0,405	0,221
3G Mobilfunkanlagen	0,554	0,485	0,405	0,221
4G Mobilfunkanlagen	0,011	0,311	0,608	0,662
5G Mobilfunkanlagen	0	0	0,235	0,497
Mobilfunk Kernnetz	0,266	0,372	0,770	1,178
Gesamt	1,645	1,654	2,423	2,778

7.3 Festnetze

7.3.1 Datenüberblick

In der nachstehenden Tabelle sind alle wesentlichen Annahmen für die Basisprognose der Festnetze im Überblick angegeben. Diese Annahmen werden in den folgenden Abschnitten im Detail erläutert.

Tabelle 7-9 Datenüberblick Basisprognose Festnetze

Anschlüsse in Millionen	2010	2015	2020	2025
PSTN/ISDN	30,473	15,703	0	0
ADSL	22,770	18,800	7,350	0
VDSL	0,230	4,700	17,150	25,000
FTTH	0,140	0,400	0,805	3,000
Gesamt	23,140	23,900	25,305	28,000
Leistungsaufnahme	2010	2015	2020	2025
PSTN/ISDN Anschluss	3,0 W	3,0 W	3,0 W	3,0 W
ADSL Anschluss	2,0 W	2,0 W	2,0 W	2,0 W
VDSL Anschluss	5,0 W	5,0 W	5,0 W	5,0 W
FTTH Anschluss	6,0 W	6,0 W	6,0 W	6,0 W
PUE Faktor	1,7	1,6	1,5	1,4
Festnetz Kernnetz	2010	2015	2020	2025
Anzahl Netzknoten	4	4	4	4
Elektrische Leistungsaufnahme pro Netzknoten pro Nutzer	0,4 W	0,6 W	0,8 W	1,1 W
PUE-Faktor (Aufschlagsfaktor für Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur)	1,7	1,6	1,5	1,4
Nutzungsmuster (alle)	2010	2015	2020	2025
365 Tage pro Jahr	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
	[h/d]	[h/d]	[h/d]	[h/d]
Stunden pro Tag	24	24	24	24
Energiebedarf in TWh/a	2010	2015	2020	2025
PSTN/ISDN Netze	1,347	0,651	0	0
ADSL Zugangsnetz	0,671	0,520	0,192	0
VDSL Zugangsnetz	0,017	0,325	1,119	1,533
FTTH Zugangsnetz	0,012	0,033	0,063	0,221

Festnetz Kernnetz	0,545	0,741	1,039	1,516
Gesamt Festnetz	2,592	2,270	2,413	3,270

7.3.2 Bestand

Das Festnetz beinhaltet im Bestandsmodell ein breites Spektrum an Technologien (siehe Abbildung 7-2). Unterschieden werden das alte PSTN/ISDN-Telefonnetz, das kupferbasierte ADSL und VDSL-Zugangsnetz, das direkte Glasfaser-Zugangsnetz (FTTH) sowie das zusammenführenden Aggregations- und Kernnetz. Ausgenommen ist das TV-Kabel, welches sich zu einem breitbandigen HFC-Netz (Fibre Hybrid Cable) entwickelt.

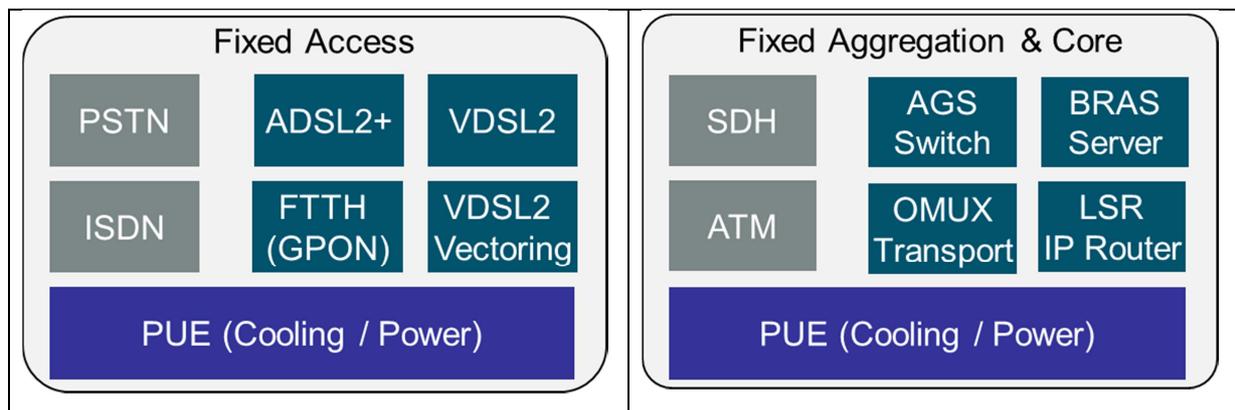


Abbildung 7-2: Festnetz: Technischelemente der Teilnetze

Zugangsnetze: Der Bestand wird über die Anzahl der Teilnehmeranschlüsse (Nutzer) ermittelt. Die primäre Datenquelle für diese Zahlen sind die Jahresberichte der Bundesnetzagentur. Im Jahr 2010 betrug die Gesamtzahl der Festnetzanschlüsse rund 23 Millionen. In Summe wird diese Anzahl der Festnetzanschlüsse nur leicht auf 28 Millionen im Jahr 2025 ansteigen, da die Studie davon ausgeht, dass mittelfristig ein erheblicher Teil der Breitbandendkundenversorgung in einer Größenordnung von rund 19 Millionen Anschlüssen über hybride TV-Kabel abgedeckt werden wird. Trotz dieser scheinbaren Konsistenz wird sich in den kommenden Jahren ein substantieller Technologiewandel vollziehen.

Ein wesentlicher Trend ist der geplante Rückbau des PSTN/ISD-Netzes, der bis 2020 vollständig abgeschlossen sein wird. Gleichzeitig wird im privaten Endkundenbereich von einem zügigen Ausbau von VDSL2 und VDSL2 Vectoring durch die Deutsche Telekom AG ausgegangen. Diese Technologie unterstützt ausreichende Bandbreite von 25 Mbps, 50 Mbps bis 100 Mbps. In der Modellbildung wird angenommen, dass VDSL sukzessive die ältere ADSL-Technik bis 2025 ersetzen wird.

Der Glasfaserausbau (FTTH) wird hingegen als recht langsam angenommen, da es derzeit für einen beschleunigten Ausbau keine begründeten Hinweise gibt. Die direkten Glasfaseranschlüsse sind aktuell sehr selten Privatkundenanschlüsse. Auch in Zukunft werden diese Anschlüsse überwiegend von Geschäftskunden genutzt. Von 2015 bis 2020 wird von einem jährlichen Zuwachs von 15 %, ab 2020 von 20 % ausgegangen. Vor dem Hintergrund dieser Annahmen werden im Jahr 2025 rund 3 Millionen Nutzer über direkte Glasfaseranschlüsse verfügen. Tabelle 7-10 zeigt die entsprechenden Annahmen für die einzelnen Jahre.

Tabelle 7-10: Festnetz: Bestand Zugangsnetzanschlüsse (Basisprognose)

Anschlüsse in Millionen	2010	2015	2020	2025
PSTN/ISDN	30,473	15,703	0,000	0,000

Anschlüsse in Millionen	2010	2015	2020	2025
ADSL	22,770	18,800	7,350	0,000
VDSL	0,230	4,700	17,150	25,000
FTTH	0,140	0,400	0,805	3,000
Gesamt	23,140	23,900	25,305	28,000

Festnetz Aggregations- und Kernnetze: Bezüglich des Technikbestandes der nachgelagerten Aggregations- und Kernnetze existieren ähnlich dem Mobilfunk keine statistischen Daten, sodass Annahmen getroffen werden. Es wird wie beim Mobilfunk (vgl. Kapitel 7.2) die Netzsteuerungs-, Monitoring- und Transporttechnik in einem hybriden Netzelement abgebildet, welches als Netzknoten benannt wird. Die Anzahl dieser Netzknoten orientiert sich an der durchschnittlichen Anzahl von Routern (Hops), welche ein Signal in Deutschland von einem Endgerät bis zu einem Serviceprovider durchläuft. Eigene Traceroute-Tests ergaben durchschnittlich 3 bis 5 Hops ohne Berücksichtigung des Zugangnetzes und Nutzerendgeräte (LAN Router). Daher wird im Berechnungsmodell von vier Netzknoten ausgegangen.

7.3.3 Entwicklungstrends

Der Energiebedarf des Festnetzes wird sich mittelfristig auf den ersten Blick kaum verändern. Allerdings finden in der Binnengliederung substantielle Veränderungen statt. So wird bis 2020 das alte Telefon- und ISDN-Netz (PSTN/ISDN) schrittweise abgebaut, was in Summe zu einer Energieeinsparung von fast einer TWh pro Jahr führt.

Parallel zu dieser Entwicklung wird aber der Breitbandausbau insbesondere mit kupferleitungsbasierten VDSL bzw. VDSL Vektoring vorangetrieben, sodass bis 2025 eine flächendeckende Versorgung mit breitbandigen Zugangnetzen von 25 bis 100 Mbps gegeben sein wird. Aus heutiger Sicht wird der direkte Glasfaseranschluss Fibre-to-the-Home (FTTH) mit bis zu 200 Mbps sich erst recht langsam entwickeln, da die Anschlusskosten mit 600 bis 1.000 Euro noch immer recht hoch sind.

Tendenziell skaliert der Energiebedarf der DSL- und Glasfaser-Zugangnetze mit der Anzahl der Anschlüsse (Nutzer). Darüber hinaus trägt aber auch der individuelle Beschaltungsgrad der DSL-Zugangsmultiplexer (DSLAM) und Vermittlungsstellen (OLT) der Glasfasernetze zur Energieeffizienz bei. Bei einer geringen Beschaltung bzw. geringen Auslastung der möglichen Anschlüsse werden diese Netztechnikelemente suboptimal betrieben, da die Stromversorgung und Kühlung unter diesen Bedingungen überdimensioniert sind.

Hinsichtlich der Aggregations- und Kernnetze wird ähnlich wie im Mobilfunk der Energiebedarf mit weiterhin wachsenden Datenvolumen ansteigen. Auch in diesem Bereich gibt es Verbesserungspotenziale, die bereits aktuell von dem Hauptnetzbetreiber der Deutsche Telekom AG in Projekten adressiert wird. Hier geht es insbesondere um eine weitere Standortkonsolidierung. Diese bietet den Vorteil, hoch-effiziente Telekommunikationstechnik mit hoch-effizienter Versorgungsinfrastruktur, hoch-ausgelastet zu betreiben. Weitere Maßnahmen, die bereits in Forschungsprojekten demonstriert wurden, sind ein stärkerer lastadaptiver Betrieb durch gezielte Eingriffe in die Netzsteuerung, um einzelne Netzelementen beispielsweise in der Nacht abschalten zu können.

7.3.4 Nutzungsmuster

In der Basisprognose wird ein kontinuierlicher 24h-Betrieb aller Netzelemente einschließlich der Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur (PUE) angenommen. Ein lastadaptiver Betrieb bzw. Standby-Betrieb erfolgt in der Basisprognose nicht.

Tabelle 7-11: Festnetz: Annahmen für das Nutzungsmuster (Basisprognose)

Festnetz	2010		2015		2020		2025	
	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]
365 Tage pro Jahr								
ADSL, VDSL, FTTH-Zugangsnetze	24	0	24	0	24	0	24	0
Netzknoten des Aggregations- u. Kernnetzes	24	0	24	0	24	0	24	0
Kühlungs- und Stromversorgungstechnik (PUE)	24	0	24	0	24	0	24	0

7.3.5 Leistungsaufnahme

Die Annahmen für die Leistungsaufnahme der ADSL-, VDSL- und FTTH-Zugangstechnik orientieren sich teilweise an den Vorgaben des Code-of-Conduct Broadband Equipment v5 (EC 2014). Die Vorgaben des Code-of-Conduct reflektieren die energieeffizienteste Technik, die heute am Markt verfügbar ist.

Für das PSTN/ISDN-Netz wird pro Anschluss ein pauschaler Wert von 3,0 Watt angenommen. Dieser Wert wurde indirekt anhand von existierenden Literaturdaten ermittelt (Lange et al 2014).

Für ADSL2 wird eine elektrische Leistungsaufnahme von 1,1 Watt pro Port und für VDSL2 je nach Konfiguration von 1,3 bis 1,7 Watt erwartet. Hinzu kommen diverse Aufschläge für z.B. VDSL Vectoring (bis 0,6 Watt) sowie für die Glasfaser-Verbindung zum Aggregationsnetz (Uplink). Bei diesen recht geringen Werten sollte jedoch beachtet werden, dass sie für ein voll beschaltetes Netzelement (z.B. DSLAM) gelten und damit ein Optimum abbildet. In der Realität sind meist nicht alle Anschlüsse beschaltet, sodass beispielsweise die Netzteile in niedrigeren und damit ineffizienteren Teillastbereichen laufen. Vor diesem Hintergrund wurden die Annahmen für die elektrische Leistungsaufnahme etwas angehoben (siehe Tabelle 7-12). Die 5,0 Watt Leistungsaufnahme für einen VDSL-Anschluss beinhaltet die Annahme, dass bei größeren Datenströmen der Vor- und Rücktransport (Up-Link und Down-Link) einen höheren Energie-Overhead pro Port erzeugt.

Bezüglich direkter Glasfaseranschlüsse (FTTH) gibt es unterschiedliche Technologieoptionen, welche sich grundsätzlich in Point-to-Point (PtP) und Passive-Optical-Networks (PON) unterscheiden lassen. Typische Bandbreiten der Anschlüsse sind 1 oder 10 Gigabit. Für das Berechnungsmodell wird ein durchschnittlicher Wert von 6,0 Watt pro Port angenommen. Für einen privaten Teilnehmeranschluss ist dieser Wert allerdings um ein Vielfaches zu hoch, da bei PON-Konfigurationen die Anschlussleitungen meist gesplittet werden und genügend Bandbreite pro Port am Optical Line Terminal (OLT) bereitgestellt wird. Aufgrund der relativ geringen Anzahl an existierenden Direktanschlüssen sind aber auch größere Leitungslängen, suboptimale OLT-Konfigurationen (geringer Beschaltungsgrad) und größere Anschlussbandbreiten (10 Gigabit) gerade für Geschäftskunden bei der Festlegung eines Durchschnittswertes für die elektrische Leistungsaufnahme zu berücksichtigen.

Die Zahlenwerte in Tabelle 7-12 geben die Leistungsaufnahme pro Anschluss (Port) und anteilig die integrierte Signalzuführung und Signalarückführung wieder. Der Aufschlagfaktor für die unterbrechungsfreie Stromversorgung und Kühlung wird mit dem PUE-Wert ausgewiesen. Diesbezüglich wird von einer kontinuierlichen Verbesserung ausgegangen.

Tabelle 7-12: Festnetz: Elektrische Leistungsaufnahme Zugangsnetzanschlüsse (Basisprognose)

Leistungsaufnahme	2010	2015	2020	2025
PSTN/ISDN Anschluss	3,0 W	3,0 W	3,0 W	3,0 W
ADSL Anschluss	2,0 W	2,0 W	2,0 W	2,0 W
VDSL Anschluss	5,0 W	5,0 W	5,0 W	5,0 W
FTTH Anschluss	6,0 W	6,0 W	6,0 W	6,0 W
PUE Faktor	1,7	1,6	1,5	1,4

Aggregations- und Kernnetz: Die Werte für die elektrische Leistungsaufnahme der Netzknoten sind identisch mit denen des Mobilfunkaggregations- und Kernnetzes. Für das Jahr 2015 wird pro Nutzer und Netzknoten mit rund 0,6 Watt gerechnet. Dieser Wert beinhaltet den Signalübertragung (0,3 Watt) und die Signalverarbeitung (0,3 Watt). Es wird angenommen, dass in Zukunft der Signalverarbeitungsaufwand der Gateways bzw. Router aufgrund des höheren Datenvolumens, aber auch aufgrund von zunehmender Datenkompression und Datenverschlüsselung trotz effizienterer Technik (Moore'sches Gesetz) alle fünf Jahre um rund 0,2 Watt leicht zunimmt (siehe Tabelle 7-13). Der PuE-Wert verbessert sich ebenfalls identisch zu den anderen Netzbereichen.

Tabelle 7-13: Festnetz: Elektrische Leistungsaufnahme Kernnetz (Basisprognose)

	2010	2015	2020	2025
Anzahl Netzknoten	4	4	4	4
Elektrische Leistungsaufnahme pro Netzknoten pro Nutzer	0,4 W	0,6 W	0,8 W	1,1 W
PUE-Faktor (Aufschlagfaktor für Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur)	1,7	1,6	1,5	1,4

7.3.6 Energiebedarf

Der kumulierte Energiebedarf des Festnetzes wird bis zum Jahr 2025 nur unwesentlich auf 2,7 TWh ansteigen. Jedoch ist in der Gesamtschau von 2010 bis 2025 eine substantielle Veränderung der Binnengliederung dieses Energiebedarfs zu vermerken. So wird mit dem geplanten Rückbau des alten PSTN/ISDN-Netzes rund eine Terawattstunde pro Jahr an Energie eingespart. Mit dem gleichzeitigen Ausbau von Breitbandzugangsnetzen erfolgt nicht nur in den Zugangsnetzen eine Umlage des Energiebedarfs sondern es verdoppelt sich der Energiebedarf des Aggregations- und Kernnetzes von 0,5 TWh in 2010 auf 1,1 TWh in 2025. Dies ist der hauptsächliche Trend, den es in Zukunft zu beobachten gilt.

Tabelle 7-14: Festnetz: Energiebedarf von 2010 bis 2025 (Basisprognose)

Energiebedarf in TWh/a	2010	2015	2020	2025
------------------------	------	------	------	------

Energiebedarf in TWh/a	2010	2015	2020	2025
PSTN/ISDN Netze	1,347	0,651	0,000	0,000
ADSL Zugangsnetz	0,671	0,520	0,192	0,000
VDSL Zugangsnetz	0,017	0,325	1,119	1,533
FTTH Zugangsnetz	0,012	0,033	0,063	0,221
Festnetz Kernnetz	0,545	0,741	1,039	1,516
Gesamt Festnetz	2,592	2,270	2,413	3,270

7.4 Kabelnetze

7.4.1 Datenüberblick

In der nachstehenden Tabelle sind alle wesentlichen Annahmen für die Basisprognose der Kabelnetze im Überblick angegeben. Diese Annahmen werden in den folgenden Abschnitten im Detail erläutert.

Tabelle 7-15: Datenüberblick Basisprognose Kabelnetze

Anschlüsse in Millionen	2010	2015	2020	2025
TV-Kabel	17,0	11,7	6,4	0,0
HFC-Kabel (Breitband)	2,8	6,3	12,6	20,0
Gesamt	19,8	18,0	19,0	20,0
Leistungsaufnahme	2010	2015	2020	2025
TV-Kabel/HFC-Anschluss	6,0 W	6,0 W	6,0 W	6,0 W
PUE Faktor	1,7	1,6	1,5	1,4
Zugangsnetz	2010	2015	2020	2025
TV-Kabel/HFC-Anschluss	6,0 W	6,0 W	6,0 W	6,0 W
PUE Faktor	1,7	1,6	1,5	1,4
Kernnetz	2010	2015	2020	2025
Anzahl Netzknoten	4	4	4	4
Elektrische Leistungsaufnahme pro Netzknoten pro Nutzer	0,4 W	0,6 W	0,8 W	1,1 W
PUE-Faktor (Aufschlagsfaktor für Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur)	1,7	1,6	1,5	1,4
Nutzungsmuster (alle)	2010	2015	2020	2025
365 Tage pro Jahr	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
	[h/d]	[h/d]	[h/d]	[h/d]
Stunden pro Tag	24	24	24	24
Energiebedarf in TWh/a	2010	2015	2020	2025
TV-Kabel Zugangsnetz	1,75	1,493	1,487	1,472
TV-Kabel Kernnetz	0,467	0,558	0,78	1,083
Gesamt	2,217	2,051	2,268	2,554

7.4.2 Produktbestand

Der Energiebedarf des deutschen TV-Kabel-Netzes wird über die Anzahl der Anschlüsse (TV-Kabel-Zugangsnetz) und eine definierte Anzahl von Netzknoten (Aggregations- und Kernnetz) abgebildet.

TV-Kabel Zugangsnetz: Die Anzahl der TV-Kabelanschlüsse wird u.a. in den Jahresberichten der ANGA, dem Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V., ausgewiesen.²⁰ Zudem sind spezifische Daten zu den HFC-Anschlüssen (Hybrid Fibre Cable), d.h. den kabelbasierten Breitbandanschlüssen in den Jahresberichten der Bundesnetzagentur ausgewiesen.²¹ Laut dieser Quelle nahm die Anzahl der TV-Kabelanschlüsse in den letzten Jahren leicht ab und liegt 2015 bei rund 18 Millionen. Laut BNetzA gab es Ende 2014 in Deutschland rund 5,9 HFC-Anschlüsse mit kräftig steigender Tendenz. Im Bestandsmodell wird diese Entwicklung, welche im Wesentlichen auf die recht stabil verfügbare Bandbreite und das wettbewerbsfähige Preisniveau zurückzuführen ist, fortgeführt. Langfristig wird ein Bestand von ca. 20 Millionen HFC-Anschlüssen angenommen.

Tabelle 7-16: TV-Kabelnetz: Bestand Zugangsnetzanschlüsse (Basisprognose)

Anschlüsse in Millionen	2010	2015	2020	2025
TV-Kabel	17,000	11,700	6,400	0
HFC-Kabel (Breitband)	2,800	6,300	12,600	20,000
Gesamt	19,800	18,000	19,000	20,000

TV-Kabelnetz Aggregations- und Kernnetze: In der Literatur gibt es nur wenige Daten zur realen Struktur der deutschen TV-Kabelnetze einschließlich der Aggregations- und Kernnetze. Abbildung 7-3 liefert allerdings einige wertvolle Hinweise zur Struktur bzw. Netztopologie am Beispiel von Daten des derzeit größten deutschen Anbieters Kabel Deutschland (2014).

²⁰ <http://www.anga.de>

²¹ <http://www.bundesnetzagentur.de>

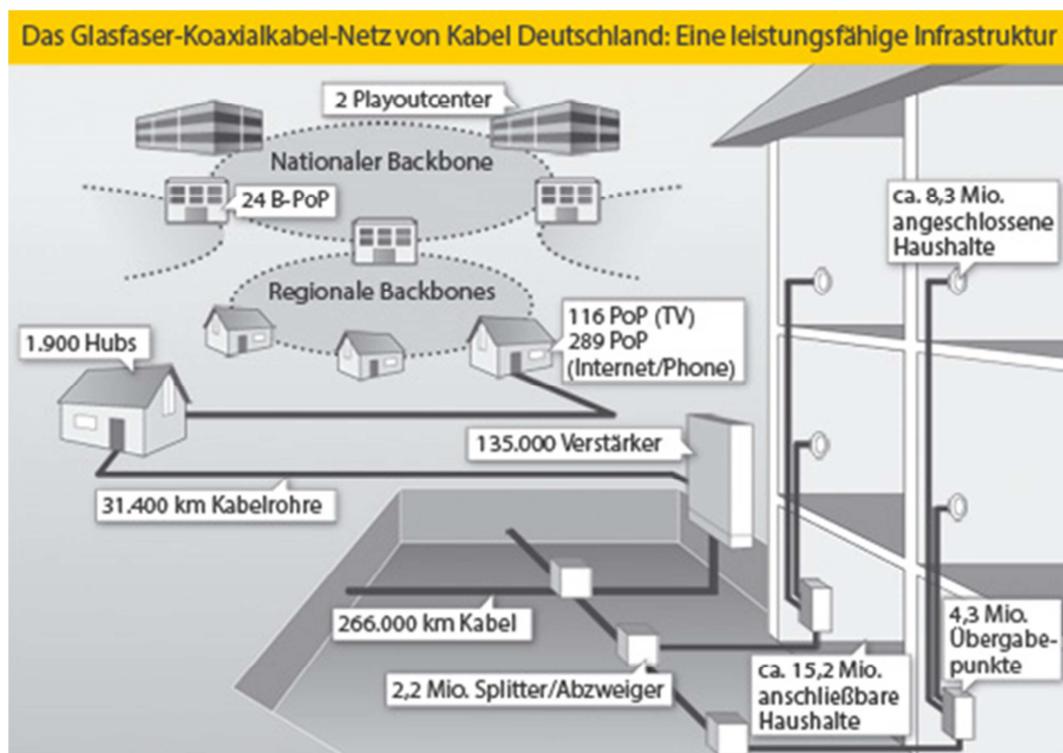


Abbildung 7-3: Daten zum Netz von Kabel Deutschland (2014)

Bezüglich des Technikbestandes der nachgelagerten Aggregations- und Kernnetze existieren ähnlich dem Mobilfunk und dem Festnetz keine statistischen Daten, sodass Annahmen getroffen werden. Es wird wie beim Mobilfunk (vgl. Kapitel 7.2) die Netzsteuerungs-, Monitoring- und Transporttechnik in einem hybriden Netzelement abgebildet, welches als Netzknoten benannt wird. Die Anzahl dieser Netzknoten orientiert sich an der durchschnittlichen Anzahl von Routern (Hops), welche ein Signal in Deutschland von einem Endgerät bis zu einem Serviceprovider durchläuft. Im Berechnungsmodell wird identisch zu den anderen Kernnetzen auch vier Netzknoten ausgegangen. Diese Annahme wird durch die Daten von Kabel Deutschland bestärkt.

7.4.3 Entwicklungstrends

Aktuelle TV-Kabelnetze im DOCSIS 3.0 Standard erreichen bereits heute Downloadgeschwindigkeiten von bis zu 150 Mbps. Die großen Kabelnetzbetreiber wie Kabel Deutschland/Vodafone oder Unitymedia Kabel BW arbeiten an der Implementierung der neuen Technologiegeneration DOCSIS 3.1, mit dessen kommerziellem Einsatz laut Pressemitteilung ab 2016 zu rechnen ist.²² Der neue Standard soll den Datendurchsatz im Downstream und im Upstream steigern, ohne dass Änderungen an der vorhandenen HFC-Netzinfrastruktur (Hybrid Fiber Coax) notwendig würden. DOCSIS 3.1 arbeitet mit Kanalbandbreiten von 192 MHz im Downstream und von 96 MHz im Upstream, die aber bei Bedarf skaliert werden können. DOCSIS 3.1 soll Datenraten von mehr als 10 Gbps im Downstream und über 1 Gbps im Upstream ermöglichen. Welchen Effekt diese Erweiterung der Bandbreite auf den Energiebedarf hat, ist noch unklar.

²² Unitymedia bereitet sein Netz auf 1 GBit/s im Upstream vor (Golem Pressemeldung): <http://www.golem.de/news/docsis-3-1-unitymedia-bereitet-sein-netz-auf-1-gbit-s-im-upstream-vor-1509-116276.html> [Stand: 27.10.2015]

7.4.4 Nutzungsmuster

In der Basisprognose wird ein kontinuierlicher 24h-Betrieb aller Netzelemente einschließlich der Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur (PUE) des angenommen. Ein lastadaptiver Betrieb bzw. Standby-Betrieb erfolgt in der Basisprognose nicht.

Tabelle 7-17: TV-Kabelnetz: Annahmen für das Nutzungsmuster (Basisprognose)

TV-Kabelnetz	2010		2015		2020		2025	
	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]	Aktiv [h/d]	Standby [h/d]
365 Tage pro Jahr								
TV-Kabel und HFC-Zugangsnetze	24	0	24	0	24	0	24	0
Netzknoten des Aggregations- u. Kernnetzes	24	0	24	0	24	0	24	0
Kühlungs- und Stromversorgungstechnik (PUE)	24	0	24	0	24	0	24	0

7.4.5 Leistungsaufnahme

TV-Kabel Zugangsnetz: Die Leistungsaufnahme der Technikelemente im TV-Kabelzugangsnetz, d.h. der Verstärker und Verteiler (vgl. Abbildung 7-3), wird abgeschätzt. Eine Datenquelle ist wieder der Code-of-Conduct Broadband Equipment v5 (EC 2014). Darin wird für Endkundengeräte (Customer Premises Equipment mit DOCSIS 3.0 Standard) im Aktiv-/Leerlauf-Zustand etwa 6,0 Watt veranschlagt. Eine ähnliche Leistung errechnet sich auf Basis der Technologiedaten (Signalpegel, Leitermedium, durchschnittliche Distanz vom Verstärker zum Kundenanschluss, etc.) und wird daher als Wert im Bestandsmodell verwendet. Zusätzlich wird wie bei den anderen Netzbereichen auch ein PuE-Faktor beaufschlagt.

Tabelle 7-18: TV-Kabelnetz: Elektrische Leistungsaufnahme Zugangsnetz (Basisprognose)

Leistungsaufnahme	2010	2015	2020	2025
TV-Kabel/HFC-Anschluss	6,0 W	6,0 W	6,0 W	6,0 W
PUE Faktor	1,7	1,6	1,5	1,4

TV-Kabel Aggregations- und Kernnetz: Die Werte für die elektrische Leistungsaufnahme der Netzknoten sind identisch mit denen der Aggregations- und Kernnetze des Mobilfunknetzes und des Festnetzes. Für das Jahr 2015 wird pro Nutzer und Netzknoten mit rund 0,6 Watt gerechnet. Dieser Wert beinhaltet den Signalübertragung (0,3 Watt) und die Signalverarbeitung (0,3 Watt). Es wird angenommen, dass in Zukunft der Signalverarbeitungsaufwand der Gateways bzw. Router aufgrund des höheren Datenvolumens, aber auch aufgrund von zunehmender Datenkompression und Datenverschlüsselung trotz effizienterer Technik (Moore'sches Gesetz) alle fünf Jahre um rund 0,2 Watt leicht zunimmt. Der PuE-Wert verbessert sich ebenfalls identisch zu den anderen Netzbereichen.

Tabelle 7-19: TV-Kabelnetz: Elektrische Leistungsaufnahme Kernnetz (Basisprognose)

	2010	2015	2020	2025
Anzahl Netzknoten	4	4	4	4
Elektrische Leistungsaufnahme pro Netzknoten pro Nutzer	0,4 W	0,6 W	0,8 W	1,1 W
PUE-Faktor (Aufschlagsfaktor für Kühlungs- und Stromversorgungsinfrastruktur)	1,7	1,6	1,5	1,4

7.4.6 Energiebedarf

Der kumulierte Energiebedarf des TV-Kabelnetzes bleibt von 2010 bis 2025 fast konstant und wird auf 2,5 TWh pro Jahr leicht ansteigen. Diese aggregierte Zahl zeigt jedoch nicht die strukturellen Veränderungen, welche sich über die Jahre vollziehen. Mit der zunehmenden Nutzung des TV-Kabels als Breitband-Internetanschluss (Triple Play) steigt der Energiebedarf des Kernnetzes mit den Jahren deutlich an. Dieser Anstieg wird bis 2025 noch vollständig durch die angenommene Verbesserung des PUE-Wertes ausgeglichen.

Tabelle 7-20: TV-Kabelnetz: Energiebedarf von 2010 bis 2025 (Basisprognose)

Energiebedarf in TWh/a	2010	2015	2020	2025
TV-Kabel Zugangsnetz	1,750	1,493	1,487	1,472
TV-Kabel Kernnetz	0,467	0,558	0,780	1,083
Gesamt	2,217	2,051	2,268	2,554

8 IKT am Arbeitsplatz im Detail

8.1 Produktkategorien

Im Folgenden wird die Modellbildung für die Berechnung des Bestands und des resultierenden Energiebedarfs der IKT-Geräte an Arbeitsplätzen für die Jahre 2010, 2015, 2020 und 2025 beschrieben. Diese gliedert sich in die folgenden Arbeitsschritte:

- Zuordnung von Produktgruppen zu Produktkategorien
- Ermittlung des Gerätebestandes für die Berichtsjahre 2010, 2015, 2020 und 2025 anhand von Absatzzahlen und Prognosen sowie Gesamtnutzungsdauer in Jahren²³
- Zuordnung typischer Nutzungsmuster und Leistungsaufnahmen zu den Produkttypen
- Berechnung des jährlichen Energiebedarfs pro Produkt und für den Bestand

Für die Arbeitsplätze werden die in Tabelle 9-1 abgebildeten Produktkategorien und -gruppen erfasst.

Tabelle 8-1: Produktkategorien und –gruppen an IKT-Geräten in den Haushalten

Produktkategorien	Produktgruppe
Computer	Desktop PC
	Notebook
	Thin Client
	Tablet PC
Monitore	Monitore bis 19“ Bildschirmdiagonale
	Monitore über 19“ Bildschirmdiagonale
Computer-Peripheriegeräte	Drucker
	Multifunktionsgeräte
Monitore	Scanner
	Faxgeräte
Netzwerk und Telefonie	LAN-Ports 1 GBit
	LAN-Ports 10 GBit+
	WLAN-Systeme
	Telefone
	Smartphones
Präsentationstechnik	Beamer
	Beamer in Whiteboards
	Whiteboards allein

Nicht erfasste Geräte

In der Erhebung nicht berücksichtigt werden fest installierte wie auch mobile Festplatten. Fest installierte Festplatten werden der Rechenzentrumsausrüstung zugerechnet und in Kapitel 6.3 behandelt. Mobile Festplatten zur Datenspeicherung wiederum sind im Regelfall nicht mit dem Stromnetz verbunden und weisen so nur einen zu vernachlässigenden Energiebedarf auf.

²³ Für die Berechnung des Bestands wird die Gesamtnutzungsdauer in Jahren verwendet. Hierbei ist die die Dauer gemeint, die die Geräte real genutzt werden und nicht die Verweildauer, welche die Lagerung in den Haushalten miteinbezieht.

Nicht als separate Produktgruppen erfasst werden integrierte Desktop PCs (Monitore mit im Gehäuse integriertem PC) sowie sogenannte Mini-PCs. Für beide Produktgruppen liegen keine belastbaren entsprechend spezifizierten Verkaufszahlen vor. Die separate Erfassung integrierter Desktops ist zudem für die Abschätzung des Gesamtenergiebedarfs ohne wesentliche Bedeutung, da sowohl der enthaltene PC als auch der Monitor in die Zahlen der jeweiligen Produktgruppen einfließt.

Mini-PCs sind mit relativ langsamen 1,5 bis 2,0 GHz-Prozessoren ausgerüstet und haben z.Zt. noch eine etwas geringere Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb als konventionelle Desktops (vgl. Abbildung 8-1) von etwa 20 Watt. Perspektivisch wird dieser Unterschied bis 2025 immer kleiner (vgl. Tabelle 8-2), so dass eine separate Ausweisung der Produktgruppe nicht nötig erscheint.

Exkurs Workstations

In den Jahren bis 2010 gab es nach Techconsult zwischen 300 und 400 Tsd. Risc-basierte Workstations in Deutschland – Tendenz sinkend. Mittlerweile werden für Workstations auch Intel/AMD Prozessoren (PC- oder Serverprozessoren) eingesetzt. Techconsult weist Workstations aktuell nicht mehr aus – die Grenzen zum Desktop PC/Server sind fließend geworden. Die kalifornische Jon Peddie Research ist eine der wenigen Institutionen, die sich aktuell mit dem Nischenmarkt der Workstations beschäftigt. Anfang des Jahres 2015 wird berichtet: „Worldwide, the industry shipped approximately 1.03 million workstations in Q4'14, equating to a within-cyclical-norms 1.4 % sequential growth“. Hochgerechnet ergeben sich ca. 4 Mio. verkaufte Workstations pro Jahr weltweit. Nach Gartner liegt die Zahl der weltweit verkauften PCs bei etwa 320 Mio. pro Jahr. Der Anteil der Workstations wäre damit ca. 1,25 %. Läge der Bestand in Deutschland ebenso bei 1,25 % bezogen auf den Bestand von 13 Mio. Desktop PCs, dann entspräche er ca. 160.000 Workstations. Mit Blick auf die historischen Techconsult Daten kann aber wohl vermutet werden, dass in Deutschland ca. 300.000 bis 400.000 Workstations vorhanden sind. Obwohl die Daten des EU-Energy Star darauf hindeuten, dass Workstations aktuell eine etwa doppelt so hohe Leistungsaufnahme aufweisen wie „normale“ Desktop-PCs, also ca. 80 statt 40 Watt, ist das Segment offenbar so klein, dass es in dieser Studie nicht separat behandelt wird.

8.2 Arbeitsplatzcomputer

8.2.1 Datenüberblick

Das Kapitel Arbeitsplatzcomputer fasst Informationen zu Desktop PCs, Notebooks, Thin Clients und Tablet PCs zusammen.

Tabelle 8-2: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Arbeitsplatzcomputer

Computer	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]
Desktop PCs	12,8	11,8	9,5	7,0
Notebook PCs	11,4	13,9	16,8	20,0
Thin Clients	2,2	2,8	3,5	4,3
Tablet PCs	0,05	3,1	9,4	15,9

Computer	2010		2015		2020		2025	
Nutzungsmuster 220Tage²⁴a	Aktiv [h]	Standby [h]						
Desktop PCs	7	16	7	16,5	6,5	17	6,5	17,5
Notebook PCs	7	16	7	16,5	6,5	17	6,5	17,5
Thin Clients	7	16	7	16,5	6,5	17	6,5	17,5
Tablet PCs	3	19	3	19	4	19	5	19
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby [W]						
Desktop PCs	68,4	10	49,3	5,3	34,9	1,5	27,5	0,8
Notebook PCs	30,2	3,0	23,1	2,3	13,7	1,3	10,0	0,7
Thin Clients	18,2	2,6	14,6	1,9	11,2	1,4	9,0	0,9
Tablet PCs	3,0	0,5	3,8	0,5	4,7	0,5	5,7	0,5
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Desktops	189	2.330	119	1.350	65	610	45	310
Notebook	74	800	54	730	31	510	19	380
Thin Clients	50	110	38	100	27	95	19	83
Tablet	9	0	11	33	12	114	14	221
Summe		3.240		2.213		1329		994

Die relative Bedeutung der Arbeitsplatzcomputer für den Energiebedarf der IT am Arbeitsplatz nimmt deutlich ab. Der wichtigste Grund hierfür ist die Tatsache, dass die Leistungsaufnahme eines Desktop-PC von 80 bis 100 Watt im Aktiv-Betrieb im Jahr 2000 auf unter 30 Watt im Jahr 2025 fallen wird. Durch verbessertes Energiesparmanagement und die parallele Nutzung von Tablets geht auch die Zeit im Aktiv-Betrieb von ca. 8 h im Jahr 2000 auf nur noch ca. 6,5 h pro Arbeitstag zurück.

Die Zahl der „klassischen“ Arbeitsplatzcomputer Desktop-PCs, Notebooks und Thin Clients wird langsam weiter wachsen. Betrug sie in 2010 noch ca. 26 Millionen, werden es 2025 etwas über 31 Millionen Geräte sein. Die Studie geht darüber hinaus davon aus, dass weitgehend zusätzlich zu diesen Zahlen bis 2025 bis zu 16 Millionen Tablet-PCs an den Arbeitsplätzen vorhanden sein werden, die als Lesegeräte und zum mobilen Datenzugriff zur Verfügung stehen.

Der Anteil mobiler Geräte (Notebooks und Thin Clients) an allen Arbeitsplatzcomputern wird von ca. 65 % im Jahr 2010 auf im Jahr 2025 ca. 75 % steigen.

8.2.2 Produktbestand

Die Bestandszahlen werden auf Basis von Verkaufsdaten von Techconsult (und daraus auf Basis der Trendinformationen extrapolierten Verkaufszahlen für die Jahre 2015 bis 2025) für den Zeitraum 2010 bis 2025 errechnet. Für Tablet-PCs liegen Techconsult Daten nicht vor, ihre Zahl wurde analog ihrer Gesamtverkaufszahlen abgeschätzt.

²⁴ Für Tablets wird abweichend eine Nutzung von 5 Stunden an 365 Tagen angenommen, da diese Geräte auch privat genutzt werden.

Bei der Entwicklung der Verkaufszahlen wird davon ausgegangen, dass sich der Anteil der mobilen Geräte (Notebook und Tablet) aufgrund veränderter Arbeits- und Nutzungsgewohnheiten und einem höheren Anspruch an Mobilität weiter erhöht. Schreibt man die aktuellen Trends in den Verkaufszahlen fort, so ergibt sich im Jahr 2020 ein Anteil mobiler Geräte (Notebooks und Thin Clients) an allen Arbeitsplatzcomputern von ca. 65 %, im Jahr 2025 von ca. 75 %.

Es wird von Nutzungsdauern von fünf Jahren für die Desktop PCs, vier Jahren für Notebook PCs und Tablet PCs sowie acht Jahren für Thin Clients ausgegangen (Fichter, Clausen & Hintemann, 2011, S. 74).

8.2.3 Entwicklungstrends

Zu den schon seit den 1990er Jahren verbreiteten Desktop PCs und Notebooks sind seit Anfang des Jahrtausends die Thin Clients, seit 2005 die Mini-PCs und seit ca. 2010 die Tablet PCs hinzugekommen. Die Vielfalt der Endgeräte hat dabei genau wie deren Anzahl zugenommen. Sowohl in der steigenden Zahl der Notebooks wie auch in dem wachsenden Anteil der Tablets spiegelt sich der gesellschaftliche Trend zu Mobilität und auch ein neues Verständnis von Arbeit wieder, welches sich losgelöst vom klassischen Büroarbeitsplatz und deutlich unabhängiger als früher von festen Arbeitszeiten nicht mehr durch Anwesenheit und Stempelkarten messen lässt, sondern welches sich durch schnelle Reaktionen auf Informationen und fraktale Arbeit zu unterschiedlichen Orten und Zeiten auszeichnet. Die signifikant geringere Anwesenheitsquote von Angestellten in Büros spiegelt sich in neuen Konzepten des Desk Sharing, wie sie z.B. bei IBM und vielen anderen praktiziert werden (Fichter, 2006).

Neben dem Nutzungsmuster für stationäre Geräte hat sich daher ein davon verschiedenes Nutzungsmuster für mobile Geräte entwickelt. Diese haben ein der notwendigen Energieeffizienz geschuldetes verbessertes Powermanagement, welches die Geräte bei Nichtnutzung schneller in einen Niedrigenergiezustand versetzt und so die durch die Batteriekapazität begrenzte Nutzungsdauer verlängert. Längere Standby-Zeiten, wie sie z.B. für die Fernwartung von Desktop-PC-Beständen benötigt werden, sind bei diesen Geräten nicht üblich. Aber solche Geräte werden zumindest von einem Teil der Beschäftigten auch über die Kernarbeitszeit hinaus betrieben, z.B. zur privaten Nutzung oder zur Reaktion auf Nachrichten auch außerhalb der eigentlichen Arbeitszeiten.

Durch die zusätzlich genutzten Tablets werden die durchschnittlichen Betriebszeiten der Arbeitsplatzcomputer leicht sinken.

Da seit spätestens 2010 der Fokus der Chip-Entwicklung auf Prozessoren für mobile Geräte (Notebooks, Tablets, Smartphones) liegt, wurden viele Erfahrungen zur energieeffizienten Konstruktion dieser Prozessoren gewonnen, die sich zunehmend auf alle Typen von Arbeitsplatzcomputern auswirken. Dadurch sinkt der Energiebedarf der Geräte deutlich. Lag die Leistungsaufnahme von Desktop-PCs in 2010 noch bei ca. 60 Watt und bei Notebooks bei 30 Watt, so konvergiert die Leistungsaufnahme bis 2025 für alle Gerätetypen im Bereich zwischen zehn und 30 Watt. Zur Reduktion des Energiebedarfs trägt bei, dass sich auch verbesserte Systeme des Powermanagements aus dem mobilen Bereich auf die aktiven Zeiten stationärer Geräte auswirken.

8.2.4 Nutzungsmuster

Das grundlegende Nutzungsmuster für die Berechnung des Jahresstrombedarfs von Arbeitsplatzcomputern geht von einem achtstündigen Arbeitstag an 220 Tagen im Jahr²⁵ aus.

Die Nutzungszeit von Desktop-PC, Notebooks und Thin Clients im Aktiv-Betrieb geht aufgrund der parallelen Nutzung von Tablets wie auch aufgrund der Übernahme des besseren Powermanagements aus dem Bereich der mobilen Geräte von 7 h/d auf 6,5 h/d leicht zurück.

8.2.5 Leistungsaufnahme

Die Entwicklung der durchschnittlichen Leistungsaufnahme wird für Desktops, Notebooks und Thin Clients anhand der Daten des EU-Energy Star unter Hinzuziehung der (zeitlich besser aufgelösten) Energy Star Daten aus den USA sowie der historischen Daten aus der Vorgängerstudie (BMW i 2009, S. 135) ermittelt.

Die folgende Grafik zeigt die Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb (Idle) in Watt von 1500 verschiedenen Büro-Desktop PCs auf der aktuellen Website des EU Energy Star (2015a)²⁶ in Abhängigkeit von der Prozessorgeschwindigkeit.

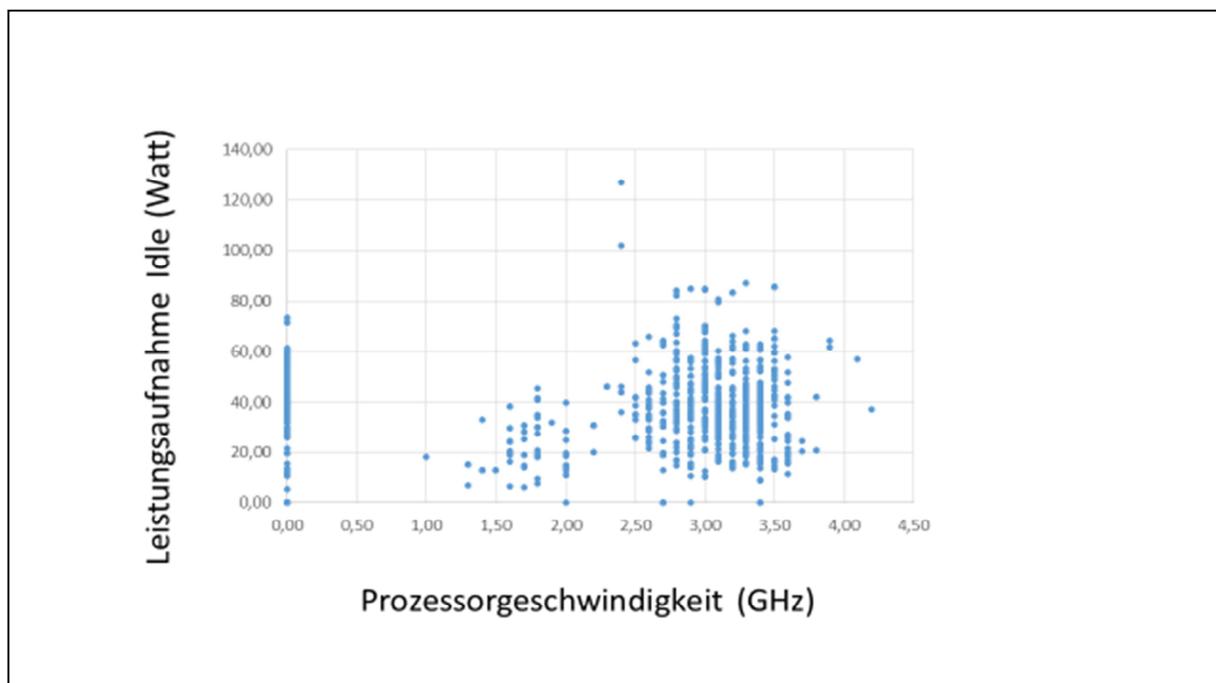


Abbildung 8-1: Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb (Idle) in Abhängigkeit von der Prozessorgeschwindigkeit von 1500 verschiedenen Büro-Desktop PCs auf der aktuellen Website des EU Energy Star

Auf Basis der langsameren Prozessoren der Intel Atom Familie mit ca. 1,5 GHz werden leistungsarme Desktop-PCs angeboten, die ca. zehn bis 40 Watt Leistungsaufnahme aufweisen und bei denen es sich im Wesentlichen um sogenannte Mini-PCs handelt. Das Gros der im Energy Star aufgeführten Desktop PCs ist jedoch mit leistungsstärkeren Prozessoren mit 2,5 bis 3,5 GHz Prozessorgeschwindigkeit ausgerüstet und weist eine Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb (Idle) von 20 bis 60 Watt auf. Errechnet man den Mittelwert, ergeben sich 38,1

²⁵ Die 220 Tage ergeben sich, wenn von 365 Tagen im Jahr 104 Wochenendtage und die in Deutschland üblichen 30 Urlaubstage abgezogen werden.

²⁶ Die Daten von der Energy-Star Website beruhen durchweg auf den Definitionen des Energy-Star.

Watt. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb (Idle) eines aktuellen Desktop kann also auf in 2015 ca. 40 Watt veranschlagt werden (vgl. Tabelle 8-2).

Für den Standby-Betrieb errechnet sich der Mittelwert der Leistungsaufnahme von 1500 verschiedenen Büro-Desktop PCs auf der aktuellen Website des EU Energy Star zu 0,8 Watt, für den Aus-Zustand (Sleep-Mode) zu 2,1 Watt. Damit liegen die Werte für Standby- und so eng zusammen, dass diese zusammengefasst werden können.

Eine vergleichbare Analyse von Daten zu 1.500 Notebook Computern der marktführenden Marken ACER, ASUS, HP und Lenovo führt zur Ermittlung eines Mittelwertes für den Sleep Mode von 1,0 Watt, für den Standby-Betrieb von 0,5 Watt und für den Aktiv-Betrieb (Idle) von 9,4 Watt.

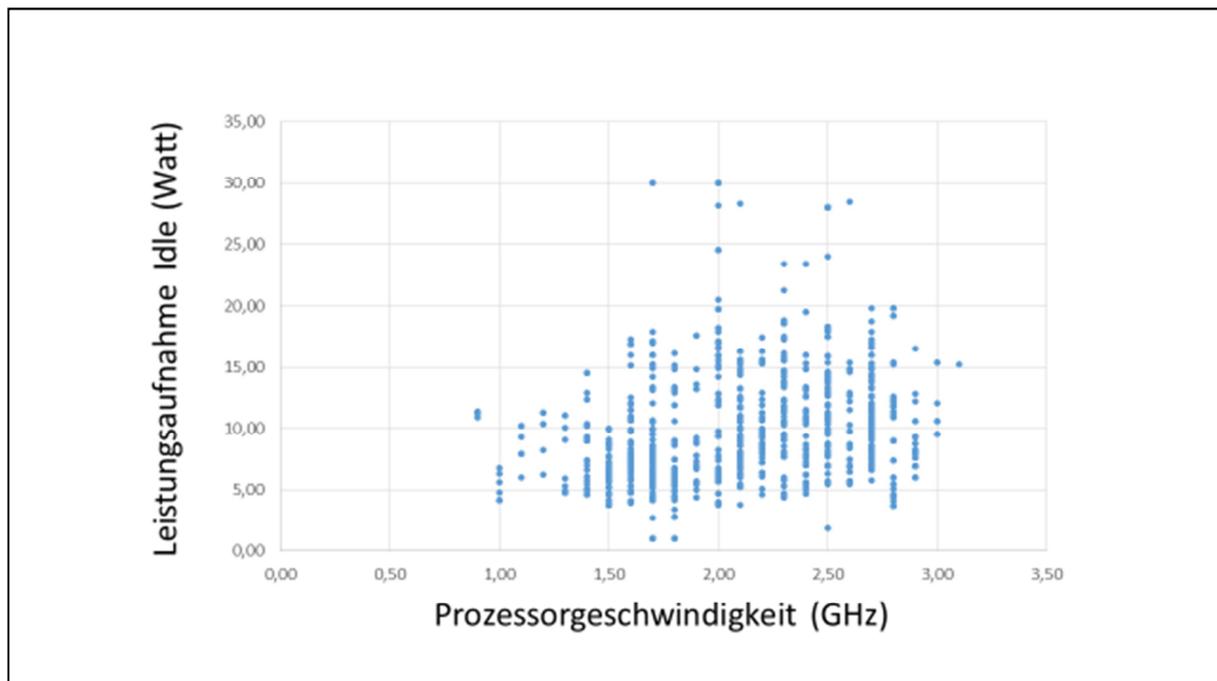


Abbildung 8-2: Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb (Idle) in Abhängigkeit von der Prozessorgeschwindigkeit von 1500 verschiedenen Notebook PCs auf der aktuellen Website des EU Energy Star

Die Analyse der gegenwärtig 267 im Energy Star gelisteten Thin Clients ergibt zum einen, dass nur für 118 Geräte ein Messwert für dem Aktiv-Betrieb (Idle) angegeben ist. Dieser schwankt von 4,8 Watt bis 14,6 Watt um einen Mittelwert von 9,6 Watt. Der Mittelwert für den Standby-Betrieb lässt sich für 223 Geräte zu 0,6 Watt errechnen. Der Aus-Zustand (Sleep Mode) schwankt für 234 Geräte von 0,1 Watt bis 13,9 Watt um einen Mittelwert von 6,7 Watt.

Bei den Leistungsaufnahmewerten der Thin Clients wird von einer dem bisherigen Trend folgenden weiteren langsamen Abnahme der Leistungsaufnahme aller Modi ausgegangen.

Bei den Tablet PCs wird die Leistungsaufnahme für das Apple iPad 2 mit drei Watt im Aktiv-Betrieb und 0,5 Watt im Aus-Zustand angegeben (Apple Inc., 2012)²⁷. Das Electric Power Research Institut in Palo Alto hat in 2012 durch Ladeversuche den Jahresstrombedarf für das iPad 1 bis 3 ermittelt (Electric Power Research Institute, 2012). Dabei wurde festgestellt, dass Apple die Prozessorleistung wie auch die Batteriekapazität kontinuierlich erhöht hat. „The charging test results show that the new iPad takes 11,9 kWh per year compared to old-

²⁷ Für Tablet PCs von Samsung werden von Schuster (2013) ähnliche Größenordnungen dokumentiert.

er versions of iPad, which consume 7,2 kWh per year (assuming on average that the iPad is charged every other day)” (Electric Power Research Institute, 2012, S. 2). Diese Werte lassen sich erklären, wenn z.B. das iPad 2 mit drei Watt Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb täglich fünf Stunden betrieben wird und weitere 19 Stunden im Standby-Betrieb läuft. Der höhere Energiebedarf des iPad 3 lässt sich bei einem unveränderten Nutzungsmodus nur dadurch erklären, dass die Leistungsaufnahme im aktiven Betrieb auf fünf Watt gestiegen ist, was auch der Fall ist.

8.3 Monitore

Bei der Analyse des Energiebedarfs der Monitore werden solche bis 19“ Bildschirmdiagonale und solche darüber unterschieden. Technologische Unterschiede werden nicht berücksichtigt, sondern von einem weitgehend homogenen Bestand an LCD-Monitoren ausgegangen. CRT-Monitore wurden bis etwa 2005 verkauft und sind spätestens 2015 komplett aus den Beständen an Arbeitsplätzen ausgeschieden (vgl. Kapitel 9.2). Andere Technologien wie Plasmabildschirme haben sich als Arbeitsplatzgeräte nie einen wesentlichen Marktanteil erobert.

8.3.1 Datenüberblick Monitore

Der Energiebedarf der Monitore kann wie folgt abgeschätzt werden (Vgl. Tabelle 8-3).

Tabelle 8-3: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Monitore

Monitore	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
Monitore bis 19“	15,3		13,6		10,3		6,9	
Monitore über 19“	11,1		15,3		19,7		25,0	
Nutzungsmuster 220 Tage	Aktiv [h]	Standby [h]						
Monitore bis 19“	7	19	6,5	17,5	6	18	5,5	18,5
Monitore über 19“	7	19	6,5	17,5	6	18	5,5	18,5
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby [W]						
Monitore bis 19“	37,2	1,8	28,5	0,9	20,3	0,4	12	0,3
Monitore über 19“	46,4	1,7	36,9	0,8	27,3	0,4	21,8	0,3
Jahresenergiebe- darf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]
Monitore bis 19“	71	1.076	49	665	31	320	22	154
Monitore über 19“	84	927	60	914	40	787	30	749
Summe		2.003		1579		1107		903

Aufgrund höherer Effizienz der Monitore wird der Jahresenergiebedarf trotz höherer Stückzahl und durchschnittlich größerer Bildschirmdiagonale deutlich abnehmen.

8.3.2 Trends

Die an Arbeitsplätzen eingesetzten Monitore werden kontinuierlich größer. Hatten sie in den 80er Jahren meist noch eine Bildschirmdiagonale von 15“ und in den 90er Jahren von 17“, so hatten sich seit der Jahrtausendwende LCD-Monitore mit 19“ durchgesetzt. Schon in

2008 zeichneten sich verstärkte Verkäufe von 22“Monitoren ab (Goßner, 2008), die auch vom Ökoinstitut (2011) beobachtet werden. Zur Zeit werden zunehmend Monitore mit 22“ bis 24“ an den Arbeitsplätzen aufgestellt.

8.3.3 Bestand

Es wird angenommen, dass die Zahl der Monitore gleich der Zahl der PCs, Notebooks und Thin Clients ist. Zwar sind nicht für jedes Notebook ein separater Monitor und eine Tastatur an einer Dockingstation vorhanden, wie dies ergonomisch wünschenswert wäre, aber an vielen Arbeitsplätzen stehen zwei oder sogar mehr Monitore. Es wird pragmatisch angenommen, dass sich diese Zahlen aufheben.

Tablet PCs dagegen stellen einen Sonderfall dar. Mit ihnen wird nur in seltenen Fällen klassische „Schreibtischarbeit“ geleistet, die schnelle Eingaben an der Tastatur und einen großen Bildschirm erfordert. Sie werden eher als Informationsquelle bzw. Lesegerät genutzt, also zusätzlich zum Desktop-PC und unabhängig vom Monitor.

Im Bestand befinden sich kontinuierlich weniger Monitore mit bis zu 19“ Bildschirmdiagonale. Im Absatz sank deren Marktanteil weltweit von 40 % in 2013 auf 36 % in 2014 (Graham, 2014). Betrug der Anteil kleiner Monitore also 2010 noch ca. 60 % sank er bis 2015 auf etwas unter 50 % und tendiert bis 2020 zu 35 %.

8.3.4 Nutzungsmuster

Das Nutzungsmuster von Monitoren ist mit dem der Arbeitsplatzcomputer verbunden. Jedoch schalten Monitore etwas häufiger in den Standby-Modus. Es wird daher davon ausgegangen, dass Monitore grundsätzlich eine Stunde weniger als der mit ihnen verbundene Arbeitsplatzcomputer im aktiven Betrieb sind.

Es wird von Nutzungsdauern von acht Jahren für beide Monitorgrößen ausgegangen.

8.3.5 Leistungsaufnahme

Die folgende Grafik zeigt die Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb (Idle) von 1231 verschiedenen Monitoren in Watt auf der aktuellen Energy Star Website (2015b) in Abhängigkeit von der Größe in Zoll.

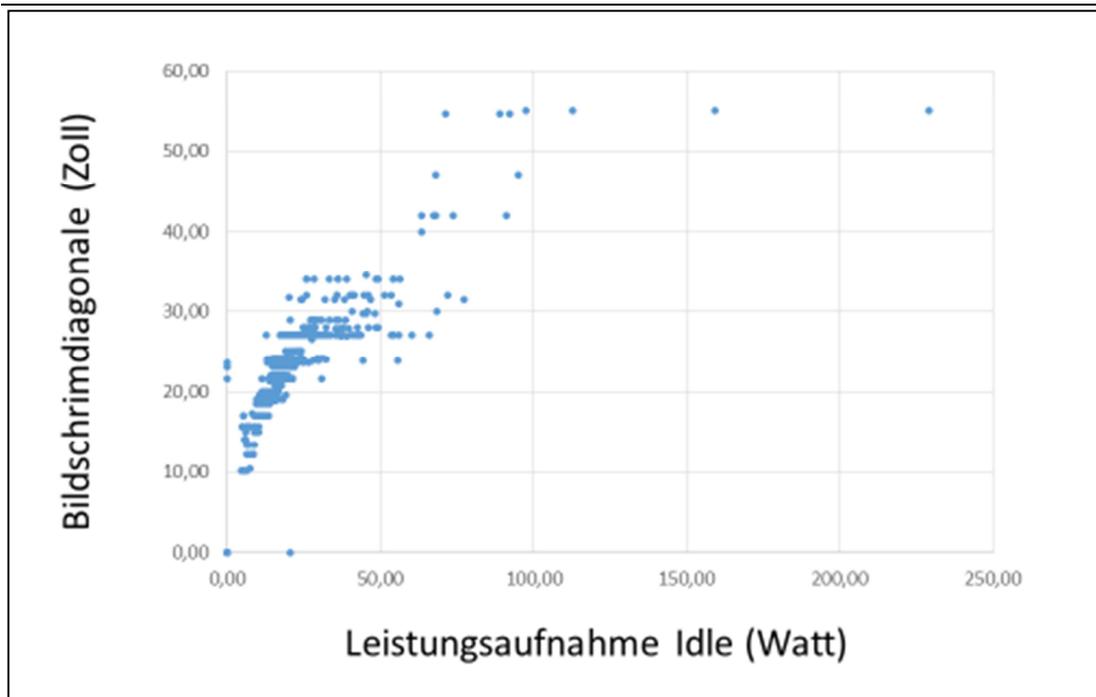


Abbildung 8-3: Leistungsaufnahme (Idle) in Abhängigkeit von der Bildschirmdiagonale von 1231 verschiedenen Monitoren auf der aktuellen Website des EU Energy Star

Es ist zu erkennen, dass ein derzeit gängiger, durchschnittlicher Energy Star Monitor von ca. 19“ ca. 15 Watt Leistung aufnimmt, ein größerer (in dieser Gruppe dominieren die Monitore bis ca. 24“) etwa 22 Watt.

Als Mittelwert errechnet sich für die Stichprobe von 1231 Monitoren aktuell für den Aus-Zustand im Sleep Mode 0,36 Watt, im Off-Zustand 0,23 Watt.

8.4 Computer-Peripheriegeräte

Zu den Computer-Peripheriegeräten zählen Drucker, Multifunktionsgeräte, Scanner und Faxgeräte. Aufgrund unterschiedlicher Datenverfügbarkeit werden zunächst Drucker und Multifunktionsgeräte und im Anschluss Scanner und Faxgeräte behandelt.

8.4.1 Datenüberblick Drucker

Der Energiebedarf von Druckern und Multifunktionsgeräten kann wie folgt abgeschätzt werden:

Tabelle 8-4: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Computer-Peripheriegeräte

Drucker/ Multifunktionsgeräte		2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
Drucker		2,3		2,0		1,7		1,4	
Multifunktionsgeräte		2,3		2,6		2,9		3,2	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt	Bestand							
	[kWh/a]	[GWh/a]	[kWh/a]	[GWh/a]	[kWh/a]	[GWh/a]	[kWh/a]	[GWh/a]	
Drucker		54	125	54	110	50	95	45	60
Multifunktionsgeräte		54	125	54	140	50	145	45	150
Summe			250		250		240		210

Die Größenordnung des Energiebedarfs von Druckern und Multifunktionsgeräten ist so gering, dass eine differenziertere Betrachtung im Rahmen der Untersuchung nicht erforderlich ist.

8.4.2 Trends

Infolge der EU-Ökodesign-Richtlinie nimmt auch bei den Peripheriegeräten die Leistungsaufnahme im Standby-Modus ab. Weitere kleine Effizienzvorteile ergeben sich durch effizienter werdende Netzteile für alle Geräteklassen sowie durch effizientere Software und leichtere Drucktrommeln (fast fusing) für Drucker. Weitere Effizienzfortschritte ergeben sich im Zeitverlauf bei den Lampen und Wechselrichtern von Scannern.

Durch Multifunktionsgeräte werden sowohl Drucker als auch Scanner wie auch Faxe verdrängt. Hinzu kommt, dass sich neben dem Faxgerät das virtuelle Fax als Dienstleistung von Telekommunikationsanbietern sowie als Softwarelösung für PC auf dem Markt etabliert und den Marktanteil des Faxgerätes reduziert hat.

Der seit Jahrzehnten beschworene Trend zum papierlosen Büro schreitet dagegen weiterhin sehr langsam voran und wirkt sich bisher kaum auf den Energiebedarf aus.

8.4.3 Energiebedarf durch das Drucken

Gedruckt wird sowohl mit Druckern als auch mit Multifunktionsgeräten, die zusätzlich scannen, kopieren und ggf. faxen können.

Der in dieser Studie generell verfolgte Ansatz, den Energiebedarf aus Bestandsdaten, Nutzungsmustern und Leistungsaufnahme zu errechnen, erweist sich bei Druckern als problematisch. So gibt z.B. Fraunhofer ISI, TU München, GfK & IREES (2013, S. 108) je nach Druckertyp Betriebszeiten zwischen sechs und acht Stunden werktäglich an. Für aktive Druckzeiten sind diese Werte allerdings viel zu hoch, sie dürften Standby-Zeiten einschließen. Das (BMWi 2009, S.135) dokumentiert dagegen eine aktive Druckzeit von ca. 20 Minuten werktäglich. Um grundsätzlich mit dieser Methode weiter arbeiten zu können wäre es notwendig, die wirklichen Zeiten für verschiedene Drucker-Leistungsklassen sicher festzustellen und ihnen Leistungsaufnahmen zuzuordnen. Diese variieren aber in hohem Maße. Weiter wäre es notwendig, die Zahl der vorhandenen Drucker zu recherchieren, für die es aber auch aufgeteilt nach Leistungsklassen keine Daten gibt.

Als Alternative bieten sich die Daten des EU-Energy Star an. Diese weisen für viele am Markt verfügbaren Drucker die Seitenleistung pro Minute, die Leistungsaufnahme im Auszustand sowie den Energiebedarf pro Woche in kWh aus. Die dem Messverfahren für die Leistungsaufnahme zugrundeliegende Zahl von Drucken findet sich in den Imaging Equipment Test Methods des EU Energy Star (2013).

Rechnet man nun den Energiebedarf pro Kopie und daraus die die aktive Druckzeit in Anlehnung an das EU Energy Star Testverfahren und differenziert nach Leistungsklassen aus, ergibt sich Folgendes (Vgl. Tabelle 8-5):

Tabelle 8-5: Leistungsaufnahmedaten und Betriebszeiten von Druckern

Seitenleistung pro Minute	Drucke pro Woche (nach Testverfahren EU Energie Star)	Typischer Energiebedarf pro Woche in kWh	Energiebedarf pro 1000 Seiten in kWh	Betriebszeit in Minuten pro Woche
20	1.000	1	1	50
40	4.000	3	0,75	100

Seitenleistung pro Minute	Drucke pro Woche (nach Testverfahren EU Energie Star)	Typischer Energiebedarf pro Woche in kWh	Energiebedarf pro 1000 Seiten in kWh	Betriebszeit in Minuten pro Woche
60	9.000	6	0,66	150

Der Energiebedarf pro 1.000 Seiten liegt also, wenn von einer Marktdominanz eher kleiner Drucker ausgegangen wird, im Durchschnitt nach Energy Star bei ca. 0,75 bis 1 kWh pro 1000 Seiten.

Der Strombedarf für das Drucken lässt sich nunmehr ausrechnen, wenn entweder die Zahl der Drucker nach Leistungsklassen sowie deren jeweilige Leistungsaufnahme ermittelt werden könnte (was nicht der Fall ist) oder die Zahl der gedruckten Seiten je Arbeitnehmer bekannt wäre (was der Fall ist).

Ca. 31 Seiten pro Mitarbeiter und Tag, wurden laut der Studie des Markt- und Meinungsforschungsinstitutes Ipsos in europäischen Büros im Durchschnitt gedruckt (Manta, 2010). In den letzten Jahren hat sich diese Zahl kaum verändert. Am meisten gedruckt haben laut Studie 2009 die Deutschen mit 40 Seiten pro Mitarbeiter und Tag. 2007 gingen sie noch ein wenig sparsamer mit ihren Papierressourcen um und druckten täglich im Schnitt 36 Seiten pro Person und Tag. Bei 220 Arbeitstagen im Jahr lassen sich so pro Büroarbeitsplatz ca. 8.800 Druckseiten errechnen. Diese wiederum kann ein Energy Star Drucker mit einem Aufwand von 6,6 kWh bis 8,8 kWh pro Jahr ausdrucken.

Bei 17 Mio. Bürobeschäftigten ergeben sich ca. 112 bis 150 Mio. kWh pro Jahr für das Drucken.

Es sind keine Hinweise dafür bekannt, dass der Bedarf an Büropapieren zurückgeht. Auch das Umweltbundesamt (2015) weist auf einen seit Jahren stagnierenden Papierbedarf in Deutschland hin. Es kann daher für 2020 und 2025 nicht mit einer höheren oder niedrigeren Leistungsaufnahme gerechnet werden.

Zur Plausibilitätsprüfung (also als zusätzliche Vergleichsprüfung) soll ein zweiter Rechenansatz über die Zahl der Drucker erfolgen. Dabei wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass der aktuelle Regelfall heute Netzwerkdrucker sind und es werden zwei Varianten gerechnet: Für jeweils fünf und zehn Büroarbeitsplätze ein Drucker.

Tabelle 8-6: Energiebedarf von Druckern errechnet anhand der Zahl der Büroarbeitsplätze

Arbeitsplätze pro Drucker	Seitenleistung pro Minute	Typischer Strombedarf pro Woche in kWh	Zahl Drucker bei 17 Mio. Büroarbeitsplätzen	Summe Energiebedarf pro Jahr in GWh
5	20	1	3,4 Mio.	177
10	40	3	1,7 Mio.	265

Der Strombedarf aller aktuell im Betrieb befindlichen Drucker und Multifunktionsgeräte in Unternehmen lässt sich so auf den Bereich von 150 bis 250 GWh pro Jahr in 2010 und 2015 eingrenzen.

Unter Verweis auf die Zahl der Unternehmen und die Annahme, dass in jedem Unternehmen mindestens ein Drucker vorhanden ist (analog Tabelle 8-8) muss dennoch von einer höheren Zahl von Druckern in Unternehmen in Höhe von ca. 4,6 Mio. Geräten ausgegangen werden.

Geht man – die höhere Gerätezahl reflektierend – von einem Jahresenergiebedarf von 250 GWh für die Drucker in Unternehmen, Behörden und Bildungseinrichtungen aus, so liegt

der Anteil am Gesamtbedarf der IKT in Deutschland unter 0,5 %. Noch zu erwartende Effizienzgewinne (leichtere Drucktrommeln, effizientere Netzteile und bessere Druckersoftware) werden diesen Wert auf 230 GWh in 2020 und 210 GWh in 2025 absinken lassen.

8.4.4 Datenüberblick Faxgeräte und Scanner

Der Energiebedarf der Faxgeräte und Scanner kann wie folgt abgeschätzt werden:

Tabelle 8-7: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Computer-Peripheriegeräte

Faxe und Scanner	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
Faxgeräte	2,2		1,8		1,3		0,8	
Scanner	2,2		2,0		1,6		1,0	
Nutzungsmuster 365 Tage	Aktiv [h]	Standby [h]	Aktiv [h]	Standby [h]	Aktiv [h]	Standby [h]	Aktiv [h]	Standby [h]
Faxgeräte	0,5	23,5	0,5	23,5	0,5	23,5	0,5	23,5
Scanner	0,5	23,5	0,5	23,5	0,5	23,5	0,5	23,5
Durchschnittliche Leistungsaufnahme Bestand	Aktiv [W]	Standby [W]	Aktiv [W]	Standby [W]	Aktiv [W]	Standby [W]	Aktiv [W]	Standby [W]
Faxgeräte	300	6	300	5	300	4	300	3
Scanner	20	2,5	18	2	16	1,5	14	1
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]
Faxgeräte	85	187	76	135	68	89	59	45
Scanner	24	53	19	39	15	23	10	10
Summe		240		174		112		55

Wie bei Druckern ist die Größenordnung des Energiebedarfs von Faxgeräten und Scannern so gering, dass eine differenziertere Betrachtung im Rahmen der Untersuchung nicht erforderlich ist.

8.4.5 Bestand an Faxgeräten und Scannern

Ausgangspunkt für die Ermittlung der Zahl von Faxgeräten und Scannern in deutschen Unternehmen ist die Unternehmenszahl. In Deutschland gab es zum 31.5.2014 genau 3.663.432 Unternehmen (Statistisches Bundesamt, 2015a), die wie folgt auf die Größenklassen, sowie die Zahl der Beschäftigten pro Unternehmen (Institut für Mittelstandsforschung, 2012, S. 11) aufgeteilt sind (Vgl. Tabelle 8-8):

Tabelle 8-8: Abschätzung der Zahl von Faxen und Scannern abhängig von der Unternehmenszahl und -größe

Zahl Be- schäftigte	Zahl Un- ternehmen	Ø Beschäf- tigte pro Unterneh- men	Zahl Faxge- räte pro Unterneh- men	Zahl Faxgerä- te 2014	Zahl Scanner pro Unter- nehmen	Zahl Scanner 2014
bis 9	3.329.245	1,26	1	3.329.245	1	3.329.245
10 bis 49	264.404	16,9	2	528.808	2	528.808
50 bis 249	56.903	82,4	4	227.612	4	227.612

Zahl Beschäftigte	Zahl Unternehmen	Ø Beschäftigte pro Unternehmen	Zahl Faxgeräte pro Unternehmen	Zahl Faxgeräte 2014	Zahl Scanner pro Unternehmen	Zahl Scanner 2014
250 und mehr	12.880	715	40	515.200	40	515.200
Gesamtzahl				4.600.865		4.600.865

Grundannahme für die Ermittlung der Zahl der Fax- und Scan-Möglichkeiten ist zunächst, dass in jedem Unternehmen eine solche Funktionalität vorhanden ist. Bei Unternehmen ab 50 Beschäftigten wurde angenommen, dass für jeweils 20 Beschäftigte ein Faxgerät oder Scanner zur Verfügung steht. Aber nicht jede Fax- oder Scan-Funktionalität erfordert das Vorhandensein eines separaten Gerätes. In Europa wurden bereits 2006 erstmals mehr Multifunktionsgeräte als Drucker verkauft (Golem.de, 2007a). Daher wird weiter angenommen, dass der Anteil der Multifunktionsgeräte am Gesamtbestand von 50 % in 2010 auf 70 % in 2025 linear ansteigt. Weiter wird angenommen, dass besonders kleine Unternehmen in einigen Fällen nur über ein virtuelles Faxgerät (durch den Telekomanbieter bereitgestellt oder als Software) verfügen und der Anteil dieser Lösungen von 0 % in 2010 auf 15 % in 2025 ansteigt.

Weiter wird davon ausgegangen, dass sich die Gesamtzahl der Unternehmen um 5 % pro fünf Jahre erhöht (Institut für Mittelstandsforschung, 2012, S. 17).

Tabelle 8-9: Entwicklung der Zahl der Faxgeräte im Zeitverlauf

	2010	2015	2020	2025
Anzahl Faxgeräte	4.417.500	4.650.000	4.882.500	5.126.625
Anteil MFG in %	50	57	63	70
Anteil virtuell in %	0	5	10	15
Anzahl Faxgeräte	2.208.750	1.767.000	1.318.275	768.994

Analog wird bei der Abschätzung der Zahl der Scanner vorgegangen. Auch diese werden durch den Verkauf von Multifunktionsgeräten in gleicher Weise aus dem Markt verdrängt. Auch bei den Scannern wird ein Teil des Bedarfs durch virtuelle Lösungen abgedeckt. Da es heute bereits möglich ist, mit Smartphones oder Tablet PCs ein gut lesbares Foto von Dokumenten zu machen, wird von einer kleinen Anzahl von Nutzern ausgegangen, die zukünftig auf einen separaten Scanner völlig verzichten werden. Der Anteil dieser Nutzer wird von 0 % in 2015 auf 10 % in 2025 linear steigen. Der resultierende Gerätebestand ist in Tabelle 8-10 dargestellt.

Tabelle 8-10: Entwicklung der Zahl der Scanner im Zeitverlauf

	2010	2015	2020	2025
Zahl Scanner	4.417.500	4.650.000	4.882.500	5.126.625
Anteil MFG in %	50	57	63	70
Anteil virtuell in %	0	0	5	10
Zahl Scanner	2.208.750	1.999.500	1.562.400	1.025.325

8.4.6 Nutzungsmuster von Faxgeräten und Scannern

Für eigenständige Faxgeräte wird davon ausgegangen, dass diese grundsätzlich immer empfangsbereit sind. Arbeitstäglich sind sie darüber hinaus ca. 0,5 Stunden im Aktiven Modus, also ca. 110 Stunden pro Jahr. Für den Standby-Modus verbleiben 8.650 Stunden.

Der größte Teil der Scanner ist ebenso nur selten im aktiven Einsatz, aber der größte Teil der Geräte ist ständig mit dem Netz verbunden. Es wird von 8.650 Stunden im Standby und 110 Stunden Aktiv-Betrieb ausgegangen.

8.4.7 Leistungsaufnahme von Faxgeräten und Scannern

Zur Leistungsaufnahme von Faxgeräten gibt es keine wissenschaftlichen Studien und auch in der EU Energy Star Datenbank sind sie nicht enthalten. In einer Studie der American Council for an Energy-Efficient Economy (Hamer, Delves, Peloquin & Vladimir, 2008, S. 124) wird ein Mittelwert von 2,34 Watt für die Leistungsaufnahme im Standby aufgeführt. Das Schweizerische Bundesamt für Energie (2007, S. 33) dokumentiert eine Leistungsaufnahme im Standby von vier Watt und nimmt 8.760 Stunden Standby im Jahr an. Das Lawrence Berkeley National Laboratory dokumentiert für Laserfaxe wie auch Thermalfaxe eine Standby-Leistungsaufnahme von etwas über sechs Watt (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015).

Die Leistungsaufnahme im Betrieb ist in den vorliegenden Datenquellen nicht dokumentiert. Aus Datenblättern aktueller Geräte auf den Websites von Canon und Brother lässt sich auf eine Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb von 200 bis 400 Watt schließen, ähnlich wie bei kleinen Druckern.

Das Schweizerische Bundesamt für Energie (2007, S. 33) dokumentiert eine Off-Leistungsaufnahme von Scannern von 2,5 Watt und nimmt 6.500 Stunden Aus-Status im Jahr an. Das Lawrence Berkeley National Laboratory dokumentiert für Flachbettscanner eine Off-Leistungsaufnahme von 2,48 Watt und eine On-Leistungsaufnahme von 9,6 Watt (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015). Für den Aktiv-Betrieb finden sich in Datenblättern von HP wie auch von Canon Werte zwischen 15 und 25 Watt.

8.5 Netzwerke und Telefonie

Firmennetzwerke (LAN) dienen der Vernetzung von Arbeitsplatzcomputern, Computer-Peripheriegeräten sowie Voice-over-IP Telefonen. Da diese meist durch Power over Ethernet versorgt werden, werden beide Produktgruppen hier integriert behandelt.

Zusätzlich zu fest installierten Netzwerken gibt es in vielen Unternehmen WLAN-Netzwerke, über die mobile Geräte einfach ins Netzwerk eingebunden werden können. Weitere WLAN-Netzwerke befinden sich in Schul- und Universitätsgebäuden sowie im Bereich öffentlicher Zugangspunkte kommerzieller Betreiber (siehe Abschnitt 10.4).

Neben stationären Telefonen werden auch mobile Telefone mit betrachtet. Dabei wird keine Unterscheidung zwischen Mobiltelefonen und Smartphones gemacht, da sich das Smartphone im Geschäftsbereich weitgehend gegen das herkömmliche Mobiltelefon durchgesetzt hat und bei einem Jahresenergiebedarf von jeweils unter 3 kWh pro Gerät ein Unterschied kaum ins Gewicht fällt.

8.5.1 Datenüberblick

Der Energiebedarf von Netzwerken und Telefonie kann wie folgt abgeschätzt werden.

Tabelle 8-11: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Netzwerke und Telefonie

Netzwerke und Telefone	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
LAN-Ports 1 GBit	56		58,2		59,5		62,3	
LAN-Ports 10 GBit+	8		8,3		8,5		8,7	
WLAN-Systeme	2		3,8		4,1		4,5	
Telefone	24		24		24		24	
Smartphones	3		10		12		14	
Nutzungsmuster 365 Tage	Aktiv [h]	Standby [h]	Aktiv [h]	Standby [h]	Aktiv [h]	Standby [h]	Aktiv [h]	Standby [h]
LAN-Ports 1 GBit	12	12 ²⁸	12	12	12	12	12	12
LAN-Ports 10 GBit+	12	12	12	12	12	12	12	12
WLAN-Systeme	24	0	24	0	24	0	24	0
Telefone	24	0	24	0	24	0	24	0
Smartphones ²⁹	1 * laden/d		1 * laden/d		1 * laden/d		1 * laden/d	
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby [W]	Aktiv [W]	Standby [W]	Aktiv [W]	Standby [W]	Aktiv [W]	Standby [W]
LAN-Ports 1 GBit	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5
LAN-Ports 10 GBit+	5	4,5	5	4,5	5	4,5	5	4,5
WLAN-Systeme	10	n/a	10	n/a	10	n/a	10	n/a
Telefone	3,5	n/a	4	n/a	4,5	n/a	5	n/a
Smartphones ³⁰	5,1 Wh		6,8 Wh		8,0 Wh		8,5 Wh	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]
LAN-Ports 1 GBit	40	2281	32	1860	23	1381	14	900
LAN-Ports 10 GBit+	40	325	40	338	40	346	40	354
WLAN-Systeme	88	200	88	330	88	363	88	395
Telefone	31	740	35	840	40	960	44	1060
Smartphones	1,9	11	2,5	20	2,9	33	3,1	43
Summe		3557		3388		3083		2752

Einen großen Anteil am Gesamtstrombedarf haben LAN.-Ports, über deren tatsächliche Leistungsaufnahmen und Verbräuche nur wenige Daten vorliegen. Ob und wie sich der Green Ethernet Standard IEEE 802.3az auf den Energiebedarf schon ausgewirkt hat oder in welchem Maße er sich noch auswirken wird ist daher eher unklar. Mit Blick auf den relative höheren Energiebedarf, den die Netztechnik im Vergleich zu Endgeräten haben wird, wären vertiefende Analysen incl. vor Ort Messungen in Anwendungskontexten hilfreich, um das Feld besser kennenlernen und Maßnahmen entwickeln zu können.

²⁸ Bei LAN Ports nicht Standby sondern Aktiv-Betrieb (Idle) an 220 Tagen für 12 Stunden und an 145 Tagen ganztags.

²⁹ Zahl der Ladezyklen pro Tag.

³⁰ Akkukapazität, die täglich geladen wird.

8.5.2 Trends

LAN wie auch WLAN-Netze sind in Unternehmen weitgehend komplett ausgebaut. Im Laufe der Zeit ist mit moderaten Mehrverbräuchen durch eine zunehmende Bandbreite der zentralen Systeme zu rechnen, die sich über 10 GBit/s bis zu 40 und 100 GBit/s entwickelt. Bei zunehmender Verbreitung des Green Ethernet Standards IEEE 802.3az³¹ wird im Bereich der 1 GBit Systeme, die die einzelnen Arbeitsplätze versorgen, von einer abnehmenden Leistungsaufnahme ausgegangen und bei den leistungsstarken zentralen Systemen hoher Bandbreite wird mit einer weitgehend gleichbleibendem Leistungsaufnahme pro Port gerechnet.

Es wird weiter von einem Vorhandensein von einer weitgehend konstanten Zahl von Festnetztelefonen an Arbeitsplätzen ausgegangen.

Die Gewöhnung an Smartphone-Funktionalitäten hat im Bereich der Telefone die Folge, dass die bisher sehr effizienten stationären Telefongeräte mit ihren Leistungsaufnahmen von ein bis drei Watt zumindest anteilig durch Geräte mit Smartphone-Funktionalitäten und einer Leistungsaufnahme von fünf bis acht Watt verdrängt werden.

8.5.3 Bestand

Die Ausstattung von Arbeitsplätzen mit LAN-Kabeln kommt mittlerweile dicht an eine Vollausstattung heran. Es ist aber anzunehmen, dass ein Teil derjenigen Unternehmen, die ausschließlich mobile Geräte nutzen, sich auf eine Ausstattung mit WLAN beschränken. In Anbetracht der Datenschutzdebatte, in der auch die Unsicherheit von WLAN-Netzen immer wieder thematisiert wird, dürfte dieser Anteil jedoch nicht sehr hoch sein und es wird auch nicht von einem Trend in diese Richtung ausgegangen.

Die Zahl der Festnetztelefone wurde schon in der Vorgängerstudie (BMW i 2009) im Bereich der Unternehmen und der öffentlichen Verwaltung als tendenziell konstant angenommen. Es gibt keine Hinweise die darauf hindeuten, dass dieser Befund zu ändern wäre. Der Bestand an Telefonen an Arbeitsplätzen wird daher in Anlehnung an diese Studie als Summe der Telefone in Unternehmen (ca. 21. Mio.) und öffentlichen Unternehmen (ca. 2,7 Mio.) auf insgesamt 24 Mio. Geräte veranschlagt.

Der Bestand an LAN-Anschlüssen (und damit an Ports in Switches, die der Ursprung des hier anfallenden Strombedarfs sind) wird beispielhaft für das Jahr 2015 wie folgt abgeschätzt (Vgl. Tabelle 8-12):

Tabelle 8-12: Abschätzung der Zahl der LAN-Ports an Arbeitsplätzen

Gerätekategorie	Anzahl in 1000 (2015)	Anteil mit LAN-Anschluss	Anzahl LAN-Anschlüsse in 1000
Arbeitsplatzcomputer (ohne Tablets)	29.000	90 %	26.100
Telefone	24.000	100 %	24.000
Netzwerkdrucker	3.400	100 %	3.400
Scanner	1.900	100 %	1.900
Summe			55.400

³¹ Dieser Standard beschreibt eine Reihe von Erweiterungen des Ethernet-Standards für Rechnernetze, die eine Lastabhängigkeit Reduzierung des Stromverbrauchs bewirken (Cisco, 2011).

Geräteklasse	Anzahl in 1000 (2015)	Anteil mit LAN-Anschluss	Anzahl LAN-Anschlüsse in 1000
Inaktive Ports 20 %			11.080
Summe			66.480

Für die Jahre 2010, 2020 und 2025 wurde der Bestand analog abgeschätzt. Innerhalb des Bestandes wird davon ausgegangen, dass 12,5 % zentrale Systeme mit hoher Bandbreite sind (10 GBit bis 100 GBit). 87,5 % der Systeme werden auch in Zukunft 1 GBit Systeme sein.

Der Bestand an WLAN-Routern in Unternehmen wurde durch den Eco-Verband (Eco-Verband, 2014) untersucht. Der Bericht dokumentiert eine installierte Basis von 3,52 Mio. WLAN-Systemen in Firmen- und Gebäudeinfrastrukturen und 250.000 öffentliche Zugangspunkte (vgl. Kapitel 10 „Öffentlichkeit“). Die Zahl der Firmensysteme ist damit fast so groß wie die Zahl der Unternehmen, so dass ein wesentliches zusätzliches Wachstum kaum erwartet werden kann.

WLAN-Systeme kamen seit der Jahrtausendwende auf. Unter der Annahme eines seither linearen Wachstums hat der Bestand an Zugangspunkten in Firmen- und Gebäudeinfrastrukturen um 2010 etwa 2,3 Mio. Systeme umfasst.

Etwa 20 % der Arbeitnehmer in Deutschland bekamen Ende 2013 bereits von ihrem Arbeitgeber ein Smartphone gestellt (Bitkom, 2014a). Noch 2011 gaben nur acht Prozent der Berufstätigen an, ein Handy von ihrem Arbeitgeber gestellt zu bekommen. Bei 40 Millionen Berufstätigen lässt dies noch 2010 auf knapp 3 Mio. in 2015 bereits auf ca. 10 Mio. (ca. 25 %) berufliche Smartphones schließen. Der Anteil wird vermutlich in 2020 weiter steigen. Angenommen werden 30 % in 2020 und 35 % in 2025.

8.5.4 Nutzungsmuster

Sowohl LAN-Netze wie auch WLAN-Systeme und Telefone sind durchgängig 8.760 Stunden im Jahr in Betrieb.

8.5.5 Leistungsaufnahme

Die Leistungsaufnahme von Switches ist bisher kaum öffentlich thematisiert. Im Zuge der Einführung des Green Ethernet Standards berichtete Golem (Golem.de, 2007b) über einen im Oktober 2007 durchgeführten Vergleichstest (Vgl. Tabelle 8-13):

Tabelle 8-13: Leistungsaufnahme von Switches in Abhängigkeit von Portzahl und Standard

Bauart	Standard (alt) und Leistungsaufnahme pro Port	Standard (neu) und Leistungsaufnahme pro Port
Gigabit-Switch (5 Ports)	DGS-1005D Revision C6 (alt)	DGS-1005D 'Green Ethernet' Rev. (neu)
Max. Leistungsaufnahme (z.B. alle Ports aktiv)	1,48 Watt	0,85 Watt
Max. Leistungsaufnahme im Standby-Modus (z.B. kein Port aktiv)	0,66 Watt	0,40 Watt
Gigabit-Switch (8 Ports)	DGS-1008D Revision C6 (alt)	DGS-1008D 'Green Ethernet' Rev. (neu)
Max. Leistungsaufnahme (z.B. alle Ports aktiv)	1,45 Watt	0,81 Watt

Bauart	Standard (alt) und Leistungsaufnahme pro Port	Standard (neu) und Leistungsaufnahme pro Port
Max. Leistungsaufnahme im Standby-Modus (z.B. kein Port aktiv)	0,78 Watt	0,25 Watt
Gigabit-Switch (16 Ports)	DGS-1016D Revision B5 (alt)	DGS-1016D 'Green Ethernet' Rev. (neu)
Max. Leistungsaufnahme (z.B. alle Ports aktiv)	1,20 Watt	1,12 Watt
Max. Leistungsaufnahme im Standby-Modus (z.B. kein Port aktiv)	0,84 Watt	0,49 Watt
Gigabit-Switch (24 Ports)	DGS-1024D Revision B5 (alt)	DGS-1024D 'Green Ethernet' Rev. (neu)
Max. Leistungsaufnahme (z.B. alle Ports aktiv)	1,13 Watt	1,07 Watt
Max. Leistungsaufnahme im Standby-Modus (z.B. kein Port aktiv)	0,72 Watt	0,38 Watt

Über alle aktuellen Switches hinweg schätzt ein Vertreter des Unternehmens Allnet³² eine Verlustleistung von 0,5 Watt bis 0,75 Watt pro Port. Die Verbreitung des grünen Netzwerkstandards IEEE 802.3az nehme dabei ständig zu. Unter älteren Standards hätten die Ports deutlich mehr Leistung aufgenommen. Er wies weiter darauf hin, dass ein schlecht eingestecktes Kabel bzw. ein Kabel mit schlechten Toleranzen einen zusätzlichen Verlust bis zu 0,5 Watt pro Port zur Folge haben könne. Für Switches mit höherer Bandbreite und PoE-Unterstützung steigen die Leistungsaufnahmen jedoch deutlich an. So gibt Allnet für einen 24 Port 10Gbit Switch eine Leistungsaufnahmen von bis zu 500 Watt an (Allnet, 2015), was mehr als 20 Watt pro Port entspricht.

Lambert et al. (2012) rechnen für LAN Router und Switches pro Computer mit 8,1 Watt Leistungsaufnahme im Netzwerk. Auf Basis der anderen vorliegenden Informationen lässt sich dieser Wert nicht nachvollziehen. Schon die Angaben im Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment von 2008 (European Commission Joint Research Centre, 2008) sind niedriger, ein noch weiteres Absinken erwartet der Code of Conduct 2013 (European Commission Joint Research Centre, 2013). Zur Abschätzung der Leistungsaufnahme von Switches und unter Herausrechnung von Power over Ethernet (PoE)-Funktionen scheint es unter Annahme von sehr langen Nutzungsdauern (zehn Jahre und mehr) realistisch, in der Gruppe der 1 Gbit Ports von einem Durchschnittswert im Bestand von etwa vier Watt in 2015 absinkend auf drei Watt in 2020 und zwei Watt in 2025 auszugehen. Für leistungsstarke Systeme hoher Bandbreite mit 10 Gbit und mehr wird auch in Zukunft mit einer Leistungsaufnahme von fünf Watt pro Port ausgegangen.

Für das so genannte Customer owned Equipment, also den WLAN- und LAN Router im Privathaushalt, geben Lanoo und Vetter (2012) eine Leistungsaufnahme an, die abhängig vom verwendeten Anschlussstandard bei 9,1 Watt bei ADSL, 10,3 Watt für VDSL sowie ca. 13 Watt für optische Übertragung über Glasfaser liegt. Da für diese Geräteklasse kein Druck zur Erhöhung der Effizienz durch gesetzliche Vorschriften besteht, wird von einer auf absehbare Zeit konstanten Leistungsaufnahme von zehn Watt für WLAN-Router ausgegangen.

³² Befragt auf der CeBIT 2015 in Hannover.

Festnetztelefone sind aufgrund der vermuteten geringen Leistungsaufnahme bisher kein Thema der Debatte um Energieeffizienz und sie sind auch keine Kategorie bei Ecotopten. Der Telefonprovider „AGFEO Green TK“ in Bielefeld (AGFEO-Telekommunikation, 2009)) hat eine Produktliste aus 2009 im Internet stehen, die Apparate mit 0,5 Watt bis 3,9 Watt auflistet.

Ein Vertreter des Herstellers SNAM³³ berichtete, ein einfaches aktuelles Telefon ließe sich mit 2,5 Watt Leistungsaufnahme konstruieren. Die meisten aktuellen Modelle hätten aber eher eine Leistungsaufnahme von fünf bis sieben Watt und die Tendenz sei weiter steigend. Es würden in Zukunft wohl leistungsstarke Smartphonechips eingebaut, um alle Funktionen zu bieten. Standby-Modes wären zwar möglich, wären aber mit ca. 1,5 Sekunden Aufwachzeit verbunden, die im Markt nicht akzeptiert würden. Daher gäbe es nur den Betriebsmodus.

Für Smartphones wird von einem aufgrund steigender Akkukapazität und größerem Bildschirm sowie zusätzlichen Funktionalitäten langsam von 1,9 kWh/a in 2010 auf 3,1 kWh/a in 2025 steigenden Strombedarf ausgegangen.

8.6 Präsentationstechnik

Zur Präsentationstechnik werden Videoprojektoren (Beamer) sowie Whiteboards gerechnet, die durchweg mit Projektoren ausgestattet sind. Im Folgenden werden Whiteboards und Projektoren getrennt berücksichtigt.

Nicht explizit berücksichtigt wurden Großbildschirme in Konferenz- und Videokonferenzräumen. Hier wurde stattdessen die Zahl der Konferenzräume abgeschätzt und jedem Raum ein Projektor zugeordnet, dessen Leistungsaufnahme in derselben Größenordnung liegt wie der eines Großbildschirms.

8.6.1 Datenüberblick

Der Energiebedarf der Beamer und Whiteboards kann wie folgt abgeschätzt werden.

Tabelle 8-14: Bestand und Energiebedarf der Produktgruppe Präsentationstechnik

Beamer und Whiteboards	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[1.000 Stück]		[1.000 Stück]		[1.000 Stück]		[1.000 Stück]	
Beamer	750		900		1.080		1.300	
Beamer in Whiteboards	150		300		600		600	
Whiteboards allein	150		300		600		600	
Nutzungsmuster 220 Tage	Aktiv [h]	Standby [h]						
Beamer	7	17	7	17	7	17	7	17
Beamer in Whiteboards	5	19	5	19	5	19	5	19
Whiteboards allein	5	19	5	19	5	19	5	19
Durchschnittliche Leistungsaufnahme Bestand	Aktiv [W]	Standby [W]						
Beamer	230	8	250	5	225	4	200	3
Beamer in Whiteboards	230	8	250	5	225	4	200	3
Whiteboards allein	7	1	7	1	7	0,5	7	0,5

³³ Befragt auf der CeBIT 2015 in Hannover.

Beamer und Whiteboards	2010		2015		2020		2025	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Beamer	384	288	404	363	361	390	320	415
Beamer in Whiteboards	286	43	296	89	262	158	231	140
Whiteboards allein	12	1,8	12	3,6	10	5,9	10	5,9
Summe		333		455,6		553,9		560,9

Beamer und Whiteboards werden sich in Besprechungs- und Unterrichtsräumen weiter verbreiten. Die Halogenlampe wird anteilig und eher langsam durch Lichtsysteme auf LED- und Laserbasis abgelöst werden, die etwas energieeffizienter sind.

Aufgrund ihrer letztlich aber verglichen mit anderen IT-Geräten kleinen Anzahl bleibt der Strombedarf der Produktgruppe klein.

8.6.2 Trends

Das energieintensivste Bauteil eines konventionellen Beamers ist die Halogenlampe. Die Daten weisen darauf hin, dass sich hier in den letzten zehn Jahren an der Leistungsaufnahme wenig verändert hat. Die durchschnittliche Lichtstärke, die heute zwischen 2500 und 3000 Lumen liegt, hat sich im Laufe der Zeit etwas erhöht, was die gestiegenen Verbräuche im Normalbetrieb erklärt. Für die Lebensdauer der Halogenlampe, die ersetzt werden kann, werden von Grieser und Hauser (2006) etwa 2.000 h angegeben, für das Gerät insgesamt ca. 6.000 bis 7.000 h.

In LED-Projektoren wird das Licht durch LEDs oder LEDs in Kombination mit Lasertechnik erzeugt, wobei es wiederum durch eine Optik in ein Bild verwandelt wird. Die Lebensdauer solcher Lichtquellen ist mit 10.000 bis 20.000 Stunden erheblich höher als mit Halogenlampe. Zum Vergleich: bei 200 Arbeitstagen mit je fünf Stunden Nutzung des Projektors entspricht diese Zeit zehn bis 20 Nutzungsjahren. Die Energieeffizienz dieser Lichtquellen ist besser als die der konventionellen Lampen.

Aktuell werden z.B. von Casio bereits LED-Projektoren mit 2.500 Lumen angeboten, die im normalen Aktiv-Betrieb 150 Watt und im Eco Modus 120 Watt Leistung aufnehmen (Casio, 2015). In den Markt eingeführt wurden diese Projektoren vor mindestens vier Jahren. Ihre Verbreitung erfolgt langsam. Ein Lampenwechsel ist über die gesamte Lebensdauer nicht erforderlich.

Bis 2025 wird davon ausgegangen, dass sich effizientere Lichtquellen langsam aber stetig verbreiten und parallel die Lichtstärke der Projektoren zunimmt, was zusammen in einem sehr langsamen Abfallen der Leistungsaufnahme von heute ca. 250 Watt auf ca. 200 Watt in 2025 resultiert.

8.6.3 Bestand

Fraunhofer ISI et al. (2013) haben für das Jahr 2010 erhoben, dass 18 % der Gewerbe, Handels und Dienstleistungsunternehmen (GHD) über einen Beamer verfügen. Diese Zahl wird sich seither deutlich erhöht haben. Für 2015 werden 50 % geschätzt.

Schätzt man weiter bei 17 Mio. Büroarbeitsplätzen, dass es für je 15 Beschäftigte einen Besprechungsraum gibt und das bereits 50 % davon mit Beamern ausgestattet sind, ergibt sich eine Zahl von ca. 600.000 Beamern in Unternehmen. Ist ein Besprechungsraum für je 10 MA vorhanden, erhöht sich die Zahl auf ca. 900.000.

Einen Anhaltspunkt für die Dynamik der Verbreitung von Beamern bieten die Ausstattungsraten deutscher Haushalte mit Beamern. Schneller (2013) dokumentiert Umfragen von Allensbach, die die Ausstattung mit Beamern in deutschen Haushalten von 1 % in 2005 auf 6 % in 2010 linear wachsend darstellen. Seit 2010 verharrt die Ausstattungsrate auf diesem Niveau (Vgl. Abbildung 8-4).

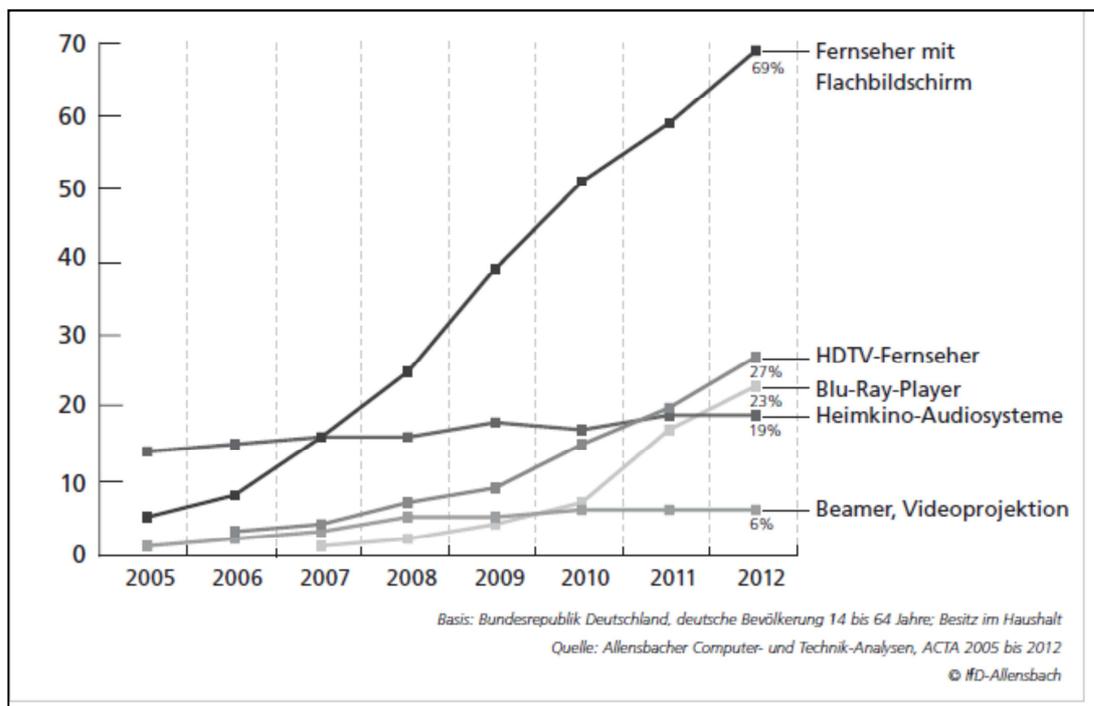


Abbildung 8-4: Ausstattungsraten TV-Technik

Für die Verbreitung in Unternehmen wird ein linearer Anstieg der Zahl der Beamer von Null auf 750.000 in der Zeit von 2000 bis 2010 angenommen, danach ein Wachstum von 4 % pro Jahr.

Hinzu kommen noch Beamer in Präsentationssystemen der Schulen und Hochschulen. Rund 11,0 Millionen Schülerinnen und Schüler werden im Schuljahr 2014/2015 an allgemeinbildenden und beruflichen Schulen in Deutschland unterrichtet (Statistisches Bundesamt, 2015b). Rechnet man für eine Vollausstattung der Schülern mit Whiteboards ein Gerät auf 20 Schüler und nimmt einen Ausstattungsgrad von 50 % an, können ca. 250.000 Whiteboards in Schulen vermutet werden. Die breitere Ausstattung von Schulen mit Whiteboards begann etwa im Jahr 2005, seither wird ein lineares Wachstum vermutet.

Für die ca. 2,7 Millionen Studierenden (Statistisches Bundesamt, 2015c) kommen unter der Annahme, dass für je 25 Studierende ein Beamer eingesetzt wird und der Ausstattungsgrad der Vorlesungs- und Seminarräume ebenso bei 50 % liegt noch ca. 50.000 Beamer hinzu.

Sowohl in Schulen als auch in Universitäten wird sich der Ausstattungsgrad bis 2020 auf nahezu 100 % erhöhen.

8.6.4 Nutzungsmuster

Grieder und Huser (2006, S. 22) wählen ein Jahresnutzungsmodell mit 1.500 Stunden Aktiv-Betrieb für Präsentationsbeamer. Standby wird für Präsentationsbeamer mit 7.260 Stunden angenommen. Fraunhofer ISI et al., (2013, S. 108) geben an, dass 18 % der GHD-Unternehmen über einen Beamer verfügen, der durchschnittlich 5,9 Stunden täglich im Betrieb ist. Bei 220 Arbeitstagen wären das ca. 1.300 Stunden im Jahr.

Für die Abschätzung des Jahresenergiebedarfs wird das Nutzungsmodell von Grieder und Huser übernommen (Vgl. Tabelle 8-15):

Tabelle 8-15: Nutzungszeitmodell für Beamer nach Grieder und Huser (2006)

	Aktiv-Betrieb h/a	Standby h/a
Gewerblich	1500	7.260

Whiteboards in Schulen und Universitäten weisen, da hier die Ferien bzw. Semesterferien länger sind als der übliche Jahresurlaub, eine Aktiv-Mode-Zeit von eher 1.100 Stunden auf.

8.6.5 Leistungsaufnahme

Grieder und Huser (2006) erfassen Daten für insgesamt ca. 50 Beamer und dokumentieren durchschnittliche Leistungsaufnahmen von Aktiv-Betrieb von 203 Watt (mobile Präsentations-Projektoren), 216 W (stationäre Präsentations-Projektoren) und 200 W (TV-Projektoren) sowie im Standby-Betrieb von 8,0 W (mobile Präsentations-Projektoren), 7,5 W (stationäre Präsentations-Projektoren) und 5,5 W (TV-Projektoren).

Ein aktueller Vergleich erfasste Daten für die von PMA ermittelten meistverkauften Geräte der Monate Oktober 2014 bis Februar 2015, soweit entsprechende Daten online verfügbar waren, was für Geräte von Epson, NEC, Sony, Viewsonic und Boxlight (PMA-Research, 2015)³⁴ der Fall war. Es wurden folgende Durchschnittswerte ermittelt: Aktiv-Normalbetrieb: 275 Watt, Eco-Mode: 216 Watt, Standby-Betrieb: 3,3 Watt und Schein-Aus: 0,43 Watt.

Die Leistungsaufnahme im Betrieb hat sich seit der Erfassung durch Grieder und Huser in 2006 eher erhöht, im Standby-Betrieb wurde sie etwa halbiert. In den nächsten Jahren wird erwartet, dass sich effizientere Lichtquellen kontinuierlich verbreiten und parallel die Lichtstärke weiter zunimmt, so dass die effektive Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb weitgehend konstant bleibt. Im Standby wird ein langsames Absinken der Leistungsaufnahme von acht Watt auf drei Watt erwartet.

8.7 Fazit IT am Arbeitsplatz

Im Vergleich zur Vorgängerstudie hat sich der Energiebedarf der IT am Arbeitsplatz erheblich verändert und wird sich auch weiterhin deutlich verändern.

Zunächst ist festzuhalten, dass die Abschätzung des Energiebedarfs der IT am Arbeitsplatz für das Jahr 2010 weitgehend mit dem Ergebnis der Vorgängerstudie übereinstimmt. Die damals nur für PCs, Notebooks, Monitore, Drucker, Telefone und Router bestimmten Werte summieren sich zu ca. 7 TWh pro Jahr, der entsprechende Wert aus der aktuellen Untersuchung beträgt ca. 6 TWh. Aus heutiger Sicht wird der Energiebedarf von PCs und Druckern rückblickend niedriger eingeschätzt, der Energiebedarf von Notebooks, Monitoren und Telefonen dagegen deutlich höher.

An Veränderungen kann folgendes festgehalten werden:

- Bei fast allen Endgeräten mit Ausnahme der Tablet-Computer, Telefone und WLAN-Geräte werden bis 2025 erhebliche Effizienzgewinne erwartet.
- Die Effizienzgewinne der Netztechnik (LAN-Switches und WLAN-Router) werden dagegen vergleichsweise klein ausfallen. Dies ist insoweit bedeutend, als die Netzwerktechnik heute etwa ein Drittel des Stroms am Arbeitsplatz benötigt.

³⁴ Vgl. <http://www.pmaresearch.com/press-releases/> vom 23.4.2015.

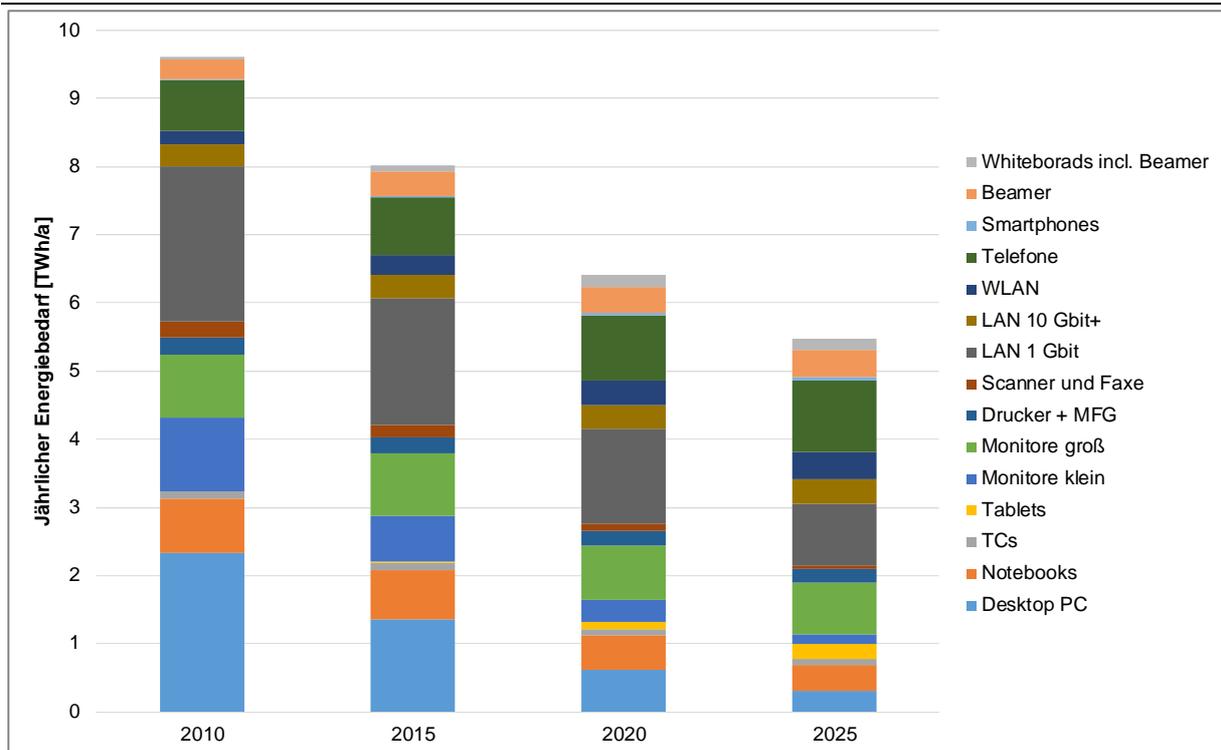


Abbildung 8-5: Energiebedarf der IT am Arbeitsplatz von 2010 bis 2025

Für die Handlungsempfehlungen ist festzuhalten:

- Die Verbreitung des Green Ethernet Standards IEEE 802.3az sollte deutlich gefördert werden. Hierzu wird zunächst eine vertiefende Untersuchung des Standes der LAN-Technologie incl. Verifizierung der in Abschnitt 8.5.5 getroffenen Annahmen zur Leistungsaufnahme erforderlich sein. Weiter ist die Auswirkung höherer Übertragungsgeschwindigkeiten (10 GBit, 40 GBit, 100 GBit) und die Wirkung der Nutzung des IEEE 802.3az diesbezüglich abzuschätzen. Auf dieser Basis können Maßnahmen zur Förderung der Verbreitung des IEEE 802.3az oder seiner aktualisierten Nachfolger entwickelt werden.
- Parallel dazu ist die Anwendbarkeit energiesparender Technologien mit Blick auf WLAN und Telefone zu betrachten. Zwar ist für sogenannte HiNA-Geräte³⁵ ein oberer Grenzwert der Leistungsaufnahme festgelegt, die 12 Watt (ab 2017 noch 8 Watt) nicht überschreiten darf. WLAN-Geräte wie auch VoIP-Telefone verfügen bisher nur selten über lastadaptive Funktionen oder Funktionen des Powermanagement, von denen relevante Einsparungen bis in den dreistelligen Gigawattstundenbereich zu erwarten wären. Auch sind sie diesbezüglich nicht von der Netzwerkstandby-VO erfasst. Bei stationären Telefonen werden z.Zt. anteilig bereits leistungsstarke Prozessoren verbaut, um auch stationär Smartphone-Funktionalitäten bereitstellen zu können. Hier stellt sich die Frage, ob gegengesteuert werden kann, da der Zusatznutzen solcher Dienste in Anbetracht der ja ohnehin verfügbaren Smartphones als überschaubar eingeschätzt wird. Eine weitere Möglichkeit bestände in der Förderung von lastadaptiven WLAN-Routern und Telefonen mit Standbyfunktion, die zwar technisch möglich sind, aber bisher vom Markt aufgrund einer Aufwachzeit von ca. 1 Sekunde nicht akzeptiert werden. Mit Blick auf den wachsenden relativen Energiebedarf von WLAN-geräten und Telefonen ist zu erwägen, ob hier im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie ambitionierte Ziele entwickelt werden können.

³⁵ Die Netzwerk-Standby-VO (EU 801/2013) definiert ein ‚vernetztes Gerät mit hoher Netzwerk-Verfügbarkeit‘ (HiNA-Gerät) als ein Gerät, „das als Hauptfunktion(en) ausschließlich eine oder mehrere der folgenden Funktionen erfüllt: Router, Netzwerk-Schalter, Drahtlos-Netzzugangspunkt, Hub, Modem, VoIP-Telefon, Videotelefon“.

9 IKT in Haushalten im Detail

9.1 Produktkategorien

Im Folgenden wird die Modellbildung für die Berechnung des Bestands und des resultierenden Energiebedarfs der IKT-Geräte in Haushalten für die Berichtsjahre 2010, 2015, 2020 und 2025 beschrieben. Diese gliedert sich in die folgenden Arbeitsschritte:

- Zuordnung von Produktgruppen zu Produktkategorien
- Ermittlung des Gerätebestandes für die Berichtsjahre 2010, 2015, 2020 und 2025 anhand von Absatzzahlen und Prognosen sowie Gesamtnutzungsdauer in Jahren³⁶
- Zuordnung typischer Nutzungsmuster und Leistungsaufnahmen zu den Produkttypen
- Berechnung des jährlichen Energiebedarfs pro Produkt und für den Bestand

Für die Haushalte werden die in Tabelle 9-1 abgebildeten Produktkategorien und -gruppen erfasst.

Tabelle 9-1: Produktkategorien und –gruppen an IKT-Geräten in den Haushalten

Produktkategorien	Produktgruppe
Computer	Desktop PC
	Notebook
	Tablet PC
Computerperipherie	Monitore
	Drucker
	Flachbett-MFD
	Scanner
	Telefax- und Kombigeräte
Telekommunikation	DECT Telefon
	Mobiltelefon
	Smartphone
	Router
Fernseher	LCD < 20"
	LCD 20 - 29"
	LCD 30 - 39"
	LCD 40 - 49"
	LCD 50 - 59"
	LCD > 60"
	CRT
Fernsehperipherie	Spielekonsolen
	Set-Top-Boxen
	Beamer/Projektoren
	Blu-ray Player
	DVD-Player/-Recorder

³⁶ Für die Berechnung des Bestands wird die Gesamtnutzungsdauer in Jahren verwendet. Hierbei ist die Dauer gemeint, die die Geräte real genutzt werden und nicht die Verweildauer, welche die Lagerung in den Haushalten miteinbezieht.

Produktkategorien	Produktgruppe
	Video VHS
Audio	MP3-Player
	Lautsprecher-Boxen
	Radio-Rekorder
	Docking-Lautsprecher
	HiFi-Anlage
Sonstiges	Kompaktkameras digital
	Camcorder digital

Nicht erfasste Geräte

Nicht erfasst werden Ebook-Reader, die zwar eine wachsende Verbreitung finden, aber durch ihre bi-stabilen Displays einen minimalen Energiebedarf haben (etwa ein Ladezyklus alle 4 bis 6 Wochen) und daher nicht relevant zum Energiebedarf der IKT in Haushalten beitragen.

Gleiches stellt sich für externe Festplatten dar. Diese dienen im Normalfall nur der Datensicherung und werden meist nur an die Stromversorgung angeschlossen, wenn Datentransfer (Datenspeicherung oder Zugriff auf archivierte Daten) stattfinden soll.

Haushaltsroboter zum Wischen und Staubsaugen werden nicht betrachtet, da diese trotz ihrer verbauten Intelligenz nicht zur IKT, sondern zur weißen Ware gerechnet werden.

9.1.1 Ermittlung des Gerätebestandes

Die Bestandszahlen für Haushalte basieren, wenn nicht anders aufgeführt, auf Verkaufszahlen des CEMIX (2015). Basierend auf den Verkaufszahlen der letzten 10 Jahre³⁷ und einer angenommenen Gesamtnutzungsdauer in Jahren in den Haushalten nach Produkttyp wird nicht nur die Bestandszahl für die Jahre 2010, 2015 und 2020 ermittelt bzw. prognostiziert, sondern auch eine Altersverteilung der jeweiligen Geräte im Bestand abgebildet. Dies erlaubt eine feingranulare Zuordnung von unterschiedlichen Leistungsaufnahmen nach Verkaufsjahr und Gerätealter, die technologische Trends und Auswirkungen von Regulierung (z.B. Stand-by-Verordnung) detailliert abbildet. Die Leistungsaufnahme der Geräte wird per Verkaufsjahr zugewiesen und über die Bestandsverteilung gewichtet gemittelt, so dass eine realistische Abschätzung der durchschnittlichen Leistungsaufnahme im Bestand erreicht wird.

Der Fokus dieser Studie liegt auf dem Energiebedarf der IKT-Geräte. Daher wird der Bestand im Rahmen dieser Studie als „aktiver Bestand“ also Geräte, die regelmäßig genutzt werden, definiert und umfasst keine Altgeräte, die nach der Nutzung noch (z.T. mehrere Jahre) in den Haushalten gelagert werden.

Die Ermittlung des Bestands auf Basis der Verkaufszahlen erfolgt nach dem „Distribution delay“-Ansatz (Chancerel 2010). Bei dieser Methode (mit der ursprünglich das Altgeräteaufkommen bestimmt werden sollte) wird angenommen, dass der Absatz eines Jahres nach einer durchschnittlichen Nutzungsdauer die Haushalte wieder verlässt oder nicht mehr genutzt wird. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass nicht alle Geräte gleichzeitig nach einer festen Nutzungsdauer die Haushalte verlassen, wird für eine realistische Modellierung

³⁷ Die Datenbasis basiert auf CEMIX (2015)-Veröffentlichungen für die Jahre 2004 bis 2014. Für einzelne Produktgruppen erhielten die Studienautoren via Nachfrage weitere Verkaufszahlen aus den Jahren 1995 bis 2003, die jedoch zum Teil lückenhaft sind.

die Gauß'sche Verteilungsdichteformel (Dichtefunktion der Standardnormalverteilung) angewandt:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

Die Normalverteilung wird mit einem Variationskoeffizient von 30 % berechnet. Der Bestand eines Berichtsjahres ergibt sich aus der Summe des Absatzes minus der Summe der Altgeräte bis zu diesem Jahr. Für eine realistische Abbildung des Bestands in einem Berichtsjahr muss die Datenbasis mindestens die jeweilige Nutzungsdauer*1,3 Jahre zurückreichen (Nutzungsdauer*(1+Variationskoeffizient)) oder mit der Markteinführung des Produkts beginnen. Die Methode ist in Tabelle 9-2 beispielhaft dargestellt.

Tabelle 9-2: Beispiel für die Bestandsberechnung mit dem Distribution Delay Modell

Tablet PCs				Standardabweichung für Normalverteilung:								30%			
Absatz-jahr	Nutzungs-jahre	Std. dev.	Absatz [1k]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
2010	4,0	1,2	436	1	6	36	102	145	102	36	6	1	0	0	
2011	4,0	1,2	1434	0	2	21	119	337	477	337	119	21	2	0	
2012	4,0	1,2	3327	0	0	4	49	276	782	1.106	782	276	49	4	
2013	4,0	1,2	5548	0	0	0	7	81	460	1.303	1.844	1.303	460	81	
2014	4,0	1,2	6643	0	0	0	0	9	97	551	1.561	2.208	1.561	551	
2015	4,0	1,2	6931	0	0	0	0	0	9	101	575	1.628	2.304	1.628	
2016	4,0	1,2	7262	0	0	0	0	0	0	9	106	602	1.706	2.414	
2017	4,0	1,2	7519	0	0	0	0	0	0	0	10	110	623	1.766	
2018	4,0	1,2	7728	0	0	0	0	0	0	0	0	10	113	641	
2019	4,0	1,2	7906	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	115	
2020	4,0	1,2	8059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
Altgeräteaufkommen in 1000				1	8	61	277	847	1.927	3.444	5.002	6.159	6.828	7.211	
Gesamtbestand pro Jahr in 1000				435	1.861	5.127	10.398	16.194	21.198	25.016	27.533	29.102	30.180	31.028	

Bei Datenlücken, die nicht durch andere Quellen abgedeckt werden können, werden Abschätzungen auf Basis mathematischer Trendfunktionen durchgeführt und die fehlenden Zahlen inter- bzw. extrapoliert. In den meisten Fällen werden für die Prognosen die Absatzzahlenreihen logarithmisch fortgeführt, um eine realistische Mittelung extremer Szenarien abzubilden (Vgl. Tabelle 14-1 im Anhang).

Die so ermittelten Bestandszahlen werden mit Bestandszahlen des statistischen Bundesamtes und auch Umfrageergebnissen von ACTA (2014) abgeglichen und verifiziert. Vom statistischen Bundesamt werden die „Laufenden Wirtschaftsrechnungen – Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Gebrauchsgütern“ (Destastis LWR 2014) für den Vergleich der Bestandszahlen genutzt. Zur Hochrechnung der dort angegebenen Ausstattungszahlen pro 100 Haushalte werden die Haushaltszahlen vom Mikrozensus (Destastis Mikrozensus 2015) verwendet.

9.1.2 Zuordnung Nutzungsmuster und Leistungsaufnahme, Berechnung des Energiebedarfs

Zur Berechnung des jährlichen Energiebedarfs wird für alle IKT-Geräte in Haushalten von einer Nutzung an 365 Tagen im Jahr ausgegangen. Das Nutzungsmuster unterscheidet die

zwei Betriebszustände „aktive Nutzung und Idle/Leerlauf-Betrieb“ sowie „Standby-Betrieb und Aus“.

Für die Nutzungsmuster wird auf der Studie BMWi (2009) aufgebaut. Für die jeweiligen Produktgruppen werden weitere spezifische Quellen herangezogen, wie z.B. die EuP/ErP-Vorstudien.

Hinsichtlich der historischen, aktuellen und prognostizierten Leistungsaufnahme werden eigene Marktrecherchen durchgeführt, aber auch vorhandene Markkanalysen und EuP/ErP-Vorstudien genutzt. Des Weiteren werden die regulatorischen Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie (Standby-Verordnung sowie produktgruppenspezifische Durchführungsmaßnahmen) bei der Modellierung mit einbezogen. Für jede Produktgruppe wird jedem Absatzjahr ab 1995 (CRT Fernseher ab 1990) eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von Neugeräten zugeordnet. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme eines Berichtsjahres ergibt sich aus der mithilfe des Bestandes gewichteten Mittelung dieser Leistungsaufnahmen.

Für Geräte, die ausschließlich im Akkubetrieb verwendet werden, wird der Energiebedarf durch die Anzahl der Ladezyklen bestimmt. Die durchschnittliche Akkukapazität pro Verkaufsjahr wird anhand der Entwicklung der iPhone-Akkus (Iphonefaq 2012, Kosch, A 2015) modelliert (Vgl. Abbildung 9-1) und den Smartphones, Mobiltelefonen, Digitalkameras und Camcordern zugrunde gelegt. Der Präzisionsverlust bei Nicht-Smartphones ist zu vernachlässigen, da die betroffenen Gerätegruppen einen minimalen Anteil am Gesamtenergiebedarf ausmachen.

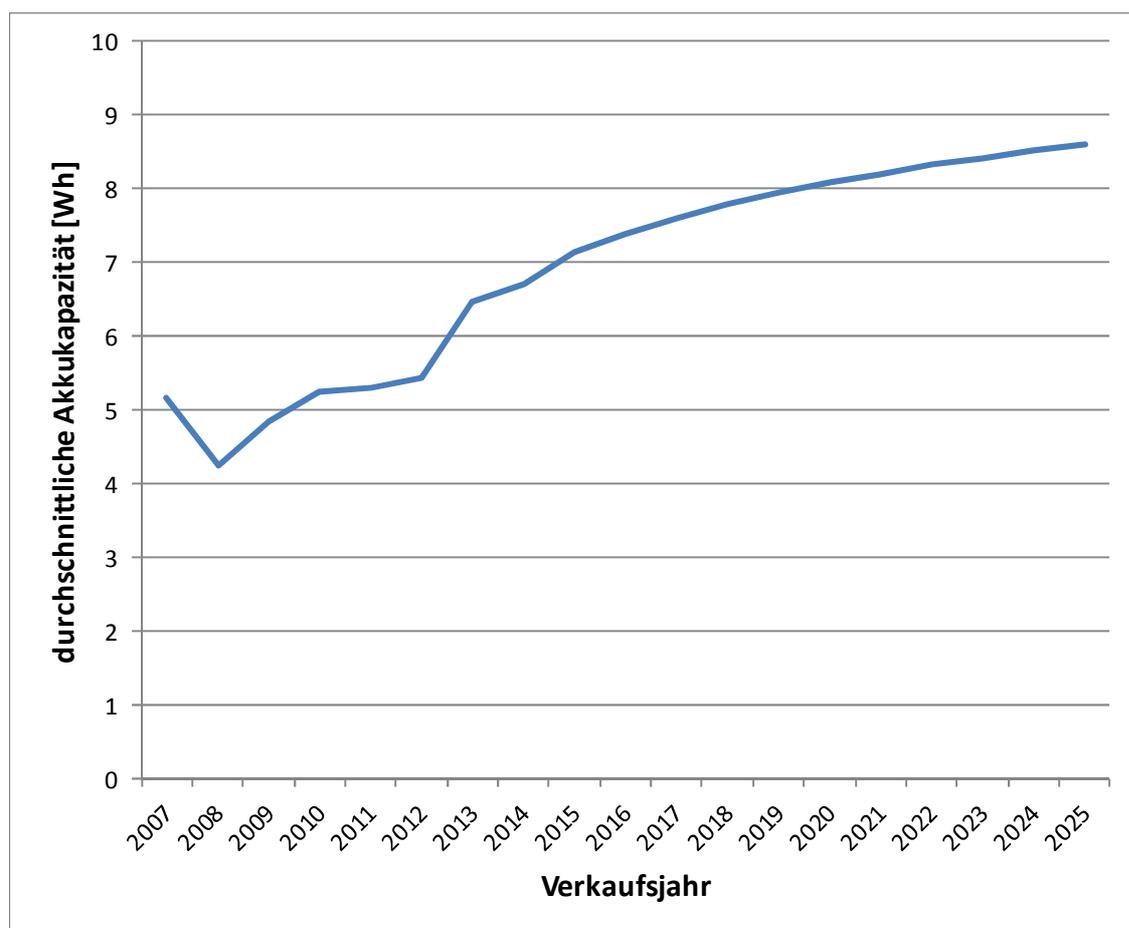


Abbildung 9-1: Prognose der durchschnittlichen Akkukapazität kleiner Mobilgeräte auf Basis der iPhone-Generationen

Standby-Verordnung

Starken Einfluss auf die Leistungsaufnahme der meisten Produktkategorien im Aus- und Bereitschaftszustand hatte die Standby-Verordnung (EG 1275/2008 2008) bzw. die Neufassung (EU 801/2013 2013), die nun auch Netzwerkstandby miteinbezieht. In Tabelle 9-3 sind die Fristen und energiebezogenen Anforderungen der Standby-Verordnung dargestellt. Diese Mindestanforderungen wurden bei der Modellierung der Leistungsaufnahme für die verschiedenen Produktkategorien beachtet.

Tabelle 9-3: Fristen und energiebezogene Anforderungen³⁸ der Standby-Verordnung

Frist	Anforderungen hinsichtlich Aus und Standby	Anforderungen an vernetzte Geräte
07.01.2010	1a) Aus-Zustand: 1,0 W 1b) Standby: <ul style="list-style-type: none"> - nur Statusanzeige und Reaktivierungsfunktion: 1,0 W - Statusanzeige und Reaktivierungsfunktion in Verbindung mit Information(sdisplay): 2,0 W 	1c) Bereitschafts-, Aus- oder ähnlicher Zustand (mit entsprechenden Verbrauchsgrenzwerten) muss erreichbar sein, sofern das mit der vorgesehenen Verwendung des Geräts vereinbar ist.
07.01.2013	2a) Aus-Zustand: 0,5 W 2b) Standby: <ul style="list-style-type: none"> - nur Statusanzeige und Reaktivierungsfunktion: 0,5 W - Statusanzeige und Reaktivierungsfunktion in Verbindung mit Information(sdisplay): 1,0 W 	2c) Bereitschafts-, Aus- oder ähnlicher Zustand (mit entsprechenden Verbrauchsgrenzwerten) muss erreichbar sein, sofern das mit der vorgesehenen Verwendung des Geräts vereinbar ist. 2d) Soweit mit seiner vorgesehenen Verwendung vereinbar, muss das Gerät mit einer Verbrauchsminimierungsfunktion ausgestattet sein. Wenn das Gerät seine Hauptfunktion nicht ausführt und keine anderen energiebetriebenen Produkte auf seine Funktionen angewiesen sind, muss die Verbrauchsminimierungsfunktion das Gerät nach der kürzesten mit seiner vorgesehenen Verwendung zu vereinbarenden Zeit automatisch in Bereitschafts-, Aus- oder ähnlichen Zustand (mit entsprechenden Verbrauchsgrenzwerten) versetzen. Die Verbrauchsminimierungsfunktion muss aktiviert werden.
01.01.2015		3a) Drahtlose Netzwerkverbindungen: Drahtlose Netzwerkverbindungen müssen sich ausschalten lassen (Ausnahmen: Geräte, die über keine drahtgebundene Netzwerkverbindung verfügen) 3b) Soweit mit seiner vorgesehenen Verwendung vereinbar, muss das Gerät mit einer Verbrauchsminimierungsfunktion ausgestattet sein. Wenn das Gerät keine Hauptfunktion ausführt und keine anderen energiebetriebenen Produkte auf seine Funktionen angewiesen sind, muss die Verbrauchsminimierungsfunktion das Gerät nach der kürzesten mit seiner vorgesehenen Verwendung vereinbarenden Zeit automatisch in Bereitschafts-, Aus- oder ähnlichen Zustand (mit entsprechenden Verbrauchsgrenzwerten) versetzen. Die Verbrauchsminimierungsfunktion muss aktiviert werden.

³⁸ Weitere Anforderungen der Standby-Verordnung (wie z.B. Informationspflichten) werden hier nicht gelistet.

Frist	Anforderungen hinsichtlich Aus und Standby	Anforderungen an vernetzte Geräte
		<p>zesten mit seiner vorgesehenen Verwendung zu vereinbarenden Zeit automatisch in den Zustand des vernetzten Bereitschaftsbetriebs versetzen.</p> <p>Im Zustand des vernetzten Bereitschaftsbetriebs kann das Gerät mithilfe der Verbrauchsminimierungsfunktion automatisch in den Bereitschafts-, Aus- oder ähnlichen Zustand (mit entsprechenden Verbrauchsgrenzwerten) versetzt werden.</p> <p>Die Verbrauchsminimierungsfunktion muss für alle Netzwerk-Ports des vernetzten Gerätes verfügbar sein.</p> <p>Die Verbrauchsminimierungsfunktion muss aktiviert sein, solange nicht alle Netzwerk-Ports deaktiviert sind. Im letzteren Fall muss die Verbrauchsminimierungsfunktion aktiviert werden, wenn einer der Netzwerk- Ports aktiviert wird.</p> <p>Die voreingestellte Zeitdauer, nach der das Gerät mithilfe der Verbrauchsminimierungsfunktion automatisch in einen Zustand des vernetzten Bereitschaftsbetriebs versetzt wird, darf 20 Minuten nicht überschreiten.</p> <p>3c) Bei vernetzten Geräten, die einen oder mehrere Bereitschaftsmodi aufweisen, müssen die für diesen Bereitschaftsmodus/diese Bereitschaftsmodi geltenden Anforderungen erfüllt sein, wenn alle Netzwerk-Ports deaktiviert sind.</p> <p>3d) Vernetzte Geräte (außer HiNA-Geräten) müssen 2d einhalten, wenn alle Netzwerk-Ports deaktiviert sind.</p> <p>Netzwerk-Standby:</p> <ul style="list-style-type: none"> - HiNA-Geräte: 12,0 W - Andere vernetzte Geräte: 6,0 W <p>Ausnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Drucker mit einem Netzteil > 750 W; - Großformatdrucker; - Telepräsenz-Systeme; - Desktop-Thin-Clients; - Workstations; - mobile Workstations; - Small-Scale-Server; - Computerserver
01.01.2017		<p>4a) Bei vernetzten Geräten, die einen oder mehrere Bereitschaftsmodi aufweisen, müssen die Anforderungen an diesen Bereitschaftsmodus/diese Bereitschaftsmodi erfüllt sein, wenn alle drahtgebundenen Netzwerk-Ports vom Netzwerk getrennt und alle drahtlosen Netzwerk-Ports deaktiviert sind.</p> <p>4b) Vernetzte Geräte (außer HiNA-Geräte) müssen 2d einhalten, wenn alle Ports getrennt bzw. deaktiviert sind</p>

Frist	Anforderungen hinsichtlich Aus und Standby	Anforderungen an vernetzte Geräte
		4c) Netzwerk-Standby: <ul style="list-style-type: none"> - HiNA-Geräte: 8,0 W - Andere vernetzte Geräte: 3,0 W Ausnahmen: <ul style="list-style-type: none"> - Großformatdrucker; - Desktop-Thin-Clients; - Workstations; - mobile Workstations; - Small-Scale-Server; - Computerserver.
01.01.2019		5a) Netzwerk-Standby (außer HiNA-Geräte): 2,0 W

9.2 Fernseher

Für die Berechnung des elektrischen Energiebedarfs werden die Fernsehgeräte nach Technologie (LCD und CRT) sowie verschiedenen Größenklassen unterschieden (siehe Tabelle 9-4).

Tabelle 9-4: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Fernseher (Basisprognose)

Fernseher	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
Flachbildfernseher < 20"	1,6		1,6		0,9		0,7	
Flachbildfernseher 20 - 29"	4,2		8,1		7,0		4,8	
Flachbildfernseher 30 - 39"	12,5		21,1		19,6		15,6	
Flachbildfernseher 40 - 49"	6,8		20,1		28,1		30,7	
Flachbildfernseher 50 - 59"	0,8		4,7		11,2		15,2	
Flachbildfernseher > 60"	0,0		0,5		2,4		4,8	
Fernseher CRT	35,2		12,4		1,7		0,1	
Fernseher Gesamt	61,1		68,6		70,9		71,9	
Nutzungsmuster 365 Tage	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]
Flachbildfernseher < 20"	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0
Flachbildfernseher 20 - 29"	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0
Flachbildfernseher 30 - 39"	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0
Flachbildfernseher 40 - 49"	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0
Flachbildfernseher 50 - 59"	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0
Flachbildfernseher > 60"	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0
CRT Fernseher	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0

Fernseher	2010		2015		2020		2025	
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby/Aus [W]						
Flachbildfernseher < 20"	49,2	2,0	41,1	1,3	28,1	0,6	20,9	0,3
Flachbildfernseher 20 - 29"	72,2	2,0	46,8	0,9	33,8	0,5	27,3	0,3
Flachbildfernseher 30 - 39"	140,8	2,0	85,0	1,0	51,7	0,5	39,0	0,3
Flachbildfernseher 40 - 49"	200,5	1,9	95,6	0,9	61,5	0,4	52,7	0,3
Flachbildfernseher 50 - 59"	325,0	1,8	122,6	0,7	82,4	0,4	73,8	0,3
Flachbildfernseher > 60"	n.v.	n.v.	146,7	0,4	121,3	0,3	103,7	0,3
CRT Fernseher	100,4	6,6	97,4	5,2	94,5	4,1	94,2	4,1
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Flachbildfernseher < 20"	90	146	68	110	45	40	33	24
Flachbildfernseher 20 - 29"	124	516	74	599	52	366	42	202
Flachbildfernseher 30 - 39"	224	2.796	130	2.745	78	1.536	59	920
Flachbildfernseher 40 - 49"	311	2.100	144	2.902	92	2.598	79	2.430
Flachbildfernseher 50 - 59"	493	416	183	865	123	1.371	110	1.668
Flachbildfernseher > 60"	0	0	217	102	179	437	154	744
CRT Fernseher	198	6.969	180	2.239	168	287	189	14
Fernseher Gesamt		12.816		9.563		6.636		6.001

9.2.1 Trends

Die Einführung der Flachbildfernseher zu Beginn der 2000er Jahre hat den Markt deutlich verändert. Insgesamt führte dies zu einem starken Anstieg der Bildschirmgrößen und damit zumindest anfänglich zu steigenden Energieverbräuchen. Nach einer Phase des Umbruchs, in denen die neuen Flachbildfernseher mit hohen Leistungsaufnahmen, geringer Auflösung und einer vergleichsweise hohen Zahl von Frühausfällen zu kämpfen hatten, sank durch die schnelle Verbesserung der Bildschirmtechnologie die Leistungsaufnahme stark. Gleichzeitig stieg die Auflösung und HD ist bei heute neugekauften Produkten Standard.

Zusätzlich werden immer weitere Funktionen in den Fernseher integriert. Neben der Möglichkeit der 3D-Fernseher, gibt es auch immer sogenannte „Smart TVs“ auf dem Markt, die über eingebaute Browser das Surfen im Internet ermöglichen, aber auch das direkte Streamen von Videos und Filmen aus dem Internet ohne einen zwischengeschalteten Computer zu benötigen.

Des Weiteren sind in neuen Geräten immer mehr Tuner integriert, so dass Set-Top-Boxen z.T. nicht mehr benötigt werden (siehe auch Abschnitt 9.3.1).

Sowohl die ErP-Durchführungsmaßnahme für Fernseher (EG 642/2009 2009) als auch das Energielabel (EU 1062/2010 2010) hatte einen positiven Effekt, der die Markteinführung effizienter Geräte beschleunigte. Zumindest die Durchführungsmaßnahme ist aber mittlerweile ggü. dem Stand der Technik veraltet.

9.2.2 Bestand

Die Bestandszahlen werden anhand von CEMIX-Verkaufszahlen von 1995 bis 2014 (siehe Tabelle 14-1 im Anhang) berechnet. Für die CRT-Fernseher wird eine Nutzungsdauer von

10,9 Jahren (Chancerel 2010) angenommen. Für Flachbildfernseher wird keine konstante Nutzungsdauer angenommen, sondern eine wachsende Nutzungsdauer bei den neueren Geräten. Die ersten Flachbildfernseher, die zum Teil technisch noch nicht ausgereift waren (vergleichsweise schlechte Bildqualität, kleine Bildschirmdiagonale, hohe Leistungsaufnahme), wurden sehr schnell wieder ausgetauscht. Daher wird nur eine kurze Nutzungsdauer von 3 Jahren angenommen, die bei den neuen Produktgenerationen wieder auf bis zu 8 Jahren ansteigt (siehe Abbildung 9-2). Die Modellierung der Nutzungsdauer für Fernseher wurde durch den Abgleich der resultierenden Fernseherbestände mit den Destatis-Zahlen verifiziert (Vgl. Abbildung 9-4).

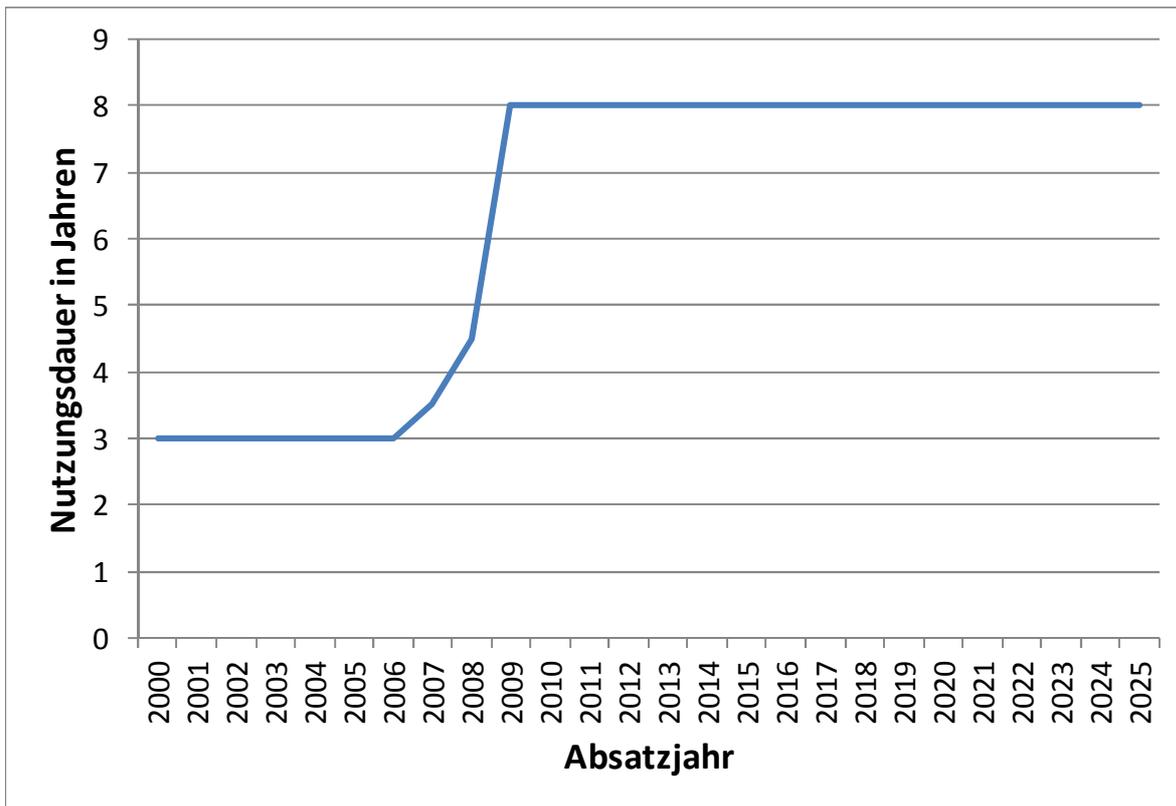


Abbildung 9-2: Nutzungsdauer von Flachbildfernsehern in Deutschland nach Absatzjahren

Die Bestandszusammensetzung nach Absatzjahren der Fernseher ist in Abbildung 9-3 dargestellt.

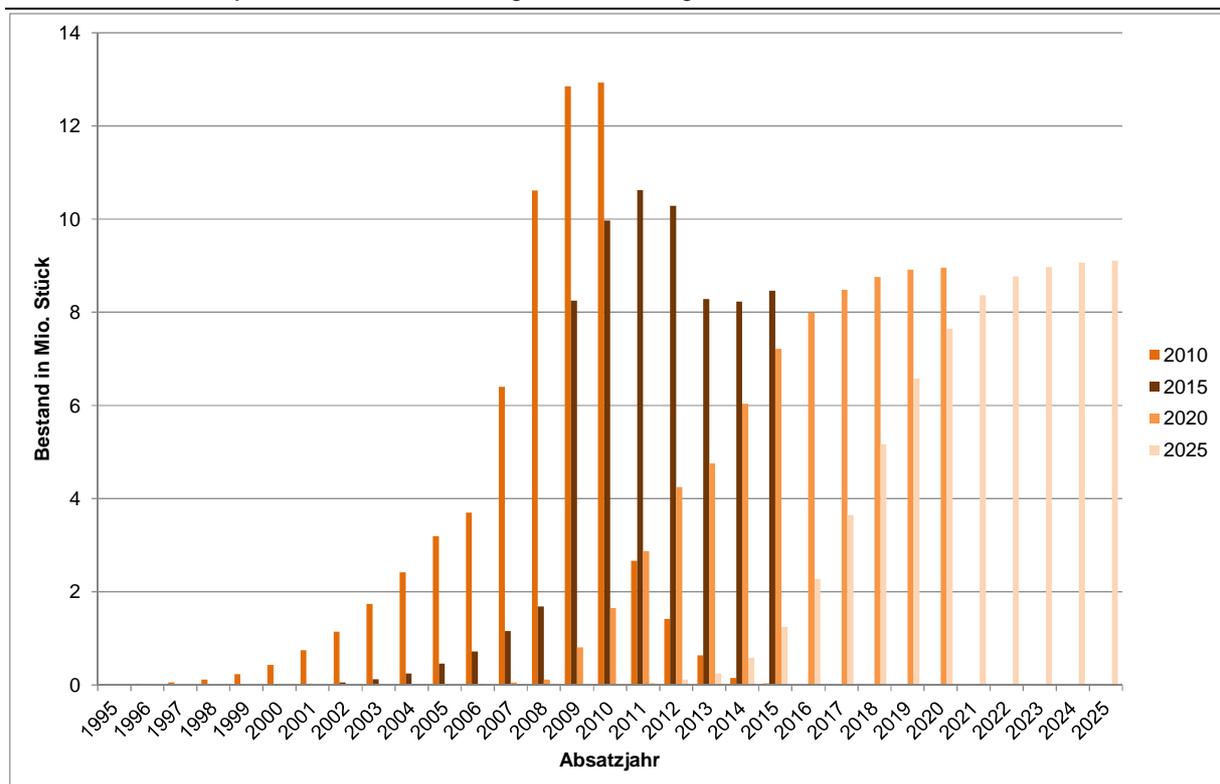


Abbildung 9-3: Bestandszusammensetzung der Fernseher nach Absatzjahr

Die Bestände schlüsseln sich wie folgt nach Absatzjahren auf:

- Bestandszusammensetzung 2010: Bis einschließlich 2006 fast ausschließlich CRT-Fernseher (lange Lebensdauer), 2007 – 2008 Technologiemix und ab 2009 fast nur LCD-Fernseher
- Bestandszusammensetzung 2015: Bis einschließlich 2008 fast ausschließlich CRT-Fernseher (lange Lebensdauer), 2009 Technologiemix und ab 2010 fast nur LCD-Fernseher
- Bestandszusammensetzung 2020: Bis einschließlich 2008 fast ausschließlich CRT (lange Lebensdauer), 2009 Technologiemix und ab 2010 fast nur LCD-Fernseher
- Bestandszusammensetzung 2025: Restbestände der CRT Fernseher aus den Absatzjahren 2002 bis 2009 machen etwa 0,1 % der Fernseher aus.

Die Aufschlüsselung der unterschiedlichen Größenklassen der Flachbildfernseher wird auf Basis von GfK-Daten ermittelt, die von Topten.eu (2014) veröffentlicht wurden.

Im Vergleich zu den Destatis Hochrechnungen liegt der hier ermittelte Bestand der Flachbildfernseher etwas höher (Vgl. Abbildung 9-4). Der Grund dafür liegt darin, dass ein Teil der im Konsumentenmarkt (CEMIX) verkauften Geräte nicht in den Haushalten, sondern öffentlich eingesetzt wird oder über andere Kanäle weitergegeben werden und daher bei der Haushaltserhebung von Destatis nicht enthalten sind. Dazu gehören zum Beispiel Fernsehgeräte in Hotels oder Restaurants, privater Export oder ein Teil der Firmen- und Veranstaltungsgeräte.

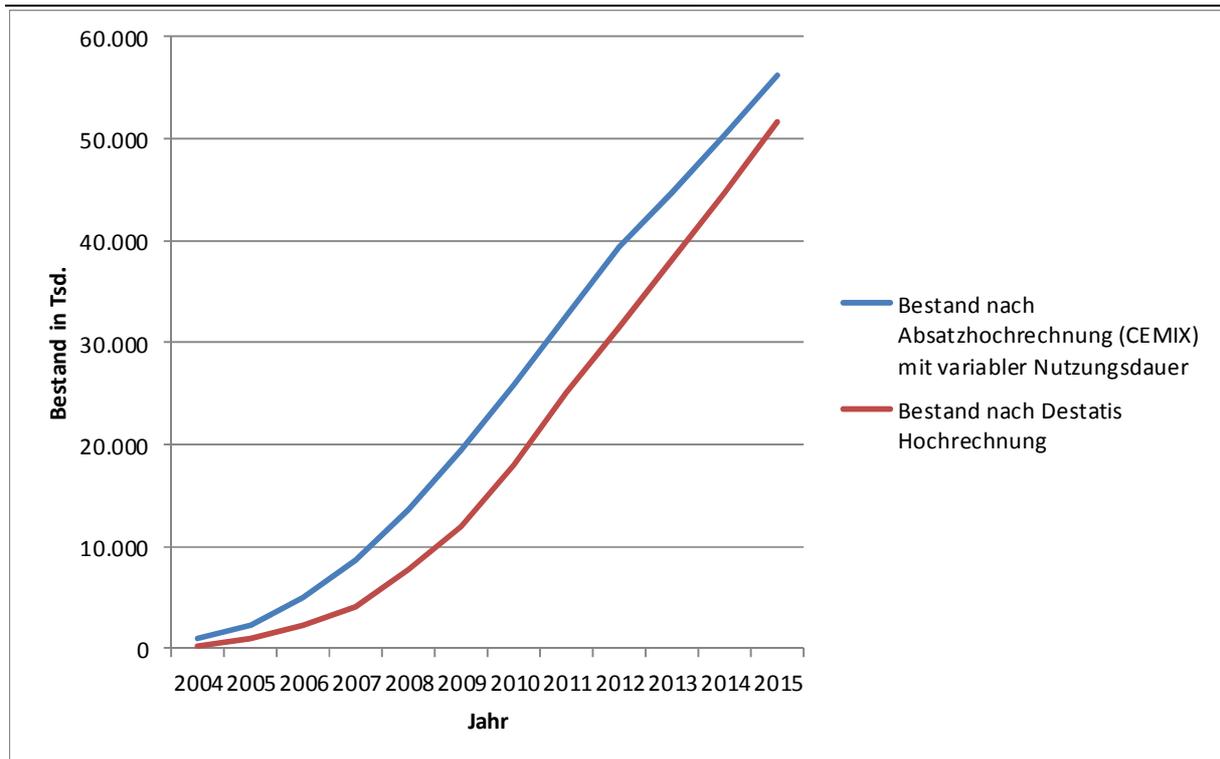


Abbildung 9-4: Modellvergleich Bestand Flachbildfernseher in Deutschland

9.2.3 Nutzungsmuster

Für Fernseher wird eine aktive Nutzungsdauer von täglich 4,0 h angenommen. Diese Annahme ist um eine halbe Stunde länger, als die 3,5 h tägliche Sehdauer, welche von der Arbeitsgemeinschaft Fernsehforschung (agf 2015) pro Tag und Person ermittelt wird und von den Ergebnissen der ACTA-Studie (ACTA 2014) gestützt wird. Das Nutzungsmuster von 4,0 h reflektiert den Umstand, dass der Fernseher häufig als „Hintergrundbeschallung“ genutzt wird oder Smart-TV-Funktionen aktiv sind, auch wenn nicht aktiv ferngesehen wird. Es wurde bereits in mehreren Studien wie u.a. der TREN Lot 5 Vorbereitungsstudie zur Ökodesign-Richtlinie für Fernseher (TREN Lot 5 2007) verwendet und ist als plausibel anerkannt.

Die Fernsehdauer ist in den letzten zehn Jahren laut Arbeitsgemeinschaft Fernsehforschung (agf 2015) stabil geblieben. Unklar ist allerdings, in welchem Maße, der heute meist größere Fernseher auch für andere Anwendungen wie Internet-Video und Musik-Streaming, Internet-(Video-) Telefonie, Gaming, etc. verwendet wird. Vor diesem Hintergrund besteht die Annahme, dass trotz konstant bleibender Fernsehdauer in den letzten zehn Jahren, die aktive Fernsehernutzung durch diese sekundären Anwendungen noch zunehmen könnte.

9.2.4 Leistungsaufnahme

Die ErP-Durchführungsmaßnahme für Fernseher (EG 642/2009 2009) reguliert die Leistungsaufnahme der Geräte im Betrieb (aktiv und Bereitschaft). Für den aktiven Betrieb wird die Leistungsaufnahme auf Basis der Bildschirmfläche limitiert (siehe Tabelle 9-5).

Tabelle 9-5: Max. Leistungsaufnahme für Fernseher nach ErP-Durchführungsmaßnahme (angenommenes Bildschirmformat: 16:9)

Bildschirmdiagonale in Zoll	Max. Leistungsaufnahme [W] ab 2010		Max. Leistungsaufnahme [W] ab 2012
	Volle HD- Auflösung	Sonstige Auflö- sung	
20	73	67	543
30	140	127	102
40	233	210	168
50	354	318	254
60	500	449	359

Die Leistungsaufnahme im Bereitschafts- und Auszustand darf folgende Werte nicht überschreiten:

- Ab Januar 2010:
 - 1 W Aus, 2 W Standby
- Ab August 2011³⁹:
 - 0,5 W Aus, 1 W Standby

Bei den Anforderungen handelt es sich um Maximalwerte, die in der Realität durch die schnelle Technikentwicklung häufig deutlich unterschritten werden.

Zusätzlich zu den Anforderungen zur Leistungsaufnahme gibt es für Fernseher außerdem eine verpflichtende Energiekennzeichnung (EU 1062/2010 2010). Ergebnisse des EU-Projektes CompliantTV zeigen, dass der Durchschnitt der verkauften Geräte bereits den Energieklassen A und besser entspricht. (CompliantTV 2015)

Die elektrische Leistungsaufnahme von Flachbildfernsehern wird anhand einer Aufschlüsselung des Energiebedarfs nach Größenklassen und Verkaufsjahren von Topten.eu (2014) und dem in der vorliegenden Studie erstellten Bestandsmodell berechnet.

So zeigt die Studie von topten.eu, dass die durchschnittliche Leistungsaufnahme von Flachbildfernsehern der Größenklasse 50“ – 60“ im aktiven Betrieb von knapp 400 W 2008 auf unter 100 W im Verkaufsjahr 2013 sinkt. Die anderen Größensegmente zeigen den gleichen Trend der sinkenden Leistungsaufnahme (Vgl. Abbildung 9-5).

Für die Leistungsaufnahme im Standby-Betrieb wird bis zum Verkaufsjahr 2005 eine Leistungsaufnahme von 5 W angenommen, die bis zum Verkaufsjahr 2014 auf 0,3 W sinkt.

Für CRT-Fernseher wird im aktiven Betrieb bis zum Verkaufsjahr 1990 eine Leistungsaufnahme von 110 W angenommen, die bis zum Verkaufsjahr 2006 auf 90 W sinkt. Für den Bereitschaftsbetrieb wird eine Leistungsaufnahme von 12 W bis zum Verkaufsjahr 1999 angenommen, die bis zum Verkaufsjahr 2010 auf 0,6 W sinkt.

³⁹ Für detaillierte Anforderungen inkl. Ausnahmen siehe Verordnung (EG) Nr. 642/2009

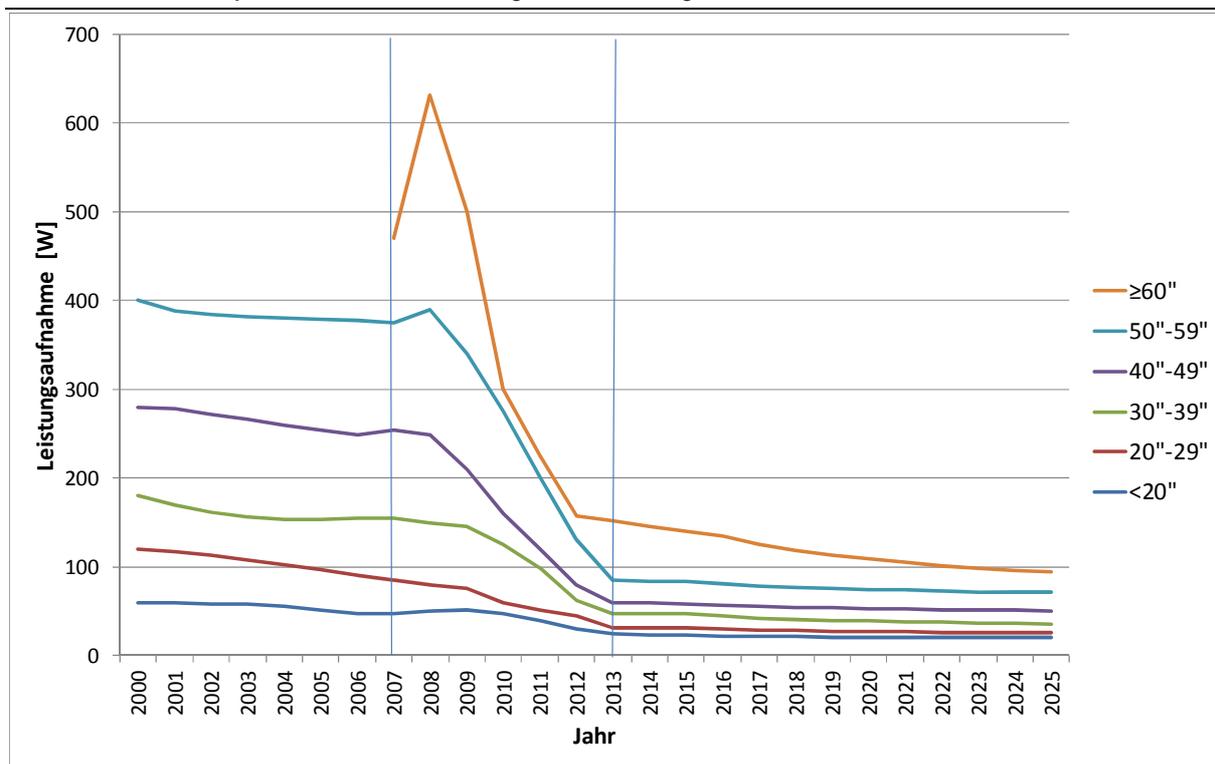


Abbildung 9-5: Entwicklung der durchschnittlichen Leistungsaufnahme von Flachbildfernsehern nach Verkaufsjahr und Größensegment (Datenbasis 2007-2013)

Diese Werte decken sich auch mit Zahlen von StromverbrauchInfo (2015a), die unterschiedliche Leistungsaufnahmen aktueller Fernseher listen. Eine Auswertung dieser Zahlen zeigt, dass die im Rahmen der vorliegenden Studie getroffenen Annahmen für das Jahr 2015 im oberen Bereich zwischen dem Nominalwert der Fernseher und der Leistungsaufnahme im Eco-Mode liegen und daher den realen Bestand realistisch abbilden (siehe Abbildung 9-6). Die Größenordnung konnte außerdem durch einen Vergleich mit einer nicht repräsentativen Stichprobe der Amazon Verkaufslisten verifiziert werden (Vgl. Anhang: Abbildung 14-1).

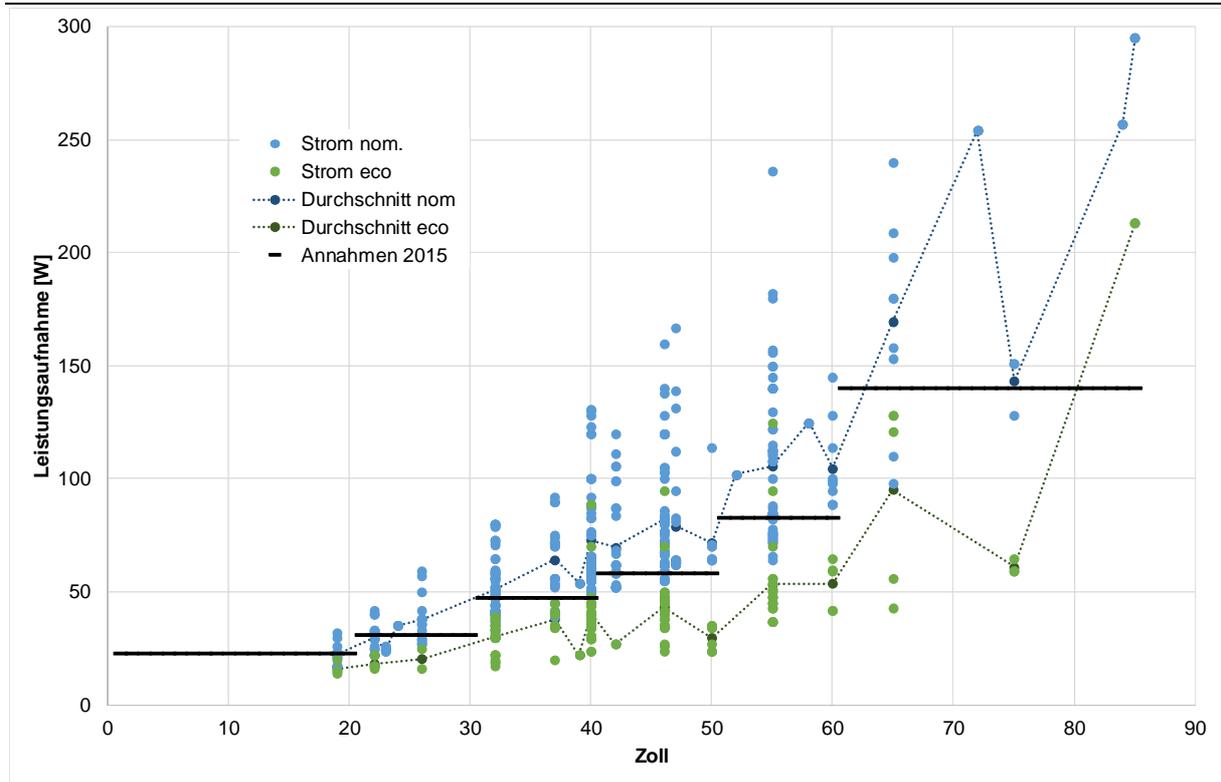


Abbildung 9-6: Vergleich der Annahmen in der vorliegenden Studie mit Werten von Stromverbrauch Info (schwarze Balken zeigen die Annahme für die jeweilige Größenklassen für 2015, die gepunktete Linien die jeweiligen Durchschnittswerte für nominale Leistungsaufnahme [oben] und Leistungsaufnahme im Eco-Mode [unten] aktueller Geräte)

9.2.5 Energiebedarf

Die geringere Leistungsaufnahme bei neueren Geräten und Jahresenergiebedarf pro Produkt wirkt sich bei den Größenklassen bis 39“ auch begrenzend auf den Jahresenergiebedarf des Bestandes aus, der trotz wachsendem Bestand sinkt (siehe Abbildung 9-7). Bei den Größenklassen > 40“ steigt der Jahresenergiebedarf des Bestandes durch den enorm wachsenden Bestand trotz stark sinkender Leistungsaufnahme.

Insgesamt zeigt sich für die Produktkategorie Fernseher trotz der Verschiebung zu größeren Bildschirmdiagonalen durch die enorme Technikverbesserung und die Abschaffung der CRT-Geräte eine Abnahme des Energiebedarfs im Bestand.

Betrachtet man nur das Segment der Flachbildfernseher, findet eine kontinuierliche Verschiebung in der Anzahl der Geräte von den Größensegmenten < 40“ zu den Größensegmenten > 40“ statt. Durch stetige Technologieverbesserung liegt der Energiebedarf 2025 gleich auf dem Energiebedarf 2010 (bei 6 TWh), wobei im Jahr 2015 eine Spitze durchlaufen wird.

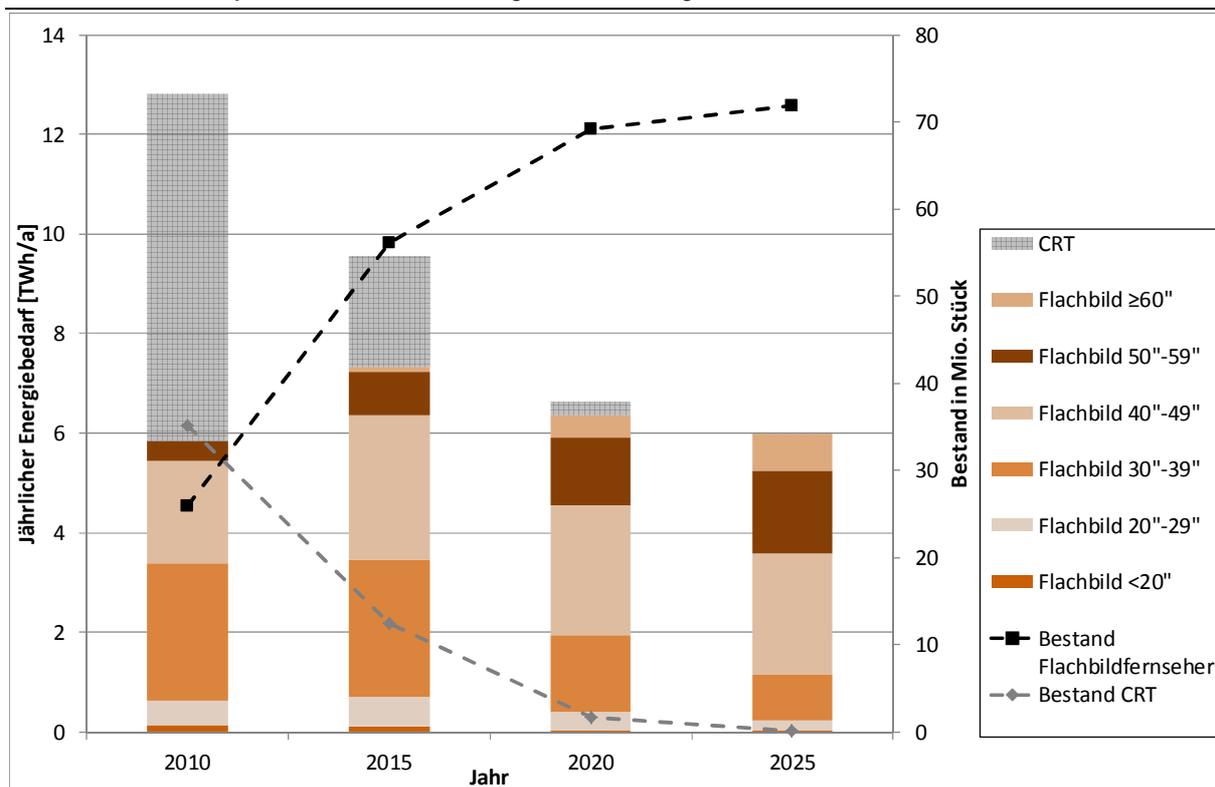


Abbildung 9-7: Jahresenergiebedarf des Bestands an Fernsehern in den Jahren 2010 – 2025 (Basisprognose)

9.3 Fernsehperipherie

Die Produktkategorie Fernsehperipherie umfasst mobile und stationäre Spielekonsolen, Beamer/Projektoren, Set-Top-Boxen (STB), Blu-ray- und DVD-Player, sowie VHS-Rekorder.

Tabelle 9-6: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Fernsehperipherie (Basisprognose)

Fernsehperipherie	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]
Spielekonsolen stationär	15,2	12,1	9,9	9,7
Spielekonsolen mobil	7,5	6,0	4,9	4,8
Beamer/Projektoren	0,3	0,6	0,8	0,8
STB Total	35,8	46,4	48,5	52,2
Blu-ray Player	1,7	10,1	14,3	15,7
DVD-Player/-Recorder	26,9	18,2	13,6	11,7
Video VHS	11,8	2,9	0,3	0,0
Fernsehperipherie Gesamt	99,3	96,3	92,1	94,8

Fernsehperipherie	2010		2015		2020		2025	
Nutzungsmuster 365 Tage	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]
Spielekonsolen stationär	1,0	23,0	1,0	23,0	1,0	23,0	1,0	23,0
Spielekonsolen mobil	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0
Beamer/Projektoren	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0
STB Total	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0
Blu-ray Player	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0
DVD-Player/-Recorder	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0
Video VHS	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
Spielekonsolen stationär	84,0	2,5	96,9	3,7	82,8	2,9	65,5	1,8
Spielekonsolen mobil	1,1	0,0	1,3	0,0	1,6	0,0	1,8	0,0
Beamer/Projektoren	230,0	5,7	249,4	3,2	233,3	2,1	205,2	2,0
STB Total	18,0	5,0	15,5	2,1	12,9	1,0	10,6	0,6
Blu-ray Player	15,0	2,0	13,1	1,1	11,7	0,9	10,2	0,6
DVD-Player/-Recorder	13,8	2,6	10,6	1,3	10,0	1,0	8,5	0,6
Video VHS	28,4	3,0	25,2	3,0	22,0	3,0	24,7	3,0
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Spielekonsolen stationär	52	792	67	810	54	539	39	376
Spielekonsolen mobil	1	6	1	6	1	6	1	6
Beamer/Projektoren	214	58	208	120	187	141	166	139
STB Total	63	2.258	38	1.745	26	1.237	20	1.035
Blu-ray Player	27	45	18	184	16	226	12	187
DVD-Player/-Recorder	31	839	18	331	15	209	11	130
Video VHS	45	531	42	122	40	11	42	0,6
Fernsehperipherie Gesamt		4.530		3.318		2.369		1.873

9.3.1 Trends

VHS-Rekorder waren bereits 2010 veraltet, befinden sich allerdings in geringen Zahlen als Altgeräte im Bestand. Sie wurden abgelöst von DVD-Playern. Durch die stark zunehmende Dateigröße von Filmen durch wachsende Auflösung (HD, 3D) wurden andere Speicher benötigt, so dass vermehrt Blu-ray Discs und Blu-ray-Player in den Markt kamen.

Der Markt der Spieleskonsolen wird von wenigen Produkttypen und Herstellern dominiert. Neben dem Nutzen als reine Spieleskonsolen, können die stationären Spieleskonsolen häufig auch als Abspielgeräte für DVDs und Blu-ray Discs genutzt werden, was ihre Nutzungsdauer verlängert. Gegenläufig dazu übernehmen Tablet PCs und Smartphones teilweise die Funktionalitäten zum Spielen, wodurch im Mittel die tägliche Nutzungsdauer konstant bleibt.

Set-Top-Boxen haben unterschiedliche Funktionen. Einige dienen der reinen Signalwandlung, andere als Decoder für Pay-TV. Zudem verfügen einige Geräte über Zusatzfunktionen

zum Aufnehmen und Abspielen von Bildmaterial, teilweise mit Hilfe einer integrierten Festplatte. Das jeweilige Funktionsspektrum beeinflusst die Leistungsaufnahme und das Nutzungsmuster stark. Da aber detaillierte Verkaufsstatistiken fehlen und der Gesamtenergiebedarf im Jahr 2025 bei ca. einer Terrawattstunde liegt, wird keine weitere Unterscheidung vorgenommen.

Laut TNS (2015) teilen sich die Empfangsarten für das Jahr 2015 wie folgt auf die Haushalte auf:

- Terrestrisch: 9,7 %
- Kabel: 46,1 %
- Satellitenempfang: 46,5 %
- IP-TV: 4,8 %

Die Summe ergibt mehr als 100 %, da einige Haushalte verschiedene Empfangsarten nutzen. Eine Ableitung, der Anzahl der Set-Top-Boxen basierend auf dieser Verteilung ist mit großen Unsicherheiten behaftet, da neuere Fernseher häufig über integrierte Tuner verfügen, so dass keine zusätzliche Set-Top-Box verwendet wird. Zudem ist es ungenau, von der Verteilung der Empfangsarten von > 100 % auf die Anzahl der TV-Geräte zu schließen, da die Haushalte mehr als ein Gerät besitzen (durchschnittlich 1,5 Geräte, 9,5 % der Haushalte drei Geräte und mehr (TNS 2015)).

DVB-T2:

Für den terrestrischen Empfang findet ab 2016 ein Umstieg von DVB-T auf DVB-T2 statt (welcher spätestens 2019 abgeschlossen sein soll) (NDR 2015). DVB-T2 ist nicht abwärtskompatibel, so dass DVB-T-Empfänger nicht für den Empfang von DVB-T2 geeignet sind. Dies betrifft externe Set-Top-Boxen genauso wie integrierte Tuner. Insgesamt ist jedoch die Zahl, der Haushalte, die terrestrisches Fernsehen empfangen verhältnismäßig klein und rückläufig. Unter der konservativen Annahme, dass die von TNS (2015) genannten 9,7 % der TV-Haushalte ausschließlich terrestrisches Fernsehen empfangen, beträfe dies ca. 5,6 Mio. Geräte (Set-Top-Boxen oder Fernseher mit integriertem Tuner), was etwa 12 % der gesamten Set-Top-Boxen entspräche. Ein Großteil der bestehenden Set-Top-Boxen wird einfach ersetzt. Eine Gerätezunahme erfolgt nur, wenn ein integrierter Tuner durch eine Set-Top-Box ersetzt wird. Gleichzeitig wird der Technologiewechsel bei einigen Nutzern auch zum Wechsel der Empfangsart führen. Es ist daher nicht davon auszugehen, dass sich der Technologiewechsel signifikant auf den Gesamtbestand der Set-Top-Boxen auswirkt. Trotzdem wird eine stärkere Zunahme an Set-Top-Boxen als alternative Entwicklungsvariante im Kapitel 12.4.5 untersucht.

9.3.2 Bestand

Der Bestand wird anhand von CEMIX-Verkaufszahlen (siehe Tabelle 14-1) berechnet.

Für die Set-Top-Boxen wird dabei eine zusätzliche Anpassung vorgenommen. Die Verkaufszahlen von CEMIX zeigen einen Einbruch der Verkaufszahlen im Jahr 2013. Für die Prognose der Verkaufszahlen ab dem Jahr 2015 wird die Prognose nicht weiter fallend, sondern dem Gesamttrend auch der vorherigen Jahre folgend getroffen. Set-Top-Boxen werden nicht nur über den freien Verkauf (wie durch die CEMIX-Zahlen abgebildet), sondern auch über Kabelnetz- und zum Teil Telekombetreiber zur Verfügung gestellt. Dies wird über die leicht höher prognostizierten Verkaufszahlen abgebildet. Außerdem werden den Set-Top-Boxen zusätzlich Pay-TV-Decoder auf Basis der Laufenden Wirtschaftsrechnungen (Destatis LWR 2014) plus Extrapolation ab 2015 zugerechnet, da diese Geräte nicht in den Verkaufszahlen enthalten sind. Eine getrennte Ausweisung der beiden Gerätetypen erfolgt nicht, da für beide

die gleichen Annahmen hinsichtlich Nutzungsmuster und Leistungsaufnahme getroffen werden.

Es werden folgende Gesamtnutzungsdauern angenommen:

- Spielekonsolen (stationär und mobil): 6,5 Jahre
- Beamer/Projektoren: 3,5 Jahre
- Set-Top-Boxen: 7,5 Jahre
- Blu-ray-/DVD-Player: 6 Jahre
- Video-Rekorder: 10,9 Jahre (analog zur Gesamtnutzungsdauer von CRT-Fernsehern)

9.3.3 Nutzungsmuster

Für die Produktkategorie Fernsehperipherie werden konstante Nutzungsmuster über alle Modelljahre angenommen (siehe Tabelle 9-6). Die Nutzungsdauer von Set-Top-Boxen wird analog zur Nutzungsdauer von Fernsehern modelliert.

Die tägliche Nutzungsdauer von 2 h bei VHS-, DVD- und Blu-ray-Playern/Rekordern schließt sowohl das Abspielen als auch das Aufnahmen von Sendematerial ein. Bei DVD- und Blu-ray-Geräten wird das Aufnehmen – wenn mit dem spezifischen Gerät möglich – über eine integrierte Festplatte durchgeführt.

Für Beamer/Projektoren wird ebenfalls eine tägliche Nutzungsdauer von 2 h angenommen. Es wird nicht das Nutzungsmuster von Fernsehern übernommen, da Beamer eher als Zusatzgerät genutzt werden (gelegentliches Filme schauen, bestimmte Sportveranstaltungen, etc.)

9.3.4 Leistungsaufnahme

Die Leistungsaufnahme von mobilen Spielekonsolen wird auf Basis von Produktdatenblättern (Nintendo 1998) und Praxistests (Cexx, T. 2007) der am meisten verbreiteten Geräte (VGChartz 2015) modelliert. Es wird auf dieser Basis eine lineare Steigerung von 0,5 W für 1995 zu 2 W für 2025 modelliert.

Für stationäre Spielekonsolen wird eine Studie zur Leistungsaufnahme (NRDC 2014) ausgewertet um den verbreiteten Modellen jeweils eine durchschnittliche Leistungsaufnahme zuzuordnen. Für die gewichtete Mittelung mehrerer Referenzjahre werden die Marktanteile der Firmen (SACHDs 2011), der Konsolengenerationen (VGChartz 2015) und Markteinführungsjahre berücksichtigt. Die verbleibenden Werte wurden per Trendfunktion inter- bzw. extrapoliert. Dabei wird der Umstand berücksichtigt, dass die Hersteller Microsoft, Sony und Nintendo sich gegenüber der EU freiwillig verpflichtet haben den Energiebedarf der Spielekonsolen bis 2017 zu senken (EC 2015b). Die ersten Spielekonsolengenerationen um 1995 konnten noch mit durchschnittlich 6,6 W betrieben werden. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme steigt mit fortschreitender Technologieentwicklung bis 2013 auf knapp 100 W an und senkt sich bis 2025 auf ca. 60 W ab. Im Standby-Betrieb steigt die durchschnittliche Leistungsaufnahme von 1,4 W um 1995 auf ca. 5 W in 2013 an und senkt sich bis 2025 auf 1,4 W.

Für Beamer wird bis zum Verkaufsjahr 2010 eine Leistungsaufnahme von 230 W im aktiven Betrieb angenommen, die bis zum Verkaufsjahr 2015 auf 250 W steigt und anschließend (durch den wachsenden Anteil an LED-Beamern) bis zum Jahr 2025 auf 200 W sinkt. Für den Standby-Betrieb wird bis zum Verkaufsjahr 2008 eine Leistungsaufnahme von 8 W veranschlagt, die bis zum Verkaufsjahr 2019 auf 2 W sinkt.

Für Set-Top-Boxen aus dem Konsumentenmarkt wird für Geräte aus dem Verkaufsjahr 2005 und früher eine Leistungsaufnahme im aktiven Betrieb von 20 W angenommen. Diese sinkt bis zum Verkaufsjahr 2011 auf 12 W. Für den Standby-Betrieb wurde für Geräte aus dem Verkaufsjahr 2005 und früher eine Leistungsaufnahme von 7 W angenommen. Diese sinkt bis zum Verkaufsjahr 2013 auf 1 W. Daten zu Set-Top-Boxen, die beim US Energy Star gelistet sind, zeigen Geräte mit geringerer On-Mode-, aber höherer Sleep-Mode-Leistungsaufnahme. Diese basieren allerdings auf einer recht geringen Stückzahl (siehe Tabelle 9-7). In den USA haben Energy Star-zertifizierte Set-Top-Boxen eine Marktdurchdringung von 89 %. In Deutschland gibt es für diese Gerätegruppe keine Energy Star-Anforderungen.

Tabelle 9-7: US Energy Star-Daten zu STBs (Energy Star 2015a)⁴⁰

Jahr	On Mode-Leistungsaufnahme[W]	Sleep Mode-Leistungsaufnahme [W]	Anzahl gelisteter Geräte
2012	3,0	2,2	2
2013	6,0	4,5	3
2014	9,0	6,7	11
2015	10,2	9,6	14
gesamt	8,9	7,5	30

Für VHS-Rekorder wird für Geräte aus dem Verkaufsjahr 1998 und früher eine Leistungsaufnahme von 35 W im aktiven Betrieb angenommen. Diese sinkt bis zum Verkaufsjahr 2008 auf 15 W. Für den Standby-Betrieb wird eine durchgängige Leistungsaufnahme von 3 W angenommen.

Für Blu-ray Player wird für Geräte aus dem Verkaufsjahr 2012 und früher eine Leistungsaufnahme im aktiven Betrieb von 15 W angenommen, für Geräte ab dem Jahr 2013 12 W. Für den Standby-Betrieb wird eine Leistungsaufnahme von 2 W, ab 2013 von 1 W angenommen. Die Daten des US Energy Star für Blu-ray-Player zeigen deutlich niedrigere Werte (siehe Tabelle 9-8), allerdings hat Energy Star für Blu-ray-Player in den USA nur eine Durchdringungsrate von 60 %. Diese dürfte in Deutschland, wo es keine eigenen Energy Star-Anforderungen für Blu-ray-Player gibt, noch geringer sein.

Tabelle 9-8: US Energy Star Daten zu Blu-ray Playern (Energy Star 2015b)

Jahr	Idle-Leistungsaufnahme [W]	Sleep-Leistungsaufnahme [W]
2012/2013	5,5	0,2
2014	6,2	0,3
2015	5,0	0,3
gesamt	5,5	0,3

Für DVD-Player wird für Geräte aus dem Verkaufsjahr 2002 und früher eine Leistungsaufnahme von 20 W im aktiven Betrieb und 5 W im Standby-Betrieb angenommen. Diese Werte sinken bis zum Verkaufsjahr 2013 auf 10 W im aktiven Betrieb und 1 W im Standby-Betrieb. Die Daten des US Energy Star für DVD-Player zeigen deutlich niedrigere Werte (siehe Tabelle 9-9), allerdings hat Energy Star für DVD-Player in den USA nur eine Durchdringungsrate von 60 %. Diese dürfte in Deutschland, wo es keine eigenen Energy Star-Anforderungen für DVD-Player gibt, noch geringer sein.

⁴⁰ Eine Erläuterung der Energy Star-Betriebszustände findet sich im Anhang Kapitel 14.2.

Tabelle 9-9: US Energy Star Daten zu DVD-Playern (Energy Star 2015c)

Jahr	Idle-Leistungsaufnahme [W]	Sleep-Leistungsaufnahme [W]
2012/2013	4,5	0,3
2014	6,0	0,4
2015	4,5	0,5
gesamt	4,8	0,4

9.3.5 Energiebedarf

Der Gesamtenergiebedarf der Produktkategorie Fernsehperipherie nimmt stark ab. Dies wird vor allem getrieben durch die starken Verbesserungen bei Set-Top-Boxen, aber auch die Bestandsabnahme bei den stationären Spielekonsolen.

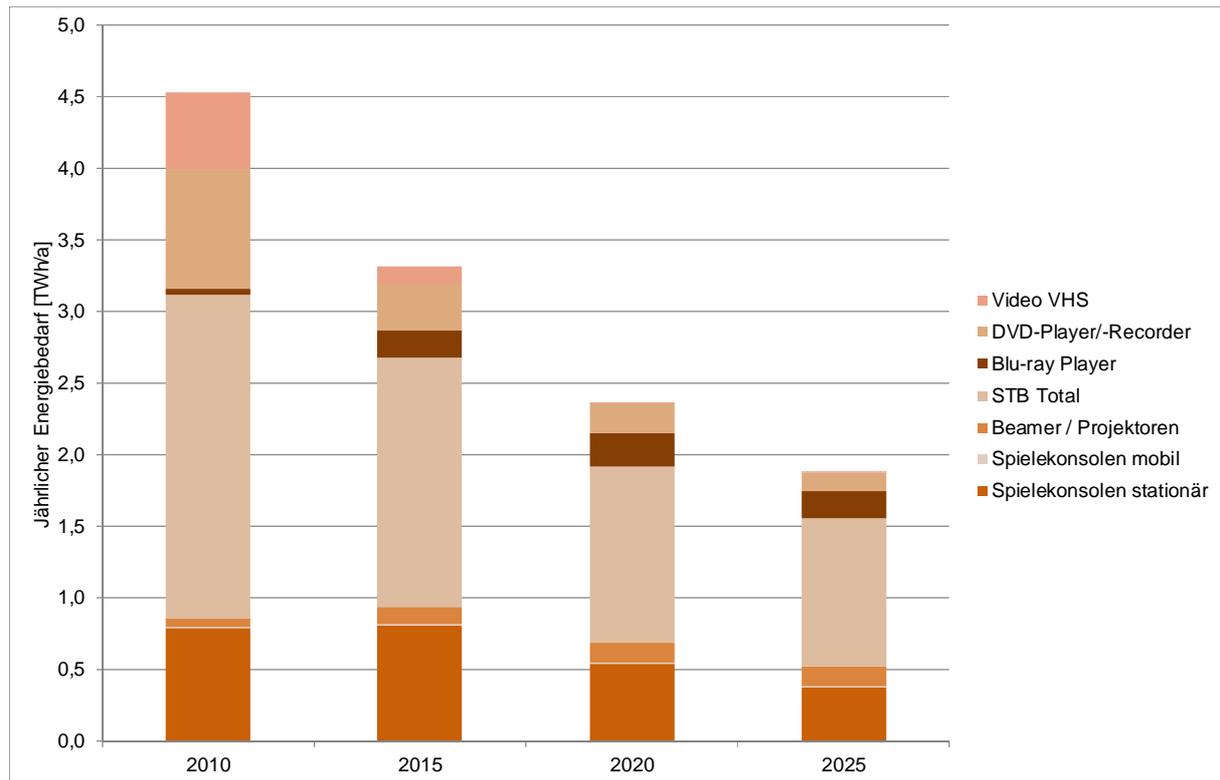


Abbildung 9-8: Energiebedarf der Produktkategorie Fernsehperipherie 2010 – 2025 (Basisprognose)

9.4 Computer

Die Produktkategorie Computer umfasst die Gerätetypen Desktop PCs, Notebooks (inkl. Netbooks) und Tablets (siehe Tabelle 9-10).

Tabelle 9-10: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Computer (Basisprognose)

Computer	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]	[Mio. Stück]
Desktops PCs	18,2	15,7	14,5	12,9
Notebook PCs	22,1	28,6	28,5	29,8
Tablet PCs	0,4	21,2	31,0	33,8
Computer Gesamt	40,8	65,5	74,1	76,5

Computer	2010		2015		2020		2025	
Nutzungsmuster 365 Tage	Aktiv [h]	Stand- by/ Aus [h]						
Desktops PCs	4,0	20,0	3,75	20,3	3,5	20,5	3,5	20,5
Notebook PCs	4,0	20,0	3,75	20,3	3,5	20,5	3,5	20,5
Tablet PCs	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Stand- by/ Aus [W]						
Desktops PCs	54,5	4,0	35,7	3,0	25,7	2,4	25,5	1,8
Notebook PCs	15,5	1,1	10,7	0,7	8,6	0,4	8,0	0,3
Tablet PCs	3,0	0,5	3,8	0,4	4,7	0,3	5,7	0,3
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]
Desktops PCs	123	2.230	80	1.249	55	792	46	600
Notebook PCs	30	673	19	558	14	404	12	372
Tablet PCs	6	3	6	122	6	181	7	221
Computer Gesamt		2.906		1.928		1.377		1.193

9.4.1 Trends

Die gesamte Computer- und Internetnutzung nimmt immer noch zu. Neben den bestehenden Nutzergruppen steigt auch die Nutzung durch Kinder (stärkere Einbindung in Unterricht und Hausaufgaben, Spiele) und ältere Nutzer und wird immer mehr Mainstream. Der Zuwachs der Gesamtnutzung wird durch den steigenden Bestand repräsentiert, wobei aufgrund funktionaler Überschneidungen der Produkte die einzelnen Produktgruppen weniger genutzt werden.

Wie in Kapitel 3.6 beschrieben haben die Ökodesign-Richtlinie, ihre Verordnung, aber auch die damit verbundenen Diskussion und Stakeholder-Prozesse in den letzten Jahren starke Auswirkungen auf den Energiebedarf vieler IKT-Endgeräte. Speziell für Computer wurde im Juni 2013 eine Durchführungsmaßnahme veröffentlicht (EG 617/2013 2013), die den Energiebedarf u.a. von Desktop Computern, integrierten Computern, Notebooks und Tablets adressiert und auch eigene Standby-Anforderungen enthält.

Des Weiteren gibt es verschiedene Energielabel für Computer wie Energy Star (2015d) oder EPEAT (2015). Diese sind aber bei privaten Nutzern teils wenig bekannt. Hinzu kommt, dass der Energiebedarf bei privaten Computern (anders als bei öffentlicher Beschaffung oder auch anderen Produkttypen) in der Regel keinen Einfluss auf die Kaufentscheidung hat.

Das Power Management wurde in den letzten Jahren stark verbessert und standardisiert (ACPI). Die heutigen kurzen Reaktivierungszeiten führen zu einer hohen Akzeptanz und daher großen Verbreitung von automatischen und voreingestellten Power Down-Einstellungen.

9.4.2 Bestand

Der Bestand an stationären Desktop PCs nimmt zugunsten der Mobilgeräte (Notebooks) ab, wobei der Bestand an Notebooks stärker wächst als der von Desktop PCs abnimmt. Bestandsgeräte in den Haushalten werden deutlich länger genutzt, häufig als „Backup“ zu den

mobilen Geräten. Die Verkaufszahlen von Desktop PCs gehen daher deutlich stärker zurück als der Bestand.

Tablet PCs werden hingegen eher als Zusatzgeräte genutzt und lassen so den Gesamtbestand der Computer stark ansteigen. Als erste Geräte, die den Konsumentenmarkt signifikant beeinflussten, sind die iPads ab dem Jahr 2010 zu sehen, die sich von Beginn an relevant auf den Bestand auswirkten. Der starke Anstieg des Bestands an Tablets von 2010 bis 2020 ist auf die Neueinführung dieses Gerätetyps in den Markt zurückzuführen und wird sich nach 2020 nicht im gleichen Maße fortsetzen sondern einschwingen, wie auch die Verkaufszahlen bereits andeuten.

Die konkreten Bestandszahlen werden auf Basis von CEMIX (2015)-Verkaufszahlen (siehe Tabelle 14-1) ermittelt. Für die Desktop PCs werden zusätzlich Absatzzahlen von EITO (2015) verwendet. Der Bestand von Desktop PCs basierend auf Neu-Verkaufszahlen von EITO und CEMIX unterschied sich gravierend von Bestandszahlen nach Destatis oder auch ACTA. Die Diskrepanz ergibt sich zum Teil daraus, dass in den Verkaufsstatistiken sogenannte „Selbstbau-PCs“ (die nur als Einzelkomponenten gekauft werden) sowie Gebrauchtgeräte nicht erfasst werden. Bei den Gebrauchtgeräten handelt es sich häufig um ausgemusterte Arbeitsplatzgeräte, wo PCs eine deutlich kürzere Nutzungsdauer haben als in Haushalten. Selbstbau-PCs wurden durch einen prozentualen Aufschlag mit abgebildet. Ausgemusterte Arbeitsplatzgeräte ergeben sich als ein Viertel der Altgeräte aus dem Bürobereich (siehe Abschnitt 8.2).

Es werden folgende Nutzungsdauern für Computer in Haushalten angenommen:

- Desktop PCs (neu): 8 Jahre
- Desktop PCs (Gebrauchtgerät aus dem Bürobereich): 4 Jahre
- Notebook PCs: 5 Jahre
- Tablet PCs: 4 Jahre

9.4.3 Nutzungsmuster

Der TEC⁴¹ nach Energy Star (2014) nimmt für Desktop PCs, Thin Clients und Integrierte PCs eine einen Anteil von 50 % von long und short idle an, was einer täglichen Nutzung von 12 h entsprechen würde. Für Notebooks wird long und short idle mit 40 % angesetzt, was 9,6 h aktiver Nutzung entspräche. Hierbei ist zu bedenken, dass der TEC nicht zwingend als realistisches Nutzungsmuster, sondern vor allem als vergleichbare Rechengröße dient.

Die ErP-Durchführungsmaßnahme für Computer (EG 617/2013 2013) nimmt zur Berechnung des jährlichen Gesamtenergiebedarfs für Desktop PCs und Integrierte Desktop Computer einen täglichen Idle-Betrieb von 9,6 h und für Notebooks 7,2 h an.

Diese Werte werden für die Haushalte nicht übernommen, da sie die reale tägliche Nutzungsdauer (zumindest im Bereich der Haushalte) deutlich überschätzen.

Die ErP-Durchführungsmaßnahme für Computer fordert ab dem 1. Juli 2014 voreingestelltes Power Management für Desktop PCs, Integrierte Computer und Notebooks, welches die Geräte nach Inaktivität des Nutzers selbstständig in einen niedrigeren Energiezustand versetzen. Diese recht straffen Zeitanforderungen wirken sich auf die Nutzungsdauer der Geräte aus.

⁴¹ TEC: Typical Energy Consumption, zur weiteren Erläuterung der Energy Star-Betriebszustände siehe Kapitel 14.2 im Anhang.

Für Desktop PCs und Notebooks wird für das Jahr 2010 eine tägliche Nutzung von 4 h angenommen. Diese umfasst auch Idle/Leerlauf-Zeiten in denen der Computer nicht genutzt wird, aber das Power Management noch nicht greift. Das automatische Power Management der Geräte wurde in den letzten Jahren (und wird immer noch) verbessert. Durch restriktivere Voreinstellungen kommt es häufiger zur Anwendung. Wenn sich diese Geräte im Bestand stärker durchsetzen, wird dadurch die tägliche Nutzungszeit leicht sinken.

Zusätzlich wird sich mit der stärkeren Verbreitung von internetfähigen Mobilgeräten wie Tablet PCs und Smartphones ein Teil der Nutzungszeit auf diese Geräte verschieben.

Für 2015 wird daher eine tägliche Nutzung von Desktop PCs und Notebooks von 3,75 h pro Tag und 2020 von 3,5 h pro Tag angenommen.

Für Tablets wird eine tägliche Nutzung von 2 h angenommen. Da Tablet PCs üblicherweise als ergänzendes Gerät in Parallelnutzung verwendet werden ändert sich die tägliche Nutzung kaum.

9.4.4 Leistungsaufnahme

Die ErP-Durchführungsmaßnahme für Computer (EG 617/2013 2013) reguliert die Leistungsaufnahme im Betrieb (aktiv und Leerlauf) nicht direkt, sondern über einen maximalen jährlichen Gesamtenergiebedarf nach folgenden Formeln:

- Desktop PCs und Integrierte Computer.

$$E = \left(\frac{8760}{1000} \right) \times (0,55 \times P_{off} + 0,05 \times P_{sleep} + 0,4 \times P_{idle})$$

- Notebooks.

$$E = \left(\frac{8760}{1000} \right) \times (0,6 \times P_{off} + 0,1 \times P_{sleep} + 0,3 \times P_{idle})$$

Spezifische Anforderungen gibt es hinsichtlich dem Ruhe- und Auszustand. Ab dem 1. Juli 2014 müssen u.a. folgende Werte eingehalten werden:

- Ruhezustand (jeweils +0,7 W Toleranzwert für WOL-Funktion⁴²):
 - Desktop PC⁴³: 5,00 W
 - Notebooks: 3,00 W
- Aus-Zustand: 1,00 W (+ 0,7 W für WOL)
- Niedrigstverbrauchszustand: 0,5 W (+0,7 W für WOL)

Diese Werte sind von der Regulierung vorgegebene Maximalwerte und spiegeln im Fall der PCs nicht den technischen Durchschnitt wieder, der gerade im Hinblick auf den nichtaktiven Betrieb schon deutlich niedriger ist. Dies zeigt sich z.B. an den beim Energy Star gelisteten Geräten, welche z.B. für Notebooks aus dem Verkaufsjahr 2015 einen Idle-Wert deutlich unter 10 W zeigen (siehe Tabelle 9-11).

⁴² WOL: Wake on Lan

⁴³ Im Rahmen der ErP-Durchführungsmaßnahme für Computer jeweils inkl. Integrierten Computern

Tabelle 9-11: Durchschnittliche Leistungsaufnahme der im US Energy Star gelisteten Geräte im „Short Idle“ in Watt⁴⁴

	Desktop PC	Integrated Desktop PC	Notebook PC	Slate/ Tablet PC	Thin Client	Integrated Thin Client	Two in One Notebook	portable All-in-one-Computer	Work-stations
2010					5,8				
2011			10,3		9,0				
2012	26,4	38,2	11,8		7,2	14,1			82,9
2013	27,6	35,7	9,5	3,4	10,7	22,7	8,2		62,6
2014	26,0	33,9	8,6	4,9	7,7	23,9	5,6	22,1	108,7
2015	21,9	33,4	7,4	5,0	7,8		4,2		43,8
Datenbasis [Anzahl]	415	376	1538	63	41	8	20	5	46

Nicht alle am Markt verfügbaren Geräte entsprechen dem Energielabel Energy Star, daher werden zur Abbildung des Marktdurchschnittes etwas höhere Werte angenommen.

Die Desktop PCs beinhalten zu einem kleinen Teil auch Integrated PCs bzw. All-in-One PCs, welche eine etwas höhere Leistungsaufnahme als Desktop PCs haben. Für Desktop PCs (inkl. Integrated PCs) wurde für Geräte aus dem Verkaufsjahr 1998 und früher eine Leistungsaufnahme im aktiven Betrieb von 100 W angenommen, die dann bis 2018 sukzessive auf 25 W sinkt. Für den Bereitschaftsbetrieb wurde eine Leistungsaufnahme von 5 W für Geräte bis zum Verkaufsjahr 2009 angenommen. Danach sinkt diese (u.a. durch die Ökodesign-Durchführungsmaßnahme für Computer) auf 2 W bis zum Verkaufsjahr 2018.

Für Notebook PCs wird für Geräte aus dem Verkaufsjahr 2002 und früher eine Leistungsaufnahme im aktiven Betrieb von 30 W angenommen, die dann bis 2014 sukzessive auf 9 W sinkt. Für den Bereitschaftsbetrieb wird eine Leistungsaufnahme von 3 W für Geräte bis zum Verkaufsjahr 2002 angenommen. Danach sinkt diese auf 2,5 W ab dem Verkaufsjahr 2014.

Für Tablet PCs wird für Geräte bis zum Verkaufsjahr 2015 eine Leistungsaufnahme im aktiven Betrieb von 5 W angenommen, welche dann durch wachsende Akkukapazitäten auf 6 W steigt. Für den Bereitschaftsbetrieb wird eine Leistungsaufnahme von 0,5 W für Geräte bis zum Verkaufsjahr 2013 angenommen, ab 2014 von 0,3 W.

9.4.5 Energiebedarf

Der Energiebedarf der Produktkategorie Computer wird vor allem getrieben durch die Desktop PCs. Der Gesamtenergiebedarf von Desktop PCs und Notebooks sinkt vor allem durch die starken Technikverbesserungen. Der leichte Bestandsrückgang bei den Desktop PCs hat einen eher kleinen Einfluss.

Der Gesamtenergiebedarf der Tablet PCs wächst von 2010 bis 2025 sehr stark, was an der neuen Markteinführung und dem damit verbundenen stark wachsenden Bestand sowie der wachsenden funktionalitätsbedingten Leistungsaufnahme liegt. Zukünftig wird sich diese Entwicklung aber einschwingen, so dass sich der Energiebedarf der Tablet PCs nach 2025 relativ konstant entwickeln wird.

⁴⁴ Es wurde jeweils der Verbrauch der Maximalkonfiguration aus Energy Star (2015i) ausgewertet.

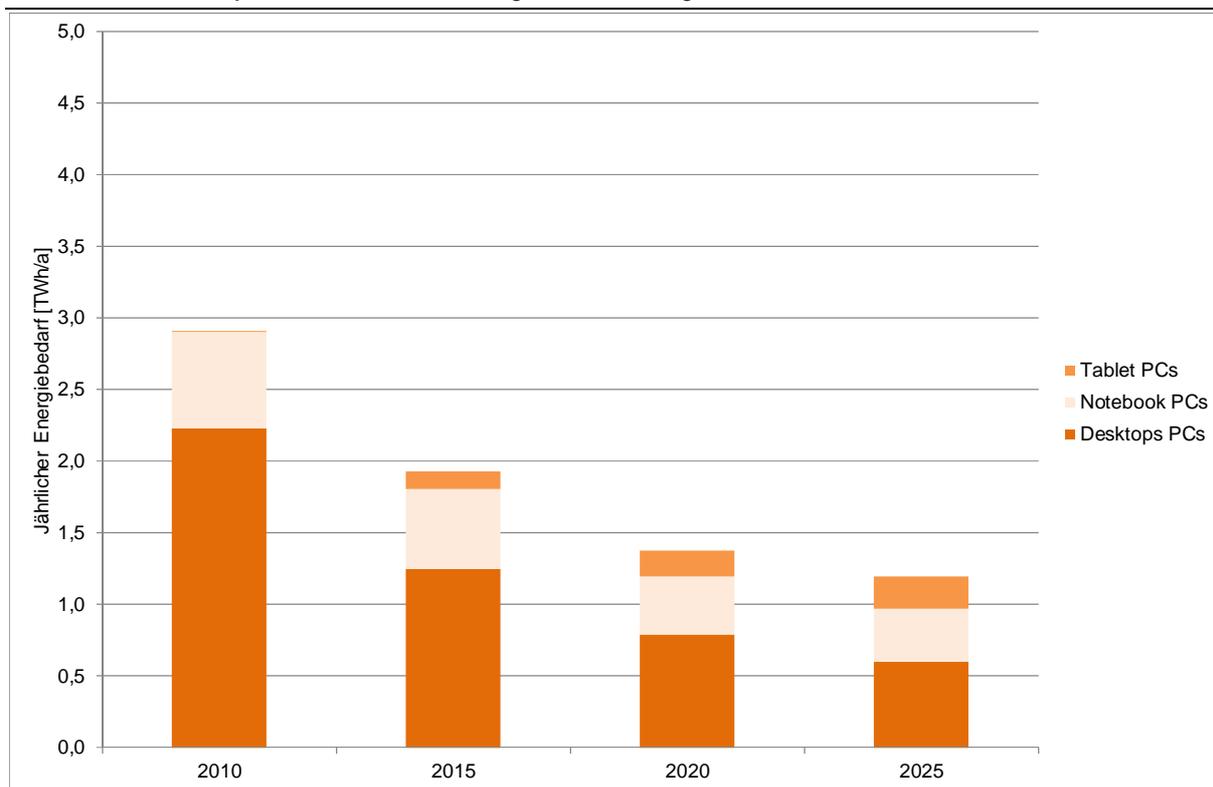


Abbildung 9-9: Energiebedarf der Produktkategorie Computer 2010 – 2025 (Basisprognose)

9.5 Computerperipherie

Die Produktkategorie Computerperipherie umfasst Computermonitore, Drucker, Scanner, Multifunktionsgeräte und Faxgeräte.

Tabelle 9-12: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Computerperipherie (Basisprognose)

Computerperipherie	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
Monitore	23,8		20,4		17,7		17,8	
Drucker	15,8		8,0		5,0		4,0	
Flachbett-MFD	18,3		24,4		27,2		29,2	
Scanner	2,1		1,9		1,2		0,7	
Telefax- und Kombigeräte	2,5		1,6		0,7		0,5	
Computerperipherie Gesamt	62,4		56,4		51,8		52,3	
Nutzungsmuster 365 Tage	Aktiv [h]	Stand-by/ Aus [h]						
Monitore	3,5	20,5	3,3	20,8	3,0	21,0	3,0	21,0
Drucker	0,1	23,9	0,1	23,9	0,1	23,9	0,1	23,9
Flachbett-MFD	0,1	23,9	0,1	23,9	0,1	23,9	0,1	23,9
Scanner	0,1	23,9	0,1	23,9	0,1	23,9	0,1	23,9
Telefax- und Kombigeräte	0,1	23,9	0,1	23,9	0,1	23,9	0,1	23,9

Computerperipherie	2010		2015		2020		2025	
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Stand-by/ Aus [W]						
Monitore	45,5	1,6	33,4	1,0	25,6	0,6	21,4	0,4
Drucker	200,0	3,0	200,0	2,2	200,0	1,5	200,0	1,1
Flachbett-MFD	40,0	2,7	40,0	2,0	40,0	1,3	40,0	1,0
Scanner	30,0	2,8	30,0	2,1	30,0	1,5	30,0	1,1
Telefax- und Kombigeräte	500,0	3,7	500,0	3,1	500,0	3,0	500,0	3,0
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Monitore	70	1.678	48	969	32	572	26	468
Drucker	34	528	27	215	20	100	17	67
Flachbett-MFD	25	450	19	465	13	356	10	306
Scanner	26	53	20	38	14	17	10	7
Telefax- und Kombigeräte	50	124	46	72	44	32	44	22
Computerperipherie Gesamt		2.833		1.760		1.077		870

9.5.1 Trends

Bei Monitoren in Haushalten sind seit längerem ein Trend hin zu größeren Bildschirmen und auch ein Formatwechsel hin zu Breitbild-Monitoren zu beobachten. Dies liegt neben den sinkenden Preisen auch an der zunehmenden Nutzung von Computermonitoren zum Schauen von Filmen und Videos.

Faxen als Funktion wird im Bereich der Haushalte fast nicht mehr genutzt und quasi vollständig durch Email (inkl. gescannter Anhänge) ersetzt. Dadurch sinkt auch der Bestand an Faxgeräten enorm, wobei es sich heute fast ausschließlich um kaum genutzte Altgeräte oder um Drucker mit integrierter Faxfunktion handelt.

Bei den Druckern und Scannern geht der Trend weg vom Einzelgerät hin zum Multifunktionsgerät, wobei in den Haushalten überwiegend Drucker und Multifunktionsgeräte mit Inkjet-Technologie zu finden sind⁴⁵. Auch die Umfragen in ACTA (2014) stützen diese Verteilung aktuell und für die Zukunft, da sie sowohl Bestände als auch Kaufabsichten erfragen.

9.5.2 Bestand

Der Bestand wird basierend auf CEMIX (2015)-Verkaufszahlen (siehe Tabelle 14-1) bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 8 Jahren berechnet.

Im Bestand nehmen klassische Drucker- und Faxgeräte in den Haushalten stark ab, da eine Verschiebung hin zu Multifunktionsgeräten erfolgt.

Der Bestand an Monitoren nimmt ebenfalls ab, da in den Haushalten vermehrt Notebooks zum Einsatz kommen und diese (im Gegensatz zu Büroumgebungen) in Haushalten nicht standardmäßig mit externem Monitor betrieben werden.

⁴⁵ Siehe hierzu EuP Preparatory Studies "Imaging Equipment" (Lot 4), BMWi (2007) (als Autor der Studie erhielt das Fraunhofer IZM weitere detaillierte Marktzahlen und Einblicke von Stakeholdern, die die oben genannte Annahme stützen), Auch die Allensbacher Computer- und Technik-Analyse (ACTA 2014) stützt diese Aussage.

9.5.3 Nutzungsmuster

Für Monitore wird das Nutzungsmuster parallel zu den Desktop PCs angenommen.

Für alle Druck- und Scangeräte wird eine tägliche Nutzung von 0,1 h bzw. 2,4 min angenommen, die sich in der Realität als längere Nutzung an einzelnen Tagen darstellen wird.

9.5.4 Leistungsaufnahme

Die US Energy Star-Datenbank zeigt, dass aktuelle Energy Star-zertifizierte Produkte bei 20 W im aktiven Betrieb aufnehmen. Gleichzeitig zeigt sich ein leichter Anstieg der Leistungsaufnahme in den letzten 5 Jahren durch wachsende Bildschirmdiagonalen (siehe Tabelle 9-13). In den USA hatten 2013 Energy Star-zertifizierte Monitore einen Marktanteil von 82 %.

Tabelle 9-13: US Energy Star Daten zu Monitoren Energy Star (2015e)⁴⁶

Jahr	Bildschirmdiagonale [Zoll]	On Mode-Leistungsaufnahme [W]	Sleep Mode-Leistungsaufnahme [W]	Off Mode-Leistungsaufnahme [W]
2011	22,0	18,3	0,3	0,2
2012	22,3	18,8	0,3	0,2
2013	22,2	18,2	0,3	0,2
2014	22,9	19,6	0,3	0,2
2015	23,0	19,8	0,3	0,2
gesamt	22,5	18,8	0,3	0,2

Für die Basisprognose der Monitore werden Werte etwas oberhalb des Energy Star angenommen. Bis zum Verkaufsjahr 2000 wird eine Leistungsaufnahme im aktiven Betrieb von 70 W angenommen. Diese sinkt bis zum Verkaufsjahr 2014 auf 25 W. Für den Standby-Betrieb wird bis zum Verkaufsjahr 2000 eine Leistungsaufnahme von 2,5 W angenommen, welche bis zum Verkaufsjahr 2013 auf 0,5 W sinkt.

Zahlen von StromverbrauchInfo (2015b) zeigen, dass die Leistungsaufnahme von Laserdruckern im Durchschnitt deutlich über 300 W liegt, bei Tintenstrahldruckern hingegen eher im Bereich von 20 W (siehe Abbildung 9-10).

⁴⁶ Eine Erläuterung der Energy Star-Betriebszustände findet sich im Anhang Kapitel 14.2.

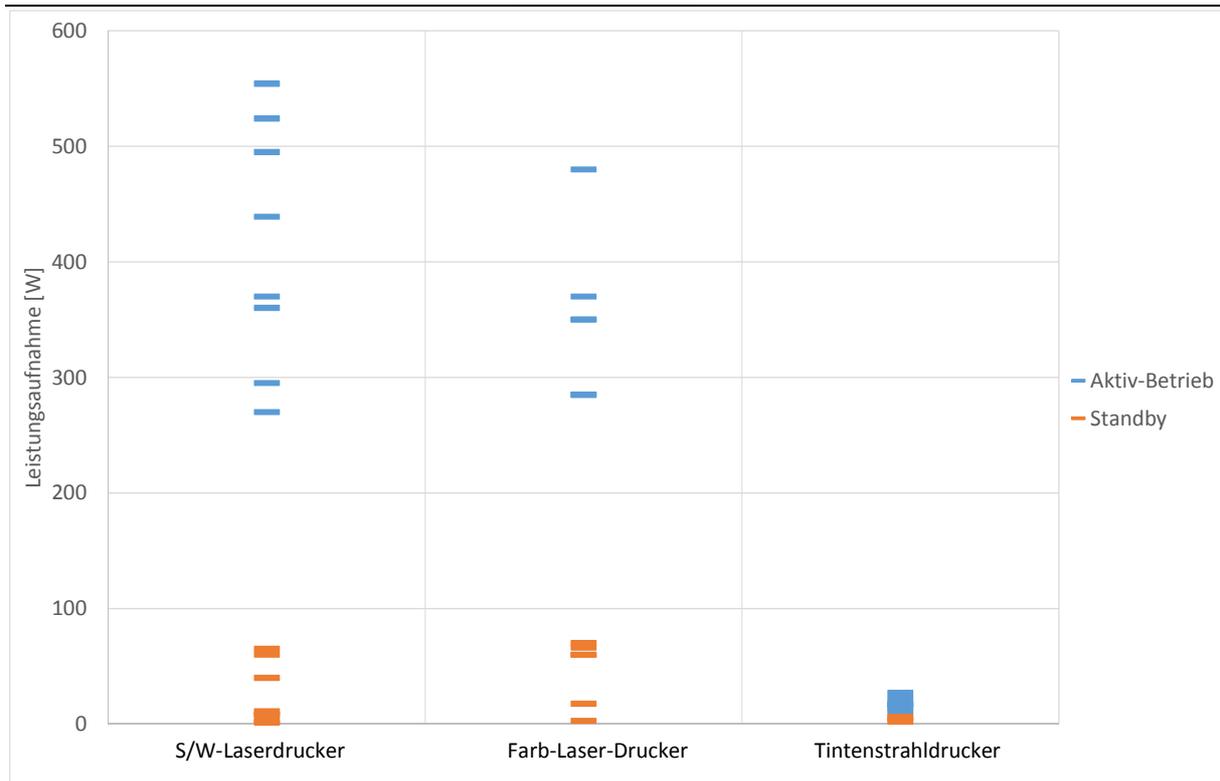


Abbildung 9-10: Leistungsaufnahme von Druckern nach StromverbrauchInfo (2015b)

Für Drucker, Scanner und Multifunktionsgeräte wird die gleiche Leistungsaufnahme im Bereitschaftsbetrieb angenommen: 3,5 W für Geräte bis zum Verkaufsjahr 2005, anschließend eine Abnahme bis zum Verkaufsjahr 2020 auf 0,5 W. Für Faxgeräte wird bis zum Jahr 2004 eine Leistungsaufnahme im Bereitschaftsbetrieb von 5 W angenommen, anschließend sank diese auf 3 W.

Im aktiven Betrieb werden folgende Leistungsaufnahmen angenommen:

- Drucker: 200 W
- Scanner: 30 W
- Multifunktionsgeräte: 40 W
- Faxgeräte: 500 W

9.5.5 Energiebedarf

Der Gesamtenergiebedarf der Produktkategorie Computerperipherie sinkt von 2010 bis 2020 auf etwa ein Drittel. Dies wird zum einen durch den sinkenden Bestand, aber auch durch die die sinkende Leistungsaufnahme (besonders im Standby) getrieben. Das zeigt sich auch bei den Multifunktionsgeräten, die als einzige Produktgruppe im Bestand wachsen, aber durch die sinkende Leistungsaufnahme trotzdem insgesamt einen geringeren Energiebedarf haben.

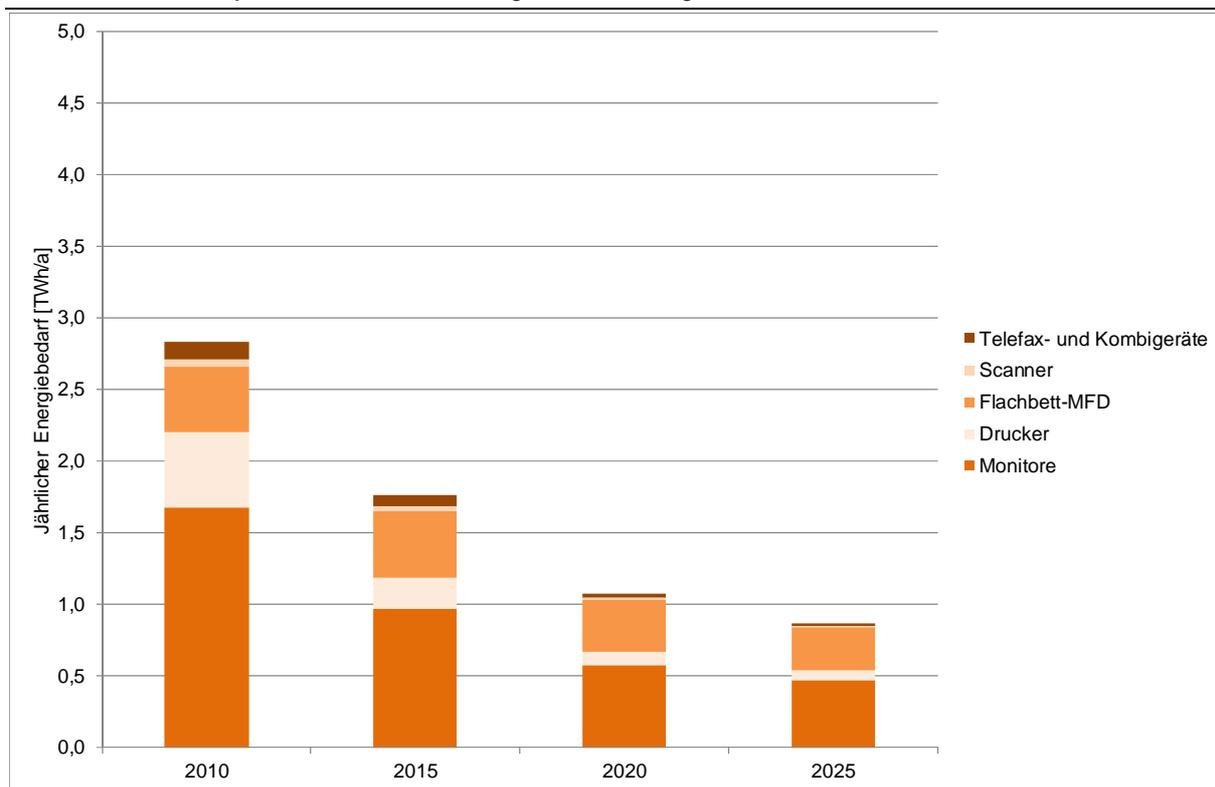


Abbildung 9-11: Energiebedarf der Produktkategorie Computerperipherie 2010 – 2025 (Basisprognose)

9.6 Telekommunikation

Die Produktkategorie Telekommunikation in Haushalten umfasst die Produkte Festnetztelefon (DECT-Telefon), Mobiltelefone und Smartphones, sowie Router.

Tabelle 9-14: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Telekommunikation (Basisprognose)

Telekommunikation	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
Smartphones	11,2		59,3		64,8		67,1	
Mobiltelefone	74,9		19,0		5,6		3,5	
DECT-Telefon / Sonstige	49,3		44,2		35,4		30,6	
Router	26,2		30,6		35,6		40,7	
Telekommunikation Gesamt	161,5		153,2		141,4		141,9	
Nutzungsmuster 365 Tage	Aktiv [h]	Standby/Aus [h]						
	Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag	
Smartphones	1,0		1,0		1,0		1	
Mobiltelefone	0,2		0,2		0,2		0,2	
DECT-Telefon / Sonstige	0,3	23,7	0,3	23,8	0,2	23,8	0,2	23,8
Router	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0

Telekommunikation	2010		2015		2020		2025	
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
	Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]	
Smartphones	5,1		6,8		8,0		8,5	
Mobiltelefone	4,9		6,0		7,8		8,4	
DECT-Telefon / Sonstige	4,1	2,6	3,3	2,3	2,7	2,0	2,4	1,8
Router	10,0		8,5		7,0		5,0	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Smartphones	1,9	21	2,5	147	2,9	188	3,1	209
Mobiltelefone	0,4	27	0,4	8	0,6	3,2	0,6	2,2
DECT-Telefon / Sonstige	23	1.123	20	894	18	623	15	467
Router	88	2.295	74	2.277	61	2.186	44	1.784
Telekommunikation Gesamt		3.465		3.327		3.001		2.462

9.6.1 Trends

Mit dem Verkaufsstart des ersten iPhones im Jahr 2007 wandelte sich der Markt der Mobiltelefone innerhalb kürzester Zeit weg vom klassischen „Handy“ hin zum Smartphone. Begünstigt durch steigende Bandbreiten und Verfügbarkeit der Mobilfunknetze können die umfangreichen Funktionen von Smartphones auch mobil genutzt werden. Klassische Mobiltelefone gehen seitdem im Bestand stark zurück und werden in Zukunft nur noch einen Nischenplatz am Markt haben.

Festnetztelefone haben sich technisch in den letzten Jahren kaum verändert. Allerdings ist seit längerem ein Rückgang im Bestand zu beobachten, da immer häufiger Mobiltelefone auch im häuslichen Umfeld genutzt werden.

Bei den Routern werden seit 2010 kaum noch neue DSL-Router eingesetzt, stattdessen verfügen Neugeräte vor allem über Glasfaser- und Kabeltechnologien (BWA, Festverbindungen, FTTB, FTTH, HFC-Kabelnetze, Powerline und Satellit). Aktuelle Router verfügen teilweise über Low Power Modes, die über Zeiteinstellung (z.B. nachts) aktiviert werden können. Diese werden jedoch häufig nicht genutzt.

Zudem besteht der Trend, Router des Heimbereiches als WLAN-Hotspot für Kunden des gleichen Netzproviders freizuschalten.⁴⁷ Solch eine Verwendung der WLAN-Router schließt Power Management mit vorübergehendem Abschalten der WLAN-Funktion aus.

9.6.2 Bestand

Mit der Einführung der Smartphones im Jahr 2007, begannen die Smartphones die klassischen Mobiltelefone im Bestand zu verdrängen. Der Bestand der Smartphones wächst weiterhin, hat sich aber im Gegensatz zu dem exponentiellen Wachstum in den ersten Jahren

⁴⁷ Vodafone meldet über 1.000.000 Hotspots in Deutschland. Die Mehrheit davon sind sogenannte „Homespots“, also freigeschaltete Heimrouter. (Vodafone 2015)
Im Juni 2015 listete allein Kabel Deutschland 750.000 Homespots. online: <http://www.kabeldeutschland.de/wlan-hotspots/> (abgerufen 29.06.2015)

abgeschwächt. Die klassischen Mobiltelefone verlieren deutlich im Marktanteil, werden aber als Nischenprodukte weiterhin Bestand haben und nicht vollständig vom Markt verschwinden.

Die Bestandszahlen werden basierend auf CEMIX (2015)-Verkaufszahlen (siehe Tabelle 14-1) berechnet. Folgende Nutzungsdauern werden angenommen:

- Smartphones: 2,5 Jahre
- Mobiltelefone: 4 Jahre
- DECT-Telefone/Sonstige: 8 Jahre

Für Router sind keine Absatzzahlen verfügbar. Der Bestand wird daher (anders als für andere Produktgruppen) auf Basis von Daten der Bundesnetzagentur (2014) als Bestandsmodell (anstelle eines Absatzmodells) extrapoliert (Vgl. Abbildung 9-12). Dabei bleibt der Bestand an DSL-Routern weitgehend konstant, während Glasfaser- und Kabelrouter für Neuanschlüsse verwendet werden und sich so mehr und mehr etablieren.

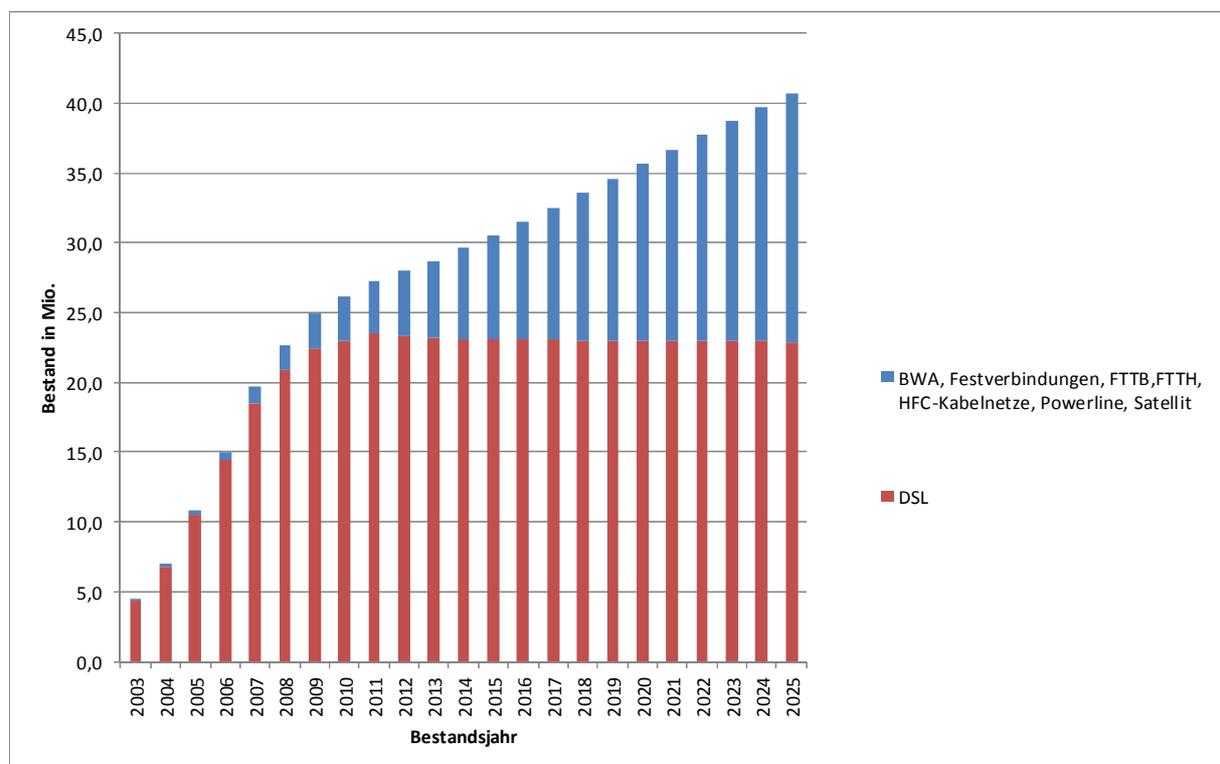


Abbildung 9-12: Bestandsentwicklung von Routern in Haushalten nach Technologie (Prognose ab 2014)

9.6.3 Nutzungsmuster

Für DECT-Telefone wird eine tägliche Nutzungszeit, in der telefoniert wird, von 12 min bzw. 0,2 h angenommen. Die restliche Zeit befindet sich das Telefon im Standby.

Für Mobiltelefone und Smartphones, die im Normalfall durchgehend angeschaltet sind, wird keine tägliche Nutzung, sondern eine Anzahl von Ladezyklen definiert um die Nutzung abzubilden. Für Mobiltelefone wird ein Ladezyklus alle 5 Tage bzw. 0,2 Ladezyklen pro Tag angenommen. Für Smartphones, mit ihrer intensiveren Nutzung und höherem Energiebedarf durch mehr Funktionalität und großem Bildschirm, wird ein Ladezyklus pro Tag angenommen. Die steigende Akkukapazität und Optimierung von Smartphones wird von einem steigenden Energiebedarf durch leistungsfähigere Geräte und umfangreichere Funktionen ausgeglichen, sodass sich die Anzahl der Ladezyklen im Mittel nicht verändert.

Für Router wird von einem Dauerbetrieb ausgegangen (24 h/Tag, 365 Tage/Jahr).

9.6.4 Leistungsaufnahme

Für DECT-Telefone wird bis zum Verkaufsjahr 2001 eine Leistungsaufnahme von 5 W im aktiven Betrieb angenommen, die bis zum Verkaufsjahr 2015 auf 2,5 W sinkt. Für den Bereitschaftsbetrieb wird bis zum Verkaufsjahr 2000 eine Leistungsaufnahme von 3 W angenommen, die bis 2015 auf 2 W sinkt. Die Vergabekriterien vom Blauen Engel für DECT-Telefone zeigen, dass deutlich geringere Werte möglich sind. (Blauer Engel 2014)

Smartphones und Mobiltelefone werden dauerhaft im Akkubetrieb verwendet. Daher wird der Gesamtenergiebedarf über den Energiebedarf pro Ladezyklus bestimmt (Vgl. Kapitel 9.1.2). Für Geräte bis zum Verkaufsjahr 2008 wird eine Leistungsaufnahme von 5,2 Wh pro Ladezyklus (inkl. Verlusten des Ladegeräts) angenommen. Diese wird bis zum Jahr 2025 auf 8,6 Wh steigen.

Für Router wird im Bestand 2003 eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 12 W angenommen, die sich linear bis 5 W in 2025 verbessert.

Es gibt ebenfalls vom US Energy Star Kriterien zu Routern (Energy Star 2015f), allerdings listet die dazugehörige Produktliste lediglich sieben Router, die eine Leistungsaufnahme im Bereitschaftsbetrieb (Idle) zwischen 2,4 und 9,2 W haben (siehe Abbildung 9-13).

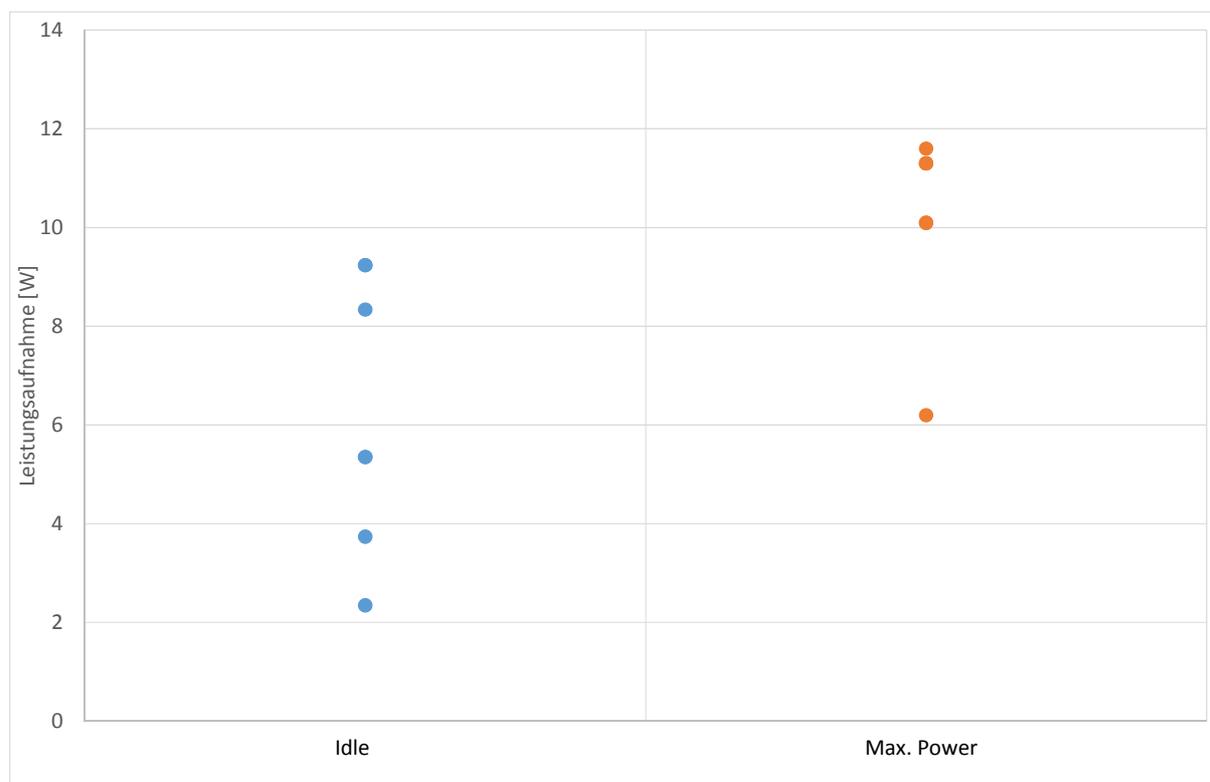


Abbildung 9-13: Leistungsaufnahme von Routern nach Energy Star Energy Star (2015g)⁴⁸

9.6.5 Energiebedarf

Insgesamt sinkt der Energiebedarf der Produktkategorie Telekommunikation, was durch den sinkenden Energiebedarf der DECT-Telefone (geringere Leistungsaufnahme bei kleinerem Bestand) und die technische Optimierung der Router getrieben wird. Gedämpft wird dieser Trend durch den steigenden Energiebedarf der Smartphones, welche durch den stark wachsenden Bestand, aber auch die größeren Akkukapazitäten verursacht wird.

⁴⁸ Eine Erläuterung der Energy Star-Betriebszustände findet sich im Anhang Kapitel 14.2.

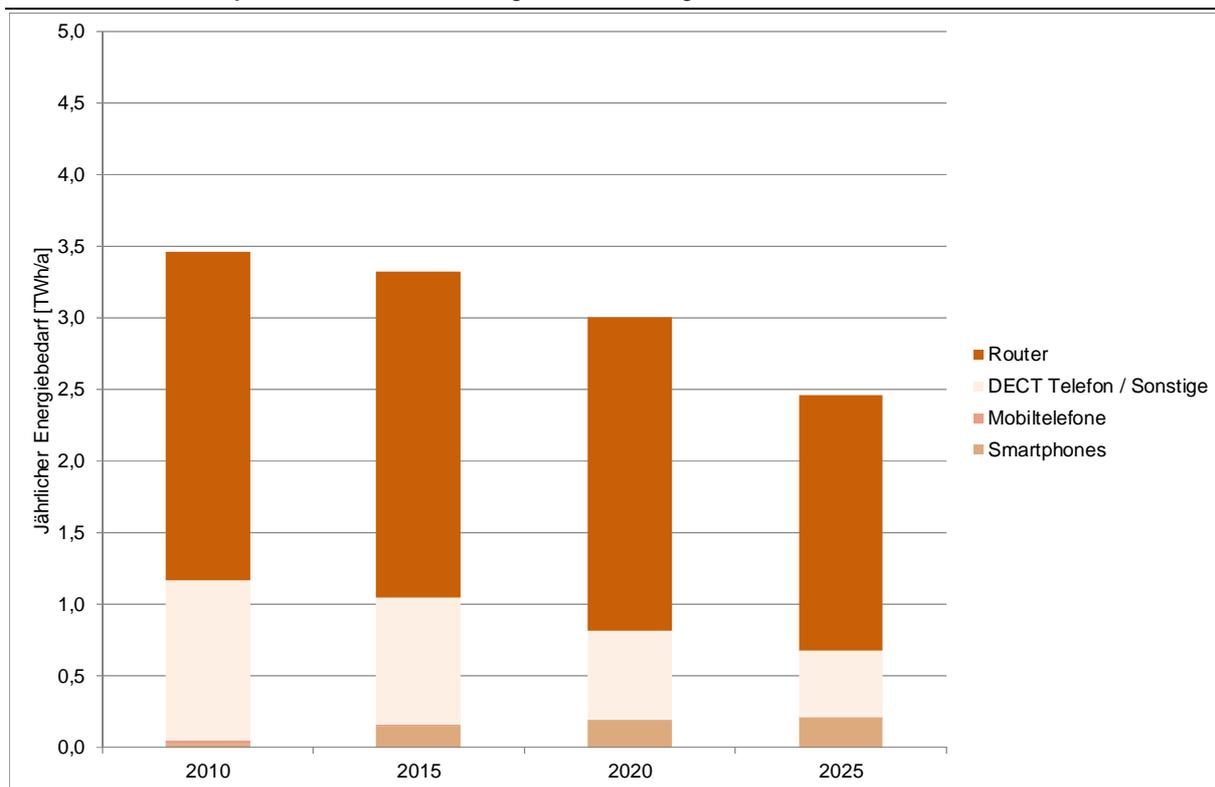


Abbildung 9-14: Energiebedarf der Produktkategorie Telekommunikation 2010 – 2025 (Basisprognose)

9.7 Audio

Die Produktkategorie Audio umfasst die Gerätetypen MP3-Player, Lautsprecherboxen, Radio-Rekorder, Docking-Lautsprecher und HiFi-Anlagen.

Tabelle 9-15: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Audio (Basisprognose)

Audio	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
MP3-Player	34,4		15,0		6,6		5,6	
Lautsprecherboxen	8,5		9,1		11,0		11,2	
Radio Recorder	15,0		13,0		11,8		11,1	
Docking Lautsprecher	2,2		8,1		17,6		22,4	
HiFi-Anlage	23,7		20,8		19,1		17,4	
Audio Gesamt	83,8		66,1		66,2		67,8	
Nutzungsmuster 365 Tage	Aktiv	Standby/ Aus	Aktiv	Standby/ Aus	Aktiv	Standby/ Aus	Aktiv	Standby/ Aus
	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]
	Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag	
MP3-Player	0,25		0,25		0,25		0,25	
Lautsprecherboxen	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0
Radio Recorder	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0	4,0	20,0
Docking Lautsprecher	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0
HiFi-Anlage	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0	2,0	22,0

Audio	2010		2015		2020		2025	
	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
	Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]	
MP3-Player	2,0		2,0		2,0		2,0	
Lautsprecherboxen	15,0	1,0	11,8	0,7	10,2	0,5	10,0	0,4
Radio Recorder	15,0	3,0	13,3	1,8	10,9	1,1	8,9	0,7
Docking Lautsprecher	4,5	1,0	3,2	0,6	2,9	0,4	2,6	0,3
HiFi-Anlage	25,1	6,2	22,0	2,7	20,2	1,2	17,1	0,7
Jahresenergiebedarf	Pro Pro- dukt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
MP3-Player	0,2	6	0,2	3	0,2	1,2	0,2	1,0
Lautsprecherboxen	19	161	14	128	12	128	11	119
Radio Recorder	44	661	33	427	24	282	18	201
Docking Lautsprecher	11	25	7	57	6	99	5	102
HiFi-Anlage	68	1.609	38	789	24	458	18	317
Audio Gesamt		2.354		1.310		951,8		739,9

9.7.1 Trends

Neue Gerätetypen und Breitband-Internetanschlüsse haben in den letzten Jahren auch den Bereich Audio-Geräte verändert.

Mobile MP3-Player werden mit Hilfe von Docking-Lautsprechern häufig auch zu Hause genutzt. Ebenso wird der PC – und zunehmend auch Fernsehgeräte – mit angeschlossenen Lautsprecherboxen zum Abspielen von digitalen (lokalen) Audiodateien genutzt.

Neben dem Abspielen von lokalen Audiodateien, setzt sich auch das Streamen von Audiodateien als Internetradio oder Music-on-Demand immer mehr durch und ersetzt das Abspielen von CDs.

Mit dem Aufkommen der Smartphones wird der klassische MP3-Player in der Nutzung häufig ersetzt, da das Mitführen eines konvergenten Gerätes (Smartphone) bequemer ist als das mehrerer Einzelgeräte. Häufig verbleibt der MP3-Player jedoch im Bestand für gelegentliche Nutzung (z.B. Joggen).

9.7.2 Bestand

Lautsprecherboxen für PCs (und Fernseher) sowie Docking-Lautsprecher nehmen im Bestand durch die zunehmende Nutzung digitaler Abspielgeräte zu. Klassische Radio-Rekorder und HiFi-Anlagen nehmen gleichzeitig leicht ab.

Eine starke Abnahme wird beim Bestand von MP3-Playern prognostiziert, da diese zunehmend von integrierten Audioplayern in Mobiltelefonen und Smartphones substituiert werden. Dies führte zu einem Einbruch der Verkaufszahlen von MP3-Playern (siehe Abbildung 9-15). Zwar ist davon auszugehen, dass sich die Verweildauer der MP3-Playern in den Haushalten dadurch erhöht hat und viele Geräte noch in den Haushalten vorhanden sind, in der Nutzung befinden sich diese Geräte aber häufig nicht mehr und werden daher im Rahmen dieser Studie nicht zum aktiven Bestand gerechnet (siehe dazu die Beschreibung der Modellbildung im Abschnitt 9.1.1).

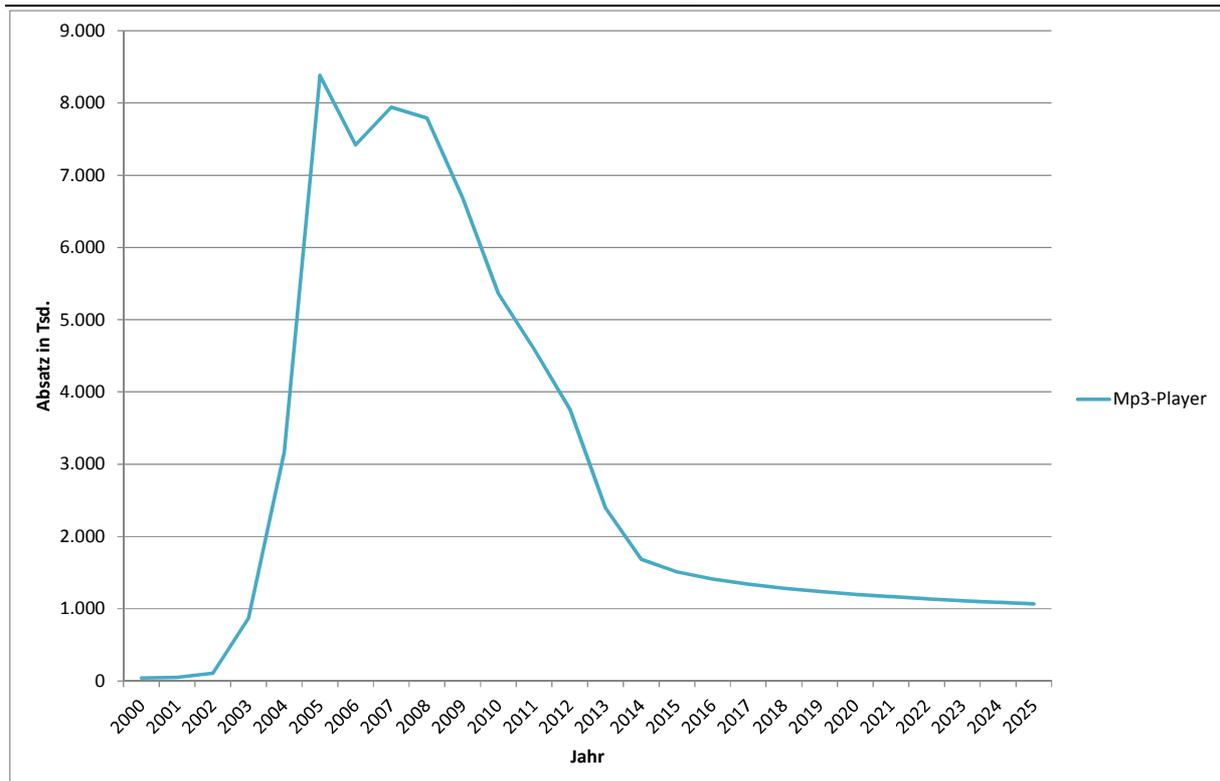


Abbildung 9-15: Absatzentwicklung Mp3-Player (CEMIX Datenbasis) mit Prognose ab 2015

Die Bestandszahlen werden basierend auf CEMIX (2015)-Verkaufszahlen (siehe Tabelle 14-1) berechnet. Folgende Nutzungsdauern werden angenommen:

- MP3-Player: 5 Jahre
- Lautsprecherboxen: 10 Jahre
- Radio-Rekorder: 8 Jahre
- Docking-Lautsprecher: 8 Jahre
- HiFi-Anlagen: 8 Jahre

9.7.3 Nutzungsmuster

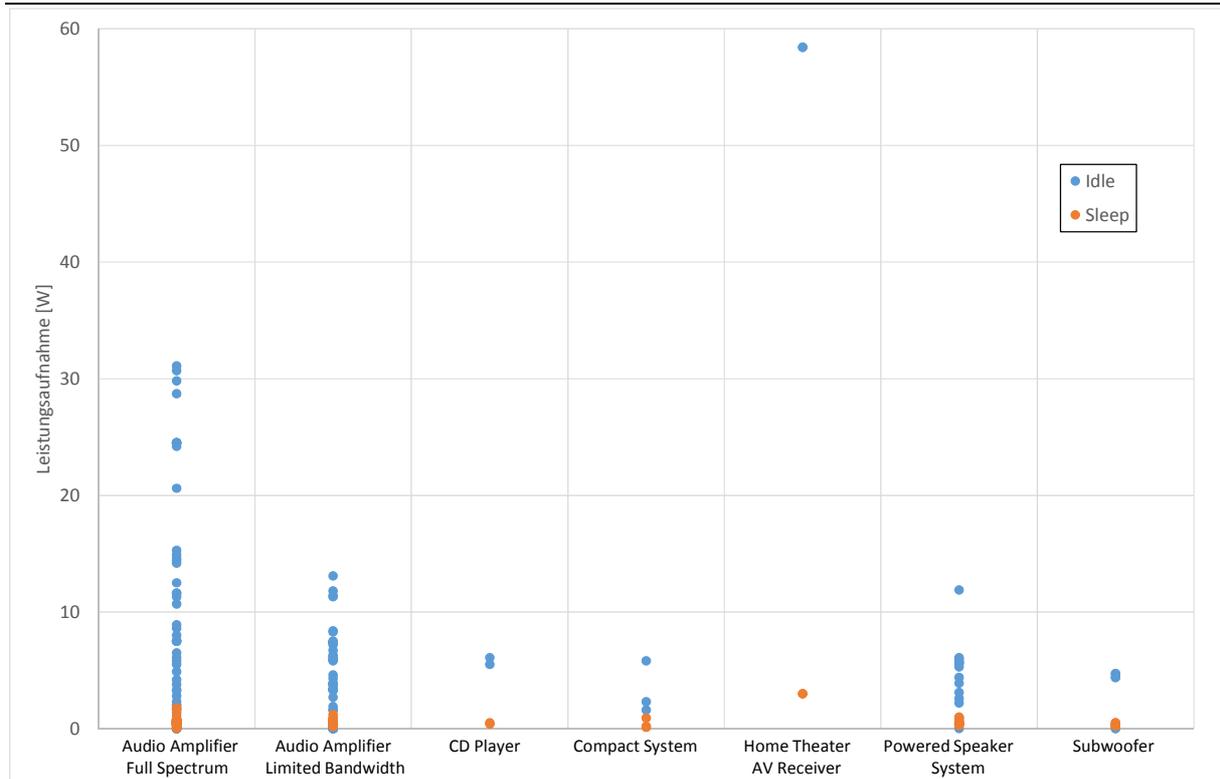
Bei den stationären Audio-Geräten (Lautsprecherboxen, Docking-Lautsprecher und HiFi-Anlagen) wird mit Ausnahme von Radio-Rekordern von einer täglichen Nutzung von 2 h ausgegangen. Nach den Ergebnissen der Arbeitsgemeinschaft Media Analyse nutzen deutsche Radiohörer täglich 242 Minuten (~ 4 h) Radioempfang (MA Radio I 2015). Die wichtigste Empfangsart sind dabei Geräteantennen, die zu einem großen Anteil Radio-Rekordern zugeordnet werden können (Statista 2015). Es wird daher eine tägliche Nutzung von 4 h angenommen.

Bei MP3-Playern wird von 0,25 Ladezyklen pro Tag, also einem Ladevorgang alle 4 Tage, ausgegangen.

9.7.4 Leistungsaufnahme

MP3-Player werden dauerhaft im Akkubetrieb verwendet. Daher wird der Gesamtenergiebedarf über den Energiebedarf pro Ladezyklus bestimmt. Es wird eine durchschnittliche Akkukapazität von 2 Wh angenommen.

Der US Energy Star hat Kriterien für Audio-Systeme. Die Leistungsaufnahme zertifizierter Geräte ist in Abbildung 9-16 dargestellt.

Abbildung 9-16: Leistungsaufnahme von Audio-Systemen nach Energy Star (2015h)⁴⁹

Für Lautsprecherboxen wird bis zum Verkaufsjahr 1999 eine Leistungsaufnahme von 20 W im aktiven betrieb und 1,5 W Standby-Betrieb angenommen. Diese sinkt bis zum Jahr 2010 auf 10 W im aktiven und 0,5 W im Standby-Betrieb.

Für Radio-Rekorder wird bis zum Verkaufsjahr 2009 eine Leistungsaufnahme von 15 W angenommen, die bis 2016 auf 10 W sinkt. Für den Standby-Betrieb wird eine Leistungsaufnahme von 3 W bis 2010 angenommen, die anschließend auf 1 W sinkt.

Für Docking-Lautsprecher wird bis zum Verkaufsjahr eine Leistungsaufnahme von 5 W im aktiven und 1 W im Standby-Betrieb angenommen. Diese sinkt anschließend auf 3 W bzw. 0,5 W.

Für HiFi-Anlagen wird bis zum Verkaufsjahr 1999 eine Leistungsaufnahme im aktiven Betrieb von 30 W angenommen, die bis 2010 auf 20 W sinkt. Für den Bereitschaftsbetrieb wird bis 1999 eine Leistungsaufnahme von 10 W angenommen, die bis 2012 auf 1 W sinkt.

9.7.5 Energiebedarf

Der Gesamtenergiebedarf der Produktkategorie Audio halbiert sich von 2010 bis 2020. Dies wird (bei moderatem Bestandsrückgang) vor allem getrieben durch die stark sinkende Leistungsaufnahme des Standby-Betriebs von HiFi-Anlagen. Die einzige Gruppe mit ansteigendem Energiebedarf sind die Docking-Lautsprecher bei denen sich der Bestand verzehnfacht, so dass der Energiebedarf trotz sinkender Leistungsaufnahme ansteigt.

⁴⁹ Eine Erläuterung der Energy Star-Betriebszustände findet sich im Anhang Kapitel 14.2.

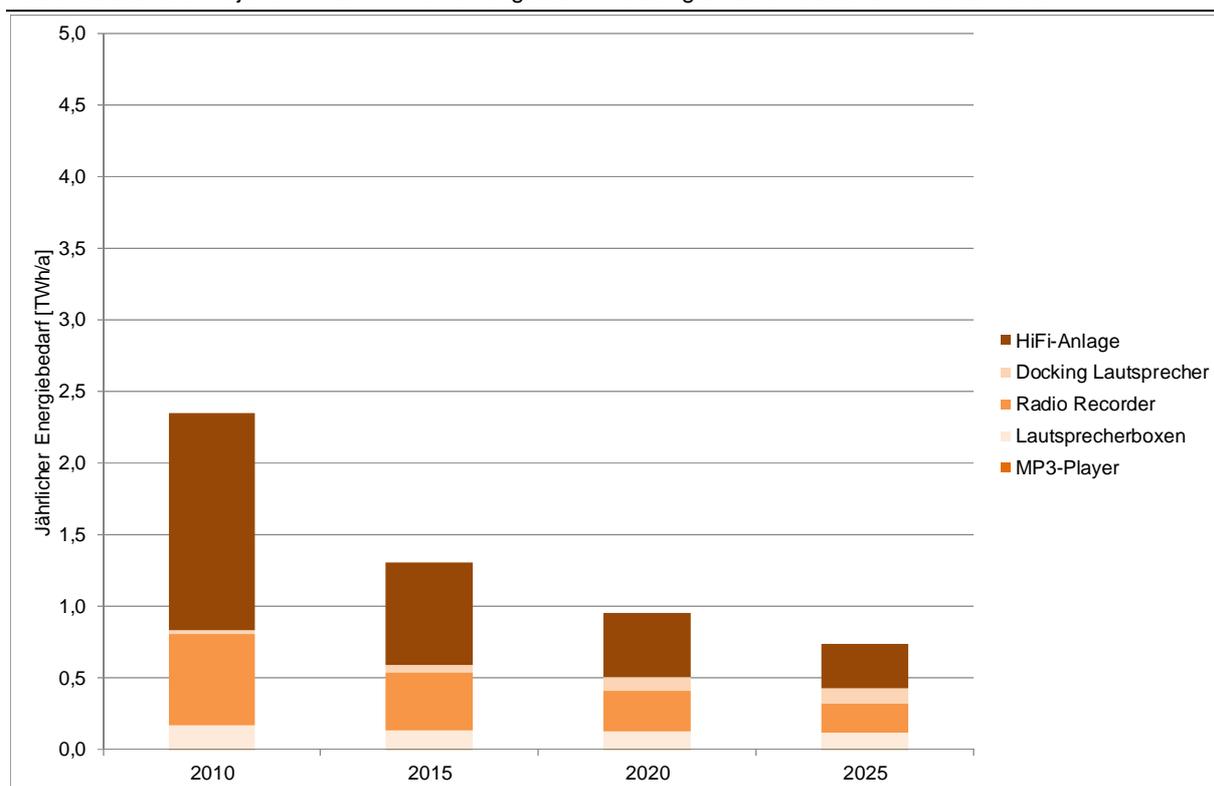


Abbildung 9-17: Energiebedarf der Produktkategorie Audio 2010 – 2025 (Basisprognose)

9.8 Kamera

Die Produktkategorie Kamera umfasst digitale Foto- und Filmkameras (Camcorder).

Tabelle 9-16: Bestand und Energiebedarf der Produktkategorie Kamera (Basisprognose)

Kamera	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]		[Mio. Stück]	
Digitalkameras	38,1		24,7		9,9		4,6	
Camcorder	4,5		4,1		4,0		4,1	
Kamera Gesamt	42,6		28,8		14,0		8,7	
Nutzungsmuster 365 Tage	Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag		Ladezyklen/Tag	
Digitalkameras	0,2		0,2		0,2		0,2	
Camcorder	0,1		0,1		0,1		0,1	
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]		Je Ladezyklus [Wh]	
Digitalkameras	4,9		6,0		7,7		8,4	
Camcorder	5,0		6,0		7,6		8,3	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]
Digitalkameras	0,4	14	0,4	11	0,6	6	0,6	3
Camcorder	0,2	1	0,2	1	0,3	1	0,3	1
Kamera Gesamt		14		12		7		4

9.8.1 Trends

Sowohl die Zahl von digitalen Kompaktkameras als auch deren Nutzung gehen durch die steigende Qualität der integrierten Kameras sowie der wachsenden integrierten (oder nachrüstbaren) Speicher in Mobiltelefonen und Smartphones stark zurück. Gleiches trifft, wenngleich abgeschwächt, auch auf digitale Camcorder zu, welche eher zum Nischenprodukt werden.

Gleichzeitig wächst der Markt für digitale Spiegelreflexkameras, so dass sich Nutzer zum gezielten Fotografieren eher für eine Spiegelreflexkamera entscheiden und für „Schnappschüsse“ vermehrt das Mobiltelefon nutzen. So zeigt ACTA (2014), dass die Kaufabsichten für Kameras mit auswechselbarem Objektiv höher sind als für klassische Kompaktkameras. Insgesamt sind die Kaufabsichten für Digitalkameras im niedrigen einstelligen Prozentbereich. (ACTA 2014)

9.8.2 Bestand

Die Bestandszahlen werden basierend auf CEMIX (2015)-Verkaufszahlen (siehe Tabelle 14-1) berechnet. Folgende Nutzungsdauern werden angenommen:

- Digitalkameras: 4,5 Jahre
- Camcorder: 6 Jahre

9.8.3 Nutzungsmuster

Digitalkameras und Camcorder werden dauerhaft im Akkubetrieb verwendet. Daher wird das Nutzungsmuster über die Ladezyklen abgebildet. Für Digitalkameras werden 0,2 Ladezyklen pro Tag bzw. ein Ladezyklus alle 5 Tage angenommen, für Camcorder 0,1 Ladezyklen pro Tag bzw. ein Ladezyklus alle 10 Tage:

9.8.4 Leistungsaufnahme

Digitalkameras und Camcorder werden dauerhaft im Akkubetrieb verwendet. Daher wird der Gesamtenergiebedarf über den Energiebedarf pro Ladezyklus bestimmt (Vgl. Kapitel 9.1.2). Für Geräte, die bis 2008 verkauft wurden, wird eine Leistungsaufnahme von 5,2 Wh pro Ladezyklus (inkl. Verlusten des Ladegeräts) angenommen. Diese wird bis zum Jahr 2025 auf 8,6 Wh steigen.

9.8.5 Energiebedarf

Der Energiebedarf der Produktkategorie Kamera sinkt durch den abnehmenden Bestand. Insgesamt hat die Produktkategorie nur einen minimalen Anteil am Gesamt-IKT-Energiebedarf der Haushalte.

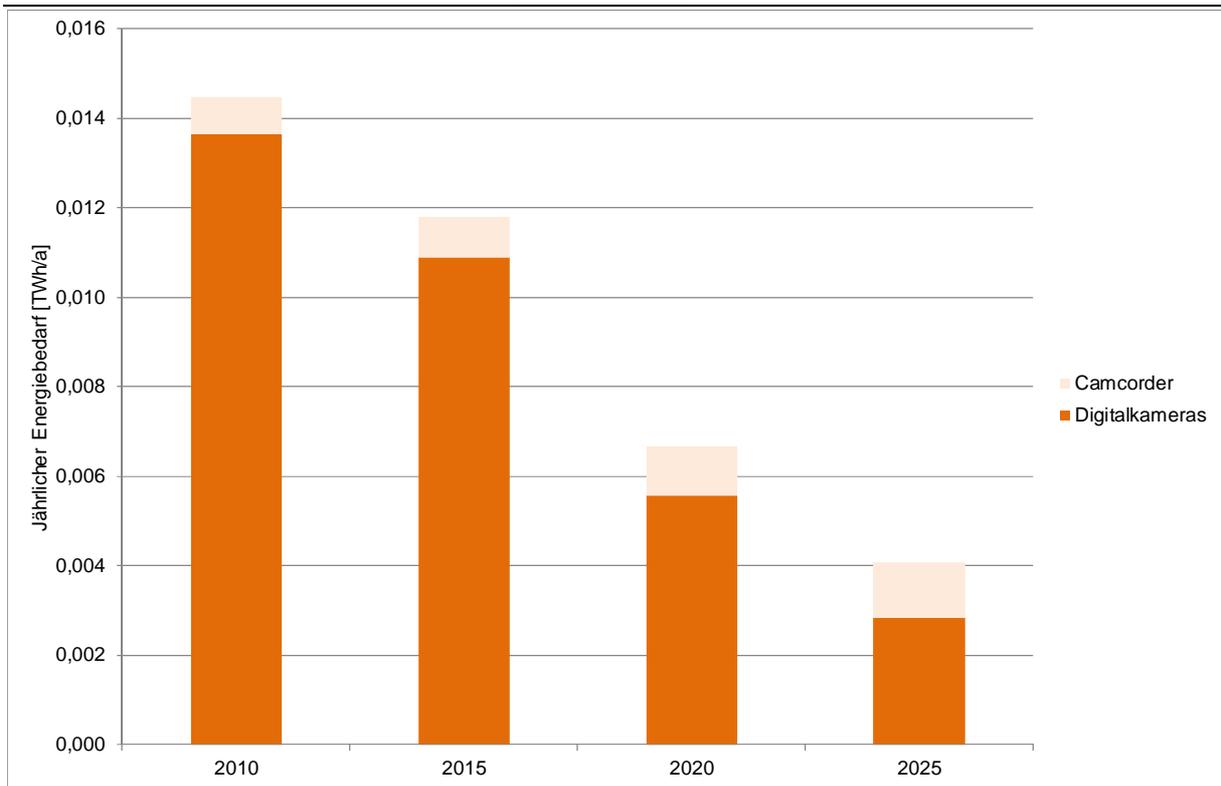


Abbildung 9-18: Energiebedarf der Produktkategorie Kamera 2010 – 2025 (Basisprognose)

10 Öffentlichkeit im Detail

Die Nutzung von IKT-Geräten beschränkt sich nicht nur auf die klassischen IKT-Endnutzengeräte in Büros und Haushalten, wie Computer und Mobiltelefone, sondern umfasst eine Vielzahl weiterer technischer Geräte, die heutzutage vernetzt sind und damit zur IKT gerechnet werden können. Dabei nehmen die Typen an Geräten, die vernetzt sind, stetig zu. Kassensysteme sind mit dem Computer verbunden um automatische Preisupdates zu erhalten. Ampelsysteme und Automaten sind vernetzt. Werbeplakate werden durch digitale Displays ersetzt.

Diese Vernetzung und Digitalisierung umfasst eine Vielzahl von Systemen und Produkttypen. Der vorliegende Bericht fokussiert im Bereich Öffentlichkeit auf folgende Systeme:

- Kassensysteme
- Bankautomaten
- Fahrkartenautomaten
- öffentliche Hotspots
- Werbeanzeigen und Displays
- Mautsystem

Da die Datenlage im Bereich Öffentlichkeit sehr begrenzt ist, wird kein Absatzmodell sondern ein Bestandsmodell verwendet, d.h. sowohl der Bestand als auch die Leistungsaufnahme werden für die Berichtsjahre 2010, 2015, 2020 und 2025 abgeschätzt und nicht basierend auf jährlichen Daten ermittelt.

Im Vergleich zu den anderen Einsatzgebieten von IKT (Telekommunikation, Rechenzentren, Arbeitsplätze und Haushalte) hat der Energiebedarf der IKT in der Öffentlichkeit keinen signifikanten Einfluss mit insgesamt etwa 0,5 TWh/a. Von 2010 bis 2025 ist dabei ein leichter Anstieg zu erwarten, der durch den starken Anstieg im Bereich der digitalen Anzeigen getrieben wird. Die anderen Kategorien des Bereichs Öffentlichkeit sinken oder stagnieren.

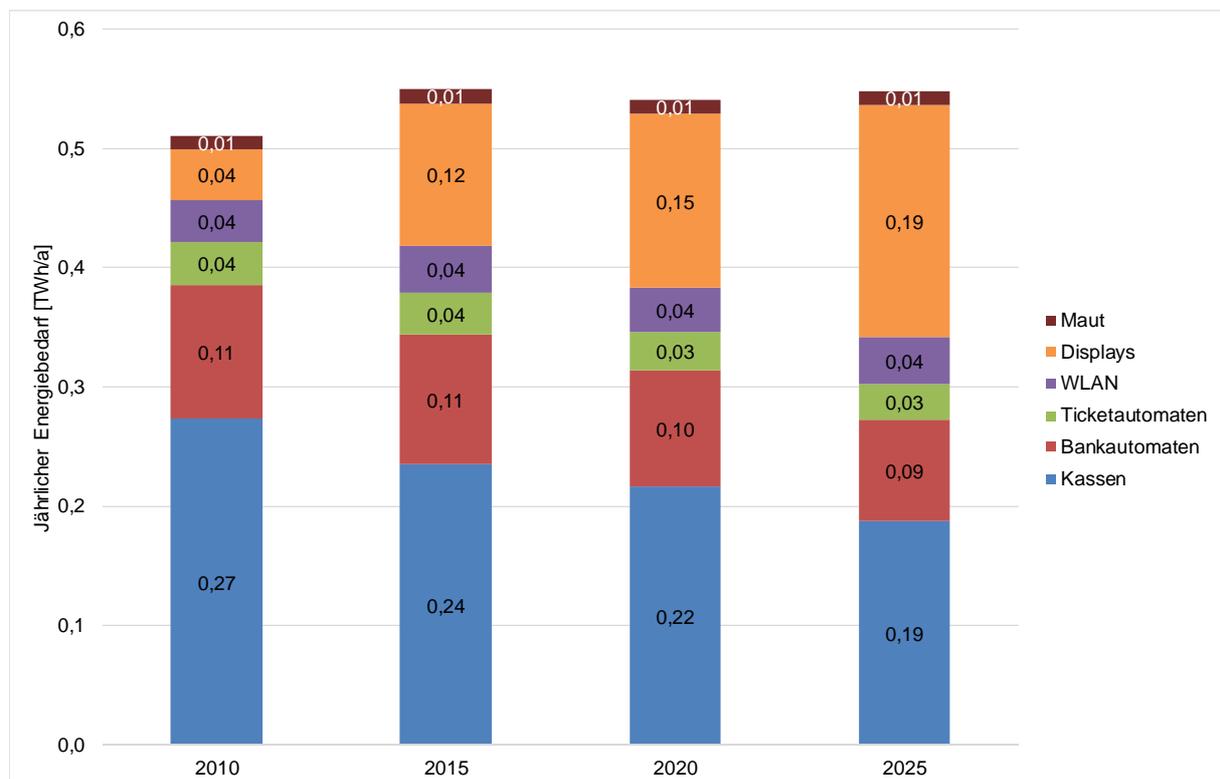


Abbildung 10-1: Energiebedarf der IKT im Bereich Öffentlichkeit 2010 – 2025 (Basisprognose)

10.1 Kassensysteme

Es werden Kassensysteme im Einzelhandel, Lebensmittelgeschäften, Tankstellen und Restaurants betrachtet.

Tabelle 10-1: Bestand und Energiebedarf Kassensysteme 2010 – 2025 (Basisprognose)

Kassensysteme	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]	
Einzelhandel	782		836		900		925	
Lebensmittel	143		122		122		122	
Tankstellen	17		17		17		17	
Restaurants	79		74		72		70	
Kassen Gesamt	1.021		1.049		1.111		1.134	
Nutzungsmuster	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]
Kassensysteme	10,7	13,3	10,7	13,3	10,7	13,3	10,7	13,3
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
Kassensysteme	50,0	15,0	45,0	10,0	40,0	8,0	35,0	6,0
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Einzelhandel	268	209	224	187	195	175	166	153
Lebensmittel	268	38	224	27	195	24	166	20
Tankstellen	268	5	224	4	195	3	166	3
Restaurants	268	21	224	17	195	14	166	12
Kassen Gesamt		273		235		217		188

10.1.1 Trends

Heutige Kassensysteme sind vernetzt, um automatisch Updates zu Preisen und Produkten zu erhalten. Bei Kartenzahlung besteht zudem ein Anschluss an das Telekommunikationsnetz. Neuere Trends für Kassensysteme sind:

- Kartenzahlung ist in immer mehr Geschäften möglich, vermehrt auch in kleinen Geschäften und mobil (z.B. auf Märkten)
- Trends zeigen mehr Kassengeräte pro Geschäft⁵⁰
- Mobile Bezahlsysteme werden stärker genutzt.⁵¹
- Self-Checkout-Kassen⁵²

Hervorzuheben bei diesen Trend sind die mobilen Bezahlsysteme (siehe dazu auch Kapitel 3.2). Besonders dominant ist dabei die NFC-Technologie: Near Field Communication, also berührungsloses Bezahlen z.B. mit dem Mobiltelefon. Laut der Bitkom sind zurzeit (Stand

⁵⁰ Untersuchungen und Prognosen vom EHI Retail Institute

⁵¹ Untersuchungen und Prognosen vom EHI Retail Institute und ABI Research

⁵² Untersuchungen und Prognosen vom EHI Retail Institute

Juni 2015) etwa 8 % aller Kassenterminals mit NFC-Technologie ausgestattet (Bitkom 2015a), aber bereits etwa 50 % aller neu ausgelieferten Terminals (Bitkom 2013).

10.1.2 Bestand

Statistiken zeigen, dass die Zahl der Kassen in den letzten Jahren stetig zugenommen hat. 2013 waren es im Einzelhandel insgesamt nach dem EHI Retail Institut 2,13 Kassen je Geschäft, in Lebensmittelgeschäften bereits 3,2 Kassen je Geschäft. Es wird angenommen, dass dieser Trend anhält.

Für Tankstellen und Restaurants liegen keine dezidierten Statistiken zur Kassenanzahl je Filiale vor. Es wurden folgende Annahmen getroffen:

- Tankstellen: 1,2 Kassen je Filiale
- Restaurants: 1 Kasse je Filiale

Gleichzeitig zeigt sich auch, dass die Zahl der Filialen in allen Bereichen (Einzelhandel, Tankstellen (ADAC 2015), Lebensmittel (Nielsen 2014), Restaurants (Destatis 2013)) leicht rückläufig ist. Der so errechnete Bestand beträgt im Jahr 2015 etwa 1 Mio. Kassenterminals (siehe Tabelle 10-1).

Zahlen der Bitkom gehen im Zusammenhang mit der Verbreitung von NFC-Technologie von einem geringeren Gesamtbestand von etwa 750.000 Kassenterminals aus. (Bitkom 2015a)

10.1.3 Nutzungsmuster

Die Nutzungsdauern der Kassensysteme sind durch die Öffnungszeiten der Geschäfte bedingt und unterscheiden sich sowohl zwischen den Branchen als auch regional stark. Während Supermärkte im Innenstadtbereich teilweise 15 h (7 bis 22 Uhr) an 6 Tagen die Woche geöffnet sind, sind kleine Geschäfte im ländlichen Bereich oft nur 8 h pro Tag an 5 Tagen die Woche geöffnet. Tankstellen haben häufig rund um die Uhr geöffnet. Restaurantöffnungszeiten unterscheiden sich je nach Zielgruppe stark.

Vereinfacht wird für alle Kassensysteme eine Nutzung von 10 Stunden an 6 Tagen pro Woche (312 Tage/Jahr) angenommen.

10.1.4 Leistungsaufnahme

Auch die Leistungsaufnahme von Kassen unterscheidet sich je nach verwendetem System stark. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme mit und ohne (Touch-)Display und kann laut Datenblättern zwischen 25 und 90 W betragen und eine relativ hohe Standby-Leistungsaufnahme von ca. 10 W haben⁵³.

10.1.5 Energiebedarf

Basierend auf den erläuterten Annahmen ergibt sich für Kassensysteme in Deutschland ein Energiebedarf von 270 GWh/a im Jahr 2010. Es wird erwartet, dass dieser bis 2025 auf 190 GWh fällt (siehe Tabelle 10-1).

⁵³ Siehe z.B. <http://www.wigan-business-equipment.co.uk/registers/registers.htm>,
http://www.hadleyofficeproducts.com/ERA410_SS.pdf,
<http://www.cashregisterstore.com/pdf/ERA520.pdf> und http://www.wincor-nixdorf.com/internet/site_DE/DE/WincorNixdorf/Press/pressreleases/2013/REWE%20Box%20V.html (abgerufen 29.06.2015)

10.2 Bankautomaten

Der Bereich Bankautomaten deckt die Produkte Geldautomaten und Kontoauszugsdrucker ab.

Tabelle 10-2: Bestand und Energiebedarf von Bankautomaten 2010 – 2025 (Basisprognose)

Bankautomaten	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]	
Geldautomaten	56		56		56		55	
Kontoauszugsdrucker	60		57		56		53	
Bankautomaten Gesamt	117		113		112		108	
Nutzungsmuster	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]
Bankautomaten	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
Bankautomaten	110,0		110,0		100,0		90,0	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Geldautomaten	964	54	964	54	876	49	788	43
Kontoauszugsdrucker	964	58	964	55	876	49	788	42
Bankautomaten Gesamt		112		109		98		85

10.2.1 Trends

Bei Bankautomaten sind wenig technische Neuheiten in Zukunft zu erwarten.

Generelle Trends bei Banken sind die Abnahme von Filialen (und Filialbanken generell) durch verstärkte Nutzung von Onlinebanking und sogenannte Direktbanken (Konto 2015). Zudem werden einige Filialen durch Selbstbedienungsterminals ersetzt. (Bankenverband 2014)

Überlagert wird dies vom Trend, dass immer weniger Bezahlvorgänge mit Bargeld sondern mit Kartenzahlung abgewickelt werden. Dies wird von Banken zum Teil forciert und kann zukünftig in einer sinkenden Zahl von Bankautomaten resultieren.

10.2.2 Bestand

Die Zahl der Geldautomaten ist laut der Bundesbank mit 56.000 Geräten relativ konstant (Deutsche Bundesbank 2014).

Für Kontoauszugsdrucker wird vereinfacht angenommen, dass jede Bankfiliale über 1,5 Kontoauszugsdrucker verfügt. Die Zahl der Bankfilialen ist stark rückläufig und betrug 2013 etwa 38.000 Filialen (Bankenverband (2014).

10.2.3 Nutzungsmuster

Es wird eine dauerhafte Nutzung über das ganze Jahr angenommen.

10.2.4 Leistungsaufnahme

Die Datenlage für die Leistungsaufnahme von Bankautomaten ist sehr dünn. Laut Wikipedia benötigen Geldautomaten mit Röhrenbildschirm etwa 120 – 150 W, Flachbildschirm 100 – 120 W. (Wikipedia 2015a) Es wird eine geringe technische Entwicklung und daher nur eine moderat sinkende durchschnittliche Leistungsaufnahme angenommen.

10.2.5 Energiebedarf

Aus den genannten Annahmen ergibt sich für das Jahr 2010 ein Energiebedarf von etwa 110 GWh, der bis 2025 auf etwa 85 GWh sinken wird (siehe Tabelle 10-2).

10.3 Ticketautomaten

Tabelle 10-3: Bestand und Energiebedarf von Fahrscheinautomaten 2010 – 2025 (Basisprognose)

Ticketautomaten	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]	
Ticketautomaten	28		28		28		28	
Nutzungsmuster	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]
Ticketautomaten	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
Ticketautomaten	145,0		145,0		130,0		120,0	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Ticketautomaten	1.270	36	1.270	36	1.139	32	1.051	29

10.3.1 Bestand

Die Deutsche Bahn verfügt in Deutschland über ca. 8.000 Ticketautomaten, deren Zahl bis mindestens 2020 konstant bleiben wird. (SZ 2012)

Hinzu kommen die Fahrkartenautomaten des öffentlichen Nahverkehrs. Diese Zahlen sind sehr schwer zu erfassen. Rechnet man stark vereinfacht die Anzahl der Fahrkartenautomaten in Berlin (Berliner Morgenpost 2013) auf alle 16 Bundesländer hoch, ergibt sich für den ÖPNV in Deutschland eine Zahl von etwa 20.000 Automaten.

10.3.2 Nutzungsmuster

Es wird eine dauerhafte Nutzung über das ganze Jahr angenommen.

10.3.3 Leistungsaufnahme

Für Ticketautomaten wird eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 145 W im Dauerbetrieb angenommen.

10.3.4 Energiebedarf

Es ergibt sich ein jährlicher Energiebedarf von 36 GWh in 2010 bzw. 29 GWh in 2025.

10.4 Hotspots

Tabelle 10-4: Bestand und Energiebedarf öffentlicher Hotspots 2010 – 2025 (Basisprognose)

WLAN	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]	
Hotspots	200		250		280		300	
Nutzungsmuster	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]
Hotspots	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
Hotspots	20,0		18,0		15,0		15,0	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Hotspots	175	35	158	39	131	37	131	39

10.4.1 Trends

Öffentliche Zugangspunkte für WLAN – sogenannte Hotspots – nehmen stark zu. Dabei werden verschiedene Systeme unterschieden: kostenlose bzw. kostenpflichtige Systeme, offene Hotspots ggü. registrierungspflichtigen Systemen, Hotspots von Geschäften und Cafés ggü. Hotspots von Telekomprovidern, etc. (Crn 2015)

10.4.2 Bestand

Laut dem eco-Verband gab es 2014 250.000 Hotspots kommerzieller Betreiber (Eco 2014).

Hinzu kamen 2014 etwa 750.000 teil-öffentliche Hotspots der Telekom-Provider (sogenannte Homespots). Diese dürften nochmals sehr stark gestiegen sein, da im Juni 2015 bereits Kabel Deutschland allein etwa 750.000 „Homespots“ listet (KabelDeutschland 2015). Da die Hotspot-Funktionalität der Homespots aber durch die Router der Haushalte bereitgestellt wird (siehe Kapitel 9.6.1), werden diese hier nicht mit betrachtet.

10.4.3 Nutzungsmuster

Es wird eine dauerhafte Nutzung über das ganze Jahr angenommen.

10.4.4 Leistungsaufnahme

Bei WLAN-Hotspots wird eine leicht sinkende Leistungsaufnahme von 20 W im Jahr 2010 auf 15 W im Jahr 2025 angenommen.

10.4.5 Energiebedarf

Daraus ergibt sich ein Energiebedarf von 35 GWh im Jahr 2010 bzw. 39 GWh im Jahr 2025.

10.5 Werbeanzeigen und Displays

Digitale Werbeanzeigen und Informationsdisplays umfasst neben den Displays auch die dazugehörige Steuerungseinheit.

Tabelle 10-5: Bestand und Energiebedarf digitaler Anzeigen im Jahr 2010 – 2025 (Basisprognose)

Digitale Anzeigen	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]	
Displays	33		121		182		272	
Steuerung	15		19		28		42	
Nutzungsmuster	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]	Aktiv [h]	Standby/ Aus [h]
Displays	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0
Steuerung	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
Displays	140,0		110,0		90,0		80,0	
Steuerung	20,0		15,0		13,0		11,0	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Displays	1.226	40	964	117	788	143	701	191
Steuerung	175	3	131	2	114	3	96	4
Digitale Anzeigen Gesamt		43		119		146		195

10.5.1 Trends

Immer mehr Werbeanzeigen werden durch digitale Anzeigen ergänzt. Hinzu kommt die Zunahme digitaler Informationssysteme. Trends sind dabei zum einen größer werdende Werbedisplays als auch vermehrt reaktive Informationssysteme (Touchdisplays)⁵⁴.

10.5.2 Bestand

2009 gab es in Deutschland 30.000 digitale Displays an 13.500 Standorten (Invidis 2011). Basierend auf Zahlen des DooH Jahrbuchs 2014/15⁵⁵ wird der Bestand in digitalen Werbe- und Informationsdisplays 2015 auf 121.000 Stück an ca. 18.600 Standorten bei anhaltendem Wachstum geschätzt.

10.5.3 Nutzungsmuster

Es wird eine dauerhafte Nutzung über das ganze Jahr angenommen.

10.5.4 Leistungsaufnahme

Digitale Displays benötigen eine Steuerung. Es wird angenommen, dass alle Displays an einem Standort von einem Rechner gesteuert werden. Häufig werden dafür Mini-PCs mit einer etwas geringeren Leistungsaufnahme als Desktop PCs (siehe hierzu auch Abschnitt 9.4) verwendet.

⁵⁴ Siehe dazu Berichte von invidis zu „Digital Signage“: <http://invidis.de/digital-signage-book-shop/>

⁵⁵ Invidis consulting: DooH Jahrbuch 2014/15, genaue Zahlen dürfen nicht zitiert werden

Digitale Werbedisplays unterschieden sich von der Bildschirmtechnologie nicht von Flachbildfernsehern und Monitoren, jedoch verfügen sie meist nicht über zusätzliche Tuner wie Fernseher. Es wird daher eine etwas geringere Leistungsaufnahme als bei Fernsehern angenommen (siehe dazu auch Abschnitt 9.2). Als Durchschnittswert wird ein 50 Zoll Display für Werbeanzeigen im Jahr 2010 angenommen, mit dem Trend zu wachsenden Displaydiagonalen.

Es gibt auch eine US Energy Star Vorschrift für Professional Displays. Geräte, welche diesen erfüllen, haben durchschnittlich eine Leistungsaufnahme von 100 W bei knapp 50 Zoll (siehe Tabelle 10-6), jedoch hat der Energy Star im Bereich Signage in den USA nur eine Marktpenetrationsrate von 23 % (Energy Star 2013).

Tabelle 10-6: US Energy Star Daten zu Signage (Energy Star 2015e) ⁵⁶

Jahr	Bildschirmdiagonale [Zoll]	On Mode-Leistungsaufnahme [W]	Sleep Mode-Leistungsaufnahme [W]	Off Mode-Leistungsaufnahme [W]
2012	45,0	85,4	0,3	0,3
2013	46,8	101,0	0,3	0,2
2014	47,5	101,6	0,4	0,3
2015	47,1	100,9	0,3	0,2
gesamt	47,0	100,8	0,3	0,2

10.5.5 Energiebedarf

Daraus ergibt sich ein Energiebedarf von ca. 40 GWh im Jahr 2010, der trotz effizienterer Technik durch die wachsende Verbreitung auf knapp 200 GWh im Jahr 2025 steigt.

10.6 Mautsystem

Das Mautsystem besteht aus folgenden Komponenten:

- Ticketautomaten
- Kontrollbrücken
- Kontrollfahrzeuge (nicht mitbetrachtet)
- On-Board-Units (OBUs)

Tabelle 10-7: Bestand und Energiebedarf des Mautsystems 2010 – 2025 (Basisprognose)

Mautsystem	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]	
Kontrollbrücken	0,15		0,15		0,15		0,15	
OnBoard Units	790		889		890		890	
Terminals	3		3		3		3	
Nutzungsmuster	Aktiv [h]	Standby/Aus [h]						
Kontrollbrücken	6,0	18,0	6,0	18,0	6,0	18,0	6,0	18,0
OnBoard Units	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0
Terminals	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0	24,0	0,0

⁵⁶ Eine Erläuterung der Energy Star-Betriebszustände findet sich im Anhang Kapitel 14.2.

Mautsystem	2010		2015		2020		2025	
	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]	Aktiv [W]	Standby/ Aus [W]
Kontrollbrücken	500,0	5,0	500,0	5,0	500,0	5,0	500,0	5,0
OnBoard Units	1,0		1,0		1,0		1,0	
Terminals	145,0		145,0		130,0		120,0	
Jahresenergiebedarf	Pro Pro- dukt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Kontrollbrücken	1.128	0,2	1.128	0,2	1.128	0,2	1.128	0,2
OnBoard Units	9	6,9	9	7,8	9	7,8	9	7,8
Terminals	1.270	3,8	1.270	4,3	1.139	3,8	1.051	3,5
Mautsystem Gesamt		11		12		12		12

10.6.1 Bestand

Ende 2014 waren laut dem Ministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 814.000 OBUs eingebaut (BMVi 2015). Es wird geschätzt, dass diese Zahl aufgrund der Ausweitung des Mautsystems auf 890.000 OBUs steigt (Bundestag 2014). Zusätzlich gibt es mehr als 3.360 Mautterminals (Ticketautomaten) (BMVi 2015).

Laut Wikipedia gibt es 300 stationäre Kontrollbrücken, die aus Datenschutzgründen jedoch nur wenige Stunden pro Tag betrieben werden (Wikipedia 2015b).

10.6.2 Nutzungsmuster

Für die Kontrollbrücken, die aus Datenschutzgründen nicht dauerhaft laufen, werden 6 Stunden Nutzung pro Tag angenommen.

Für Mautterminals und OBUs wird ein dauerhafter Betrieb angenommen.

10.6.3 Leistungsaufnahme

Es gibt verschiedene OBUs unterschiedlicher Hersteller. Es wird hierfür 1 W durchschnittliche Leistungsaufnahme angenommen⁵⁷.

Für die Mautterminals wird die gleiche Leistungsaufnahme wie für Fahrkartenautomaten (siehe Abschnitt 10.3) bei dauerhaftem Betrieb angenommen.

10.6.4 Energiebedarf

Basierend auf den oben genannten Annahmen ergibt sich ein jährlicher Energiebedarf von ca. 11 GWh/a.

⁵⁷ Beispielhaft: Eine OBU von Siemens benötigt 0,75 W im Betrieb und 0,25 W im Standby. Online: <https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/de/road-solutions/interurban/tolling-systems-for-freeways/Sitraffic-Sensus-Unit-de.pdf> (abgerufen 30.06.2015)

11 Gebäudeautomation und –vernetzung im Detail

Begriff der Gebäudeautomation, Bezüge zu Smart-Home sowie Smart-Building

Dieses Kapitel enthält Abschätzungen zum potentiellen Energiebedarf einer großflächigen Anwendung von Techniken der Gebäudeautomation und –vernetzung. Obwohl unter dem Begriff der Gebäudeautomation schwerpunktmäßig Steuerungs- und Automatisierungsaufgaben in gewerblichen und öffentlichen Gebäuden zusammengefasst werden, wird er auch zunehmend auf die Technik der intelligenten Heimvernetzung bzw. -steuerung angewandt. Zusätzlich wird zwischen intelligenten Heimvernetzungs- (Smart-Home) und Gebäudevernetzungs-lösungen (Smart-Building) unterschieden. Diese Differenzierung ist wichtig, da die daraus folgenden Lösungen unterschiedliche Kunden- und Marktsegmente bedienen. Während Smart-Home-Produkte eher auf den Endkunden und damit auf die Vernetzung einzelner Wohnungen abzielen, so orientieren sich Smart-Building-Lösungen eher an den Anforderungen professioneller Betreiber oder Eigentümer von Gebäuden (Gebäude- und Immobilienwirtschaft). Ausdrücklich nicht betrachtet werden in diesem Abschnitt reine Automatisierungslösungen für industrielle bzw. große gewerbliche Nutzungen in Nichtwohngebäuden, die z.B. auch Kälte- und Klimatechnik umfassen. Sie stellen einen eigenen Bereich der Gebäudetechnik dar.

Die Ursprünge der Gebäudeautomation und der Smart-Building-Technik liegen in den 1980er Jahren. Damals begannen Hersteller von Gebäudetechnik und elektrotechnischen Anlagen, Bustechnologien verstärkt für deren Vernetzung einzusetzen (Heimer 2015). Im Rahmen von Standardisierungsinitiativen schlossen sich zunächst die europäischen Hersteller zur European Installation Bus Association (EIBA) und später internationale Hersteller weltweit in der KNX Association (KNX-Standard) zusammen. KNX ist ein bis heute existenter, weltweit angebotener offener Standard für Haus- und Gebäudeautomation. KNX-Produkte haben sich jedoch bisher nicht auf dem Massenmarkt durchsetzen können, was unter anderem auf ihren Preis und die technische Komplexität der angebotenen Lösungen zurückgeführt wird.

Neuere Ansätze des Smart-Buildings stellen dagegen stärker die Vernetzung unterschiedlicher Standards, Protokolle und Anwendungsfelder (Gesundheit, Sicherheit, Energieeinsparung, etc.) sowie die Bedienbarkeit durch den Nutzer in den Mittelpunkt. Sie zielen auf eine Vernetzung verschiedener Anwendungsbereiche der Heimvernetzung sowie von Einzelgeräten und Anwendungen im Sinne des Internets der Dinge (Internet of Things) ab. Erste Angebote sind auf dem Markt erhältlich. Bei ihnen dominieren jedoch nach wie vor proprietäre Protokolle, Schnittstellen und Übertragungstechnologien, die eine Vernetzung von Produkten verschiedener Anbieter schwierig machen und damit den professionellen Einsatz in der Gebäude- und Immobilienwirtschaft behindern.

Markt für Gebäudeautomation und Smart Building

Ein Volumenmarkt ist aus diesen existierenden Smart-Home- und Smart-Building-Angeboten bisher nicht entstanden. Die Stückzahlen bewegen sich meist im vier- bis fünfstelligen Bereich⁵⁸ und die Abschätzung zukünftiger Marktpotentiale ist entsprechend unsicher. Die Gründe hierfür werden in mehreren Ursachen gesehen. Neben rechtlichen und regulatorischen Voraussetzungen (z.B. Datenschutz und Datensicherheit im Fall von Gesundheits- und Energiemanagementanwendungen, dauerhafte Verfügbarkeit der Angebote für den pro-

⁵⁸ Diese Abschätzung beruht auf wenigen nicht öffentlich zugänglichen Verkaufszahlen von Anbietern/Herstellern von Gebäudeautomatisierungssystemen und wurde durch Einzelgespräche mit ausgewählten Herstellern ermittelt.

fessionellen Einsatz) für die Anwendung von Smart-Building-Technik, sind es vor allem auch Kosten-Nutzen-Abwägungen, die über die Marktentwicklung entscheiden.

Hierfür ist wiederum eine differenzierte Kenntnis der Eigentümer- und damit Investitionsstrukturen im Gebäudesektor notwendig. Diese sind sehr unterschiedlich und reichen von öffentlichen Besitzern bzw. Betreibern von Gebäuden (Verwaltung, Schulen, kommunale Wohnungsgesellschaften, etc.) über private Besitzer von Büro- und Wohngebäuden bis hinzu Mischformen, bei denen beispielsweise die Gebäudebewirtschaftung an Dritte ausgegliedert ist. Alleine die vielfältige Eigentumsstruktur im Bereich der Wohngebäude in Deutschland verdeutlicht, dass die Kunden von Gebäudeautomatisierungstechnik und die Anforderungen an Smart-Building-Lösungen unterschiedlich sind und folglich für die Erschließung des Marktes angepasste Geschäftsmodelle benötigt werden (siehe Abbildung 11-1).

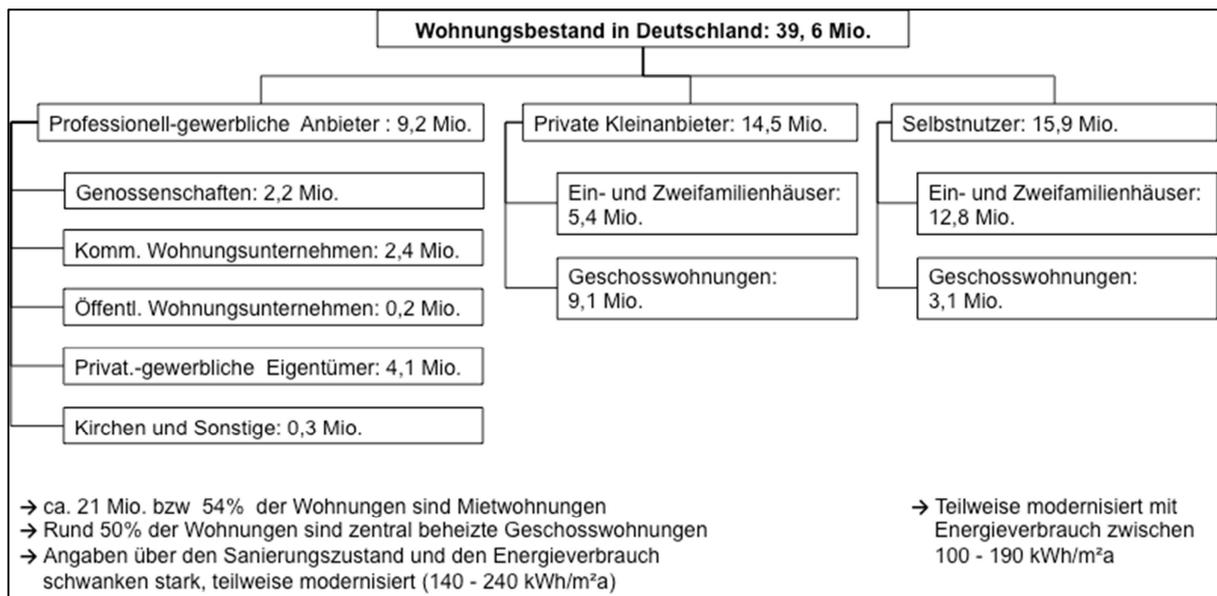


Abbildung 11-1: Wohnungsbestand in Deutschland (Beucker et al. 2012 nach Daten von GdW 2011, AGEB 2011)

So sind beispielsweise Kosten-Nutzen-Abwägung in privaten Haushalten oder bei kleinen Vermietern grundsätzlich andere, als bei großen gewerblichen Vermietern, bei denen Fragen der Amortisation, der Lebensdauer und der Erweiterbarkeit der Systeme im Mittelpunkt stehen. Wiederum andere Investitionslogiken sind bei kommunalen Gebäudeeignern und -betreibern anzutreffen.

Gerade die Erweiterbarkeit der Systeme auf Grundlage zertifizierter und offener Schnittstellen ist für die Wohnungswirtschaft ein entscheidendes Auswahlkriterium, um nicht von einzelnen Technikherstellern abhängig zu sein bzw. Smart-Building-Lösungen auch zukünftig flexibel ausbauen zu können. Die Erweiterbarkeit und Kombinierbarkeit von Technik und Angeboten entscheidet auch maßgeblich über den Energiebedarf zukünftiger Smart-Building-Lösungen. Über eine gemeinsam genutzte und erweiterbare Struktur (Gateway, Home-Service-Plattform, Ethernetverkabelung, etc.) können unterschiedliche Smart-Building-Dienste energieeffizient angeboten werden.

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass es durchaus Bemühungen gibt diese Segmentierung durch die Schaffung von Standards, gemeinsamen Protokollen und Schnittstellen, die eine Interoperabilität der verschiedenen Systeme ermöglichen, zu überwinden. Beispielhaft seien hier das Zertifizierungsprogramm Smart Home + Building (www.zertifizierungsprogramm-smarthome.de), die EEBus Initiative (www.eebus.org) sowie das Innovationszentrum Connected Living (<http://www.connected-living.org>) genannt.

Analyse ausgewählter Energiemanagement- und Energieeffizienzanzwendungen

Ob sich der Markt in Richtung offener Plattformen entwickelt, oder hersteller- bzw. anwendungsspezifische Plattformen und Angebote dominieren werden bleibt abzuwarten. Ebenso ist offen, ob sich der Markt für Gebäudeautomation eher durch die Nachfrage von Endkunden oder der Wohnungswirtschaft entwickeln wird. Eine Prognose von Stückzahlen ist bei einer solchen Ausgangssituation mit großen Unsicherheiten verbunden. Nicht betrachtet werden sollen in diesem Kapitel zudem Smart-Building-Anwendungen, die den Bereichen der Unterhaltungselektronik sowie der Informations- und Telekommunikationstechnik zugeordnet werden. Sie wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln behandelt. Gleiches gilt für die Infrastruktur innerhalb von Gebäuden (z.B. Router, Switches, Verstärker für Gebäudevernetzung, etc.), die für Smart-Building-Anwendungen benötigt werden. Auch diese wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln erfasst.

Stattdessen wird die Marktentwicklung im Anwendungsfeld Energiemanagement und Energieeffizienz analysiert, da hier der rechtlich-regulatorische Rahmen (EnWG, EnEV, Gesetzentwurf zur Digitalisierung der Energiewende, etc.) sowie der Bedarf an energie- und klimaeffizienten Lösungen für den Gebäudebereich (Reduktion von Heizenergie und elektrischem Energiebedarf) eine Marktentwicklung absehbar erscheinen lassen. Folgende Anwendungen der Gebäudeautomation und –vernetzung sollen daher ausführlicher betrachtet werden:

- **Intelligente Messsysteme:** Darunter wird die kommunikationsfähige Infrastruktur aus intelligenten Zählern (Smart-Meter) und Kommunikationseinheiten (Smart-Meter-Gateway) zu deren Vernetzung verstanden. Diese Struktur ist für die Umsetzung und Nutzung variabler Stromtarife in Haushalten und gewerblichen Gebäuden notwendig. Zweck der Infrastruktur ist die Übermittlung variabler bzw. dynamischer Preissignale für Strom sowie die Erfassung entsprechender Verbräuche und die Übermittlung von Daten für Abrechnungszwecke. Ebenfalls unter die Rubrik der Smart-Meter fallen kommunikationsfähige Zähler für Wärme, Gas und Wasser. Über sie können analog zum Strom zeit-, tarif- bzw. kundenspezifische Verbräuche erfasst und digital verarbeitet werden.
- **Dezentrale Energiemanagementsysteme:** Darunter fallen vernetzte Steuerungssysteme zur Kontrolle und Anpassung von Heizung, Belüftung und Kühlung von Wohnungen und Gebäuden. Diese bestehen aus programmierbaren Steuerungs- bzw. Kontrolleinheiten (z.B. Embedded- oder Standard-PCs), Aktoren (z.B. Ventile, Stellantriebe) sowie Sensoren (z. B. für Temperatur, Luftfeuchte, Volumenstrom). Einige der Systeme können auch Stromverbraucher z.B. über vernetzbare Steckdosen schalten. Es sind sowohl Systeme für einzelne Haushalte als auch für ganze Wohn- und Gewerbegebäude verfügbar. Im Falle des Einsatzes in mehrstöckigen Wohn- oder Gewerbegebäude kommen zusätzliche Steuerungs- bzw. Kontrolleinheiten für das Gebäude hinzu.
- **Strommanagement:** Darunter werden Systeme verstanden, die für eine effiziente Stromnutzung sowie die Erfassung und Abrechnung variabler Stromtarife in Haushalten bzw. Gebäuden benötigt werden. Dazu gehören Steuerungs- bzw. Kontrolleinheiten (Micro-Controller) und Aktoren zur Schaltung vernetzter Stromverbraucher (Beleuchtung, Unterhaltungselektronik, Haushaltsgeräte, etc.) und damit für ein Lastmanagement (Demand-Side-Management) benötigt werden. Über diese haushaltbezogenen Anwendungen können auf Gebäudeebene weitere Aggregate (z.B. Warmwasserspeicher, Kühl- und Lüftungsanlagen) in das Energiemanagement einbezogen werden. Hierfür sind ebenfalls Kontrolleinheiten für die Vernetzung notwendig. Theoretisch können diese Aufgaben auch von intelligenten Energiemanagementsystemen mit übernommen werden.

Anmerkungen zu Prognosen und zur Szenarienbildung

Schließlich sei nochmals darauf verwiesen, dass aufgrund der bisher geringen Verbreitung von Anwendungen der Gebäudeautomation bzw. von Smart-Building-Technik für die Abschätzung des elektrischen Energiebedarfs nur in eingeschränktem Maß auf Marktdaten und Projektionen zurückgegriffen werden kann. Legt man die bisher geringe Verbreitung der Technik zugrunde, so ist von keinem relevanten Energiebedarf auszugehen. Für die Projektionen zu den dezentralen Energiemanagementsystemen wird insgesamt von einer moderaten Marktentwicklung bis zum Jahr 2025 gemäß der Daten des BITKOM für die Verbreitung von Smart-Home-Anwendungen ausgegangen (siehe auch Kap. 11.2.1). Gleiches kann für die Strommanagementsysteme angenommen werden, wobei deren Nutzung an die entscheidende Voraussetzung gebunden ist, dass innerhalb der nächsten Jahre variable bzw. dynamische Stromtarife am Markt angeboten werden. Eine Ausnahme bilden die intelligenten Messsysteme. Für sie können aufgrund des bestehenden rechtlich-regulatorischen Rahmens (Gesetzentwurf zur Digitalisierung der Energiewende, siehe BMWi 2015a) verhältnismäßig genaue Abschätzungen getroffen werden.

Bei der Entwicklung der Szenarien über den zukünftigen Energiebedarf wird auf ausgewählte Herstellerdaten und –informationen zurückgegriffen, um Stromverbräuche der technischen Komponenten in den nächsten Jahren zu prognostizieren. Im Falle der intelligenten Messsysteme wird aufgrund der genannten Rahmenbedingungen ein einziges Szenario angenommen und als wahrscheinlich angesehen. Dieses folgt der Roadmap des BMWi (BWi 2015b).

Für die Automatisierungsanwendungen des dezentralen Energiemanagements werden zwei Szenarien betrachtet. Im Falle des grünen Szenarios wurde davon ausgegangen, dass für die Aufgaben des dezentralen Energie- bzw. des Strommanagements sehr energieeffiziente Embedded PCs genutzt werden. Diese Geräte haben gleichzeitig den Vorteil, dass sie genügend Speicher und Prozessorleistung besitzen, so dass über sie auch weitere Aufgaben der Heimvernetzung abgewickelt und Heimvernetzungsplattformen installiert werden können. Bei dem grauen Szenario wird davon ausgegangen, dass das dezentrale Energie- bzw. Strommanagement über weniger effiziente Gateways erfolgt. Auch über sie lassen sich in gewissem Umfang weitere Smart-Building-Anwendungen betreiben.

Für das Strommanagement wird vor allem der graue Fall analysiert, dass für verschiedene Smart-Home-Anwendungen jeweils eigene Gateways und Vernetzungsstrukturen parallel genutzt werden, wie es derzeit teilweise der Fall ist. Zusätzlich wird auch die Einbindung von Elektromobilen in solche Strukturen betrachtet, um gezielt die möglichen Mehrverbräuche, die aus der Einbindung weiterer informationstechnischer Anwendungen erwachsen können, untersuchen zu können.

11.1 Intelligente Messsysteme

Ein intelligentes Messsystem umfasst sowohl intelligente Zähler (Messeinrichtung bzw. Smart-Meter) als auch Sicherheits- und Kommunikationseinrichtungen (Smart-Meter-Gateways) zu deren Vernetzung. Die Unterscheidung in Mess- und Kommunikationseinheiten ist ein Spezifikum des deutschen Smart-Meter-Roll-outs. Sie resultiert aus politisch-rechtlichen Vorgaben, welche Anforderungen an die Kommunikationsfähigkeit von Messsystemen sowie den Schutz und die Sicherheit von personenbezogenen Energiebedarfsdaten stellen (Vgl. Ernst & Young 2013 bzw. BITKOM 2015). Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) wurde mit der Ausarbeitung eines Schutzprofils und entsprechender technischer Richtlinien beauftragt, welche die Datenhaltung und Kommunikation von intelligenten Messsystemen beschreiben und einen sicheren Umgang mit personengebun-

denen Daten gewährleisten sollen. Von Seiten des BSI wurde mittlerweile ein Schutzprofil für das Smart-Meter Gateway veröffentlicht. Erste entsprechende Geräte sind auf dem Markt verfügbar.

Die aus diesen Vorgaben resultierende Architektur für intelligente Messsysteme ist in Abbildung 11-2 wiedergegeben.

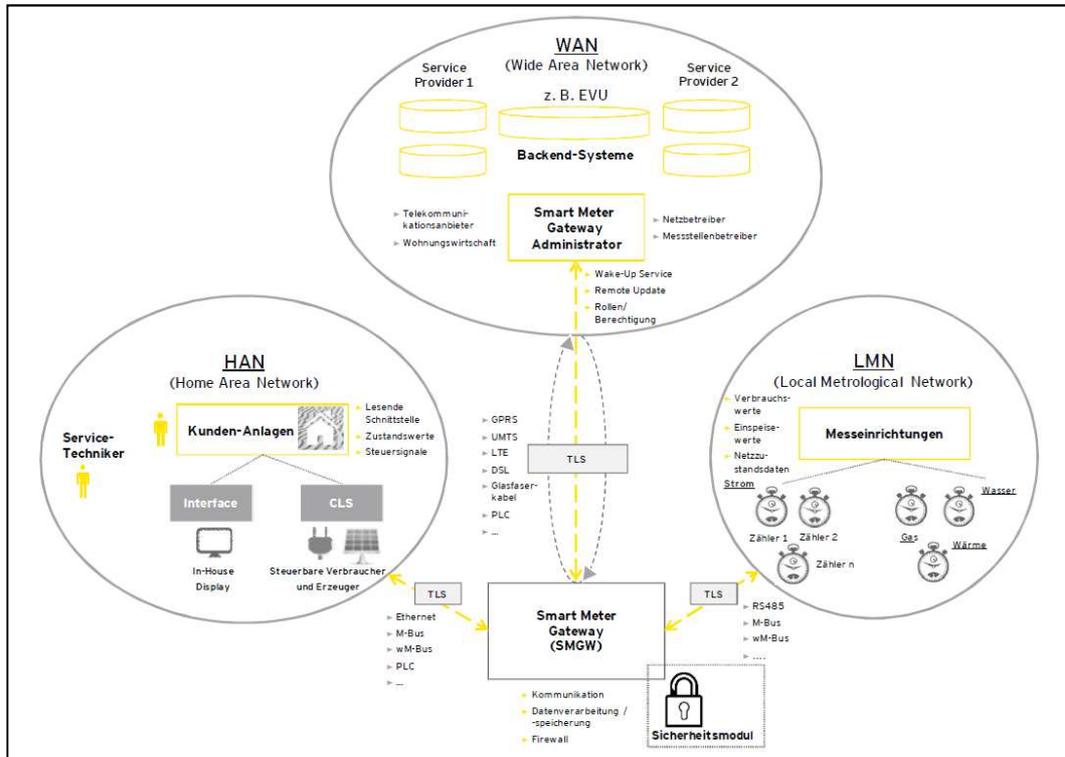


Abbildung 11-2: Architektur für intelligente Messsysteme (Ernst & Young in Anlehnung an BSI, 2013)

Geregelt werden die Einsatzfelder intelligenter Messsysteme im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG). Dort werden in §21c Anwendergruppen genannt, für die der Messstellenbetreiber intelligente Zähler bzw. entsprechend §21d und e Sicherheits- und Kommunikationseinrichtungen (Smart-Meter-Gateways) zu deren Vernetzung einbauen muss. Neben diesen derzeitigen Pflichteinbaufällen können Messstellenbetreiber nach §21c(5) durch eine Rechtsverordnung auch für andere Anwendergruppen zum Einbau intelligenter Zähler ohne Smart Meter Gateways verpflichtet werden.

Der weitere Roll-out intelligenter Messsysteme bzw. von Smart-Metern soll mit dem im November 2015 veröffentlichten Kabinettsbeschluss⁵⁹ zu einem „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“ (BMWi 2015a) und seiner anhängigen Verordnungen neu geregelt werden. Das noch durch den Bundestag zu verabschiedende Gesetz sieht vor, dass die bisher gültigen Paragraphen 21b bis 21i des alten Energiewirtschaftsgesetzes, die den Einbau und den Betrieb von Messstellen sowie die Erhebung von Daten regeln, von einem neuen "Gesetz über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen (Messstellenbetriebsgesetz – MsbG)" abgelöst wird.

Das neue Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende sieht einen stufenweisen Einbau von intelligenten Messsystemen vor (siehe Abbildung 11-3).

⁵⁹ Siehe <http://www.bmwi.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=737228.html> (Abruf November 2015)

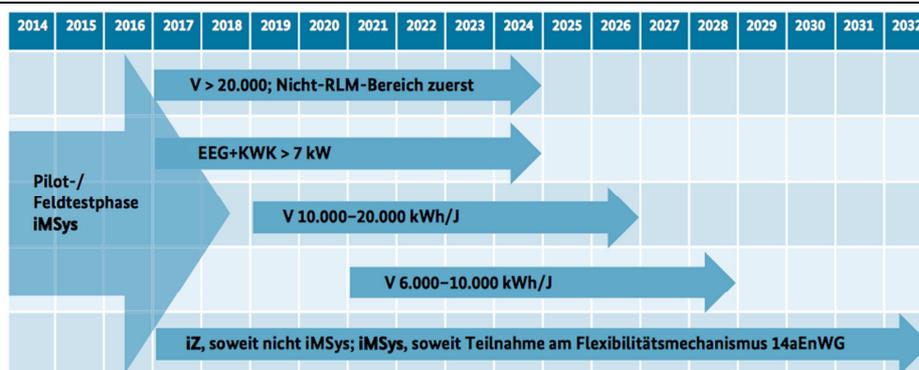


Abbildung 11-3: Rolloutplan des Gesetzesentwurfs zur Digitalisierung der Energiewende (BMWi 2015b)

Relevant für die nachfolgenden Betrachtungen sind die in der Roadmap mit V (Verbraucher) gekennzeichneten Gruppen. Im nachfolgenden Abschnitt wird beschrieben, wie groß die daraus zu erwartenden Installationen von intelligenten Zählern voraussichtlich ausfallen werden.

11.1.1 Trends

Die im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie durch die Wirtschaftsprüfer Ernst & Young erstellte Kosten-Nutzen-Analyse für den Einsatz intelligenter Zähler (Ernst & Young 2013) kommt zu dem Ergebnis, dass Haushalte mit einem Energiebedarf von über 6.000 kWh mit einem intelligenten Zähler und einem Smart-Meter-Gateway ausgerüstet werden sollten. Dies sind jedoch nur 10 % der deutschen Privathaushalte. Ein durchschnittlicher Haushalt benötigte 2013 ca. 3.000 kWh (ohne Elektro-Speicherheizung)⁶⁰. Bei Neubauten und grundlegenden Renovierungen soll der Einbau intelligenter Messsysteme dagegen verpflichtend sein. Gleiches gilt für Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarer Energie (größer 7 kW). Auch für sie soll der Einbau verpflichtend sein. Dadurch sollen Netzbetreiber bei kritischen Situationen die Leistung der Anlagen modulieren können, um so die Stabilität des Netzes zu gewährleisten und einen unnötigen Ausbau zu vermeiden.

Eine flächendeckende, marktgetriebene Verbreitung intelligenter Messsysteme in Privathaushalten ist aufgrund des oftmals negativen Kosten-Nutzen-Verhältnisses derzeit nicht zu erwarten. Dies liegt auch daran, dass eine wesentliche Voraussetzung für ihre Nutzung durch Endverbraucher, die Ausnutzung von Preisunterschieden zwischen unterschiedlichen Stromtarifen, nicht gegeben ist.

Wie bereits erwähnt, wird der Roll-out nach aktueller Rechtslage durch § 21c(1) d und e des EnWG vorgegeben und durch das zu verabschiedende Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende neu geregelt. Nach dem neuen Gesetzesentwurf ist der Einbau von intelligenten Messsystemen für folgende Anschlussnehmer vorgesehen:

- a) Letztverbraucher mit einem Jahresenergiebedarf größer 20.000 kWh ab 2017,
- b) Letztverbraucher mit einem Jahresenergiebedarf größer 10.000 kWh ab 2019, sowie
- c) Letztverbraucher mit einem Jahresenergiebedarf größer 6.000 kWh ab 2021
- d) Anlagenbetreiber nach dem EEG oder KWKG bei Neuanlagen mit einer installierten Leistung von mehr als sieben Kilowatt.

Nach alter Gesetzeslage (§21c EnWG) war ein verpflichtender Einbau in Neubauten und bei grundlegenden Renovierungen vorgesehen. Dies würde mit Inkrafttreten des neuen Geset-

⁶⁰ Siehe <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/245790/umfrage/stromverbrauch-eines-privat-haushalts-in-deutschland/> (Zugriff Oktober 2015)

zes zu Digitalisierung der Energiewende entfallen. Stattdessen ist vorgesehen, den Einbau von intelligenten Messsystemen bei Endverbrauchern mit einem Jahresenergiebedarf von < 6.000 kWh dem Netzbetreiber zu überlassen und dafür Gebührenobergrenzen festzulegen (BMWi 2015b). Damit ist für die Mehrheit der deutschen Haushalte ein unmittelbar verpflichtender Einbau von intelligenten Zählern nicht vorgesehen.

Die Bundesnetzagentur (BNetzA) hat 2013 Daten veröffentlicht aus denen hervorgeht, wie viele intelligente Zähler aufgrund des EnWG schätzungsweise in den nächsten Jahren eingebaut werden müssen. Da der Gesetzentwurf zur Digitalisierung der Energiewende noch nicht verabschiedet ist und damit folglich keine aktualisierten Abschätzungen zum Roll-out von intelligenten Messsystemen verfügbar sind, wird in den folgenden Analysen mit bestehenden Daten der BNetzA gearbeitet. Diese beruhen auf einer Erhebung aus dem Jahr 2013. Ob sich die Anzahl der für das Jahr 2025 prognostizierten Installationen im Neubau bzw. bei Renovierungen einstellen wird oder ggf. höher oder niedriger liegt, hängt auch maßgeblich von der Gesetzeslage ab.

Tabelle 11-1: Bestand und voraussichtlicher Zubau von intelligenten Zählern bis zum Jahr 2025

Anzahl Messpunkte Gebäude- Anlagentyp	Bestand 2013	Voraussichtliche Installationen im Jahr 2025
Neue Gebäude oder Renovierung	141.510	343.642
Jahresenergiebedarf größer 6.000 kWh	171.461	4.398.207
EEG oder KWKG Neuanlage	23.226	136.176
Sonstige (Kundenwunsch, Turnuswechsel oder Einbauten vor Gesetzesänderung)	33.627	?
Summe	369.824	Ca. 4.878.025

(Quelle: BNetzA 2013)

Nach aktuellem Kenntnisstand werden Haushalte mit einem durchschnittlichen Energiebedarf voraussichtlich nicht rasch zum Einbau von intelligenten Messsystemen verpflichtet werden. Wahrscheinlich ist jedoch, dass die Netzbetreiber in Privathaushalten im Rahmen des turnusmäßigen Austauschs intelligente statt der bisher verwendeten mechanischen Zähler einbauen. Diese entsprechen dann den Anforderungen eines intelligenten Zählers (Smart Meters) und verfügen vorerst nicht über die Fähigkeiten eines intelligenten Messsystems. Sie sind jedoch aufgrund der vorhabenden Schnittstellen und Sicherheitstechnik erweiterbar und können daher in Verbindung mit Smart-Meter-Gateways zu einem intelligenten Messsystem ausgebaut werden.

11.1.2 Nutzungsmuster

Intelligenten Messsysteme, sowohl Zähler als auch Gateways sind kontinuierlich im Betrieb, d.h. 24 Stunden an 365 Tagen im Jahr.

11.1.3 Bestand

Der Bestand an intelligenten Messsystemen ist gering. Wie aus Daten der BNetzA (siehe Tabelle 11-1) hervorgeht, sind in Deutschland rund 370.000 intelligente Zähler (stand 2013) installiert. Für Smart-Meter-Gateways sind keine Daten verfügbar. Die Stückzahl dürfte jedoch deutlich unter denen der intelligenten Messsysteme liegen.

11.1.4 Leistungsaufnahme

Auf dem Markt sind bereits unterschiedliche intelligente Zähler verfügbar. Dabei sind die erhältlichen Geräte bereits sehr effizient und ihr Energiebedarf im Betrieb ist niedriger als bei den heute noch mehrheitlich genutzten Ferrariszählern.

Von größerer Relevanz für den Energiebedarf von intelligenten Messsystemen sind die benötigten Kommunikationseinrichtungen im Smart-Meter-Gateway. Je nach Technologie kann die Zusammensetzung der Kommunikationseinrichtungen stark variieren und sich somit unterschiedlich auf den Energiebedarf auswirken. Außerdem sind je nach Technologie und Hersteller die Kommunikationsintervalle der Messeinrichtungen verschieden. Deshalb ist es schwierig zeitliche Muster der Leistungsaufnahme zu bewerten.

11.1.5 Energiebedarf

Das österreichische Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Bmvit) hat in dem Bericht 44/2012 „SMART METERING consumption“ (siehe Bmvit 2012) Ergebnisse von komplexen Messungen zu typischen Eigenverbräuchen von Stromzählern veröffentlicht. Dort wird der Energiebedarf von Smart Metern sowie deren Anbindung in unterschiedlichen Szenarien untersucht. Diese Daten können aufgrund der Ähnlichkeit der verwendeten Systeme auch gut für die Abschätzung des potentiellen Energiebedarfs eines Roll-out in Deutschland genutzt werden.

Aufgrund der großen Unterschiede, die aus den verschiedenen Messsystemen, ihrer Vernetzung und ihren Stromverbräuchen resultieren können, sollen für Deutschland zwei Varianten betrachtet werden. Zum einen eine weitestgehend ungesteuerte Entwicklung (graues Szenario), bei dem sich intelligente Messsysteme verbreiten ohne, dass ein besonderes Augenmerk auf ihren Energiebedarf gelegt wird. Hierbei wird von einem hohen Energiebedarf der verwendeten Mess- und Kommunikationskomponenten ausgegangen. Zum anderen wird eine effiziente Variante (grünes Szenario) angenommen, bei der Zähler- und Gatewaytechnologien mit höchster Effizienz eingesetzt werden.

Tabelle 11-2: Bestand und voraussichtlicher Energiebedarf von intelligenten Zählern

	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[Mio. Stück]		[Mio Stück]		[Mio Stück]		[Mio Stück]	
Intelligente Zähler	-		0,4		14,9		24,8	
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Intelligente Zähler	-	-	11	4	11	164	11	273

(Daten aus DENA Smart-Meter-Studie und aus BNetzA-Monitoringbericht 2013, Studie: Smart Meter consumption)

Tabelle 11-3: Bestand und voraussichtlicher Energiebedarf von intelligenten Messsystemen

	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[Mio. Stück]	[Mio Stück]	[Mio Stück]	[Mio Stück]
Intelligente Messsysteme	-	0	8,5	13,1

Jahresenergiebedarf	2010		2015		2020		2025	
	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Intelligente Messsysteme (graues Szenario)	-	-	46	0	46	390	46	600
Intelligente Messsysteme (grünes Szenario)	-	-	13	0	13	108	13	166

(Daten aus DENA (2014) und BNetzA (2013))

Aufgrund des bestehenden Roll-out Plans wird bis zum Jahr 2025 von einer Anzahl von 25 Mio. installierten intelligenten Zählern ausgegangen. Da es bereits effiziente zugelassene Smart-Meter (siehe Kap. 11.1.4) gibt und die Zähler aufgrund von Eichfristen frühestens nach 8 Jahren ausgetauscht werden, wird der spezifische Zählerverbrauch über die Jahre als konstant angenommen. Insgesamt summiert sich ihr Energiebedarf im Jahr 2025 somit auf 273 GWh/a.

Zusätzlich werden nach dem Roll-out Plan auch intelligente Messsysteme (bestehend aus Smart Metern und Gateways) verbaut. Im Jahr 2025 wird sich deren Anzahl auf 13,1 Mio. Systeme belaufen. Da die Effizienz der intelligenten Messsystemen deutlich vom Energiebedarf der verwendeten Gateways sowie der Anzahl der angeschlossenen Zähler abhängt, kann sich im ungünstigsten Fall der Energiebedarf für die Infrastruktur von 165 GWh auf 600 GWh erhöhen.

11.2 Dezentrale Energiemanagementsysteme

Die Produktgruppe der Energiemanagementsysteme umfasst drei Systemklassen, die in unterschiedlichen Gebäudetypen genutzt werden.

Zum einen gibt es für den Einsatz in Privathaushalten konzipierte Energiemanagementsysteme. Sie bestehen meist aus einer batteriebetriebenen oder energieautonomen Steuerungs- bzw. Kontrolleinheiten, die mit einer limitierten Anzahl an Sensoren und Aktoren auf Wohnungsebene über Kabel oder Funk vernetzt sind. Über die Kontrolleinheit werden Stellantriebe der Heizung und Lüftungsventile sowie in einigen Fällen der Heizkessel auf Wohnungs- bzw. Einfamilienhausebene gesteuert. Solche Systeme werden seit einigen Jahren auf dem Endkundemarkt angeboten und kommen in erster Linie in Haushalten, insbesondere bei privaten Wohnungs- oder Hausbesitzern zum Einsatz. Da sie meist einen niedrigen Energiebedarf besitzen, erzeugen sie wenig bis keinen Strombedarf im Betrieb und werden daher in diesem Kapitel nicht weiter betrachtet.

Eine Variante des Ansatzes besteht aus Systemen bei denen ein Gateway die Steuerungsfunktion übernimmt. Solche Produkte werden aktuell z.B. von Energie- und Telekommunikationsunternehmen angeboten. Ob und in welchem Maß sie zum IKT-bedingten Energiebedarf beitragen hängt wesentlich davon ab, ob das Gateway alleine für das Energiemanagement oder auch für andere Aufgaben der Heimvernetzung genutzt wird. Eine Abschätzung über den IKT-bedingten Energiebedarf dieser Geräteklasse ist daher schwierig und vor allem mit Allokationsproblemen verbunden, da nicht klar ist, welcher Anwendung welcher Anteil des Energiebedarfs zugeordnet werden soll. Auf dem Markt werden mehrere Systeme angeboten, die proprietäre Protokolle nutzen. Die Vernetzung der Aktoren und Sensoren erfolgt über das Gateway. So lassen beispielsweise Heizungsstellantriebe aber auch Stromverbraucher über schaltbare Steckdosen bzw. Kontakte steuern.

Schließlich gibt es speziell für den Einsatz im mehrgeschossigen Wohnungsbau sowie in gewerblichen Gebäuden konzipierte dezentrale Energiemanagementsysteme, die aus hierarchischen Kontrolleinheiten (Embedded PCs, Gateways, etc.), Sensoren und Aktoren bestehen, die draht- oder funkgebunden (oftmals über einen Gebäudebus) miteinander vernetzt sind. Diese Systeme sind für die Steuerung von Liegenschaften ausgelegt und ermitteln den Heizbedarf im Gebäude auf Grundlage von individuellen Profilen, Temperaturmessung, Gebäudephysik und Wetterdaten. Auch diese Systeme nutzen für die Kommunikation der herstellereigenen Komponenten proprietäre Protokolle, besitzen jedoch teilweise offene Schnittstellen und können daher um Komponenten und Angebote der intelligenten Heimvernetzung (Kommunikation, Sicherheit, AAL, etc.) von anderen Anbietern erweitert werden.

Hinsichtlich ihres Funktionsumfangs, der Erweiterbarkeit und des Energiebedarfs unterscheiden sich die am Markt erhältlichen Systeme deutlich. Insbesondere der elektrische Energiebedarf ist von der eingesetzten Vernetzungstechnik (Bussystem, Funkstandard, etc.) sowie dem Steuerungskonzept und der verwendeten Technik (Gateway, Embedded PCs, etc.) abhängig.

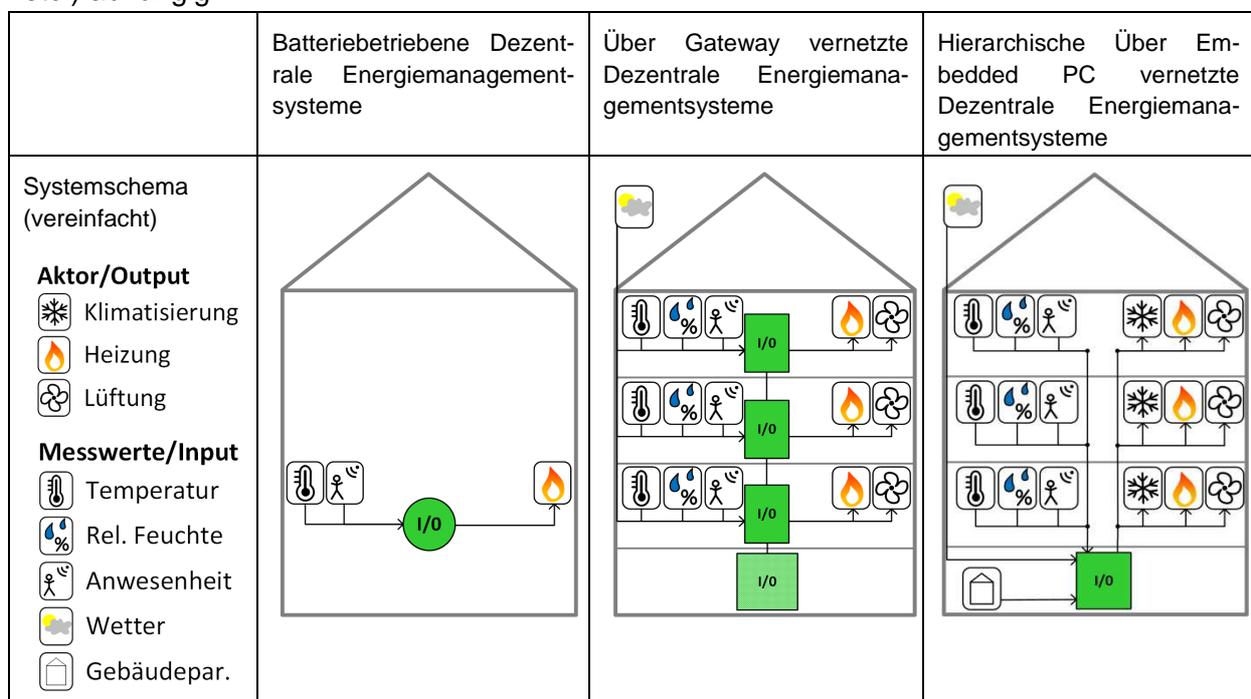


Abbildung 11-4: Systemklassen von dezentralen Energiemanagementsystemen (Quelle: In Anlehnung an Beucker, Bergesen, Gibon 2015)

Dezentrale Energiemanagementsysteme besitzen oft auch die Möglichkeit Stromverbraucher über vernetzte Steckdosen oder Schalter zu steuern. Sehr leistungsfähige Systeme können auch das in Kap. 11.3 behandelte, an variable oder dynamische Tarife gebundene, Lastmanagement übernehmen.

11.2.1 Trends

Trends im Bereich der dezentralen Energiemanagementsysteme sind vergleichsweise schwer abzuschätzen. Für das Segment der in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft eingesetzten Systeme können in begrenztem Umfang Abschätzungen über die Verbreitung bis zum Jahr 2025 extrapoliert werden. Da es sich hierbei um Produkte handelt, die vorwiegend im B2B Markt abgesetzt werden und damit langfristigen Investitionsentscheidungen unterliegen, kann bei weiterhin steigender Bedeutung der Energieeffizienz im Gebäudebestand, ein kontinuierliches Marktwachstum angenommen werden. Als wesentlicher Grund des bisher geringen Wachstums werden der Kenntnisstand zu den Systemen sowie das Nutzer-

Investoren-Dilemma im Bereich der Heimvernetzungs-technik gesehen. Während der Vermieter/ Besitzer in die Technik investieren muss, profitiert von ihr in erster Linie der Mieter/ Bewohner.

Schwieriger ist es auch, eine Einschätzung zu der Verbreitung der im Privatkundensegment eingesetzten Produkte zu gewinnen. Der Markt der Heimvernetzungsprodukte ist im Aufbau begriffen und unterliegt großen Veränderungen. Die Frage ob sich Energiemanagementsysteme als eigene Produktklasse durchsetzen oder sich als Bestandteil von Heimvernetzungs-lösungen am Markt etablieren werden ist offen. Dem Markt an sich werden hohe Wachstumspotentiale zugeschrieben. Während konservative Schätzungen des BITKOM davon ausgehen, dass in Deutschland bis zum Jahr 2020 mindestens 1 Million Haushalte Smart-Home-Technik einsetzen (BITKOM 2014b), geht das US-amerikanische Beratungsunternehmen Markets&Markets von einer 17 %igen Wachstumsrate in diesem Markt und einem globalen Marktvolumen von USD 58,68 Mrd. bis zum Jahr 2020 aus⁶¹.

Obwohl diese Zahlen für eine starke Verbreitung von Heimvernetzungs-technik und damit auch von Energiemanagementlösungen sprechen, ist neben der Frage welche technischen Lösungen und Konzepte (z.B. Gateways, Cloudlösung) sich durchsetzen werden offen, welche Standards (offen oder proprietär) damit verbunden sein werden. Unsicher ist zudem, welcher Anteil des IKT-bedingten Energiebedarfs in der Zukunft welchen Produkten zugeordnet werden kann (Allokationsproblematik). Wird ein Heimvernetzungs-gateway beispielsweise in erster Linie für Telekommunikation, Internetzugang und Mediendienste genutzt, so ist der Energiebedarf auch hauptsächlich diesen Funktionen zuzuordnen. Bilden sich jedoch, wie auch derzeit der Fall, differenzierte Gatewaytypen und –klassen mit spezifischen Anwendungsbereichen heraus, so kann dies zu einer deutlichen Erhöhung des Energiebedarfs in Haushalten führen.

Der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE) versucht diesem Trend entgegenzuwirken (siehe www.zertifizierungsprogramm-smarthome.de). Unterstützt durch das BMWi, hat er ein Zertifizierungsprogramm Smart-Home entwickelt, nach dem sich interoperable Heimvernetzungsangebote prüfen und zertifizieren lassen können. Große, internationale Unternehmen der Elektronikindustrie drängen jedoch zunehmend mit eigenen Lösung auf den Endkundenmarkt. Die hohe Marktdynamik im Bereich der Heimvernetzung macht daher eine zuverlässige Abschätzung des Strombedarfs schwierig und hängt stark von der angenommen Marktentwicklung und den damit verbundenen Szenarien ab.

11.2.2 Bestand

Der aktuelle Bestand dezentraler Energiemanagementsysteme für Privathaushalte mit Gateways als zentralen Steuerungseinheiten bewegt sich nach Auskunft von Branchenkennern vermutlich im Bereich einiger zehntausend Installationen.

Dezentrale Energiemanagementsysteme mit Gebäudevernetzung in größeren Liegenschaften sowie im mehrgeschossigen Wohnungsbau werden bereits seit mehreren Jahrzehnten in der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft eingesetzt. Auf dem Markt werden Systeme unterschiedlichen technischen Zuschnitts angeboten. Bestands- bzw. Verkaufszahlen sind nicht in ausreichendem Maße bekannt, um daraus Rückschlüsse über die Verbreitung der Systeme

⁶¹ Siehe <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/global-smart-homes-market.asp> (Zugriff Oktober 2015)

schließen zu können. Es kann jedoch von einem langsam wachsenden Markt mit einigen 100.000 solcher Installationen in Deutschland ausgegangen werden⁶².

11.2.3 Nutzungsmuster

Energiemanagementsysteme sind kontinuierlich im Betrieb (24 Stunden, 365 Tage im Jahr). Eine Differenzierung von Nutzungsmustern wird anhand von aktiven und Idle-Zeiten der Systeme vorgenommen. Es wird davon ausgegangen, dass die aktiven Nutzungszustände bis zum Jahr 2025 zunehmen, da die Energiemanagementsysteme auch für andere Dienste (z.B. Lüftung oder Strommanagement) genutzt werden.

11.2.4 Leistungsaufnahme

Aufgrund der großen technischen Unterschiede der Systeme fallen ihre Leistungsaufnahmen unterschiedlich aus. Nicht betrachtet werden, wie bereits erwähnt, aufgrund des geringen Gesamtenergiebedarfs die für Einsatz in Privathaushalten konzipierten, batteriebetriebenen bzw. autonomen Energiemanagementsysteme.

Bei der Leistungsaufnahme der Steuerungseinheit der Systeme wird zwischen zwei Fällen unterschieden. Im Fall der in privaten Haushalten eingesetzten Gateway-basierten Systeme wird von 10 W im Betriebs- und 4 W im Idle-Modus ausgegangen. Diese Zahlen beruhen auf Recherchen zu aktuellen Herstellerangeboten. Im Fall der in der Wohnungswirtschaft eingesetzten Systeme wird von etwas geringeren Leistungsaufnahmen ausgegangen. Als Steuerungseinheiten werden hier Embedded PCs oder sehr effiziente Gateways eingesetzt, die im Betriebsmodus 3-4 W und im Idle-Modus 2 W aufnehmen. Hinzu kommt eine zentrale Einheit zur Steuerung der Heizungsanlage im Gebäude, die mit den Wohnungen vernetzt ist und eine vergleichbare Leistungsaufnahme besitzt. Neben der verwendeten Steuerungstechnologie und ihrer Betriebsweise hängt der Energiebedarf zudem von der Allokation des Energiebedarfs auf die Anwendungen der Heimvernetzung ab (siehe auch Kap. 11.2.1).

Die im Rahmen des Energiemanagements zusätzlich benötigten Aktoren und Sensoren weisen keinen signifikanten zusätzlichen Energiebedarf auf. So besitzt ein über Kabel angebundener Stellantrieb für Heizkörper beispielsweise eine Leistungsaufnahmen von 1-2 Watt. Selbst bei einer Vollausstattung aller deutschen Haushalte mit solchen Systemen würde der Mehrbedarf an Strom für die Aktorik und Sensorik bei max. 56 GWh liegen⁶³.

11.2.5 Energiebedarf

Im vorangegangenen Kapitel ist deutlich geworden, dass die größte Unsicherheit für die Abschätzung des zukünftigen Energiebedarfs von dezentralen Energiemanagementsystemen aus der Art und Nutzungsweise der Steuer- bzw. Kontrolleinheiten (Embedded PC, Gateway, etc.) resultiert. Um die Spannweite der möglichen Entwicklungen zu verdeutlichen, werden zwei Varianten der Produkt- und Marktentwicklung des dezentralen Energiemanagements mit ihrem resultierenden Energiebedarf dargestellt.

Im Fall einer ungesteuerten Marktentwicklung (graues Szenario) wird von vielen konkurrierenden Technologien und hohen Wachstumsraten (17 %) im privaten Smart-Home-Markt

⁶² Diese Abschätzung beruht auf wenigen nicht öffentlich zugänglichen Verkaufszahlen von Anbietern/Herstellern von Gebäudeautomatisierungssystemen und wurde durch Einzelgespräche mit ausgewählten Herstellern ermittelt.

⁶³ Bei dieser Rechnung wird davon ausgegangen, dass je Haushalt im Durchschnitt 7 Stellantriebe für Heizkörper a 2 Watt benötigt werden. Die Sensorik wird aufgrund ihres extrem geringen Stromverbrauchs (mW) nicht berücksichtigt. Für die Berechnung wurden weiterhin 200 Heiztage und eine tägliche Betriebsdauer der Stellantriebe von 30 Minuten angenommen.

(Endkunden) ausgegangen. In diesem Fall existieren viele Ansätze des Energiemanagements parallel. Die einzelnen Lösungen sind zwar energetisch effizient gestaltet, es etablieren sich jedoch anwendungsspezifische Gateways mit proprietären Standards und Schnittstellen. Dieses Szenario wird in Tabelle 11-4 mit DEMS (graues Szenario) bezeichnet. Der Bestand dieser Geräte im Jahr 2010 wird mit null angenommen, da sich der Markt hierfür erst entwickelt.

Im Fall einer effizienten Variante wird der Smart-Home-Markt verstärkt Produkte und Dienstleistungen für die Wohnungswirtschaft erschlossen. Die eingesetzte Technik ist eher auf Effizienz, Langlebigkeit und Erweiterbarkeit von Smart-Home-Angeboten verschiedener Hersteller ausgerichtet. Daraus folgen aufgrund von längeren Investitionszyklen moderatere Wachstumsraten (5 %) aber auch ein stärkerer Fokus auf der Effizienz und dem Energiebedarf des eingesetzten Embedded PCs bzw. Gateways. Es wird davon ausgegangen, dass in diesem Fall eher ein internetfähiger Embedded PC bzw. ein Gateway eingesetzt wird, das über eine offene Plattform verfügt und unterschiedliche Smart-Home-Anwendungen steuern kann. Dieses Szenario wird in Tabelle 11-4 mit DEMS (grünes Szenario) bezeichnet. Der Bestand dieser Geräte im Jahr 2010 wird mit 270.000 angenommen⁶⁴.

Für beide Varianten des dezentralen Energiemanagements wird eine Mindestlaufzeit von zehn Jahren angenommen. Im Betrachtungszeitraum bis 2025 werden daher in erster Linie Neuinstallation hinzukommen. Ersatzinvestitionen werden in diesem Zeitraum nicht in nennenswertem Umfang getätigt. Für beide Varianten wird zudem eine Zunahme des Betriebs im aktiven Modus von drei auf fünf Stunden pro Tag angenommen, da davon ausgegangen wird, dass eine größere Anzahl von Heimvernetzungsdiensten auf den Geräten installiert wird und diese daher länger in Betrieb sind. Zur Vereinfachung der Szenarien wird zudem in beiden Fällen der Energiebedarf des Gateway bzw. des Embedded PCs alleine dem Energiemanagement zugeschrieben und keine Allokation auf andere Smart-Home-Anwendungen vorgenommen.

Tabelle 11-4: Bestand und voraussichtlicher Energiebedarf von dezentralen Energiemanagementsystemen bis zum Jahr 2025

Dezentrales Energiemanagement	2010		2015		2020		2025	
Gerätebestand	[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]		[1000 Stück]	
DEMS (graues Szenario)	-		100		220		500	
DEMS (grünes Szenario)	270		300		383		500	
Nutzungsmuster	Aktiv [h]	Idle [h]	Aktiv [h]	Idle [h]	Aktiv [h]	Idle [h]	Aktiv[h]	Idle [h]
DEMS (graues Szenario)	-	-	3	21	4	20	5	19
DEMS (grünes Szenario)	2	22	3	21	4	20	5	19

⁶⁴ Diese Abschätzung beruht auf wenigen nicht öffentlich zugänglichen Verkaufszahlen von Anbietern/Herstellern von Gebäudeautomatisierungssystemen und wurde durch Einzelgespräche mit ausgewählten Herstellern ermittelt.

Dezentrales Energiemanagement	2010		2015		2020		2025	
	Aktiv [W]	Idle [W]						
Durchschnittliche Leistungsaufnahme								
DEMS (graues Szenario)	-	-	10	4	8	3	6	2
DEMS (grünes Szenario)	4	2	3	2	2,5	1,5	2	1
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
DEMS (graues Szenario)	-	-	43	4,30	35	8	26	13
DEMS (grünes Szenario)	20	5,5	20	6,0	16	6	12	6

Die Auswertung verdeutlicht, dass bei der angenommenen Marktentwicklung im Produktfeld dezentrales Energiemanagement bis zum Jahr 2025 nicht mit einem signifikanten Mehrbedarf an Strom zu rechnen ist. Vermutlich werden sich die beiden beschriebenen Lösungen parallel entwickeln, da sie verschiedene Marktsegment (Endkunden und Wohnungswirtschaft) adressieren. Selbst in Summe wäre dann nur mit einem kumulierten Energiebedarf von 18 GWh pro Jahr zu rechnen. In diese Bilanz sind zudem die Einsparungen im Primärenergiesektor, die durch vermiedene fossile Brennstoffe erreicht werden, noch nicht eingeflossen. So konnten Beucker, Bergesen, Gibon (2015) in einer vereinfachten Ökobilanz für Systeme des dezentralen Energiemanagements beispielsweise zeigen, dass diese in zehn Jahren Betriebszeit etwa 40 mal so viel Energie einsparen, wie sie während Ihres Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung und Entsorgung) benötigen.

11.3 Energiemanagement

Als dritte Gruppe sollen Lösungen für die effiziente Nutzung von elektrischem Strom bzw. die Laststeuerung (Demand-Side-Management) analysiert werden. Unter Lastmanagement wird die Verlagerung von elektrischem Energiebedarf in Gebäuden verstanden. Es wird bisher vor allem mit großen industriellen Verbrauchern betrieben, um positive oder negative Regelenergie zur Stabilisierung der Energieversorgung und der Stromnetze zu gewinnen. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis zur Erschließung der Einspar- und Verlagerungspotenziale von Haushalten und Gebäuden wird aufgrund der kleinteiligen Endverbraucher- und Aggregatstruktur (Haushaltsgeräte etc.) sowie der geringen erzielbaren Effekte oft als schwer realisierbar bewertet (siehe z.B. BAUM 2012). Dies folgt der Erkenntnis, dass in Privathaushalten nur eine geringe Bereitschaft zur Verhaltensänderung besteht und die erzielbaren Kosteneinsparungen aus Einsparung und der Verlagerung von elektrischem Energiebedarf in Niedrigtarifzeiten gering sind. Während die Effizienzgewinne aus einer verringerten Nutzungsdauer von Endgeräten oder dem Austausch von Geräten mit hohem Energiebedarf eher niedrig und von einmaliger Natur sind, haben Pilotprojekte jedoch auch gezeigt, dass Einsparungen auch vom sozialen Milieu abhängig sind, und dass im Falle von höheren Tarifspreizungen (3 – 4 Ct/kWh zwischen Hoch- und Niedrigtarif) relevante Potenziale durch Bedarfsverlagerung erschlossen werden können (siehe Riedel 2013). Eine zukünftige Einbeziehung von Haushalten in ein Lastmanagement sollte daher nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden und hängt auch von den Tarifen sowie einer einfachen und anwenderfreundlichen technischen Unterstützung ab.

In das Lastmanagement in Gebäuden können darüber hinaus zukünftig weitere Aggregate, z.B. Warmwasserspeicher, Kühl- und Lüftungsanlagen sowie Batterien einbezogen werden.

Diese sind aufgrund ihrer größeren Kapazität und der direkten Ansprechbarkeit über eine zentrale Schnittstelle leichter in eine Laststeuerung zu integrieren. In Forschungsprojekten (siehe z.B. Beucker et al. 2012) konnte bereits gezeigt werden, dass bei einem Überangebot von elektrischer Energie aus regenerativen Energiequellen diese z.B. auch zur Erwärmung von Warmwasserspeichern im Gebäudebestand genutzt werden kann (negative Regelenergie). Als Steuerungssignal kann z.B. ein niedriger oder negativer Börsenstrompreis genutzt werden. Umgekehrt können Kühl- und Lüftungsanlagen im Falle von Nachfragespitzen im Stromnetz kurzfristig gedrosselt werden und so zur Netzstabilisierung (positive Regelenergie) beitragen. Dies wird bereits in zahlreichen Ländern mit hohen Nachfragespitzen im Stromnetz praktiziert. Ebenfalls denkbar ist, dass dezentrale Stromerzeugungsanlagen in Gebäuden (z.B. Blockheizkraftwerke, Photovoltaikanlagen) kurzfristig und lokal/regional für eine Einspeisung in das Stromnetz genutzt werden, um Lastspitzen auszugleichen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung von Laststeuerung in Gebäuden und Privathaushalten ist ein Angebot an variablen bzw. dynamischen Stromtarifen und Einspeisemodellen, das die Entwicklung entsprechender Dienste und Produkte motiviert. Gleiches gilt für die Schaffung einer Infrastruktur an intelligenten Messsystemen bzw. Zählern, über die die Preissignale an die Haushalte übermittelt und die Tarife abgerechnet werden können.

11.3.1 Trends

Auf die haushaltsbezogenen Potenziale für die Reduktion des Energiebedarfs und des Lastmanagements soll aufgrund der unterschiedlichen vorliegenden Erfahrungen nicht weiter eingegangen werden. Es wird zudem davon ausgegangen, dass die hierfür notwendige technische Ausstattung von Wohnungen und Endgeräten (Sensorik, Aktorik) keine signifikante Erhöhung beim Energiebedarf verursacht. Die für die Ansteuerung der Endgeräte (z.B. Waschmaschine, Kühlschrank) notwendigen Steuerungselemente, wie sie bereits heute von Herstellern angeboten werden, weisen mit durchschnittlichen Leistungsaufnahmen von wenigen Watt im Aktiv- bzw. im Idle-Modus (siehe auch Kap. 11.2.4) einen geringen Energiebedarf auf. Selbst im Fall einer fiktiven Vollausrüstung aller Haushalte mit schaltbaren Geräten (je einem Kühlschrank, einer Waschmaschine und einer Spülmaschine mit Sensor/ Aktor) würde dieser bei geschätzten 2,1 GW liegen damit keinen signifikanten IKT-bedingten Mehrbedarf zur Folge haben⁶⁵. In diese Kalkulation sind Effekte aus der Verlagerung des elektrischen Energiebedarfs in Niedriglast bzw. Tarifzeiten nicht einbezogen.

Für den gegebenenfalls aus der Steuerung und der Vernetzung der Stromverbraucher resultierenden Mehrbedarf an Energie gelten die gleichen Grundannahmen hinsichtlich der Vernetzungsstruktur, wie in bereits in Kap. 11.2.5 erläutert. Es sind daher folgende Szenarien vorstellbar:

- Im optimalen Fall (grünes Szenario) kann das Strommanagement als zusätzlicher Dienst über eine bereits bestehende Infrastruktur aus Smart Metern, Smart Meter Gateways oder eine anderen bestehenden Plattform (z.B. Embedded PC des Dezentralen Energiemanagements oder Telekommunikationsgateway) erfolgen. Dies ist technisch möglich und hätte mit Ausnahme der bereits erwähnten Aktorik/ Sensorik keinen signifikanten zusätzlichen Energiebedarf zur Folge, da die Verbräuche der existierenden Geräte bereits auf andere Dienste allokiert werden. Dieses Szenario muss daher nicht weiter betrachtet werden.
- Im weniger optimalen Fall (graues Szenario) wird eine eigene Plattform, z.B. die eines Energieversorgers oder Aggregators zur Vernetzung der Geräte und dem

⁶⁵ Bei 40 Mio. Haushalten a 6 W (drei Geräten a 2 Watt je Sensor/ Aktor) und angenommen Dauerbetrieb bzw. Standby (24 Stunden und 365 Tage).

Betrieb der Abrechnungsdienste im Haushalt installiert. In diesem Fall gelten die bereits in Kap. 11.2.5 beschriebenen Annahmen. Der Mehrbedarf an Energie hängt in diesem Fall von der Art der genutzten Plattform (Embedded PC oder Gateway), ihrer Nutzung und der Anzahl der insgesamt in den Haushalten installierten Systeme ab. Nach derzeitigem Erkenntnisstand kann die Anzahl der Systeme, sollen diese auch Funktionen des Lastmanagements übernehmen und variable bzw. dynamische Tarife nutzen, die der Smart Meter bzw. Smart Meter Gateways nicht überschreiten, da diese eine notwendige Voraussetzung für die Übermittlung der entsprechenden Preis- oder Tarifsignale sind. Dieses Szenario wird in Kap. 11.3.5 aufgegriffen.

- Eine Variante des vorangegangenen Szenarios ist der Fall eines verstärkten Ausbaus von Energiemanagementsystemen (zusätzliches Szenario), die deutlich über die in der Roadmap des BMWi prognostizierten Zahlen (siehe Kap. 11.1.1) zu Smart Metern und Smart Meter Gateways hinausgeht. In Verbindung mit variablen Stromtarifen könnte sich ein eigener Markt für Strom- und Lastmanagementsysteme entwickeln. Treibende Faktoren hierfür könnten, neben variablen bzw. dynamischen Stromtarifen, z.B. die verstärkte Eigenstromnutzung aus hauseigenen Energieerzeugungsanlagen (z.B. Blockheizkraftwerke oder Photovoltaikanlagen) oder die Speicherung von Strom in hauseigenen Senken (z.B. Batterien oder Elektromobilen) sein. Der daraus resultierende Strommehrbedarf für die Steuerung und Wandlung der Energieformen würde deutlich über dem grauen Szenario liegen, müsste jedoch gegen die erzielbaren Einsparungs- und Verlagerungseffekte abgewogen werden. Die Erschließung weiterer haushaltsbezogener Verlagerungspotenziale hängt damit von einer Vielzahl rechtlicher und marktbezogener Faktoren ab. Um die Dimension eines Ausbaus zu skizzieren, soll ein fiktives Beispiel anhand der Integration von Elektromobilen in das Strommanagement von Haushalten erläutert werden. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass bis zu Jahr 2020 eine Million Elektromobile (Ziel der Bundesregierung) in das Strommanagement von Haushalten integriert werden soll. Dieses Szenario wird ebenfalls in Kap. 11.3.5 aufgegriffen.

11.3.2 Bestand

Der aktuelle Bestand von Systemen für das Strommanagement in Privathaushalten beläuft sich nach Auskunft von Branchenkenner⁶⁶ im Bereich einiger zehntausend Installationen, die im Wesentlichen auf Forschungsprojekte oder private Initiative, z.B. zur Steuerung von Photovoltaikanalgen, zurückzuführen sind. Diese tragen bisher nicht in relevantem Maß zu einem Mehrbedarf an elektrischer Energie bei. Noch geringer ist der Bedarf für die Ladeelektronik im Bereich Elektromobilität.

11.3.3 Nutzungsmuster

Energiemanagementsysteme sind durchgehend im Betrieb (24 Stunden, 365 Tage im Jahr). Eine Differenzierung von Nutzungsmustern wird anhand von aktiven und Idle-Zeiten eines Gateways vorgenommen, da dies der Realität der angebotenen Produkte am nächsten kommt.

11.3.4 Leistungsaufnahme

Die technischen Anforderungen an Gateways für das Strommanagement sind mit denen in Kap. 11.2 beschriebenen Komponenten für das dezentrale Energiemanagement identisch.

Im Fall der in privaten Haushalten eingesetzten Gateway-basierten Systeme wird von 10 W im Betriebs- und 4 W im Idle-Modus ausgegangen. Im Fall von Embedded PCs oder sehr

⁶⁶ Diese Angaben beruhen auf nicht öffentlich zugänglichen Angaben zu Verkaufszahlen von Anbietern entsprechender Systeme.

effizienten Gateways könnte die Leistungsaufnahme niedriger sein (3-4 W im Betriebsmodus und 2 W im Idle-Modus). Für den Fall des Strommanagements wird von einem kontinuierlichen Betriebsmodus ausgegangen, da permanent Leistungsaufnahmen erfasst und mit dem Angebot aus dem Netz oder den eignen Erzeugungsanlagen abgeglichen werden.

Hinzu kommen Steuerungselemente (Sensoren/ Aktoren) für die Ansprache von Stromverbrauchern (z. B. Haushaltgeräte) wobei diese, wie bereits erwähnt, aufgrund des geringen Gesamtenergiebedarfs nicht betrachtet werden sollen.

Im Falle des Beispiels zur Elektromobilität wird von einer zusätzlichen Leistungsaufnahme (Eigenbedarf) der Ladestation von 5 W im Standby ausgegangen⁶⁷.

11.3.5 Energiebedarf

Im nachfolgenden Abschnitt werden von denen in Kap. 11.3.1 beschriebenen Szenarien das graue sowie das erweiterte Szenario für Strommanagement und der daraus resultierende Mehrbedarf weiter ausgeführt. Wie bereits erwähnt, wird im grauen Szenario davon ausgegangen, dass sich eine eigene Geräteklasse nur für das Strom- und Lastmanagement herausbildet. Stark vereinfachend wird angenommen, dass die Anzahl der Systeme an die Verbreitung von Smart Metern als Signallieferant gebunden ist. Folglich werden die gleichen Stückzahlen zugrunde gelegt. Weiterhin wird von einem Gateway-basierten System mit einer Leistungsaufnahme von aktuell 10 W und einer leichten Verbesserung des Wertes analog der in Kap. 11.2.5 beschriebenen Entwicklung ausgegangen. Es wird allerdings mit kontinuierlichem Betrieb gerechnet.

Im zusätzlichen Szenario wird die Elektromobilität als alleiniger Treiber für die Verbreitung von Strommanagementsystemen analysiert. Damit soll der Einfluss einer einzelnen Maßnahme auf einen Mehrbedarf untersucht werden. Dabei wird von dem stark vereinfachten Fall ausgegangen, dass das Ziel der Zulassung von einer Million Elektromobile bis zum Jahr 2020 erreicht wird und sich diese Zahl bis 2025 verdoppelt. Es wird zudem angenommen, dass alle Elektromobile in das Strommanagement von privaten Haushalten eingebunden werden. Folglich fallen Strommanagementsystem in entsprechender Anzahl und nach obiger Charakterisierung an. Zusätzlich werden Ladestationen mit Kommunikationseinrichtungen und Einbindung in das Strommanagement in entsprechender Anzahl benötigt. Für diese wird ein Dauerbetrieb (7 Tage, 24 Stunden) bei einer gleichbleibenden Leistungsaufnahme von 5 W angenommen. Die Wandlungsverluste des eigentlichen Ladevorgangs, die stark von der Ladeleistung, dem Batterietyp und der Ladeelektronik im Fahrzeug abhängen werden nicht berücksichtigt.

Tabelle 11-5: Bestand und voraussichtlicher Energiebedarf von Strommanagementsystemen bis zum Jahr 2025

Strommanagement	2010	2015	2020	2025
Gerätebestand	[Mio. Stück]	[Mio Stück]	[Mio Stück]	[Mio Stück]
Strommanagement (pessimist. Szenario)	-	0,4	14,9	24,8
Strommanagement (zusätzlich. Szenario)	-	0,01	1	2

⁶⁷ Diese Angaben beruhen auf Datenblättern zur Ladeelektronik sowie Angaben von Anbietern entsprechender Produkte.

Strommanagement	2010		2015		2020		2025	
Nutzungsmuster	Aktiv [h]	Idle [h]	Aktiv [h]	Idle [h]	Aktiv [h]	Idle [h]	Aktiv[h]	Idle [h]
Strommanagement (pessimist. Szenario)	-	-	24	-	24	-	24	-
Strommanagement (zusätzlich. Szenario)	-	-	24	-	24	-	24	-
Durchschnittliche Leistungsaufnahme	Aktiv [W]	Idle [W]						
Strommanagement (pessimist. Szenario)	-	-	10	-	8	-	6	-
Strommanagement (zusätzlich. Szenario)	-	-	10 + 5	-	8 + 5	-	6 + 5	-
Jahresenergiebedarf	Pro Produkt [kWh/a]	Bestand [GWh/a]						
Strommanagement (pessimist. Szenario)	-	-	88	35	70	1.044	53	1.314
Strommanagement (zusätzlich. Szenario)	-	-	131	1	114	114	95	190

Aus den Szenarien wird ersichtlich, dass selbst bei großen Stückzahlen und relativ hohen gerätespezifischen Energieverbräuchen (z.B. des Gateways) der zusätzliche Gesamtenergiebedarf aus dem Strommanagement keine hohen Größenordnungen erreicht - in diesem Fall zusätzliche 1.044 GW Energiebedarf im Jahr 2025. Die zusätzlichen Verbräuche müssen zudem ins Verhältnis zu den erzielten absoluten und relativen Einsparungen aus den Verlagerungspotentialen des Energiebedarfs gesetzt werden. Um die realen Effizienzgewinne zu bewerten, wäre jedoch eine detaillierte Untersuchung des zukünftigen Energieerzeugungsportfolios und der Verlagerbarkeit des haushaltsbezogenen Energiebedarfs notwendig.

Aus dem Vergleich der Szenarien und der produktspezifischen Verbräuche wird deutlich, dass jede zusätzliche Anwendung des Energiemanagements, in diesem Fall die Steuerungs- und Kommunikationseinheit der Ladetechnik, den spezifischen Energiebedarf signifikant erhöhen. Daraus folgt im Umkehrschluss, dass für eine effiziente Umsetzung des Energiemanagements (Heizenergie und Strom) im Gebäudebereich und in der Gebäudeautomation eine Bündelung von Funktionen und Diensten auf wenigen, effizienten Plattformen von großer Bedeutung ist.

12 Alternative Entwicklungsszenarien im Detail

Im Folgenden sind die Annahmen der alternativen Entwicklungsszenarien detailliert beschrieben. Die zusammengefassten Ergebnisse finden sich in Kapitel 4.

12.1 Szenarien Rechenzentrum

Für Rechenzentren werden insgesamt acht Entwicklungsvarianten untersucht. Zu jedem der vier Teilbereiche Server, Speicher, Netzwerk und Infrastruktur werden eine grüne und eine graue Entwicklungsvariante formuliert. Diese werden in den folgenden Abschnitten kurz dargestellt. Die grünen Entwicklungsvarianten bilden das übergreifende Grüne Szenario, während die grauen Entwicklungsvarianten ein Graues Szenario bilden. Die einzelnen Entwicklungsvarianten sind jeweils so formuliert, dass sie nicht unwahrscheinliche Extreme darstellen, sondern aus aktueller Sicht unter Berücksichtigung der aktuellen Trends die Spannweite der realistischen Entwicklung angeben. Revolutionäre neue Technologien, deren Auftreten im Bereich der IKT im Betrachtungszeitraum von zehn Jahren durchaus möglich ist, werden hierbei nicht betrachtet. Tabelle 12-1 stellt die berechneten Energiebedarfe für das grüne Szenario und das graue Szenario im Vergleich zur Basisprognose in der Übersicht dar. Dabei wird jeweils angenommen, dass alle grünen bzw. grauen Annahmen gleichzeitig eintreten.

Im grünen Szenario wird sich der Energiebedarf der Rechenzentren bis zum Jahr 2025 zwar erhöhen, aber der Anstieg ist deutlich geringer als in der Basisprognose. Während in der Basisprognose mit einem Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren zwischen 2015 und 2025 von 37 % gerechnet wird, liegt dieser Anstieg im grünen Szenario bei nur 14 %. Die Energiebedarfe des IKT-Equipments im grünen Szenario steigen weiter an, der Energiebedarf der Infrastruktur sinkt zwischen 2015 und 2025 um 15 %.

Im grauen Szenario ist dagegen mit einem deutlich höheren Anstieg des Energiebedarfs als in der Basisprognose zu rechnen. Er steigt zwischen 2015 und 2025 um 57 %.

Tabelle 12-1: Basisprognose, Grünes Szenario und graues Szenario Rechenzentren: Jährlicher Energiebedarf in den Jahren 2010, 2015, 2020 und 2025

Basisprognose	2010	2015	2020	2025
Energiebedarf pro Jahr	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
Server gesamt	3.692	4.310	5.541	6.967
Speicher gesamt	1.746	2.357	2.814	3.348
Netzwerk gesamt	345	356	601	616
Infrastruktur gesamt	4.700	4.970	5.314	5.452
Rechenzentren Gesamt	10.483	11.993	14.270	16.383
Grünes Szenario	2010	2015	2020	2025
Energiebedarf pro Jahr	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
Server gesamt	3.692	4.310	5.185	6.031
Speicher gesamt	1.746	2.357	2.736	2.889
Netzwerk gesamt	345	356	536	463
Infrastruktur gesamt	4.700	4.970	4.892	4.240
Rechenzentren Gesamt	10.483	11.993	13.349	13.623

Graues Szenario	2010	2015	2020	2025
Energiebedarf pro Jahr	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
Server gesamt	3.692	4.310	6.148	7.873
Speicher gesamt	1.746	2.357	2.898	3.845
Netzwerk gesamt	345	356	733	812
Infrastruktur gesamt	4.700	4.970	5.751	6.286
Rechenzentren Gesamt	10.483	11.993	15.530	18.816

Um die Auswirkungen der Annahmen in den einzelnen Entwicklungsvarianten zu analysieren, wird in den folgenden Abschnitten jeweils dargestellt, wie sich der Energiebedarf der Rechenzentren entwickeln würde, wenn jeweils nur eine der acht Entwicklungsvarianten R1 bis R8 eintritt. Wie oben schon ausgeführt, bilden Rechenzentren ein komplexes System von Einzelkomponenten, das nicht unabhängig voneinander ist. Veränderungen in einem Teilbereich haben in der Regel immer auch Auswirkungen auf die anderen Bereiche. Aus Analyse-zwecken wird dies im Folgenden ausgeblendet.

12.1.1 Entwicklungsvariante R1: Grüne Prognose Server

In der grünen Prognose für Server R1 wird davon ausgegangen, dass die Auslastung insbesondere durch noch mehr Servervirtualisierung stärker ansteigt als in der Basisprognose. Es wird eine mittlere Auslastung bei Volumen-Servern im Jahr 2025 von 60 % statt 50 % wie in der Basisprognose angenommen. Dadurch kann bei gleicher Rechenleistung 17 % der Serverhardware bei Volumen-Servern eingespart werden. Außerdem wird angenommen, dass die zunehmende Virtualisierung und Konzepte zum Lastmanagement von Servern dazu führen, dass mehr Server in Phasen, in denen sie nicht genutzt werden, heruntergefahren oder in einen energiesparenden Stand-by-Modus versetzt werden. Hierdurch reduziert sich der Energiebedarf der Server in den Phasen ohne Last im Jahr 2025 im Durchschnitt um 30 %. Abbildung 12-1 stellt dar, wie sich diese Annahmen auf die Entwicklung des Energiebedarfs von Servern im Vergleich zur Basisprognose auswirken. Die Entwicklungsvariante R1 führt zu einer Reduzierung des Energiebedarfs der Rechenzentren um ca. 510 GWh im Jahr 2020 (-3,8 %) und um ca. 1.320 GWh (-8,1 %) im Jahr 2025.

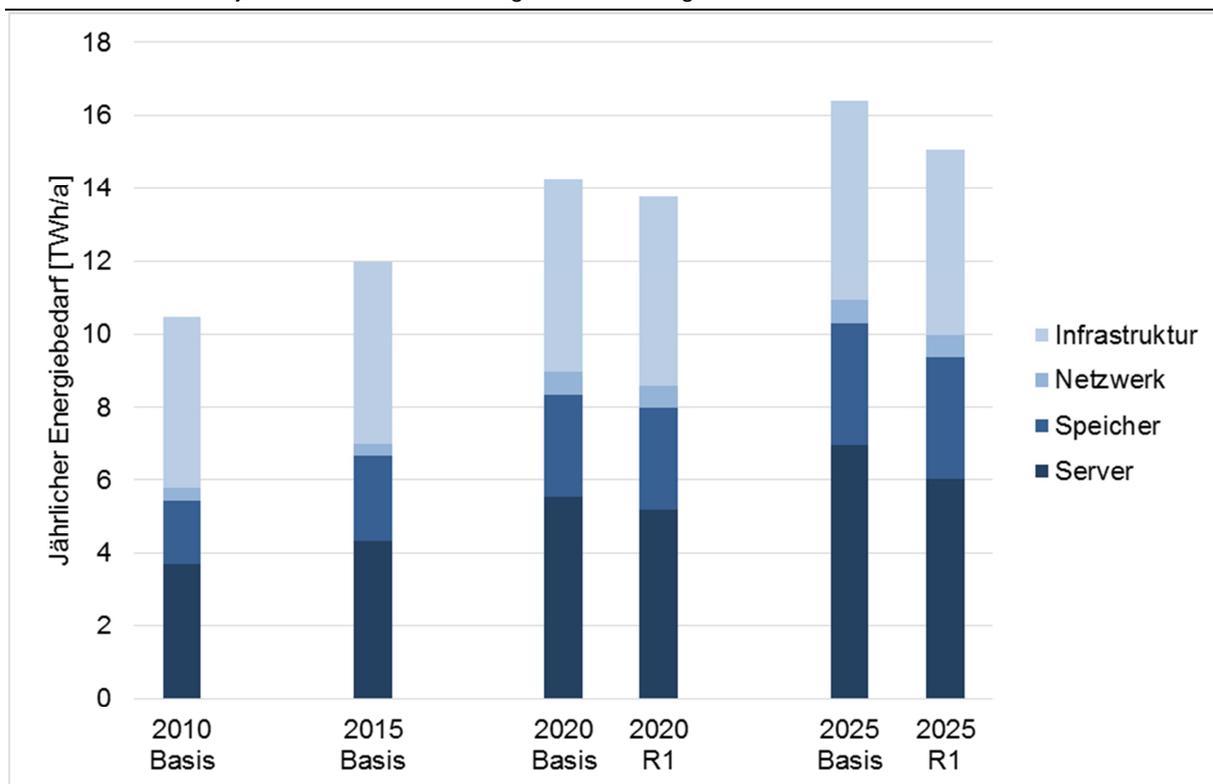


Abbildung 12-1: Server: Grüne Entwicklungsvariante R1 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.1.2 Entwicklungsvariante R2: Grüne Prognose Speicher

In der grünen Prognose für Speicher R2 wird angenommen, dass in Zukunft noch mehr SSD Festplatten und Flash-Speicher eingesetzt werden. Der Anteil der SSD-Festplatten an allen verkauften Festplatten im Jahr 2025 steigt auf 60 % statt auf 43 % wie in der Basisprognose angenommen. Außerdem wird durch den Einsatz von Deduplizierung und Komprimierung eine verbesserte Auslastung der Festplatten um 10 % erreicht. Damit müssen im Jahr 2025 20 % weniger Festplatten angeschafft werden.

Die Entwicklungsvariante R2 führt zu einer Reduzierung des Energiebedarfs der Rechenzentren um 120 GWh im Jahr 2020 (-0,8 %) und um 660 GWh (-4 %) im Jahr 2025 im Vergleich zur Basisprognose (Abbildung 12-2).

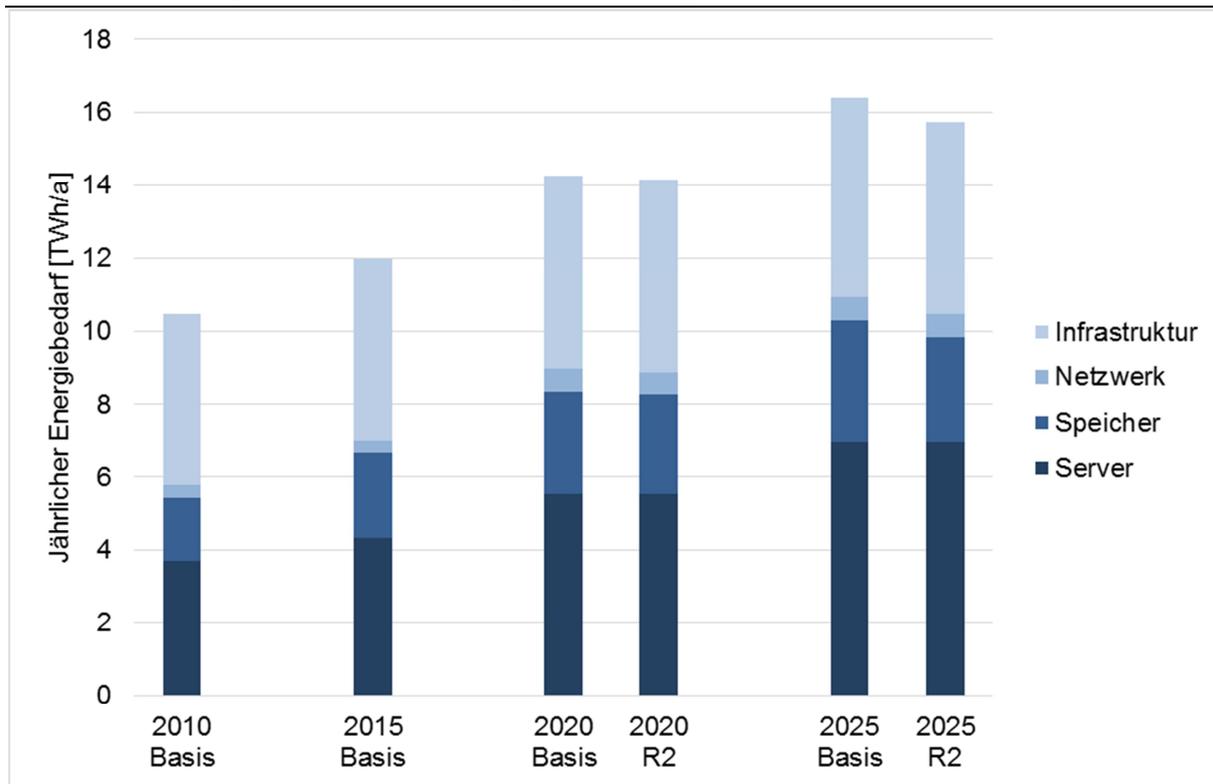


Abbildung 12-2: Speicher: Grüne Entwicklungsvariante R2 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.1.3 Entwicklungsvariante R3: Grüne Prognose Netzwerk

In der grünen Prognose R3 wird davon ausgegangen, dass durch eine beschleunigte Verbreitung des Green Ethernet Standards eine Absenkung der Energiebedarfe pro Port im Jahr 2025 von 20 % erreicht werden kann.

Die Entwicklungsvariante R3 führt nur zu einer minimalen Reduzierung des Energiebedarfs der Rechenzentren im Jahr 2020 (-10 GWh) gegenüber der Basisprognose. Auch im Jahr 2025 ist die erreichte Reduktion mit 30 GWh (-0,2 %) sehr gering (Abbildung 12-3).

Insbesondere bei Netzwerktechnik ist anzumerken, dass eine Verringerung der Geräteanzahl in den Bereichen Server und Speicher auch zu einer deutlichen Verringerung des Bedarfs an Netzwerkports führen würde. Die Einsparungen, die sich im Bereich Netzwerk ergeben, sind daher in den übergreifenden Szenarien höher.

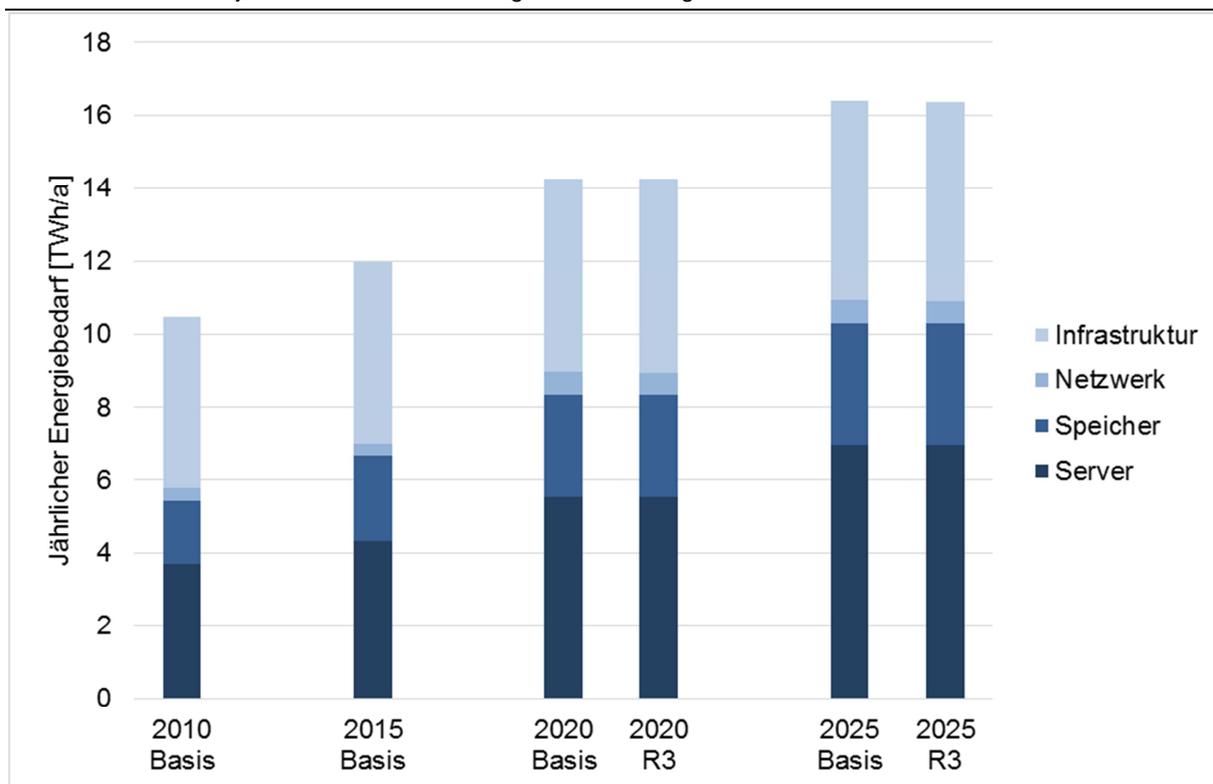


Abbildung 12-3: Netzwerk: Grüne Entwicklungsvariante R3 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.1.4 Entwicklungsvariante R4: Grüne Prognose Infrastruktur

In der grünen Prognose R4 wird davon ausgegangen dass die Infrastruktursysteme in Rechenzentren in Zukunft etwas schneller ausgetauscht werden. Es wird von einer schrittweisen Absenkung der durchschnittlichen Nutzungsdauer von Infrastruktur-Equipment um drei Jahre bis zum Jahr 2025 ausgegangen. Außerdem wird der Anteil der schlecht ausgelasteten USV-Anlagen verringert. Statt 30 % sind nur noch 15 % der Anlagen im Jahr 2025 schlecht ausgelastet.

Die Entwicklungsvariante R4 führt zu einer Reduzierung des Energiebedarfs der Rechenzentren um ca. 200 GWh im Jahr 2020 (-1,4 %) und um 610 GWh (-3,8 %) im Jahr 2025 im Vergleich zur Basisprognose (Abbildung 12-4).

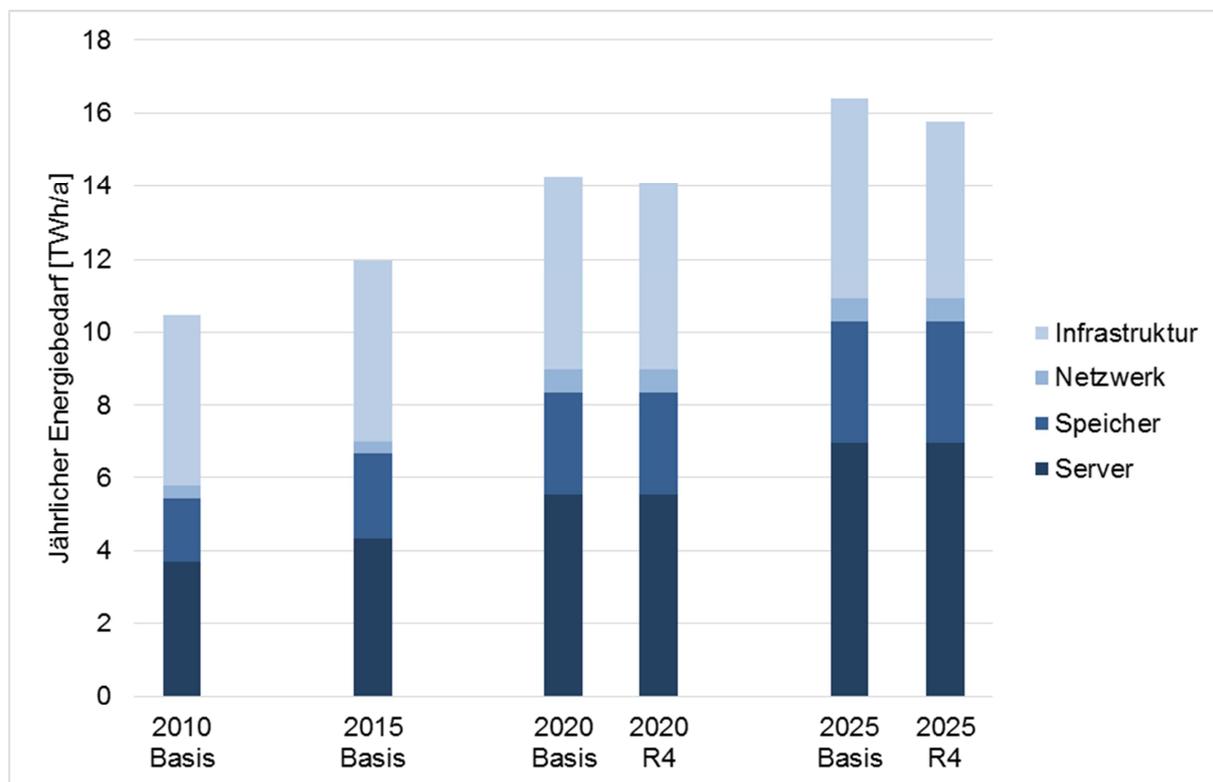


Abbildung 12-4: Infrastruktur: Grüne Entwicklungsvariante R4 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.1.5 Entwicklungsvariante R5: Graue Prognose Server

In der grauen Prognose R5 wird davon ausgegangen, dass die Auslastung bei Volumen-Servern sich nicht so stark erhöht wie in der Basisprognose angenommen. Es wird von einer durchschnittlichen Auslastung von 40 % statt von 50 % ausgegangen. Damit wird 20 % mehr Serverhardware bei Volumen-Servern benötigt.

Die Entwicklungsvariante R5 führt zu einer Erhöhung des Energiebedarfs der Rechenzentren um 880 GWh im Jahr 2020 (+6,1 %) und um ca. 1.300 GWh (+7,9 %) im Jahr 2025 im Vergleich zur Basisprognose (Abbildung 12-5).

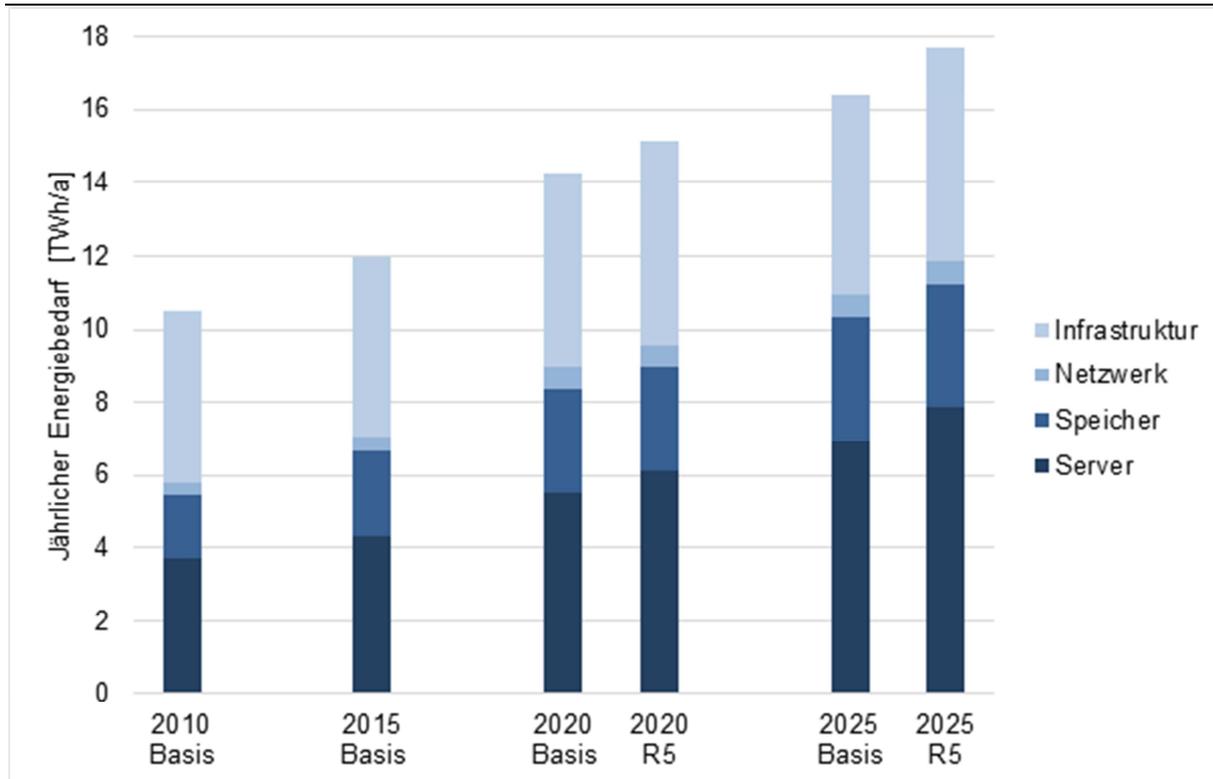


Abbildung 12-5: Server: Graue Entwicklungsvariante R5 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.1.6 Entwicklungsvariante R6: Graue Prognose Speicher

In der grauen Prognose R6 wird davon ausgegangen, dass sich Flash-Speicher und SSD-Festplatten weniger schnell durchsetzen als in der Basisprognose angenommen. Im Jahr 2025 wird der Anteil von SSD-Festplatten an den verkauften Festplatten bei 30 % liegen, statt bei 43 % wie in der Basisprognose angenommen. Außerdem werden weniger Technologien zur Verbesserung der Auslastung von Festplatten wie Deduplizierung und Kompression verwendet. Die Auslastung verschlechtert sich um ca. 10 %, so dass im Jahr 2025 etwa 20 % mehr Festplatten angeschafft werden müssen.

Die Entwicklungsvariante R5 führt zu einer Erhöhung des Energiebedarfs der Rechenzentren um 130 GWh im Jahr 2020 (+0,9 %) und um ca. 710 GWh (+4,4 %) im Jahr 2025 im Vergleich zur Basisprognose (Abbildung 12-6).

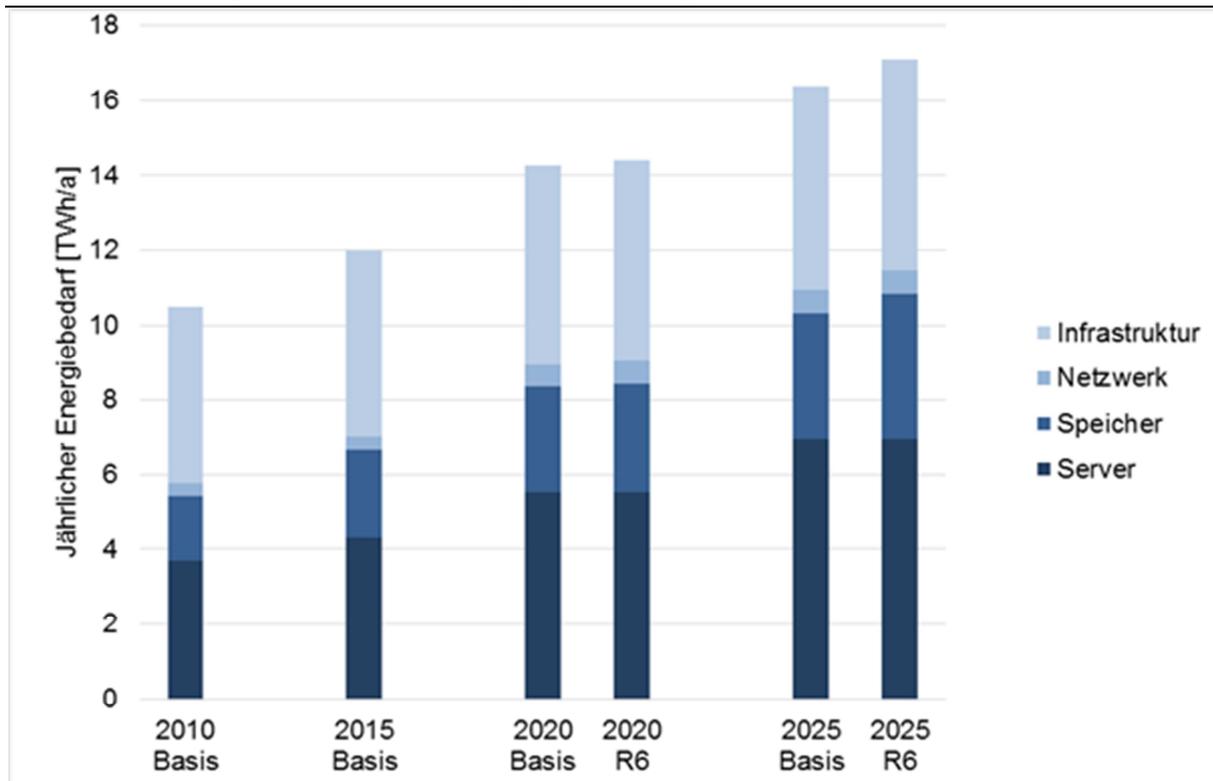


Abbildung 12-6: Speicher: Graue Entwicklungsvariante R6 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.1.7 Entwicklungsvariante R7: Graue Prognose Netzwerk

In der grauen Prognose R7 wird von einer weniger schnellen Verbesserung der Energieeffizienz bei Netzwerktechnik ausgegangen. Die Energiebedarfe pro Port im Jahr 2025 erhöhen sich im Vergleich zu Basisprognose um 20 %.

Die Entwicklungsvariante R7 führt nur zu einer minimalen Erhöhung des Energiebedarfs der Rechenzentren im Jahr 2020 (+10 GWh) gegenüber der Basisprognose. Auch im Jahr 2025 ist die Erhöhung mit 30 GWh (+0,2 %) sehr gering (Abbildung 12-7). Da erhöhte Server- und Speicherkapazitäten auch zu mehr Netzwerktechnik führen, sind die Erhöhungen im Bereich Netzwerk in den übergreifenden Szenarien größer.

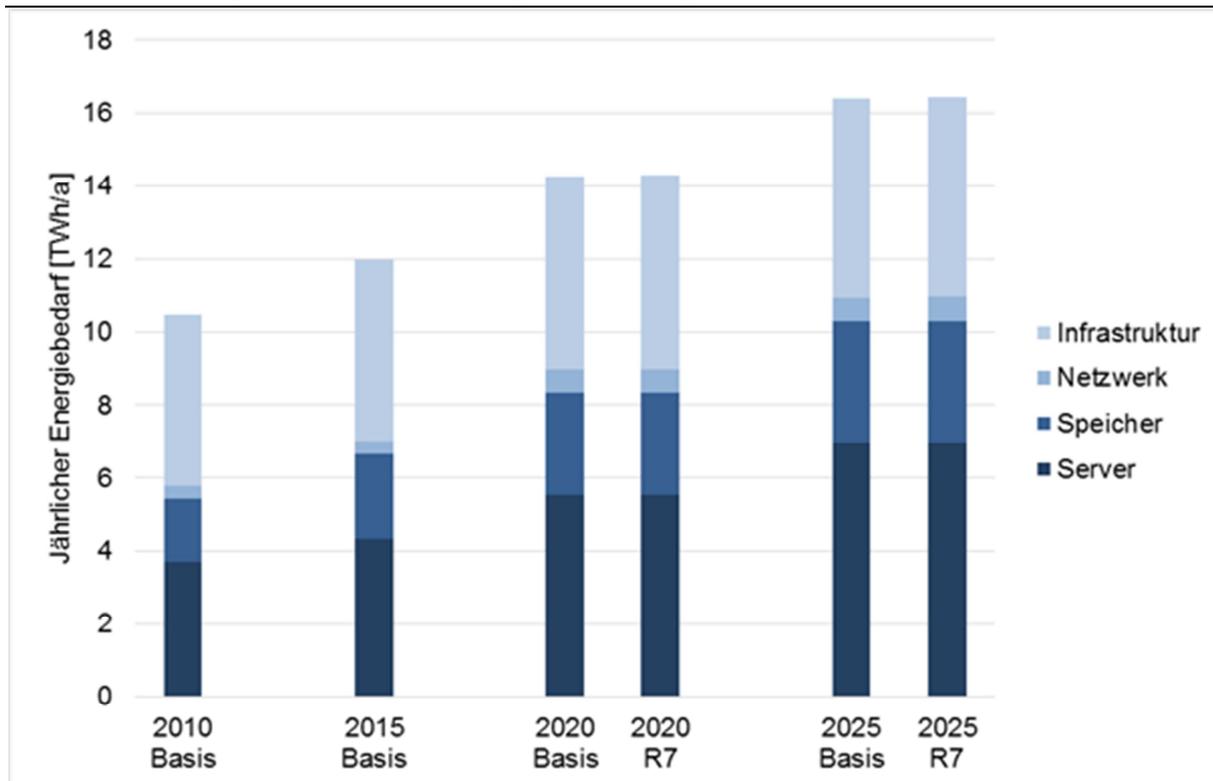


Abbildung 12-7: Netzwerk: Graue Entwicklungsvariante R7 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.1.8 Entwicklungsvariante R8: Graue Prognose Infrastruktur

In der grauen Prognose R8 wird davon ausgegangen, dass altes Infrastrukturequipment zum Teil länger genutzt wird als in der Basisprognose. Die durchschnittliche Nutzungsdauer der Komponenten verlängert sich schrittweise bis zum Jahr 2025 um drei Jahre.

Die Entwicklungsvariante R8 führt zu einer geringen Erhöhung des Energiebedarfs der Rechenzentren um 70 GWh im Jahr 2020 (+0,5 %) und um ca. 190 GWh (+1,1 %) im Jahr 2025 im Vergleich zur Basisprognose (Abbildung 12-8).

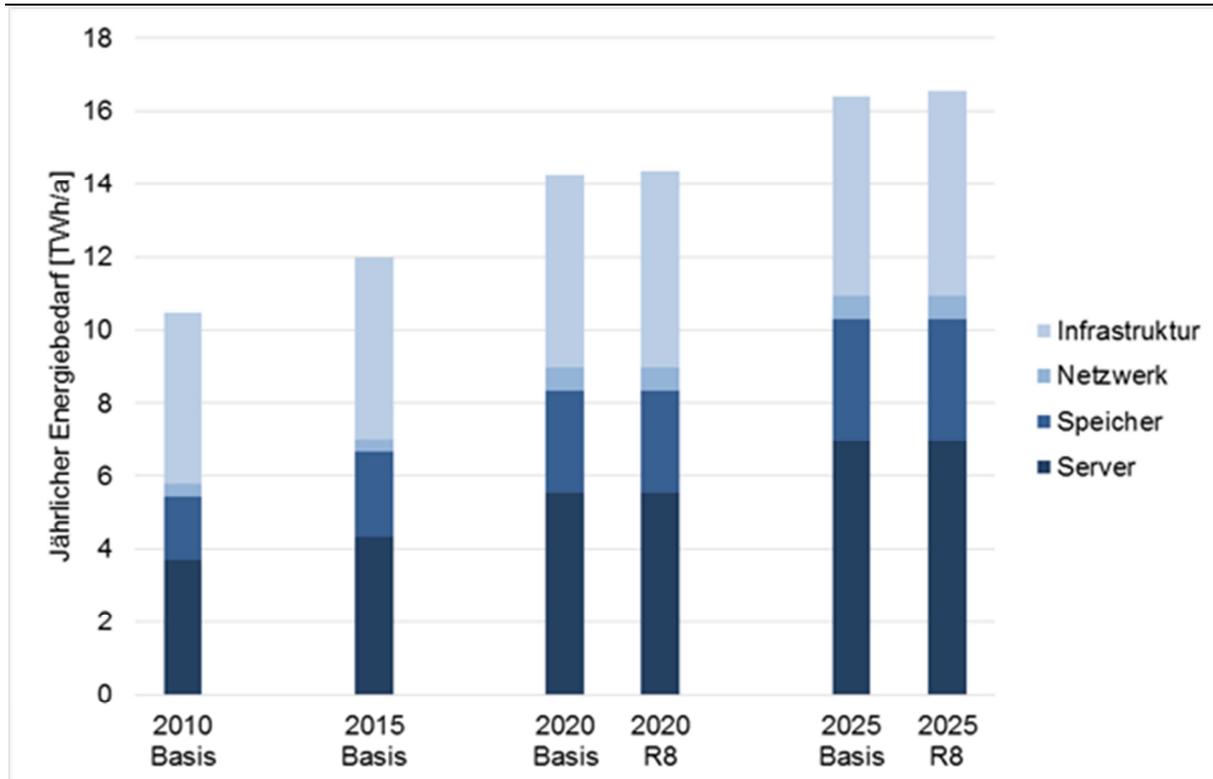


Abbildung 12-8: Infrastruktur: Graue Entwicklungsvariante R8 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.2 Szenarien Telekommunikation

Die Entwicklung des Energiebedarfs der Telekommunikationsnetze wird langfristig durch mehrere gegenläufige Faktoren bestimmt. Die Steigerung der Anschlusszahl und des zu transportierenden Datenvolumens könnte den Energiebedarf bei gleichbleibender Technologie und Dimensionierung der Netze grundsätzlich ansteigen lassen. Positiv könnte sich hingegen in allen Netzbereichen eine optimierte Netzarchitektur bzw. Dimensionierung mit einem hohen Beschaltungsgrad der Netzelemente, eine schnelle Modernisierung der Technik und damit die Bereitstellung einer hohen Bandbreite, sowie die Befähigung zum lastadaptiven Betrieb auswirken. Diese prinzipiellen Überlegungen liegen den folgenden zwei Szenarien zugrunde.

In der grünen Prognose wird insbesondere eine Verbesserung der Leistungsaufnahme pro Netzelement angenommen. Dahinter verbirgt sich ein Spektrum potentieller Verbesserungsmaßnahmen wie die Steigerung des Beschaltungsgrades der Netzelemente, die Verbesserung des Wirkungsgrades der Stromversorgung und ein teilweise lastadaptiver Betrieb insbesondere in der Nacht. Da singuläre Maßnahmen nur zu recht kleinen Energieeinsparungen führen, werden im Fall der Telekommunikationsnetze mehrere Maßnahmen bzw. entsprechende Annahmen in ein „Grünes Szenario“ integriert.

In der grauen Prognose wird davon ausgegangen, dass sich die Modernisierungsmaßnahmen verzögern und die Netze vor dem Hintergrund des Verkehrsanstieges leicht überdimensioniert ausgebaut werden. Diese Entwicklung wird prinzipiell durch eine Erhöhung der Leistungsaufnahme pro Anschluss abgebildet. Ähnlich wieder bei der grünen Prognose werden auch bei der grauen Prognose mehrere Annahmen in ein einzelnes „Graues Szenario“ zusammengefasst.

Im Folgenden werden die Annahmen der alternativen Entwicklungsszenarien detailliert beschrieben. Die zusammengefassten Ergebnisse finden sich in Kapitel 4.2.

12.2.1 Grünes Szenario T1

Im grünen Szenario werden folgenden Annahmen getroffen:

- Für alle drei Kernnetze wird für die Jahre 2020 und 2025 bereits ein lastadaptiver Betrieb in den Nachtstunden angenommen. Hierdurch reduziert sich die durchschnittliche Anzahl der Netzknoten von 4 auf 3,5. Diese Annahme basiert auf Forschungsergebnissen des Projektes DESI im Rahmen des BMWi-Technologieprogramms IT2Green.
- Es wird ein stärkerer Ausbau der direkten Glasfaseranschlüsse (FTTH) durch eine Umlage von zwei Millionen VDSL-Anschlüssen angenommen. Gleichzeitig wird ein höherer Beschaltungsgrad und lastadaptiver Betrieb der FTTH-Netzelemente angenommen, wodurch sich die elektrische Leistungsaufnahme pro Anschluss von 6 Watt in 2015 auf 5 W in 2020 und 4 Watt in 2025 reduziert.
- Im Mobilfunkzugangsnetz wird durch Implementierung neuerer Technik einschließlich eines lastadaptiven Betriebs die durchschnittliche Leistungsaufnahme aller Mobilfunkanlagen um ca. 20 % alle fünf Jahre reduziert. Hierdurch reduziert sich die durchschnittliche Leistungsaufnahme einer Anlage von 600 Watt in 2020 und auf 480 Watt in 2025.

Im Ergebnis führen diese Annahmen im 2020 Szenario zu einer Energieeinsparung von etwa 0,6 TWh und in 2025 um 1,1 TWh gegenüber dem Basisszenario (vgl. Abbildung 12-9). Die bedeutsamsten Einsparungen sind für die jeweiligen Kernnetze zu verzeichnen. Eine angemessenen Dimensionierung und lastadaptive Steuerung der Netze haben grundsätzlich gute Einsparpotentiale.

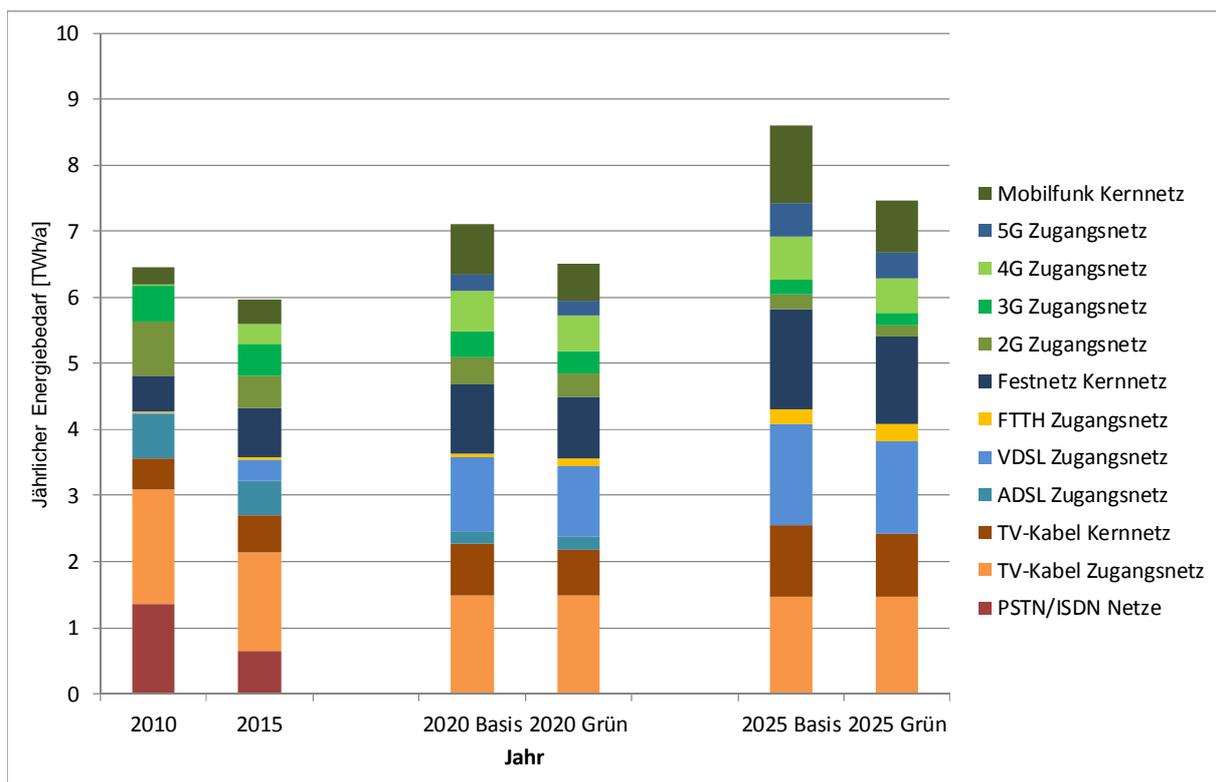


Abbildung 12-9: Prognose Telekommunikationsnetze Grünes Szenario

12.2.2 Graues Szenario T2

Im grauen Szenario werden folgende Annahmen getroffen:

- Für alle drei Kernnetze wird für die Jahre 2020 und 2025 ein Netzausbau ohne der Möglichkeit einer lastadaptiven Steuerung angenommen. Um dieses Trend der Überdimensionierung abzubilden wird im Szenario die durchschnittliche Anzahl der Netzknoten von 4 auf 5 erhöht.

- Eine weitere Annahme spiegelt den suboptimalen Netzausbau vor dem Hintergrund stetig steigender Anschlusszahlen und zu transportierender Datenvolumen wieder. In den Zugangsnetzen wird eine entsprechend höhere Kapazität zur Verfügung gestellt, jedoch diese leicht überdimensioniert, d.h. die Netzelemente haben einen geringen Beschaltungsgrad, sodass die Leistungsaufnahme pro Anschluss leicht steigt. So wird im Szenario sowohl der VDSL-Wert (W/Anschluss) von 5 Watt auf 6 Watt in 2020 und 2025 als auch der FTTH-Wert (W/Anschluss) von 6 Watt auf 7 Watt erhöht.
- Im Mobilfunkbereich wird vor dem Hintergrund des rasch zunehmenden mobilen Datenverkehrs die Annahme getroffen, dass die neuen Technologien 4G und 5G leicht überdimensioniert ausgebaut werden und gleichzeitig die älteren Technologien 2G und 3G hardwareseitig langsamer erneuert bzw. in SRAN integriert werden. Zudem wird angenommen, dass die Mobilfunkanlagen kaum lastadaptiv betrieben werden. Im Berechnungsmodell werden diese Annahmen über eine konstant bleibende elektrische Leistungsaufnahmen bei allen Technologien abgebildet.
- Vor dem Hintergrund der angenommenen Überdimensionierung wird des Weiteren angenommen, dass sich der PUE nicht weiter verbessert und ab 2020 auf Faktor 1,5 einfriert.

Im Ergebnis dieser Annahmen verändert sich die Prognose in Summe recht deutlich. Der resultierende elektrische Energiebedarf steigt demnach in 2020 auf 8,0 TWh an, was 0,9 TWh mehr ist im Vergleich zur Basisprognose. Im Jahr 2025 wächst der Energiebedarf dann auf 10,4 TWh an und übersteigt damit die Basisprognose um 1,8 TWh. Substantiell wirken sich die Annahmen insbesondere in den Kernnetzen aus. Andererseits wirkt sich die Zunahme des Datenverkehrs nicht linear auf den Energiebedarf der Netze aus. Wie bereits mehrfach in dieser Studie festgestellt wurde, sind die verfügbaren Daten im Bereich der Telekommunikationsnetze leider sehr begrenzt, um präzisere Szenarien zu erstellen. Daher wird empfohlen, energierelevante Daten der Telekommunikationsnetze in Zukunft genauer zu erfassen, um solche Prognosen auf einer noch besseren Datenbasis abzusichern.

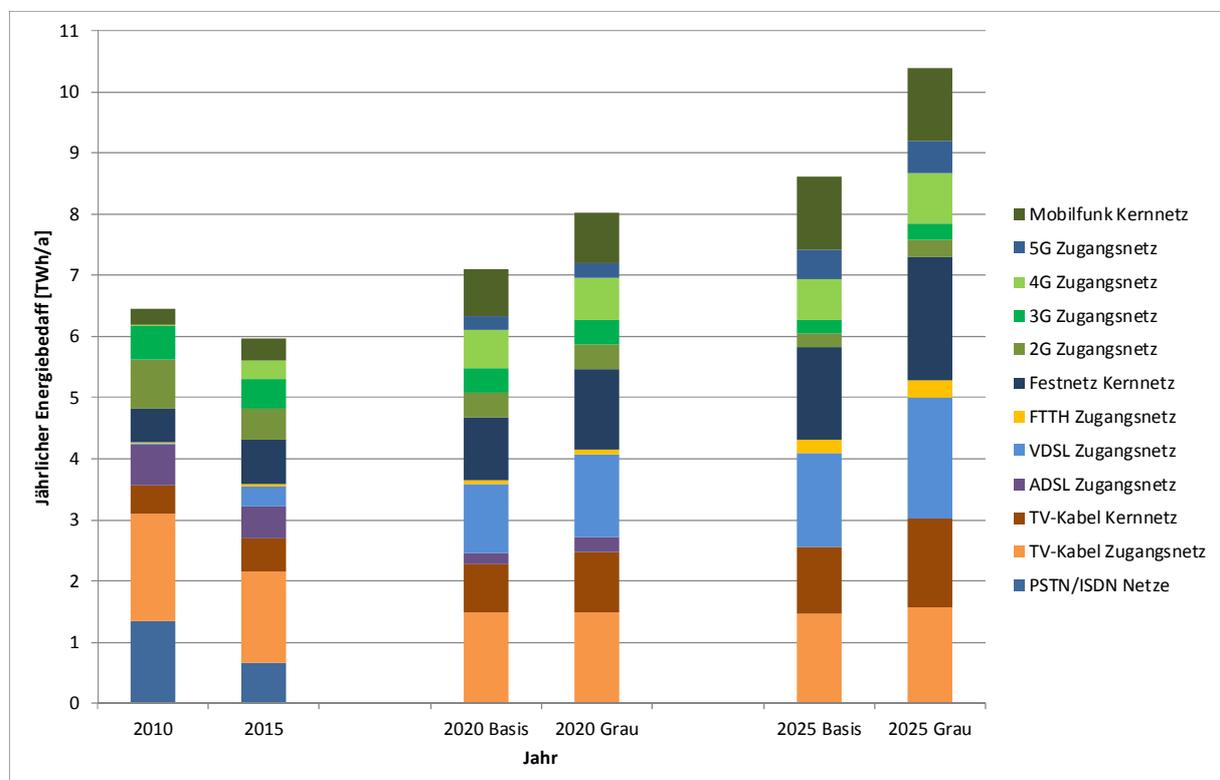


Abbildung 12-10: Prognose Telekommunikationsnetze Graues Szenario

12.3 Szenarien Arbeitsplatz

Für IKT an Arbeitsplätzen werden sechs Entwicklungsvarianten betrachtet. Zwei grüne Szenarien beleuchten positivere Entwicklungen bei Datennetzen und Telefonen, eines geht von effizienteren Desktop-PCs und eines von der langsamerer Verbreitung zusätzlicher Tablet-computer aus. Zwei graue Szenarien fokussieren auf abnehmende Effizienzgewinne aller Geräte und eine stärkere Verbreitung sehr großer Monitore.

Grüne Entwicklungsvarianten:

- A1: Deutliche Förderung der Verbreitung des Energy Efficient Ethernet Standards IEEE 802.3az. Mit Blick auf das Jahr 2020 wird der Aktiv-Mode bei 1 GBit LAN auf zwei Watt, bis 2025 auf ein Watt sinken.
- A2: Verbreitung energiesparender Technologien mit Blick auf WLAN-Geräte (Halbierung Aktiv-Mode auf 5 Watt bis 2025) und Telefone (Stopp des Anstiegs bei vier Watt).
- A3: Höhere Effizienzgewinne innerhalb eines schrumpfenden Bestandes an Desktop-PCs, die Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb fällt von 40 Watt in 2015 linear auf 15 Watt in 2025
- A4: Langsamere Verbreitung zusätzlicher Tablets: In 2025 wird nicht an jedem zweiten, sondern nur an jedem vierten Arbeitsplatz ein zusätzliches Tablet vorhanden sein.

Graue Entwicklungsvarianten:

- A5: Einfrieren der Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme ab 2016 im gesamten Bestand
- A6: Verbreitung der 27“ bis 32“ Monitore auf 30 % des Bestandes bei 150 % der Leistungsaufnahme der 22“ bis 24“ Kategorie.

Insgesamt zeigt sich, dass auf den gesamten Bestand gesehen nur die grünen Szenarien A1 und A2 und das pauschale graue Szenario A5 wahrnehmbar etwas an der Gesamttendenz ändern. Szenario A1 führt im Jahr 2025 zu einer Abnahme gegenüber dem Basisszenario um 0,43 TWh/a (-7,8 %), Szenario A2 zu einer Abnahme gegenüber dem Basisszenario um 0,41TWh/a (-7,5 %) und Szenario A5 zu einer Zunahme um 2,5 TWh/a (+38,7 %).

12.3.1 Entwicklungsvariante A1: Verbreitung des Energy Efficient Ethernet Standards IEEE 802.3az

Entwicklungsvariante A1 fokussiert auf eine schnellere Verbreitung des Energy Efficient Ethernet Standards IEEE 802.3az. Es geht davon aus, dass im Jahr 2020 die Leistungsaufnahme von 1 Gbit LAN Netzen pro Port auf zwei Watt im Aktiv-Betrieb (1,6 Watt im Standby) sinkt, bis 2025 pro Port auf ein Watt im Aktiv-Betrieb (0,86 Watt im Standby).

Die Entwicklungsvariante A1 führt 2020 zu einer Verringerung des Gesamtenergiebedarfs an Arbeitsplätzen um 0,48 TWh/a bzw. 7,5 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2020 und bis 2025 um 0,43 TWh/a bzw. 7,8% gegenüber der Basisprognose im Jahr 2025.

- 2020: -0,48 TWh/a (-7,5 %)
- 2025: -0,43 TWh/a (-7,8 %)

12.3.2 Entwicklungsvariante A2: energiesparende Technologien für WLAN-Geräte und Telefone

Entwicklungsvariante A2 geht von der schnelleren Verbreitung energiesparender Technologien bei WLAN-Geräten und Telefonen aus. Es wird angenommen, dass die Leistungsaufnahme von WLAN-Geräten im Aktiv-Mode bis 2025 auf fünf Watt halbiert werden kann und

dass die Leistungsaufnahme von stationären Telefonen auf maximal vier Watt begrenzt werden kann.

Die Entwicklungsvariante A2 führt 2020 zu einer Verringerung des Gesamtenergiebedarfs an Arbeitsplätzen um 0,21 TWh/a bzw. 3,2 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2020 und bis 2025 um 0,41 TWh/a bzw. 7,5 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2025.

- 2020: -0,21 TWh/a (-3,2 %)
- 2025: -0,41 TWh/a (-7,5 %)

12.3.3 Entwicklungsvariante A3: Hocheffiziente Desktop-PCs

Die Entwicklungsvariante A3 nimmt höhere Effizienzgewinne innerhalb des schrumpfenden Bestandes an Desktop-PCs an. Hier fällt die Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb von 40 Watt in 2015 linear auf 15 Watt in 2025.

Die Entwicklungsvariante A3 führt 2020 zu einer Verringerung des Gesamtenergiebedarfs an Arbeitsplätzen um 0,04 TWh/a bzw. 0,6 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2020 und bis 2025 um 0,08 TWh/a bzw. 1,5 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2025.

- 2020: -0,04 TWh/a (-0,6 %)
- 2025: -0,08 TWh/a (-1,5 %)

12.3.4 Entwicklungsvariante A4: weniger Tablet-Computer an Arbeitsplätzen

Entwicklungsvariante A4 nimmt die langsamere Verbreitung zusätzlicher Tablets an: In 2025 wird nicht an jedem zweiten, sondern nur an jedem vierten Arbeitsplatz ein zusätzliches Tablet vorhanden sein. Der Bestand wächst also weniger stark. Ausgehend von einem Bestand von 3,1 Mio. Geräten an Arbeitsplätzen in 2015 erreicht dieser in der Entwicklungsvariante A4 in 2020 nur 6,9 Mio. Geräte (Basisszenario 9,4 Mio.) und in 2025 nur 8 Mio. Geräte (Basisszenario 15,4 Mio.).

Die Entwicklungsvariante A4 führt 2020 zu einer Verringerung des Gesamtenergiebedarfs an Arbeitsplätzen um 0,03 TWh/a bzw. 0,5 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2020 und bis 2025 um 0,11 TWh/a bzw. 2 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2025.

- 2020: – 0,03 TWh/a (-0,5 %)
- 2025: – 0,11 TWh/a (-2,0 %)

Grafisch stellen sich die Auswirkungen der Entwicklungsvarianten eins bis vier (grünes Szenario) wie folgt dar:

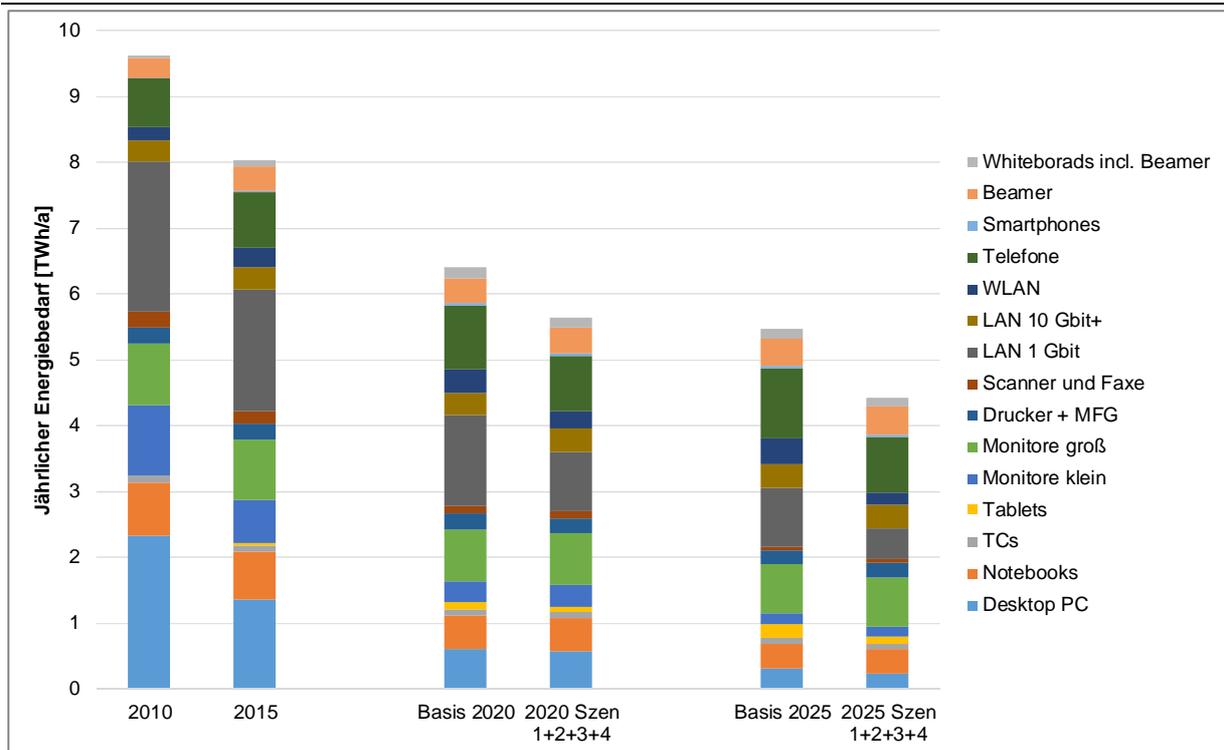


Abbildung 12-11: Grünes Szenario (Entwicklungsvarianten A1, A2, A3 und A4) im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.3.5 Entwicklungsvarianten A5: Einfrieren der elektrischen Leistungsaufnahme im gesamten Bestand

Die Entwicklungsvariante A5 beschreibt das Einfrieren der Leistungsaufnahme von Neugeräten auf dem Stand von 2015. Dafür wird angenommen, dass die Leistungsaufnahme von Neugeräten sich ab dem Jahr 2016 nicht weiter verbessert. Bei Geräten, bei denen die Leistungsaufnahme im Basisszenario steigt (akkubetriebene Geräte mit Ausnahme von Notebooks) wurden die Annahmen des Basisszenarios beibehalten.

Die Entwicklungsvariante A5 führt 2020 zu einer Erhöhung des Gesamtenergiebedarfs an Arbeitsplätzen um 0,98 TWh/a bzw. 15,2 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2020 und bis 2025 um 2,49 TWh/a bzw. 38,7 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2025.

- 2020: + 0,98 TWh/a (+ 15,2 %)
- 2025: + 2,49 TWh/a (+ 38,7 %)

12.3.6 Entwicklungsvariante A6: Verbreitung von extra großen Monitoren

Entwicklungsvariante A6 nimmt an, dass sich zusätzlich zu den 22“ bis 24“ Monitoren auch noch solche mit einer Bildschirmdiagonale von 27“ bis 32“ verbreiten und in 2020 etwa 20 % des Bestandes, in 2025 30 % des Bestandes ausmachen. Ihre Leistungsaufnahme im Aktiv-Betrieb wird auf 150 % der 22“ bis 24“ Kategorie veranschlagt.

Die Entwicklungsvariante A6 führt 2020 zu einer Erhöhung des Gesamtenergiebedarfs an Arbeitsplätzen um 0,06 TWh/a bzw. 0,9 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2020 und bis 2025 um 0,09 TWh/a bzw. 1,7 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2025.

- 2020: + 0,06 TWh/a (+ 0,9 %)
- 2025: + 0,09 TWh/a (+ 1,7 %)

Grafisch stellen sich die Auswirkungen der Entwicklungsvarianten A5 und A6 (graues Szenario) wie folgt dar:

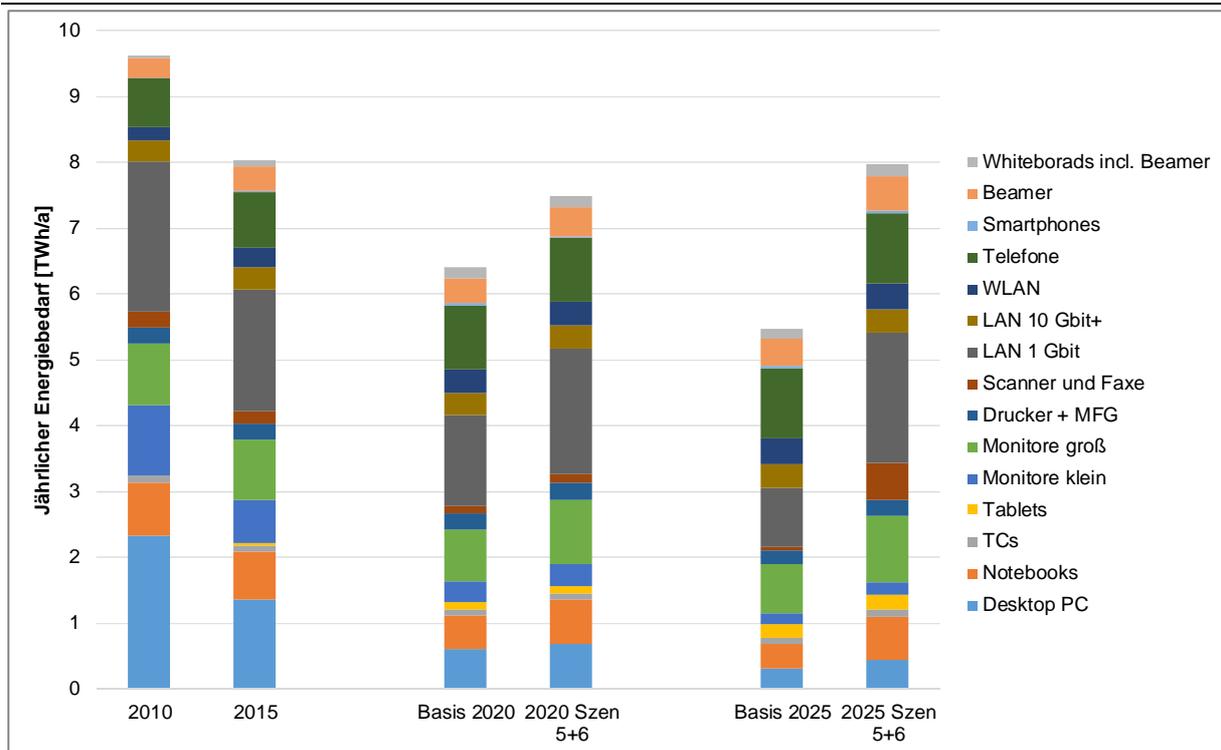


Abbildung 12-12: Graues Szenario (Entwicklungsvarianten A5 und A6) im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

Aus der Entwicklung der Szenarien können drei Schlüsse gezogen werden:

- Ob bei Desktop-PCs etwas höhere Effizienzgewinne erzielt werden, sich die Tablets mehr oder weniger stark verbreiten oder etwa noch größere Monitore aufkommen wirkt sich letztlich nicht in relevantem Umfang auf den gesamten Energiebedarf an Arbeitsplätzen aus.
- Eine Förderung der Verbreitung des Energy Efficient Ethernet Standards sowie der Verbreitung energiesparender Technologien mit Blick auf WLAN-Geräte und Telefone ist in Anbetracht des hohen Anteils, den die Netzwerktechnik am Energiebedarf schon hat und noch entwickeln wird von hoher Bedeutung und kann insgesamt bezogen auf 2025 den Energiebedarf der IT am Arbeitsplatz um gute 15 % senken.
- Das Einstellen jeglicher effizienz erhöhenden Verbesserungen und damit das Einfrieren der elektrischen Leistungsaufnahme der Geräte auf dem Stand von 2015 im gesamten Bestand wirkt sich mit einem Plus von 38,7 % stark erhöhend auf den Energiebedarf aus. Die Dynamik der Entwicklung weiterer mobiler Geräte über Smartphones und Tablets hinaus, z.B. der Wearables, lässt aber auch in Zukunft die Notwendigkeit der Verkleinerung und Effizienzverbesserung erwarten. Die hier erzielten Fortschritte werden sich insoweit auf Effizienzverbesserungen in der Breite der Geräte auswirken, ohne dass hierzu ein Eingreifen der Politik erforderlich wäre.

12.4 Szenarien Haushalte

Für IKT in Haushalten werden sechs Entwicklungsvarianten betrachtet. Im Basisszenario wird bereits eine stetige Verbesserung der IKT-Endgeräte angenommen, daher wird nur eine zusätzliche grüne Entwicklungsvariante betrachtet, sowie fünf graue Entwicklungsvarianten.

Grüne Entwicklungsvariante:

- H1: Beschleunigte Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme im gesamten Bestand

Graue Entwicklungsvarianten:

- H2: Einfrieren der Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme ab 2016 im gesamten Bestand
- H3: Graues Fernseher-Szenario mit Verschiebung des Absatzes hin zu größeren Displays und intensiverer Nutzung
- H4: Graues Computer-Szenario mit Zuwachs des Absatzes bei Desktop PCs und Monitoren und gleichbleibend hoher Nutzungsdauer
- H5: Graues Set-Top-Boxen-Szenario mit stark steigendem STB-Absatz ab 2016
- H6: Graues Router/Home-Gateway-Szenario mit wachsendem Bestand bis zu einer Durchdringung von 1,3 Geräten pro Haushalt in 2025

Insgesamt zeigt sich, dass auf den gesamten Bestand gesehen sowohl die grüne (H1), als auch die pauschal graue (H2) Entwicklungsvariante wenig an der Gesamttendenz ändern. Entwicklungsvariante H1 führt im Jahr 2025 zu einer Abnahme gegenüber dem Basisszenario um 0,4 TWh/a (-3 %), Entwicklungsvariante H2 zu einer Zunahme um 2,6 TWh/a (+17 %).

Addiert man die Effekte der grauen Entwicklungsvarianten H3, H4, H5 und H6 zu einem grauen Szenario für einzelne Produktgruppen führt dies zu einer Erhöhung der Prognose für das Jahr 2025 um 3,7 TWh/a (+28 %).

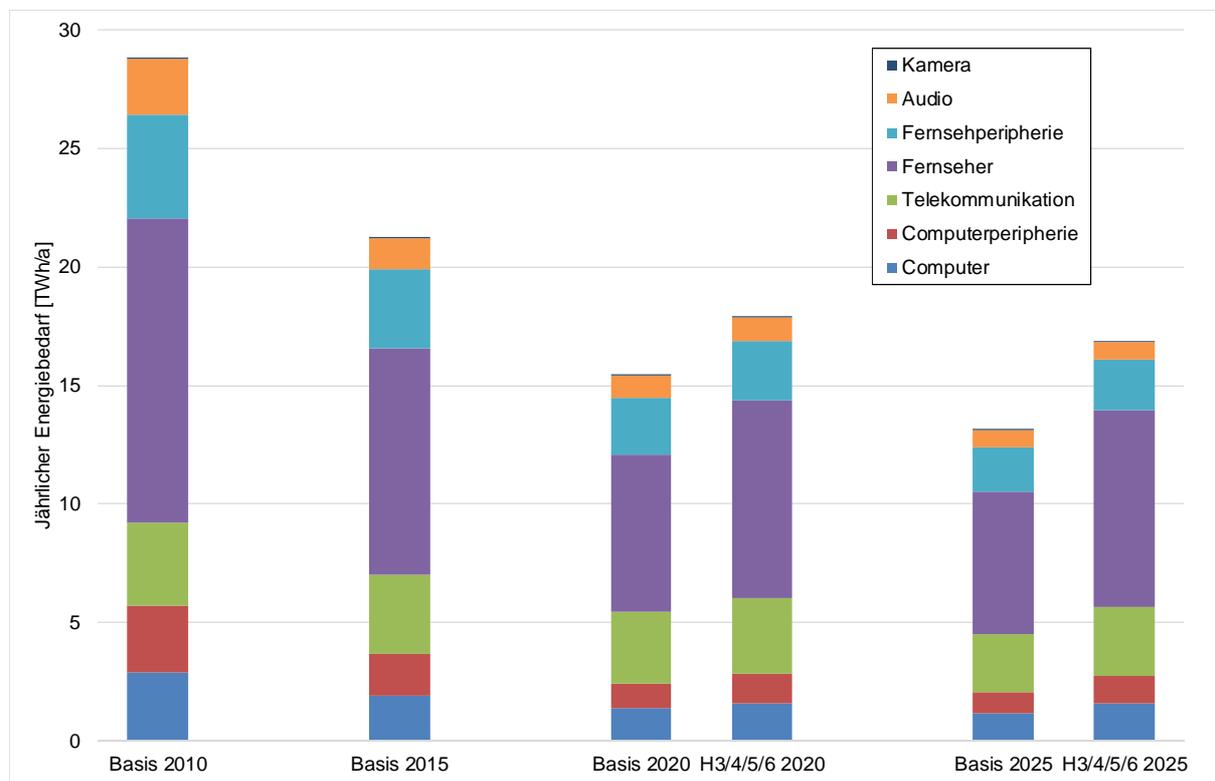


Abbildung 12-13: Graues Szenario (Entwicklungsvarianten H3, H4, H5 und H6) im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

Dabei werden 62 % der Erhöhung durch die Entwicklungsvariante H3 – also der veränderten Prognose bei den Fernsehern – verursacht.

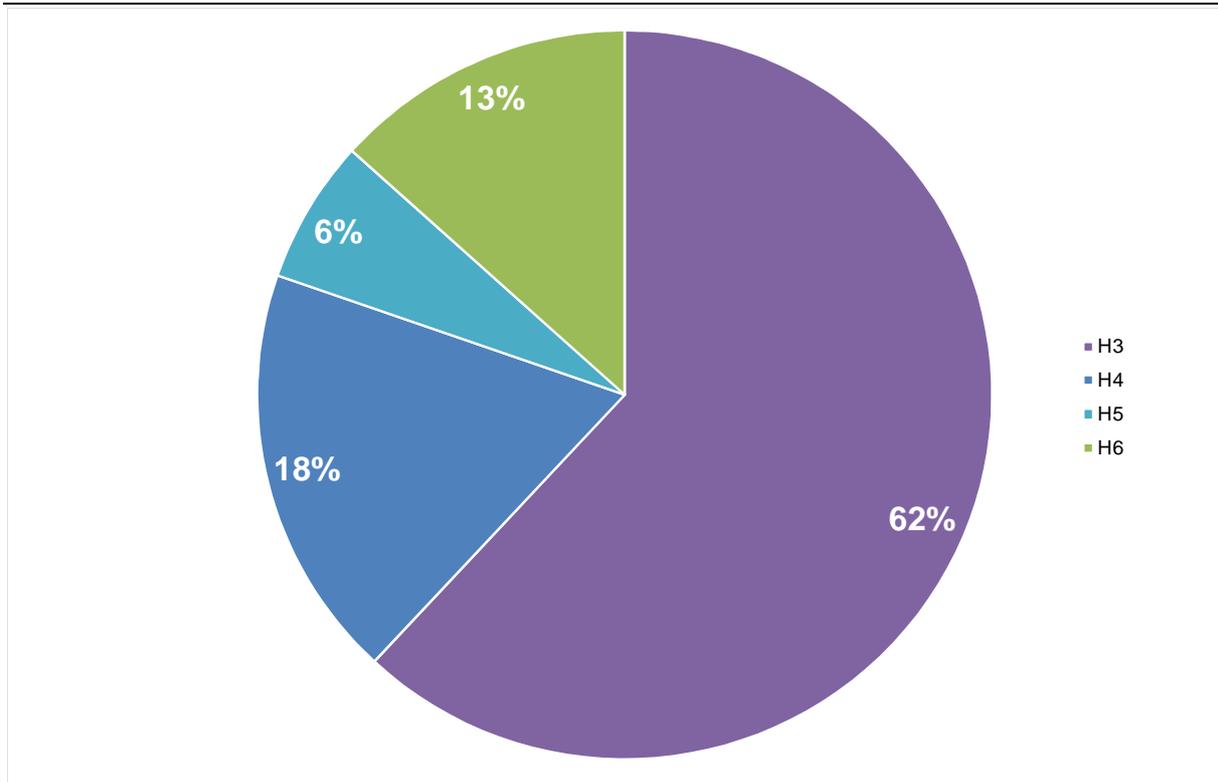


Abbildung 12-14: Anteil der Entwicklungsvarianten H3 bis H6 an der Steigerung des Energiebedarfs 2025 gegenüber der Basisprognose

Insgesamt ist die Basisprognose bereits möglichst realistisch und durch regulative Verbesserungen (z.B. Standby-Verordnung) sehr energieeffizient. Zudem sind neue mobile Produkte im Normalfall deutlich energiesparsamer als stationäre Produkte, was zu einer Reduzierung des Gesamtenergiebedarfs führt, wenn diese Produkte sich als vollwertiger Ersatz (und nicht als zusätzliche Produkte) im Markt durchsetzen. Die grauen Entwicklungsvarianten zeigen den Fall, dass bestehende Bemühungen und Prozesse der Energieoptimierung unterbrochen oder verhindert werden bzw. eine deutliche Erhöhung des Bestandes stattfindet.

12.4.1 Entwicklungsvariante H1: Beschleunigte Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme im gesamten Bestand

Für die Entwicklungsvariante H1 wird eine beschleunigte Verbesserung der elektrischen Leistungsaufnahme im Bestand angenommen. Konkret wird angenommen, dass ab dem Verkaufsjahr 2016 alle Neugeräte bereits die prognostizierte Leistungsaufnahme des Jahres 2025 aus dem Basisszenario haben.

Eine Ausnahme bilden Geräte, bei denen die Leistungsaufnahme im Basisszenario steigt (akkubetriebene Geräte mit Ausnahme von Notebooks). Für diese Geräte wurden die Annahmen der Basisprognose beibehalten. Diese Geräte haben in der Basisprognose einen Anteil von 3,5 % Anteil am Gesamtenergiebedarf der Haushalte.

Die Entwicklungsvariante H1 führt 2025 zu einer Verringerung des Gesamtenergiebedarfs der Haushalte um 0,4 TWh/a bzw. 3 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2025:

- 2020 -1,3 TWh/a (-9 %)
- 2025 -0,4 TWh/a (-3 %)

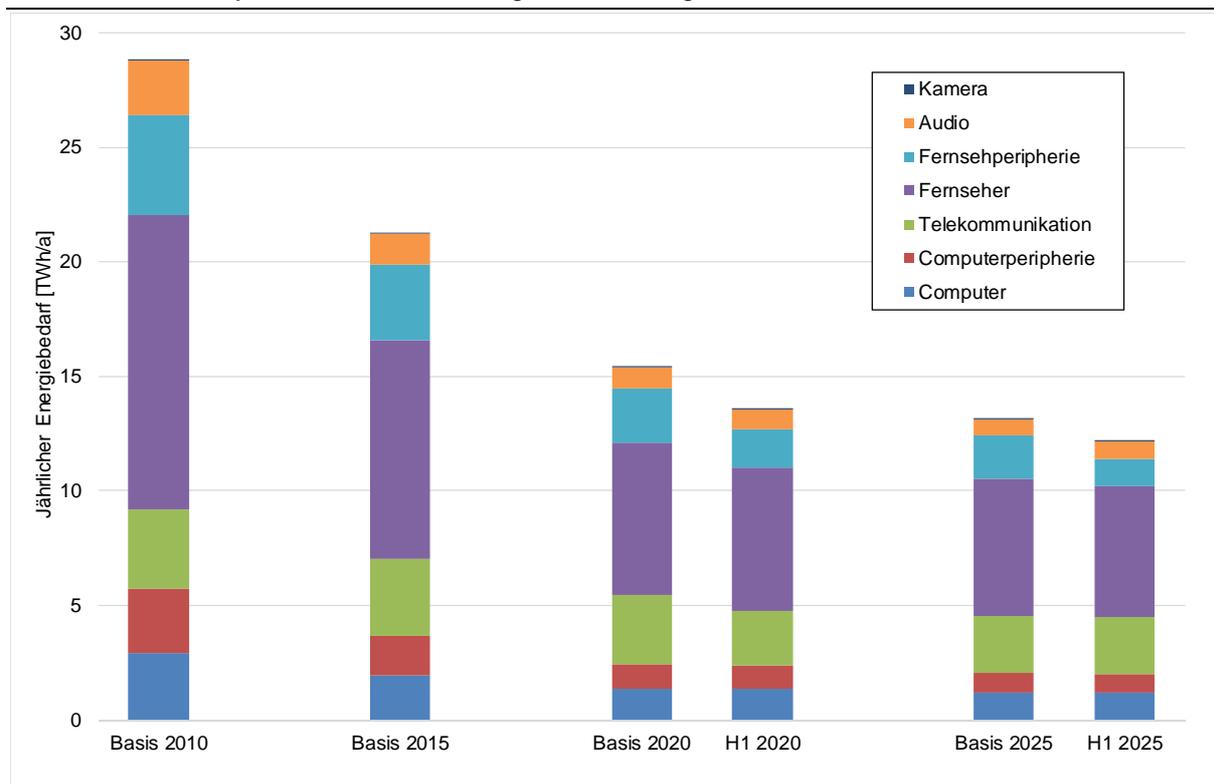


Abbildung 12-15: Entwicklungsvariante H1 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.4.2 Entwicklungsvariante H2: Einfrieren der elektrischen Leistungsaufnahme im gesamten Bestand

Die Entwicklungsvariante H2 beschreibt das Einfrieren der Leistungsaufnahme von Neugeräten auf dem Stand von 2015. Dafür wird angenommen, dass die Leistungsaufnahme von Neugeräten sich ab dem Jahr 2016 nicht weiter verbessert. Bei Geräten, bei denen die Leistungsaufnahme im Basisszenario steigt (akkubetriebene Geräte mit Ausnahme von Notebooks) wurden die Annahmen der Basisprognose beibehalten. Diese Geräte haben in der Basisprognose einen Anteil von 3,5 % am Gesamtenergiebedarf der Haushalte.

Die Entwicklungsvariante führt 2025 zu einer Erhöhung des Gesamtenergiebedarfs der Haushalte um 2,6 TWh/a bzw. 17 % gegenüber der Basisprognose für das Jahr 2025:

- 2020 +0,9 TWh/a (+ 6 %)
- 2025 +2,6 TWh/a (+17 %)

Der Vergleich mit dem Basisszenario (siehe Abbildung 12-16) zeigt, dass der Energiebedarf für die Jahre 2020 und 2025 trotz der grauen Annahmen abnimmt, was hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass Altgeräte mit hoher Leistungsaufnahme den Bestand verlassen.

Die Entwicklungsvariante H2 führt allein bei den Fernsehern für 2025 im Vergleich zur Basisprognose zu einer Erhöhung von 0,9 TWh/a, die Hälfte davon geht auf Geräte mit einer Bildschirmdiagonale von mindestens 50 Zoll zurück.

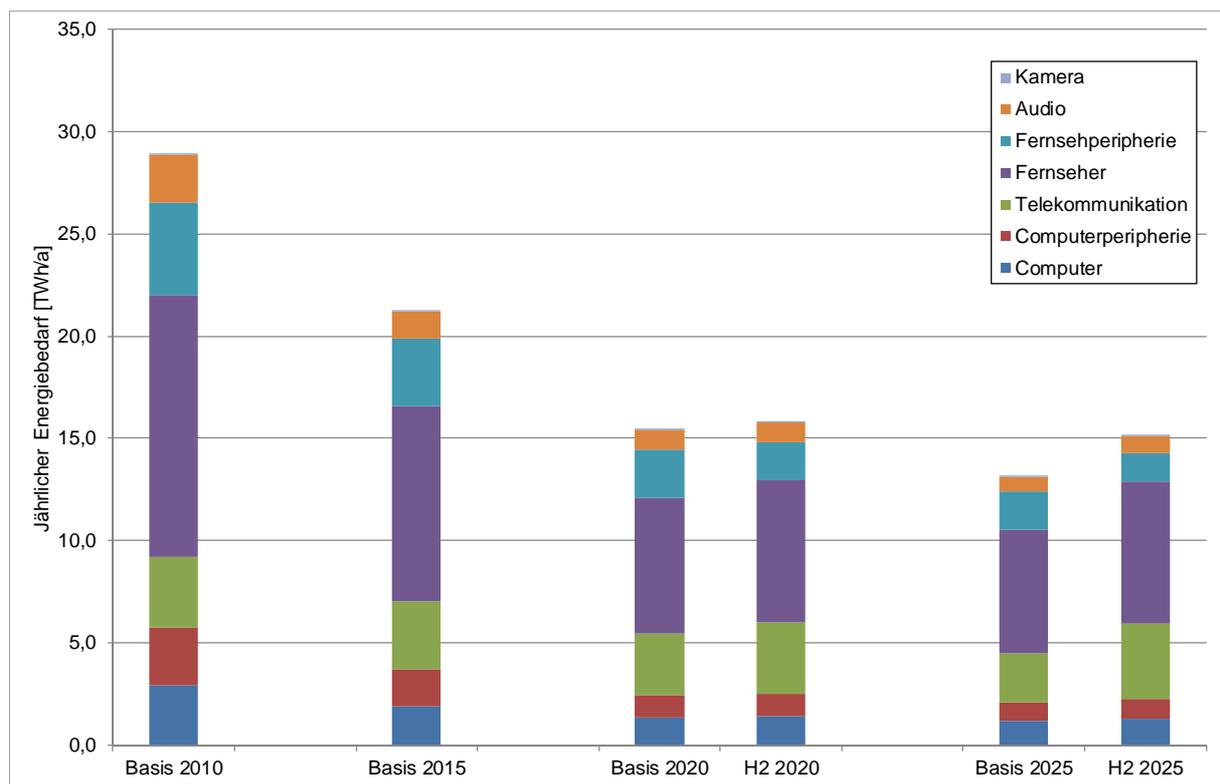


Abbildung 12-16: Entwicklungsvariante H2 im Vergleich zur Basisprognose 2010 – 2025

12.4.3 Entwicklungsvariante H3: Graue Fernseher-Entwicklungsvariante

Die Entwicklungsvariante H3 beschreibt einen stärkeren Energiebedarf der Produktkategorie Fernseher durch eine Verschiebung zu größeren Bildschirmen (über eine Umlage des TV-Absatzes ab dem Jahr 2016) sowie eine intensivere Nutzung von 5 h/d. in den Jahren 2020 und 2025.

Die Entwicklungsvariante führt 2025 zu einer Erhöhung des Energiebedarfs um 2,3 TWh/a, was einer Steigerung des Gesamtenergiebedarfs der Haushalte um 15,4 % gegenüber der Basisprognose im Jahr 2025 entspricht:

- 2020 +1,7 TWh/a (+10,1 % Haushalte Gesamt, +21 % im Fernsehercluster)
- 2025 +2,3 TWh/a (+14,8 % Haushalte Gesamt, +28 % im Fernsehercluster)

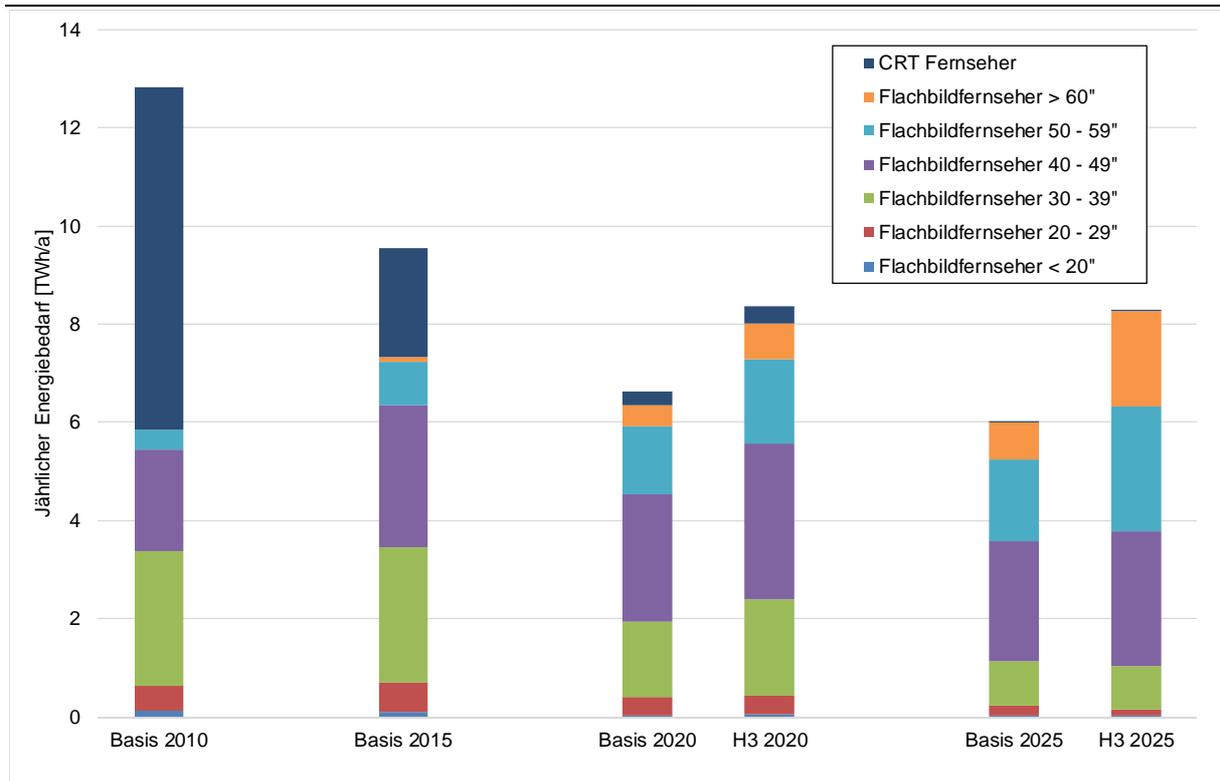


Abbildung 12-17: Entwicklungsvariante H3 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.4.4 Entwicklungsvariante H4: Graue Computer-Entwicklungsvariante

Die Entwicklungsvariante H4 beschreibt einen stärkeren Energiebedarf von Computern durch einen angenommenen Zuwachs bei den Verkaufszahlen von Desktop PCs und Monitoren ab dem Jahr 2016 (Verdopplung auf 2,5 Millionen verkaufte Geräte in 2025). Das Verhältnis von Monitoren zu Desktop PCs wird dabei ggü. dem Basisszenario annähernd gleichgelassen (1,37 Monitore pro Desktop im Basisszenario, 1,30 Monitore pro Desktop PC im Szenario H4).

Zusätzlich bleibt die tägliche Nutzungsdauer mit 4 h/d für Desktop PCs und 3,5 h/d für Monitore in den Jahren 2020 und 2025 auf einem höheren Niveau (+0,5 h ggü. dem Basisszenario).

Die Entwicklungsvariante führt 2025 zu einer Erhöhung des Energiebedarfs um 0,7 TWh/a, was einer Steigerung des Gesamtenergiebedarfs der Haushalte um 5,1 % ggü. der Basisprognose entspricht.

- 2020: +0,4 TWh/a (+2,5 % Haushalte Gesamt, +22 % für Desktop PCs und Monitore)
- 2025: +0,7 TWh/a (+4,9 % Haushalte Gesamt, +39 % für Desktop PCs und Monitore)

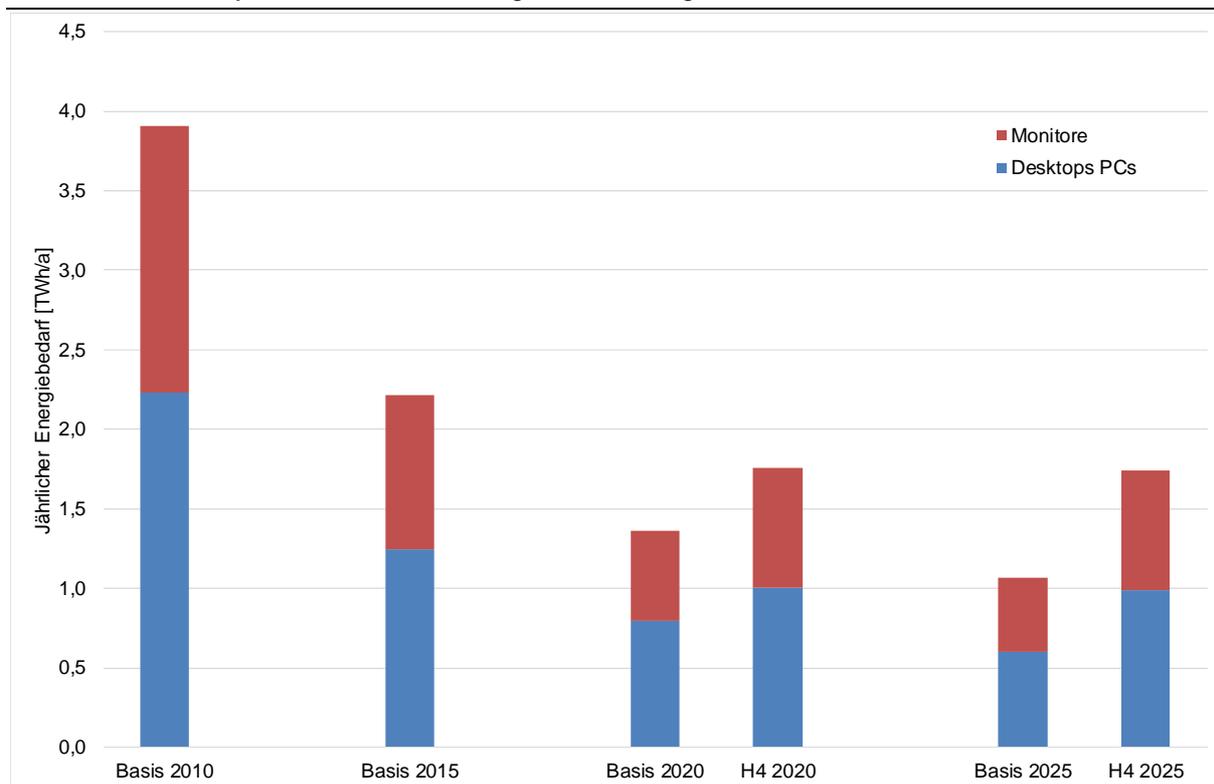


Abbildung 12-18: Szenario H4 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.4.5 Entwicklungsvariante H5: Graue Set-Top-Boxen-Entwicklungsvariante

Für die Entwicklungsvariante H5 wurde ab dem Jahr 2016 eine deutliche Zunahme des Bestands an STBs angenommen. Dadurch erhöht sich der Set-Top-Boxen Absatz im Konsumentenmarkt ab 2015 um etwa 25 % und der prognostizierte Bestand für Pay-TV Decoder um etwa 33 %. Dieser Trend reflektiert die Angebote der Kabel- und Netzbetreiber, welche ihren Kunden einen Receiver mit großer Festplatte als Aufnahmegeräte mit anbieten. Resultierend ergäbe sich daraus, dass 2025 knapp 90% der Fernseher mit einer STB ausgestattet wären ggü. etwas über 70% im Basisszenario.

Die Entwicklungsvariante führt 2025 zu einer Erhöhung des Energiebedarfs um 0,2 TWh/a, was einer Steigerung des Gesamtenergiebedarfs der Haushalte um 1,8 % ggü. der Basisprognose im Jahr 2025 entspricht:

- 2020 +0,15 TWh/a (+1,0 % Haushalte Gesamt, +11 % für STBs)
- 2025 +0,24 TWh/a (+1,8 % Haushalte Gesamt, +18 % für STBs)

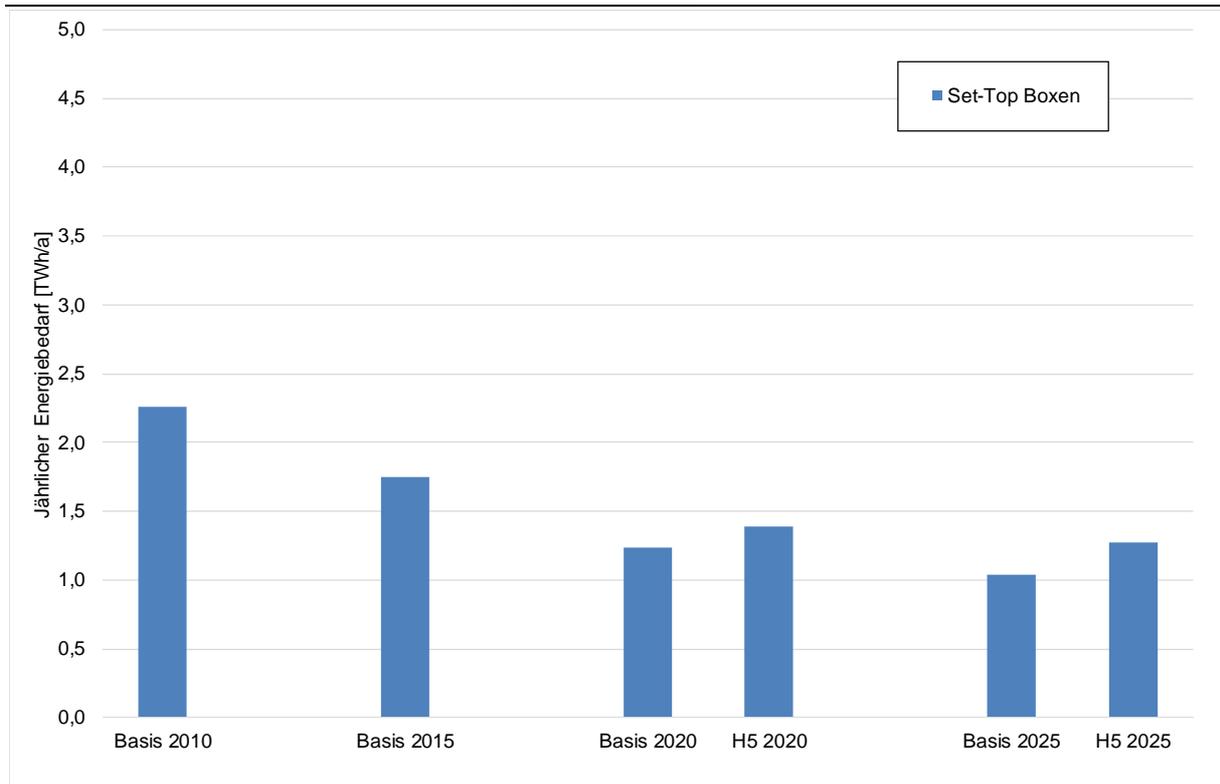


Abbildung 12-19: Entwicklungsvariante H5 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

12.4.6 Entwicklungsvariante H6: Graue Router/Home-Gateway-Entwicklungsvariante

Für die Entwicklungsvariante H6 wurde ein stark zunehmender Bestand von Routern und Home Gateways ab dem Jahr 2016 bis zu einer Durchdringung von 1,3 Geräten pro Haushalt im Jahr 2025 angenommen. Das Szenario reflektiert den ggf. erhöhten (Breitband-) Netzwerkbedarf in Haushalten.

Die Entwicklungsvariante führt 2025 zu einer Erhöhung des Energiebedarfs um 0,5 TWh/a, was einer Steigerung des Gesamtenergiebedarfs der Haushalte um 3,8 % ggü. der Basisprognose entspricht:

- 2020 +0,2 TWh/a (+1,1 % Haushalte Gesamt, + 7 % für Router)
- 2025 +0,5 TWh/a (+3,6 % Haushalte Gesamt, +22 % für Router)

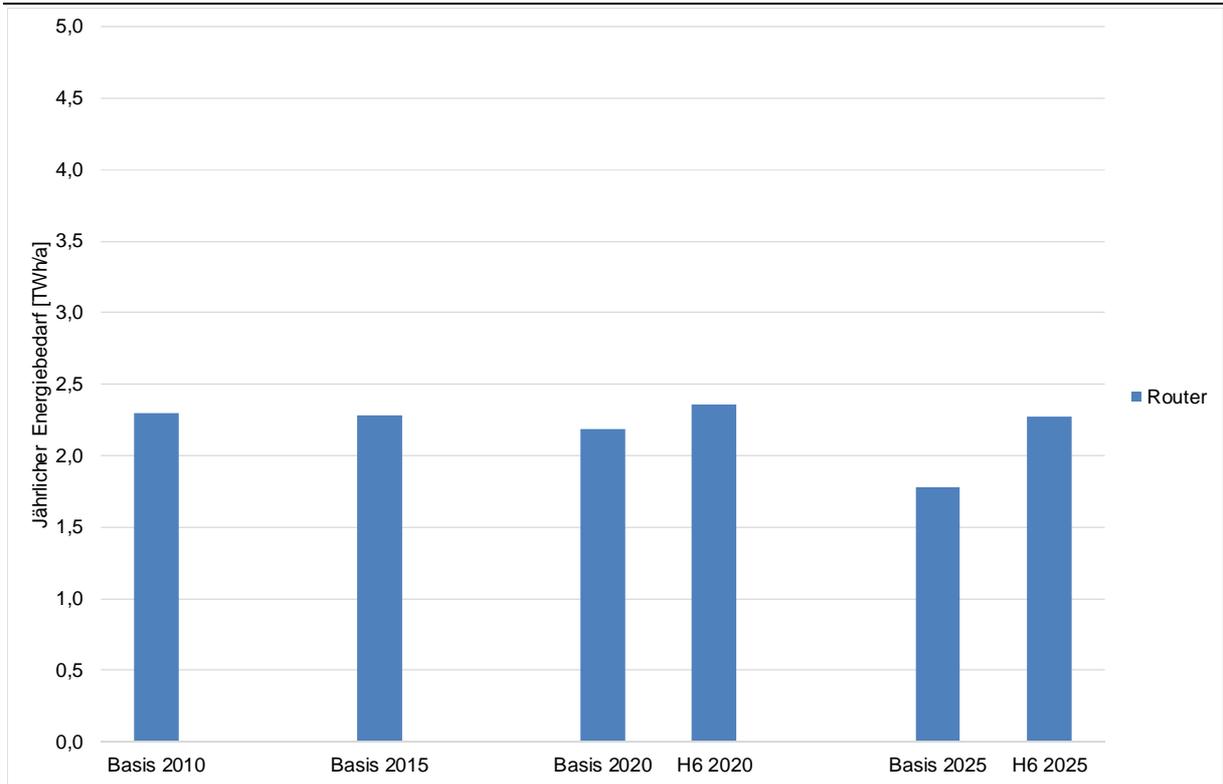


Abbildung 12-20: Entwicklungsvariante H6 im Vergleich zur Basisprognose 2020 und 2025

13 Literatur

- ACTA (2014) Institut für Demoskopie Allensbach - Allensbacher Computer- und Technik-Analyse, Allensbach, 2014; der Bericht liegt den Autoren der Studie vor und wurde zur Verifizierung von Bestandszahlen und Trends genutzt, genaue Zahlen dürfen jedoch nicht zitiert werden
- ADAC (2015) Tankstellen in Deutschland: <https://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/probleme-tankstelle/anzahl-tankstellen-markenverteilung/default.aspx> (abgerufen: 29.06.2015)
- agf (2015) Arbeitsgemeinschaft Fernsehforschung (agf): Entwicklung der täglichen Sehdauer pro Tag/Person in Minuten (1988 bis 2014) <https://www.agf.de/daten/tvdaten/sehdauer/>
- AGFEO-Telekommunikation. (2009). AGFEO Green TK - Leistungsaufnahme von AGFEO-Produkten. Zugriff am 21.5.2015. Verfügbar unter: [http://www.agfeo.de/agfeo_web/hp3.nsf/2073e7bfbad2101dc1256b1c0060e5e6/d3f7f49c0fafede0c12575ed004a71be/\\$FILE/leistungsstand_A4_3_screen.pdf](http://www.agfeo.de/agfeo_web/hp3.nsf/2073e7bfbad2101dc1256b1c0060e5e6/d3f7f49c0fafede0c12575ed004a71be/$FILE/leistungsstand_A4_3_screen.pdf)
- Allnet. (2015). 10G Stacking Switche von ALLNET. Zugriff am 22.6.2015. Verfügbar unter: <http://www.allnet.de/de/allnet-brand/produkte/switches/switches-10giga/>
- Apple Inc. (2012). iPad 2 Environmental Report. Zugriff am 19.5.2015. Verfügbar unter: https://www.apple.com/environment/reports/docs/iPad2_Product_Environmental_Report_2012.pdf
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2011): Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre von 1990 bis 2010. Berlin
- Automotive IT. (2012). BMW lässt in Island rechnen. Automotive IT. Zugriff am 24.6.2014. Verfügbar unter: <http://www.automotiveit.eu/bmw-lasst-in-island-rechnen/news/id-0037566>
- B.A.U.M. (2012): Smart Energy made in Germany, Zwischenergebnisse der E-Energy-Modellprojekte auf dem Weg zum Internet der Energie. München, Berlin
- Ball, P. (2012) Kampf gegen Hitze: <http://www.spektrum.de/news/kampf-gegen-die-hitze/1180336> [Stand 2015-10-23]
- Bankenverband (2014) Bundesverband Deutschen Banken e.V.: Zahlen, Daten, Fakten der Kreditwirtschaft, 2014 <https://bankenverband.de/media/publikationen/zahlen-daten.pdf>
- Berliner Morgenpost (2013): BVG kauft nach Beschwerden 900 neue Ticket-Automaten, 09.10.2013, online: <http://www.morgenpost.de/berlin-aktuell/article120755453/BVG-kauff-nach-Beschwerden-900-neue-Ticket-Automaten.html> (abgerufen 30.06.2015)
- Beucker, S., Bergset, L., Beeck, H., Bogdanova, T., Bormann, F., Riedel, M. & Bierter, W. (2012). Geschäftsmodelle für den Zukunftsmarkt des dezentralen Energiemanagements in Privathaushalten. Berlin
- Beucker, S.; Bergesen, J.; Gibon, T. (2015): Building Energy Management Systems: Global Potentials and Environmental Implications of Deployment, Journal of Industrial Ecology, Yale, MA, USA (Artikel in Publikation)
- Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM. (2015a). DG ENTR Lot 9 - Enterprise servers and data equipment, Task 3: User. Brussels.
- Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM. (2015b). DG ENTR Lot 9 - Enterprise servers and data equipment, Task 2: Markets. Brussels.
- Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM. (2015c). DG ENTR Lot 9 - Enterprise servers and data equipment, Task 5: Environment and Economics. Brussels.
- BITKOM (2008). Leitfaden Energieeffizienz in Rechenzentren. Ein Leitfaden zur Planung, zur Modernisierung und zum Betrieb von Rechenzentren. Berlin. Zugriff am 9.7.2014. Verfügbar unter: http://www.bitkom.org/de/themen/54930_53432.aspx
- Bitkom (2013): Positionspapier Mobile Payments, 11.02.2013, online: https://www.bitkom.org/Publikationen/2013/Studien/BITKOM-Positionspapier-Mobile-Payments/Positionspapier_Mobile_Payments.pdf (abgerufen: 07.09.2015)

- Bitkom (2014a). Smartphone-Boom setzt sich 2014 ungebrochen fort. Zugriff am 22.5.2015. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Smartphone-Boom-setzt-sich-2014-ungebrochen-fort.html>
- BITKOM (2014b): Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.: Vor dem Boom – Marktaussichten für Smart Home, Fokusgruppe Connected Home des Nationalen IT-Gipfels, Vortag vom 23. Oktober 2014, Berlin, abgerufen im September 2015 unter: www.bitkom.org/Presse/Anhänge-an-Pis/2014/Oktober/141023_marktaussichten_smarthome_1.pdf
- Bitkom (2015a) Jeder Dritte könnte auf Bargeld verzichten, 10.06.2015, online: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Jeder-Dritte-k%C3%B6nnte-auf-Bargeld-verzichten.html> (abgerufen: 07.09.2015)
- BITKOM (2015b). Leitfaden Energieeffizienz im Rechenzentrum - 2. Auflage. Berlin.
- Blauer Engel (2014) Blauer Engel für DECT-Telefone: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/haushalt-wohnen/umweltfreundliche-schnurlostelefone/dect-telefon-ausgabe-april-2014> (abgerufen: 02.09.2015)
- BLM (2013) Bayrische Landeszentrale für Mediennutzung: Webradiomonitor 2013 – Internet-radio-Nutzung in Deutschland, 2013, online: http://www.goldmedia.com/fileadmin/goldmedia/Deutsch/Studien/Goldmedia/2013/Webradiomonitor_2013/Goldmedia_Webradiomonitor_2013_Langversionsversion.pdf (abgerufen: 04.09.2015)
- BMVi (2015) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Fragen zur LKW-Maut, online; <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/FAQs/Lkw-Maut/lkw-maut-faq.html> (abgerufen: 30.06.2015)
- Bmvi (2012): Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Smart Meter consumption, Eigenverbrauch von Stromzählern, abgerufen im September 2015 unter: www.nachhaltigwirtschaften.at/results.html/id6995
- BMWA (2003) Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010, http://www.cepe.ethz.ch/publications/ISI_CEPE_luK_Kurzfassung.pdf
- BMW (2007) EuP Preparatory Studies “Imaging Equipment” (Lot 4), (als Autor der Studie erhielt das Fraunhofer IZM weitere detaillierte Marktzahlen und Einblicke von Stakeholdern, die die oben genannte Annahme stützen)
- BMW (2009) Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft in Deutschland. Erstellt vom Fraunhofer IZM und ISI, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/abschaetzung-des-energiebedarfs-der-weiteren-entwicklung-der-informationsgesellschaft,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- BMW (2011) Gesetzestext und Erläuterungen zum Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) finden sich u.a. auf der Webseite des BMW: <http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=212540.html> [Stand: 14.07.2015]
- BMW (2015a): Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Referentenentwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie Entwurf eines Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende, abgerufen im Oktober 2015 unter: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/P-R/referentenentwurf-entwurf-gesetz-digitalisierung-energiewende,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- BMW (2015b): Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Baustein für die Energiewende: 7 Eckpunkte für das „Verordnungspaket Intelligente Netze“, abgerufen im Oktober 2015 unter: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eckpunkte-fuer-das-verordnungspaket-intelligente-netze,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- BNetzA (2012) Bundesnetzagentur Jahresbericht 2012: <http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagen->

- ur/Publicationen/Berichte/2013/130506_Jahresbericht2012.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Zugriff am 19.10.2015]
- BNetzA (2013): Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt: Monitoringbericht 2013, Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB, Stand: Juni 2014, abgerufen im September 2015 unter: www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publicationen/Berichte/2013/131217_Monitoringbericht2013.pdf?__blob=publicationFile&v=15
- BNetzA (2014) Bundesnetzagentur Jahresbericht 2014 http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publicationen/Berichte/2015/Jahresbericht14barrierefrei.pdf?__blob=publicationFile&v=6 [Zugriff am 19.10.2015]
- BNetzA (2015a) Bundesnetzagentur Statistik Funkanlagenstandorte: http://emf3.bundesnetzagentur.de/statistik_funk.html [Stand: 25.06.2015]
- BNetzA (2015b) Funkanlagenstandorte pro Bundesland, für die eine Standortbescheinigung erteilt wurde: http://emf3.bundesnetzagentur.de/pdf/statistiken/12_Bundesland_%C3%9Cbersicht_Internet_20150501.pdf [Stand: 25.06.2015]
- Bundestag (2014) Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Valerie Wilms, Matthias Gastel, Stephan Kühn (Dresden), weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: – Drucksache 18/3137 – Verlängerung des Betreibervertrages mit der Toll Collect GmbH, 05.12.2014, online: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/034/1803478.pdf>
- Casio. (2015). Green Slim XJ-A142. Zugriff am 23.4.2015. Verfügbar unter: <http://www.casio-projectors.eu/de/products/xja142/>
- CEET. (2013). The Power of Wireless Cloud. An Analysis of the Energy Consumption of Wireless Cloud. Zugriff am 18.9.2014. Verfügbar unter: <http://www.ceet.unimelb.edu.au/publications/downloads/ceet-white-paper-wireless-cloud.pdf>
- CEMIX (2015) Consumer Electronics Market Index: http://www.bvt-ev.de/bvt_cm/der_markt/cemix.php
- Cexx, T. (2007) Nintendo DS current consumption, <http://tim.cexx.org/?p=345>, Zugriff am 29.06.2015
- Chancerel (2010): Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment – An assessment of the recovery of gold and palladium, TU Berlin. <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2010/2590/>
- Chip (2014) Internet-Traffic: Netflix verstopft das Netz, http://www.chip.de/news/Internet-Traffic-Netflix-verstopft-das-Netz_74375610.html (abgerufen: 02.09.2015)
- Cisco VNI (2015) Cisco prognostiziert für 2019 über 700 Mio. vernetzter Geräte, wovon 52 % Maschine-to-Maschine-Module sein sollen, online: http://www.cisco.com/web/solutions/sp/vni/vni_forecast_highlights/index.html (abgerufen: 04.09.2015)
- Cisco. (2011). IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet: Build Greener Networks - White Paper. Zugriff am 20.7.2015. Verfügbar unter: http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/switches/catalyst-4500-series-switches/white_paper_c11-676336.pdf
- Cisco. (2013). Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2012-2017.
- ComplianTV (2015) Auswertung der ComplianTV-Veröffentlichungen “List of TVs tested by the ComplianTV project”, 1st batch of models (Mai 2014), 2nd batch of models (August 2014), 3rd batch of models (Februar 2015), 4th batch of models (August 2015) ergab, dass knapp 90 % der getesteten Geräte der Energieklasse A und besser entsprachen.

- online: <http://www.compliantv.eu/eu/about-the-project/all-documents/> (abgerufen: 20.08.2015)
- Cook, G., Dowdall, T., Pomerantz, D. & Wang, Y. (2014). Clicking clean: how companies are creating the green internet. Washington, DC: Greenpeace Inc.
- Cook, G., Dowdall, T., Pomerantz, D. & Wang, Y. (2014). Clicking clean: how companies are creating the green internet. Washington, DC: Greenpeace Inc.
- Crn (2015) Öffentliches WLAN in rund 100 Städten geplant: <http://www.crn.de/telekommunikation/artikel-106901.html> (abgerufen 29.06.2015)
- DENA (2014): Deutsche Energie-Agentur: dena-Studie Systemdienstleistungen 2030, Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien, abgerufen im September 2015 unter: www.dena.de/projekte/energiesysteme/dena-studie-systemdienstleistungen-2030.html
- Destatis (2013) Statistisches Bundesamt: Finanzen und Steuern – Umsatzsteuerstatistik (Vorankündigungen) 2013, online: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/FinanzenSteuern/Steuern/Umsatzsteuer/Umsatzsteuer2140810137004.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen 29.06.2015)
- Destatis (2014) Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen, <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltoekonomieGesamtrechnungen/MaterialEnergiefluesse/Tabellen/StromverbrauchHaushalte.html> [Stand 27.10.2015]
- Destatis LWR (2014) Statistisches Bundesamt: Wirtschaftsrechnungen, „Laufende Wirtschaftsrechnungen Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Gebrauchsgütern“: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/LfdWirtschaftsrechnungen/AusstattungprivaterHaushalte2150200147004.pdf?__blob=publicationFile
- Destatis Mikrozensus (2015) – Bevölkerung in Privathaushalten am Haupt- und Nebenwohnsitz: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/HaushalteFamilien/Tabellen/Haushaltsgroesse.html>
- Deutsche Bundesbank (2014): Zahlungsverkehrs- und Wertpapierabwicklungsstatistiken in Deutschland 2009 – 2013, Stand: Juli 2014, online: https://www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Downloads/Statistiken/Geld_Und_Kapitalmaerkte/Zahlungsverkehr/zvs_datens.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen 29.06.2015)
- Deutsche Telekom. (2014). CR-Bericht der Deutschen Telekom 2014. Zugriff am 13.6.2015. Verfügbar unter: <http://www.cr-bericht.telekom.com/site15/klimawelt/klimaschutzmassnahmen/energieeffizienz-im-netz#atn-410-450>
- Deutscher Bundestag (2014) Aktueller Begriff Internet der Dinge, https://www.bundestag.de/blob/192512/cfa9e76cddf46f34a941298efa7e85c9/internet_der_dinge-data.pdf [Zugriff am 30.10.2015]
- Die Welt (2015) Telefónica und E-Plus stärken ihr mobiles Internet. <http://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article138042163/Telefonica-und-E-Plus-staerken-ihr-mobiles-Internet.html> [Stand: 24.06.2015]
- EC (2014) CoC Broadband Equipment: http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/files/documents/ICT_CoC/cocv5-broadband_final.pdf [Stand: 27.10.2015]
- EC (2015a) Code of Conduct Data Centre: <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/ict-codes-conduct/data-centres-energy-efficiency> [Stand: 14.07.2015]
- EC (2015b) Commission recognises voluntary energy efficiency agreement for game consoles, http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/newsroom/cf/itemdetail.cfm?item_id=8239&lang=en, Zugriff am 10.07.2015
- Eco (2014) Verband der Internetwirtschaft e.V.: Verbreitung und Nutzbarkeit von WLAN, WLAN-Zugangspunkten, sowie öffentlicher Hotspots in Deutschland, 2014

- https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/eco-microresearch_verbreitung-und-nutzung-von-wlan.pdf
- ecova (2015) 80 PLUS Certified Power Supplies and Manufacturers, <http://www.plugloadsolutions.com/80PlusPowerSupplies.aspx> [Stand: 14.07.2015]
- Eco-Verband. (2014). Verbreitung und Nutzbarkeit von WLAN, WLAN-Zugangspunkten sowie öffentlichen Hotspots in Deutschland. Berlin. Verfügbar unter: https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/eco-microresearch_verbreitung-und-nutzung-von-wlan.pdf
- EG 1275/2008 (2008), Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 der Kommission vom 17. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand
- EG 617/2013 (2013) Verordnung (EU) Nr. 617/2013 der Kommission vom 26. Juni 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Computern und Computerservern, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013R0617>
- EG 642/2009 (2009), Verordnung (EG) Nr. 642/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Fernsehgeräten
- EITO (2015): ICT Market Report 2014/15 Germany
- Electric Power Research Institute. (2012). iPad Electricity Consumption in Relation to Other Energy Consuming Devices - Executive Summary. Palo Alto. Verfügbar unter: <http://www.epri.com/Our-Work/Documents/Energy%20Efficiency/iPadEnergyConsumeExecSummary6-2012Final.pdf>
- Emerson Network Power. (2014). Data Center 2025: Exploring the Possibilities. Columbus, OH. Zugriff am 20.11.2014. Verfügbar unter: www.emersonnetworkpower.com/DataCenter2025
- Energy Star (2013) US Energy Star: ENERGY STAR® Unit Shipment and Market Penetration Report – Calendar Year 2013 Summary, https://www.energystar.gov/ia/partners/downloads/unit_shipment_data/2013_USD_Summary_Report.pdf?dea2-25de (abgerufen: 08.10.2015)
- Energy Star (2014) ENERGY STAR® Program Requirements Product Specification for Computers – Eligibility Criteria Version 6.1, <http://www.energystar.gov/sites/default/files/specs/Version%206%201%20Computers%20Final%20Program%20Requirements.pdf?52e6-bf88>
- Energy Star (2015a) Energy Star-Datenbank zu Set-Top-Boxen: <https://data.energystar.gov/Active-Specifications/ENERGY-STAR-Certified-Set-Top-Boxes/e567-rku5>
- Energy Star (2015b) Energy Star-Datenbank zu Blu-ray-Playern: <https://data.energystar.gov/Active-Specifications/ENERGY-STAR-Certified-Audio-Video/ewhi-bvce>
- Energy Star (2015c) Energy Star-Datenbank zu DVD-Playern: <https://data.energystar.gov/Active-Specifications/ENERGY-STAR-Certified-Audio-Video/ewhi-bvce>
- Energy Star (2015d) EU Energy Star: <http://www.eu-energystar.org/>
- Energy Star (2015e) Energy Star certified Displays: <https://data.energystar.gov/Active-Specifications/ENERGY-STAR-Certified-Displays/2wic-jicu?> (abgerufen: 10.08.2015)
- Energy Star (2015i) US Energy Star Datenbank für Computer, <https://data.energystar.gov/Active-Specifications/ENERGY-STAR-Certified-Computers/ed9u-v8cw?>, Zugriff am 18.06.2015

- Energy Star (2015f) US Energy Star: Small Network Equipment Key Product Criteria, online: https://www.energystar.gov/index.cfm?c=small_network_equipment.pr_crit_small_network_equipment (abgerufen: 21.08.2015)
- Energy Star (2015g) US Energy Star: Certified Small Network Equipment: <https://data.energystar.gov/Active-Specifications/ENERGY-STAR-Certified-Small-Network-Equipment/pzuf-4vbf?> (abgerufen: 21.08.2015)
- Energy Star (2015h) US Energy Star: Certified Audio Video, online: <https://data.energystar.gov/Active-Specifications/ENERGY-STAR-Certified-Audio-Video/ewhi-bvce?> (abgerufen: 21.08.2015)
- EPEAT (2015): <http://www.epeat.net/>, in Deutschland wenig verbreitet
- Ernst & Young (2013): Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler, Endbericht zur Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, abgerufen im September 2015 unter: <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=586064.html>
- EU 1062/2010 (2010), Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1062/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Fernsehgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch
- EU 801/2013 (2013), Verordnung (EU) Nr. 801/2013 der Kommission vom 22. August 2013 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Energiebedarf elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 642/2009 im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Fernsehgeräten
- Eu-Energy Star. (2013). Summary of Changes Between the Version 1.2 and 2.0 ENERGY STAR® Imaging Equipment Test Methods. Zugriff am 23.4.2015. Verfügbar unter: <https://www.energystar.gov/sites/default/files/specs/Version%201%202-Version%202%200%20Imaging%20Equipment%20Test%20Method%20Compare.pdf>
- EU-Energy Star. (2015a). ENERGY STAR qualified Desktop Computers. Zugriff am 4.12.2015. Verfügbar unter: <http://www.eu-energystar.org/database/Select.php?group=computer5&type=desktop>
- EU-Energy Star. (2015b). Computer monitors. Qualified under Displays specifications v6.0. Zugriff am 4.12.2015. Verfügbar unter: <http://www.eu-energystar.org/database/Show.php?type=monitor&group=display&p=4>
- European Commission Joint Research Centre. (2008). Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment Version 3. 18 November 2008. Ispra. Verfügbar unter: http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/broadband_eq_code-conduct.pdf
- European Commission Joint Research Centre. (2013). Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment Version 5.0. Ispra. Verfügbar unter: http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/files/documents/ICT_CoC/cocv5-broadband_final.pdf
- European Commission. (2011). Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems - Version 2.0. Zugriff am 20.6.2013. Verfügbar unter: http://cemep.eu/data/Code_of_conduct_UPS_16032011.pdf
- European Commission. (2011). Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems - Version 2.0. Zugriff am 20.6.2013. Verfügbar unter: http://cemep.eu/data/Code_of_conduct_UPS_16032011.pdf
- Fichter, K. (2006). Das „e-place“-Konzept der IBM Deutschland. Fallstudie im Rahmen des nova-net Arbeitsmoduls „Nachhaltigkeit von Innovationsprozessen in der Internetökonomie“. (Fallstudie). Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. Zugriff am 6.8.2014. Verfügbar unter: http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/novanet/PDF13_Das-e-place-Konzept-der-IBM-Deutschland.pdf

- Fichter, K., Clausen, J. & Hintemann, R. (2011). Roadmap „Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020“. Entwicklung eines Leitmarktes für Green Office Computing. (Leitfaden). Berlin, Dessau, Roßlau: BMU, Umweltbundesamt & BITKOM. Zugriff am 2.7.2014. Verfügbar unter: http://www.bitkom.org/files/documents/Roadmap_Arbeitsplatzloesungen_Web.pdf
- Fraunhofer ISI, TU München, GfK & IREES. (2013). Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010. Endbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Karlsruhe, München, Nürnberg. Verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=452016.html>
- Gantz, J. & Reinsel, D. (2012). IDC IView: The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East. Zugriff am 20.6.2013. Verfügbar unter: <http://www.emc.com/collateral/analyst-reports/idc-the-digital-universe-in-2020.pdf>
- GdW (2011): Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V.: Wohnungswirtschaftliche Daten und Trends 2010/2011, Haufe-Lexware, Hamburg
- Golem.de. (2007a). Druckermarkt: HP ist die Nummer eins. Trend geht zu Multifunktionsdruckern und Lasergeräten. Zugriff am 20.5.2015. Verfügbar unter: <http://www.golem.de/0702/50734.html>
- Golem.de. (2007b). Ziemlich grün: D-Links neue Gigabit-Switches sparen wirklich Hersteller liefert Vergleichstabelle um Stromsparfunktion zu belegen. Zugriff am 21.5.2015. Verfügbar unter: <http://www.golem.de/0710/55406.html>
- Google. (2014). Efficiency – internal. Zugriff am 9.2.2014. Verfügbar unter: <http://www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/>
- Goßner, E. (2008). Widescreen-Bildschirmen gehört die Zukunft. Zugriff am 20.7.2015. Verfügbar unter: <http://www.it-business.de/peripherie/monitore/lcd/articles/122276/>
- Graham, L. (2014). With Rising Revenues in Q3, the Desktop Display Market Shows Signs of Life, DisplaySearch Reports. Zugriff am 16.6.2015. Verfügbar unter: <http://press.ihs.com/press-release/technology/rising-revenues-q3-desktop-display-market-shows-signs-life-displaysearch-re>
- Graß, M. (2014). Data Center Infrastructure Management (DCIM ≠ DCIM) (White Paper eco Data Center Expert Group).
- Grieder, T. & Huser, A. (2006). Energieeffizienzpotenzial bei Video- und Datenprojektoren (Beamer). Ittigen. Verfügbar unter: www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file...pdf...pdf
- Hamer, G., Delves, K., Peloquin, N. & Vladimir, M. (2008). Canadian Standby Power Study of Consumer Electronics and Appliances. Washington D.C. Verfügbar unter: http://aceee.org/files/proceedings/2008/data/papers/9_305.pdf
- Heimer, T. (2015): Vortrag zur Entwicklung der Smart Home Technik, Energieeffizienzpotentiale im Gebäude durch SmartHome/SmartBuilding-Technologien am 07.09.2015 im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin
- Hilty, L.M., Lohmann, W., Behrendt, S., Fichter, K. & Hintemann, R. (2014). Grüne Software. Schlussbericht zum Vorhaben: Ermittlung und Erschließung von Umweltschutzpotenzialen der Informations- und Kommunikationstechnik (Green IT), TV3: Potenzialanalyse zur Ressourcenschonung optimierter Softwareentwicklung und -einsatz. Berlin: Umweltbundesamt.
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2014). Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und Wettbewerbssituation. Studie im Auftrag des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM). Berlin.
- Hintemann, R. & Fichter, K. (2013). Server und Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2012. Berlin: Borderstep Institut.
- Hintemann, R. & Fichter, K. (2015). Energy demand of workplace computer solutions - A comprehensive assessment including both end-user devices and the power consumption

- they induce in data centers. *EnvironInfo & ICT4S, Conference Proceedings (Part 1)* (S. 165–171). Gehalten auf der Third International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2015), Copenhagen. doi:10.2991/ict4s-env-15.2015.19
- Hintemann, R. (2015a). *Kurzstudie zur Entwicklung von Rechenzentren im Jahr 2014*. Berlin: Borderstep Institut.
- Hintemann, R. (2015b). *Energieverbrauch von Rechenzentren steigt 2014 wieder an*. *Future Thinking Journal*, (1).
- Hintemann, R., Fichter, K. & Schlitt, D. (2014). *Adaptive computing and server virtualization in German data centers - Potentials for increasing energy efficiency today and in 2020*. Gehalten auf der *EnvironInfo 2014 - ICT for Energy Efficiency, 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection*, September 10-12, 2014, Oldenburg.
- Hintemann, R., Fichter, K. & Stobbe, L. (2010). *Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland-Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen-und Energieeinsatz. Studie im Rahmen des UFO-Plan-Vorhabens "Produktbezogene Ansätze in der Informations-und Kommunikationstechnik "(Förderkennzeichen 370 893 302), Beauftragt vom Umweltbundesamt*.
- HP (2014) *The Machine – Präsentation bei HP in Las Vegas Juni 2014*. Im Internet (Youtube Video): <https://www.youtube.com/watch?v=jcmsby8jDKE> [Stand 2015-10-23]
- Institut für Mittelstandsforschung. (2012). *Unternehmensgrößenstatistik – Unternehmen, Umsatz und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte 2004 bis 2009 in Deutschland, Ergebnisse des Unternehmensregisters (URS 95)*. Bonn. Verfügbar unter: http://www.ifm-bonn.org/uploads/tx_ifmstudies/Daten-und-Fakten-2_2012.pdf
- Invidis (2011) *Digital Signage Professionell: Dossier Digital Signage-Markt 2010 – Deutschland, Österreich, Schweiz, 2011*, online: <http://blog.dimedis.de/wp-content/uploads/2012/11/DACH-Ranking-Digital-Signage-Markt-2010.pdf> (abgerufen 29.06.2015)
- Iphonefaq (2012) *Was sind die technischen Daten des iPhone Akkus?*, <http://www.iphonefaq.info/content/1/23/de/was-sind-die-technischen-daten-des-iphone-akkus.html>, Zugriff am 10.07.2015
- Kabel Deutschland (2014) *Kennzahlen zum Netz von Kabel Deutschland (Stand März 2014)*: <https://www.kabeldeutschland.com/de/unternehmen/unternehmensprofil/das-kabelnetz.html> [Stand: 29.06.2015]
- KabelDeutschland (2015): <http://www.kabeldeutschland.de/wlan-hotspots/> (abgerufen 29.06.2015)
- Konto (2015) *Die Bankgeschäfte der Zukunft*, <http://www.konto.org/news/14049-die-bankgeschaefte-der-zukunft/> (abgerufen 26.06.2015)
- Koomey, J. & Taylor, J. (2015). *New data supports finding that 30 percent of servers are 'Comatose', indicating that nearly a third of capital in enterprise data centers is wasted*. Zugriff am 24.6.2015. Verfügbar unter: http://anthesisgroup.com/wp-content/uploads/2015/06/Case-Study_DataSupports30PercentComatoseEstimate-FINAL_06032015.pdf
- Koomey, J. (2011). *Growth in data center electricity use 2005 to 2010. A report by Analytical Press, completed at the request of The New York Times*. Zugriff am 22.7.2014. Verfügbar unter: http://www.missioncriticalmagazine.com/ext/resources/MC/Home/Files/PDFs/Koomey_Data_Center.pdf
- Koomey, J.G. (2008). *Worldwide electricity used in data centers*. *Environmental Research Letters*, 3 (3), 034008. doi:10.1088/1748-9326/3/3/034008
- Koomey, J.G., Berard, S., Sanchez, M. & Wong, H. (2011). *Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing*. *Annals of the History of Computing, IEEE*, 33 (3), 46–54.
- Kosch, A (2015) *iPhone 5 Akku Test*, <http://www.iphone247.de/tipps/iphone-5-akku-test-laufzeit-details-tipps-fur-mehr-akkuleistung.html>, Zugriff am 10.07.2015

- Lambert, S., van Heddeghem, W., Vereecken, W., Lanoo, B., Colle, D. & Pickavet, M. (2012). Worldwide electricity consumption of communication networks. *Optics Express*, 20 (26), B513 – B527.
- Lange et al (2014): Energy Efficiency of Load-Adaptively Operated Telecommunication Networks. In: *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 32, No.4 February 15, 2014.
- Lannoo, B. & Vetter, P. (2012). Moving Toward Energy Efficient Access Networks. Gehalten auf der Green Touch, Dallas, Texas. Verfügbar unter: http://www.greentouch.org/uploads/documents/5%20Bart%20Lannoo_GreenTouch%20EU%20SEW_V03.pdf
- Lawrence Berkeley National Laboratory. (2015). Standby Power Summary Table. Zugriff am 20.5.2015. Verfügbar unter: <http://standby.lbl.gov/summary-table.html>
- LBNL. (2005). High Performance Buildings: Data Center Uninterruptible Power Supplies (UPS). Zugriff am 20.4.2014. Verfügbar unter: https://datacenters.lbl.gov/sites/all/files/UPS_Report_2005.pdf
- LMS (2015) Energy Efficient Video Coding, http://www.lms.int.de/en/research/activity/video/vcoding/EE_VC.php [Stand 11.09.2015]
- MA Radio I (2015) <http://www.radioszene.de/77098/media-analyse-2015.html>, Zugriff am 10.07.2015
- Manta, C. (2010). Deutsche sind Europas Papierverschwender. Zugriff am 16.4.2015. Verfügbar unter: <http://www.computerwoche.de/a/deutsche-sind-europas-papierverschwender,1938625>
- Melanchthon, D. (2011). Die Microsoft Rechenzentren. Basis für den Erfolg in der Wolke. Zugriff am 2.2.2014. Verfügbar unter: http://techday.blob.core.windows.net/techsummitcloud/TechSummit_2011_-_Die_Microsoft_Rechenzentren.pdf
- Mills, M. (2013). The botten line of iPhones vs refrigerators. Zugriff am 25.2.2015. Verfügbar unter: <http://thebreakthrough.org/index.php/programs/economic-growth/the-bottom-line-on-iphones-vs.-refrigerators>
- NDR (2015) FAQ: Einführung von DVB-T2 in Deutschland, online: http://www.ndr.de/der_ndr/technik/FAQ-DVB-T2,faqdvbtzwei100.html (abgerufen: 20.10.2015)
- Nebel, W., Hoyer, M., Schröder, K. & Schlitt, D. (2009). Untersuchung des Potentials von rechenzentrenübergreifendem Lastmanagement zur Reduzierung des Energieverbrauchs in der IKT (Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (S. 123). OFFIS, Inst. für Informatik. Zugriff am 23.7.2014. Verfügbar unter: http://www.offis.de/fileadmin/Chefredakteur_files/PDFs/Pressemitteilungen/2009-11-19_OFFIS-Studie_zum_Lastmanagement_in_Rechenzentren__Veroeffentlichung_.pdf
- Nebuloni, G. & Olah, A. (2014). Wachstumsmotor IT: So fördern effiziente Rechenzentren das Unternehmenswachstum. Frankfurt: IDC/Rittal.
- Nielsen (2014): Deutschland 2014 – Handel, Verbrauch, Werbung, online: http://darkroom.nielseninsights.eu/original/a8dfe9aff696298b40100372bc6b0f12:10b901acabe7f47023fba04000d42641/Nielsen_Universen_D_2014_Inet.pdf (abgerufen: 29.06.2014)
- Nintendo (1998) Game Boy Technische Daten, <https://www.nintendo.de/Kundenservice/Game-Boy-Pocket-Color/Produktinformationen/Technische-Daten/Technische-Daten-619585.html>, Zugriff am 29.06.2015
- NRDC (2014) The Latest-Generation Video Game Consoles, How Much Energy Do They Waste When You're Not Playing?, <http://www.nrdc.org/energy/game-consoles/files/video-game-consoles-IP.pdf>, Zugriff am 29.06.2015
- Öko-Institut e.V., Bio by Deloitte, ERA Technology (2014): Preparatory study to establish the Ecodesign Working Plan 2015-2017 Implementing Directive 2009/125/EC. Second Stakeholder Meeting, Brüssel, 29.10.2014. Im Internet: [237](http://www.ecodesign-</p></div><div data-bbox=)

- wp3.eu/sites/default/files/Stakeholder%20Meeting_October_29_Total.pdf [Stand: 14.07.2015]
- Ökoinstitut. (2011). PROSA Computerbildschirme. Entwicklung der Vergabekriterien für ein Klimaschutzbezogenes Umweltzeichen. Freiburg. Zugriff am 20.7.2015. Verfügbar unter: <http://www.oeko.de/oekodoc/1347/2011-455-de.pdf>
- Ozer, J. (2015) The State of Video Codecs 2015 <http://www.streamingmedia.com/Articles/Editorial/Featured-Articles/The-State-of-Video-Codecs-2015-102806.aspx> [Stand 11.09.2015]
- Peckham, M. (2012) The Collapse of Moore's Law: Physicist Says It's Already Happening <http://techland.time.com/2012/05/01/the-collapse-of-moores-law-physicist-says-its-already-happening/> [Stand 11.09.2015]
- PMA-Research. (2015). Top-Selling Projectors. Zugriff am 23.4.2015. Verfügbar unter: <http://www.pmaresearch.com/press-releases/>
- Prakash, S., Baron, Y., Ran, L., Proske, M. & Schlösser, A. (2014). Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT - cost/benefit analysis (Studie) (S. 373). Brussels: European Commission.
- RAL gmbH. (2015). Vergabegrundlage für Umweltzeichen: Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb RAL-UZ 161 (Ausgabe Februar 2015). Zugriff am 10.6.2015. Verfügbar unter: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/buero/rechenzentren>
- Riedel, M. (2013): Energiemanagement in Liegenschaften zur Energieeffizienzsteigerung, Vortrag im Rahmen der Abschlussveranstaltung des Verbundprojekts Connected Energy – SHAPE „Dezentrales Energiemanagement im Wohnungsbau“ am 09.04.2013, Berlin, abgerufen im September 2015 unter: <http://www.borderstep.de/event/abschlussveranstaltung-dezentrales-energiemanagement/>
- SACHDs (2011) Games Consoles: Global Market Shares, <http://news.preisgenau.de/wp-content/uploads/2011/10/marktanteil-playstation-3.jpg>, Zugriff am 29.06.2015
- Schmitz, L. & Ostler, U. (2015). Beste Aussichten für den deutschen Rechenzentrumsmarkt - Detaillierte, vergleichende Studie über das Datacenter-Geschäft in Deutschland. DataCenter Insider. Zugriff am 8.5.2015. Verfügbar unter: <http://www.datacenter-insider.de/services/co-location/articles/488204/>
- Schneller, J. (2013). Hohe Ausstattungsraten - Dynamische Entwicklung der TV-Ausstattung: Besitz, Kaufpläne und aktivierte Gesamtpotenziale. Digital Insider, (100). Zugriff am 20.3.2015. Verfügbar unter: http://www.ifd-allensbach.de/fileadmin/ACTA/ACTA_Beitraege_Artikel/ACTA_Schneller_Digital_Insider_2_2013.pdf
- Schraeder (2014) TechStage Interview mit Vodafone: <http://www.techstage.de/news/Interview-mit-Vodafone-So-sieht-eine-LTE-Basisstation-aus-2390304.html> [Stand: 25.06.2015]
- Schuster, D. (2013). Test Samsung Galaxy Tab 3 10.1 Tablet. Zugriff am 20.7.2015. Verfügbar unter: <http://www.notebookcheck.com/Test-Samsung-Galaxy-Tab-3-10-1-Tablet.99455.0.html>
- Schweizerisches Bundesamt für Energie. (2007). Verminderung der Standby-Verluste - Hindernisse und Massnahmen zur Überwindung - Schlussbericht. Ittigen, Bern. Verfügbar unter: www.bfe.admin.ch
- Statista (2015) Bevölkerung in Deutschland nach Empfangsart von Radioprogrammen im Haushalt von 2010 bis 2014, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/171431/umfrage/empfangsart-von-radioprogrammen/>, Zugriff am 10.07.2015
- Statistisches Bundesamt. (2015a). Unternehmensregister. Unternehmen nach Beschäftigtenrößenklassen. Wiesbaden. Zugriff am 20.5.2015. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/UnternehmenHandwe>

- rk/Unternehmensregister/Tabellen/UnternehmenBeschaeftigtengroessenklassenWZ08.html
- Statistisches Bundesamt. (2015b). Website Schulen. Zugriff am 24.4.2015. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/BildungForschungKultur/Schulen/Schulen.html>
- Statistisches Bundesamt. (2015c). Studierende. Insgesamt nach Bundesländern und tiefer gegliederten Angaben. Zugriff am 24.4.2015. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/BildungForschungKultur/Hochschulen/Tabellen/Studierend Insgesamt Bundeslaender.html>
- Stromreport (2014) Deutscher Stromreport 2014. Im Internet: <http://stromreport.de/oekostrom/>. [Stand: 14.07.2015]
- StromverbrauchInfo (2015a): Der große Vergleich des Stromverbrauchs von TV-Geräten: online: <http://www.stromverbrauchinfo.de/stromverbrauch-tv-geraete.php> (abgerufen 29.06.2015)
- StromverbrauchInfo (2015b) Stromverbrauch info zu Druckern: <http://www.stromverbrauchinfo.de/stromverbrauch-bei-druckern.php> (abgerufen: 21.08.2015)
- Swisscom (2015) Swisscom rüstet ihr Mobilfunknetz für die Zukunft: <https://www.swisscom.ch/content/swisscom/de/about/media/press-releases/2015/10/20151008-MM-Swisscom-ruestet-ihr-Mobilfunknetz-fuer-die-Zukunft.html> [Stand 23.10.2015]
- SZ (2012) Süddeutsche Zeitung: Bahn will weniger Ticketautomaten, 29.05.2012, online: <http://www.sueddeutsche.de/bayern/neue-vertriebs-plaene-bahn-will-weniger-fahrkartenautomaten-1.1368448> (abgerufen 30.06.2015)
- Techconsult. (2008). Daten des eanalyzer. Verfügbar unter: www.eanalyzer.biz
- Techconsult. (2013). Daten des eanalyzer. Verfügbar unter: www.eanalyzer.biz
- Techconsult. (2014). Daten des eanalyzer. Verfügbar unter: www.eanalyzer.biz
- Techconsult. (2015). Daten des eanalyzer. Verfügbar unter: www.eanalyzer.biz
- Terrahe, U. & Wilkens, M. (2012). Orientierungshilfe zur Leistungsdichte und Lastermittlung von Servern, Datenschränken und Rechenzentren (eco Whitpaper). Köln. Zugriff am 20.6.2013. Verfügbar unter: https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/wp_terrahe_wilkens.pdf
- TNS (2015) Infratest: Digitalisierungsbericht 2015 – Daten und Fakten, Juli 2015, http://www.die-medienanstalten.de/fileadmin/Download/Publikationen/Digitalisierungsbericht/2015/Digitalisierungsbericht_2015_Daten_und_Fakten_web.pdf (abgerufen: 20.10.2015)
- Topten.eu (2014), Anette Michel, Sophie Attali, Eric Bush: European TV market 2007 – 2013 Energy – efficiency before and during the implementation of the Ecodesign and Energy Labelling regulations, Second report, complemented with 2013 sales data, Zurich, 2014, http://www.topten.eu/uploads/File/European_TV_market_2007%E2%80%932013_July14.pdf
- TREN Lot 5 (2007) EuP Preparatory Studies “Televisions” (TREN Lot 5), Fraunhofer IZM, 2007, http://www.eup-net-work.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Lots/Final_Documents/Lot_5_Final_Report_1-8.pdf
- Umweltbundesamt. (2015). Papier und Druckerzeugnisse. Zugriff am 19.5.2015. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/papier-druckerzeugnisse>
- VDMA (2014) Plattform Industrie 4.0, <http://www.vdma.org/documents/106133/4697460/Plattform%20Industrie%204.0/780d7772-9489-4f8a-8b3f-e4b9f416ed81> [Zugriff am 30.10.2015]

- Veeam. (2011). Veeam startet den V-Index. Bestandsaufnahme zum Stand der Server-Virtualisierung in großen Unternehmen. Zugriff am 6.6.2013. Verfügbar unter: <http://www.veeam.com/de/news/veeam-startet-v-index-bestandsaufnahme-zum-stand-der-server-virtualisierung-in-grossen-unternehmen.html>
- verizon (2011) Verizon NEBSTM Compliance: Energy Efficiency Requirements for Telecommunications Equipment, http://www.verizonnebs.com/TPRs/VZ-TPR_9205.pdf [Stand: 10.09.2015]
- VGChartz (2015) Platform Totals, Total worldwide sales, http://www.vgchartz.com/analysis/platform_totals/, Zugriff am 29.06.2015
- Vodafone (2014) Vodafone modernisiert das Mobilfunknetz für 4 Milliarden Euro: <http://www.litemobile.de/news/newsdetails/vodafone-modernisiert-das-mobilfunknetz-fuer-4-milliarden-euro/> [Stand 01.10.2015]
- Vodafone (2015) Das größte WLAN-Hotspot-Netz in Deutschland <https://zuhauseplus.vodafone.de/internet-telefon/wlan-hotspots/?interstitial=1> (abgerufen: 09.10.2015)
- Vodafone Group PLC. (2015). Sustainability Report. Zugriff am 20.4.2015. Verfügbar unter: <http://www.vodafone.com/content/dam/sustainability/2015/pdf/vodafone-full-report-2015.pdf>
- Wikipedia (2015a) Geldautomat <http://de.wikipedia.org/wiki/Geldautomat> (abgerufen 29.06.2015)
- Wikipedia (2015b): LKW-Maut in Deutschland, https://de.wikipedia.org/wiki/LKW-Maut_in_Deutschland (abgerufen 30.06.2015)
- Windeck, C. (2013). Facebook nimmt schwedisches Rechenzentrum in Betrieb. heise online. Zugriff am 2.2.2014. Verfügbar unter: <http://www.heise.de/ix/meldung/Facebook-nimmt-schwedisches-Rechenzentrum-in-Betrieb-1886765.html>

14 Anhang

14.1 Haushalte

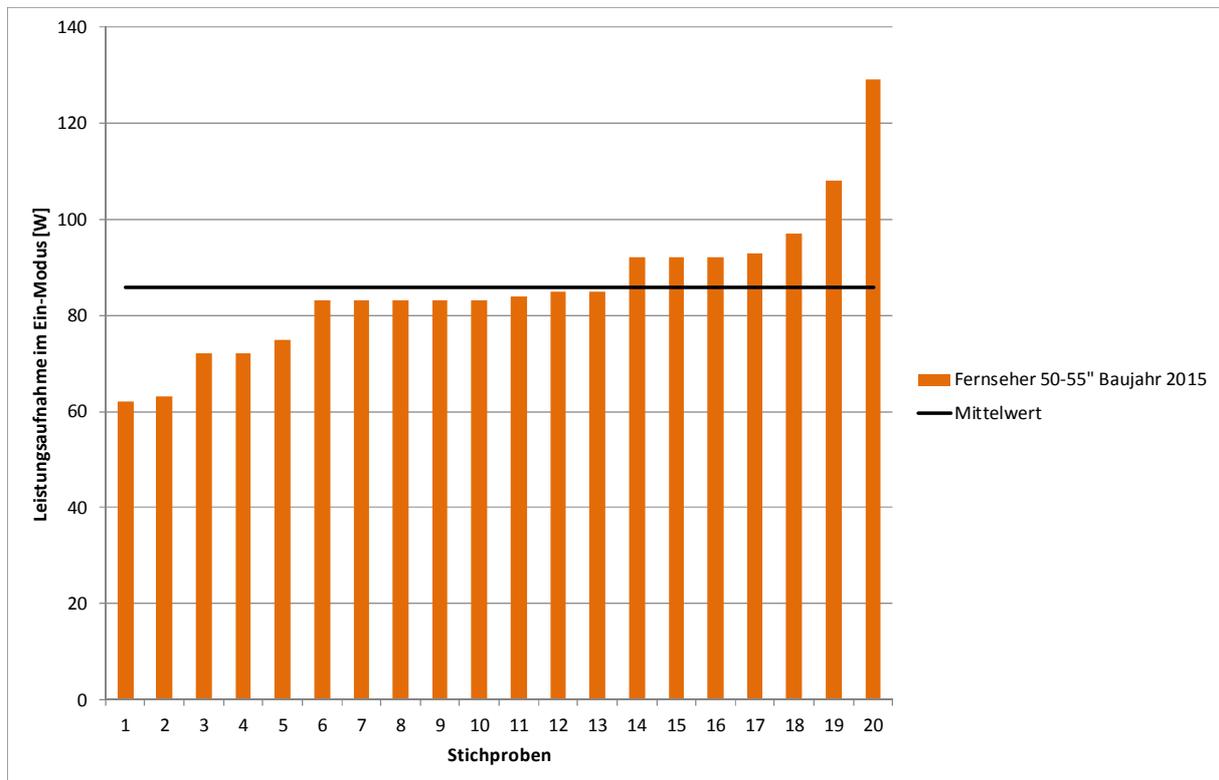


Abbildung 14-1: Amazon-Stichprobe von Fernsehern der Größe 50-55" im Baujahr 2015 [Stand 14.09.2015]

Tabelle 14-1: Absatzzahlen Konsumentenmarkt basierend auf CEMIX⁶⁸ (grau) mit Kurventrend-Extrapolationen (weiß)

Absatz in 1000 (Konsumentenmarkt)		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
TV	TV CRT	5.490	5.510	5.370	5.590	5.660	5.810	5.375	5.450	5.168	5.010	4.060	2.730	1.435	639	150	34																
	TV LCD				1	2	4	13	46	211	573	1.235	2.570	3.883	5.901	7.553	8.258	8.828	9.027	7.620	7.997												
	TV Plasma / Sonstige 1)										100	300	449	528	736	752	812	645	431	198	120												
	Flachbildfernseher alle				1	2	4	13	46	211	673	1.535	3.019	4.411	6.637	8.305	9.070	9.473	9.458	7.818	8.117	8.434	8.607	8.742	8.852	8.945	8.962	9.002	9.036	9.066	9.092	9.115	
Set-Top-Boxen	Set-Top-Boxen Total	2.517	2.686	2.866	3.058	3.262	3.500	3.714	3.962	4.227	4.385	4.920	4.304	4.268	4.344	4.519	5.419	6.022	7.335	3.951	3.537	4.348	4.450	4.543	4.627	4.705	4.777	4.843	4.906	4.965	5.020	5.073	
DVD/VHS	DVD (inkl. Kombigeräte) 10) 8) 11)			3	40	200	700	1.600	4.900	6.000	6.100	5.935	5.253	4.363	3.902	3.793	3.500	3.268	3.111	2.803	2.607	2.504	2.386	2.276	2.173	2.076	1.985	1.975	1.937	1.904	1.876	1.850	
	Video	3.100	3.070	3.000	3.100	3.300	3.200	2.650	2.000	1.300	860	590	350	221	87																		
Foto/Video	Blu-Ray-Player												3	25	138	524	995	1.680	1.799	1.970	2.103	2.211	2.303	2.383	2.453	2.515	2.572	2.563	2.599	2.632	2.662	2.690	
	Camcorder 13)	680	650	590	575	650	665	646	617	672	755	840	820	720	718	642	810	712	644	663	660	668	672	675	677	679	681	682	684	685	686	687	
Audio	Digitalkameras	0	3	21	84	248	602	1.273	2.200	4.900	7.000	7.430	7.850	8.550	9.320	8.500	8.240	8.250	7.038	5.570	4.012	3.420	2.888	2.475	2.137	1.852	1.605	1.387	1.192	1.015	854	706	
	Lautsprecherboxen	500	694	808	888	951	1.002	1.045	1.082	1.115	1.145	881	830	671	615	636	661	758	842	1.064	1.321	1.348	1.344	1.297	1.215	1.113	1.010	932	912	984	1.193	1.316	
	HIFI (Home Audio Total ohne Lautsprecherboxen)	5.900	5.600	5.100	4.500	4.300	4.500	3.800	3.500	3.400	3.300	3.149	2.712	2.525	2.637	2.675	2.666	2.743	2.629	2.465	2.471	2.401	2.362	2.328	2.300	2.274	2.252	2.162	2.130	2.098	2.068	2.039	
	MP3 Portables 9)					20	40	48	106	870	3.169	8.383	7.420	7.942	7.790	6.684	5.362	4.596	3.768	2.393	1.684	1.512	1.411	1.339	1.284	1.238	1.200	1.167	1.138	1.111	1.088	1.066	
	Radio Recorder	2.324	2.283	2.243	2.203	2.162	2.122	2.081	2.041	2.000	2.165	2.037	1.810	1.774	1.825	1.704	1.641	1.545	1.521	1.560	1.564	1.495	1.473	1.453	1.434	1.416	1.400	1.384	1.369	1.355	1.342	1.329	
Docking Lautsprecher								1	3	8	22	61	169	473	610	417	506	590	832	1.188	1.999	2.278	2.442	2.557	2.647	2.721	2.783	2.837	2.884	2.927	2.965	3.000	
Spielekonsolen	Spielekonsolen			2.400	2.400	2.300	2.900	2.700	2.600	2.700	2.460	3.500	2.920	3.914	4.666	3.853	3.075	2.984	2.577	2.319	2.288	2.270	2.257	2.247	2.239	2.232	2.226	2.221	2.216	2.212	2.208	2.204	
Tele-kommunikation	sonstige Telefone (schnurlos, normal)	4.400	5.400	6.200	6.600	6.800	6.900	5.700	5.500	5.900	5.835	6.438	6.080	6.263	6.488	6.226	6.130	5.987	5.433	4.899	4.664	4.440	4.282	4.153	4.044	3.950	3.867	3.792	3.725	3.663	3.606	3.554	
	Mobiltelefone	372	1.300	2.000	2.800	4.300	13.900	11.900	11.600	14.600	18.000	20.000	20.740	24.000	20.809	16.550	14.629	10.821	6.891	4.306	3.005	2.255	1.864	1.596	1.399	1.248	1.129	1.032	951	883	825	775	
	Smartphones										530	900	1.100	1.098	1.351	2.947	7.702	14.547	18.380	22.374	24.128	24.462	24.947	25.324	25.632	25.892	26.117	26.316	26.494	26.654	26.801	26.936	
PCs und Monitore	Desktop PCs + 10% (Selbstbau)	3.300	3.300	3.300	3.300	3.960	4.400	2.750	2.640	2.200	1.859	1.822	1.595	1.548	1.485	1.684	1.739	1.588	1.384	1.397	1.749	1.628	1.558	1.508	1.469	1.437	1.410	1.387	1.366	1.348	1.331	1.316	
	Notebooks				266	448	514	510	812	1.200	1.420	1.945	2.280	3.010	4.433	6.322	6.661	7.123	5.688	5.013	5.436	5.484	5.590	5.673	5.740	5.796	5.846	5.889	5.928	5.963	5.995	6.024	
	Tablet PCs																436	1.434	3.327	5.548	6.643	6.931	7.262	7.519	7.728	7.906	8.059	8.195	8.316	8.426	8.526	8.618	
	Monitore	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.594	2.456	2.304	2.446	2.595	3.208	3.100	3.441	3.463	3.251	2.576	2.604	2.153	1.936	2.144	2.174	2.191	2.203	2.213	2.220	2.227	2.233	2.238	2.242	2.246	2.250	
Sonstige IT	Drucker					3.200	3.163	3.070	2.928	2.760	2.512	2.210	1.818	1.485	1.072	929	890	750	674	689	623	594	570	549	530	514	499	485	472	461	450		
	Projektoren					1	4	8	14	22	31	42	54	68	83	100	118	162	136	182	184	196	205	212	219	224	229	233	237	240	244		
	Telefax+Kombinationsgeräte										535	500	460	388	341	281	229	186	136	113	88	85	79	74	70	67	64	61	59	57	55	53	
	Scanner										560	429	300	246	238	238	292	325	269	203	181	153	135	120	107	97	87	78	71	63	57	51	
Flachbett-MFD					448	578	745	962	1.240	1.600	2.064	2.360	2.785	3.065	2.904	3.064	3.375	3.140	3.001	3.116	3.381	3.436	3.487	3.534	3.578	3.619	3.658	3.695	3.730	3.764	3.795		

⁶⁸ (CEMIX 2015) sowie ergänzende Teildaten für die Jahre 1995-2003 durch eine Emailanfrage

Legende		
Datenbasis	Berechnungen, Extrapolationen	http://www.bvt-ev.de/bvt_cm/der Markt/cemix.php
1) CRT-TV, port. TV, OLED 2) Tuner, Amplifier, Receiver, Cassettendecks, Plattenspieler, CD-Player/Recorder 3) Personal Stereo, Kofferradios, Uhrenradios, Cassettenrecorder, CD-Portables, MD-Portables, eBooks 4) inkl. CD-Packages, CD-Wechsler 5) Car Vision, Verstärker 6) Audio Cassetten, Video Cassetten, HD Recording Media 7) Konsumentenmarkt, Durchschnittspreise ohne Subventionen 8) inkl. High Definition Recorder 9) inkl. Digitaler Portabler Video Player 10) inkl. High Definition Player 11) inkl. Videokassettenrecorder 12) Externe Festplatten, Multimedia Festplatten, NAS-Systeme 13) Camcorder, Multimedia Cameras, Action Cams 14) Konsumentenmarkt		

Tabelle 14-2: Hochgerechnete Bestandszahlen für Unterhaltungselektronik und IKT in Haushalten auf Basis der LWR bis 2015 (Laufende Wirtschaftsrechnungen) und den Haushaltszahlen des Mikrozensus. Prognose ab 2016

<LWR> Gesamtbestand mit Mikrozensus Haushalten in 1000	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Fernseher	57.940	58.956	60.406	61.966	62.589	62.452	63.474	63.530	64.484	65.825	66.806	67.446	67.844	68.479	69.090	69.677	70.240					
Flachbildfernseher	293	960	2.227	4.012	7.742	11.976	17.934	25.128	31.567	38.063	44.725	51.728	55.848	59.124	61.784	64.045	66.023					
CRT	57.647	57.996	58.179	57.954	54.846	50.476	45.540	38.403	32.917	27.762	22.082	15.718	11.996	9.354	7.306	5.632	4.217					
Set-Top Boxen Total	16.731	18.203	18.952	22.681	23.939	24.675	25.672	26.353	27.398	30.582	34.417	35.569										
SatellitenempfsANSCHLUSS	15.140	16.494	17.100	20.735	21.674	22.385	23.616	24.061	24.618	25.377	25.801	25.992										
KabelANSCHLUSS	21.830	21.039	21.037	19.861	19.985	19.973	19.868	18.767	18.781	18.891	18.822	18.713										
DVB-T-ANSCHLUSS	1.565	2.255	3.895	5.680	7.831	9.525	10.357	11.853	13.103	13.387	13.922	14.344										
Pay-TV-Decoder (Anzahl)	1.591	1.709	1.852	1.946	2.265	2.291	2.055	2.292	2.779	5.206	8.616	9.577	11.019	11.930	12.674	13.303	13.848	14.328	14.758	15.147	15.502	15.829
DVD-Player/-Recorder	19.913	24.760	30.064	33.446	35.866	37.627	38.084	37.217	37.404	38.083	39.154	39.733										
Videokamera (Camcorder)	8.450	8.149	8.550	8.699	9.325	9.163	9.068	9.838	9.966	9.611	8.737	8.360										
-analog	5.986	5.485	5.448	5.124	4.863	4.622	4.312	4.504	4.090	3.714	3.366	3.256										
-digital	2.465	2.703	3.102	3.575	4.078	4.541	4.756	5.334	5.877	5.812	5.370	5.104										
Fotoapparat	49.685	54.035	58.457	60.377	63.110	65.386	65.167	65.545	63.809	62.348	60.995	58.924										
-analog	41.352	40.236	39.011	36.783	34.203	31.186	28.170	25.799	22.832	20.530	17.313	14.541										
-digital	8.333	14.143	19.446	23.595	29.055	34.200	36.996	39.746	40.978	42.304	43.683	44.383										
MP3-Player	3.258	7.248	12.407	16.445	21.612	25.077	26.397	26.906	26.723	26.835	27.171	27.334										
CD-Player/-Recorder	41.313	40.863	49.391	53.426	60.268	62.934	52.351	50.532	49.475	48.786	46.129	44.897										
Spielkonsole (auch tragbar)	6.357	6.768	7.277	8.262	10.754	13.584	15.798	16.712	18.186	19.021	18.675	18.448	18.306	18.190	18.095	18.015	17.946					
Personalcomputer (PC)	35.092	38.590	42.471	44.052	47.493	51.883	55.817	57.407	61.427	64.958	69.251	73.078	75.584	77.733	80.096	81.701	81.923					
-stationär	29.342	31.068	32.927	32.771	32.802	32.633	32.523	30.698	29.939	28.465	26.731	24.321	22.202	19.673	18.193	17.143	16.329					
-mobil (Notebook, Laptop, Tablet PC)	5.751	7.522	9.544	11.281	14.989	19.210	23.294	26.669	31.488	36.895	42.520	48.757	53.382	58.060	61.903	64.557	65.594					
Telefon	87.046	94.537	103.871	106.058	107.756	108.749	110.102	110.744	111.219	114.604	119.466	122.184	123.774	124.902	125.777	126.289	126.652					
-Festnetztelefon	42.174	44.937	49.311	50.010	48.043	45.694	45.258	45.277	45.425	46.854	49.454	50.918	51.687	52.012	52.331	52.295	52.338					
-Mobiltelefon (Handy, Smartphone)	44.873	49.560	54.521	56.048	59.284	63.055	64.844	65.466	65.755	67.726	70.012	71.266	72.086	72.890	73.445	73.994	74.314					
Telefaxgerät stationär	6.807	7.405	7.595	7.428	7.684	7.796	8.745	7.625	7.505	7.881	8.069	8.169										
Navigationsgerät	2.071	1.802	3.181	5.124	8.296	11.735	14.710	17.107	19.059	21.059	22.122	22.718										
Internetzugang	19.365	22.410	23.900	24.906	27.205	29.458	31.274	32.911	44.234													
-stationär (zu Hause, z.B. über DSL- oder TV-Kabelnetzanschluss)									30.614													
-mobil (unterwegs, z.B. per Handy, Notebook)									13.620													

14.2 Energy Star

Tabelle 14-3: Energiebezogene Betriebszustände nach ACPI

Power States nach ACPI			
Global State	Sleep State	Beschreibung	Erläuterung
G0		Working	Das System führt Anwendungen aus; Wechsel zum Aktivzustand sehr schnell möglich; Energieverbrauch schwankt und kann vom Nutzer durch Änderung von Leistungs-/Verbrauchseigenschaften beeinflusst werden; Keine sichere Demontage möglich; Systemzustand kann elektronisch gewechselt werden
G1	S1	Sleeping	CPU führt keine Anwendungen aus; Systeminhalte werden komplett gespeichert; Geringe Reaktionszeit des Systems auf Anfragen; Niedriger Energieverbrauch; Kein Neustart nötig für Working State; Keine sichere Demontage möglich; Systemzustand kann elektronisch gewechselt werden
G1	S2	Sleeping	CPU führt keine Anwendungen aus; Systeminhalte werden nicht komplett gespeichert; Inhalte von CPU und System Cache gelöscht; Geringe Reaktionszeit des Systems auf Anfragen; Niedriger Energieverbrauch; Kein Neustart nötig für Working State; Keine sichere Demontage möglich; Systemzustand kann elektronisch gewechselt werden
G1	S3	Sleeping	CPU führt keine Anwendungen aus; nur Inhalte des RAM werden gespeichert; Geringe Reaktionszeit des Systems auf Anfragen; Niedriger Energieverbrauch; Kein Neustart nötig für Working State; Keine sichere Demontage möglich; Systemzustand kann elektronisch gewechselt werden
G1	S4	Sleeping	CPU führt keine Anwendungen aus; Hardware komplett abgeschaltet; Lange Reaktionszeit des Systems auf Anfragen; Niedrigster Energieverbrauch. Kein Neustart nötig für Working State; Keine sichere Demontage möglich; Systemzustand kann elektronisch gewechselt werden
G2	S5	Soft Off	CPU führt keine Anwendungen aus; Hardware komplett abgeschaltet; Niedrigster Energieverbrauch; Neustart nötig für Working State; Keine sichere Demontage möglich; Systemzustand kann elektronisch gewechselt werden
G3		Mechanical Off	System ist ausgeschaltet; Kein Energieverbrauch - Ausnahme: Systemuhr; Sichere Montage möglich; Systemzustand kann nur mechanisch erreicht bzw. verlassen werden

Tabelle 14-4: Terminologie der Betriebszustände in Energy Star v6

Verwendet in Version	Terminologie in Energy Star	Anmerkungen
v6	Off Mode	ACPI Zustand S5 (siehe Tabelle 14-3)
v6	Sleep Mode	ACPI Zustand S3 (siehe Tabelle 14-3)
v6	Active State	
v6	Full Network Connectivity	Ruhezustand mit WoL, maximal 10 W
v6	Short Idle	Leerlaufzustand ohne Energiemanagementfunktionen
v6	Long Idle	Leerlaufzustand mit Energiemanagementfunktionen

Tabelle 14-5: Gewichtung der Modes für Desktops, Thin Clients und Integrated Desktops nach Energy Star v6

Mode Weighting	Conventional	Full Network Connectivity			
		Base Capability	Remote Wake	Service/Discovery/Name Services	Full Capability
T _{off}	45%	40%	30%	25%	20%
T _{sleep}	5%	15%	28%	36%	45%
T _{long idle}	15%	12%	10%	8%	5%
T _{short idle}	35%	33%	32%	31%	30%

Tabelle 14-6: Gewichtung der Modes für Notebooks nach Energy Star v6

Mode Weighting	Conventional	Full Network Connectivity			
		Base Capability	Remote Wake	Service/Discovery/Name Services	Full Capability
T _{off}	25%	25%	25%	25%	25%
T _{sleep}	35%	39%	41%	43%	45%
T _{long idle}	10%	8%	7%	6%	5%
T _{short idle}	30%	28%	27%	26%	25%

14.3 Trends und Prognosen (Cisco VNI Forecasts)

Im Folgenden sind die Highlights von Ciscos VNI Forecast für Deutschland gelistet. Diese finden sich online unter

http://www.cisco.com/web/solutions/sp/vni/vni_forecast_highlights/index.html werden dort aber erfahrungsgemäß regelmäßig aktualisiert. Folgend der Stand vom 04.09.2015:

IP Traffic

- In Germany, IP traffic will grow 2-fold from 2014 to 2019, a compound annual growth rate of 18%.
- In Germany, IP traffic will reach 3.5 Exabytes per month in 2019, up from 1.5 Exabytes per month in 2014.
- Germany's IP networks will carry 114 Petabytes per day in 2019, up from 51 Petabytes per day in 2014.
- In Germany, IP traffic will reach an annual run rate of 41.7 Exabytes in 2019, up from an annual run rate of 18.5 Exabytes in 2014.
- In Germany, IP traffic will reach 42 Gigabytes per capita in 2019, up from 19 Gigabytes per capita in 2014.
- In Germany, average IP traffic will reach 11 Tbps in 2019, and busy hour traffic will reach 41 Tbps.
- In 2019, the gigabyte equivalent of all movies ever made will cross Germany's IP networks every 2 hours.

Internet Traffic

- In Germany, Internet traffic will grow 2.3-fold from 2014 to 2019, a compound annual growth rate of 18%.
- In Germany, busy hour Internet traffic will grow 3.1-fold from 2014 to 2019, a compound annual growth rate of 25%.
- In Germany, Internet traffic will reach 2.8 Exabytes per month in 2019, up from 1.2 Exabytes per month in 2014.
- Germany's Internet traffic will be 92 Petabytes per day in 2019, up from 40 Petabytes per day in 2014.
- German Internet traffic in 2019 will be equivalent to 30x the volume of the entire German Internet in 2005.
- In Germany, Internet traffic will reach 34 Gigabytes per capita in 2019, up from 15 Gigabytes per capita in 2014.
- In Germany, average Internet traffic will reach 8 Tbps in 2019.
- In Germany, busy hour Internet traffic will reach 33 Tbps in 2019.

Traffic Topology and CDN

- In Germany, metro-only traffic will account for 86% of all IP traffic in 2019, up from 60% in 2014.
- In Germany, metro-only traffic will grow at a CAGR of 26%, compared to a CAGR of -4.1% for core traffic.
- In Germany, 87% of all Internet traffic will cross content delivery networks in 2019, up from 57% in 2014.

IP Video

- In Germany, IP video traffic will grow 3-fold from 2014 to 2019, a compound annual growth rate of 25%.
- In Germany, IP video traffic will reach 2.9 Exabytes per month in 2019, up from 939 Petabytes per month in 2014.
- In Germany, IP video will be 82% of all IP traffic in 2019, up from 61% in 2014.
- In Germany, Ultra HD will be 14.5% of IP Video traffic in 2019, up from 0.4% in 2014 (153.1% CAGR).
- In Germany, HD will be 60.9% of IP Video traffic in 2019, up from 44.7% in 2014 (32.9% CAGR).
- In Germany, SD will be 24.6% of IP Video traffic in 2019, compared to 54.9% in 2014 (6.5% CAGR).
- In Germany, consumer IP video traffic will be 87% of consumer IP traffic in 2019, up from 69% in 2014.
- In Germany, business IP video traffic will be 63% of business IP traffic in 2019, up from 32% in 2014.

Internet Video

- In Germany, Internet video traffic will grow 3-fold from 2014 to 2019, a compound annual growth rate of 27%.
- In Germany, Internet video traffic will reach 2.2 Exabytes per month in 2019, up from 674 Petabytes per month in 2014.
- In Germany, total Internet video traffic (business and consumer, combined) will be 80% of all Internet traffic in 2019, up from 56% in 2014.
- In Germany, Ultra HD will be 14.0% of Internet video traffic in 2019, up from 0.5% in 2014 (143.8% CAGR).

- In Germany, HD will be 58.7% of Internet video traffic in 2019, up from 39.7% in 2014 (37.4% CAGR).
- In Germany, SD will be 27.3% of Internet video traffic in 2019, compared to 59.8% in 2014 (8.6% CAGR).
- In Germany, consumer Internet video traffic will be 84% of consumer Internet traffic in 2019, up from 62% in 2014.
- In Germany, business Internet video traffic will be 65% of business Internet traffic in 2019, up from 34% in 2014.
- In Germany, Internet-Video-to-TV traffic will be 30% of fixed consumer Internet video traffic in 2019, up from 23% in 2014.
- In Germany, Internet-Video-to-TV traffic will increase 4-fold between 2014 and 2019 (31.6% CAGR).
- In Germany, 104 billion minutes (196,964 years) of video content will cross the Internet each month in 2019. That's 39,393 minutes of video streamed or downloaded every second.
- In Germany, long form Internet video traffic was 56.8% of Internet video traffic in 2014.
- In Germany, long form Internet video traffic will be 74.0% of Internet video traffic by 2019.

IP VOD

- In Germany, Ultra HD will be 18.2% of IP VOD traffic in 2019, up from 0.2% in 2014 (209.1% CAGR).
- In Germany, HD will be 77.2% of IP VOD traffic in 2019, up from 63.9% in 2014 (23.3% CAGR).
- In Germany, SD will be 4.6% of IP VOD traffic in 2019, compared to 36.0% in 2014 (-21.3% CAGR).

Mobile

- In Germany, mobile data traffic will grow 7-fold from 2014 to 2019, a compound annual growth rate of 49%.
- In Germany, mobile data traffic will reach 260 Petabytes per month in 2019, up from 35 Petabytes per month in 2014.
- German mobile data traffic will grow 3 times faster than German fixed IP traffic from 2014 to 2019.
- Germany's Mobile was 2% of total IP traffic in 2014, and will be 7% of total IP traffic in 2019.
- In Germany, mobile data traffic in 2019 will be equivalent to 2x the volume of the entire German Internet in 2005.

Devices

- In Germany, there will be 707.8 million networked devices in 2019, up from 377.7 million in 2014.
- In Germany, there will be 8.6 networked devices per capita in 2019, up from 4.6 per capita in 2014.
- In Germany, 34% of all networked devices will be mobile-connected in 2019.
- In Germany, M2M modules will account for 52% (367.9 million) of all networked devices in 2019, compared to 31% (116.0 million) in 2014, (26% CAGR).
- In Germany, PCs will account for 7% (47.7 million) of all networked devices in 2019, compared to 14% (53.6 million) in 2014, (-2.3% CAGR).
- In Germany, Tablets will account for 5% (35.1 million) of all networked devices in 2019, compared to 4% (14.3 million) in 2014, (19.6% CAGR).

- In Germany, Smartphones will account for 13% (92.8 million) of all networked devices in 2019, compared to 14% (52.3 million) in 2014, (12.1% CAGR).
- In Germany, Connected TVs will account for 16% (112.5 million) of all networked devices in 2019, compared to 15% (56.2 million) in 2014, (14.9% CAGR).
- In Germany, Non-Smartphones will account for 1.3% (9.3 million) of all networked devices in 2019, compared to 13% (48.2 million) in 2014, (-28% CAGR).
- In Germany, Other Portables will account for 6% (42.5 million) of all networked devices in 2019, compared to 10% (37.0 million) in 2014, (2.8% CAGR).
- In Germany, 4K TVs will account for 21% (12.2 million) of all flat panel TVs in 2019, compared to 0.9% (216,668) in 2014, (123.8% CAGR).
- Germany's IP traffic from non-PC devices was 29% of total IP traffic in 2014, and will be 58% of total IP traffic in 2019.
- In Germany, PCs accounted for 71% of IP traffic in 2014, and will be 42% of IP traffic in 2019.
- In Germany, TVs accounted for 23% of IP traffic in 2014, and will be 29% of IP traffic in 2019.
- In Germany, portable devices such as smartphones and tablets accounted for 6% of IP traffic in 2014, and will be 25% of IP traffic in 2019.
- In Germany, M2M modules accounted for 0.6% of IP traffic in 2014, and will be 4.1% of IP traffic in 2019.
- In Germany, PCs accounted for 79% of consumer Internet traffic in 2014, and will be 43% of consumer Internet traffic in 2019.
- In Germany, TVs accounted for 13% of consumer Internet traffic in 2014, and will be 20% of consumer Internet traffic in 2019.
- In Germany, TVs accounted for 10% of total Internet traffic in 2014, and will be 16% of total Internet traffic in 2019.

Wired Wi-Fi and Mobile Growth

- Germany's Fixed/Wi-Fi was 44% of total IP traffic in 2014, and will be 49% of total IP traffic in 2019.
- Germany's Fixed/Wired was 54% of total IP traffic in 2014, and will be 44% of total IP traffic in 2019.
- Germany's Mobile was 2% of total IP traffic in 2014, and will be 7% of total IP traffic in 2019.
- Germany's Fixed/Wi-Fi was 52.9% of total Internet traffic in 2014, and will be 58.7% of total Internet traffic in 2019.
- Germany's Fixed/Wired was 44% of total Internet traffic in 2014, and will be 32% of total Internet traffic in 2019.
- Germany's Mobile was 2.9% of total Internet traffic in 2014, and will be 9.3% of total Internet traffic in 2019.

Broadband Speed Evolution

- In Germany, the average fixed broadband speed will grow 2.3-fold from 2014 to 2019, from 24.6 Mbps to 55.3 Mbps.
- In Germany, 87% of fixed broadband connections will be faster than 5 Mbps in 2019, up from 79% today.
- In Germany, 74% of fixed broadband connections will be faster than 10 Mbps in 2019, up from 62% today.
- In Germany, 43.2% of fixed broadband connections will be faster than 25 Mbps in 2019, up from 38.2% today.

- In Germany, 28.0% of fixed broadband connections will be faster than 50 Mbps in 2019, up from 16.7% today.
- In Germany, the average mobile connection speed will grow 4-fold from 2014 to 2019, reaching 9,263 kbps in 2019.

Traffic per User and Household

- In Germany, the average Internet user will generate 36.9 gigabytes of Internet traffic per month in 2019, up 117% from 17.0 gigabytes per month in 2014, a CAGR of 17%.
- In Germany, the average Internet household will generate 66.6 gigabytes of Internet traffic per month in 2019, up 119% from 30.5 gigabytes per month in 2014, a CAGR of 17%.
- In Germany, there will be 29 million Internet households (96.4% of all Internet households) generating more than 50 gigabytes per month in 2019, up from 7 million in 2014.
- In Germany, there will be 6 million Internet households (19.5% of all Internet households) generating more than 100 gigabytes per month in 2019, up from 1 million in 2014.
- In Germany, there will be 2 million Internet households (5.3% of all Internet households) generating more than 250 gigabytes per month in 2019.
- In Germany, there will be 299,287 households (1.0% of all Internet households) generating more than 500 gigabytes per month in 2019.
- In Germany, there will be 270,652 households (0.9% of all Internet households) generating more than a terabyte per month in 2019.
- In Germany, the average mobile connection will generate 1,864 megabytes of mobile data traffic per month in 2019, up from 317 megabytes in 2014.