

Prof. Clemens Felsmann, Elisabeth Eckstädt, Dr. Karin Rühling

WÄRMEVERSORGUNG FÜR SACHSEN AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

**Studie im Auftrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen
Landtag**

26. November 2014

INHALTSVERZEICHNIS

Executive Summary	iv
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	ix
Formelzeichen, Indizes, Abkürzungen	x
1 Grundlagen	1
1.1 Anlass der Studie	1
1.2 Inhalt und Aufbau der Studie	1
1.3 Methodik und Indikatoren	2
1.4 Auswertung der sächsischen Energiestatistik	5
1.5 Gesetzlicher Rahmen	7
1.5.1 EU	7
1.5.2 BRD	9
1.5.3 Sachsen	13
1.6 Wissenschaftliche Studien für erneuerbare Energien in Deutschland	17
1.6.1 Prognos, EWI, GWS	17
1.6.2 DLR, IWES, IfnE	19
1.6.3 ISE	19
1.6.4 FVEE	20
1.6.5 Shell	20
1.7 Energie- und Klimaschutzprogramme deutscher Bundesländer	20
1.8 Projekte und Konzepte auf kommunaler Ebene	24
1.8.1 Projekt 100% RES Communities	24
1.8.2 Projekt European Energy Award	25
1.8.3 Weitere Projekte	25
1.8.4 Konzept Landeshauptstadt Dresden	28
2 Entwicklung des Endenergieverbrauchs	30
2.1 Überblick Berechnungsmodell	30
2.2 Maßnahmen, welche den Nutzenergieverbrauch verändern (Sektor Haushalte)	31
2.2.1 Überblick Berechnungsmodell Haushalte	31
2.2.2 Bevölkerungsentwicklung	33
2.2.3 Wohnflächenentwicklung	33
2.2.3.1 Gesamtbestand 2011	33
2.2.3.2 Stadt und Land	36
2.2.3.3 Neu- und Rückbau	39
2.2.3.4 Sanierung der Gebäudehülle	39
2.2.3.5 Szenario Trend	43
2.2.3.6 Szenario Klimaschutz	46
2.2.4 Spezifischer Energieverbrauch	50
2.2.4.1 Neubauten	50

2.2.4.2	Gebäude mit saniertem Gebäudehülle	50
2.2.4.3	Denkmale	51
2.2.4.4	Trinkwassererwärmung	52
2.2.5	Änderung des Energiestandards des Gebäudebestands durch Sanierung der Gebäudehülle in den Szenarien	52
2.2.6	Wärmeverteilungs- und Wärmeübergabeaufwand	52
2.2.7	Änderung des Endenergieverbrauchs durch Sanierung der Gebäudehülle und Anlagensanierung in den Szenarien	53
2.3	Dezentrale Erzeugung (Sektor Haushalte)	59
2.3.1	Überblick Berechnungsmodell	59
2.3.2	Ermittlung des Wärmeerzeugerbestandes 2011	60
2.3.3	Berechnung des Verbrauchs der einzelnen Endenergiträger	64
2.3.4	Änderungen in der Erzeugerstruktur	65
2.3.4.1	Generelle Trends	65
2.3.4.2	Szenario Trend	65
2.3.4.3	Szenario Klimaschutz	69
2.4	Sektor Gewerbe / Handel / Dienstleistungen	72
2.5	Kälteversorgung	73
2.6	Sektorübergreifende Zusammenfassung	75
3	Deckung des Endenergieverbrauchs und primärenergetische Effekte	77
3.1	Anteil erneuerbarer Energien an der zentralen Energiebereitstellung	77
3.1.1	Ausgangssituation	77
3.1.2	Strom	77
3.1.3	Gas	78
3.1.4	Fernwärme	78
3.1.5	Zusammenfassung	80
3.2	Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch	80
3.3	Primärenergetische Effekte	84
4	Zusammenfassung und weiterführende Maßnahmen	87
4.1	Szenarien, Modellparameter und Bilanzgrößen	87
4.2	Ergebnis Wärmeversorgung Haushalte	88
4.3	Ergebnis Wärme- und Kälteversorgung sektorenübergreifend	92
4.4	Ausblick und Weiterführende Maßnahmen	92
A	Formelwerk und Zahlenwerte	95
B	Energieprogramme der Länder	101
B.1	Baden-Württemberg	101
B.2	Bayern	101
B.3	Bremen	102
B.4	Berlin	102
B.5	Brandenburg	102
B.5.1	Programm der Landesregierung	102
B.5.2	Zugrunde liegende Studie im Auftrag der Landesregierung	103
B.5.3	Studie der Grünen Fraktionen	104
B.5.4	Studie im Auftrag von Greenpeace	105
B.5.5	Studie der Rosa-Luxemburg-Stiftung	106
B.6	Hamburg	106
B.7	Hessen	106

B.8 Mecklenburg-Vorpommern	106
B.9 Niedersachsen	106
B.10 Nordrhein-Westfalen	107
B.11 Rheinland-Pfalz	107
B.12 Saarland	107
B.13 Sachsen	107
B.14 Sachsen-Anhalt	107
B.15 Schleswig Holstein	108
B.16 Thüringen	108
B.17 Norddeutschland	108
Literaturverzeichnis	109

EXECUTIVE SUMMARY

Nicht nur das alljährliche Entrichten der Heizkosten sollte Anlass zum Nachdenken über die bevorzugte Form des Heizens geben. Das für die Einzelhaushalte wichtige Thema ist auch aus volkswirtschaftlicher Sicht brisant, da Fragen zur Versorgungssicherheit fossiler Energieträger und zu den durch die Wärmebereitstellung verursachten klimarelevanten Emissionen aufgeworfen werden. Die TU Dresden hat daher in einer Auftragsstudie die Wärmeversorgung für die Bereiche Haushalte sowie Gewerbe/Handel/Dienstleistung im Freistaat Sachsen analysiert und mögliche Zukunftsszenarien, die bis in das Jahr 2050 reichen, untersucht. Besonderes Augenmerk galt der Herausforderung, Erneuerbare Energiequellen lokal am Gebäude zu nutzen bzw. in zentrale Versorgungsstrukturen zu integrieren, um so langfristig den Verzicht auf den Einsatz fossiler Energieträger für die Wärmeversorgung zu ermöglichen. Im Ergebnis der detaillierten Betrachtungen hat sich gezeigt:

- Der Wärmeverbrauch für Wohngebäude wird sich in Sachsen bis 2050 bestenfalls um etwa 60% gegenüber 2011 verringern lassen. Insbesondere für die Raumheizung der Gebäude verbleibt trotz umfangreicher energetischer Sanierungen und Neubau energiesparender Gebäude auch weiterhin ein signifikanter Nutz- und damit Endenergieverbrauch. Es wird mit vertretbarem Aufwand nicht möglich sein, den Wärmeverbrauch für die Raumheizung bis 2050 soweit abzusenken, dass auf die Gebäudebeheizung vollständig verzichtet werden kann. Dennoch darf bei der Ertüchtigung des Gebäudebestandes nicht so zögerlich weiterverfahren werden wie bisher.
- Da sich durch die wirtschaftlich vertretbare energetische Sanierung von Gebäuden auch langfristig kein Neubaustandard erreichen lässt, ist auch unter Berücksichtigung der demografischen Entwicklung der Rückbau von Gebäuden erforderlich. Dies wird vor allem im ländlichen Raum zu einer deutlichen Reduzierung der bewohnten Wohnfläche führen, obwohl die spezifische Wohnfläche je Einwohner steigt.
- Der absolute Betrag des Wärmebedarfs für die Raumheizung sinkt deutlich stärker als der für die Trinkwasserwärmung. So sind 2050 etwa 30% des Wärmeverbrauchs in Wohngebäuden der Trinkwassererwärmung zuzuordnen. Hier sind daher zukünftig geeignete Technologien einzusetzen, die diesen Herausforderungen mit der notwendigen energetischen Effizienz begegnen ohne jedoch die Komfort- und Hygieneanforderung in der Trinkwarmwasserversorgung zu beeinträchtigen.
- Im Wohnbereich ist darauf zu achten, dass durch geeignete bauliche Maßnahmen der Energieverbrauch für die Kälteversorgung zur Klimatisierung und Kühlung nicht weiter ansteigt. Die Fortschreibung der zu beobachtenden Trends hat bis 2050 vergleichsweise hohe energetische Aufwendungen für die Bereitstellung der Klimakälte zur Folge.
- Erneuerbare Energiequellen können einen signifikanten Beitrag zur Deckung des Wärmeverbrauchs leisten. Dies wird umso einfacher möglich sein, je geringer der verbleibende Wärmeverbrauch der Gebäude ist. Daher sind weitere Anstrengungen in den Bereichen der Sanierung von Gebäuden unbedingt notwendig. Gleichzeitig ist anzustreben, die am und im Gebäude – also dezentral – verfügbaren erneuerbaren Energiequellen so weit wie möglich lokal zu nutzen, um die auf fossilen Energieträgern beruhenden zentralen Energieversorgungsstrukturen zu entlasten.

- Neben der Biomasse als echte erneuerbare Energiequelle verbleiben im Wesentlichen drei zentral zu versorgende Energieträger: Fernwärme, Gas und Strom, die für die Wärmeversorgung einzusetzen sind. Die Bereitstellung dieser Energieträger sollte möglichst ohne den Einsatz von fossilen Primärenergien erfolgen. Die Bedeutung der Fernwärme für die zukünftige Wärmeversorgung in Sachsen wird deutlich zunehmen. Dies betrifft vor allem den urbanen Raum. Ohne die Umweltenergien nutzende Fernwärme ist eine zukünftige ressourcenschonende Wärmeversorgung nicht denkbar.
- Es bestehen starke Interaktionen zwischen dem Strom- und Wärmesektor, da die Beheizung zukünftig vermehrt auch über Wärmepumpen oder Stromdirektheizung erfolgt. Hier ist insbesondere in Sachsen der durch den Einsatz der heimischen Braunkohle verursachte hohe fossile Energieanteil im Stromsektor auch für die Bilanzierung der Wärmeversorgung nachteilig.

Bei den Untersuchungen wird zunächst auf die technischen Machbarkeit der Umsetzung von Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen fokussiert. Dabei werden durchaus noch Potentiale zur Weiterentwicklung bestehender Wärmeerzeugertechnologien gesehen. Dies betrifft vor allem die Wärmepumpen und die Biomasse-Heizgeräte. Die Schaffung der notwendigen rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen einschließlich effektiver Anreizsysteme zur praktischen Realisierung der Szenarien bleibt Aufgabe der Politik und ist vorteilhafterweise nur in gesellschaftlichem Konsens zu realisieren.

Die vorliegende Studie verfolgt einen Bottom-up-Ansatz, der die Auswirkungen angenommener Maßnahmen abschätzt. Die Maßnahmen wurden dabei unter Berücksichtigung des Zieldreiecks (Ökologie, Ökonomie und Akzeptanz) ausgewählt, *nicht* im Hinblick auf ein „Zielszenario 100%“. Schlussendlich wird es als möglich angesehen, die Wärmeversorgung für die Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung in Sachsen bis 2050 zu über 80 % aus erneuerbaren Energiequellen sicherzustellen. Dieser Anteil entspricht mindestens den bundesdeutschen Zielstellungen für den Einsatz Erneuerbarer Energien zur Deckung des Stromverbrauchs und geht weit über die derzeit bekannten nationalen Zielstellungen im Bereich der Wärmeversorgung hinaus. Der Freistaat Sachsen übernimmt damit eine richtungsweisende Rolle innerhalb der Bestrebungen zum Aufbau nachhaltiger Energieversorgungssysteme.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1.1	Zieldreieck der Energieversorgung	2
1.2	Bilanzkreis Gebäude	3
1.3	Endenergieverbrauch nach Sektoren und Anwendungsbereichen - prozentuale Aufteilung für Sachsen 2011, eigene Darstellung nach [1]	6
1.4	Verteilung des Endenergieverbrauchs für Wärme auf die Sektoren und Verbrauchsarten in Sachsen 2011, eigene Darstellung nach [1]	7
1.5	Anteil der Energieträger am Endenergieverbrauch in Sachsen 2011, eigene Darstellung nach [1]	8
1.6	Potenziale Erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung in Sachsen 2022, Bildquelle: [2]	16
1.7	Zielstellungen der Bundesländer bzgl. Absenkung des EEV der Haushalte für Wärme	22
1.8	Zielstellungen der Bundesländer für den erneuerbaren Anteil an der Wärmeversorgung	22
1.9	100ee Regionen in Deutschland, Bildquelle: [3]	26
1.10	European Energy Award - teilnehmende Kommunen und Landkreise in Sachsen, Bildquelle: [4]	27
2.1	Primärenergie, Endenergie, Nutzenergie im Bezug zum Bilanzkreis Gebäude	30
2.2	Prognose der Bevölkerungsentwicklung Sachsen, eigene Darstellung nach [5, 6]	33
2.3	Verteilung der Gebäude und Wohnfläche auf Ein- und Zweifamilienhäuser bzw. Mehrfamilienhäuser in Stadt und Land, eigene Darstellung nach [7, 8]	34
2.4	Verteilung der Wohnflächen in Deutschland auf Gebäudetypen und Baujahre, eigene Darstellung nach [9]	35
2.5	Verteilung der Wohnflächen 2011 auf die EEV-Klassen	36
2.6	Aufteilung Einwohner, Wohnfläche und Gebäude auf Stadt und Land, eigene Darstellung nach [7, 8, 10]	37
2.7	Entwicklung der Wohnfläche pro Einwohner in Stadt w_S , Land w_L und gesamt w	38
2.8	Historische Entwicklung der Wohnfläche pro Einwohner w , Quelle: eigene Darstellung nach [10, 11]	38
2.9	Prognostizierte Entwicklung der Wohnflächen $A(a)$ im städtischen und ländlichen Raum	39
2.10	Sanierungsraten, eigene Darstellung nach [9, 12]	41
2.11	Eigentümerstruktur der Wohngebäude und Wohnungen in Sachsen, eigene Darstellung nach [7]	42
2.12	TREND Sanierungs- und Rückbauraten $r_{e,T}$	44
2.13	TREND mittlere Raten von Rückbau/Leerstand und Sanierung $\bar{r}_{RB,T}$	44
2.14	TREND Wohnflächenentwicklungen 2011-2050 Stadt und Land $A_{a,T,S}$, $A_{a,T,L}$	45
2.15	TREND Wohnflächenentwicklung 2011-2050 Sachsen $A_{a,T}$	46
2.16	KLIMASCHUTZ Sanierungs- und Rückbauraten $r_{e,K}$	47
2.17	KLIMASCHUTZ mittlere Raten von Abriss/Leerstand und Sanierung $\bar{r}_{RB,K}$	47

2.18 KLIMASCHUTZ Wohnflächenentwicklungen 2011-2050 Stadt und Land $A_{a,K,S}$, $A_{a,K,L}$	49
2.19 KLIMASCHUTZ Wohnflächenentwicklung 2011-2050 Sachsen $A_{a,K}$	50
2.20 Wohnflächenbezogener Endenergieverbrauch Neubauten $q_{NB,a}$	51
2.21 Energieeinsparung bei Sanierung	51
2.22 TREND Wohnflächenverteilung 2011 und 2050	52
2.23 KLIMASCHUTZ Wohnflächenverteilung 2011 und 2050	53
2.24 TREND Entwicklung des Endenergieverbrauchs mit Hüllen- und Anlagensanierung 2011-2050 Stadt und Land unter Berücksichtigung demografischer Effekte	55
2.25 TREND Entwicklung des Endenergieverbrauchs mit Hüllen- und Anlagensanierung 2011-2050 Sachsen unter Berücksichtigung demografischer Effekte	56
2.26 KLIMASCHUTZ Entwicklung des Endenergieverbrauchs mit Hüllen- und Anlagensanierung 2011-2050 Stadt und Land unter Berücksichtigung demografischer Effekte	57
2.27 KLIMASCHUTZ Entwicklung des Endenergieverbrauchs mit Hüllen- und Anlagensanierung 2011-2050 Sachsen unter Berücksichtigung demografischer Effekte	58
2.28 Anteil der einzelnen Wärmeerzeuger im Gebäudebestand 2011, eigene Darstellung nach [12]	61
2.29 Bestand primärer Wärmeerzeuger 2011 angepasst für Sachsen	62
2.30 Deckungsbeiträge sekundärer Wärmeerzeuger in Sachsen 2011	63
2.31 Vergleich des Rechenmodells für den Endenergieverbrauch mit den statistischen Daten Sachsen 2011, eigene Darstellung nach [1]	63
2.32 Jahresarbeitszahlen und -nutzungsgrade der verschiedenen Erzeuger	64
2.33 TREND Anteile Wärmeerzeuger 2050, Daten siehe Tabelle A.7	67
2.34 TREND Deckungsbeitrag sekundäre Erzeuger 2050	68
2.35 TREND EEV nach Energieträgern Sachsen 2050	68
2.36 KLIMASCHUTZ Anteile Wärmeerzeuger 2050, Daten siehe Tabelle A.8	70
2.37 KLIMASCHUTZ Deckungsbeitrag sekundäre Erzeuger 2050	71
2.38 KLIMASCHUTZ EEV nach Energieträgern Sachsen 2050	71
2.39 EEV im Sektor GHD 2011 nach Verwendungszwecken, eigene Darstellung nach [1]	72
2.40 Entwicklung des EEV im Sektor GHD nach Energieträgern	73
2.41 Zusammensetzung und Deckung des Kälteverbrauchs 2011, eigene Darstellung nach [1]	74
2.42 Entwicklung des Klimakältebedarfs in den Szenarien	74
2.43 Entwicklung des EEV aller betrachteten Sektoren und Bereiche	75
2.44 Entwicklung des EEV aller betrachteten Sektoren und Bereiche nach Energieträgern	76
3.1 Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren an den zentral bereitzustellenden Energieträgern $\sigma_{EE,t}(a)$	81
3.2 Vergleich der Entwicklung des regenerativen Anteils für die Wärmeversorgung der Haushalte	82
3.3 Szenario TREND - Entwicklung Endenergieverbrauch und regenerativer Anteil 2011-2050 Wärme- und Kälteversorgung für Haushalte und GHD Sachsen	83

3.4	Szenario KLIMASCHUTZ Entwicklung Endenergieverbrauch und regenerativer Anteil 2011-2050 Wärme- und Kälteversorgung für Haushalte und GHD Sachsen	83
3.5	Primärenergiefaktoren eigene Darstellung mit Ergänzungen nach: [13, 14, 15, 16]	85
3.6	Endenergieverbrauch EEV und Primärenergieverbrauch PEV 2011 und in beiden Szenarien für Wärme- und Kälteversorgung Haushalte und GHD Sachsen	86
4.1	Vergleich der Wohnflächenverteilung 2011 und in beiden Szenarien	89
4.2	Entwicklung des durchschnittlichen spezifischen Endenergieverbrauchs der Haushalte	90
4.3	Vergleich des Endenergieverbrauchs der Haushalte Sachsen 2011 und in beiden Szenarien	91
4.4	Anteile der Energieträger am Endenergieverbrauch der Haushalte Sachsen 2011 und in beiden Szenarien	92

TABELLENVERZEICHNIS

1.1	Studien das Gebiet der BRD betreffend	17
1.2	100ee-Regionen und -Gemeinden in Sachsen	25
2.1	Übersicht Gebäudetypen 2011	59
4.1	Zusammenfassung der wichtigsten szenarienunabhängigen Modellparameter (Input)	87
4.2	Zusammenfassung der wichtigsten szenarienabhängigen Modellparameter (Input)	88
4.3	Änderung des Endenergieverbrauchs 2050 im Vergleich zu 2011 durch verschiedene Maßnahmen	93
A.1	Verschiedene Annahmen zur Berechnung des fiktiven Energieverbrauchs nach Gl. A.1ff	95
A.2	Annahmen zum Verhältnis Hüll- zu Wohnfläche	96
A.3	Annahmen zur Infiltration und zum Fensterflächenanteil	96
A.4	Annahmen zum Anteil der Bauteile an der Hüllfläche	96
A.5	Annahmen zum Wärmeleitwert der Bauteile	96
A.6	Erzeugerbestand 2011 angepasst für Sachsen	98
A.7	TREND Erzeugerbestand 2050	99
A.8	KLIMASCHUTZ Erzeugerbestand 2050	100

FORMELZEICHEN, INDIZES, ABKÜRZUNGEN

Formelzeichen

Symbol	Beschreibung	Einheit
lateinische Buchstaben		
a	Wohnfläche pro Jahr	m^2/a
A	Wohnfläche	m^2
EEV	Endenergieverbrauch	GWh
EW	Einwohner	-
f	Faktor	-
G	Gradtagszahl	Kd/a
n	Luftwechselzahl	$1/\text{h}$
NEV	Nutzenergieverbrauch	
r	Rate	$\%/\text{a}$
q	flächenbezogener Endenergieverbrauch	$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$
u	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$
V	Volumen	m^3
w	Wohnfläche pro Einwohner	m^2/EW
griechische Buchstaben		
λ	Wärmeleitwert	$\text{W}/\text{m}/\text{K}$
σ	Deckungsbeitrag, Anteil	-

Laufindizes

Buchstabe	Beschreibung	Menge
a	Jahr	2010...2050
e	Energieverbrauchsklasse	$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$
i	Sektor	HH, GHD, Ind
j	Region	Stadt, Land
k	Haustyp	EZFH, MFH
m	Energieverbrauchs- klassengruppe	<20, 20...100, >100 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$
n	Erzeuger	FW, Gas-BW, Gas-Nicht-BW, Gas-WP, Gas- BHKW, Öl-BW, Öl-Nicht- BW, Biomasse, Kohle, WP el Luft, WP el Sole/Wasser, direktelektrisch, ST/PV
t	Energieträger	FW, Gas, Öl, BM, Kohle, Strom, Solar, Umwelt
u	Bauteil	AW, ZW, Dach/OGD, FB/KD, F
v	Baualtersklasse	bis 1860, 1861, 1919, 1949, 1958, 1969, 1979, 1984, 1995, 2002-2009
w	Gebäudetyp	EFH, RH, MFH, GMH

Abkürzungen, Indizes

Abkürzung	Beschreibung
AW	Außenwand
BDH	Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., Köln
BET	Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH
BlmSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BM	Biomasse
BW	Brennwert
D	Denkmal
EE	Erneuerbare Energie(n)
EEA	European Energy Award
EFH	Einfamilienhaus
ERH	Einzelraumheizung / Einzelfeuerstätte
EW	Einwohner
EFH	Einfamilienhaus
EuK	Energie- und Klimaschutzprogramm
EZFH	Ein-/Zweifamilienhaus
F	Fenster
FB	Fußboden
FFU	Forschungsstelle für Umweltpolitik der FU Berlin
FW	Fernwärme
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GMH	Großes Mehrfamilienhaus
HF	Hüllfläche
HH	Haushalte
HK	Heizkessel
Ind	Industrie
IRS	Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung
IWU	Institut für Wohnen und Umwelt
K	Klimaschutz
kam	Kamin
KD	Kellerdecke
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
L	Land
mit	mit Sekundärerzeuger
MFH	Mehrfamilienhaus
NB	Neubau
nreg	nichtregenerativ
nutz	Nutzenergie
OGD	oberste Geschossdecke
ohne	ohne Sekundärerzeuger
p	primär
PV	Photovoltaik
PW	Prozesswärme
RB	Rückbau/Leerstand
RH	Reihenhaus
RW	Raumwärme
S	Stadt

Abkürzung	Beschreibung
san	saniert
SLS	Statistisches Landesamt Sachsen
SMI	Sächsisches Ministerium des Inneren
SMUL	Sächsisches Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft
sol	solar
ST	Solarthermie
T	Trend
TWE	Trinkwassererwärmung
uns	unsaniert
WH	Wohnungsheizung
WP	Wärmepumpe
Z	Zusatz
ZH	Zentralheizung
ZW	Zwischenwand

1 GRUNDLAGEN

1.1 Anlass der Studie

Nicht nur das alljährliche Entrichten der Heizkosten sollte Anlass zum Nachdenken über die bevorzugte Form des Heizens geben. Das für die Einzelhaushalte wichtige Thema ist auch aus volkswirtschaftlicher Sicht brisant, da Fragen der Versorgungssicherheit und der klimarelevanten Emissionen der Wärmeversorgung betroffen sind. Die TU Dresden untersucht daher in einer Studie im Auftrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag die Wärmeversorgung für die Bereiche Haushalte sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen im Freistaat Sachsen und analysiert mögliche Zukunftsszenarien, die bis in das Jahr 2050 reichen. Besonderes Augenmerk gilt der Herausforderung, erneuerbare Energiequellen lokal am Gebäude zu nutzen bzw. in zentrale Versorgungsstrukturen zu integrieren um so den Verzicht auf den Einsatz fossiler Energieträger für die Wärmeversorgung voranzutreiben. Im Haushaltssektor ist dabei für urbane und ländliche Räume differenziert vorzugehen. Außerdem sind demographische Entwicklungen zu berücksichtigen.

1.2 Inhalt und Aufbau der Studie

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Frage, wie die Wärmeversorgung in Sachsen zukünftig gestalten werden kann. Eine besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Problemstellung, ob und wie es möglich ist, die Wärmeversorgung im Freistaat Sachsen bis zum Jahr 2050 zu 100% ohne den Einsatz fossiler Energieträger und damit ausschließlich auf Grundlage Erneuerbarer Energiequellen zu sichern. Damit werden die für die ganzheitliche und nicht nur vorrangig auf die Stromversorgung fokussierte Betrachtung der Energiewirtschaft notwendigen und hilfreichen Ansätze herausgearbeitet.

Die Untersuchungen erfolgen für urbane und ländliche Räume differenziert. Dabei wird die gesamte Versorgungsketten von Bereitstellung über Transport bis zum Verbraucher für folgende zwei Szenarien betrachtet:

- Das Trendszenario beschreibt die Auswirkungen, wenn alle Einflussfaktoren sich weiter so entwickeln, wie sie es in den letzten Jahren getan haben.
- Das Szenario Klimaschutz hingegen ist ein Zielszenario, welche Maßnahmen ableitet, die darauf abzielen für 2050 eine nahezu 100% erneuerbare Wärmeversorgung zu ermöglichen.

Abbildung 1.1 zeigt das Zieldreieck in dem sich die Energieversorgung bewegt. Neben der Ökologie, die durch die im Folgenden beschriebenen Indikatoren abgebildet wird, sind auch die Aspekte Nutzerakzeptanz und Marktfähigkeit zu betrachten.

Im Kapitel Grundlagen werden zunächst die Methodik und die verwendeten Indikatoren (1.3) erläutert. Anschließend gibt Abschnitt 1.4 einen Überblick über den Status Quo der Sächsischen Energieversorgung basierend auf der Sächsischen Energiebilanz. Abschnitt 1.5 erläutert die derzeit gültigen gesetzlichen Rahmenbedingungen und Programme auf EU, Bundes-

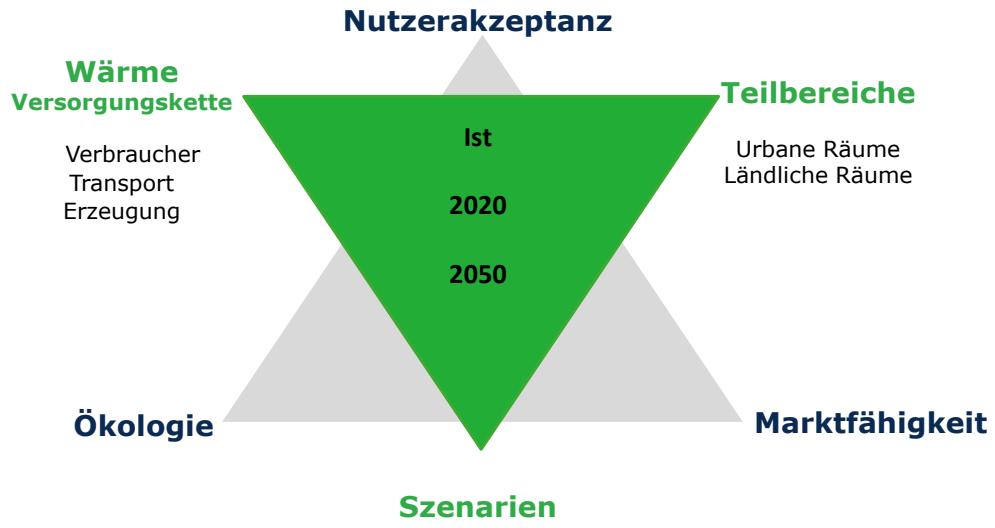


Abbildung 1.1: Ziel Dreieck der Energieversorgung

und Landesebene. Es folgt eine Überblicksbetrachtung über ähnliche Studien (1.6), die Programme anderer deutscher Bundesländer (1.7) und über Aktivitäten auf kommunaler Ebene (1.8).

Im Kapitel 2 werden die Änderungen des Endenergiebedarfs für Wärme aufgrund der Bevölkerungs- und Wohnflächenentwicklung, von Sanierungsmaßnahmen und Umstellungen bei den Erzeugern in den Gebäuden erläutert. Kapitel 3 prognostiziert wie sich der verbleibende zentral zu deckende Endenergiebedarf entwickelt. In Kapitel 4 folgt die zusammenfassende Auswertung und die Ableitung von Maßnahmen.

1.3 Methodik und Indikatoren

Vorgehen

Ausgangspunkt aller im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeföhrten Betrachtungen sind die für das Jahr 2011 bekannten statistischen Daten zur Energieversorgung in Sachsen. Dieses Jahr wurde aufgrund guter Datenlage ausgewählt: Für 2011 liegt die letzte Energiebilanz der Freistaates Sachsen vor und der Zensus wurde durchgeführt. Das Jahr 2020 bildet im Hinblick auf den kritischen Vergleich mit den 20-20-20 Zielen der Europäischen Union und dem Sächsischen Energie- und Klimaschutzprogramm [17] einen wichtigen Meilenstein der Betrachtungen. Der Prognosehorizont wird bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben, wobei es für den immerhin 30 Jahre umfassenden Prognoseabschnitt gilt, Bekanntes mit Visionen aus Wissenschaft und Forschung zu verbinden jedoch gleichzeitig Marktfähigkeit und Nutzerakzeptanz zu berücksichtigen.

Die in dieser Studie durchgeföhrte Bilanzierung ist eine Verursacherbilanzierung. Das bedeutet, dass Energie, die zur Deckung des Wärmebedarfs in Sachsen importiert wird, auch in

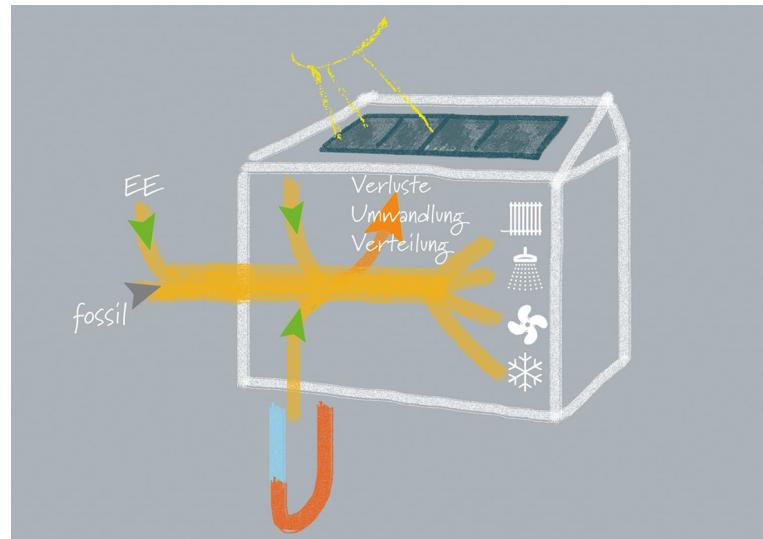


Abbildung 1.2: Bilanzkreis Gebäude

Sachsen bilanziert wird. Exportierte Energie wird im Gegenzug jedoch nicht mit bilanziert. Dies wirkt sich im Wärmesektor kaum aus, wäre aber z.B. bei Braunkohlestrom zu beachten.

Zur Berechnung des Wärmebedarfs in Sachsen wird im Bilanzkreis „Gebäude“ zwischen s.g. zentraler und dezentraler Energiebereitstellung unterschieden. Abbildung 1.2 zeigt, dass einem Gebäude zwei Energieströme zugehen: dezentrale bereitgestellte Solar- und/oder, Umweltenergie (symbolisiert durch die Erdwärmesonne), sowie zentrale bereitgestellte Endenergie, welche einen erneuerbaren und einen fossilen Anteil hat. Von den Berechnungen der Gebäude wird mit Hilfe demografischer Daten und von Komfortszenarien auf den Energieverbrauch des Landes hochgerechnet. Weitere Erläuterungen dazu folgen in Abschnitt 2.2.

Abgrenzung zu anderen Studien

Im Gegensatz zu vielen anderen Studien, wird hier ein Bottom-Up-Ansatz verfolgt. Es wurden Annahmen über die Entwicklungen des Endenergiebedarfs in zwei Szenarien getroffen und die Folgen abgeschätzt. Es wurde explizit *kein* „Zielszenario 100%“, welches eine vollständig erneuerbare Wärmeversorgung Sachsens beinhaltet, definiert, um dann die dazu passenden Maßnahmen zu suchen, wie es beispielsweise die Studien des ISE[18] und des FVEE [19] tun.

Endenergieverbrauch

Endenergieverbrauch ist die Energie, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, raumlufttechnische Anlage, Trinkwassererwärmungsanlage) beim Endverbraucher zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Raummittentemperatur und die Erwärmung des Trinkwassers über das ganze Jahr sicherzustellen [13] und i.d.R. auch bezahlt wird. Beim Endverbraucher erfolgt noch vielfach eine Energieumwandlung in Nutzenergie zur Bereitstellung einer Energiedienstleistung (Wärme, aber z.B. auch Licht, Kraft, Mobilität). Diese Nutzbarmachung bedeutet zum Beispiel eine Umwandlung der elektrischen Energie oder der chemischen Energie von Brennstoffen in Wärme.

Der Nutzwärmebedarf für Sachsen wird statistisch nicht erfasst und kann daher nicht Ausgangspunkt dieser Studie sein. Es werden lediglich die dort angreifenden Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch bewertet.

Endenergie wird über Energieträger bereitgestellt. Hierbei kann es es sich um dem Primär-energieträger sehr ähnliche sekundäre Energieformen (z.B. Gas, Öl, Kohle, Umweltenergie) oder um in der Natur in der angebotene Form nicht vorkommenden Energie (z.b. Strom, Fernwärme) handeln. Relevante Endenergieformen der Wärmeversorgung sind Erdgas, Erdöl, Strom, Biomasse, Fernwärme, Kohle, Solar- und Umweltenergie. Differenziert nach diesen Endenergieträgern kann für das Basisjahr 2011 auf umfangreiches statistisches Material zurückgegriffen werden.

Energieträger enthalten meist einen gewissen Anteil erneuerbarer Energie, welcher sich in Zukunft verändern wird, z.B. durch regenerativ erzeugtes Gas, dies wird in Abschnitt 3 thematisiert.

Die Energiebilanzen von Bund und Ländern weisen oft im Bereich der Endenergie auch die dezentral erzeugten Erneuerbaren Energien auf (siehe Abbildung 1.2), wobei in diesem Fall Primär- gleich Endenergie gesetzt wird. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird das in dieser Studie ebenso gehandhabt, dies verdeutlicht noch einmal Abbildung 2.1.

Primärenergieverbrauch

Als Primärenergie bezeichnet man in der Energiewirtschaft die Energie, die in der ursprünglich vorkommenden Energieform zur Verfügung steht d.h. unbehandelt und unveredelt. Man unterscheidet fossile, regenerative und mineralische (Uran) Energieträger. Fossile und mineralische Energieträger sind nach menschlichen Maßstäben endlich, regenerative nicht. Daher ist auch der Verbrauch an nichtregenerativer Primärenergie eine übliche Bezugsgröße.

Primärenergie kann durch einen mit Verlusten behafteten Umwandlungsprozess in Sekundärenergie umgewandelt werden. Primär- oder Sekundärenergie wird nach Übertragungsverlusten zu vom Verbraucher nutzbarer Endenergie (siehe Abbildung 2.1). Beim Verbraucher folgt dann eine Umwandlung in Nutzenergie.

Für die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs werden üblicherweise Primärenergiefaktoren verwendet. Diese geben für verschiedene Energieträger an, welcher Aufwand an nicht-regenerativer Primärenergie¹ nötig war, um diesen bereitzustellen. Diese Faktoren können sich ändern, im wesentlichen durch Einspeisung von Stroms, Gas und Fernwärme aus erneuerbaren Quellen in die Netze. Dies ist Gegenstand der Betrachtungen in Abschnitt 3.3.

Die Minimierung bzw. Eliminierung des nichtregenerativen Endenergieverbrauchs ist gleichbedeutend mit der Minimierung des nichtregenerativen Primärenergieverbrauchs, welcher immer auch den Verbrauch endlicher Ressourcen bedeutet.

Treibhausgas-Emissionen

Treibhausgasemissionen haben große Bedeutung erlangt durch die Klimawandeldiskussion. Dabei wird sich meist auf CO₂ beschränkt, welches derzeit als Hauptursache für menschen-

¹teilweise (nicht in dieser Studie) wird auch die gesamte Primärenergie angegeben, dann ist der Primärenergiefaktor um eins erhöht

gemachten Klimawandel gilt. Daher soll der CO₂-Ausstoß deutlich reduziert werden. CO₂-Emissionen entstehen im Energiesektor bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen - dies sind fossile Rohstoffe wie auch Biomasse. Das bei der Verbrennung entstehende CO₂ wurde durch die Pflanzen, welche in Form von Kohle oder Biomasse verbrannt werden, aus der Atmosphäre gebunden. Da die Zeit der Einlagerung bei Biomasse um Größenordnungen näher an der Zeit der Freisetzung als bei fossilen Energieträgern liegt, werden erstere im Allgemeinen als CO₂-neutral betrachtet.

Ein üblicher Indikator bei Studien und Programmen über erneuerbare Energien sind die CO₂-Emissionen, z.B. bei der Formulierung der EU 20/20/20-Ziele. Da dieses Kriterium gleichgerichtet mit dem fossilen Endenergieverbrauch bzw. dem nichtregenerativen Primärenergieverbrauch ist, wird es in dieser Studie nicht separat ausgewiesen. Da Kernenergie² in der vorliegenden Studie keine Rolle spielt ist die Vermeidung von Treibhausgasen gleichbedeutend mit der Vermeidung des Verbrauch endlicher Ressourcen.

Anteil erneuerbarer Energien / Regenerativer Deckungsbeitrag

Der Anteil erneuerbarer Energie σ_{EE} ist entsprechend Gleichung 1.1 definiert. Er setzt in einem bestimmten Bilanzkreis die verbrauchte erneuerbare Energie mit der insgesamt verbrauchten Energie aller Energieträger ins Verhältnis. Der erneuerbare Anteil ist ein üblicher Indikator in vielen Energieprogrammen. Er ist ein Maß dafür wie groß die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern ist. Üblich ist für diese Größe auch die Bezeichnung „Regenerativer Deckungsbeitrag“.

$$\sigma_{EE} = \frac{E_{EE}}{\sum_t E_t} \quad (1.1)$$

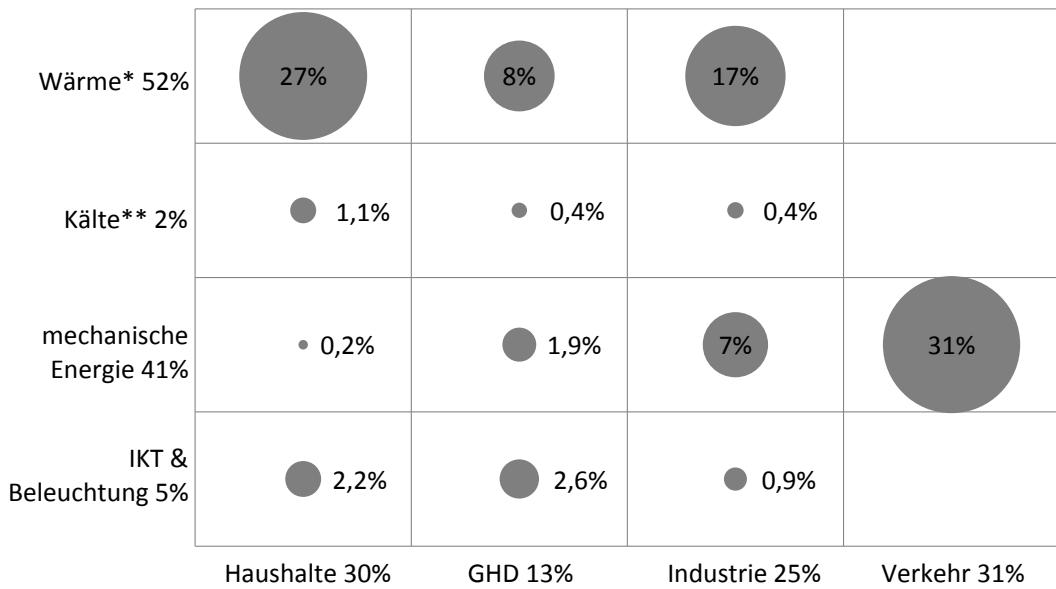
E...Energie
t...Laufindex für Energieträger

Beim Vergleich von Angaben zum Anteil Erneuerbarer Energien müssen die Bezugsgrößen eindeutig angegeben werden, da andernfalls ungültige Vergleiche entstehen. So ist es ein wesentlicher Unterschied, ob 80% Erneuerbarer Anteil beim Strom oder in der Gesamtenergiebilanz eines Landes erreicht werden sollen, ebenfalls ist zu berücksichtigen welche Sektoren in die Betrachtungen einbezogen wurden (siehe Abbildung 1.3). Die in den Abschnitten 1.6ff untersuchten Studien und Konzepte berücksichtigen dies nicht immer. In der vorliegenden Studie beziehen sich alle Angaben, wenn nicht anders angegeben, auf den in Abschnitt 1.4 beschriebenen Verwendungszweck Wärme bzw. Kälte in den Sektoren Haushalte und Gewerbe/Handel/Dienstleistung (GHD).

1.4 Auswertung der sächsischen Energiestatistik

Die Sächsische Energiebilanz wird jährlich nach einer mit dem Länderarbeitskreis Energiebilanzen abgestimmten Methodik vom Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr

²Kernenergie steckt im nichtregenerativen Anteil des Stroms, spielt in der Wärmeversorgung ansonsten keine Rolle. Bis zum Jahr 2050 wird die Kernenergie aufgrund der derzeitigen politischen Lage voraussichtlich keine Rolle mehr spielen.



Abweichungen zu 100% rundungsbedingt

*Wärme = Raumwärme + Trinkwassererwärmung + Prozesswärme

**Kälte = Klimakälte + Prozesskälte

Abbildung 1.3: Endenergieverbrauch nach Sektoren und Anwendungsbereichen - prozentuale Aufteilung für Sachsen 2011, eigene Darstellung nach [1]

erstellt. Die zum Zeitpunkt der Studienerstellung aktuellste veröffentlichte Version stammt aus dem Jahr 2011 [1] und dient als Ausgangspunkt für die folgenden Betrachtungen. Für die Aufschlüsselung der erneuerbaren Energien wird zusätzlich die s.g. Satellitenbilanz genutzt [20].

Abbildung 1.3 zeigt, dass im Jahr 2011 52% des Endenergieverbrauchs in Sachsen zur Bereitstellung von Wärme benötigt wurde, weitere 2% für Kälte. Der Rest entfällt auf Verkehr (31%), sonstige mechanische Energie (9%, vorrangig in der Industrie) und Beleuchtung, Informations- und Kommunikationstechnik (5%). Abbildung 1.4 zeigt, dass bei der Wärme die Anteile für die Raumwärme (31%, davon das meiste in den Haushalten) und die Prozesswärme (17%), welche hauptsächlich in der Industrie notwendig ist, dominieren. Aus dieser Darstellung ist kein Rückschluss auf die verwendeten Energieträger möglich.

Der Anteil für die Trinkwassererwärmung liegt bei 5% am gesamten Energieverbrauch in Sachsen und bei 9% des gesamten Wärmeverbrauchs.

Der Endenergieverbrauch für Trinkwassererwärmung im Sektor Haushalte betrug 3.577 GWh und somit 882 kWh/EW/a. Der Endenergieverbrauch für Raumwärme betrug im Sektor Haushalte hier 20.597 GWh und somit 131 kWh/m²/a bezogen auf bewohnte Wohnfläche (siehe Seite 33).

Diese Grafik zeigt wie wichtig es ist, den Betrachtungshorizont dieser Studie auf die den Endenergiebedarf signifikant beeinflussende Gebiet der WärmeverSORGUNG in den Haushalten sowie Gewerbe/Handel/Dienstleistungen zu fokussieren.

Abbildung 1.5 zeigt, welche Energieträger zur Deckung des Endenergieverbrauchs der Haushalte für verschiedene Anwendungszwecke zum Einsatz kommen. Man erkennt, dass Gas der dominierende Energieträger in Sachsen ist, gefolgt von Öl, Fernwärme, Strom und den Erneu-

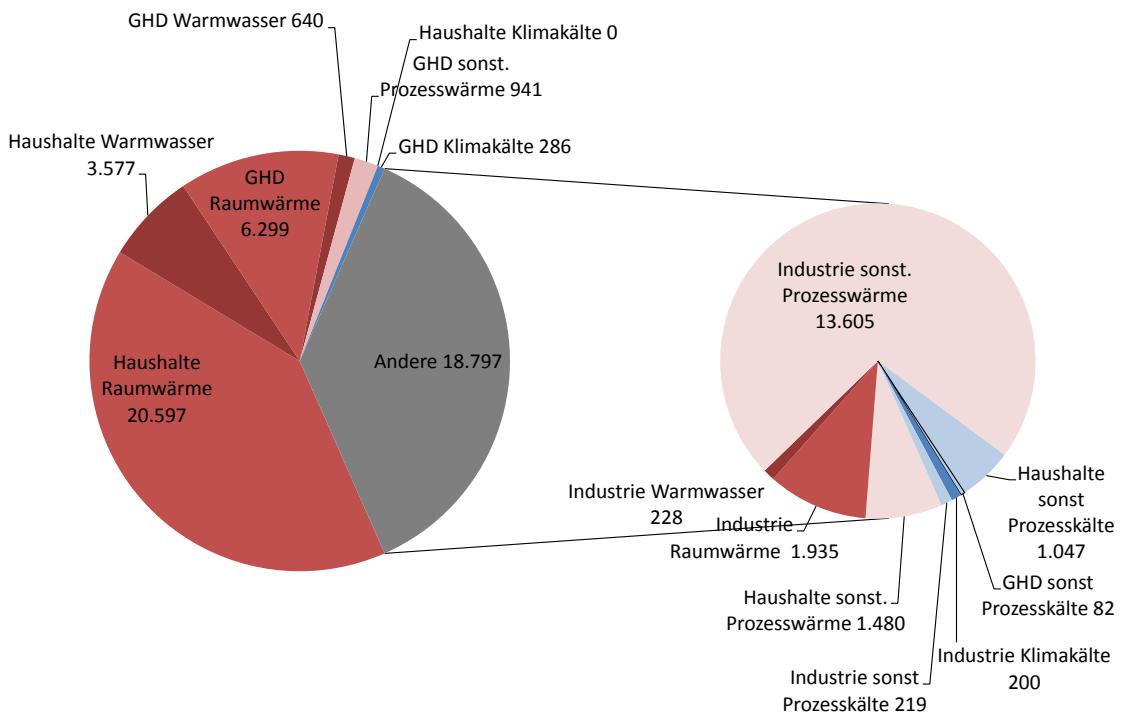


Abbildung 1.4: Verteilung des Endenergieverbrauchs für Wärme auf die Sektoren und Verbrauchsarten in Sachsen 2011, eigene Darstellung nach [1]

erbaren Energien, die in der Energiebilanz [1] nicht näher augeschlüsselt werden. Die Rangfolge der Energieträger schwankt je nachdem welche Bezugsgröße man betrachtet: Während bei der Betrachtung des gesamten Wärmeverbrauchs in Sachsen die Fernwärme zweitplaziert ist, wird dieser Rang für die Haushalte knapp vom Öl eingenommen.

1.5 Gesetzlicher Rahmen

1.5.1 EU

Von Seiten der EU gelten seit 2008 die s.g. 20/20/20 Ziele, die im Rahmen des „2020 climate and energy packages“ beschlossen wurden. Diese sind bis zum Jahr 2020:

1. Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien auf 20%³
2. Absenkung der Treibhausgasemissionen um 20% bezogen auf 1990⁴
3. Absenkung des Energieverbrauchs um 20% bezogen auf 1990. Dieses Ziel wird oft auch formuliert als „Erhöhung der Energieeffizienz um 20%“

Die Mitteilung der Kommission zum Klimaschutz 2005 [21] führte 2006/2007 zu den Vorschlägen [22, 23, 24], welche vom Rat [25, 26, 27, 28] und dem Parlament [29] 2008 bestätigt wurden und damit die genannten Ziele offiziell auf die Agenda der Union hoben.

Wesentliche Maßnahmenpläne und Instrumente für die Erfüllung dieser Ziele sind:

³am Energiemix

⁴welche Treibhausgase hier betroffen sind ist nicht definiert

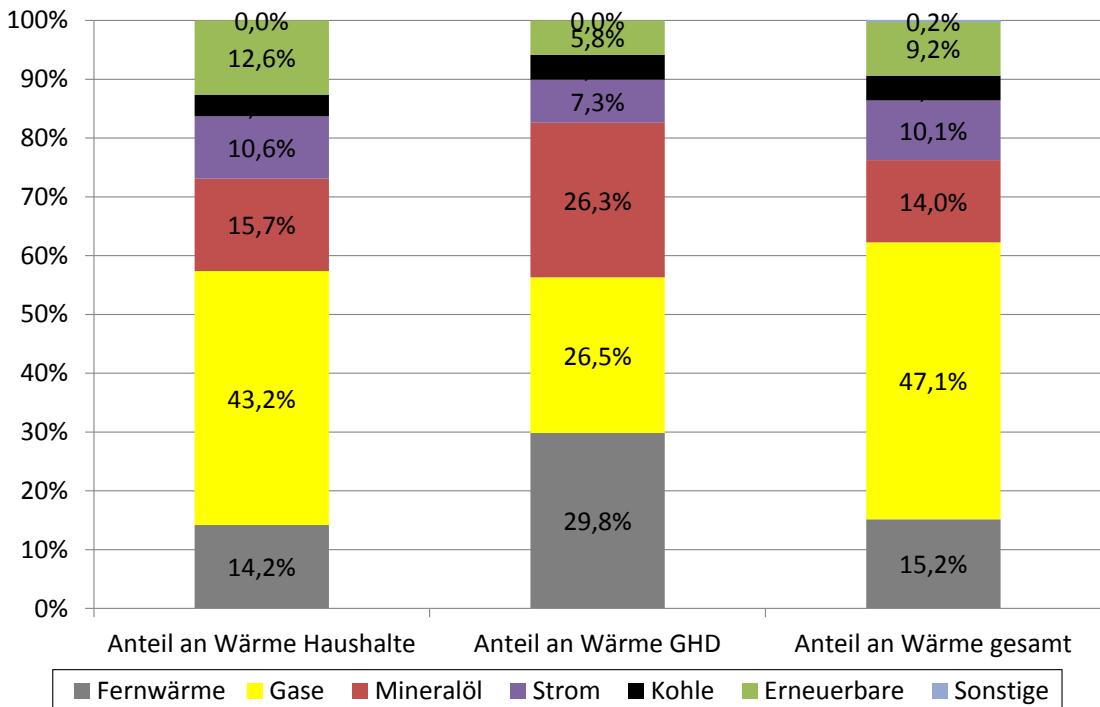


Abbildung 1.5: Anteil der Energieträger am Endenergieverbrauch in Sachsen 2011, eigene Darstellung nach [1]

- der europäische Emissionshandel: Richtlinie 2003/87/EG [30] über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten
- geologischen Speicherung von Kohlendioxid [31]
- Aktionspläne der Mitgliedsstaaten für die Erreichung der Erneuerbaren Anteile am der Energieversorgung nach 2009/28/EG [32]
- der Biomasseaktionsplan [33] strebt eine Erhöhung des Einsatzes von Biomasse in der Wärmeversorgung, insbesondere auch in der FernwärmeverSORGUNG an. Da die Einkopplung erneuerbarer Energien in Fernwärme einfacher ist, als in individuelle Heizungssysteme wird der Ausbau von Fernwärme angesetzt.
- Richtlinien zur Kennzeichnung von Energieeffizienz [34]
- die Richtlinie zur Gebäudeenergieeffizienz [35], die innerhalb von 2 Jahren in nationales Recht umzusetzen ist, verpflichtet die Mitgliedstaaten, bis 2020 einen Niedrigstenergiestandard für alle neuen Gebäude einzuführen. Für die öffentliche Hand gilt die Verpflichtung bereits ab 2018.
- die Ökodesignrichtlinie [36] regelt mit Durchführungsverordnungen Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte, z.B. Haushaltsbeleuchtung (z.B.[37, 38]). Für Wärmeerzeuger und Klimaanlagen wurden noch keine Durchführungsmaßnahmen beschlossen, die Vorbereitungsstudien sind aber abgeschlossen, so dass demnächst damit zu rechnen ist.
- die KWK-Richtlinie [39] regelt Kriterien zur Förderung von wärmegeführten KWK-Anlagen.

- Einführung einer Öko-Besteuerung nach der Richtlinie 2003/96/EG[40]. Diese legt Mindeststeuersätze für die verschiedenen Energieträger und Verwendungszwecke fest und regelt mögliche Steuerbefreiungstatbestände.
- Berücksichtigung energierelevanter Kriterien bei öffentlichen Ausschreibungen
- Finanzierungsanreize setzen [41]
- Forschungsförderung im Energiebereich [42, 43]

Der Europäische Emissionshandel umfasst in seiner derzeitigen Form nur den Flugverkehr, sowie große Stromerzeuger und Teile der Industrie, ist daher für die vorliegende Studie nicht relevant.

Die genannten Maßnahmen sind folgenden wesentlichen Quellen zu entnehmen:

- Richtlinie zur Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen [44], nach der die Mitgliedstaaten angehalten werden, ihren Endenergieverbrauch mittels Energiedienstleistungen und Energieeffizienzmaßnahmen durchschnittlich um 1 % pro Jahr zu senken (2006)
- Im „EU-Aktionsplan für Energieversorgungssicherheit und -solidarität“ von 2008 [45]
- Strategieplan für Energietechnologien [46] mit dem Ziel der Entwicklung kohlenstoffarmer Technologien (2009)
- neue Energiestrategie „Energie 2020 - Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie“ der Kommission von 2010 [47]
- Der im März 2011 publizierte EU-Energieeffizienzplan 2011 [48] legt die Grundlage für einen zukünftigen europäischen Aktionsplan mit Schwerpunkten in den Hauptverbrauchssegmenten, wie bspw. dem Gebäude- und Verkehrssektor.
- Energieeffizienzrichtlinie von 2012 [49, 50]

1.5.2 BRD

Zentrale Ziele der Bundesregierung sind das nationale Gesamtziel von 18% [51] Anteil Erneuerbarer Energien an der Gesamtversorgung und das Mindestziel von 10% im Verkehrsbereich. Hierfür hat sich die Bundesregierung nationale Sektorziele für 2020 gesetzt und diese in ihren maßgeblichen Förderinstrumenten gesetzlich verankert (§ 1 EEG [51], § 1 EEGWärmeG [52]): Im Jahr 2025 sollen mindestens 40% erneuerbare Energien im Strombereich und bereits 2020 14% im Bereich Wärme/Kälte erreicht werden. Dies zeigt die Notwendigkeit sich des Themas Wärme/Kälte anzunehmen, da die Zielstellung hier bisher weniger ambitioniert sind.

In dem im Juli 2010 in Erfüllung der Richtlinie [32] vorgelegten Nationalen Aktionsplan [53] „rechnet die Bundesregierung mit einem Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch in 2020 von 19,6%. Der Anteil der erneuerbaren Energien im Stromsektor beträgt dabei 38,6%, der Anteil im Wärme-/Kältesektor 15,5 % und im Verkehrssektor 13,2%.

Die Bundesregierung geht somit in ihrer Erwartung der Entwicklung der erneuerbaren Energien bis 2020 von einem höheren Wert als dem verbindlichen nationalen Ziel von 18% nach der Richtlinie aus. Hierbei ist zu betonen, dass es sich bei diesem Wert von 19,6% erneuerbare Energien in 2020 um die derzeit erwartete Entwicklung und nicht um ein nationales Ziel der Bundesregierung handelt. Die Maßnahmen und Instrumente, die erforderlich sind,

um das nationale Ziel von 18% erneuerbare Energien bis 2020 zu erreichen, sind im Kern bereits etabliert. Im Strombereich bildet das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) die entscheidende Grundlage für die weitere Entwicklung der erneuerbaren Energien auf der Erzeugungsseite. Dies gilt auch für die kombinierte Strom-Wärme/Kälte-Erzeugung auf Basis von erneuerbaren Energien. Das EEG wird hierbei durch das Gesetz für die Erhaltung, Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG) sowie den Emissionshandel ergänzt

Im Wärme- bzw. Kältesektor besteht das zentrale Maßnahmenpaket aus dem Marktanreizprogramm (MAP), dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), den Förderprogrammen der KfW und der Energieeinsparverordnung (EnEV). Mit Hilfe dieser Instrumente konnte die Nutzung der erneuerbaren Energien in diesem Bereich in den letzten Jahren deutlich ausgebaut werden.

Ziel- bzw. Entwicklungspfad für Wärme und Kälte aus erneuerbaren Quellen Gemäß dem „Szenario mit zusätzlichen Energieeffizienzmaßnahmen“ (EFF) wird im Jahr 2020 mit 604 PJ in Deutschland im Sektor Wärme und Kälte nahezu doppelt so viel Energie aus erneuerbaren Quellen eingesetzt wie im Basisjahr 2005. Der parallel zurückgehende Bruttoendenergieverbrauch im Sektor Wärme und Kälte hat zur Folge, dass sich der Anteil von Wärme und Kälte aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch dieses Sektors von 6,6% im Basisjahr 2005 auf 15,5% im Jahr 2020 mehr als verdoppelt.“ [53]

Die im nationalen Aktionsplan thematisierten Maßnahmen sind nachfolgend stichpunktartig den einzelnen Gestzen, Verordnungen und Programmen zugeordnet:

- KfW-Förderprogramme zum energieeffizienten Bauen und Sanieren - Gebäudesanierungsprogramm: z.B. die Programme „Energieeffizient Bauen“, „Energieeffizient Sanieren“ oder „Energieeffizient Sanieren - Kommunen“ und „Sozial Investieren- Energetische Gebäudesanierung“. Diese fördern nicht ausschließlich den Ausbau von erneuerbaren Energien fördern, sondern auch die Energieeffizienz.
- Energieeinsparverordnung (EnEV 2014 [54]): Die Verordnung definiert verbindliche Mindestanforderungen und Berechnungsvorschriften für den Primärenergiebedarf sowie die Wärmedämmung von Gebäuden. Basis der EnEV ist das Energieeinsparungsgesetz [55]. Verpflichtet zur Einhaltung der EnEV ist der Bauherr/Gebäudeeigentümer.
- Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG [56]): Das Gesetz regelt die Förderung von Alt- und Neuanlagen der Kraft-Wärme-Kopplung sowie des Aus- und Neubaus von Wärmenetzen, in die Wärme aus KWK-Anlagen gespeist wird. Zweck des Gesetzes ist es, einen Beitrag zur Erhöhung der Stromerzeugung aus KWK in Deutschland auf 25% zu leisten.
- Richtlinie zur Förderung von Mini-KWK-Anlagen [57]: Die Richtlinie fördert seit 2008 die Neuerrichtung von kleinen KWK-Anlagen durch Investitionskostenzuschüsse. Durch soll zum Ziel, den Anteil von Strom aus KWK-Anlagen bis 2020 auf etwa 25% zu verdoppeln, beigetragen werden.
- Energiesteuergesetz (EnergieStG): Für Energieerzeugnisse, die zur gekoppelten Erzeugung von Kraft und Wärme eingesetzt werden, sieht das Energiesteuergesetz eine Steuerentlastungsmöglichkeit vor, sofern die KWK-Anlage einen Monats- oder Jahresnutzungsgrad von mindestens 70% aufweist. Außerdem besteht für Biogas, das unmittelbar nach der Erzeugung – also ohne vorherige Einspeisung in das Erdgasnetz – verheizt oder in einem Blockheizkraftwerk eingesetzt wird, eine Steuerbefreiung.
- BMU-Umweltinnovationsprogramm: Das Programm dient zur Finanzierung von Vorhaben in großtechnischem Maßstab mit Innovationscharakter.

- Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG [51]) gewährt einen KWK-Bonus, sofern ein Nachweis über die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik und die Wärmenutzung laut Positivliste erfolgt (Zertifizierung beider Punkte notwendig über Umweltgutachter).
- EEWärmeG [52]: Laut Gesetz sind Bauherren verpflichtet, einen Teil der für das Gebäude notwendigen Energie zur Wärme- und Kälteversorgung aus erneuerbaren Energien zu erzeugen oder eine im Gesetz genannte Ersatzmaßnahme durchzuführen.
 - solar 15%
 - Biogas 30%
 - feste oder flüssige Biomasse 50%
 - Geothermie oder Umweltwärme 50%
 - Ersatzmaßnahmen
 - * Nutzung von Abwärme z.B. Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen
 - * Nutzung von hocheffizienter KWK
 - * Energieeinsparung: Unterschreitung der aktuell gültigen EnEV um 15% bei Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverlust (mit KfW70 schon übererfüllt)
 - * Nutzung von Fernwärme, die aus Abwärme und/oder KWK und/oder erneuerbaren gespeist sein muss
- Marktanreizprogramm [58]: (teilweise) Investitionszuschüsse der BAFA und verbilligte Kredite der KfW im Programm Erneuerbare Energien
 - Programmteil Premium für
 - * Solarkollektoranlagen > 40m²
 - * Verbrennung fester Biomasse
 - * wärmegeführte Biomasse-KWK
 - * erneuerbar gespeiste Wärmenetze
 - * Wärmespeicher > 10m³
 - * Biogasleitungen
 - * effiziente Wärmepumpen >100 kW
 - * Tiefengeothermie
 - Im Programmteil "Standard" wird die Nutzung erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Strom bzw. Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gefördert. (In Abgrenzung zum Programmteil „Premium“, in dem besonders förderwürdige größere Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt mit noch besseren Konditionen gefördert werden).

Das im September 2010 beschlossene Energiekonzept der Bundesregierung [59] bestätigt noch einmal die im Aktionsplan genannten Ziele. Dieses Konzept basiert auf Szenarien „externer Gutachter“ (wahrscheinlich [60]). Demnach sollen die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 reduziert werden. Dabei sieht die Bundesregierung folgende Schritte vor: 2020: - 40 %, 2030: - 55 %, 2040: - 70 %.

Die „stärkeren Nutzung der erneuerbaren Energien für die Erzeugung von Wärme und Kälte“ wird als eine der größten Herausforderungen gesehen. „Die Bioenergie soll als bedeutender erneuerbarer Energieträger in allen drei Nutzungspfaden „Wärme“, „Strom“ und „Kraftstoffe“ weiter ausgebaut werden“, auch wird eine „stärkere Biomasseverwertung in KWK“ angestrebt. Bis zum Jahr 2020 wird angestrebt den Anteil der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch auf 35 % auszubauen. Im weiteren Verlauf soll dieser Anteil bis 2030 auf 50 %, bis 2040 auf 65 % und bis 2050 auf 80 % erhöht werden. Bei der Wärmebereitstellung soll dieser Anteil bis 2020 auf 14 % steigen.

Nach dem „Atom Moratorium“ vom März 2011 wurde im Juni das s.g. „Energiepaket“ beschlossen. Dieses Gesetzespaket enthielt:

- „EnWG-Novelle (Entflechtung, Netzausbau, intelligente Zähler).“
- Änderung Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz: Verlängerung der KWK-Förderung bis 2020, Abschaffung des so genannten doppelten Förder-Deckels.
- Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG): Bundesfachplanung für länder- und grenzüberschreitende Höchstspannungsleitungen durch Bundesnetzagentur (BNetzA); Kompetenz für die konkreten Planfeststellungsverfahren für die Leitungen kann durch VO der BReg mit Zustimmung des BR ebenfalls auf BNetzA übertragen werden; frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung.
- EEG-Novelle: gesetzliche Vergütungen und Einspeisevorrang werden fortgeführt, Ausbauziel 2020: mindestens 35 Prozent. Verstärkter Schwerpunkt auf Kosteneffizienz und Marktintegration (Einführung optionale Marktpreämie; Größenordnung der EEG-Umlage von 3,5 Cent pro Kilowattstunde soll nicht überschritten werden).
- Novelle Bauplanungsrecht ("Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden"): insb. Erleichterungen für das Repowering (Ersatz alter durch neue Windkraftanlagen).
- Novelle Vergabe-VO (Stärkung Energieeffizienz als Vergabekriterium).
- Atomgesetz-Novelle (stufenweise Abschaltung der KKW bis 2022).
- Gesetzentwurf zur steuerlichen Förderung von energetischen Sanierungsmaßnahmen an Wohngebäuden (liegt im Vermittlungsausschuss von Bundestag und Bundesrat).
- Gesetz zur Änderung des Gesetzes zur Errichtung eines Sondervermögens "Energie- und Klimafonds" (EKFG-ÄndG): Finanzierung insbesondere der Maßnahmen des Energiepakets ab 2012 durch alle Einnahmen aus Emissionshandel. Eckpunktepapier zur Energieeffizienz, einschließlich Eckpunkten zur Energieeinsparverordnung (EnEV).
- Zudem hat das Bundeskabinett am 3. August 2011 ein Energieforschungsprogramm beschlossen: insgesamt 3,5 Milliarden Euro für Förderung von Forschung und Entwicklung zukunftsfähiger Energietechnologien von 2011 bis 2014.“ [?]

Die Bundesregierung hält auch in dem im Jahr 2011 fortgeschriebenen Energiekonzept an ihren bisherigen Zielen fest. Der Primärenergieverbrauch soll bis 2020 gegenüber 2008 um 20 % und bis 2050 um 50 % vermindert werden. Zudem soll der Stromverbrauch gegenüber 2008 bis 2020 um 10 % und bis 2050 um 25 % reduziert werden. Darüber hinaus soll bis 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden, was eine Senkung des Wärmebedarfs des Gebäudebestandes um 20 % bis 2020 und des Primärenergiebedarfs um 80 % bis 2050 voraussetzt.

Im Koalitionsvertrag von Union und SPD 2013 [61] werden die Ziele noch einmal erweitert: Die Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40% bezogen auf 1990 wird bestätigt, und es wird angestrebt auf EU-Ebene dasselbe Ziel zu verankern. Bis 2050 ist eine

Minderung um 80...95% angestrebt. Zur Umsetzung soll ein Klimaschutzplan erarbeitet werden. Für die Erneuerbaren Energien wird ein Ausbaukorridor von 40...45% im Jahr 2025 und 55...60% im Jahr 2035 festgelegt. Um die Akzeptanz zu erhöhen ist ein dauerndes Monitoring der angestrebten Ziele und eine vertiefte Abstimmung mit den Ländern und mehr Bürgerbeteiligung vorgesehen. Die Nutzung von Überschussstrom für Wärmeanwendungen wird im Koalitionsvertrag ebenfalls thematisiert. Dies zeigt (wie auch die vielfältigen KWK-Maßnahmen) eine starke Verflechtung von Strom- und Wärmemarkt.

Die Senkung des Energieverbrauchs ist ein wichtiges Ziel der Bundesregierung. Dafür sollen

- Märkte für Energieeffizienz entwickelt werden und ein
- Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz [62] erarbeitet und jährlich überprüft werden.
- Effizienzmaßnahmen sollen aus dem Energie- und Klimafonds gefördert werden. Dazu gehören eine Aufstockung des KfW-Programms „Energetische Gebäudesanierung“ und die Förderung von Energieberatung, besonders in Bezug auf die Effizienz von Heizungen. Die EU Energieeffizienzrichtlinien sollen umgesetzt werden und die Bundesregierung will sich auf EU-Ebene für die Verankerung des Top-Runner-Prinzip in der Ökodesignrichtlinie einsetzen.
- Für den Wärmemarkt wird nach wie vor ein klimaneutraler Gebäudebestand im Jahr 2050 angestrebt. Dazu soll ein Sanierungsfahrplan erarbeitet werden. Das EEWärmeG soll fortentwickelt und mit der EnEV abgeglichen werden. Der Einsatz Erneuerbarer Energien im Gebäudebestand soll aber weiterhin freiwillig bleiben. Die Transparenz für Käufer und Mieter soll durch neue Regelungen für die Energieausweise gestärkt werden. Das MAP soll verstetigt werden und es ist angedacht abzuregelnden Strom für die Wärmebereitstellung zu nutzen.

1.5.3 Sachsen

Einordnung des Energie- und Klimaschutzprogramm Sachsen 2012

Das Energie- und Klimaschutzprogramm (EuK) Sachsen 2012 [17] vereint die Erkenntnisse aus den Energieprogrammen 1993 [63] und 2004 [64] sowie dem Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2001 [65] und dem Aktionsplan Klima und Energie 2008 [66] und schreibt diese inhaltlich in ausgewählten Passagen fort. Das EuK-2012 ist kein rechtlich bindendes Dokument. Es wird fortlaufend überprüft und angepasst. Die Veröffentlichung der ersten Überprüfung soll für den Zeitraum 2012 bis 2015 erscheinen.

Ziele

Das Land Sachsen möchte mit diesem Programm das Funktionieren der Wirtschaft und eine hohe Lebensqualität im Freistaat sichern. Dazu gehört die Bezahlbarkeit von Energie für Verbraucher und Unternehmen, ebenso wie auch der Erhalt der heimischen Energie-, besonders auch Braunkohlewirtschaft, da diese die Energieversorgung stabilisiert und Wertschöpfung generiert.

Das Land Sachsen sieht sich der Nachhaltigkeit verpflichtet und versteht darunter effiziente Nutzung aller Ressourcen: Arbeit, Kapital, Rohstoffe, Umwelt. Man möchte einen Beitrag zum globalen Klimaschutz leisten und Vorsorge für den Klimawandel treffen.

Das Programm setzt auf Handeln im Einklang mit den übergeordneten Instanzen BRD und EU, möchte aber in den entsprechenden Gremien auch seinen Einfluss geltend machen.

Auf die Aspekte Aufklärung, Information und Motivation für die Bürger wird ebenfalls ein Fokus gelegt, um Akzeptanz bei den Bürgern zu schaffen. Ordnungspolitische Maßnahmen sind hingegen nicht das Mittel der Wahl. Auch die s.g. technologieoffene Forschung wird im Programm thematisiert.

Energieeffizienz

Im zum EuK-2012 gehörigen Maßnahmenplan 2012 [2] werden die im Energie- und Klimaschutzprogramm herausgearbeiteten Ziele zur Steigerung der Energieeffizienz in allen Energiebereichen (Erzeugung, Verteilung, Anwendung) aufgegriffen, die hier wörtlich wiedergegeben seien:

„Dazu sollen in den nächsten 10 Jahren:

- der Anteil des Stromes aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen am Bruttostromverbrauch auf 30 % erhöht werden,
- die Energieproduktivität der sächsischen Industrie um durchschnittlich 1,2 % pro Jahr und diejenige des Bereiches „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und sonstige Kleinverbraucher“ um durchschnittlich 1,5 % pro Jahr verbessert werden,
- der Endenergieverbrauch in den Haushalten um 15 % und speziell der Verbrauch an fossilen Brennstoffen in den Haushalten⁵ um 25 % gesenkt werden ,
- der auf die Fläche bezogene spezifische Heizenergieverbrauch der staatlichen Liegenschaften um 18 % gesenkt werden⁶
- die Potenziale zur Energieeinsparung in Kommunen und privaten Haushalten kontinuierlich weiter erschlossen werden.“

Zu dem Ziel, den Bedarf der Haushalte an fossilen Energieträgern in den nächsten 10 Jahren um 25 % zu senken werden z. B. folgende Aktivitäten angeregt:

- Bereitstellung von Instrumenten für die „Bauleitplanung und städtebauliche Planung mit integrierten energienutzungs- und quartiersbezogenen Wärmeleitplänen“ in Verantwortung des SMI, SMUL
- Flankierende Maßnahmen zur Steigerung Effizienz im Gebäudebereich sowie der Ausbau der elektrischen und thermischen Speicherkapazität für eigenverantwortlich handelnder Bürger

Der abgesteckte Umsetzungsrahmen setzt konsequent auf die Steigerung der Energieeffizienz mit folgenden Prämissen:

„Die Forderung nach einem sparsamen und rationellen Einsatz von Energie geht dabei von einem mindestens gleichbleibenden Komfort aus. Das Ziel besteht nicht darin, das Angebot an Energiedienstleistungen (Licht, Wärme, Kraft oder Mobilität) zu reduzieren, sondern den energetischen Aufwand, mit dem diese Dienstleistungen bereitgestellt werden. Potenziale für die Steigerung der Energieeffizienz gibt es entlang der gesamten Umwandlungskette, von der Erzeugung über die Verteilung bis zur Anwendung von Nutzenergie. Entscheidend für die

⁵Bezugsjahr 2010

⁶ebenso

Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen ist die Frage der Wirtschaftlichkeit. Betriebswirtschaftlich effizient ist eine Maßnahme dann, wenn aufzuwendende Investitionen während der Lebensdauer einer Anlage von den eingesparten Energiekosten übertrroffen werden. Volkswirtschaftlich kann es sinnvoll sein, über einen begrenzten Zeitraum bestimmte (betriebswirtschaftlich nicht effiziente) Maßnahmen finanziell zu unterstützen, bis diese soweit entwickelt sind, dass sich ein selbsttragender Effekt einstellt."

Für den Gebäudesektor wird konstatiert: Das größte Einsparpotential entfällt auf die privaten Haushalte in denen rund 70 % der Endenergie für Heizzwecke eingesetzt werden. Bei der Ableitung von Maßnahmen zu den in Sachsen statistisch erfassten 2.325.000 Wohnungen in rund 801.000 Wohngebäuden ist zu beachten, dass die Bausubstanz im bundesdeutschen Vergleich eine der ältesten ist. Verpflichtende Vorgaben werden ausdrücklich nicht als Instrument gesehen, vielmehr setzt die Staatsregierung „auf Information, Motivation und entsprechende Anreizsysteme für die Verbraucher. Passivhauförderung, Förderung von des Einsatzes hocheffizienter Passivhauselemente können in Modellprojekten der Heizwärmebedarf um bis zu 90 % senken sowie im übrigen Gebäudebereich durch energetische Sanierung. Darüber hinaus fördert der Freistaat Sachsen die energetische Sanierung von Wohngebäuden.

Energiesystem

Zur Strategie „Energiesystem zukunftsfähig gestalten“ werden im EuK-2012 folgende Ziele formuliert: „Die Sächsische Staatsregierung hat das Ziel, das System der Energieversorgung so zu gestalten und weiterzuentwickeln, dass die gleichermaßen sichere, wirtschaftliche, umwelt- und sozialverträgliche Bereitstellung von Energie zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden kann. Die wesentlichen Elemente dieses Systems wie der Mix der Energieträger, die Infrastruktur und die zur Verfügung stehenden Marktinstrumente müssen dieser Anforderung entsprechen. Dazu sollen in den nächsten zehn Jahren:

- die Option einer zukunftsfähigen energetischen (und stofflichen) Nutzung der heimischen Braunkohle gesichert werden,
- der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch auf 28 % steigen,
- die in Abbildung 14 dargestellten Potenziale für erneuerbare Energien erschlossen werden,
- der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch (ohne Strom) zunehmen,
- der Um- bzw. Ausbau der Netze zur Übertragung und Verteilung von Strom und Gas zeitnah und effizient erfolgen,
- Potenziale zur Speicherung von Strom und Wärme systematisch erschlossen werden,
- die Energiebörse EEX einen wichtigen Beitrag zur Transparenz des Energiemarktes leisten.“

Die Abbildung 14 (hier 1.6) aus dem Energie- und Klimaschutzprogramm 2012 gibt für die Stromversorgung klare Zielrichtungen für einzelne Arten der Erneuerbaren Energien wider. Es geht von einer Verdopplung der Jahresarbeit für Photovoltaikanlagen und von einer durchschnittlichen relativen Steigerung von ca. 44 % der Erneuerbaren aus. Eine ähnliche Untersetzung für die Wärmeversorgung gibt es nicht. Es wird lediglich konstatiert dass der Erneuerbare Anteil an der Wärme erhöht werden soll. Im Maßnahmenplan ist dafür die Förderung von Investitionen in effiziente Wärme- und Kälteversorgung inkl. Netz und Speicher vorgesehen.

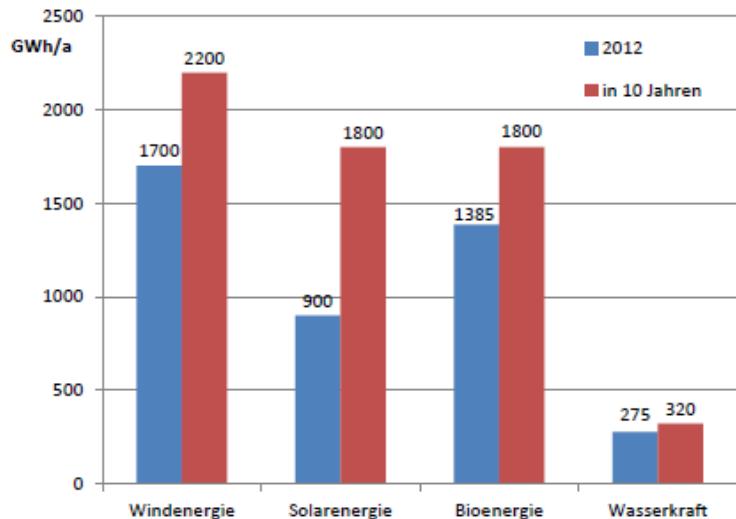


Abbildung 1.6: Potenziale Erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung in Sachsen 2022, Bildquelle: [2]

Anders als noch 2004 wird im EuK-2012 kein Potential zur geothermisch basierten Stromerzeugung gesehen, jedoch sehr wohl ein solches für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie zur Wärmeversorgung identifiziert. Es wird mittelfristig die Erhöhung des Braunkohle-Kraftwerk-Wirkungsgrads auf 50 % angestrebt. Die CCS-Technologien wird in dem Programm als Option für die Reduktion der CO₂-Emissionen erwähnt.

Positiv stellt sich der bereits heute erreichte Durchdringungsgrad mit modernen Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung dar. Alle in Sachsen existenten KWK-Anlagen wurden nach 1990 in Betrieb genommen und realisierten 2012 einen Anteil von 24 % am sächsischen Bruttostromverbrauch, wovon 4/5 auf den öffentlichen und 1/5 auf den industriellen KWK-Sektor entfallen. Damit liegt Sachsen deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 14 %. Beschränkend für den weiteren Ausbau der KWK sieht das Energie- und Klimaschutzprogramm 2012 „das Vorhandensein von entsprechenden Wärmesenken.“ und schlussfolgert „Der Versorgungsgrad mit Fernwärme ist in Sachsen bereits hoch. Zusätzliche Ausbaumöglichkeiten sind auch auf Grund des insgesamt zurück gehenden Wärmebedarfs für Gebäude und Haushalte nur geringfügig vorhanden. Das wesentliche Potenzial für neue KWK-Anlagen liegt von daher bei industriellen und gewerblichen Anwendungen sowie im öffentlichen Dienstleistungsbereich. Die Nutzung von Biomasse kann dabei eine zunehmende Rolle spielen.“

Wirtschaftsbereich Energie

Folgende Informationen zum Wirtschaftsbereich Energie sind dem Programm zu entnehmen.

- Die Versorgung mit Wärme und Kälte wurde nach einer Erhebung des Statistischen Landesamtes Sachsen im Jahr 2010 von 94 Unternehmen wahrgenommen.
- Im Gegensatz zur positiven Entwicklung der Photovoltaikindustrie bleibt die Solarthermie-Branche bis auf wenige Komponentenherstellung dahinter zurück.
- Ca. 100 Unternehmen sind auf dem Sektor der energetischen Nutzung der Biomasse tätig.

Tabelle 1.1: Studien das Gebiet der BRD betreffend

Titel	Jahr	Auftraggeber	Bearbeiter
Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung [60], siehe 1.6.1	2010	BMWI	EWI, GWS, Prognos
Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global [14], siehe 1.6.2	2012	BMU	DLR, IWES, IFNE
100% Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland [18], siehe 1.6.3	2012	ohne	ISE
Energiekonzept 2050 - Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien [19], siehe 1.6.4	2010	ohne	FVEE
Klimaschutz: Plan B 2050 [67]	2007	Greenpeace	EUtech
Zukünftiger Ausbau erneuerbarer Energieträger unter besonderer Berücksichtigung der Bundesländer [68]	2007	BMU	FFU
Ausbaprognose der Erneuerbare-Energien-Branche für Deutschland [69]	2009	BEE	
Wege in die moderne Energiewirtschaft - Ausbaprognose der Erneuerbare-Energien-Branche - Teil2: Wärmeversorgung 2020 [70]	2009	BEE	BEE

1.6 Wissenschaftliche Studien für erneuerbare Energien in Deutschland

Es existieren zahlreiche Studien, die sich mit den Möglichkeiten einer erneuerbaren Energieversorgung für die Bundesrepublik beschäftigen. Einige sind exemplarisch in den folgenden Abschnitten näher beschreiben, Tabelle 1.1 zeigt über die hier diskutierten Studien hinaus weitere relevante Arbeiten.

1.6.1 Prognos, EWI, GWS

Die von den Instituten Prognos, EWI und GWS 2010 im Auftrag der Bundesregierung durchgeführte Studie [60] sollte Maßnahmen finden, um die vorgegebenen Ziele bzgl. der Minderung von Treibhausgasen zu erreichen, dabei wurde vertieft auch die Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke betrachtet. Die betrachteten Indikatoren sind THG-Emissionen, Primär- und Endenergieverbrauch, Strom- und Fernwärmeerzeugung/Umwandlungssektor, Energieeffizienz, Erneuerbare Energien. Neben einem Referenzszenario (Fortschreibung der jetzigen Politik mit leichten Anpassungen) wurden 4 Zielszenarien mit unterschiedlichen Vorgaben für Erneuerbare Energien und Laufzeitverlängerungen der Kernkraftwerke zwischen 4 und 28 Jahren betrachtet.

Wesentliche Erkenntnisse bzgl. des Energieverbrauchs sind

- der Stromverbrauch geht in allen Szenarien zurück (Referenz -6%), sonst bis -24% (sinkender Verbrauch in der Industrie überkompensiert dabei den Mehrverbrauch durch Elektroautos)
- Fernwärmennachfrage sinkt wegen sinkendem Wärmeverbrauch insgesamt (besonders aber bei Haushalten und GHD)
- KWK-Potential (Prozesswärme bis 100°C) sinkt in der Industrie wegen Effizienzsteigerungen, steigt aber im Sektor bei GHD wegen des Wachstums dieser Branche
- Stromnachfrage in Europa steigt bis 2020 (wegen Aufholeffekten), sinkt dann aber bis 2050 unter Referenzwert von 2008 aufgrund von Klimaschutzanstrengungen

Über die Potentiale der Erneuerbaren Energien werden folgende Annahmen getroffen

- Wasserkraft nahezu ausgeschöpft
- Biomasse beschränkt, da notwendig für Verkehrssektor
- Onshore Wind nur noch Steigerung durch Repowering
- Offshore Wind und Solar keine Grenzen

Über die Preisentwicklungen wurden folgenden Annahmen getroffen:

- Szenarien unterstellen spezifische EE-Förderung bis 2020 und danach bis 2050 ein kostenorientierter europaweiter EE Ausbau
- Preisentwicklung Steinkohle, heimische Kohle, Gas
- CO₂ Preise sind unterschiedlich je nach Szenarien
- unterschiedlichen Nachrüstkostensätze für die Atomkraftwerke
- für Invest- und Wartungskosten wurden sinkende bzw. konstante Preise angesetzt (neue/etablierte Technologien)

Es wird von einer Marktreife der CCS-Technologie ab 2025 ausgegangen und eine deutliche Steigerung der Wirkungsgrade von Kohlekraftwerken auf 50% (Steinkohle) bzw. 48% (Braunkohle) angenommen. Wegen besserer Anlagen und Standorte werden steigende Vollaststunden für Windenergie und PV auftreten. An konventionellem Kraftwerkszubau wurde nur das berücksichtigt, was sich derzeit schon in Genehmigungsverfahren befindet. Es wurden auch Investitionen der Industrie in Erneuerbare Energien in Abhängigkeit vom Strompreis und evtl. Substitution von Strom/Brennstoff der Industrie betrachtet.

Im Sektor Haushalte wurden Wohnflächenerweiterungen, Energieträger, Dämmstandards und Sanierungsraten berücksichtigt. Es ist folgerichtig eine deutliche Absenkung der Endenergieverbrauchs festzustellen. Dies liegt im wesentlichen an einem stark sinkenden spezifischen Energieverbrauch der Gebäude der im Jahr 2050 für Neubauten unter Berücksichtigung der Anlagen- und Erzeugereffizienz auf 4 kWh/m²/a abgesunken ist. Es wird dafür eine Verschärfung der EnEV und deren bessere Kontrolle vorgechlagen. Der durchschnittliche Wärmeverbrauch des Gebäudebestands sinkt im Referenzszenario auf 74 kWh/m²/a im Jahr 2050. Es wird im Trendszenario eine sinkende Sanierungsrate von 1,1 bis 0,5% angesetzt. Die Einsparung bei Sanierung beträgt konstant 35%. Für die Förderung der Sanierungstätigkeit werden zusätzlich finanzielle Fördermaßnahmen und die Lösung der Vermieter-Mieter-Dilemmas vorgeschlagen. Trotz prognostizierter deutlicher Zunahme des erneuerbaren Anteils an der Raumwärme wird jedoch das Ziel von 14% im Jahr 2020 verfehlt. Abhilfe könnte die Erweiterung des EEWärmeG auf Sanierungen und die Erhöhung der vorgeschriebenen Anteile schaffen.

1.6.2 DLR, IWES, IfnE

Die Studie des DLR aus dem Jahr 2012[14] „stellt Ergebnisse von systemanalytischen Untersuchungen der Transformation in der Strom-, Wärme- und Kraftstofferzeugung dar, die im Rahmen eines dreijährigen Forschungsvorhabens für das BMU erarbeitet wurden. Dabei bauen die Arbeiten auf den in den vorangegangenen Jahren vom DLR mit wechselnden Projektpartnern für das BMU und das UBA durchgeführten Projekten auf. Ermittelt wurden im Wesentlichen in sich konsistente Energieszenarien des langfristigen EE-Ausbaus und der restlichen Energieversorgung und die daraus abzuleitenden strukturellen und ökonomischen Wirkungen.“. Dabei wurde das durch die Bundesregierung 2011 beschlossene „Energiepaket“ berücksichtigt.

Die wesentlichen Annahmen und Randbedingungen sind:

- Absenkung des Endenergieverbrauchs der Gebäude 2010-2050 um 45%
- keine Importe von Biomasse, Berücksichtigung der beschränkten nachhaltig nutzbaren Biomassepotentiale in Deutschland
- es sind nur noch Gaskraftwerke und KWK-Anlagen zur Verbrennung fossiler Energien im Einsatz, diese werden tlw. befeuert mit synthetischem Wasserstoff und Methan, welche als Speicher dienen.

Im Ergebnis wird der Verbrauch von Erdgas halbiert. Es wird nach wie vor Strom aus dem europäischen Stromverbund bezogen, in Summe werden immer noch 46% des Energieverbrauchs importiert. Der Anteile der Erneuerbaren in den Sektoren sind 2050

- Strom 85%
- Wärme 52%
- Kraftstoff 42%

Eine Vollversorgung erscheint den Autoren erst für 2060 realistisch.

1.6.3 ISE

Die Studie des Fraunhofer ISE[18] untersuchte 2012 die Möglichkeiten für eine 100% erneuerbare Energieversorgung in Deutschland ohne dafür einen zeitlichen Horizont zu geben. Dabei blieben allerding der Sektor Verkehr und die Hochtemperaturwärme im Sektor Industrie außen vor. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass 100% Erneuerbare Energien in Strom und Wärme aus heimischen Quellen ist bis 2050 realistisch und konstatiert, dass dabei die Gesamtkosten gleich bleiben und kein Stromaustausch mit dem Ausland stattfinden muss. Es wurde ein Modell der Energieversorgung Deutschlands aufgestellt, mit Hilfe dessen verschiedene „100%-Varianten“ gefunden wurden. Die in der Studie beschriebene Vorzugslösung enthält als wesentliche Energieträger Strom, Gas und Fernwärme, die jeweils zu 100% erneuerbar sein müssen. Dies wird für Strom durch die Ausschöpfung des Wind- und PV-Potentials erreicht. Überschussstrom deckt mit Hilfe von Power-to-Gas außerdem 80% des Gasbedarfs und mit Power-to-Heat 50% des Fernwärmebedarfs. 20% des Gasbedarfs werden aus Biomasse gedeckt. Fernwärme wird zu 32% mit Solarthermie und zu 16% mit in Kraft-Wärme-Kopplung verstromten Gas gedeckt. Eine Absenkung des Heizwärmeverbrauch auf 50% des Verbrauchs von 2010 ist Voraussetzung. Detaillierte Untersuchungen wie und ob dies möglich ist, sollen in einer spätere Studie folgen.

1.6.4 FVEE

Der Forschungsverbund erneuerbare Energien legte 2010 eine Studie zum selben Thema vor [19] und kommt zu dem Ergebnis, dass eine 100% Erneuerbare Versorgung bis 2050 möglich ist. Das Konzept basiert auf einem Mix aller vorhandenen Technologien: Biomasse wird wegen der Nutzungskonkurrenz und der beschränkten Kapazitäten kaum eingesetzt. Es kommen lediglich Biokraftstoffe für Langstrecken-, Güter- und Luftverkehr zum Einsatz. Der Rest der Mobilität wird elektrisch gedeckt. Der Wärmebedarf wird zu 31% aus Solarthermie, zu 10% mit Gaswärmepumpen und zu 50% mit elektrischen Wärmepumpen gedeckt. Gespeichert werden Wasserstoff und Methan. Großkraftwerke sind nicht mehr Bestandteil des Systems, nur noch KWK und Gaskraftwerke. Das notwendige Gas wird hauptsächlich mit Power-to-Gas bereitgestellt. Für die Stromversorgung wird eine HGÜ aus Nordafrika vorgesehen. Auch dieses Konzept setzt eine deutliche Reduzierung des Wärmebedarfs um ca. 50% voraus.

1.6.5 Shell

Die Shell BDH Hauswärme-Studie [71] wurde im Jahr 2013 gegenüber der ersten Ausgabe 2011 [72] vertieft. Basierend auf den Erkenntnissen von 2011, dass die „Sanierung der Gebäudehüllen die effektivste Maßnahme zur Steigerung von Energieeffizienz“ ist, aber dass die „praktisch und politisch realisierbaren Potentiale in der Modernisierung von Heiztechnik und -systemen“ liegen, wurde letzteres 2013 vertieft untersucht.

Es werden die Szenarien „Trend“ und „Alternativ“ betrachtet, wobei letztes kein Zielszenario ist, sondern auf Expertenabschätzung der Technik- und Markttrends beruht und hierfür beschleunigte Entwicklungen ggü. „Trend“ annimmt. Die Abschätzungen erfolgen in dieser Studie mit einer Sanierungs- und Neubaurate, sowie Annahmen über die Trends in der Beheizungsstruktur getrennt für Neubauten und Bestandsgebäude. Den Veränderungen in den spezifischen Treibhausgasemissionen der einzelnen Energieträger in den kommenden Jahren wird Rechung getragen.

Je nach Szenario wurden die Ziele der Bundesregierung bzgl. des Anteils Erneuerbarer Energien für 2020 übererfüllt (Ziel: 14%, Szenarien: 24...31%). Die Ziele bzgl. Absenkung der Treibhausgasemissionen und des Endenergieverbrauchs jedoch verfehlt.

1.7 Energie- und Klimaschutzprogramme deutscher Bundesländer

Die meisten Bundesländer adressieren in ihren Energie- und Klimaschutzprogrammen/-konzepten (zumindest in der Präambel) das Zieldreieck der Energieversorgung zwischen Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz. Oft wird zusätzlich das Ziel Akzeptanz genannt, welches allerdings stark zielgruppenabhängig ist und daher zu Recht nicht im Zieldreieck enthalten ist. Vielmehr folgt Akzeptanz aus einer mehrheitsfähigen Gewichtung der drei vorgenannten Aspekte. Während Versorgungssicherheit und weitestgehend (allerdings schlechter werdend) auch Wirtschaftlichkeit bereits seit langer Zeit zu den Eigenschaften des deutschen Energieversorgungssystems zählen, kam die Umweltverträglichkeit erst in den letzten 30 Jahren als Aspekt hinzu. Die Gewichtung von Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit schwankt jedoch in den Bundesländern und korreliert sicherlich mit den regierungstragenden Parteien. Eine Quantifizierung dieser Aspekte erfolgt i.A. nicht, vielmehr werden beeinflussende Faktoren und flankierende Maßnahmen beschrieben. Der Aspekt

Umweltschutz hat unterschiedliche Facetten, von denen Knappheit von Ressourcen, Platz, Abfallaufnahmekapazität die Wesentlichen sind. Während fossile Energiequellen zwar i.d.R. flächeneffizient sind, verbrauchen sie nichtregenerative Ressourcen und belasten die Umwelt mit CO₂ und anderen Abgasen. Wind- und Solarparks sind hingegen sehr flächenintensiv verbrauchen Ressourcen aber nur einmalig bei der Errichtung, diese können wiedergewonnen und der Abfall minimiert werden, wenn eine gute Kreislaufwirtschaft verwirklicht wird. Atomenergie hat ihre Schwächen im Wesentlichen im Bereich des Abfalls und der Sicherheit.

Die Konzepte der Bundesländer fokussieren i.d.R. auf die Vermeidung von CO₂ und einen geringeren Verbrauch fossiler Energieträger, was neben der Schonung knapper Ressourcen auch den Vorteil geringerer politischer Abhängigkeit von exportierenden Staaten und geringerer wirtschaftlicher Abhängigkeit von stiegenden Energiepreisen hat. Die Abbildungen 1.7 und 1.8 zeigen die Zielstellungen einzelner Bundesländer für die zwei dafür wesentliche Kennzahlen - Senkung des Endenergieverbrauchs und Anteil der Erneuerbaren Energien an dessen Deckung bis 2050. Zwar haben fast alle Bundesländer (außer NRW, dort ist es noch im Entstehen) ein „Energiekonzept“/“Klimaschutzplan“ etc. vorliegen, es konnte aber nicht für alle ein Zielwert ermittelt werden, da

- der Bereich Wärme nicht (oder nicht separat) betrachtet wird [73, 74],
- als Kenngröße lediglich CO₂-Ausstoß geführt wird [75, 76],
- gar keine/kaum Zahlen in den Konzepten enthalten sind [77, 78],
- die Werte nicht vergleichbar sind
 - da unterschiedliche Sektoren inkludiert sind bzw.
 - eine unterschiedliche ⁷ Bilanzierung der dezentralen Erneuerbaren erfolgt. Es ist oft nicht klar, ob die dezentrale Nutzung erneuerbarer Quellen den regenerativen Deckungsbeitrag erhöht oder ob sie den Endenergieverbrauch senkt⁸.

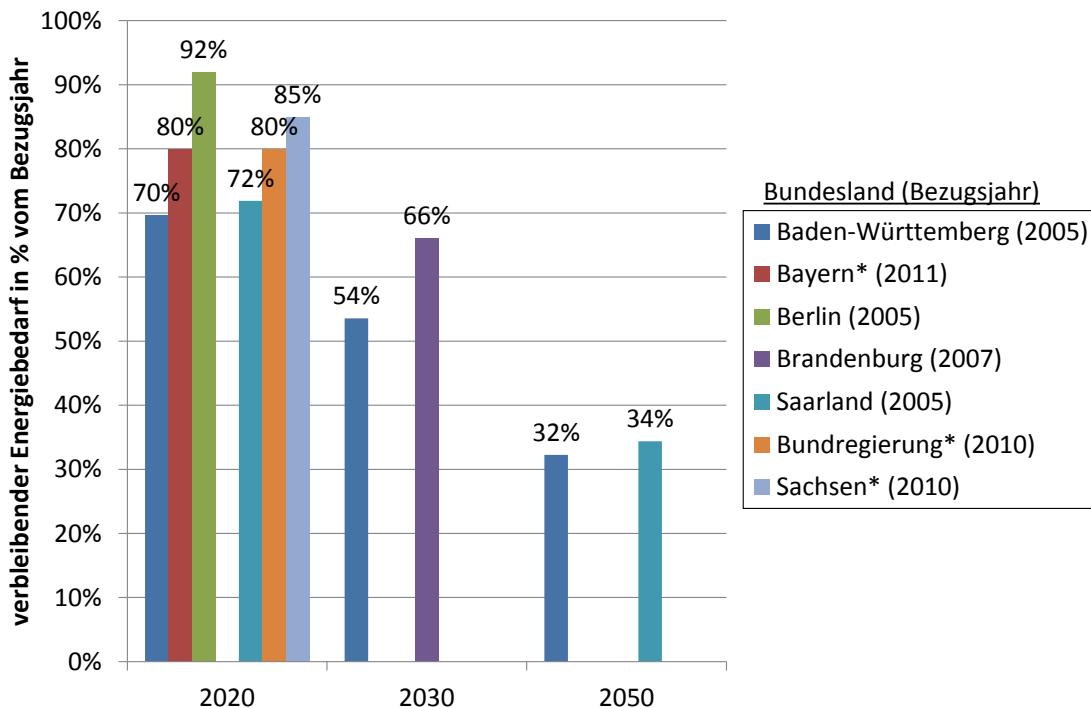
Abbildung 1.7 fasst die ermittelbaren Ziele zusammen. Sie zeigt den in einem bestimmten Jahr noch verbliebenen Endenergieverbrauch bezogen auf ein Bezugsjahr. Das Bezugsjahr ist jedoch oft nicht angegeben und wenn, dann sind sie meist nicht übereinstimmend (bei den verschiedenen Programmen). Die Vergleichbarkeit der Zielwerte wird dadurch entscheidend beeinträchtigt, da in den Jahren seit 1990, was bisher ein übliches Bezugsjahr war, bereits starke Absenkungen stattgefunden haben. Dies gilt besonders für die neuen Bundesländer. Senkungen ggü. einem Ist-Stand zum Zeitpunkt der Konzepterstellung⁹ sind deutlich schwerer zu erreichen. Man erkennt in der Grafik jedoch die deutlich unterschiedlichen Zeithorizonte der Konzepte, die meist recht kurzfristig nur 10 Jahre betrachten (i.d.R. stammen die Konzepte aus den Jahren 2009 bis 2012, die Ziele wurden dann alle in der Kategorie 2020 aufgeführt). Je länger der Horizont, desto ambitionierter auch die Ziele, wobei der Weg oft nicht ausgeführt wird.

Abbildung 1.8 zeigt die Zielstellungen bzgl. des regenerativen Deckungsbeitrags (gemäß Gl. 1.1) im Bereich Wärme. Dabei ist meist nicht explizit erwähnt, welche Sektoren umfasst sind, es wird daher von einer vollständigen Abdeckung ausgegangen. Die Zeithorizonte unterscheiden sich auch hier. Interessanterweise haben viele Bundesländer das Ziel im Jahr 2050 den Wärmeverbrauch komplett regenerativ zu decken, jedoch treffen sie keine Aussagen zum dann vermutlich bestehenden verbrauch (Abbildung 1.7). Die Glaubwürdigkeit dieser Zielstellung wird dadurch stark eingeschränkt.

⁷und oft nicht nachvollziehbare

⁸auch eine doppelte Bilanzierung kann nicht ausgeschlossen werden

⁹bei den meisten Studien ungefähr 2010



*Absenkung des gesamten Endenergieverbrauch der Haushalte. Wie Abb. 1.3 zeigt, wird dieser jedoch von der Wärme dominiert (Anteil 90%)

Abbildung 1.7: Zielstellungen der Bundesländer bzgl. Absenkung des EEV der Haushalte für Wärme

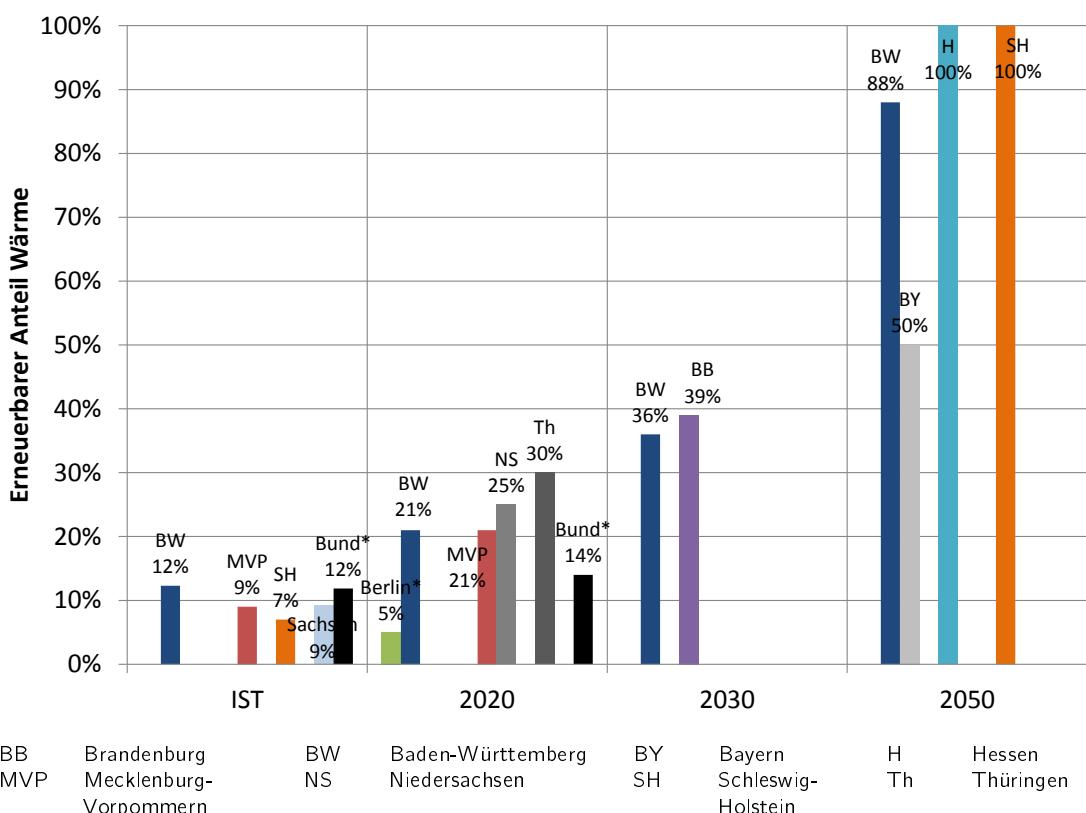


Abbildung 1.8: Zielstellungen der Bundesländer für den erneuerbaren Anteil an der Wärmeversorgung

Wie bereits erwähnt fokussieren die Konzepte der Bundesländer i.d.R. auf die Vermeidung von CO₂ und einen geringeren Verbrauch fossiler Energieträger. Beschränkt man sich auf den Bereich Wärme werden von allen Bundesländern folgende Maßnahmen als technisch sinnvoll angegeben:

1. Wärmeverbrauch senken
 - a) Sanierungsrate erhöhen
 - b) guter energetischer Standard bei Sanierung
 - c) Neubaustandard erhöhen
 - d) teilweise: Ersatzneubau statt Sanierung
2. effizientere Bereitstellung der Nutzenergie
 - a) effizientere Erzeuger
 - b) effizientere Verteilungsanlage
3. Anteil regenerativer Energien erhöhen
 - a) dezentral
 - b) zentral

Bevorzugte Maßnahme ist dabei die Senkung des Wärmeverbrauchs, hier besteht auch das technisch größte Potential, wie die Ausführungen in Abschnitt 2 unterstehen werden. Von den möglichen Hebeln sind aufgrund der geringen Neubauraten die Maßnahmen im Gebäudebestand am wichtigsten. Nahezu alle Konzepte streben daher eine Erhöhung (mindestens Verdoppelung) der Sanierungsquoten an. Der energetische Standard bei Sanierungen wird seltener thematisiert. Bei den Neubaustandards werden die bundes- und europaweiten Vorgaben i.d.R. als ausreichend gut anerkannt.

Die Bereitstellung der notwendigen Nutzenergie mit einem geringen fossilem Anteil kann auf zwei Arten (Punkte 2 und 3 in der obigen Liste) erreicht werden, dies wird meist gemeinsam behandelt. Dabei werden effizientere Verteilungsanlagen selten thematisiert, obwohl das Potential nennenswert ist und mit einem relativ geringen finanziellen Aufwand zu heben ist (siehe Abschnitt 2.2.6).

Der Handlungsspielraum der Bundesländer bei der Umsetzung obiger Ziele ist begrenzt, sie haben meist weder die Gesetzgebungskompetenz noch sind sie handelnder Akteur. Daher sind folgende Arten von Maßnahmen zu unterscheiden:

- Gesetzgebungsinitiativen
 - bundes- und europaweit
 - im eigenen Land
 - Klimaschutzvereinbarungen mit Wohnungsunternehmen
- finanzielle Förderung
 - Hinwirkung auf Freigabe von Bundes- oder kommunalen Mitteln
 - eigene finanzielle Mittel
- Information & Marketing & Aufklärungsarbeit

- Energieberatung fördern
- Pilotprojekte unterstützen
- Indikatoren für die Zielerreichung
- Solar-, Biomassepotential-, Abwärmekataster etc.
- Mietspiegel um Nebenkosten ergänzen
- Energieausweises als Qualitätskriterium bei Auswahl von Wohnraum stärken
- Smart-Metering als Anreiz für energiesparendes Verhalten
- Land als Bauherr und Eigentümer von Liegenschaften
- Forschungsförderung

1.8 Projekte und Konzepte auf kommunaler Ebene

1.8.1 Projekt 100% RES Communities

Das dreijährige Projekt, welches seit April 2012 im Rahmen des IEE-Programms läuft, bündelt: europäische Konvent der Bürgermeister, die RES Champions League, das RURENER Netzwerk sowie das deutsche Projekt 100ee-Regionen. Der Fokus des Projektes liegt auf der *ländlichen Gemeinden*. 12 Projektpartner 10 Länder: Frankreich (CLER als Projektkoordinator, RURENER, SOLAGRO), Deutschland (deENet, Klimabündnis), Belgien (Innnergies), Italien (Legambiente), Österreich (Klimabündnis), Rumänien (UBC), Tschechien (CITYPLAN), Schottland (CES), Slowenien (SE-F), und Ungarn (Energia-Klub).

In seiner praktischen Umsetzung zielt das Projekt darauf ab, aus den involvierten Ländern insgesamt 10 Regionen/ Kommunen zu bestimmen und dort gemeinsame SEAPs (Sustainable Energy Action Plans) zu entwickeln und umzusetzen. Hierzu finden sich fünf erfahrene mit fünf lernende Regionen paarweise in sogenannten "Twinings". Diese Gemeinden und Regionen werden in ihrer jeweiligen Konstellation (allein oder als Gruppe) in das RURENER Netzwerk, den Konvent der Bürgermeister, die RES Champions League und in die 100% RES Communities auf europäischer Ebene einbezogen.

Definition einer 100%-RES-Gemeinde:

- Es existiert ein Plan und eine Ermittlung des Status Quo zu 100% RES in den Bereichen Strom, Wärme, Mobilität.
- In mindestens einem Sektor sollte die Chance auf 100% RES bestehen.
- In mindestens einem Sektor liegt man schon über dem nationalen Durchschnitt.

Energieeinsparung wird dabei als 3. Sektor auch behandelt („Negawatt“). Abgezielt wird immer nur auf das nachhaltig erschließbare RES-Potential im Gebiet (d.h. unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher, Sozialer, ökologische Einschränkungen).

Gegenwärtig beträgt die Anzahl der 100ee-Regionen deutschlandweit 79 und die der Starterregionen 58 (siehe Abbildung 1.9). Zudem sind 3 Regionen unter der Kategorie 100ee urban gelistet. Die 140 Regionen umfassen rund 22,1 Mio. Einwohner (27%) und erstrecken sich über eine Gesamtfläche von ca. 109.941 km² (31%). 100ee-Regionen-Projekte gibt es auch

Tabelle 1.2: 100ee-Regionen und -Gemeinden in Sachsen

Nummerierung siehe Abbildung 1.9	100ee Region	Einwohner
1	Annaberger Land (13 Kommunen)	47.600
2	Ostritz	2.500
3	Vogtlandkreis	244.400
4	Westlausitz (13 Kommunen)	50.200
5	Bautzener Oberland (15 Kommunen)	54.000
6	Brandis	9.500
7	Leipziger Muldenland	123.500

in Frankreich, Belgien, Österreich, Schottland, Slowenien und der Tschechei. In Sachsen leben 8,5% der Einwohner in 100ee Regionen, weitere 4,6% in Starterregionen (siehe Tabelle 1.2).

100ee-Regionen sind die Vorreiter der regionalen Energiewende. Sie bieten Raum für die Erprobung innovativer regenerativer Energie Technologien, schaffen neuartige Organisations- und Kooperations formen und erweitern dadurch regionale Handlungsspielräume. Sie stützen sich auf einen breiten regionalen Konsens zur Energiewende. Darüber hinaus verfügen sie über ein umfassendes regionales Akteursnetzwerk, umfangreiche planerische und konzeptionelle Vorarbeiten sowie erprobte Instrumente zur Öffentlichkeitsarbeit. Die Energie wird bilanziell überdurchschnittlich aus erneuerbaren Energiequellen bezogen

1.8.2 Projekt European Energy Award

Der European Energy Awards (EEA) ist ein europäisches Gütezertifikat für die Nachhaltigkeit der Energie- und Klimaschutzpolitik von Kommunen.. Das dazu entwickelte EEA Management Tool Online enthält einen Maßnahmenkatalog für Kommunen & Landkreise in folgenden Maßnahmenbereichen:

- Entwicklungsplanung,
- Raumordnung
- Kommunale Gebäude und Anlagen
- Versorgung, Entsorgung
- Mobilität
- Interne Organisation Kommunikation, Kooperation

Mit Hilfe dieses Katalogs werden die bisher durchgeführten Maßnahmen und geplante Aktivitäten erfasst und bewertet. Die Maßnahmen sind mit einem Punktesystem unterlegt. Die 100% Marke der maximal zu erreichenden Punkte wird unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen der jeweiligen Kommune individuell festgelegt. Eine Zertifizierung bei 50% der Punkte, eine Gold-Zertifizierung ab 75%. In Sachsen nehmen 5 Regionen und 43 Kommunen (siehe Abbildung 1.10) teil.

1.8.3 Weitere Projekte

Weitere Projekte die sich mit Klimaschutz, Energieeffizienz und/oder erneuerbaren Energien auf lokaler Ebene beschäftigen sind:

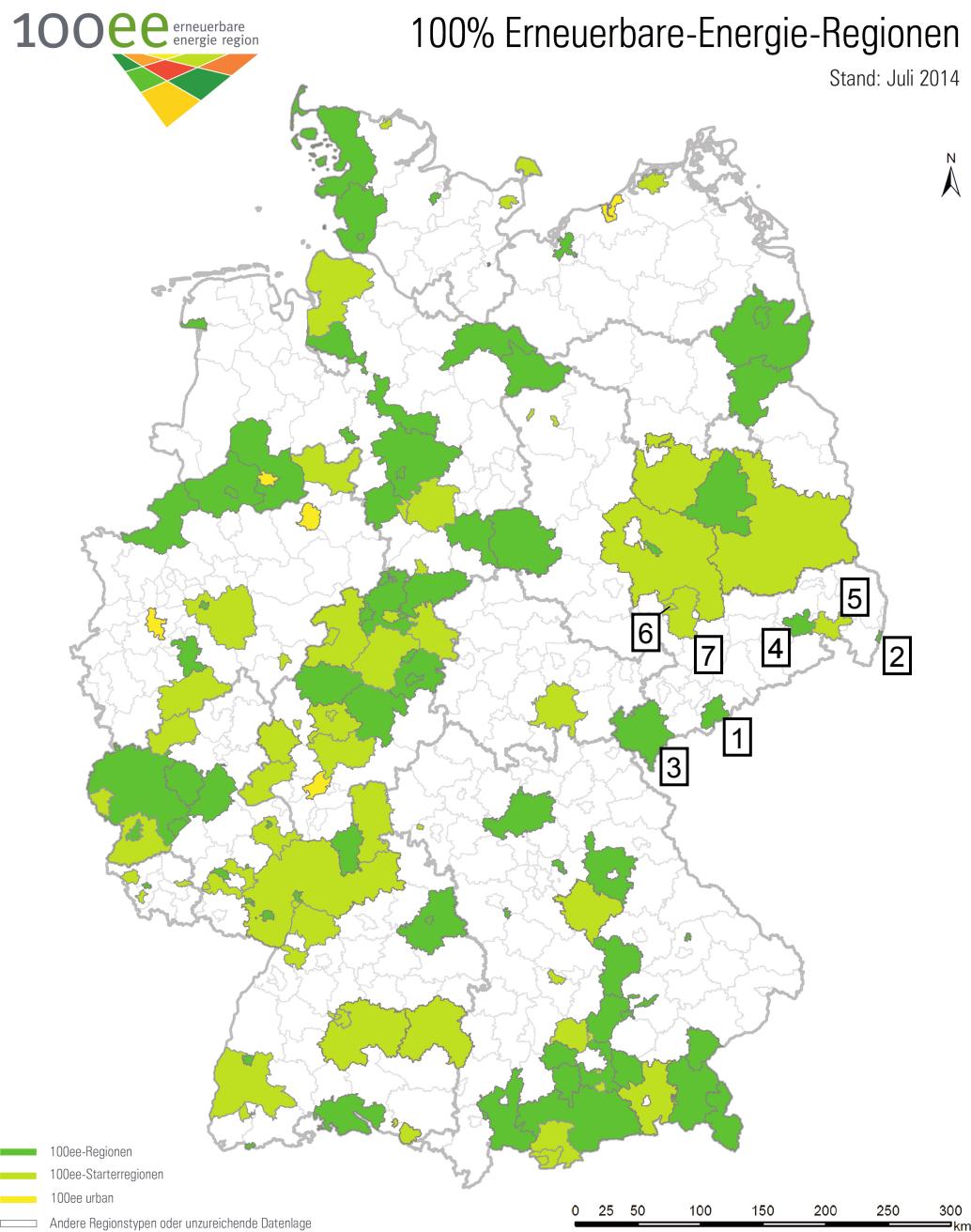
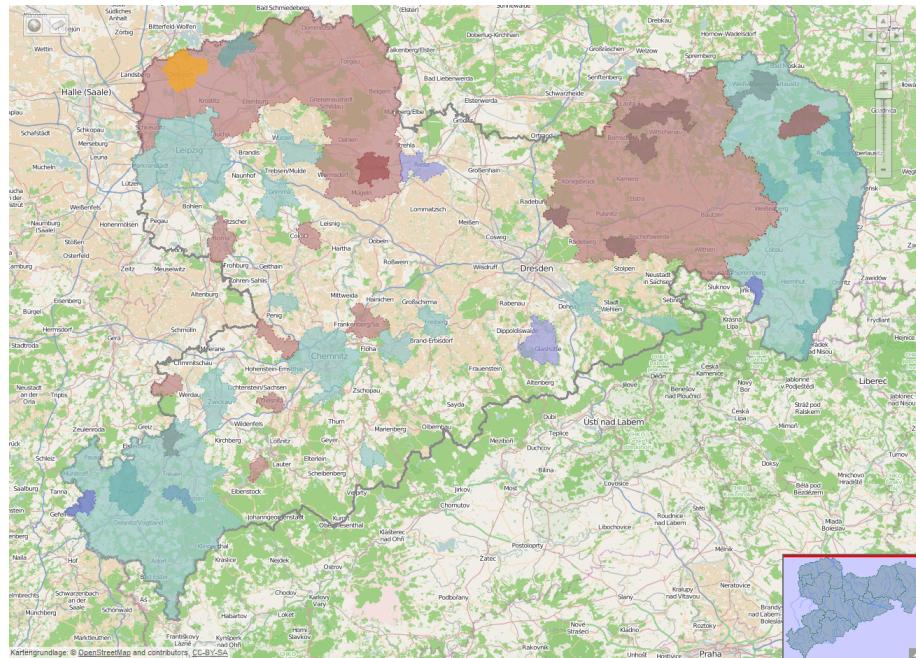


Abbildung 1.9: 100ee Regionen in Deutschland, Bildquelle: [3]



rot: Teilnahme, grün: Auszeichnung (>50%), gelb: Goldaward (>75%), blau: Teilnahme in Vorbereitung

Abbildung 1.10: European Energy Award - teilnehmende Kommunen und Landkreise in Sachsen, Bildquelle: [4]

- Klimabündnis: Mit ihrem Beitritt zum Klima-Bündnis verpflichten sich die Städte und Gemeinden freiwillig zu folgenden Zielen (Sächsische Mitglieder sind die Großstädte Dresden, Chemnitz und Leipzig):
 - Reduktion der CO₂-Emissionen um 10 % alle fünf Jahre,
 - Halbierung der Pro-Kopf-Emissionen bis spätestens 2030 (Basisjahr 1990),
 - Schutz der tropischen Regenwälder durch Verzicht auf Tropenholznutzung und
 - Unterstützung von Projekten und Initiativen der indigenen Partner
- Manergy: Das EU Projekt MANERGY beschleunigt den Aufbau einer unabhängigen regionalen Energieversorgung, basierend auf nachhaltigen Konzepten und erneuerbaren Energien. Den regionalen Akteuren wird vermittelt, wie die Energiewende ermöglicht und Umsetzungsstrukturen etabliert werden können. Im Einzelnen werden Energieverbrauch und Potentiale visualisiert, ganzheitliche Strategien entwickelt und beispielhafte Energiekonzepte erarbeitet, die später durch lokale Aktionspläne konkretisiert werden. Teilnehmer aus Sachsen sind das Leipziger Muldenland und die Region Oberlausitz Niederschlesien.
- Interreg IVC: Das Interreg IVC EU-Projekt soll die Effektivität lokaler Politik verbessern, indem es den Erfahrungsaustausch zwischen lokalen Entscheidungsträgern fördert. Unterstützte Themenfelder sind z.B. Innovation und Umwelt. Das Teilprojekt EnercitEE fördert Erfahrungsaustausch zwischen Kommunen und Bürgern, wobei eine Projektregion Sachsen war.
- Bioenergie Regionen: „Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) fördert Strukturen zur Erzeugung und zum Einsatz von Bioenergie in sogenannten

Bioenergie-Regionen. Während sie in der ersten Phase von 2009-2012 vor allem Netzwerke aufbauten und die Grundlagen für Bioenergieerzeugung und -nutzung schufen, konzentrieren sich die Akteure in der zweiten Phase von 2012 bis 2015 auf die gezielte Steigerung der regionalen Wertschöpfung durch Bioenergie, auf die Effizienzsteigerung und Optimierung der Stoffströme sowie auf die Weitergabe der Erfahrungen an Partner-Regionen. Die Bioenergie-Regionen arbeiten nun mit sogenannten Zwillingsregionen zusammen und leisten auf diese Weise einen ganz gezielten Wissenstransfer.“ [79]

- Kommunen aktiv für den Klimaschutz - eine jährliche Konferenz des deutschen Städte- und Gemeindetags.

1.8.4 Konzept Landeshauptstadt Dresden

Die Stadt Dresden verfügt über ein detailliertes und gut begründetes Klimaschutzkonzept. Die wissenschaftliche Grundlage wurde von der Arbeitsgemeinschaft Ramboll/KEEA erarbeitet [80]. Das Konzept wurde 2013 beschlossen, das Bezugsjahr ist 2005 und der Prognosehorizont 2030.

Das Konzept betrachtet die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Neben den Zielen werden auch Maßnahmen erarbeitet und deren Kosten betrachtet. Es erfolgt eine Bewertung nach CO₂-Vermeidungskosten. Die Stadt setzt sich folgende Ziele für 2030

- 19% regionale erneuerbare Wärme
- 22% regionaler erneuerbarer Strom

Um diese zu erreichen ist die Umsetzung des in der Studie ausgeführten Effizienzszenario erforderlich.

Zunächst erfolgt eine umfangreiche Analyse der Rahmenbedingungen und eine Bestandsaufnahme bzgl.

- Siedlungs- und Versorgungsstruktur
- Demografie- und Sozio-Ökonomie
- Energie- & CO₂ Bilanz
- Energiekosten

Anschließend werden die zukünftigen Entwicklungen in folgenden Bereichen analysiert:

- Demographie, Sozio-Ökonomie
- Energietechnologie
- Energiemarkt
- mögliche Konkultursituationen zur Nutzung lokaler regenerativer Energiequellen

Es folgen umfangreiche thematische Analysen. Nach spezifischen Zielen gegliedert, finden sich hier die jeweiligen Bestandsaufnahmen, Potenzialbetrachtungen, Szenarien und Maßnahmen.

- Verbrauch senken
- Erneuerbare Energien bereitstellen
- Optimierung der Ausnutzung fossiler

- Verkehr
- Übergeordnete Maßnahmen
- Modellstadtteilbetrachtungen

Danach werden ein Konzept zur Partizipation vorgeschlagen und Umsetzungsempfehlungen für die drei unterschiedlich ambitionierte Szenarien betrachtet: Trend, Aktion und Effizienz.

Die Veränderung des Wärmeverbrauchs im Gebäudebestand wird mittels Sanierungsraten von 0,5, 0,8 und 1% und einer einheitlichen Sanierungstiefe auf 52 kWh/m²/a betrachtet. Weitere Maßnahmen sind der hydraulische Abgleich und die Wärmerückgewinnung, wobei letztere nicht quantifiziert wird.

Für die einzelnen erneuerbaren Energieträger (Solarthermie, Geothermie und Biomasse¹⁰) wird eine detaillierte Potentialabschätzung für die Wärmeerzeugung vorgenommen.

Auch die optimierte Ausnutzung fossiler Energieträger wird detailliert untersucht. Dazu gehört insbesondere die Betrachtung der Perspektiven des Fernwärmesystems, welches

- nach der aktuellen Ausbaustrategie der Drewag erweitert werden soll,
- auf ein niedrigeres Temperaturniveau gebracht werden soll,
- dessen erneuerbarer Anteil erhöht werden soll und wo
- die Nutzbarmachung überschüssigen regenerativen Stroms mit Elektrodenkesseln angedacht ist.

Zur optimierten Ausnutzung fossiler Energieträger wird auch der Austausch alter Öl- und Gas- kessel mit Austauschraten von 1%, 1,5% oder 2% betrachtet.

¹⁰

• Hier werden Feststoffe und Brennstoffe betrachtet. Im EffizienzszENARIO wird auch Biomasse aus der Umgebung genutzt, in den beiden anderen Szenarien nur jene, die innerhalb der Stadtgrenzen anfällt.

2 ENTWICKLUNG DES ENDENERGIEVERBRAUCHS

2.1 Überblick Berechnungsmodell

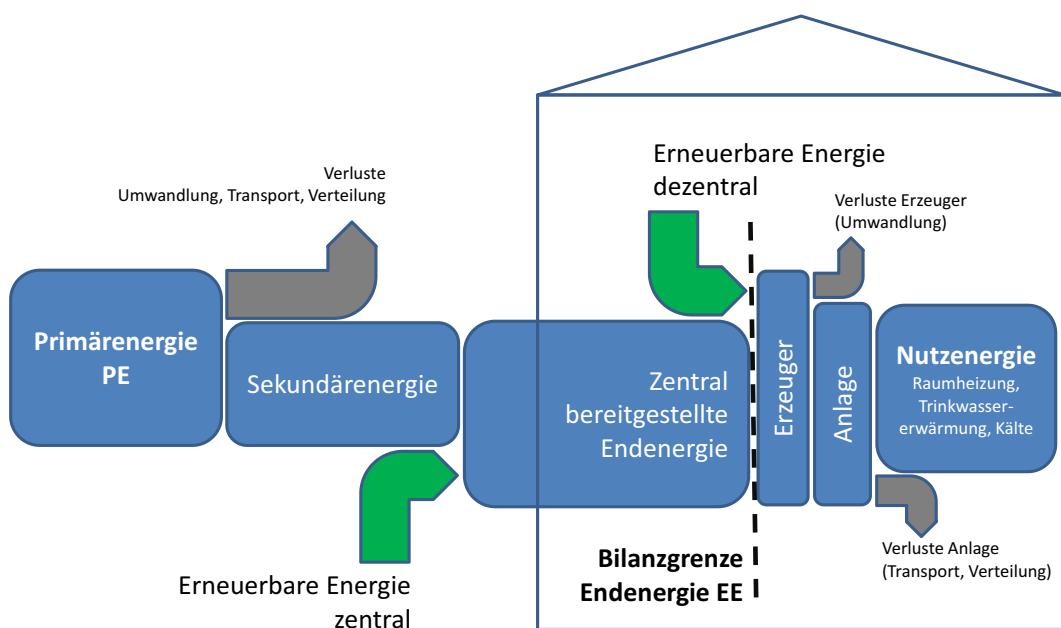


Abbildung 2.1: Primärenergie, Endenergie, Nutzenergie im Bezug zum Bilanzkreis Gebäude

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Wärme der Gebäude in Sachsen ($EEV_{Wärme/Kälte, Sachsen}$). Betrachtet wird die Entwicklung von Jahresverbräuchen, basierend auf den bekannten Ausgangswerten für das Jahr 2011. Der Endenergieverbrauch ergibt sich als Summe der Nutzenergieverbräuche für Raumwärme (RW), Prozesswärme (PW) und Trinkwassererwärmung (TWE), sowie aus den energetischen Aufwänden (auch „Verluste“) in Anlagen und Erzeugern (siehe Abbildung 2.1 und Gleichungen 2.1ff). Dabei sind jeweils die drei Sektoren Haushalte (HH), Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD), sowie Industrie (Ind) zu betrachten.

$$EEV_{Wärme/Kälte, Sachsen} = \sum_i \sum_j \frac{NEV_{i,j} \cdot (1 + f_{Anlage, i,j})}{\eta_{Erzeugung, i,j}} \quad (2.1)$$

$$NEV_{i,j} = E_{RW, i,j} + E_{TWE, i,j} + E_{PW, i,j} \quad (2.2)$$

EEV ... Endenergieverbrauch
 NEV ... Nutzenergieverbrauch
 i ... Laufindex für Sektor
 j ... Laufindex für Stadt/Land

Es wird detailliert der dominierende Sektor „Haushalte“ betrachtet und anschließend sinngemäß auf den Sektor GHD übertragen. Der Sektor Industrie ist nicht Bestandteil dieser Studie.

2.2 Maßnahmen, welche den Nutzenergieverbrauch verändern (Sektor Haushalte)

2.2.1 Überblick Berechnungsmodell Haushalte

Bei Haushalten spielt die Prozesswärme eine untergeordnete Rolle und wird daher nicht betrachtet. Es folgen Ausführungen zu den wesentlichen Nutzenergien im Haushaltssektor - Trinkwassererwärmung und Raumwärme. Der Index i für die verschiedenen Sektoren wird der besseren Lesbarkeit halber nicht weitergeführt.

Wesentliche Einflussgrößen auf den Endenergieverbrauch für Raumwärme sind

- die Bevölkerungsentwicklung
- Entwicklung der pro-Kopf-Wohnfläche und daraus resultierend die Entwicklung der Gesamtwohnfläche und Gebäudeanzahl
- Senkung des Verbrauchs durch gebäudeseitige Maßnahmen für Transmission (Wärmedämmung) und Lüftung (Luftdichtheit Gebäude, kontrollierte Lüftung)
- Effizienzsteigerung durch anlagenseitige Maßnahmen (hydraulischer Abgleich, Umwälzpumpen, Heizflächen)
- Art der Erzeuger und ggf. dezentral nutzbar gemachte Umweltenergie

Für die Trinkwassererwärmung und die Prozesswärme zusätzlich:

- Anpassung des Temperaturniveaus an das benötigte Nutztemperaturniveau

Entscheidender Einfluss auf den Anlagenaufwand hat der Sanierungsstatus der Anlage. Als „Anlage“ werden im Folgenden die Einrichtungen zur Wärmeübergabe und -verteilung, sowie Speicherung bezeichnet, nicht jedoch die Wärmeerzeuger. Wichtig für den Erzeugeraufwand sind die Technologie und die Jahresnutzungsgrade der einzelnen Erzeuger.

Eine Reihe der Einflussfaktoren ändern sich insbesondere durch Abriss, Sanierung und Neubau von Wohnfläche, was mit den im Folgenden beschriebenen Modellen abgebildet wird.

Nicht dezentral bereitgestellte erneuerbare Energien wie Biomasse und regenerative Anteile an Strom, Fernwärme und Gas werden in Kapitel 3 behandelt

Alle Berechnungen zum Nutzenergieverbrauch der Haushalte erfolgen getrennt für städtische und ländliche Räume mit Hilfe der Wohnfläche der Gebäude und deren flächenbezogenen Energieverbrauch in $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Wenn nicht anders angegeben wird der Effekt verrechnet auf „Endenergie“ angegeben.

Für die Berechnungen wird der Gebäudebestand in unterschiedliche Energieverbrauchsklassen von 0 bis 250 $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ eingeteilt. Außerdem wird unterschieden in Alt- und Neubau, sowie Denkmale. Als Neubau werden im Folgenden lediglich die Gebäude bezeichnet, welche nach 2011 errichtet wurden, da alle Bestandsdaten aus diesem Jahr stammen bzw. auf dieses bezogen wurden. Der Neubaubestand resultiert aus Wachstum der Gesamtwohnfläche (Aufgrund steigender Wohnflächen pro Einwohner) und/oder Ersatzneubauten aufgrund von Abriss.

Der Altbaubestand wird nach und nach saniert. Für die Bezeichnung gilt wieder der Stichtag 1.1.2011. Gebäude die vorher saniert wurden, werden im Folgenden als „unsaniert“ bezeichnet. Der Energiestandard der Altbauten ändert sich durch Sanierung. Es wird eine prozentuale Einsparung des Energieverbrauchs vor der Sanierung angesetzt. Diese ist absolut und prozentual umso größer, je mehr Energie das Gebäude vorher benötigt hat. Ein wesentlicher Einflussfaktor auf den EEV des Gebäudebestandes ist die Anzahl der jährlich sanierten Gebäude, die s.g. „Sanierungsrate“. Anders als in den meisten Studien wird hier keine einheitliche Sanierungsrate angenommen. Vielmehr wird den Wirtschaftlichkeitsgedanken folgend die Sanierungsrate umso höher angesetzt, je schlechter der Energiestandard des Gebäudes ist.

Auch Denkmale werden in dem vorliegenden Modell saniert, jedoch ist die Sanierungsrate geringer als bei „normalen“ Gebäuden und die Energieeinsparung durch Sanierung auch.

Die Summe der Energieverbrauche in den Kategorien „Neubau“, „Altbau saniert“, „Altbau unsaniert“ und „Denkmale“ ergibt den Endenergieverbrauch des gesamten Gebäudebestandes für Raumwärme. Hinzu kommt ein Verbrauch für die Trinkwassererwärmung, welcher nur von der Bevölkerungsentwicklung abhängt. Es wurde ein für die folgenden Jahre konstanter Nutzenergieverbrauch angesetzt (dieser ergibt sich aus den in der Energiestatistik angegebenen 882 kWh/EW·a Endenergieverbrauch für TWE, siehe S. 6), weiteres Einsparpotential besteht nach Meinung der Verfasser im Bereich der Nutzenergie nicht ohne dass Komforteinbußen hingenommen werden müssten oder ein grundsätzlich anderes Nutzerverhalten auftritt. Davor soll aber nicht ausgegangen werden, da hierzu keine verlässlichen Informationen vorliegen. Eine Absenkung des Endenergieverbrauchs für die Trinkwassererwärmung durch Steigerung der Energieeffizienz der Anlagen und Erzeuger findet auch hier statt und wird in den Abschnitten 2.2.6ff behandelt.

Ein gewisser Teil der im Gebäudebereich verbrauchten Endenergie kommt nicht als Nutzenergie für Raumwärme und Trinkwarmwasser zur Wirkung, sondern wird für den Ausgleich der Anlagen- und Erzeugerverluste aufgewandt. „Anlagenverluste“ umfassen dabei alle technologiebedingten Wärmeverluste und zusätzlichen energetischen Aufwendungen, die nach der Wärmebereitstellung durch den Wärmeerzeuger zu berücksichtigen sind. Dies sind hauptsächlich Wärmeverluste der Verteilungslinien und der Wärmeübergabeeinrichtungen im Raum. „Erzeugerverluste“ werden durch die Jahresarbeitszahl der Erzeugers abgebildet (siehe Abschnitt 2.3)

Für die Modellierung der „Anlagenverluste“ wird der Gebäudebestand wie bei den Betrachtungen zum Raumwärmeverbrauch in die Gruppen „Neubau“ und „Bestandsgebäude“ unterteilt. Für Neubauten (Definition wie vor: alle Gebäude, die nach dem 1.1.2011 errichtet wurden) wird bereits eine effiziente Anlagentechnik vorausgesetzt. Im Gebäudebestand wird die Anlagentechnik im Betrachtungshorizont bis 2050 saniert. Es findet hier ebenso eine Energieeinsparung in Abhängigkeit des vorherigen Energieverbrauchs statt. Auch hierfür wird eine Sanierungsrate angenommen, welche jedoch unabhängig von der Sanierungsrate der Gebäudehülle ist.

Die Anlagenverluste und der Nutzenergiebedarf müssen durch die Wärmeerzeuger (im Gebäude) gedeckt werden. Die durchschnittliche Aufwandszahl des gesamten Erzeugerparks bestimmt dabei den letztlich wirklich nötigen Endenergieverbrauch. Für jeden Erzeugertyp wurde eine Aufwandszahl festgelegt, so dass nur noch die Zusammensetzung des Erzeugerparks fraglich ist. Für das Jahr 2050 wurden diesbezüglich Annahmen in den Szenarien „Trend“ und „Klimaschutz“ getroffen.

2.2.2 Bevölkerungsentwicklung

Es ist grundsätzlich davon auszugehen, dass der Energieverbrauch für Raumheizung und Trinkwassererwärmung von der demografischen Entwicklung beeinflusst wird. Daher sind die Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung in Sachsen im Modell in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Dafür stehen Daten des statistischen Bundes- und Landesamtes zur Verfügung. Die untere Prognose des statistischen Bundesamtes (SBA) [5] stimmt mit der oberen Prognose des Statistischen Landesamtes Sachsen [81] überein und wird daher gewählt. Das statistische Landesamt stellt auch eine Bevölkerungsprognose für alle Gemeinden mit mehr als 5000 Einwohnern von 2012 bis 2025 zur Verfügung. Hieraus wurden alle „Städte“ (mehr als 10.000 Einwohner) gefiltert. Die Differenz zur Landesprognose wird dem ländlichen Raum zugeordnet. Für die Jahre über 2025 hinaus wurde die Prognose des SBA verwendet (welche bis 2060 reicht) und die Entwicklung der urbanen Räume linear extrapoliert, siehe Abbildung 2.2. Man erkennt einen Bevölkerungsrückgang um 24% bis 2050 in Sachsen, der in den ländlichen Räumen deutlich stärker ausfällt.

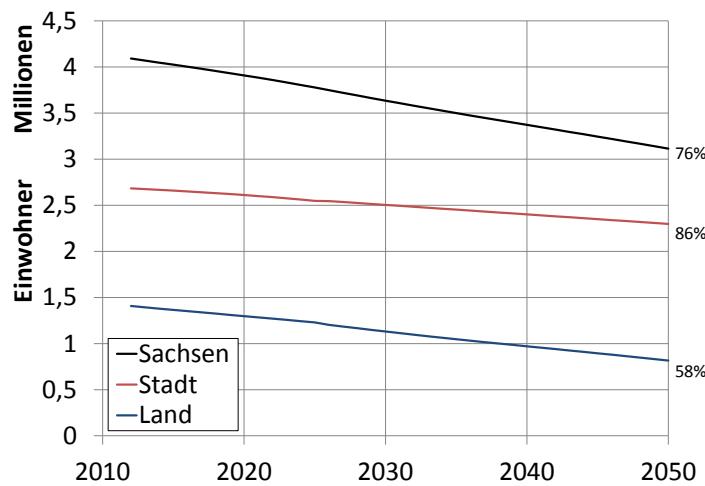


Abbildung 2.2: Prognose der Bevölkerungsentwicklung Sachsen, eigene Darstellung nach [5, 6]

2.2.3 Wohnflächenentwicklung

2.2.3.1 Gesamtbestand 2011

Im Jahr 2011 gab es für die 4.054.000 Einwohner in Sachsen [10] 801.000 Wohngebäude mit 2.396.000 Wohnungen¹. Hinzu kommen knapp 10.000 Ferienwohnungen, 20.000 gewerblich genutzte Wohnungen, 15.000 Wohnungen in Wohnheimen und 80.000 Wohnungen in „Sontigen Gebäuden“. Zusätzlich existieren Wohnungen in 33.170 Nichtwohngebäuden (3,6% aller Wohnungen). Für diese Sonderarten liegen kaum statistische Daten vor, so dass sie im Folgenden analog zu Wohngebäuden behandelt werden. Von den 2.238.000 Wohnungen in Wohngebäuden stehen 221.000 d.h. 9,9% leer [82].

Die gesamte Wohnfläche in Sachsen betrug 2011 173.623.000 m² [11], das sind 74,4 m² pro Wohnung in Wohngebäuden, 208 m² pro Gebäude mit Wohnraum und 42,8 m² je Einwohner. Im Folgenden sollen die leerstehenden Wohnungen nicht betrachtet werden, da für diese vereinfacht angenommen wird, dass sie nicht beheizt werden und somit keinen Energieverbrauch

¹alle Zahlen im Text werden auf volle Tausender gerundet

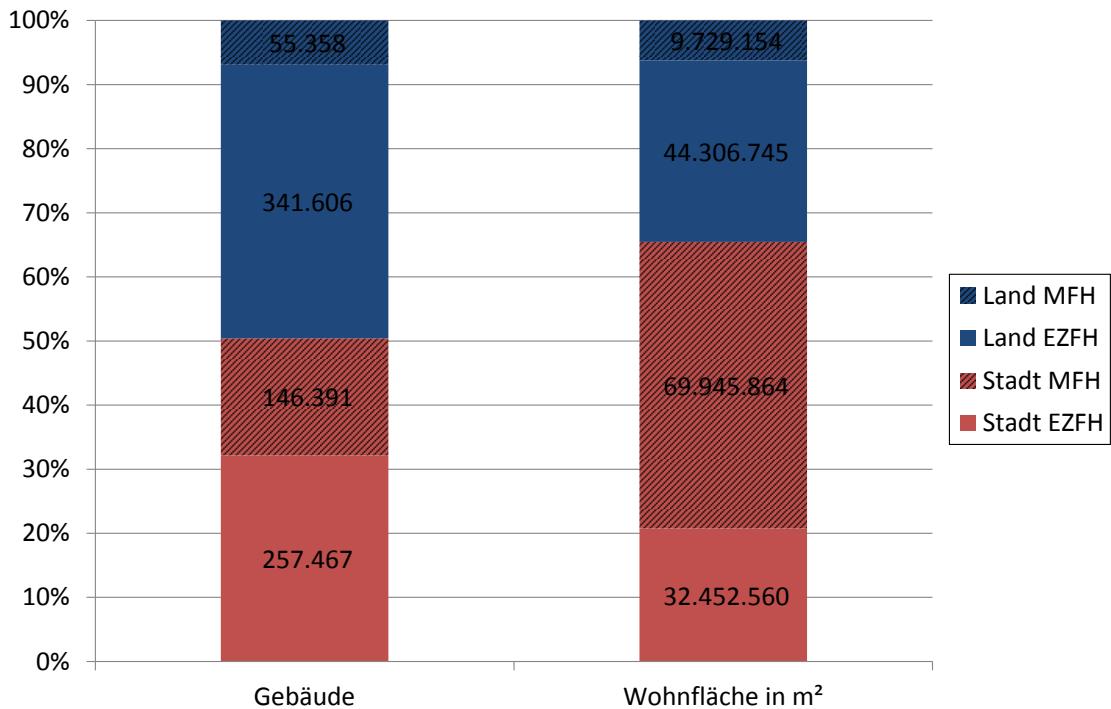


Abbildung 2.3: Verteilung der Gebäude und Wohnfläche auf Ein- und Zweifamilienhäuser bzw. Mehrfamilienhäuser in Stadt und Land, eigene Darstellung nach [7, 8]

verursachen. Der Wohnungsleerstand wird gleichmäßig auf Stadt und Land, sowie die Wohnungsgrößen und Energieklassen verteilt, so dass pro Einwohner 38,6 m² bewohnte Fläche verbleiben. Nicht beheizte Flächen in bewohnten Wohnungen werden statistisch nicht erfasst und können daher im Folgenden nicht separat betrachtet werden. Es wird angenommen, dass bewohnte Wohnungen vollständig beheizt werden.

Aus den Daten des Mikrozensus für Sachsen [8] geht hervor, dass in städtischen Räumen 64%, im ländlichen Raum 86% der Gebäude Ein- oder Zweifamilienhäuser sind. Insgesamt befinden sich jeweils 50% der Gebäude im städtischen und ländlichen Raum. Aus diesen Angaben und einer Annahme über die mittlere Wohnfläche einer Wohnung in Ein- und Zweifamilienhäusern (105m²), sowie dem Anteil von Einfamilienhäusern in der Gruppe EZFH wird die in Abbildung 2.3 dargestellte Wohnflächenverteilung abgeleitet. Demnach befinden sich in städtischen Räumen 32% und in ländlichen Räumen 82% der Wohnfläche in Ein- und Zweifamilienhäusern.

Aufteilung Energieverbrauchsklassen Wie bereits der Modellbeschreibung zu entnehmen, ist die Verteilung der Wohnflächen auf die unterschiedlichen Energieverbrauchsklassen eine wesentliche Eingangsgröße des Modells, da die Raten für Sanierung und Rückbau von ihr abhängen. In Ermangelung belastbarer Quellen für eine Zuordnung des sächsischen Wohnflächenbestandes zu den Gebäudetypologien, insbesondere hinsichtlich des Baujahres der Gebäude, wurde auf die bundesdeutsche Erhebung des IWU [9] zurückgegriffen. Diese Studie unterteilt den deutschen Gebäudebestand in vier Gebäudetypen (Ein- und Zweifamilienhaus, Reihenhaus, Mehrfamilienhaus und großes Mehrfamilienhaus), sowie in 10 Baualtersklassen. Der flächenbezogene Energieverbrauch sinkt, je später das Gebäude gebaut wurde, da sich die energetische Qualität der Gebäudehülle kontinuierlich verbessert hat. Bei ungünstigen

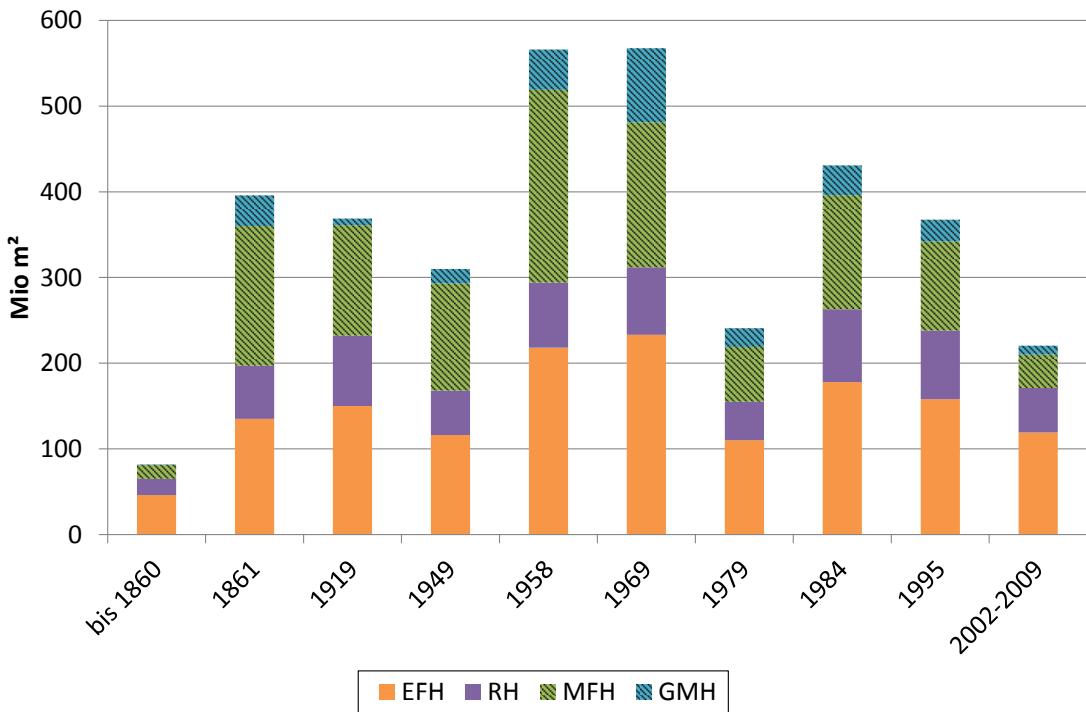


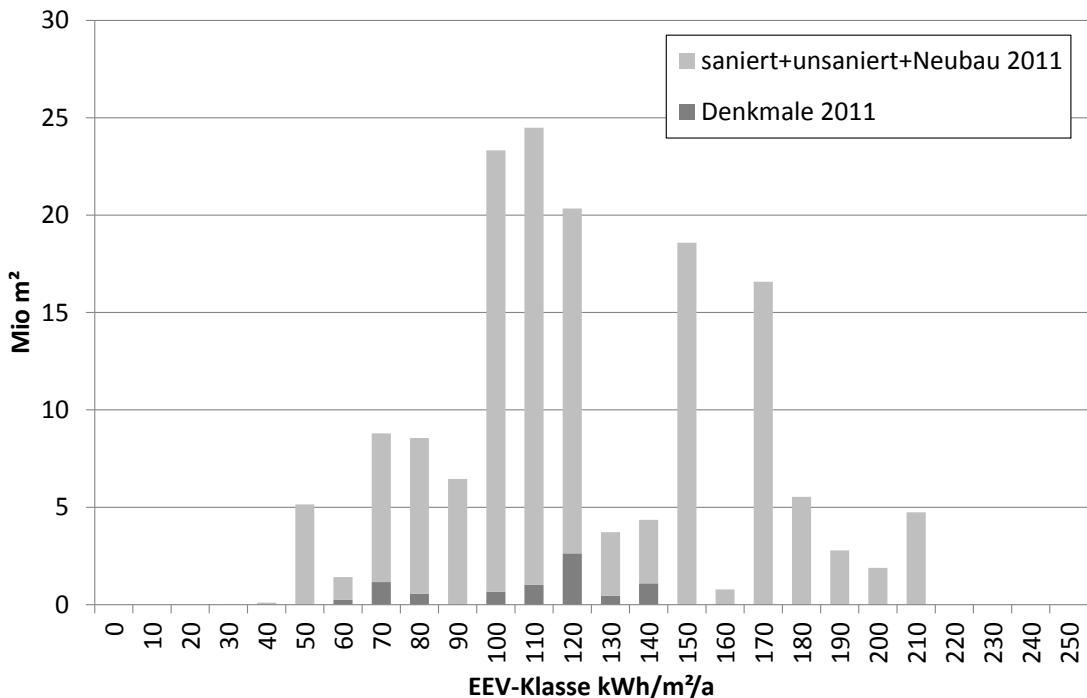
Abbildung 2.4: Verteilung der Wohnflächen in Deutschland auf Gebäudetypen und Baujahre, eigene Darstellung nach [9]

Hüllflächen-Wohnflächen-Verhältnissen (freistehende EFH und MFH) ist er deutlich größer als bei Reihenhäusern und großen Mehrfamilienhäusern.

Für alle 40 Gebäudetypen sind die Anzahl der Gebäude und Wohnungen, sowie die zugehörige Wohnfläche bekannt. Es lässt sich die in Abbildung 2.4 gezeigte Verteilung der Wohnflächen auf Gebäudetypen und Baujahre erkennen. Für die meisten der 40 Gebäudetypen sind außerdem Musterhäuser benannt, für die Angaben zur Beschaffenheit der Gebäudehülle in Form von U-Werten vorliegen, die den Wärmeverlust der Gebäudehülle in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ charakterisieren. [83].

Es wurden weiterhin Annahmen zum Luftwechsel ($n_{\text{inf},v}$, n_{akt}), der Wärmerückgewinnungsrate f_{WRG} bei der Gebäudelüftung, den Anlagen- und Erzeugerverlusten in Abhängigkeit des Gebäudetyps getroffen. Mit Hilfe dieser Annahmen, welche in den Tabellen A.1 bis A.5 dokumentiert sind, der Kenntnisse über die Wärmedurchlässigkeit der Gebäudehülle und einer Gradtagszahl für 2011 wurde ein Endenergieverbrauch des Sächsischen Gebäudebestands für 2011 für den Fall, dass keinerlei Sanierung seit der Errichtung stattgefunden hätte, ermittelt (Gleichungen A.1ff). Dieser Wert wurde mit dem aus der Energiestatistik bekannten Endenergieverbrauch der Haushalte in Sachsen für Raumwärme (131 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ (bezogen auf bewohnte Wohnfläche, siehe Seite 6)) abgeglichen, um bereits erfolgte Sanierungsmaßnahmen seit Baujahr bis 2011 und das Nutzerverhalten zu erfassen. Der flächenbezogene Endenergieverbrauch hat damit aufgrund der Sanierung keinen direkten Bezug mehr zum Baualter.

Es wurde eine Quote an Denkmalen festgelegt; diese beträgt insgesamt 5% der Wohnfläche. Diese sind nicht gleichverteilt über die Baujahre sondern werden mit 15% der Wohnfläche in Gebäuden mit Baujahr vor 1958 angenommen, so dass sich insgesamt 5% der Gesamtwohnfläche ergeben. Für diese Gebäude ist die energetische Sanierung erschwert, aber nicht unmöglich. Es wird daher eine separate Sanierungsquote für Denkmale eingeführt. Die Defi-



Der auf der x-Achse dargestellte Werte gibt jeweils die untere Grenze des 10 kWh/m².a breiten Intervalls an.

Abbildung 2.5: Verteilung der Wohnflächen 2011 auf die EEV-Klassen

nition ist dabei weiter gefasst als Denkmale im Sinne des Denkmalrechts, um auch sonstige erhaltenswerte Gebäudesubstanz zu erfassen. Unter separater Betrachtung der „Denkmale“ ergibt sich die in Abbildung 2.5 dargestellte Verteilung der Wohnfläche in Sachsen auf Energieverbrauchsklassen.

2.2.3.2 Stadt und Land

Die Verteilung der Wohnungen und Einwohner auf die einzelnen Gemeindegrößenklassen und die durchschnittliche Wohnungsgröße wird vom statistischen Landes- bzw. Bundesamt bereitgestellt [10, 8]. Um konsistent mit der Datenbasis der Ämter zu bleiben, wird die Grenze zwischen urbanen und ländlichen Räumen im folgenden bei 10.000 Einwohnern gezogen. Kommunen mit mehr als 10.000 Einwohnern werden im Folgenden als „urban“ oder „Stadt“ bezeichnet. 65% der Einwohner leben hier auf 65% der Wohnfläche in nur 50% der Gebäude (siehe Abb. 2.6). Dies liegt daran, dass in urbanen Räumen deutlich mehr Mehrfamilienhäuser mit größerer Wohnfläche pro Gebäude genutzt werden.

Die Entwicklung der Gesamtwohnfläche hängt wesentlich von der Bevölkerungsentwicklung und der mittleren Wohnfläche pro Einwohner ab. Die durchschnittliche Wohnfläche wird von einer Vielzahl sich teilweise überlagernder Faktoren bestimmt. Wesentlich sind:

- die Eigentumsstruktur (selbst nutzende Wohnungseigentümer gönnen sich i.d.R. deutlich mehr Fläche), hier ist in den neuen Bundesländern nach wie vor ein Aufholeffekt zu beobachten.

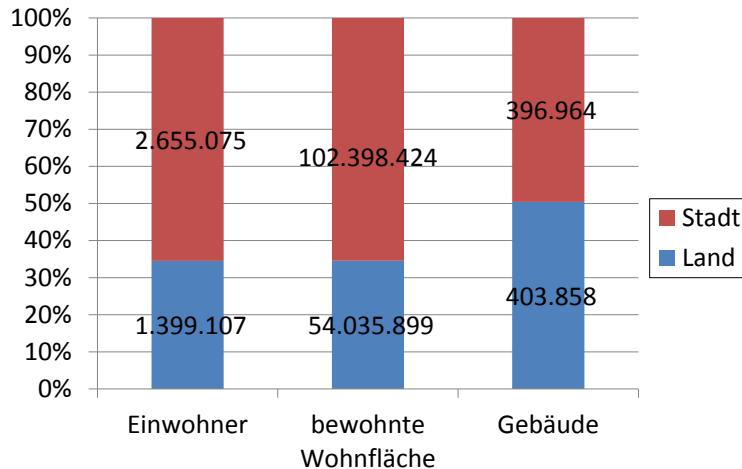


Abbildung 2.6: Aufteilung Einwohner, Wohnfläche und Gebäude auf Stadt und Land, eigene Darstellung nach [7, 8, 10]

- die Altersstruktur der Bevölkerung (oft wechselt man nach Auszug der Kinder oder Versterben des Lebenspartners nicht in eine kleinere Wohnung, insbesondere dann nicht, wenn man Eigentümer der bewohnten Immobilie ist).
- Größenverteilung der Haushalte: die Anzahl der Singlehaushalte, welche pro Einwohner viel Fläche verbrauchen, nimmt u.A. durch späte Familiengründung zu.
- Wirtschaftskraft (Steigender Wohlstand)
- Siedlungsstruktur (Geschosswohnungen sind platzsparender als Einfamilienhäuser)

Die von den Bausparkassen in Auftrag gegebene Studie [84] prognostiziert ein Wachstum der Wohnfläche pro Einwohner auf $60 \text{ m}^2/\text{EW}$ im Jahr 2050. Das Energiekonzept von Baden Württemberg [85] geht von einem Wachstum bis auf $50 \text{ m}^2/\text{EW}$ aus. Bei beiden Veröffentlichungen ist nicht zu entnehmen, ob dabei leerstehende Wohnflächen (ca. 10% der Wohnungen in Sachsen stehen leer) inkludiert sind.

In dieser Studie wird von einer differenzierten Entwicklung von Stadt und Land bis 2050 ausgegangen: Während die Wohnfläche² auf dem Land bis auf $60 \text{ m}^2/\text{EW}$ ansteigt, wird in den verdichteten Räumen nur eine Steigerung auf $45 \text{ m}^2/\text{EW}$ angenommen. Diese Entwicklung ist in Abbildung 2.7 dargestellt, den Anstieg in den vergangenen 20 Jahren zeigt Abbildung 2.8.

Aus der Entwicklung der Bevölkerungszahl EW und der Wohnfläche pro Einwohner w ergibt sich nach Gleichung 2.3 eine Entwicklung der Gesamtwohnfläche wie in Abbildung 2.9 dargestellt als Summe aus der Wohnfläche in Stadt und Land.

$$A(a) = EW_S(a) * w_S(a) + EW_L(a) * w_L(a) \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} A & \dots \text{Wohnfläche} \\ EW & \dots \text{Einwohner} \end{aligned}$$

²Alle Berechnungen dieser Studie beziehen sich auf bewohnte Wohnfläche. Leerstehende Flächen werden nicht berücksichtigt.

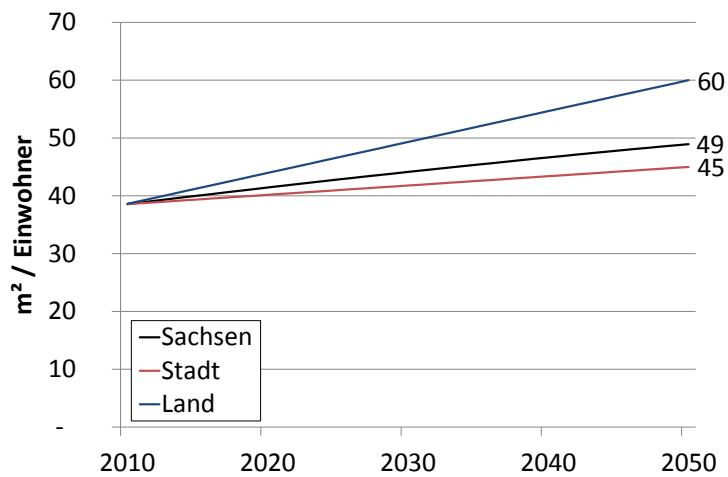


Abbildung 2.7: Entwicklung der Wohnfläche pro Einwohner in Stadt w_S , Land w_L und gesamt w

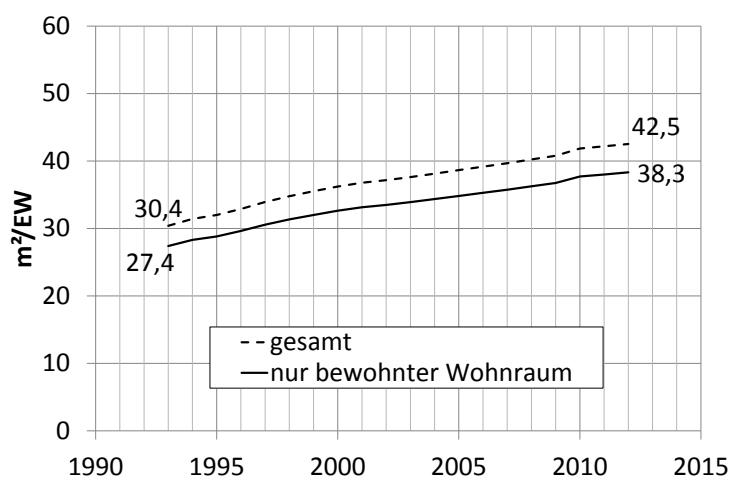


Abbildung 2.8: Historische Entwicklung der Wohnfläche pro Einwohner w , Quelle: eigene Darstellung nach [10, 11]

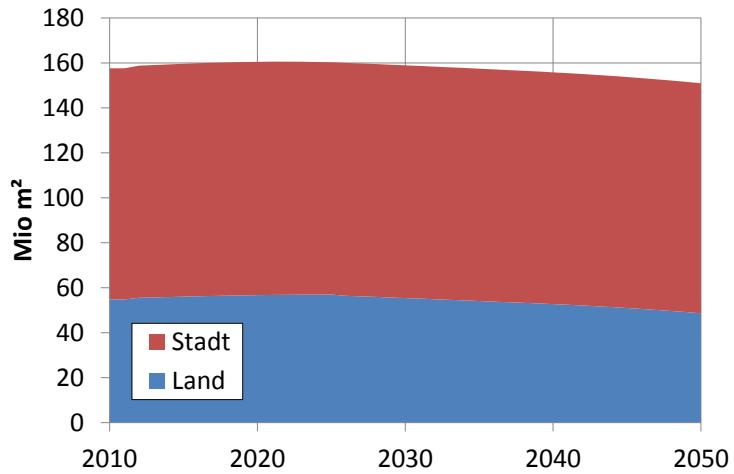


Abbildung 2.9: Prognostizierte Entwicklung der Wohnflächen $A(a)$ im städtischen und ländlichen Raum

$w_{S/L}$...Wohnfläche pro Einwohner Stadt/Land
 a ...Jahr

2.2.3.3 Neu- und Rückbau

Eine ggf. vorhandene Steigerung der Gesamtwohnfläche gegenüber dem Vorjahr $a - 1$ muss durch Neubauaktivitäten $A_{NB,a}$ herbeigeführt werden; hinzu kommen Ersatzneubauten aufgrund von Abriss. Es wurde eine jährliche Rückbau-/Leerstandsquote von $r_{RB,S} = 0,2\%/a$ in der Stadt und $r_{RB,L} = 0,9\%/a$ der Wohnfläche auf dem Land zu Grunde gelegt. Dies liegt deutlich über den Quoten in den alten, sowie in den neuen Bundesländern³, da aufgrund der demografischen Entwicklung, steigenden Komfortansprüchen und schlechterer Bausubstanz, sowie der Lage immer mehr Wohnfläche ungenutzt verbleibt. Die Rate r_{RB} beinhaltet dabei sowohl Rückbau, als auch Leerstand. Diese Rückbau-/Leerstandsrate wird über die Energieverbrauchsklassen so verteilt $r_{RB,e}$, dass energetisch schlechtere Gebäude häufiger abgerissen werden, als energetisch bessere. Neubauten sind vom Abriss ausgeschlossen und sanierte Gebäude werden erst dann abgerissen bzw. stehen leer $a_{RB,Z,san,a,e_{akt}}$, wenn dies aufgrund sinkender Gesamtwohnfläche notwendig wird und kein schlechterer Gebäudebestand mehr vorhanden ist. Die angewendeten Formeln sind im Anhang (Gleichung A.8ff) angegeben.

2.2.3.4 Sanierung der Gebäudehülle

Die Menge der jährlich sanierten Wohnfläche - üblicherweise als „Sanierungsrate“ r_{san} angegeben - ist einer der wesentlichen Einflussfaktoren auf die Veränderung des Energieverbrauchs des Gebäudebestands, weshalb die Sanierungsrate sich in vielen Studien und Programmen als Kennzahl wieder findet. Eine allgemeingültige Definition dieser Größe liegt jedoch nicht vor [86]. Üblicherweise wird ein Prozentwert angegeben, die Bezugsgröße in den allermeisten Fällen jedoch nicht, denkbar sind vorrangig Wohnfläche, Gebäudeanzahl, Wohnungsanzahl, aber auch Hüllfläche.

³abgesehen von den 2000er Jahren, in denen im Osten höhere Quoten bis 0,45%/ a beobachtet wurden [11]

Das IWU hat in seiner Studie [12] die Sanierungsrate bzgl. der Hüllfläche (inkl. Fußboden) ermittelt. Abbildung 2.10 zeigt die vom IWU ermittelten Sanierungsrationen. Diese differieren signifikant für die unterschiedlichen Bauteilarten, auch haben sie sich im zeitlichen Verlauf abgeschwächt. Sie sind bei Altbauten höher als im Mittel, da hier aufgrund der höheren Einsparpotentiale die Wirtschaftlichkeit schneller erreicht ist. Die ebd. abgebildeten Sanierungsrationen beziehen sich jeweils auf die Gesamtfläche des Bauteils im gesamten Gebäudebestand. Es wurden im Zeitraum 2000 bis 2004 jährlich mehr als 2% der Dachfläche von Altbauten, d.h. Gebäuden welche vor 1978 errichtet wurden⁴, gedämmt.

Von Diefenbach [87] wird auf Basis von Berechnungen der deutschen Wohngebäudetypologie eine Gewichtung der Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen. Demnach wird bei einer vollständig energetisch sanierten Gebäudehülle die Energieeinsparung zu 50% von der Außenwanddämmung, zu 25% von der Dämmung des Dachs/der obersten Geschossdecke kommen usw. Da die weniger wirksamen Maßnahmen Dachdämmung und Fenstertausch überproportional häufig durchgeführt werden ist es sinnvoll eine mittlere wirksame Sanierungsquote zu ermitteln, siehe Gleichung 2.4. In der Periode 2005-2008 wurde demnach basierend auf den Daten des IWU [12] das Äquivalent von 0,83% der Gebäudehüllfläche energetisch saniert, siehe Abbildung 2.10.

$$r_{\text{san,HF}} = 50\% \cdot r_{\text{san,AW}} + 25\% \cdot r_{\text{san,Dach/OGD}} + 12\% \cdot r_{\text{san,FB/KD}} + 13\% \cdot r_{\text{san,F}} \quad (2.4)$$

r_{san}...Sanierungsrate

Die Sanierungsrationen in Deutschland liegen derzeit laut Energieprogramm der Bundesregierung bei 1% und sollen auf 2% gesteigert werden. Die Koalitionsvereinbarung von 2007 sah eine jährliche Sanierung von 5% der vor 1978 errichteten Gebäude vor. Im Eckpunktepapier der Bundesregierung zur Energieeffizienz von Juni 2011[88] wird derzeit lediglich darauf verwiesen, dass im Rahmen eines Sanierungsfahrplans beginnen in 2012 bis 2050 der Primärenergiebedarf der Gebäude um 80% gesenkt werden soll.

Der Bundesdurchschnitt der Sanierungsrate lag laut einer Studie der FH Nordhausen [89] bei 2,2%/a bis 2000, danach 3%. Laut Umweltbundesamt [90, S. 11] lag die allgemeine Sanierungsrate der Gebäude zwar bei etwa 2,5 Prozent pro Jahr, doch nicht einmal die Hälfte aller Sanierungen schloß kostengünstige Verbesserungen der Wärmedämmung ein. Auch die Untersuchung des IWU [12] zeigt, dass der Anteil der Sanierungsmaßnahmen bei Fassade und Dach ohne gleichzeitige Verbesserung des Wärmedämmstandards, der Luftdichtheit etc. durchaus relevant ist. Die Quote der Außenwanddämmung betrug demnach bei Altbauten (bis BJ 1978) in der Periode 2005-2009 0,83%/a. Weitere 0,36%/a der Außenwandfläche bekam im Zeitraum 2005-2009 einen neuen Putz oder Fassadenverkleidung bei weiteren 1,69%/a wurde ausschließlich der Außenanstrich erneuert. 1,5%/a der Dachflächen wurden gedämmt, weitere 0,5%/a wurden ausgebaut oder erneuert ohne eine Dämmung durchzuführen.

Die im Folgenden verwendete Sanierungsrate bezieht sich auf den Anteil der energetisch vollsanierten Wohnfläche. Dieser kann auch durch einen höheren Anteil energetischer Teilsanierungen erreicht werden. Dabei wird eine Proportionalität zwischen Hüll- und Wohnfläche vorausgesetzt. Da bei einem zweiten Sanierungszyklus keine wesentlichen energetischen Verbesserungen mehr zu erwarten sind und dieser im Wesentlichen erst nach Ende

⁴Definition hier ausnahmsweise abweichend vom Rest der Studie, da hier die Ergebnisse der IWU-Studie wiedergegeben werden und daher deren Nomenklatur verwendet wird

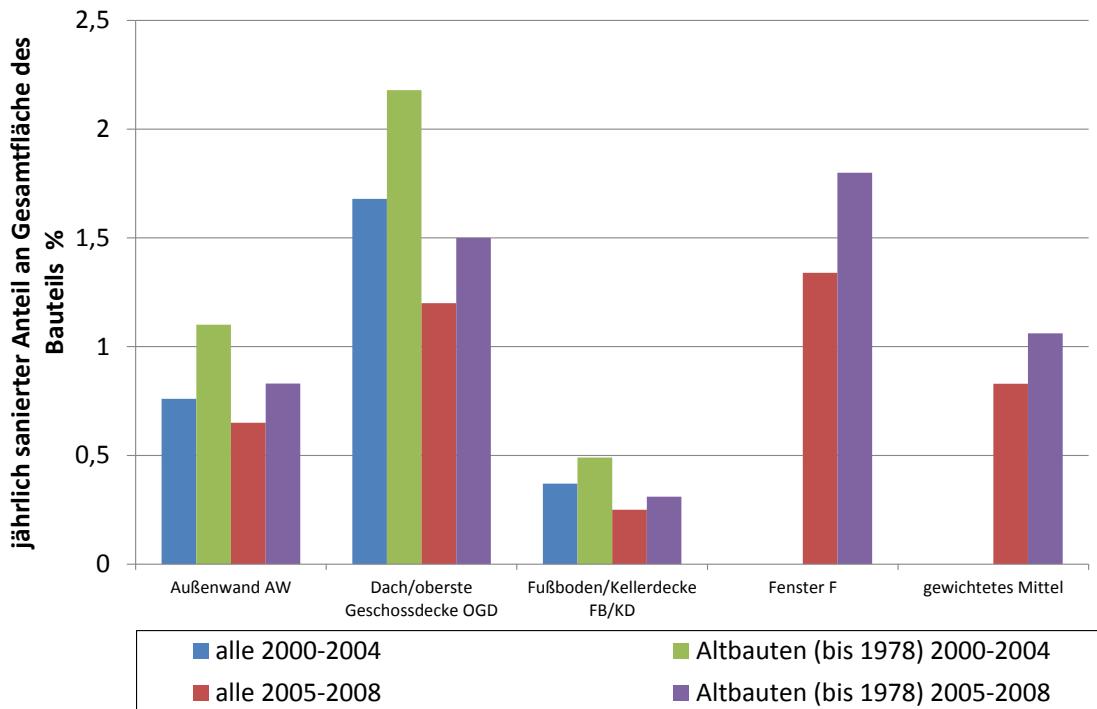


Abbildung 2.10: Sanierungsrationen, eigene Darstellung nach [9, 12]

des Betrachtungszeitraums dieser Studie beginnen würde, findet er hier keine Berücksichtigung.

Viele Untersuchungen zeigen, dass energetische Sanierung unter derzeitigen Bedingungen für Eigennutzer nur dann wirtschaftlich ist, wenn sie in Kombination mit ohnehin notwendigen Sanierungen durchgeführt wird, da in diesem Fall keine Vollkosten, sondern nur die Mehrkosten anzusetzen sind. Sanierungsrationen oberhalb derer, die aufgrund der Lebensdauer des betreffenden Bauteils geboten sind, sind (unter derzeitigen politischen Randbedingungen) unwirtschaftlich und werden daher nicht in Größenordnungen zu realisiert. Dabei sind als Lebensdauer anzusetzen:

- Fassade/Außenwand (AW): 25 a
- Dach/oberste Geschossdecke (OGD): 40 a
- Bodenplatte: solange wie das Haus bzw. bei Kellerdecke: 25a

Unter Berücksichtigung der auf Seite 40 beschriebenen Wichtungsfaktoren (siehe auch Abbildung 2.10) ergibt sich eine maximale Sanierungsrate von

$$\begin{aligned}
 r_{\text{san,HF,max}} &= 50\% * 1/25a + 25\% * 1/40a + 12\% * 1/25a * 50\% \\
 &\quad + 13\% * 1/20a \\
 &= 3,279\%/\text{a}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Davon abzuziehen sind Gebäude, bei denen eine energetische Sanierung nur erschwert möglich ist (die bereits beschriebenen „Denkmale“). Wie erläutert, wird ein nennenswerter Anteil der Sanierungen ohne energetische Ertüchtigung durchgeführt. Weiterhin ist zu beachten, dass

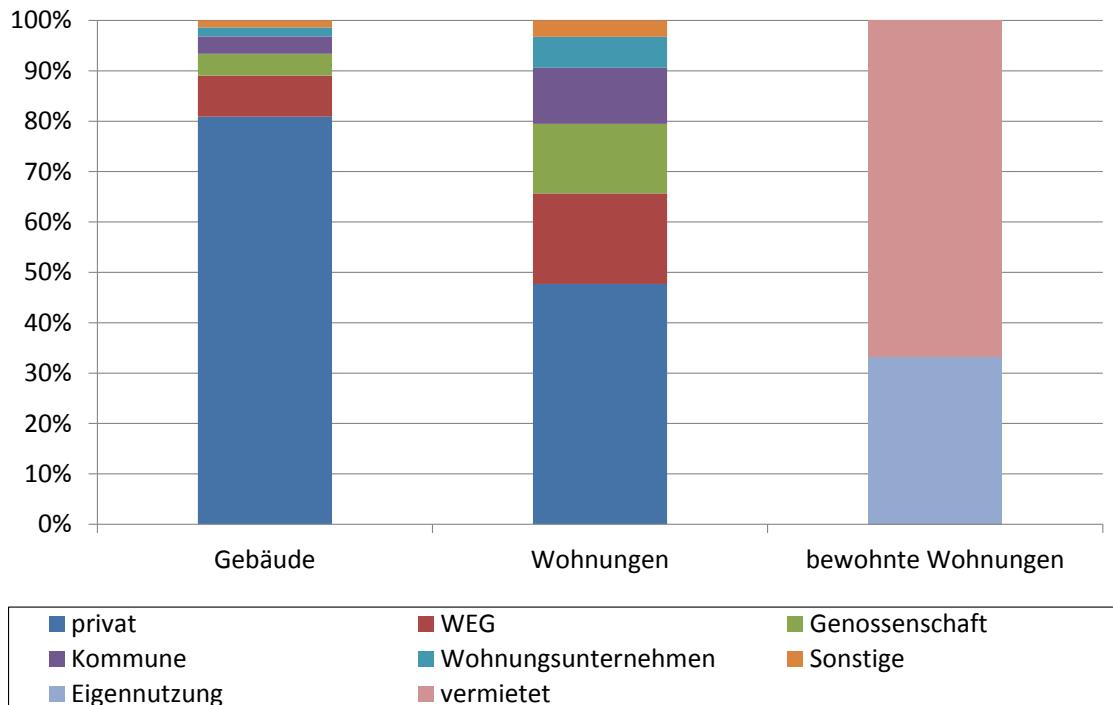


Abbildung 2.11: Eigentümerstruktur der Wohngebäude und Wohnungen in Sachsen, eigene Darstellung nach [7]

eine energetische Sanierung nur im Zuge einer bautechnisch notwendigen Sanierung wirtschaftlich sein kann, es aber nicht notwendigerweise auch ist, insbesondere wenn bereits ein mittelmäßiger Energiestandard erreicht ist. Steigende Energiepreise und/oder günstige Finanzierungsbedingungen sind der Wirtschaftlichkeit der energetischen Sanierungsmaßnahme zuträglich⁵. Wird berücksichtigt, dass die Energieverbräuche meist nicht so hoch sind, wie vorher berechnet [91], sind die möglichen Einspareffekte noch einmal geringer und die Wirtschaftlichkeit sinkt. Besonders Selbstnutzer, aber auch Vermieter, überschreiten außerdem häufig die angegebenen Lebensdauern der Bauteile, insbesondere wenn es sich um ältere Menschen handelt, für die eine Refinanzierung außerhalb der Lebenserwartung liegt. Es werden daher in beiden Szenarien deutlich niedrigere Sanierungsrate angesetzt.

Abbildung 2.11 zeigt, dass nur ca. ein Drittel der Wohnungen⁶ selbst genutzt sind, d.h. die Investitionskosten werden nicht oder nur bedingt von der selben Person aufgebracht, die die Betriebskosten spart. Dieses s.g. „Vermieter-Mieter-Dilemma“ ist auch nach der Mietrechtsreform 2013 nicht gelöst. Hier sind unbedingt Maßnahmen nötig, um hohe Sanierungsrate herbei zu führen.

Es wird unter Berücksichtigung der bisherigen Überlegungen eine Sanierungsrate (äquivalente energetische Vollsanierungen) von $r_{\text{san,T}} = 1\%/\text{a}$ der Wohnfläche im Szenario „Trend“ und $r_{\text{san,K}} = 2\%/\text{a}$ im Szenario „Klimaschutz“ untersucht. Dieser Wert $r_{\text{san,e}}$ steigt linear mit dem Ausgangsenergieverbrauch an (Abb. 2.12 und 2.16), da davon ausgegangen wird, dass „Energieschleudern“ aufgrund der aufgeführten Überlegungen mehr saniert werden, als bereits gut gedämmte Gebäude. Im Lauf der Jahre verbleiben immer weniger noch sanierbare Gebäude in den hinteren Energieklassen, weshalb die durchschnittliche Sanierungsrate

⁵ebenso Senkung der Materialkosten, des Arbeitsaufwands und der Arbeitskosten

⁶ein ähnliches, wenn auch leicht abgeschwächtes Bild, wird für die Wohnflächen angenommen

des Gesamtbestandes im Szenario „Klimaschutz“ nach ca. 30 Jahren deutlich absinkt. Das angewandte Formelwerk ist im Folgenden angegeben.

$$a_{\text{san},a,e} = \min(A_{\text{uns},a-1,e} - a_{\text{RB},a,e}; r_{\text{san},e} * A_{\text{uns},2010,e}) \quad (2.6)$$

$$A_{\text{uns},a,e} = A_{\text{uns},a-1,e} - a_{\text{RB},a,e} - a_{\text{san},a,e} \quad (2.7)$$

$$A_{\text{uns},a} = \sum_e A_{\text{uns},a,e} \quad (2.8)$$

$$A_{\text{san},a} = \sum_e A_{\text{san},a,e} \quad (2.9)$$

$$A_{\text{san},a_a,e} = \sum_{a=2011}^{a_a} a_{\text{san},a,e} \quad (2.10)$$

A...über die Jahre kummulierte Fläche

a...jährlich bearbeitete Fläche

a...Laufindex für Jahr

e...Laufiindex für Energieverbrauchsklasse

2.2.3.5 Szenario Trend

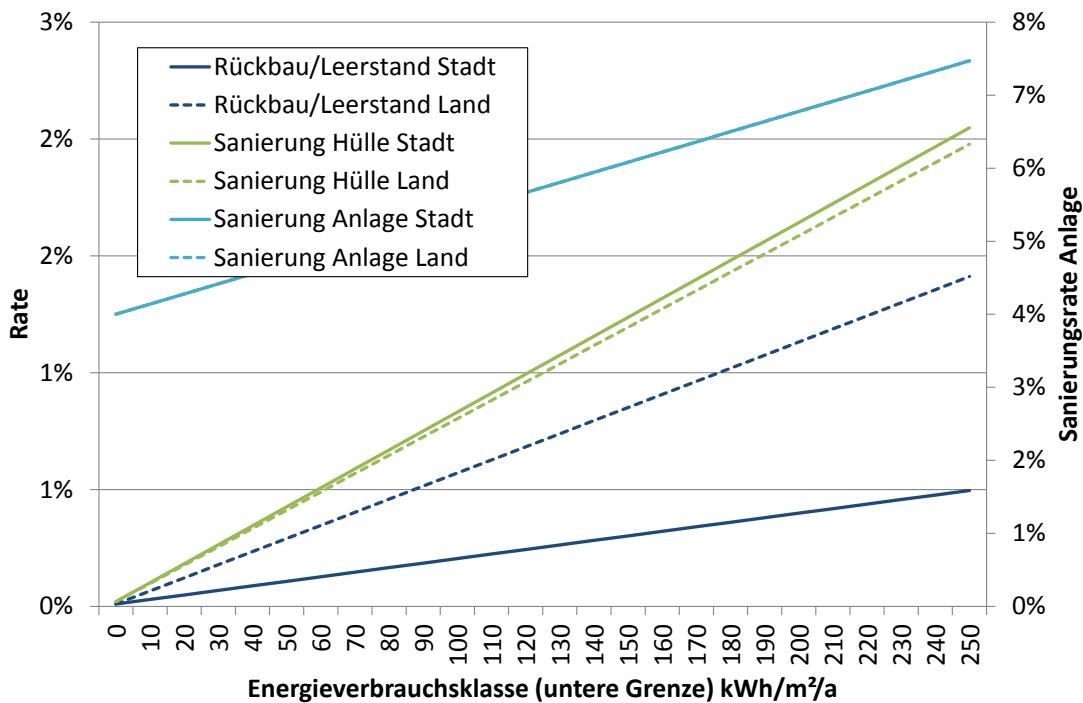
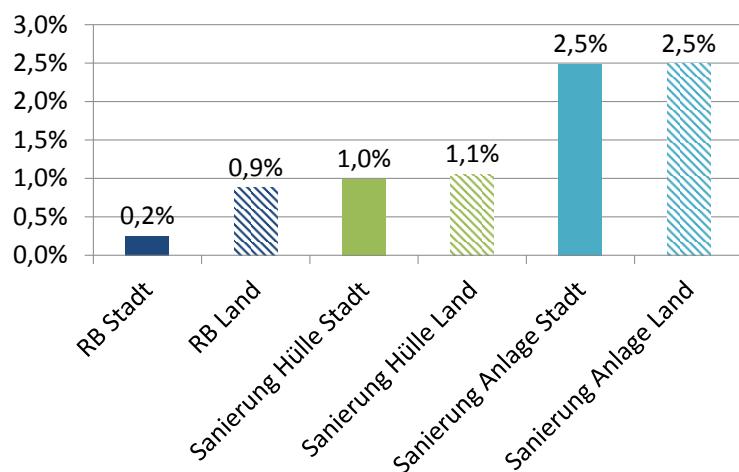
Unter Berücksichtigung der Wohnflächenentwicklung in Stadt und Land, wie sie in Abbildung 2.9 dargestellt ist, sowie der Sanierungs- und Rückbau-/Leerstandsquoten in den verschiedenen Energieverbrauchsklassen, wie in Abbildung 2.12 dargestellt, ergibt sich im Szenario Trend der in den Abbildungen 2.14 und 2.15 dargestellte zeitliche Verlauf der Wohnfläche in den vier Kategorien Neubau, saniert, unsaniert und Denkmal⁷ von 2011 bis 2050.

In der Stadt (Abb. 2.14a) ändert sich die gesamte bewohnte Fläche kaum, da die steigende pro-Kopf-Wohnfläche (Abb. 2.7) den leichten Bevölkerungsrückgang (Abb. 2.2) kompensiert. Die mittlere Sanierungsrate von 1% und die Rückbau-/Leerstandsrate von 0,2% (Abb. 2.13) führen dazu, dass im Jahr 2050 40% der Wohnfläche saniert und 10% nach 2011 neu errichtet sind.

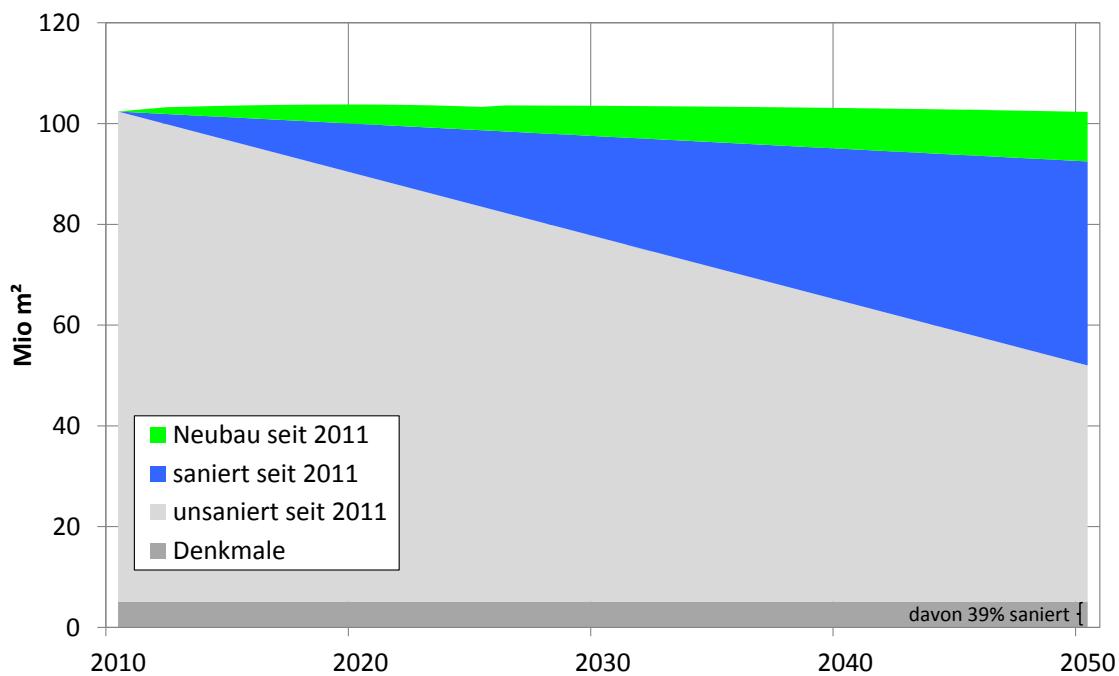
Auf dem Land (Abb. 2.14b) sinkt die gesamte Fläche bis 2050 deutlich auf 89% des Wertes von 2011 ab, da der Bevölkerungsrückgang stärker als die Steigerung der Wohnfläche pro Einwohner ist. Die Leerstandsquote ist hier größer, weshalb bis 2025 noch nennenswert (Ersatz-)Neubau stattfindet, erst danach sinkt die bewohnte Wohnfläche absolut. Im Jahr 2050 sind im Szenario Trend 20% der Wohnflächen nach 2011 errichtete Neubauten und 42% saniert.

In der Summe für Sachsen (Abb. 2.15) ergibt sich eine Absenkung der Gesamtwohnfläche auf 96%. Davon sind 13% Neubau (d.h. nach 2011 errichtet) und 40% saniert.

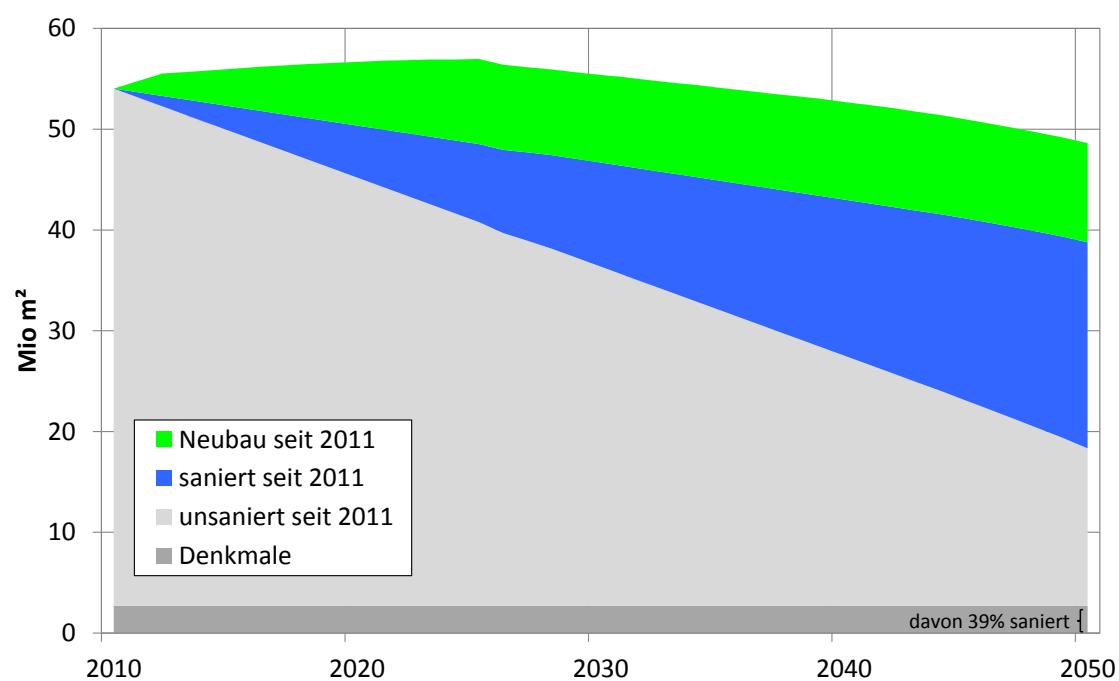
⁷ In den Grafiken wird bei Denkmalen aus Übersichtsgründen nicht in sanierte und unsanierte differenziert. In den Berechnungen sind selbstverständlich Sanierungsquoten nach Abschnitt 2.2.4.3 hinterlegt.

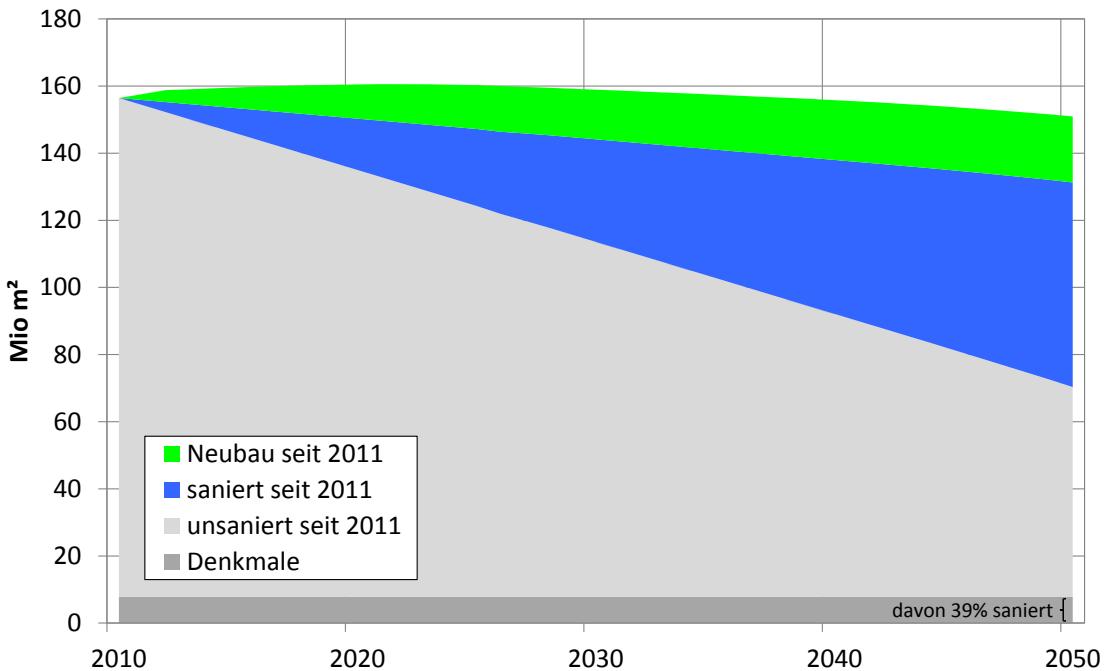
Abbildung 2.12: TREND Sanierungs- und Rückbauraten $r_{e,T}$ Abbildung 2.13: TREND mittlere Raten von Rückbau/Leerstand und Sanierung $r_{RB,T}$

a) Stadt



b) Land

Abbildung 2.14: TREND Wohnflächenentwicklungen 2011-2050 Stadt und Land $A_{a,T,S}$, $A_{a,T,L}$

Abbildung 2.15: TREND Wohnflächenentwicklung 2011-2050 Sachsen $A_{a,T}$

2.2.3.6 Szenario Klimaschutz

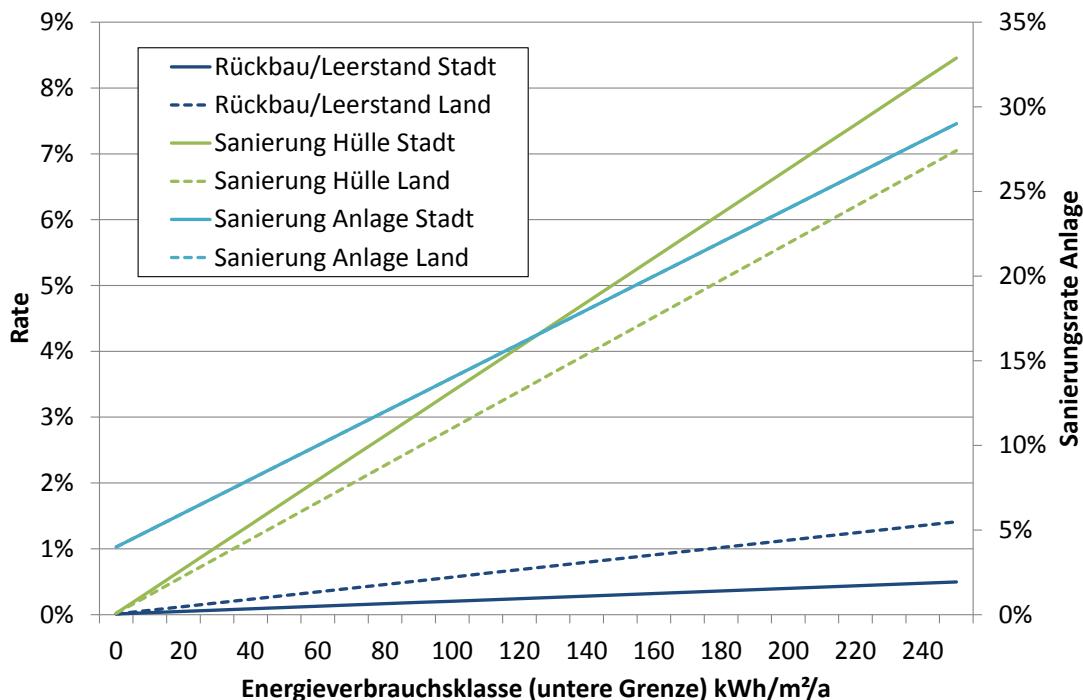
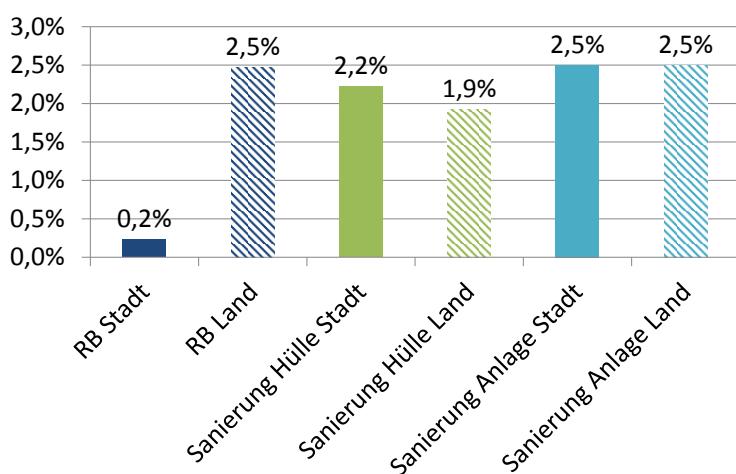
Unter Berücksichtigung der Wohnflächenentwicklung in Stadt und Land, wie sie in Abbildung 2.9 dargestellt, sowie der Sanierungs- und Abriss-/Leerstandsquoten in den verschiedenen Energieverbrauchsklassen, wie in Abbildung 2.16 dargestellt ergibt sich im Szenario Klimaschutz der in den Abbildungen 2.18ff dargestellte zeitliche Verlauf der Anteile in den vier Kategorien Neubau, saniert, unsaniert und Denkmal von 2011 bis 2050.

In Abbildung 2.17 fällt die gegenüber dem Szenario Trend erhöhte Rückbaurate auf dem Land auf. Dies liegt daran, dass im Klimaschutzszenario neben dem Abriss aufgrund der Rückbau-/Leerstandsrate, die sich nur auf unsanierte Flächen auswirkt, weitere Flächen rückgebaut werden müssen bzw. ungenutzt bleiben. Die relativ starke Neubautätigkeit auf dem Land bis zum Jahr 2025 führt zu einem Bestand an Gebäuden mit gutem Energiestandard, die auch nachhaltig genutzt werden. Aufgrund der ab 2025 insgesamt sinkenden benötigten Wohnfläche im ländlichen Raum, werden dann auch Wohnflächen ungenutzt bleiben, die eigentlich schon saniert waren, daher ist die durchschnittliche Rückbau-/Leerstandsquote hier größer:

$$\bar{r}_{RB,T} = \frac{\sum_{a=2011}^{2050} \sum_e a_{RB,e}(a)}{A(2050) \cdot 39a} \quad (2.11)$$

\bar{r}_{RB} ... mittlere Rückbaurate

In der Stadt führen die mittlere Sanierungsrate von 2% und die Rückbau-/Leerstandsrate von 0,2% (Abb. 2.17) dazu, dass im Jahr 2050 89% der Wohnfläche saniert und 6% nach

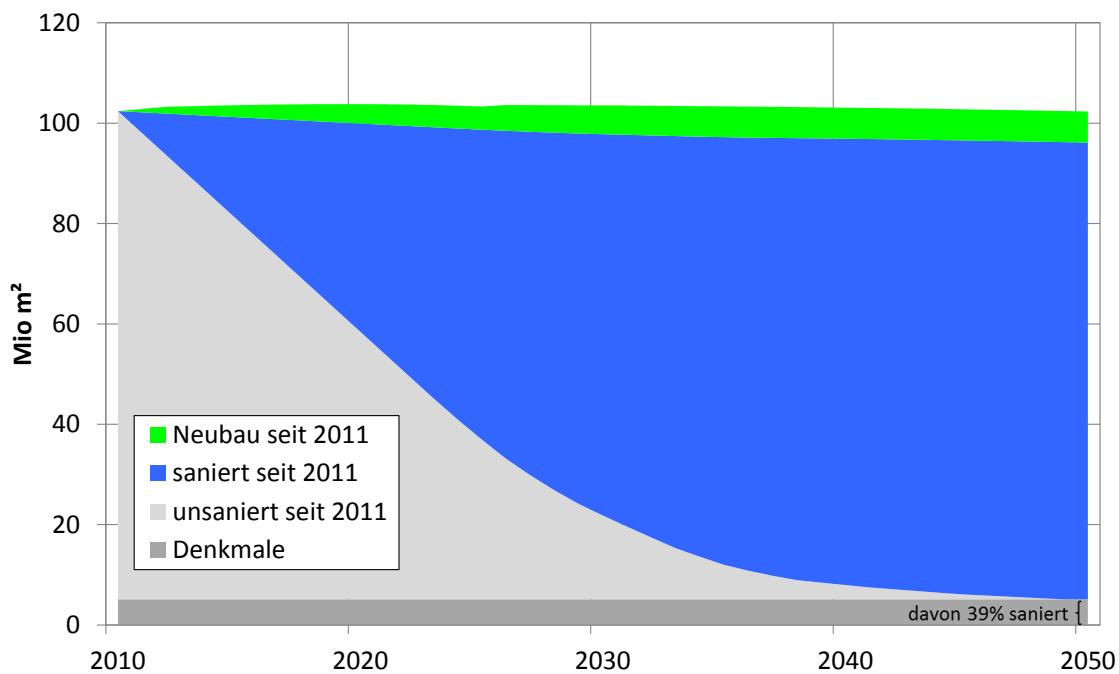
Abbildung 2.16: KLIMASCHUTZ Sanierungs- und Rückbauraten $r_{e,K}$ Abbildung 2.17: KLIMASCHUTZ mittlere Raten von Abriss/ Leerstand und Sanierung $\bar{r}_{RB,K}$

2011 neu errichtet sind. Die Neubauanteile im Jahr 2050 sind geringer als im Trendszenario, da im Klimaschutzszenario die energetisch sehr schlechten Gebäude aufgrund der hohen Sanierungsrate ab dem Jahr 2025 deutlich abnehmen und nach und nach die oberen Energieverbrauchsklassen unbesetzt sind. Dadurch sinkt der Anreiz zum Ersatzneubau. Die Abbildungen zeigen, dass nach dem Jahr 2040 sogar bereits sanierte Flächen leergezogen werden.

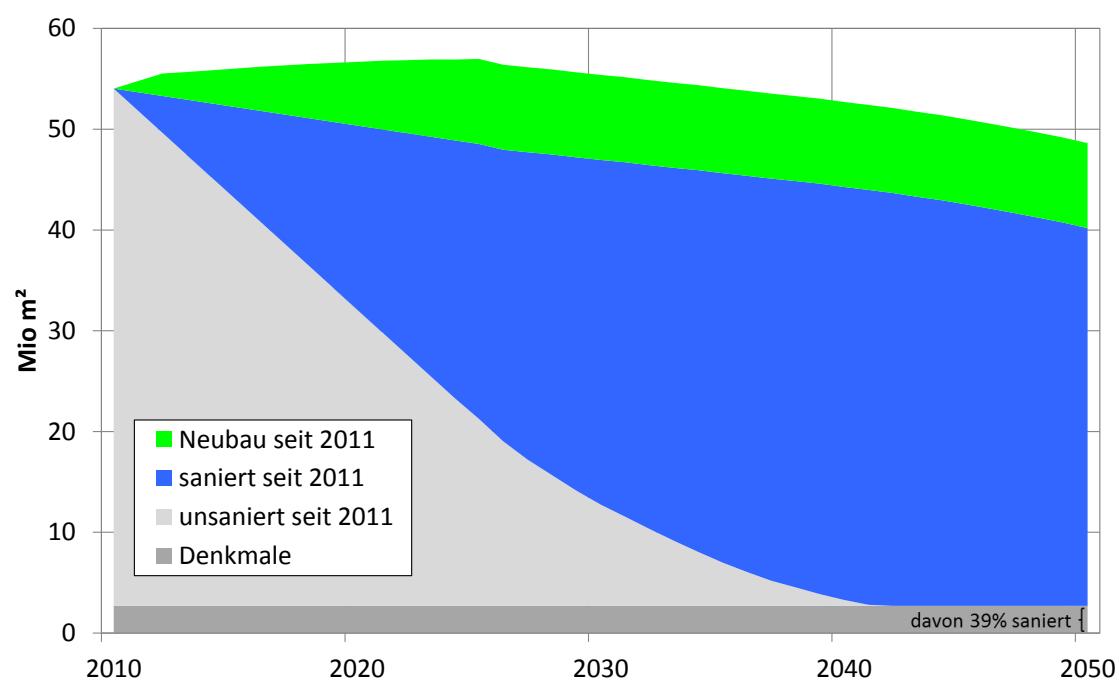
Im Jahr 2050 sind auf dem Land im Szenario Klimaschutz 17% der Wohnflächen Neubau nach 2011 und 77% saniert.

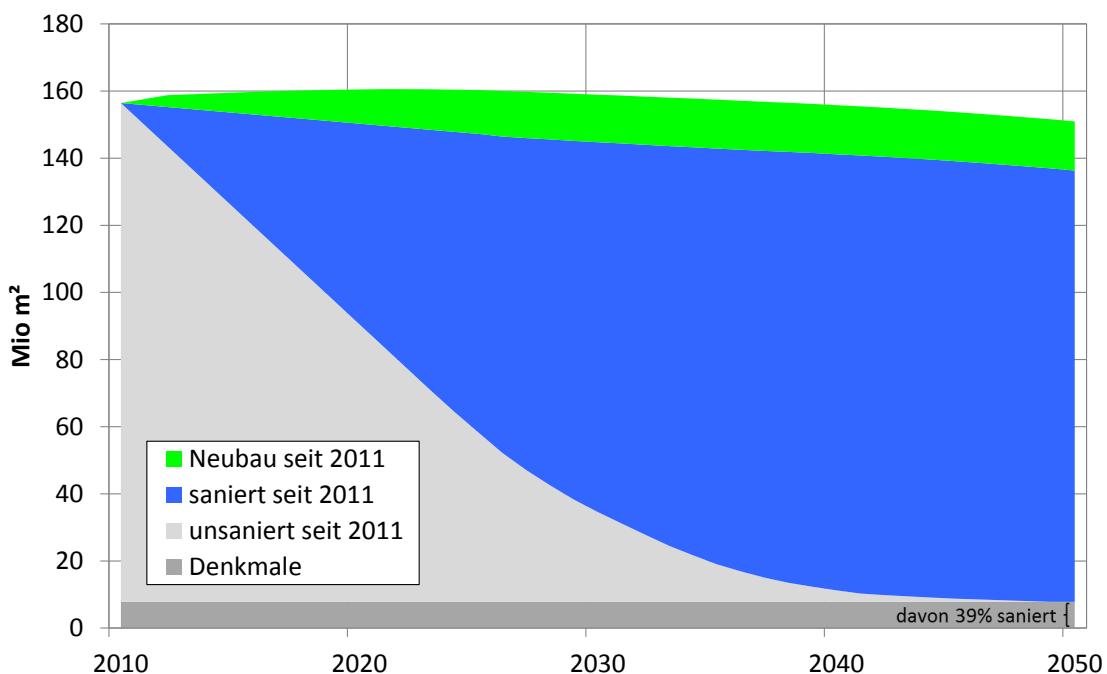
In der Summe für Sachsen (Abb. 2.19) ergibt sich ein Neubauanteil von 10% und 85% sanierte Wohnfläche.

a) Stadt



b) Land

Abbildung 2.18: KLIMASCHUTZ Wohnflächenentwicklungen 2011-2050 Stadt und Land $A_{a,K,S}$, $A_{a,K,L}$

Abbildung 2.19: KLIMASCHUTZ Wohnflächenentwicklung 2011-2050 Sachsen A_{a,K}

2.2.4 Spezifischer Energieverbrauch

Um Schlussfolgerungen für den Endenergieverbrauch des Haushaltsektors ziehen zu können ist neben dem Sanierungs- und Neubauanteil auch noch der durch Sanierung oder Neubau zu erreichende energetische Standard der Gebäude relevant. Dies wird im Folgenden betrachtet.

2.2.4.1 Neubauten

Der Energiestandard der Neubauten hängt vom Errichtungsjahr ab und sinkt in Zukunft entsprechend der gültigen Gesetze und Verordnungen bis auf 15 kWh/m²a ab dem Jahr 2021. Der in Abbildung 2.20 dargestellte Verläufe basiert auf einer aktuellen Verbrauchsstudie [91] und den bereits gültigen Vorschriften (Energieeinsparverordnung [54] und European Building Performance Directive [35]).

2.2.4.2 Gebäude mit saniertem Gebäudehülle

Prinzipiell gilt die Annahme, dass alle Gebäude durch energetische Sanierung der Gebäudehülle auf einen einheitlichen Nutzenergiebedarf für Raumwärme gebracht werden können. Daher ist das Einsparpotential bei hohen Energieverbräuchen auch prozentual deutlich höher. Unterschiede im Nutzenergiebedarf für Raumwärme nach Sanierung verbleiben aufgrund der Kubatur, des Fensterflächenanteils und des Aufbaus der tragenden Konstruktion. Eine Abschätzung mit Hilfe der in Abschnitt 2.2.3.1 erwähnten Modellhäuser für die einzelnen Gebäudetypen ergibt ein Einsparpotential wie in Abbildung 2.21 dargestellt. Gebäude die vor der Sanierung einen Energieverbrauch zwischen 90 und 200 kWh/m²a hatten verbrauchen

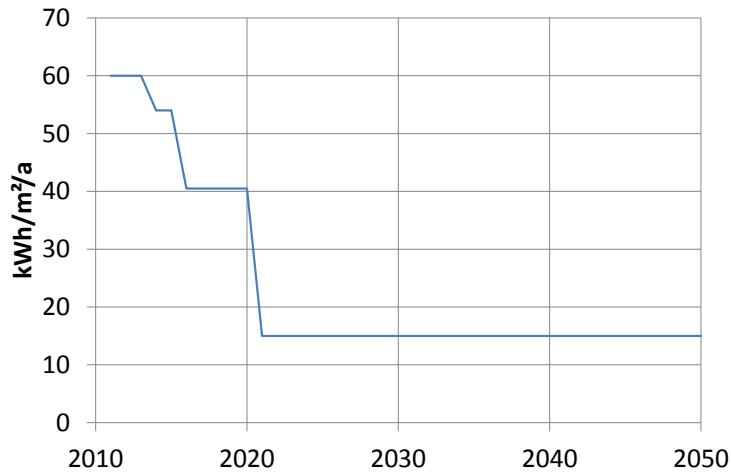
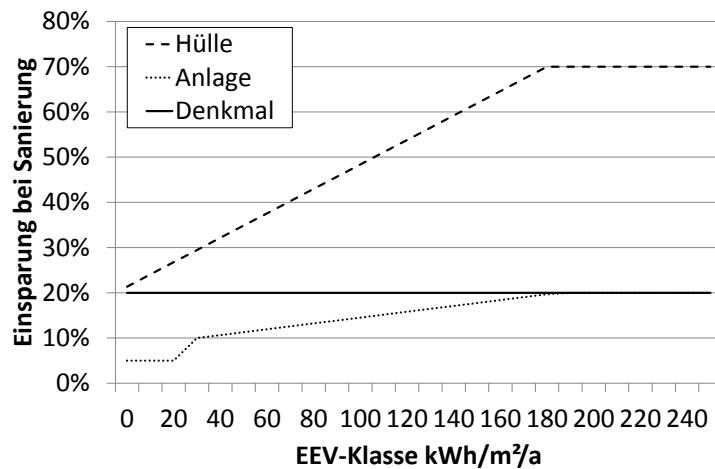
Abbildung 2.20: Wohnflächenbezogener Endenergieverbrauch Neubauten $q_{NB,a}$ 

Abbildung 2.21: Energieeinsparung bei Sanierung

daher nach Hüllensanierung zwischen 50 und 60 kWh/m²a. Dies entspricht 55% bzw. 30% des ursprünglichen Verbrauchs.

2.2.4.3 Denkmale

Laut IWU [12] sind bei denkmalgeschützten Gebäuden (3,5% des Wohngebäudebestandes) und solchen mit erhaltenswerten Fassaden (5,4% der Gebäude nach eigener Einschätzung der Fragebogenausfüller in der IWU-Studie) die Nachdämmquoten der Außenwand signifikant niedriger als im Durchschnitt. Nicht jedoch die Dämmquoten von Keller und oberster Geschossdecke, diese sind sogar höher. Unter Zugrundelegung der Gewichtungsfaktoren ist jedoch eine unterdurchschnittliche Sanierungsaktivität der Außenhülle dieser Gebäude zu verzeichnen, wobei zu den Fenstern keine Aussagen vorliegen.

Für Denkmale wird in beiden Szenarien eine niedrigere Sanierungsrate von 1% angesetzt, wobei nach Sanierung jeweils 20% des vorherigen Energieverbrauchs eingespart werden können. Beides ist deutlich niedriger als bei den „normal zu sanierenden“ Gebäuden.

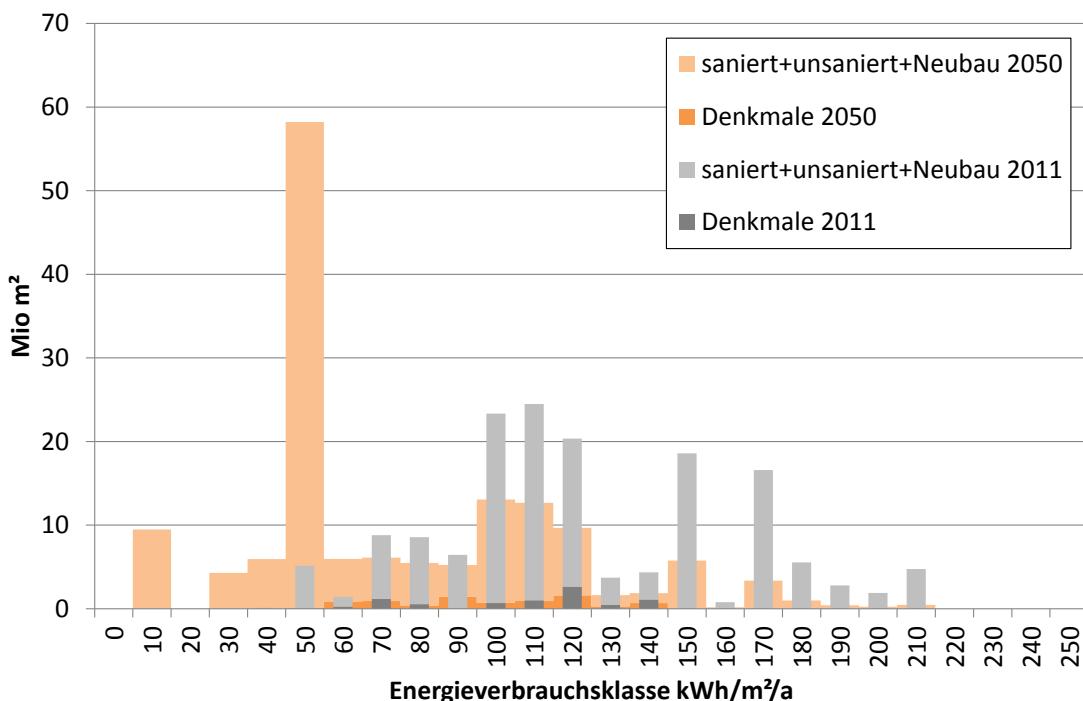


Abbildung 2.22: TREND Wohnflächenverteilung 2011 und 2050

2.2.4.4 Trinkwassererwärmung

Der Nutzenergieverbrauch für gezapftes Trinkwarmwasser wird für die betrachteten Jahre als konstant pro Einwohner angenommen (ergibt sich aus den 882 kWh/EW/a Endenergieverbrauch). Durch die steigende Wohnfläche sinkt aber der Energieverbrauch für die TWE bezogen auf die Wohnfläche von 23 bzw. 22 kWh/m²/a in Stadt und Land auf 19 bzw. 14 kWh/m²/a.

2.2.5 Änderung des Energiestandards des Gebäudebestands durch Sanierung der Gebäudehülle in den Szenarien

Die Abbildungen 2.22 und 2.23 zeigen die Verschiebung der Wohnflächen in den Energieverbrauchsklassen für beide Szenarien. Durch Sanierung und (Ersatz-)Neubau verschiebt sich die Verteilung nach links zu den geringeren Verbräuchen. Dabei werden die ganz niedrigen Energieverbräuche nur durch Neubauten erzielt. Sanierte Gebäude erreichen bei den gewählten Ansätzen in der Regel die Verbrauchsklasse 50 kWh/m²/a, weshalb diese Klasse auch stark besetzt ist.

2.2.6 Wärmeverteilungs- und Wärmeübergabeaufwand

Neben den Energieaufwänden für die Nutzenergiebereitstellung sind die Aufwände für Verteilung und Übergabe⁸ der Wärme (Im Folgenden „Anlagenaufwand“) zu betrachten, um den Endenergieverbrauch zu ermitteln. Für Neubauten wird bereits eine effiziente Anlagentechnik vorausgesetzt, deren Aufwand in der Endenergieverbrauchsklasse der Neubauten (Abb. 2.20)

⁸Die Begriffe Verteilung und Übergabe sind den Methoden der energetischen Bewertung entlehnt.

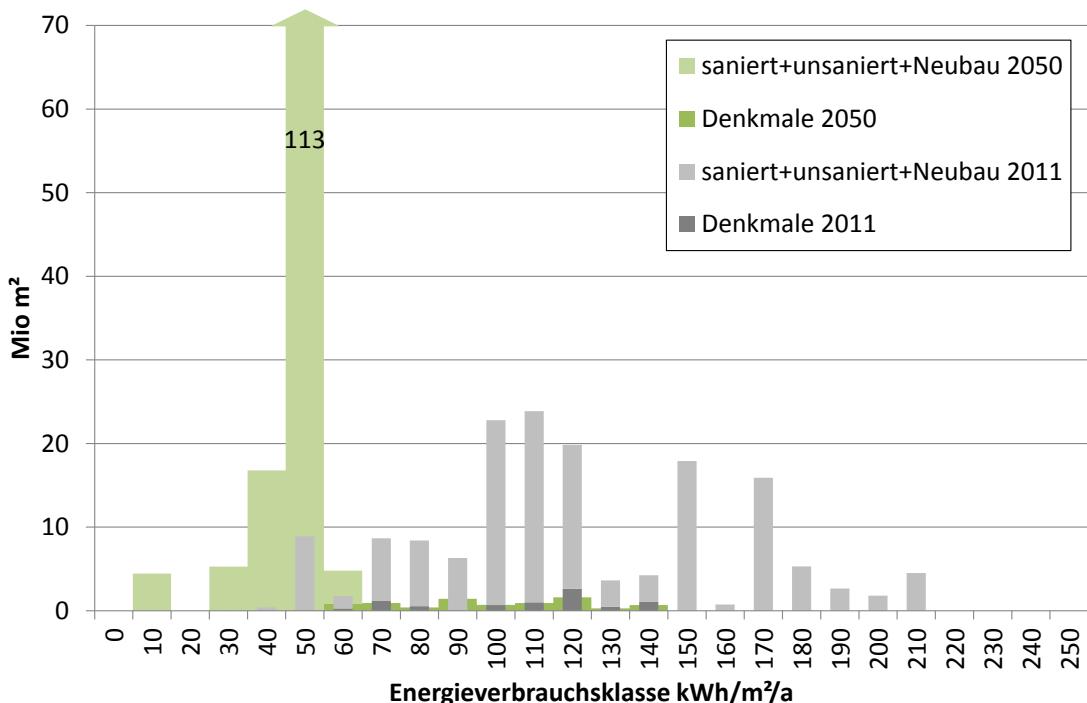


Abbildung 2.23: KLIMASCHUTZ Wohnflächenverteilung 2011 und 2050

bereits berücksichtigt ist. Für alle anderen Gebäude wird eine schrittweise Sanierung der Anlagentechnik modelliert, dies betrifft Denkmale und hüllenseitig sanierte, wie auch unsanierte Gebäude.

Auch für die anlagenseitige Sanierung wird eine prozentuale Einsparung auf den vor der Sanierung bestehenden Energieverbrauch angesetzt (Abb. 2.21). Es wird auch hier eine mit dem ursprünglichen Verbrauch linear ansteigende Sanierungsquote (Abb. 2.12 und 2.16) angesetzt, die aber unabhängig von der Sanierung der Gebäudehülle ist. Die Sanierungsquote der Anlagentechnik wird deutlich über der der Gebäudehülle angesetzt, da diese Maßnahmen wesentlich kostengünstiger sind. Auch hier wird davon ausgegangen, dass es zwar u. U. mehr als einen Sanierungszyklus im Betrachtungszeitraum je Gebäude geben wird, diese aber keinen wesentlichen Energiespareffekt mehr bringen, weshalb nur ein Sanierungszyklus Anlagente modelliert wurden.

Die Anlagenaufwandszahl für die Trinkwassererwärmung wird für Neubauten separat behandelt. Für diese wird angesetzt, dass der Endenergieverbrauch für die TWE bei nur 80% des Durchschnittswertes von 882 kWh/EW/a liegt. Damit wird der effizienteren Erzeugung in diesen Gebäuden Rechnung getragen - nicht einem geminderten Nutzenergieverbrauch.

2.2.7 Änderung des Endenergieverbrauchs durch Sanierung der Gebäudehülle und Anlagensanierung in den Szenarien

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs ist aus den Abbildungen 2.24ff ersichtlich. Sie basieren auf den Diagrammen zur Wohnflächenentwicklung 2.14ff und 2.18. Die Wichtung der einzelnen Gebäudegruppen wird mit ihrem spezifischen Verbrauch vorgenommen. Der Anteil der Neubauten am Endenergieverbrauch für die Raumheizung liegt daher unter dem Anteil

der Neubauten an der Wohnfläche. Zusätzlich ist in den folgenden Diagrammen der Endenergieverbrauch für die Trinkwassererwärmung TWE dargestellt. Der Trinkwarmwasserverbrauch sinkt durch die abnehmende Bevölkerungszahl ab (auf dem Land stärker als in der Stadt), sachsenweit beträgt die Absenkung analog zur Bevölkerungsentwicklung 24 % des Verbrauchs von 2011. Der relative Stellenwert der TWE steigt jedoch, da der gesamte Wärmeverbrauch deutlich sinkt. Beträgt der Anteil der TWE am Endenergieverbrauch im Jahr 2011 noch 15%, so steigt er auf 18% im Szenario Trend bzw. 24% am Gesamtwärmeverbrauch des Sektors Haushalte im Szenario Klimaschutz im Jahr 2050.

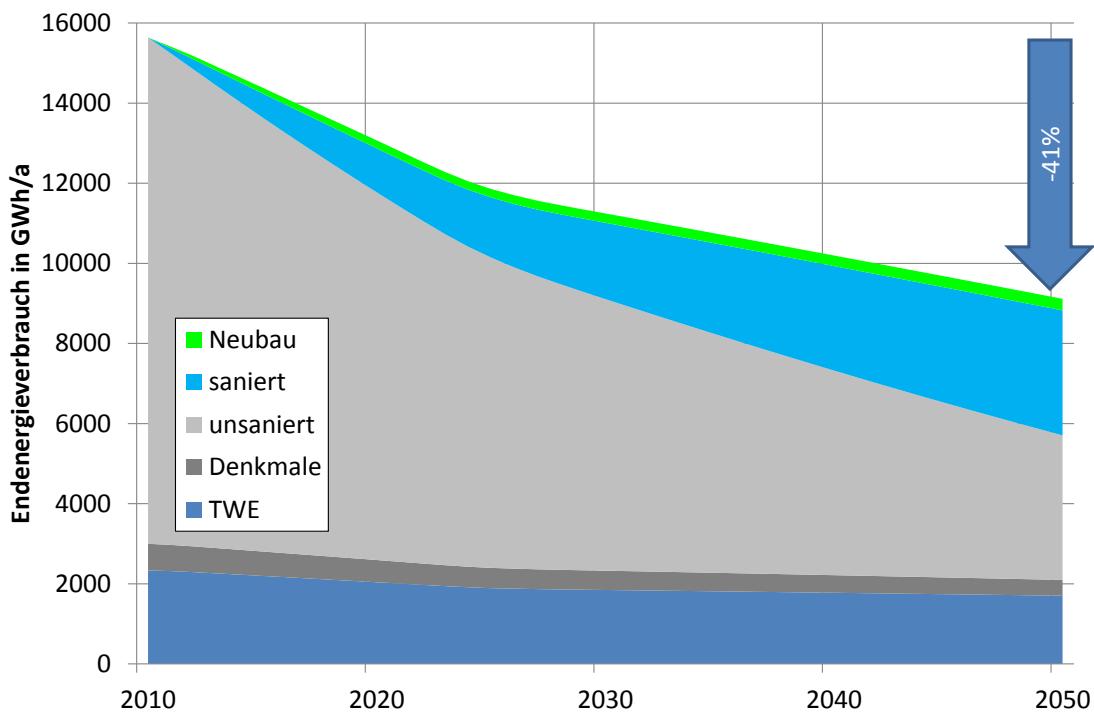
Der Endenergieverbrauch für Wärme im Sektor Haushalte sinkt durch die bisher beschriebenen Maßnahmen

- (Ersatz-)Neubau,
- Sanierung der Gebäudehülle,
- Sanierung der Anlagentechnik,

und unter Berücksichtigung der Bevölkerungs- und Wohnflächenentwicklung im Szenario Trend um 46 % des Verbrauchs von 2011.

Im Szenario Klimaschutz sind die Einsparungen gegenüber dem Jahr 2011 höher: Auf dem Land sinkt der Endenergieverbrauch auf 38 %, in der Stadt auf 46 % (Abb. 2.26), für Ge-samtsachsen (Abb. 2.27) ergibt sich damit eine Absenkung auf 43 % des Verbrauchs von 2011.

a) Stadt



b) Land

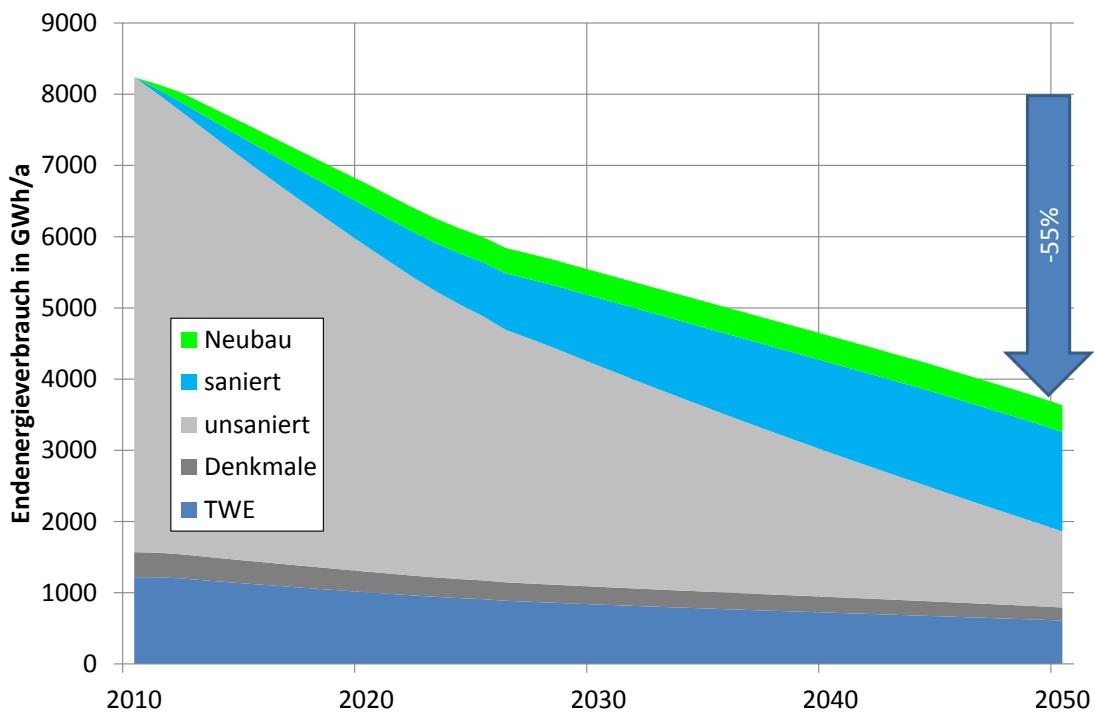


Abbildung 2.24: TREND Entwicklung des Endenergieverbrauchs mit Hüllen- und Anlagensanierung 2011-2050
Stadt und Land unter Berücksichtigung demografischer Effekte

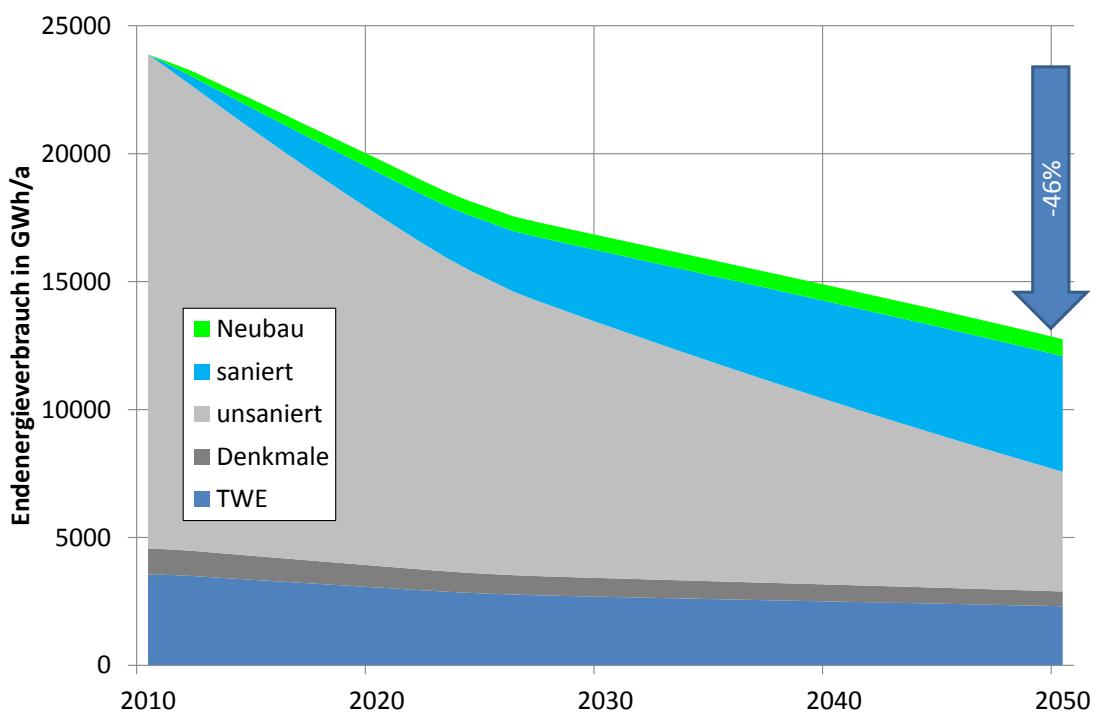
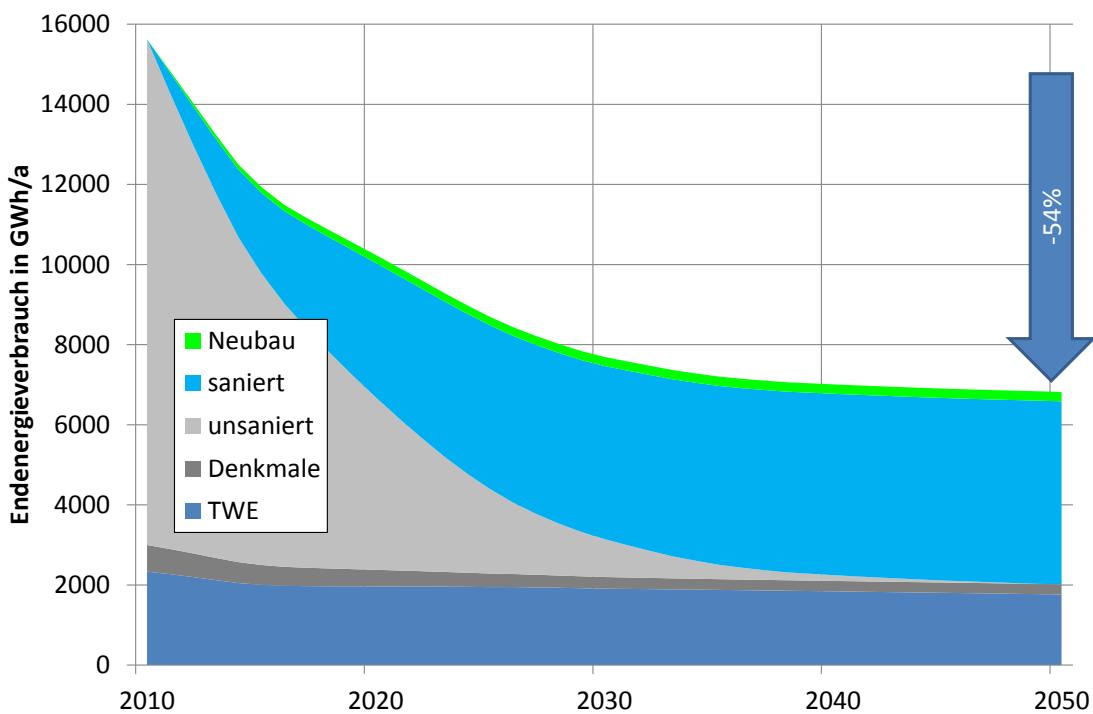


Abbildung 2.25: TREND Entwicklung des Endenergieverbrauchs mit Hüllen- und Anlagensanierung 2011-2050 Sachsen unter Berücksichtigung demografischer Effekte

Stadt



Land

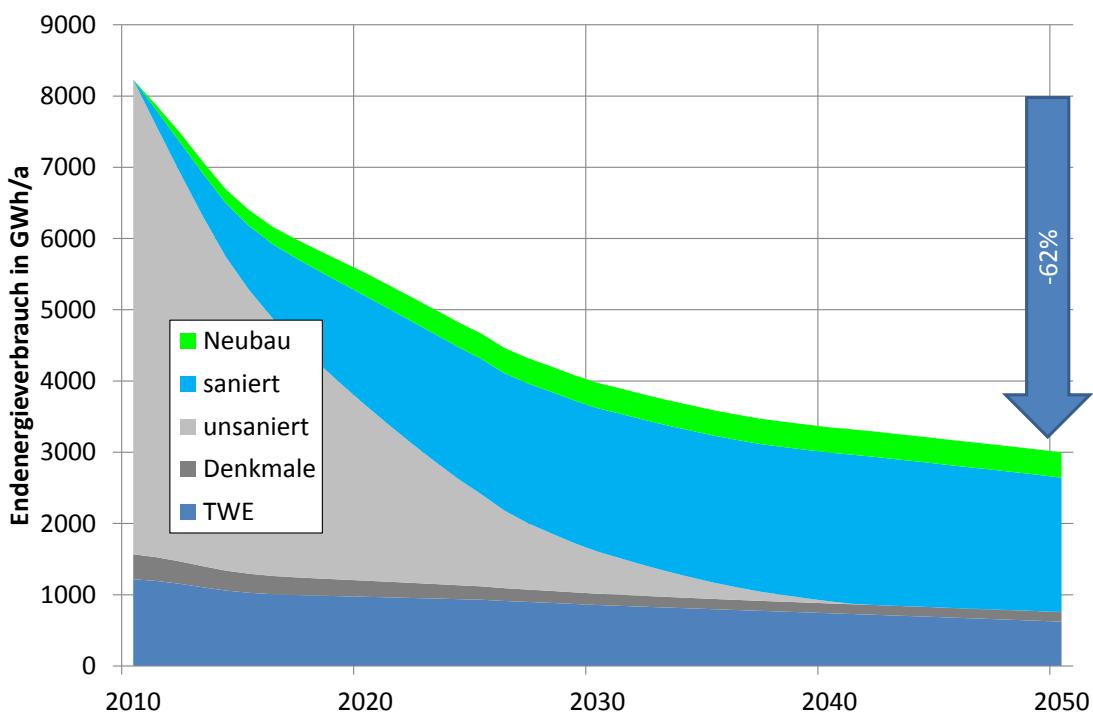


Abbildung 2.26: KLIMASCHUTZ Entwicklung des Endenergieverbrauchs mit Hüllen- und Anlagensanierung 2011-2050 Stadt und Land unter Berücksichtigung demografischer Effekte

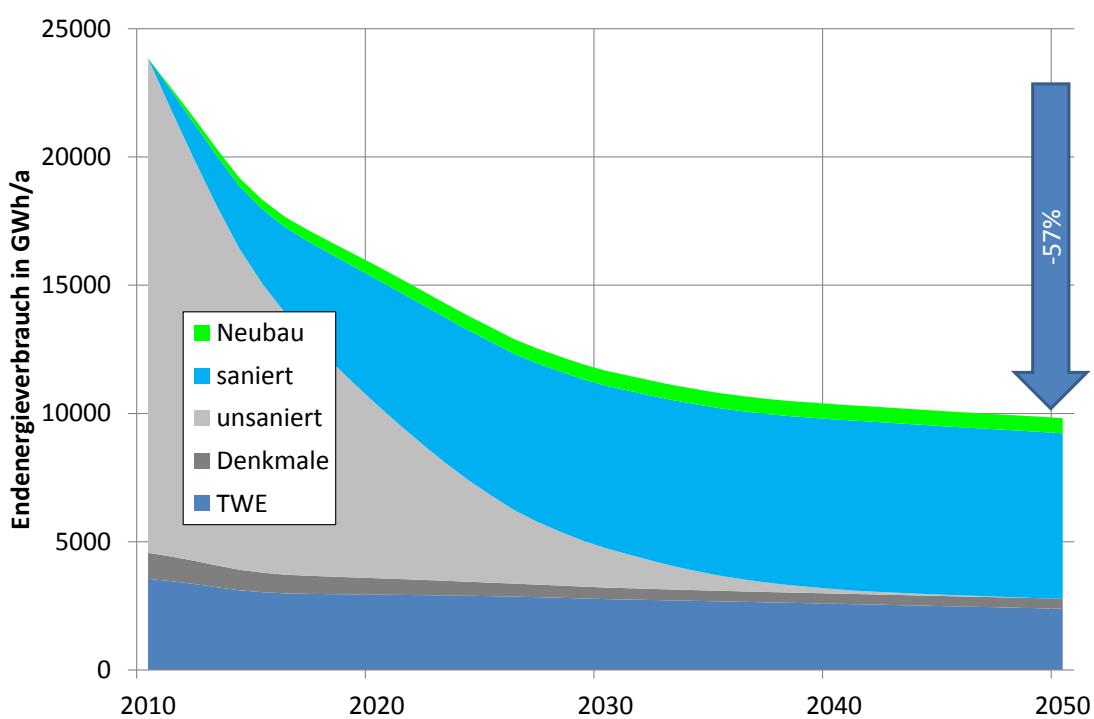


Abbildung 2.27: KLIMASCHUTZ Entwicklung des Endenergieverbrauchs mit Hüllen- und Anlagensanierung 2011-2050 Sachsen unter Berücksichtigung demografischer Effekte

2.3 Dezentrale Erzeugung (Sektor Haushalte)

2.3.1 Überblick Berechnungsmodell

Aus den Modellen zur Sanierung der Gebäudehülle, zur Sanierung der Anlagentechnik und zum Trinkwarmwasserverbrauch wurde der Endenergieverbrauch in urbanen und ländlichen Räumen ohne Berücksichtigung des Austauschs von Wärmeerzeugern ermittelt. Die Auswirkungen von Maßnahmen an Wärmeerzeugern werden abweichend von den bisherigen Betrachtungen pro Gebäude und nicht bezogen auf Wohnfläche betrachtet. Dabei werden drei Gruppen von Gebäuden gebildet, die sich nach ihrem Endenergieverbrauch unterscheiden

- weniger als 20 kWh/m²/a (i.d.R. Neubauten)
- 20... 100 kWh/m²/a (meist mit saniertem Gebäudehülle oder junge Altgebäuden)
- mehr als 100 kWh/m²/a (i.d.R. unsaniertes Altbau und Denkmale)

Es wird dabei zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern, urbanen und ländlichen Räumen unterschieden, da sich deren Beheizungsstrukturen deutlich voneinander unterscheiden. Die für die bisherigen Betrachtungen verwendete Wohnfläche in diesen Energieverbrauchsgruppen wird auf Ein- und Zweifamilienhäuser bzw. Mehrfamilienhäuser anhand des Anteils verteilt, den diese Gebäudetypen in Stadt bzw. Land haben. Es sind im Folgenden die in Tabelle 2.1 gelisteten Gebäudetypen zu betrachten. Diesen wird jeweils eine entsprechende Erzeugerstruktur aus den in Abbildung 2.32 aufgelisteten Erzeugern zugeordnet.

Tabelle 2.1: Übersicht Gebäudetypen 2011

j	k	m kWh/m ² .a	Anzahl Gebäude ⁹	bewohnte Wohnfläche in Mio m ²	Durchschn. Energiever- brauch in kWh/m ² .a	
Stadt	EZFH	<20	0	0	-	
		20...100	69.519	9	101	
		>100	276.815	36	165	
	MFH	<20	0	0	38	
		20...100	11.266	2	89	
		>100	44.858	8	145	
Summe			402.458	55	149	
Land	EZFH	<20	0	0	-	
		20...100	48.974	6	123	
		>100	209.566	26	196	
	MFH	<20	0	0	38	
		20...100	27.846	13	91	
		>100	119.156	57	145	
Summe			405.542	102	150	
Summe			808.000	157	150	

Der aus den Netzen (Gas, Strom, Fernwärme) zu deckende Endenergieverbrauch ergibt sich aus dem in Abschnitt 2.2 ermittelten Endenergieverbrauch sowie dem Nutzungsgrad bzw. der Jahresarbeitszahl (bei Wärmepumpen) des eingesetzten Wärmeerzeugers (Abbildung 2.32).

Bei den Berechnungen wird von einem primären Erzeuger pro Gebäude, sowie einer potentiellen Unterstützung durch Solarthermie und/oder Kamin ausgegangen (=sekundärer Erzeuger).

2.3.2 Ermittlung des Wärmeerzeugerbestandes 2011

Daten zum Wärmeerzeugerbestand können dem Jahresbericht des BDH [92], sowie der Studie des IWU [12] entnommen werden. Im Zensus 2011 wurde nur ermittelt, wie zentralisiert die Heizungssysteme sind (Fernwärme, Blockheizung, Zentralheizung, Wohnungs- oder Raumheizung). Im Gegensatz zur Gebäude- und Wohnungszählung 2006 [93] wurde der wesentliche Energieträger nicht mehr ermittelt.

Exakte Zahlen liegen nur für die nach BlmSchG messpflichtigen Erzeuger vor. Dies sind im Wesentlichen Gas-, Öl- und Kohlebefeuerte Kessel, mit Ausnahme allerdings der weiterverbreiteten Gasthermen < 10 kW. Diese Zahlen werden von den Schornsteinfegern erfasst und jährlich veröffentlicht [94]. Der BDH speist seine Marktberechnungen aus den Angaben der Mitgliedsunternehmen, daher sind naturgemäß weder Fernwärmeanschlüsse noch Elektrodi rektheizungen erfasst. Da Wärmepumpen in nennenswertem Umfang von Elektrofachbetrieben installiert werden, ist die Statistik an dieser Stelle ebenfalls unscharf.

Es verbleiben daher für die Ermittlung dieser Erzeuger die Erhebungen des IWU, welche zwar in Zusammenarbeit mit den Schornsteinfegern erstellt wurden, aber sich nicht auf deren Kunden beschränkten. Die Ergebnisse dieser Erhebung sind in Abb. 2.28 dargestellt. Die Erhebungen des IWU erfolgten deutschlandweit und sind für Sachsen nicht repräsentativ, wie ein Vergleich mit der Energiestatistik Sachsen zeigt. Daher wurde die Erzeugerstruktur so angepasst, dass sie mit der Sächsischen Energiebilanz [1] - s. a. 2.31- übereinstimmt. Den für die Berechnungen verwendeten primären Erzeugerpark zeigt Abb. 2.29. In der Energiebilanz werden auch die Energieverbräuche der sekundären Wärmeerzeuger erfasst; diese können aus den in Abb. 2.30 dargestellten Deckungsbeiträgen ermittelt werden.

Im Jahr 2011 wird die Wärmebereitstellung in Sachsen (Raumwärme und Trinkwarmwasser) dominiert von gasbetriebenen Erzeugern: Neben den Brennwertkesseln, die Stand der Technik sind, gibt es auch noch einen erheblichen Anteil an Niedertemperatur- und Konstanttemperaturkesseln. Bei den ölbetriebenen Wärmeerzeugern dominieren diese veralteten Techniken. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser ist ein großer Teil an Fernwärme angeschlossen, so dass diese auch insgesamt einen großen Teil der Wärmeversorgung übernimmt. Einen immer noch erheblichen Anteil haben Kohleheizungen (4% der Gebäude) und direktelektrische (Einzelraum)Heizungen, sicherlich oft in Form von Nachspeicherheizungen. Der relativ große Anteil an Biomasse ist hauptsächlich durch noch vorhandene Holzöfen begründet. Da hier zunächst nur die primären Erzeuger betrachtet werden, ist der Anteil von Solarthermie und Photovoltaik gering. Diese kommen als primäre Erzeuger nur bei Gebäuden sehr niedrigen Energieverbrauchs in Frage.

Abbildung 2.31 zeigt für das Basisjahr 2011 die aus dem angenommenen Erzeugerpark (primäre und sekundäre Erzeuger) resultierenden Anteile der verschiedenen Energieträger am Endenergieverbrauch zur Deckung des Wärmeverbrauchs der Haushalte im Vergleich zur Energiebilanz Sachsen. Es sind nur geringe Abweichungen vorhanden, so dass auf dieser Grundlage weitergerechnet werden kann.

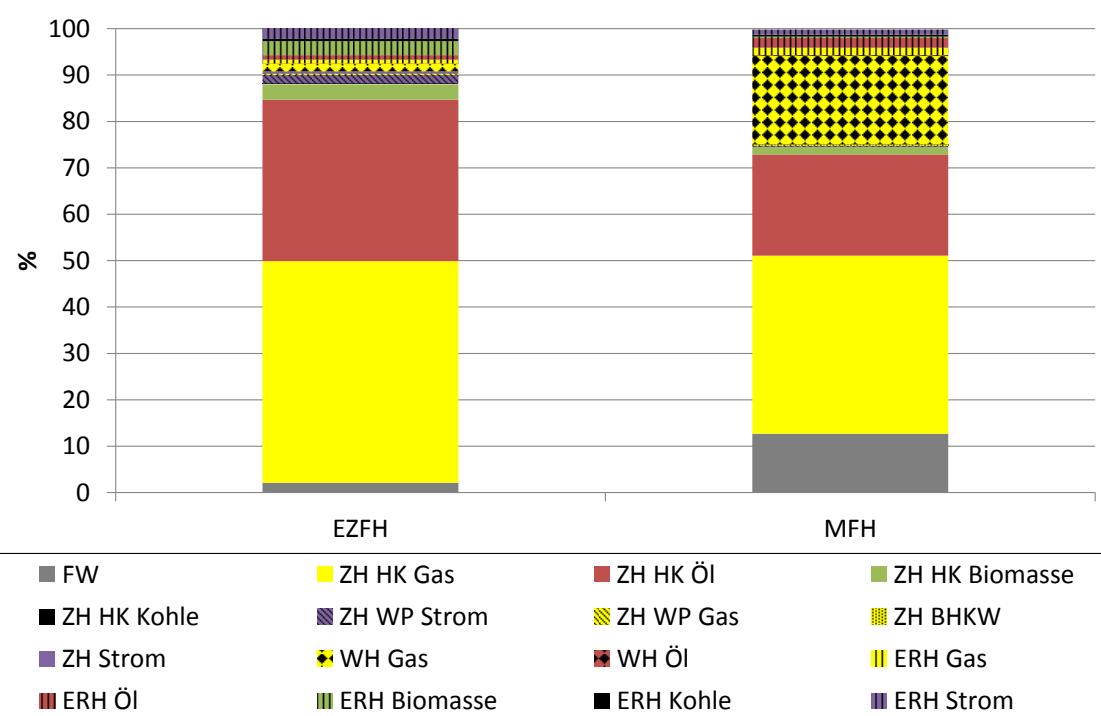
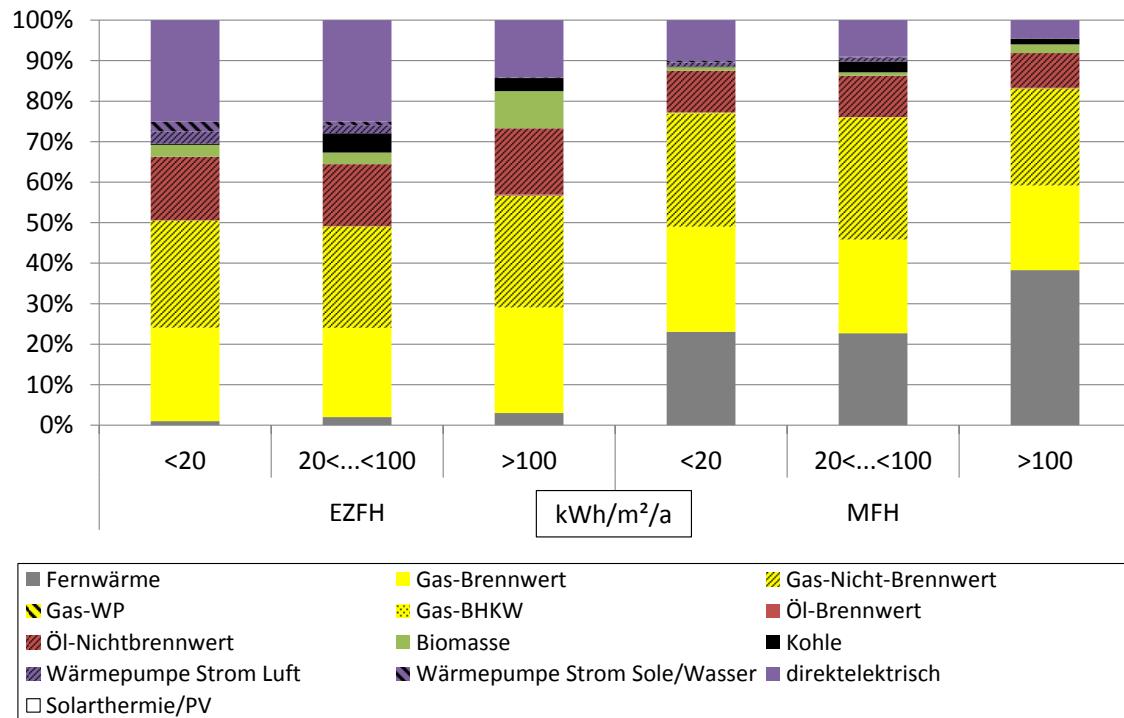
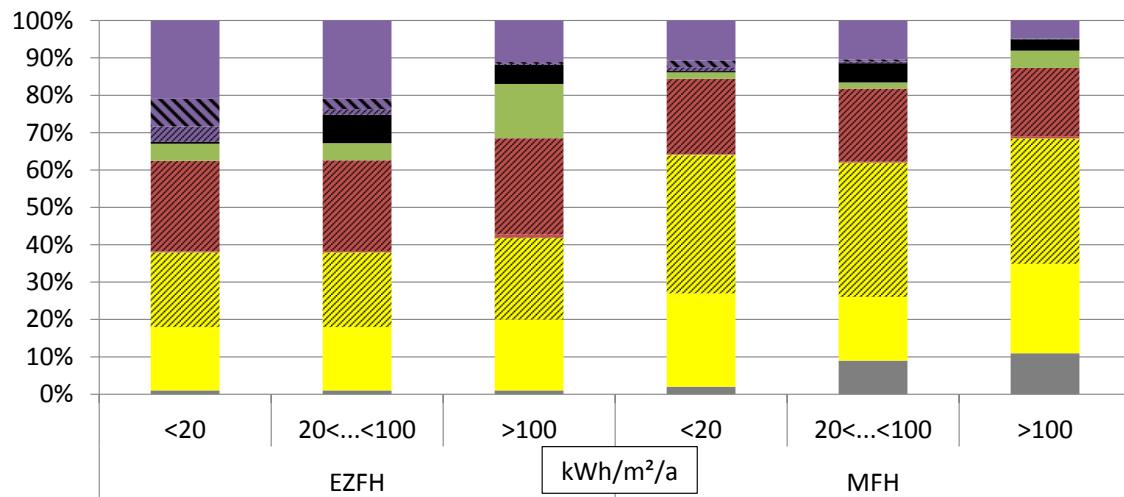


Abbildung 2.28: Anteil der einzelnen Wärmeerzeuger im Gebäudebestand 2011, eigene Darstellung nach [12]

Stadt



Land



Diese Daten sind in Tabelle A.6 nachzulesen.

Abbildung 2.29: Bestand primärer Wärmeerzeuger 2011 angepasst für Sachsen

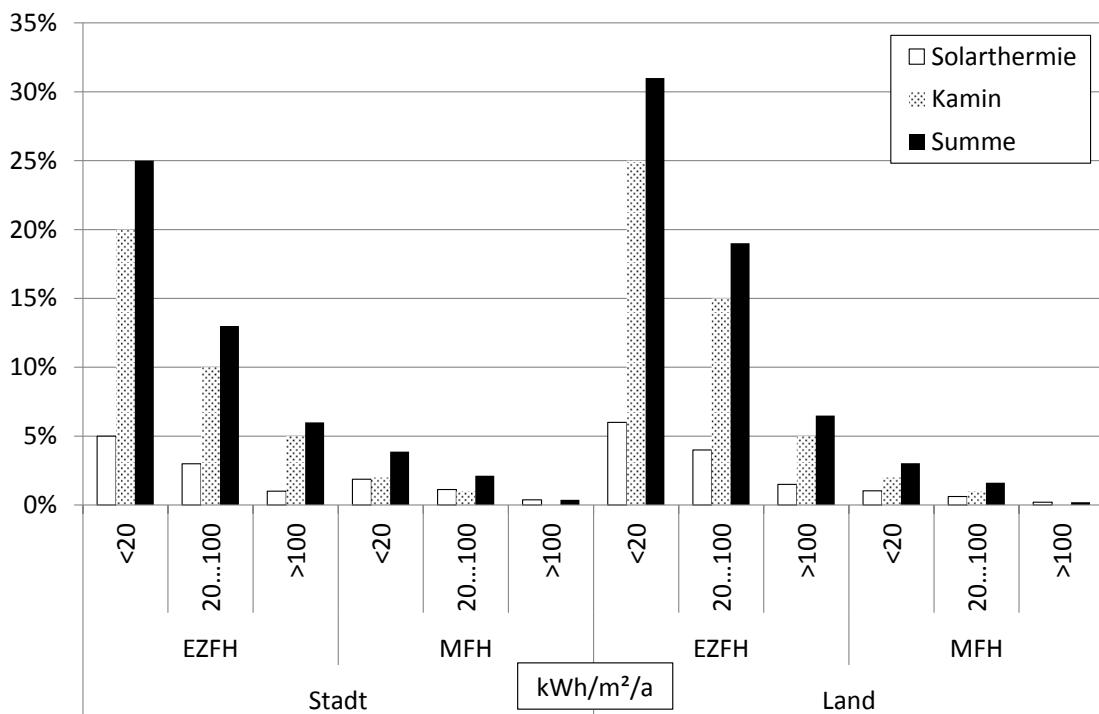


Abbildung 2.30: Deckungsbeiträge sekundärer Wärmeerzeuger in Sachsen 2011

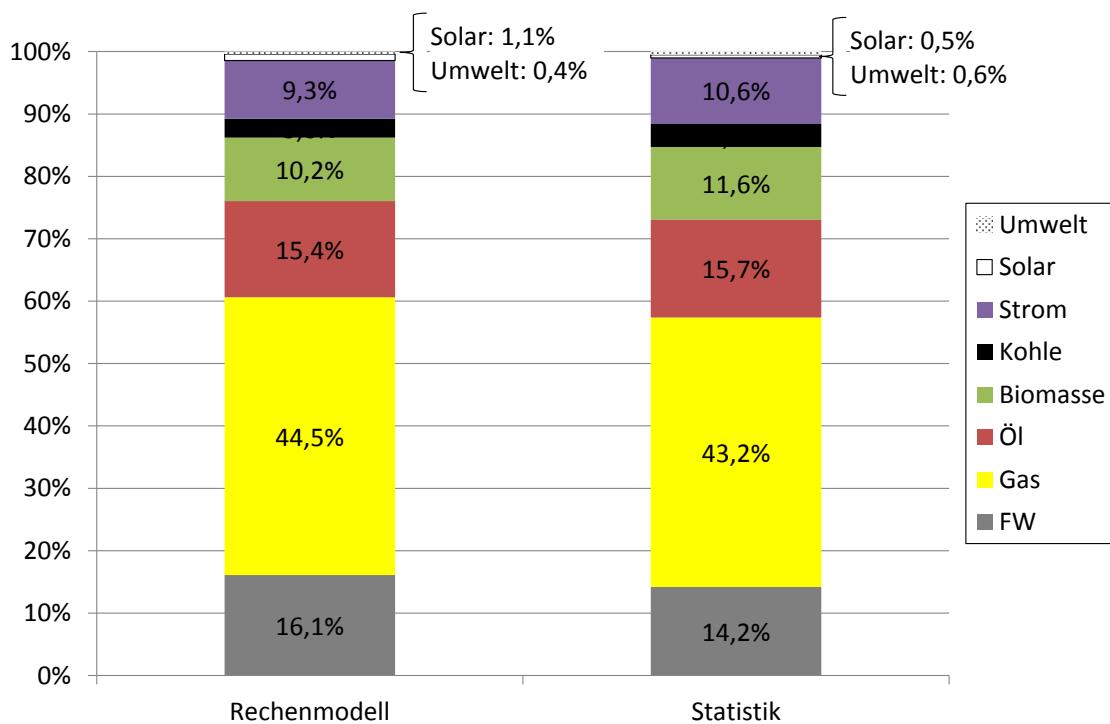


Abbildung 2.31: Vergleich des Rechenmodells für den Endenergieverbrauch mit den statistischen Daten Sachsen 2011, eigene Darstellung nach [1]

2.3.3 Berechnung des Verbrauchs der einzelnen Endenergieträger

Die dem Nutzer bereitzustellende Energie wird aus der jeweiligen Endenergie von einem primären Erzeuger mit einem Wirkungsgrad umgewandelt, dessen Jahresmittel im Folgenden als „Jahresnutzungsgrad“ $\eta_{a,n}$ bezeichnet wird. Im Falle der Nutzbarmachung von Umweltenergie durch Wärmepumpen ist dieser größer als eins. Für konventionelle Erzeuger (Kessel, Öfen etc.) ist der Jahresnutzungsgrad kleiner als eins, auch für Brennwertgeräte, da der Energieinhalt der Endenergieträger als Brennwert angegeben wird. Die angesetzten Jahresarbeitszahlen bzw. Jahresnutzungsgrade sind in Abbildung 2.32 dargestellt und verbessern sich, bis auf wenige Ausnahmen nicht mehr wesentlich bis 2050 da die konventionellen Technologien als technisch ausgereift angesehen werden. Vor allem im Bereich der Wärmepumpen ist aber davon auszugehen, dass noch technologische Potentiale gehoben werden.

Neben den primären Erzeugern können Gebäude auch sekundäre Erzeuger haben. In nennenswertem Umfang existieren hier vor allem Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und evtl. Heizungsunterstützung, sowie Kamine. Es wird angenommen, dass dadurch ein gewisser Anteil σ des bereitzustellenden Energieverbrauchs gedeckt werden kann. Dieser Anteil unterscheidet sich in den beiden Szenarien und steigt im Laufe der Jahre an, siehe Abbildungen 2.34 und 2.37. Die primären Erzeuger müssen entsprechend weniger leisten. Die Berechnungen erfolgen nach Gleichung A.14ff.

Der Hilfsenergieverbrauch der Wärmeerzeuger (i.d.R. elektrische Energie) wird in der Berechnung des Endenergieverbrauchs nicht berücksichtigt, da er betragsmäßig vernachlässigbar ist. Dies gilt nicht für Wärmepumpen. Im Fall der elektrischen Direktheizung ist Strom der Haupt-Endenergieträger

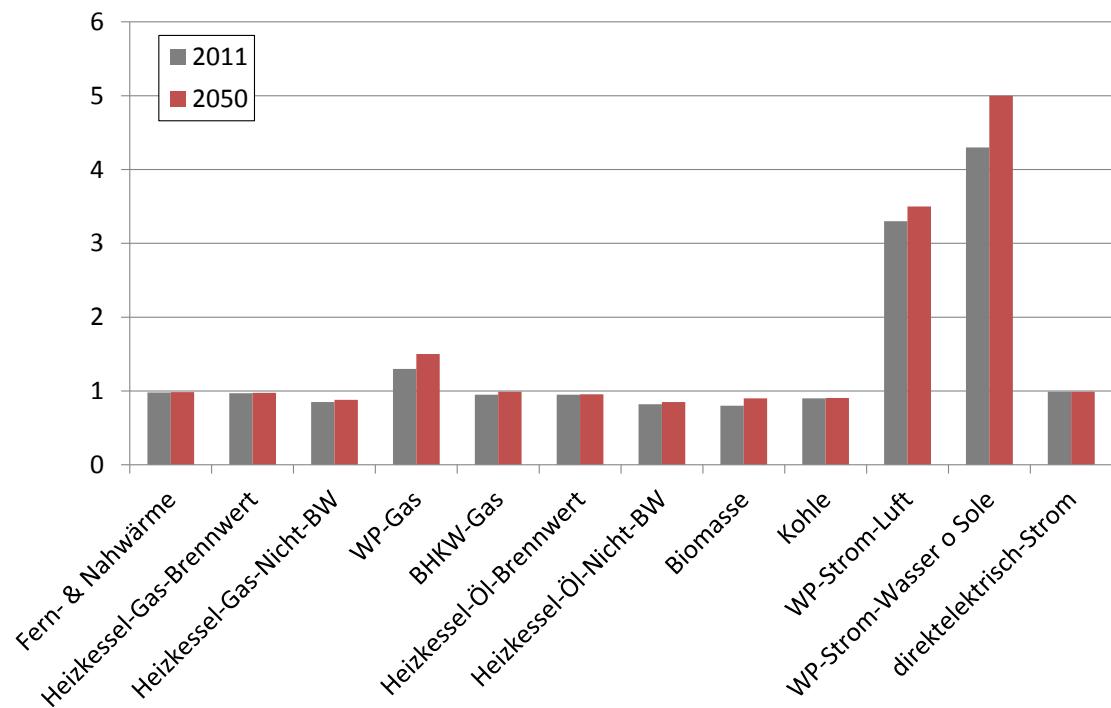


Abbildung 2.32: Jahresarbeitszahlen und -nutzungsgrade der verschiedenen Erzeuger

2.3.4 Änderungen in der Erzeugerstruktur

2.3.4.1 Generelle Trends

Der Austausch von Wärmeerzeugern führt zu Effizienzsteigerung (Abb. 2.32), der Nutzbarmachung von Umweltwärme und einem Wechsel der Energieträgerstruktur gegenüber dem Stand 2011 (Abbildung 2.31). Die Auswertung der Absatzzahlen des BDH [92] zeigt, dass der bestverkaufte Erzeuger das Gas-Brennwertgerät ist (mehr als 50%). Es folgen Gasniedertemperaturgeräte (zentral 10% + Wohnungsthermen 1%) und Öl-brennwertgeräte (6%). Kohleheizungen werden nicht mehr neu eingebaut. Die Erzeugerstruktur ergibt sich in beiden Szenarien aufgrund folgender Trends im Wärmeerzeugermarkt:

- Wärmepumpen werden bevorzugt in Gebäuden mit niedrigem spezifischen Wärmeverbrauch eingesetzt, da die entziehbare Umweltenergie auf den Grundstücken begrenzt ist. Aus demselben Grund werden sie in MFH seltener eingesetzt als in EZFH.
- Fernwärme wird auf dem Land deutlich weniger häufig verwendet, als in den Städten, da dort die geringen Leistungsdichten einen wirtschaftlichen Betrieb von Nah-/Fernwärme erschweren. Aufgrund der zu erwartenden Entwicklungen im Nahwärmebereich und bei der multifunktionalen Fernwärme steigt der Anteil der Fernwärmemanschlüsse.
- Die Verbrennung fossiler Energieträger erfolgt 2050 im dezentralen Bereich nur noch mit modernster Technologie: Brennwerttechnik, Gaswärmepumpe, BHKW.
- Öl wird nur noch in Ausnahmefällen eingesetzt z.B. dann, wenn kein Gas verfügbar ist, daher findet es nur im ländlichen Raum Einsatz.
- Es verbleibt ein relativ hoher direktelektrischer Anteil, welcher aus der Trinkwarmwassererwärmung mit Durchlauferhitzern resultiert. Bei Gebäuden mit sehr niedrigem Wärmebedarf ist auch die direktelektrische Heizung vorgesehen. Weiterhin ist ein gewisser Altbestand an Elektrospeicherheizungen berücksichtigt. Hierbei wurden insbesondere die steigenden Potentialen für Power-to-Heat aus Überschussstrom aus der volatilen Stromerzeugung berücksichtigt. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit verbleibt die direktelektrische Wärmeerzeugung im Portfolio, obwohl bei rein energetischer Betrachtung Wärmepumpen immer zu bevorzugen wären.
- Solarthermie als primärer Erzeuger wird hauptsächlich bei Gebäuden mit niedrigem Wärmebedarf eingesetzt.
- Abkehr von Einzelraumheizungen (Kohle- und Holzöfen). Kein Neueinbau von Kohleheizungen, verstärkte Nutzung „moderner“ Biomasse (Holzpellets, -hackschnitzel etc)
- Die Deckungsbeiträge der sekundären Erzeuger werden deutlich steigen, weil die Gebäude immer weniger Energie verbrauchen.

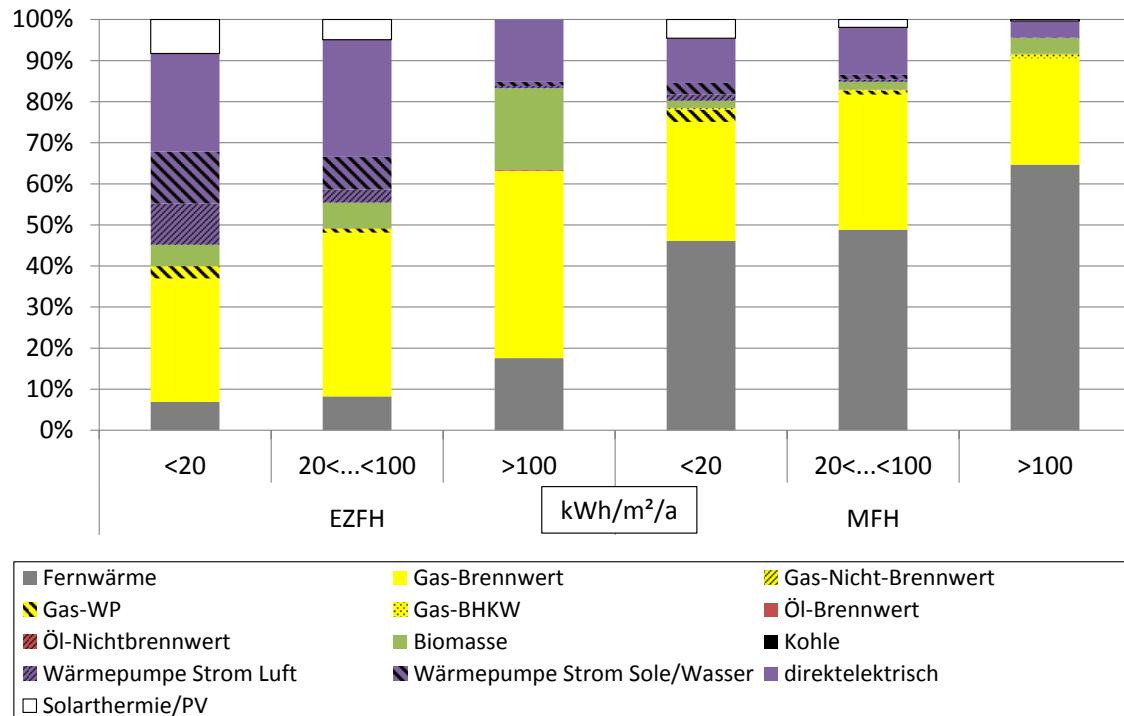
2.3.4.2 Szenario Trend

Im Szenario Trend gelten für das Jahr 2050 die in Abb. 2.33 und 2.34 gezeigten Annahmen. Daraus ergibt sich die in Abbildung 2.35 dargestellte Verteilung des Endenergieverbrauchs auf die einzelnen Energieträger.

Der Endenergieverbrauch sinkt durch die Berücksichtigung der Erneuerung des Erzeugerparks um weitere vier Prozentpunkte ab, sodass unter Berücksichtigung der Potentiale der Maßnahmen an Gebäudehülle, Anlage (Verteilung) und Erzeugung der Endenergieverbrauch

im Szenario Trend auf 50% des Verbrauchs von 2011 zurückgeht. Die Bedeutung der Fernwärme, der Biomasse, sowie der dezentralen Erneuerbaren Energiequellen (14%) steigt auf Kosten der Anteile von Öl, Kohle und Gas, die im Jahr 2011 noch deutlich wichtiger waren (siehe Abb. 1.5 auf Seite 8).

a) Stadt



b) Land

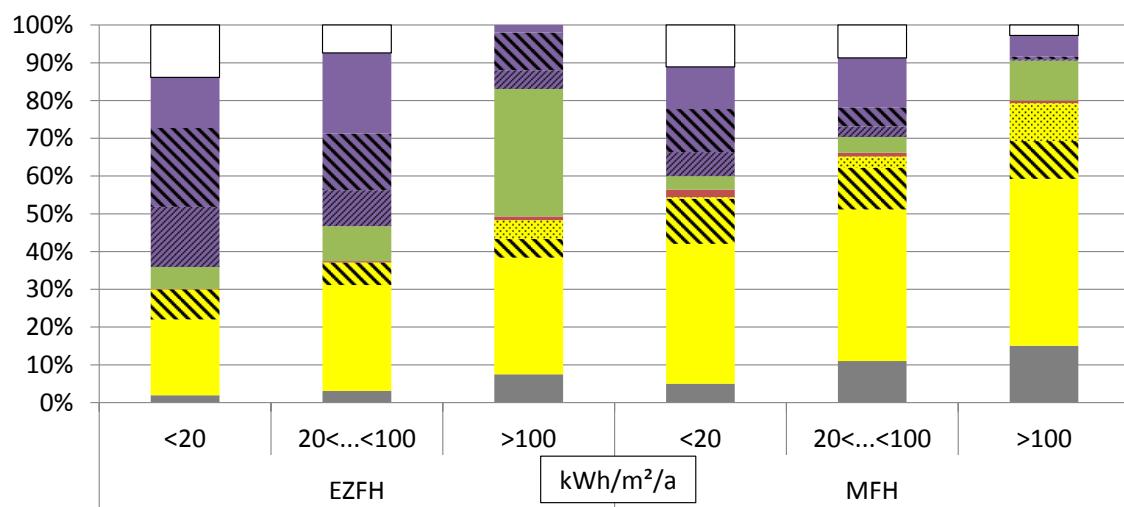


Abbildung 2.33: TREND Anteile Wärmeerzeuger 2050, Daten siehe Tabelle A.7

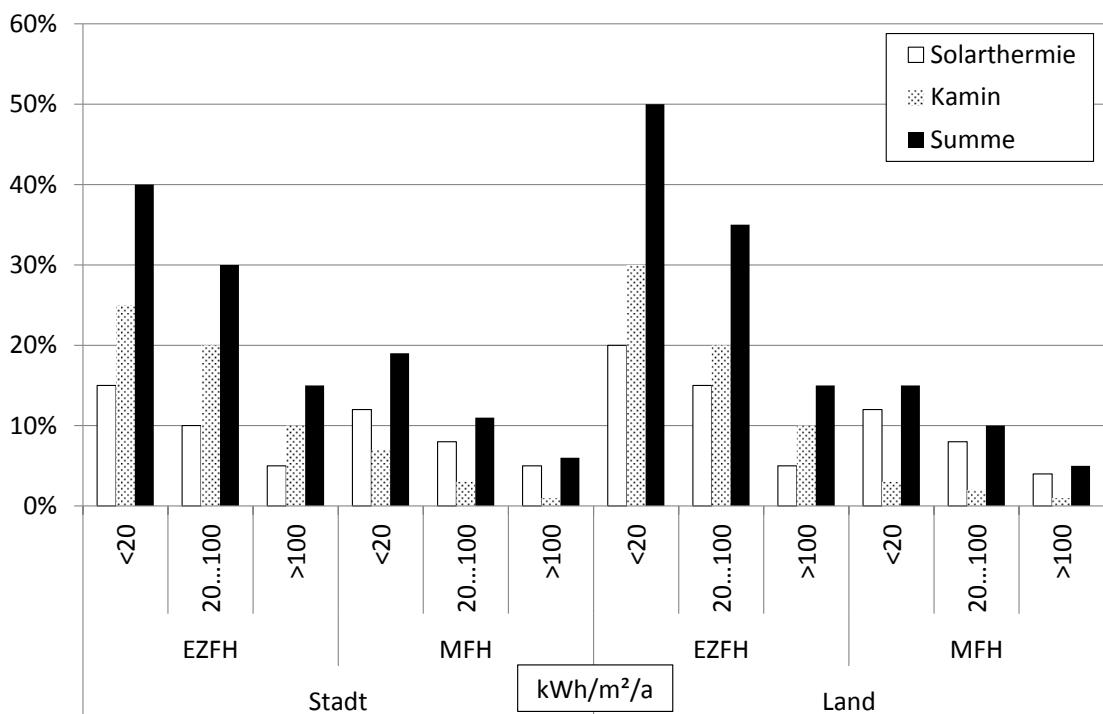


Abbildung 2.34: TREND Deckungsbeitrag sekundäre Erzeuger 2050

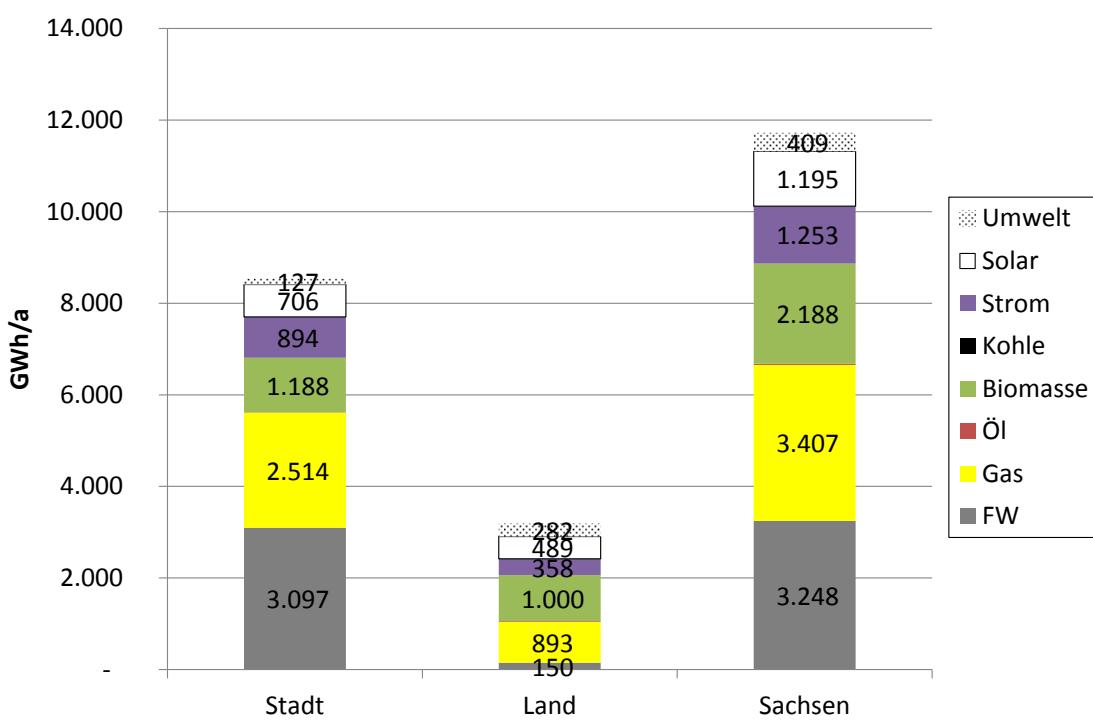


Abbildung 2.35: TREND EEV nach Energieträgern Sachsen 2050

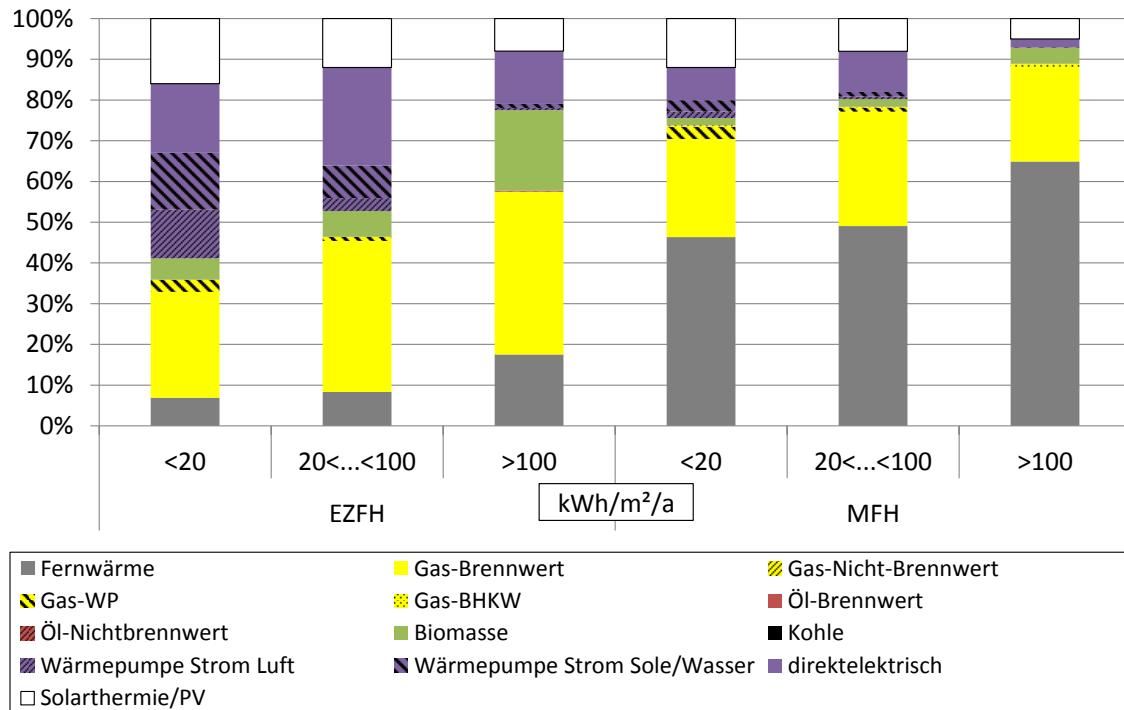
2.3.4.3 Szenario Klimaschutz

Im Szenario Klimaschutz wurden die o.g. Tendenzen, welche ja bereits alle in Richtung erhöhter Energieeffizienz und zunehmender Nutzung erneuerbarer Energiequellen wirken, verstärkt. Es resultiert daraus im wesentlichen ein höherer Anteil an Gebäuden mit Nah-/Fernwärme und mit Solarenergie als primärer energiequelle (Abb. 2.36). Die Deckungsbeiträge der sekundären Erzeuger sind höher als im Szenario Trend (Abb. 2.37).

Es ergibt sich eine Senkung des Endenergieverbrauchs auf 39%, wobei ein Teil dessen bereits dezentral regenerativ gedeckt wird. Der größte Teil dieser Absenkung wurde jedoch durch die Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik erreicht bzw. ergibt sich aus der Demografie (Absenkung auf 43% siehe Abb. 2.27). Der Erzeugerwechsel führt zu einer veränderten Energieträgerstruktur, zu der auch 29% dezentrale erneuerbare Energien gehören. Dies ist doppelt so viel wie im Szenario Trend, der Fernwärmeanteil ist gegenüber dem Szenario Trend auch noch einmal höher.

Aussagen zur Deckung des Endenergieverbrauchs und zur Bereitstellung der Endenergieträger finden sich in Abschnitt 3.

a) Stadt



b) Land

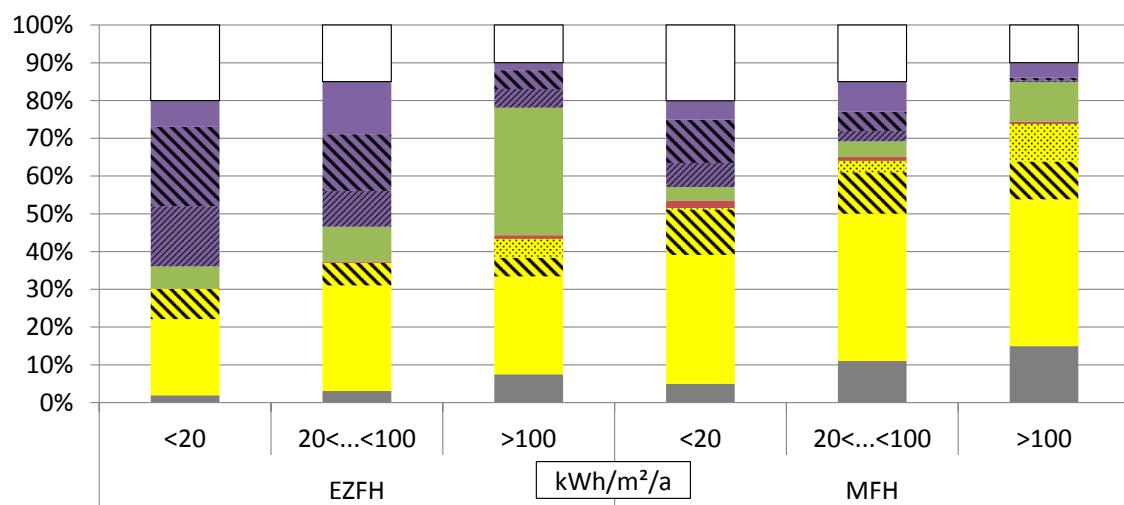


Abbildung 2.36: KLIMASCHUTZ Anteile Wärmeerzeuger 2050, Daten siehe Tabelle A.8

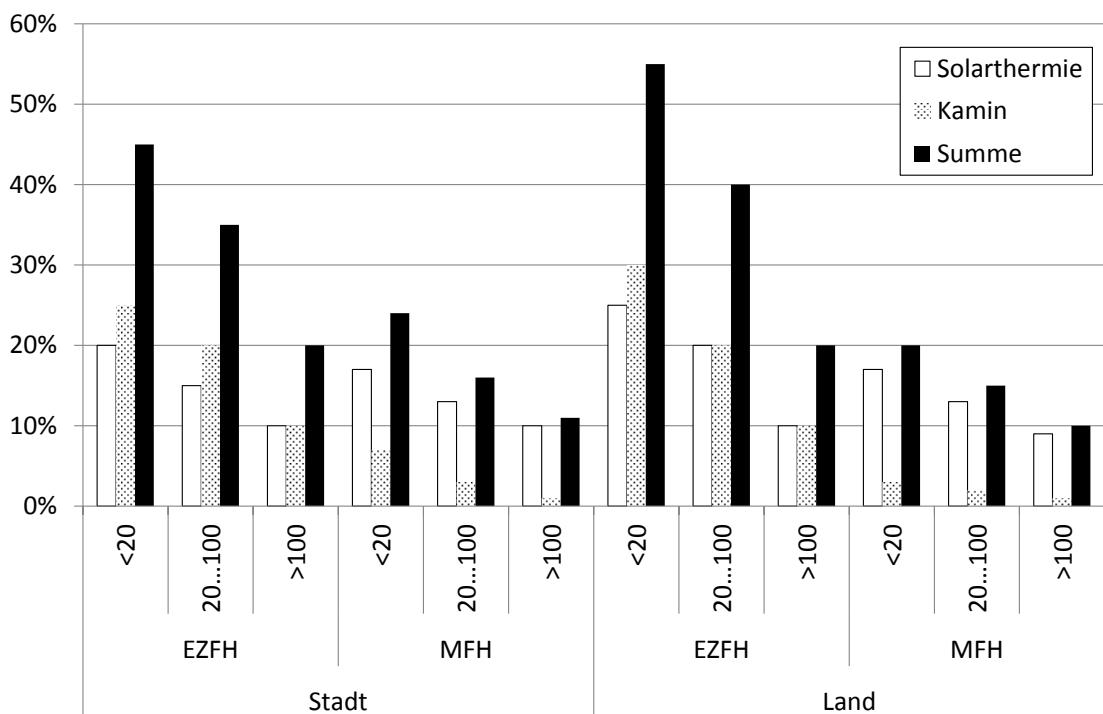


Abbildung 2.37: KLIMASCHUTZ Deckungsbeitrag sekundäre Erzeuger 2050

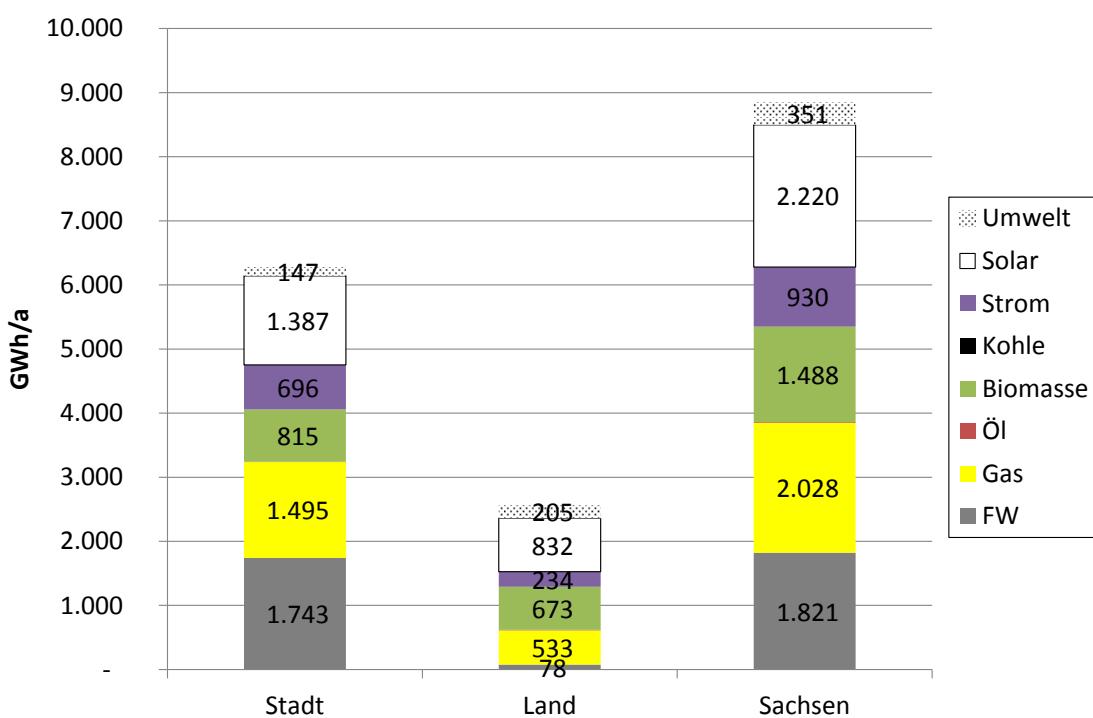


Abbildung 2.38: KLIMASCHUTZ EEV nach Energieträgern Sachsen 2050

2.4 Sektor Gewerbe / Handel / Dienstleistungen

Der Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen verbraucht im Vergleich zu den Haushalten deutlich weniger Energie (siehe Abb. 1.3 auf Seite 6). Dennoch ist auch dieser Sektor stark vom Raumwärmeverbrauch dominiert (Abbildung 2.39). Daher wurden die Ergebnisse aus dem Sektor Haushalte auf den Sektor GHD übertragen: Der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Trinkwassererwärmung unter Berücksichtigung der Maßnahmen an Gebäudehülle und Anlagentechnik (ohne Erzeuger) sinkt im Jahr 2050 auf 54% im Szenario Trend bzw. 43% im Szenario Klimaschutz. Für den Endenergieverbrauch für Prozesswärme wird im Szenario Trend ein konstanter Verbrauch und im Szenario Klimaschutz eine Absenkung um 20% angenommen. Die Entwicklung der Erzeugerstruktur wird analog zu der in Mehrfamilienhäusern im urbanen Raum in der Energieverbrauchsklasse $>100 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ angenommen, da im Gewerbe eine ähnliche Verbrauchsdichte anzunehmen ist, wie in diesen Mehrfamilienhäusern. Es ist damit eine steigende Energieproduktivität vorausgesetzt. Es ergibt sich der Endenergieverbrauch für unterschiedliche Energieträger in diesem Sektor wie in Abbildung 2.40 dargestellt.

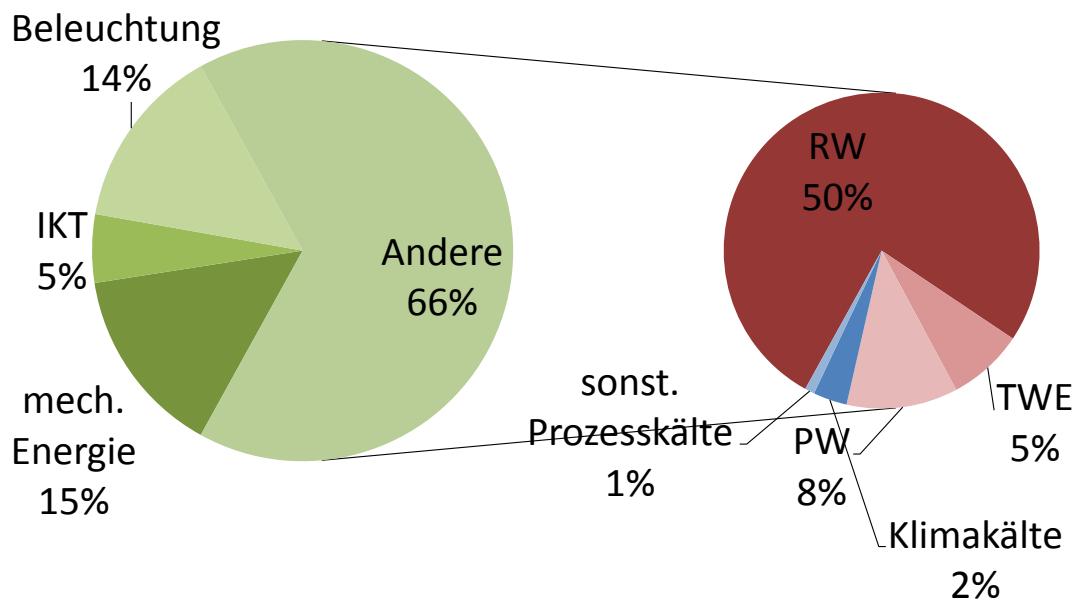


Abbildung 2.39: EEV im Sektor GHD 2011 nach Verwendungszwecken, eigene Darstellung nach [1]

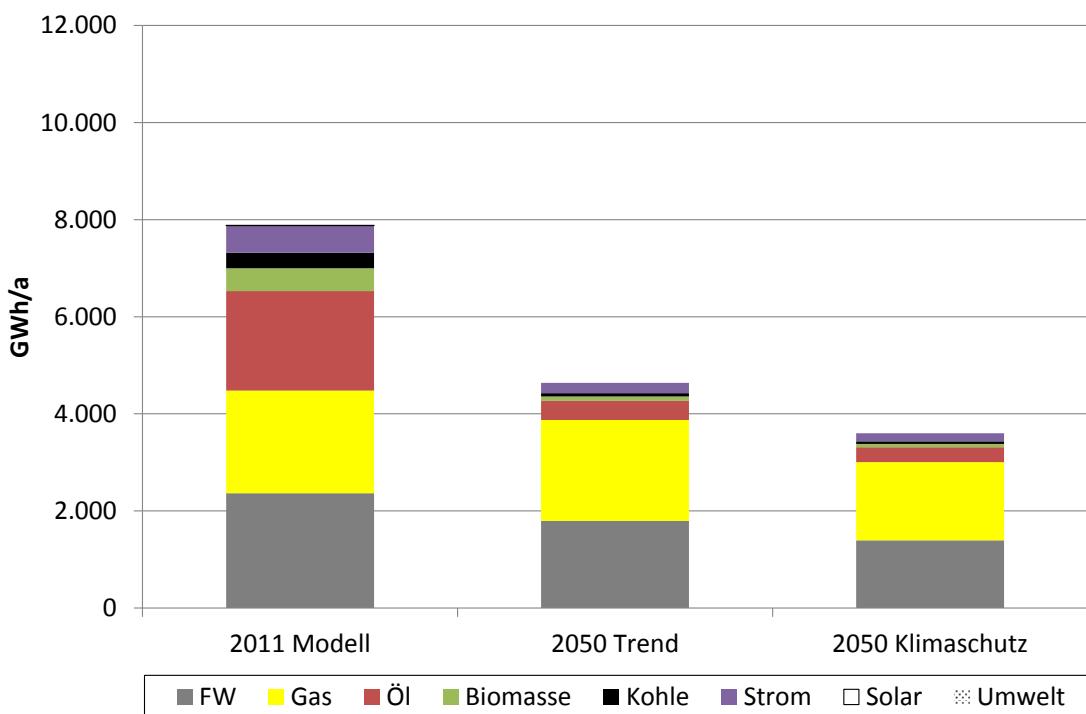


Abbildung 2.40: Entwicklung des EEV im Sektor GHD nach Energieträgern

2.5 Kälteversorgung

Abb. 1.3 auf Seite 6 zeigt, dass der den Kälteanwendungen zugeordnete Endenergieverbrauch in Sachsen im Vergleich zu Wärme und Strom sehr klein ist. Die Datenbasis zur Kälteversorgung ist entsprechend gering und teilweise unplausibel. Die sächsische Energiebilanz [1] weist beispielsweise für Kälte keinerlei Deckungsbeitrag durch Fernwärme aus (siehe Abb. 2.41), was jedoch nicht korrekt ist, da es mehrere mit Fernwärme betriebene Absorptionskältemaschinen in Sachsen gibt (z.B. DREWAG 20 MW, eins Energie in Sachsen 13,5 MW Sorptionskältemaschinen). Fernkälte wird als Energieträger in der Energiebilanz überhaupt nicht ausgewiesen.

Für die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Kälteanwendungen (nur Klimakälte) werden folgende Annahmen getroffen; dabei sind steigende Jahresarbeitszahlen der Kältemaschinen bereits berücksichtigt:

- Die Nutzung von Klimakälte in den Haushalten steigt im Szenario Trend im Jahr 2050 auf 5% des Wärmeverbrauchs im Jahr 2050, im Szenario Klimaschutz wird dieser Klimakälteverbrauch durch bauseitige Maßnahmen z.B. Verschattungseinrichtungen verhindert.
- Die Nutzung von Klimakälte im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen ist bereits relativ hoch, steigt im Szenario bis 2050 auf 120% des Verbrauch von 2011 an. Im Szenario Klimaschutz wird der Verbrauch durch Lastmanagement und bauseitige Maßnahmen konstant gehalten.
- Aufgrund sinkender Systemtemperaturen in der Wärmeversorgung wird es 2050 keine signifikanten Beiträge der sorptiven Kälteerzeugung geben. Stattdessen werden hocheffiziente Kompressionskältemaschinen eingesetzt, die überdies je bereitgestellter Kilowattstunde Kälte einen signifikant niedrigeren Rückkühlbedarf haben.

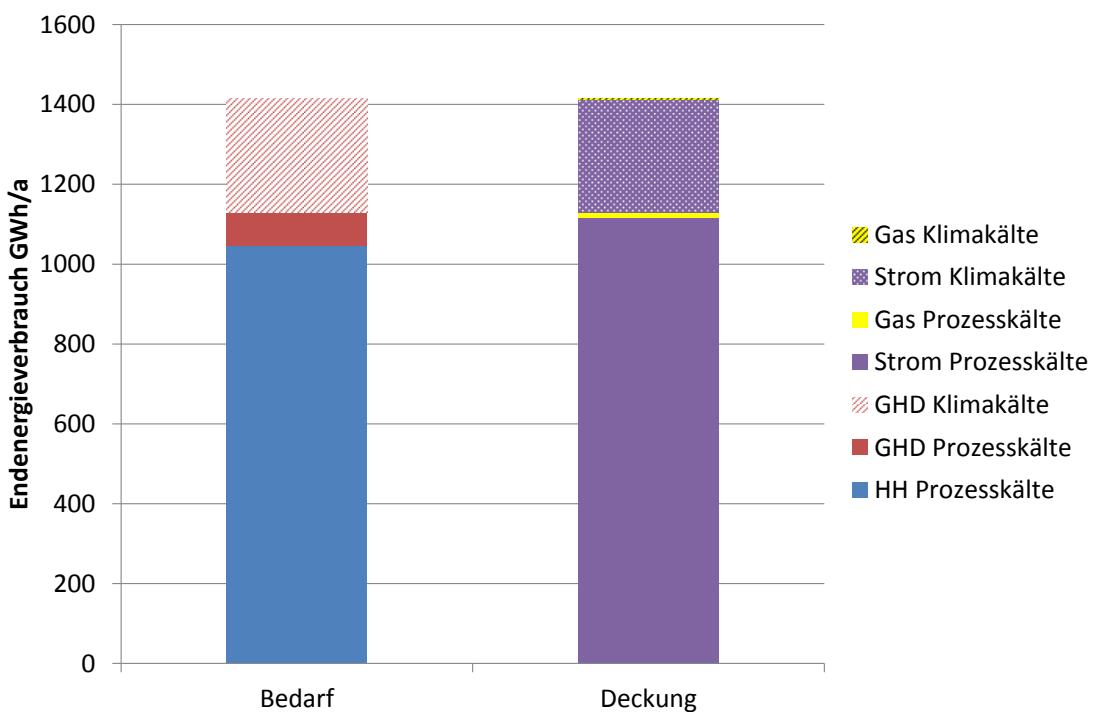


Abbildung 2.41: Zusammensetzung und Deckung des Kälteverbrauchs 2011, eigene Darstellung nach [1]

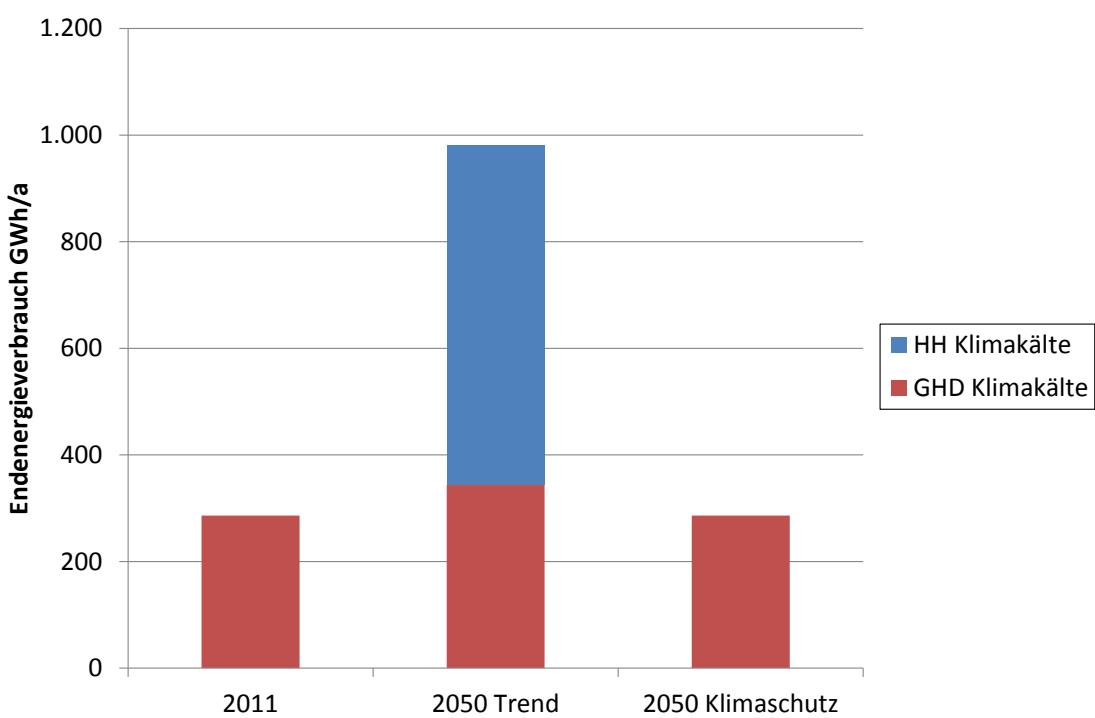


Abbildung 2.42: Entwicklung des Klimakältebedarfs in den Szenarien

2.6 Sektorübergreifende Zusammenfassung

Zusammenfassend ergibt sich die in Abbildung 2.43 dargestellte Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Haushalte und GHD jeweils für Raumwärme, Trinkwassererwärmung sowie Klimakälte, zusätzlich Prozesswärme im Sektor GHD. Dominant sind sowohl im Basisjahr 2011 als auch in den Szenarien Trend und Klimaschutz für 2050 die Bereiche Raumwärme und Trinkwassererwärmung. Die prozentualen Anteile Prozesswärme und Klimakälte sind marginal.

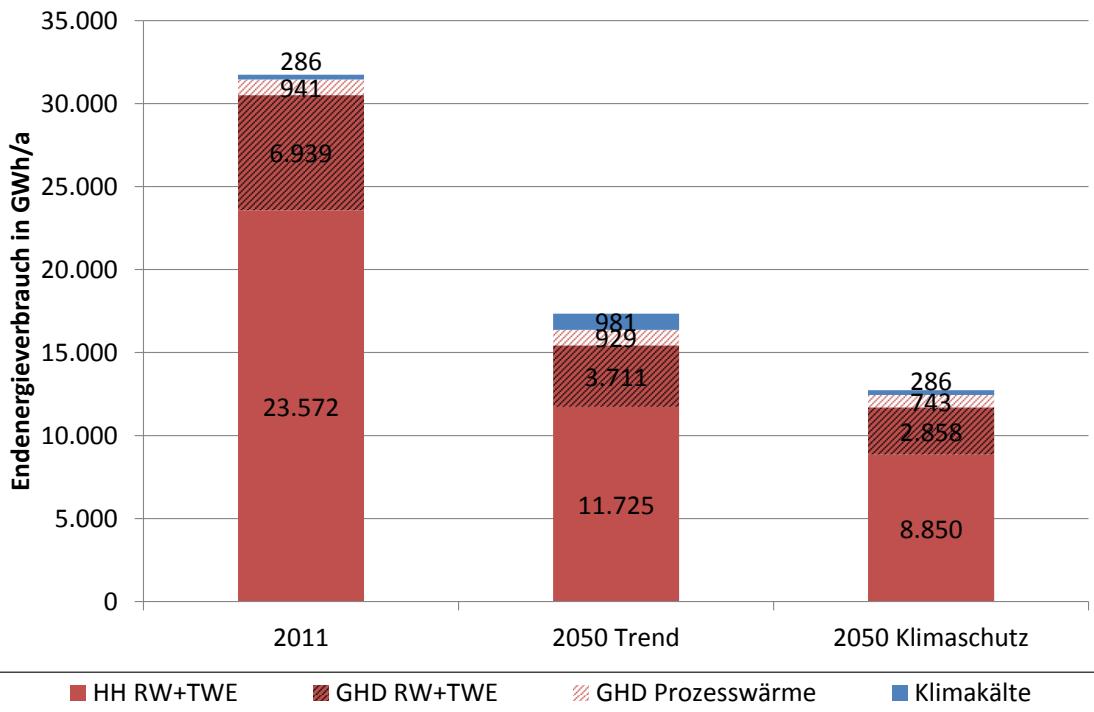


Abbildung 2.43: Entwicklung des EEV aller betrachteten Sektoren und Bereiche

Abb. 2.44 zeigt die summierte Energieträgerstruktur.

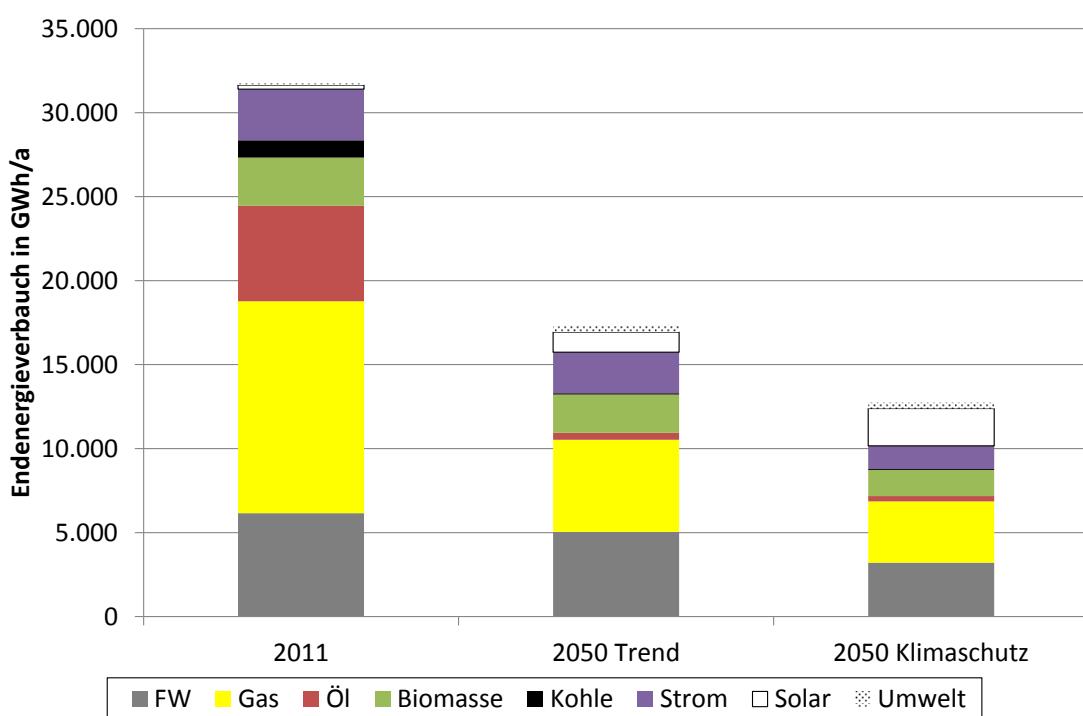


Abbildung 2.44: Entwicklung des EEV aller betrachteten Sektoren und Bereiche nach Energieträgern

3 DECKUNG DES ENDENERGIEVERBRAUCHS UND PRIMÄRENERGETISCHE EFFEKTE

3.1 Anteil erneuerbarer Energien an der zentralen Energiebereitstellung

3.1.1 Ausgangssituation

Bislang wurden ausschließlich die zur Senkung des Energieverbrauchs relevanten Maßnahmen betrachtet. Diese beinhalten sowohl die gebäudeseitigen Maßnahmen der Sanierung von Gebäudehülle und wärm 技术ischer Verteilanlage inkl. Erzeugerwechsel sowie die lokale, d.h. im örtlichen Zusammenhang mit den Gebäuden realisierte Einbindung von nicht-fossilen erneuerbaren Energiequellen. Alle diese unterschiedlichen und in gewissem Umfang auch voneinander unabhängigen Maßnahmen führen aber, wie aus Abb. 2.44 ersichtlich, nicht dazu, dass vollständig auf den Bezug von extern gelieferten Energieträgern für die Wärmeversorgung verzichtet werden kann. Es bleibt daher zu klären, wie die auch nach 2050 für die Wärmeversorgung erforderlichen leitungsgebundenen Energieträger **Fernwärme, Gas und Strom** bereitgestellt werden. Auch bei den diesbezüglichen Betrachtungen soll in die beiden Szenarien "Trend" und "Klimaschutz" unterschieden werden.

3.1.2 Strom

Die Zielvorgaben für den Energieträger Elektroenergie ("Strom") im Szenario Trend sind dem Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 [59] entnommen. Demzufolge wird bis 2050 ein Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von 80 % angestrebt. Aus o.g. Gründen soll im Rahmen dieser Studie vereinfachend angenommen werden, dass die zentral (d.h. zunächst einmal außerhalb des Bilanzkreises des Endverbrauchers) und über Transport- und Verteilnetze zur Verfügung gestellte Elektroenergie ebendiesen Anteil Erneuerbarer Energien aufweist. Da dieses Ziel ambitioniert erscheint, soll im Szenario "Klimaschutz" hier nur noch von einer darüber hinausgehenden weiteren Steigerung dieses Anteils auf dann 85 % ausgegangen werden. Diese Annahme deckt sich mit den Ergebnissen der dreijährigen Forschungsarbeit unter Federführung des DLR [14], der ebenso wie der hiermit vorgelegten Studie ein Bottom-up-Vorgehen zugrunde liegt. Dies bedeutet, dass für alle strombasierten Heizungssysteme (Elektrodirektheizung einschließlich Elektrospeicherheizung, sowie sämtliche Elektro-Wärmepumpen-Heizungssysteme), die in der Jahresbilanz zumindest zeitweise auf den Strombezug angewiesen sind auch 2050 ein Restanteil von 20 % (Trend) bzw 15 % (Klimaschutz) an nicht erneuerbaren Energieanteilen zu beziehen ist.

3.1.3 Gas

Potential für erneuerbare Anteile am Energieträger Gas ergeben sich aus den Power-to-Gas-Technologien, der biogenen Gaserzeugung mit Hilfe von Kleinorganismen wie Algen und der Methanisierung von Biomasse.

Power-to-Gas darf aufgrund des Wirkungsgrades nur zur Stromspeichung zum Einsatz kommen und ist daher im Zusammenhang dieser Studie nur interessant, wenn das Gas anschließend in einer KWK-Anlage wieder verstromt wird. Da der Wirkungsgrad der Umwandlungskette Power-to-Heat deutlich besser ist, ist das Potential für Power-to-Gas entsprechend niedriger anzusetzen. Biogene Gaserzeugung ist eine derzeit noch im Forschungsstadium befindlichen Technologie.

Das Potential für die Methanisierung von Biomasse ist erheblich und speist sich vor allem aus der energetischen Nutzung von zu diesem Zweck nachwachsenden Rohstoffen, Stroh und der Nutzung des Mahd von Grünland. Das Potential bei der Nutzung von Altholz und Biogenen Haushaltsabfällen ist hingegen ausgeschöpft. Nach [95] beträgt das Potential 15.083 GWh, was deutlich über den Gasverbräuchen in beiden Szenarios (5480 bzw. 3637 GWh/a) liegt.

Unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit wird bei der Gasversorgung im Szenario Trend daher ähnlich der FernwärmeverSORGUNG von einem 30 % Anteil erneuerbarer Energien ausgegangen. Auch im Szenario Klimaschutz werden nur 50% erneuerbarer Anteil im Gas angenommen, um den Nutzungskonkurrenzen bei der Forst- und Landwirtschaft Rechnung zu tragen. Wie die Darstellung zeigt, sind dazu Investitionen in die Entwicklung neuer Technologien notwendig.

3.1.4 Fernwärme

Der Anteil erneuerbarer Energiequellen an der Fernwärme wird sich auf die Säulen Solarthermie, oberflächennahe Geothermie und Umweltwärmennutzung mittels Wärmepumpen, Tiefen-Geothermie sowie die Nutzung von Biomasse und biogenen Gasen in Kraft-Wärme-Kopplung stützen. Zusätzlich sind die Wirkungen von Power-to-Heat und Power-to-Gas Komponenten aus abgeregelten erneuerbaren Strommengen zu betrachten. Die Definition von „Fernwärme“ umfasst im Folgenden auch üblicherweise als „Nahwärme“ bezeichnete Netze, eine Aussage zu den Betriebsparametern ist damit nicht verbunden.

Der Bundesverband Solarwirtschaft beziffert in seinem „Fahrplan Solarwärme“ [96] für 2030 die potentielle Kollektorfläche auf Sächsischen Wohngebäuden mit 4.723.000 m² (3,3 GW-peak), von denen schon 566.000 m² errichtet sind. Geht man von einem mittlere Ertrag von 400 kWh/m² aus, so ergibt sich damit ein Potential von knapp 1900 GWh/a. Dieses wird im Szenario Klimaschutz bereits über dezentrale Nutzung im Gebäude ausgeschöpft und steht somit für eine Einspeisung in die Nah- und Fernwärme nicht zur Verfügung, im Szenario Trend verbleiben 700 GWh/a ungenutztes Potential, welches für eine dezentrale Einspeisung in Nah- und Fernwärmennetze zur Verfügung stünde.

Im Fahrplan Solarwärme (Szenario „Forcierte Expansion“) wird die installierte Leistung an Solarkollektoren für die Einspeisung in Nah- und Fernwärme im Jahr 2030 auf eher pessimistische 1,2 GWpeak deutschlandweit prognostiziert. Legt man für 2050 die doppelte Kapazität und mittlere Vollaststunden einer solchen Anlagen von 570 h zu Grunde besteht hier für Sachsen¹ ein Potential von 55,4 GWh/a. Dabei wurde die aufgrund von PVT-Kombikollektoren zurückgehende Flächenkonkurrenz berücksichtigt.

¹von Deutschland auf Sachsen umgerechnet mittels des Anteils am Energieverbrauch

Für die tiefe Geothermie hat das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 2009 ein Rahmenkonzept vorgelegt[97]. Dieses beziffert das technische Potential für Wärme aus tiefer Geothermie in Sachsen auf 19.444 GWh/a.

Das Potential für Power-to-Heat wird auf abgeregelte Strommengen begrenzt. Diese betrugen im Jahr 2011 421 GWh, was einen Anteil von 0,9 % an der gesamten regenerativen Stromerzeugung bedeutet [98]. Dabei betrug der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung 2011 knapp über 20 %, davon deckten mit 13,2 % den Großteil die fluktuiierende Quellen Sonne und Wind ab [99]. Für 2050 strebt die Bundesregierung eine Senkung des Stromverbrauchs gegenüber 2008 um 25% an, der verbleibende Verbrauch soll zu 80% erneuerbar gedeckt werden. Rechnet man die abgeregelte Energie konservativ hoch und nimmt nach wie vor 1 % als Anteil der abgeregelten an der eingespeisten erneuerbaren Energie an, so ergibt sich hieraus ein Potential von 3145 GWh/a deutschlandweit und ein sächsischer Anteil¹ von 125 GWh/a. Bei einem steigenden Anteil fluktuiierender Energieträger an der Stromversorgung wird der anteil der abgeregelten Energie allerdings eher steigen. Die Studie von Agora [100] geht z.B. von 7,2% Überschüssen in einem Szenario mit 90 % Erneuerbaren Energien aus. Dies entspräche einem sächsischen Potential von 898 GWh/a. Die Studie des ISE [18] schätzt das Potential mit 6,4% etwas niedriger ein.

Nennenswerte Anteile des Potentials von Power-to-Heat werden zukünftig aber dezentral (siehe Seiten 65ff) genutzt und sind daher bereits im erneuerbaren Anteil des Energieträgers Strom bilanziert.

Es bestünde weiterhin die Möglichkeit das im Abschnitt 3.1.3 diskutierte Biogas zu verbrennen, wobei Kraft-Wärme-Kopplung zu bevorzugen wäre. Da dieses Potential nur einmal zur Verfügung steht, steht es über den Pfad des erneuerbaren Anteil im Gas zur Verfügung und wird für die Einspeisung in Fernwärme im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Die genannten Potentiale überschreiten insbesondere durch das extrem hohe Potential der tiefen Geothermie in Summe (22.644 GWh ohne Biogas) deutlich den für 2050 in beiden Szenarien prognostizieren Verbrauch an Fernwärme von 5043 GWh bzw. 3214 GWh. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wird aber in keinem der Szenarien die volle Ausschöpfung der Potentiale angenommen.

Auf Seiten der Fernwärme ist die Einbindung Erneuerbarer Energiequellen eine notwendige Konsequenz aus der sich unter gegenwärtigen Randbedingungen zunehmend schwieriger gestaltenden und wirtschaftlich kritisch zu sehenden fossil basierten Kraft-Wärme-Kopplung. Inwieweit hier durch zukünftige aus der Versorgungssicherheit des elektrischen Netzes resultierende bislang nicht nutzbare Vorteile zu erwarten sind, ist schwer abzuschätzen. Es ist aber zumindest nicht gänzlich undenkbar. In der Fortschreibung der derzeitigen Trends in der leitungsgebundenen zentralen Wärmeversorgung wird angenommen, dass bis 2050 ein Anteil der Erneuerbaren Energieträger in der Fernwärme von 30 % erreicht werden. Dazu zählen vor allem die Einbindung der Geothermie und solarer Wärme (entweder über große Freiflächen-Solarthermieanlagen als auch über dezentrale gebäudeseitige Einbindung solarer Überschüsse). Beide Technologien werden durch den allgemeinen Trend zur Absenkung von Netztemperaturen begünstigt, so dass die Effizienz der Technologien zur Erschließung der Erneuerbaren Energien weiter steigt. Als weitere Quelle für die Erneuerbare Energie in Fernwärmennetzen ist die direkte Umwandlung von Strom aus anderen Erneuerbare Energie-Anlagen wie beispielsweise Photovoltaik- oder Windenergieanlagen durch Nutzung der Power- to-Heat-Techniken zu sehen, wie sie u.a. im gegenwärtigen Koalitionsvertrag [61] angedacht sind. Mit der Aussage: "Die stark schwankende Einspeisung erneuerbarer Energien erfordert einen Ausgleich durch verschiedene Flexibilitätsoptionen, wie z. B. Lastmanagement, power-toheat und Spei-

cher. Um die erforderliche konventionelle Reservekapazität zuverlässig abschätzen zu können, wird die Koalition in den kommenden Jahren technisch und wirtschaftlich verfügbare Speicherpotenziale prüfen." wird deutlich, dass dazu verlässliche Prognosewerte erst zu erarbeiten sind.

Basierend auf diesen Überlegungen wurden folgende Annahmen für den Erneuerbaren Anteil in der FernwärmeverSORGUNG getroffen: Der für das Szenario Trend angenommene Anteil von 30% Erneuerbare Energien im Fernwärmebereich für 2050 bedeutet mehr als eine Verdopplung der im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) als Zielstellung propagierten 14% Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis zum Jahr 2020. Der im "Klimaschutz"-Szenarium anvisierte Wert von 80% erneuerbarer Energieanteile in der Fernwärme übernimmt den aus dem Stromsektor bereits im "Trend"-Szenarium bekannten Wert. Dieses ambitionierte Ziel erfordert eine konsequente Nutzung von geothermischem und Solarthermie-Potential sowie die Nutzung von Biomasse und biogenen Gasen und stösst damit ggf. an wirtschaftliche Grenzen.

3.1.5 Zusammenfassung

Es ist unbestreitbar, dass bei langfristigen Überlegungen zu möglichen oder erwarteten Energieträgerstrukturen die Unsicherheiten in der Vorhersage steigen und die entsprechenden Verlässlichkeiten der Aussagen sinken. Es wurden daher denkbare Energieträgerstrukturen beschrieben, deren Umsetzung nicht an technischen Grenzen scheitern wird. Das Setzen der entsprechenden energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist allerdings eine unbedingte Notwendigkeit für die praktische Realisierung.

Aus Abbildung 3.1 sind die für das Jahr 2050 angenommenen Anteile Erneuerbarer Energiequellen an den drei zentral bereitgestellten Endenergiesträgern Fernwärme, Gas und Strom aufgezeigt. Es ist zu erkennen, dass in beiden Szenarien "Trend" und "Klimaschutz" der zu erwartende Anteil Erneuerbarer Energien an den Energieträgern gegenüber dem derzeitigen Stand (2011) deutlich ansteigt.

3.2 Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch

Der regenerative Deckungsbeitrag ist der Anteil, den die Summe aus zentraler und dezentraler erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch des jeweiligen Szenarios decken kann. Er wird signifikant von den in der zentralen Strom-, Gas- und FernwärmeverSORGUNG erreichbaren erneuerbaren Anteilen geprägt. Im Szenario TREND werden dies 2050 bei Fortschreibung der jetzigen Ziele und Maßnahmen von Bundesregierung und Freistaat Sachsen nur moderate Anteile für Fernwärme und Gas sein (80% Strom, 30% Fernwärme, 30% Gas). Bei den verstärkten Aktivitäten im Szenario KLIMASCHUTZ sind deutlich gesteigerte zentrale regenerative Deckungsbeiträge möglich (80% Fernwärme, 50% Gas, 85% Strom), jedoch werden auch hier unter Berücksichtigung der Marktfähigkeit und der Nutzerakzeptanz 100% regenerativer Deckungsbeitrag nicht erreichbar sein. Aus der Überlagerung dieser zentralen erneuerbaren Anteile mit den herausgearbeiteten dezentralen ergeben sich die in den Abbildungen 3.2 bis 3.4 dargestellten Ergebnisse für die unterschiedlichen Sektoren.

Für den in Abbildung 3.2 nochmals separat ausgewiesenen Sektor der Haushalte ergibt sich im Szenario TREND für 2050 ein regenerativer Deckungsbeitrag von 58%. Im deutlich ambitionierteren Szenario KLIMASCHUTZ wird die Zielmarke von 100% WärmeverSORGUNG

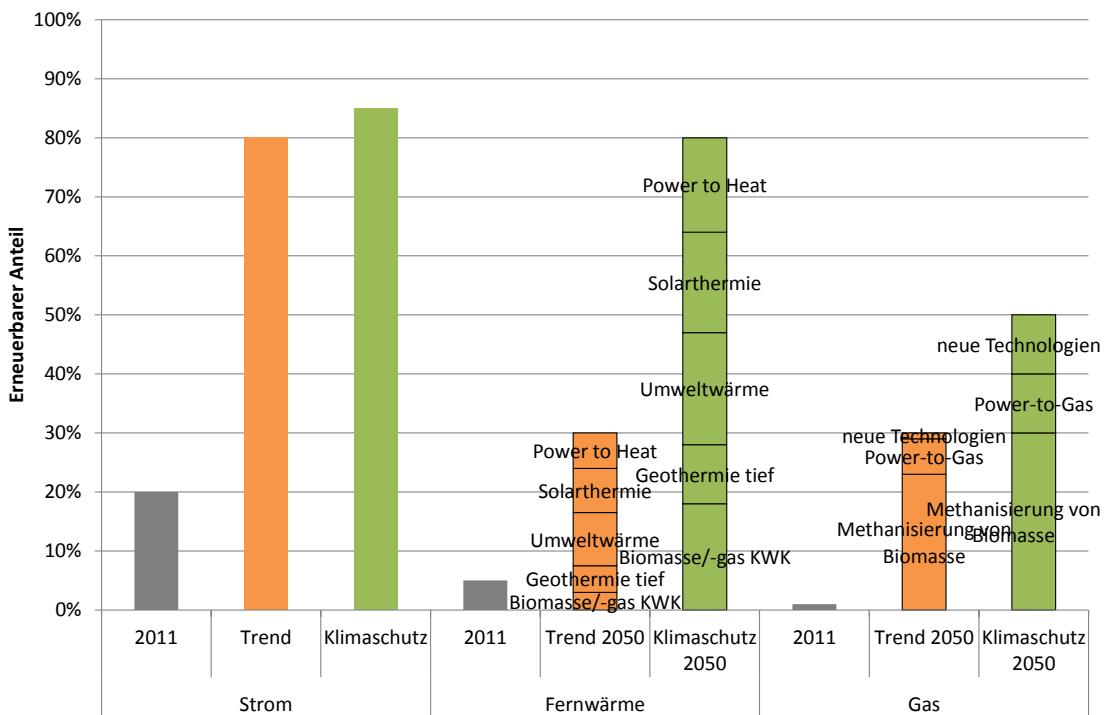


Abbildung 3.1: Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren an den zentral bereitzustellenden Energieträgern $\sigma_{EE,t}(a)$

aus erneuerbaren Energien im Jahr 2050 zwar verfehlt, jedoch mit 83 % regenerativem Deckungsbeitrag ein Ergebnis ausgewiesen, das heutige Prognosewerte für den Stromsektor erreicht.

Betrachtet man den Gesamtbereich Wärme- und Kälteversorgung für Haushalte sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen ergibt sich ein leicht abweichendes Bild (siehe Abb. 3.3 und 3.4). In Sachsen wird der Zielwert der Bundesregierung für 2020 von 14 % Anteil Erneuerbarer an der Wärme- und Kälteversorgung schon im Jahr 2011 fast erreicht. Dies liegt aber vor allem in dem nach wie vor hohen Anteil von konventionellen Holzheizungen in Sachsen begründet. Im Szenario TREND (3.3) wird mit 61 % ein leicht höherer (+3 %) Deckungsbeitrag ausgewiesen als bei reiner Betrachtung der Haushalte. Ursache ist der nicht zu vernachlässigende Anteil des Kälteverbrauchs, der vorzugsweise aus dem Stromnetz und damit zu 80 % regenerativ bedient wird. Im Szenario KLIMASCHUTZ fällt wie bereits dargestellt der absolute Rückgang des Endenergieverbrauchs auf 40 % des Wertes für 2011 deutlich höher aus als im Szenario TREND. Durch die ungünstigeren Bedingungen zur Nutzung dezentraler Erneuerbarer im Bereich der Wärmeversorgung von Gewerbe, Handel und Dienstleistungen fällt der regenerative Deckungsbeitrag mit 76 % im Szenario KLIMASCHUTZ für den Gesamtbereich zwar etwas geringer aus (-7 %) als für die Haushalte allein. Er liegt aber immer noch deutlich über dem Wert für das Trendszenario (+15 %).

$$\sigma_{HH,j,EE}(a) = \frac{EEV_{HH,j,EE}(a)}{EEV_{HH,j}(a)} \quad (3.1)$$

$$EEV_{HH,j,EE}(a) = EEV_{HH,j,EE_{dez}}(a) + EEV_{HH,j,EE_{zen}}(a) \quad (3.2)$$

$$EEV_{HH,j,EE}(a) = EEV_{HH,j,sol}(a) + EEV_{HH,j,Umwelt}(a) \quad (3.3)$$

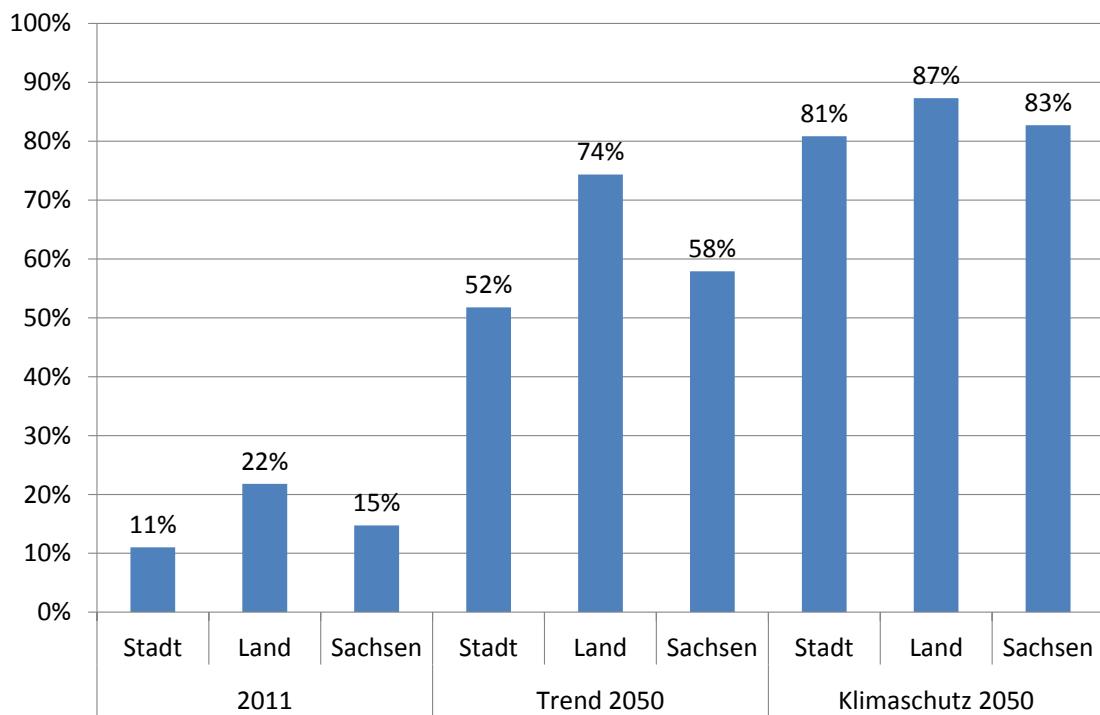


Abbildung 3.2: Vergleich der Entwicklung des regenerativen Anteils für die Wärmeversorgung der Haushalte

$$+ \sum_t \sigma_{t,EE}(a) * EEV_{HH,j,t}(a) \quad (3.4)$$

EEV...Endenergieverbrauch

σ_{EE} ...regenerativer Deckungsbeitrag

a...Jahr

j...Laufindex für Region

t...Laufindex für Energieträger

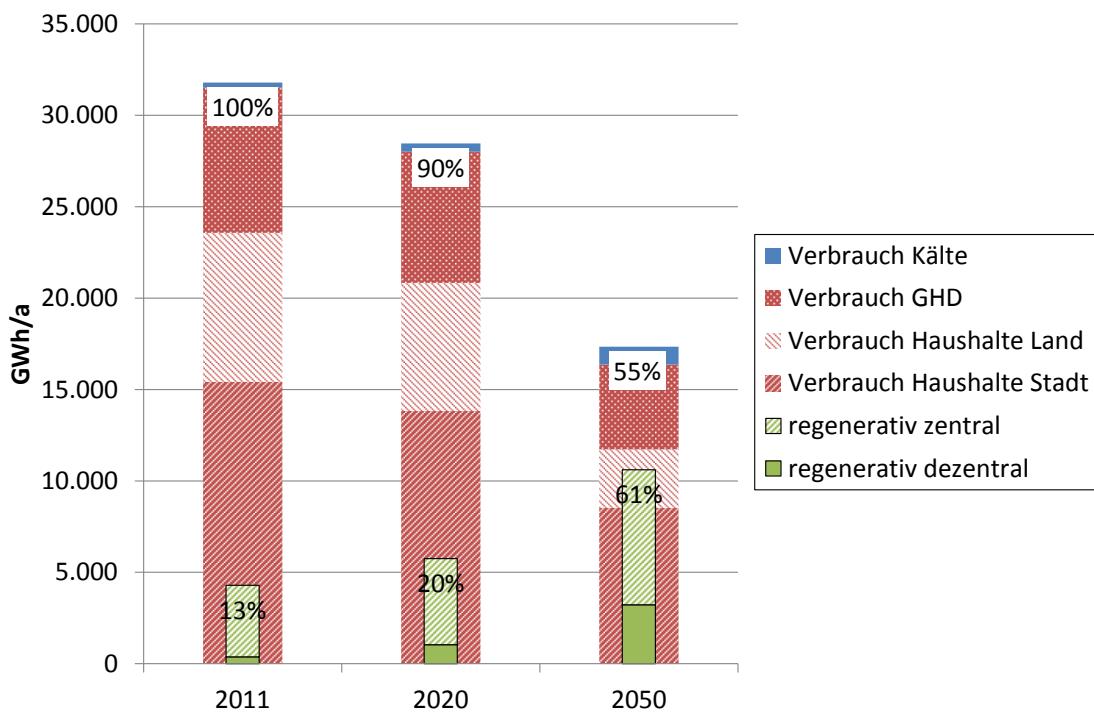


Abbildung 3.3: Szenario TREND - Entwicklung Endenergieverbrauch und regenerativer Anteil 2011-2050
Wärme- und Kälteversorgung für Haushalte und GHD Sachsen

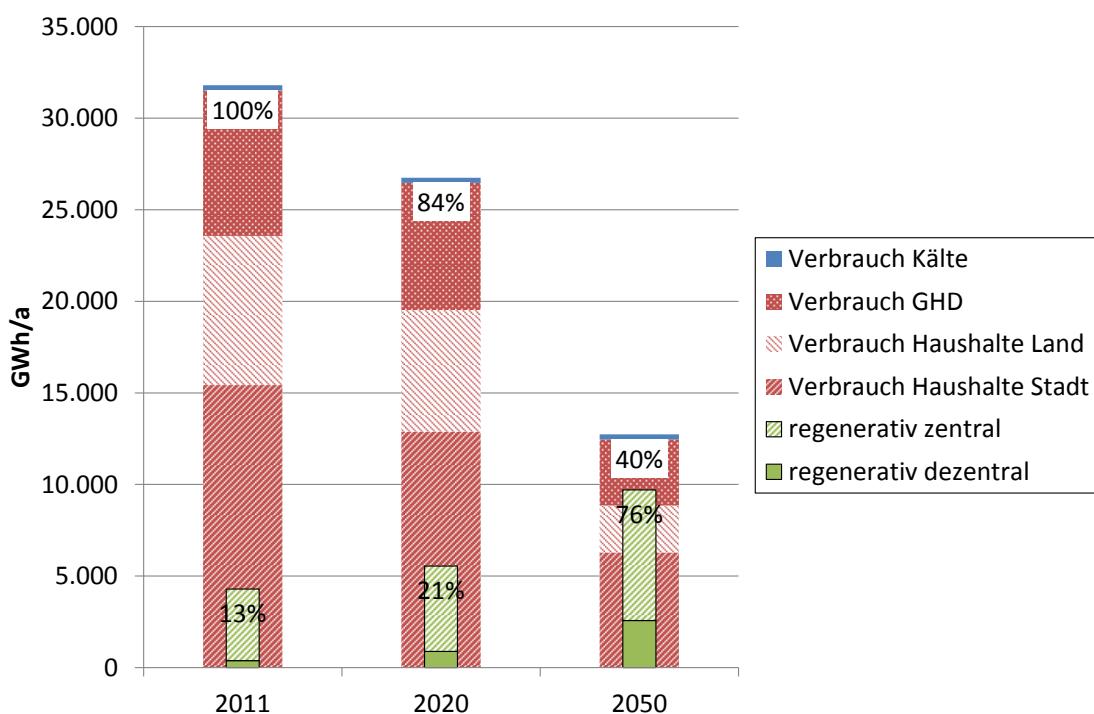


Abbildung 3.4: Szenario KLIMASCHUTZ Entwicklung Endenergieverbrauch und regenerativer Anteil 2011-2050 Wärme- und Kälteversorgung für Haushalte und GHD Sachsen

3.3 Primärenergetische Effekte

Die Berechnung des Primärenergieverbrauchs erfolgt mit Hilfe von PRIMÄRENERGIEFAKTOREN. Diese geben für verschiedene Energieträger an, welcher Aufwand an nichtregenerativer Primärenergie² nötig war, um diese dem Verbraucher als Endenergie bereitzustellen. Stark vereinfacht gesagt bedeutet dies am Beispiel Erdgas mit einem Primärenergiefaktor von 1,1: Es müssen 1,1 Kubikmeter Erdgas den Lagerstätten entnommen werden um dem Endverbraucher die Energie von einem Kubikmeter Erdgas an der Gebäudegrenze zur Verfügung zu stellen. Förderung, Aufbereitung, Speicherung, Transport und Verteilung benötigen also die Energie von 0,1 Kubikmeter Erdgas.

Diese Faktoren können sich ändern, im Wesentlichen durch Bereitstellung von Strom, Gas und Fernwärme aus erneuerbaren Quellen in die Netze. Primärenergiefaktoren sind für das Jahr 2011 aus der DIN-V-18599-1 [13] bekannt³. Für die Folgejahre werden sie analog zur Berechnungsgleichung für Stoffgemische bestimmt, wobei für den erneuerbaren Anteil der zentral bereitgestellten Energieträger ein Mittelwert von 0,1 in die Berechnungen einfließt. Der Primärenergiefaktor des nicht regenerativen Anteils für Strom, Gas und Fernwärme wird über die Jahre konstant angenommen, was für die Fernwärme voraussetzt, dass bei Erzeugung der Wärme in KWK, eine kritische Strommenge nicht überschritten wird, da ansonsten der Primärenergiefaktor des verdrängten Stroms anders anzusetzen wäre.

$$PEV = EEV * f_p \quad (3.5)$$

$$f_{p,t}(a) = \sigma_{EE,t}(a) \cdot f_{p,EE} + (1 - \sigma_{EE,t}(a)) \cdot f_{p,t,nreg} \quad (3.6)$$

$$f_{p,EE} = 0.1 \quad (3.7)$$

$$f_{p,t,nreg} = \frac{f_{p,t}(2011) - \sigma_{EE,t}(a) \cdot f_{p,EE}}{(1 - \sigma_{EE,t}(2011))} \quad (3.8)$$

PEV...Primärenergieverbrauch

f_p...Primärenergiefaktor

σ_{EE}...regenerativer Deckungsbeitrag

t...Laufindex für Energieträger

Es ergeben sich die in Abbildung 3.5 für die einzelnen Szenarien dargestellten Primärenergiefaktoren. Den dezentralen erneuerbaren Energieträger (Solarwärme, Umweltwärme) wird - wie in [13] vorgegeben - kein nicht-erneuerbarer Anteil an Primärenergie zugewiesen und diese sind daher nicht dargestellt. In der Abbildung finden sich auch Primärenergiefaktoren aus anderen Studien. Man erkennt zunächst, dass die meisten Studien diesen Wert nur für Strom angeben, nicht jedoch für andere Energieträger. Das Ergebnis der Studie des DLR [14], welche 2012 für die Bundesregierung erstellt wurde, stimmt mit dem dieser Studie nahezu überein. Der GdW [15] prognostiziert für seine Bestände deutlich konservativer. Bei der Studie [16], die im Auftrag der Stadt Zürich für die Schweiz angefertigt wurde, ist unklar ob der angegebene Primärenergiefaktor nur den nicht-regenerativen Anteil oder den gesamten Primärenergieverbrauch abbildet.

²teilweise wird auch in der Literatur die gesamte Primärenergie angegeben, dann ist der Primärenergiefaktor um eins erhöht

³Derzeit wird dieser nicht länderspezifisch angegeben, wäre jedoch für Sachsen infolge des Braunkohlenanteils höher.

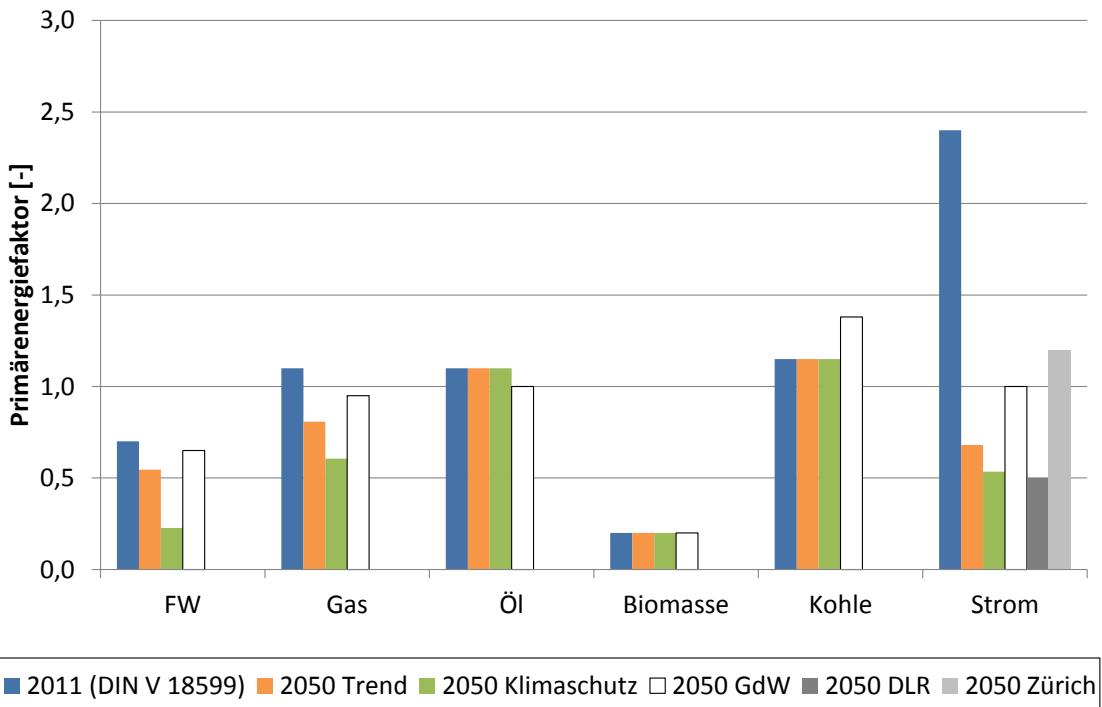


Abbildung 3.5: Primärenergiefaktoren eigene Darstellung mit Ergänzungen nach: [13, 14, 15, 16]

Abbildung 3.6 zeigt die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs PEV in beiden Szenarien vergleichend zu der des Endenergieverbrauchs EEV. Man erkennt, das der Primärenergieverbrauch im Jahr 2011 noch den Endenergieverbrauch übersteigt, da relativ wenig erneuerbare Energien im System sind. Dies stellt sich 2050 in beiden Szenarien entgegengesetzt dar. Die dezentralen Erneuerbaren tragen nicht zum Primärenergieverbrauch bei. Die Biomasse aufgrund ihres geringen Primärenergiefaktor ebenfalls kaum. Während der Endenergieverbrauch gegenüber 2011 auf 55 bzw. 40 % absinkt, fällt der Primärenergieverbrauch deutlich stärker: Es verbleiben 2050 nur 29 % des Primärenergieverbrauchs von 2011 im Szenario TREND im Szenario KLIMASCHUTZ sogar nur 13 %.

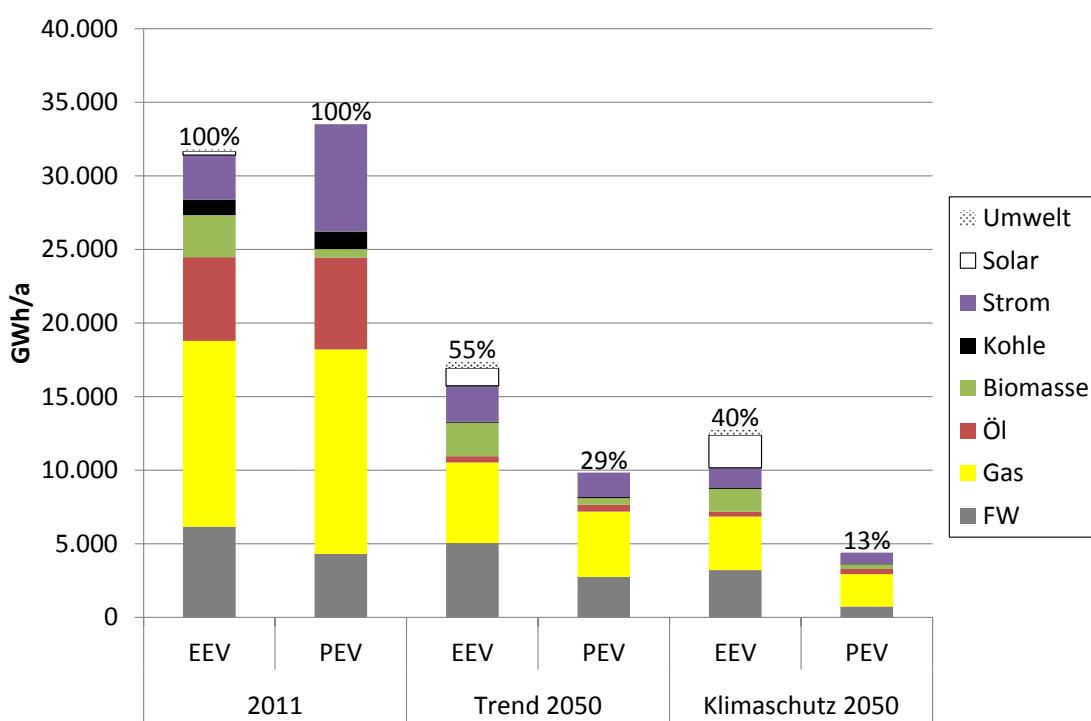


Abbildung 3.6: Endenergieverbrauch EEV und Primärenergieverbrauch PEV 2011 und in beiden Szenarien für Wärme- und Kälteversorgung Haushalte und GHD Sachsen

4 ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERFÜHRENDE MASSNAHMEN

4.1 Szenarien, Modellparameter und Bilanzgrößen

Szenarien

Ausgangspunkt für die Untersuchungen zu möglichen sächsischen Beiträgen zur Energiewende in der Wärmeversorgung bildet das Jahr 2011. Basierend auf den für dieses Jahr verfügbaren statistischen Daten und Versorgungsstrukturen für den Freistaat Sachsen wurden zwei Szenarien der Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumheizung, Trinkwasserwärmung sowie Kälteverbrauch bis zum Jahr 2050 für Sachsen entwickelt. Das Szenario TREND soll aufzeigen, was bei einfacher Fortschreibung der jetzigen Ziele und Maßnahmen von Bundesregierung und speziellen sächsischen Zielen eintritt. Im Gegensatz dazu wird das Zielszenario KLIMASCHUTZ teilweise rückwärts aufgebaut und zeigt ein Maßnahmenpaket auf, welches ein hohes Maß an Annäherung an eine 100 %ige erneuerbare Energieversorgung im Jahr 2050 gewährleistet und dabei trotzdem Nutzerakzeptanz und Marktfähigkeit im Blick hat.

Modellparameter

Die Szenarien unterscheiden sich bezüglich folgender Parameter:

- Sanierungsrate Gebäudehülle
- Sanierungsrate Anlagentechnik
- Rückbau-/Leerstandsrate
- Erzeugerpark 2050
- Erneuerbare Anteile in den Endenergiesträgern 2050

Tabelle 4.1: Zusammenfassung der wichtigsten szenarienunabhängigen Modellparameter (Input)

	szenarienunabhängig	
	urban	ländlich
Bevölkerungsprognose (Einwohner 2050 bezogen auf 2011)	86 %	58 %
Wohnfläche pro Einwohner (m ² /EW)	45	60
Sanierungsquote Denkmale	1 %/a	
Einsparung Endenergieverbrauch bei Sanierung von Denkmälern	20 %	

Die Tabellen 4.1 und 4.2 zeigen vergleichend die wesentlichen Parameter für die Modelle beider Szenarien. Differenzierte Annahmen sind lediglich die Rückbau/Leerstands- und

Tabelle 4.2: Zusammenfassung der wichtigsten szenarienabhängigen Modellparameter (Input)

	Szenario TREND		Szenario KLIMASCHUTZ	
	urban	ländlich	urban	ländlich
Rückbaurate*	0,2	0,9	0,2	2,5
Sanierungsrate Gebäudehülle*	1,0	1,1	2,2	1,9
Sanierung Anlage gesamter Bestand	einmal saniert bis 2050		einmal saniert bis 2033	
Endenergieverbrauch für Kälte im Sektor Haushalte	2050: 5 % des Wärmeverbrauchs		bauseits verhindert	
Endenergieverbrauch für Kälte im Sektor GHD	2050: 120 % des Wertes von 2011		2050 wie 2011	

* in % pro Jahr der Wohnfläche 2050

Sanierungsrationen sowie die Annahmen zur Entwicklung des Kälteverbrauchs. Im Klimaschutzszenario sind beide Raten gesteigert worden, d.h. jährlich sanierte bzw. rückgebaute oder leer stehende Flächen sind größer.

Bilanzgrößen

Die im Modell verwendeten wesentlichen Bilanzgrößen zeigt Abbildung 2.1. Als PRIMÄR-ENERGIE bezeichnet man in der Energiewirtschaft die Energie, die in der ursprünglich vorkommenden Energieform zur Verfügung steht d.h. unbehandelt und unveredelt. Man unterscheidet fossile, regenerative und mineralische (Uran) Energieträger. Fossile und mineralische Energieträger sind nach menschlichen Maßstäben endlich, regenerative nicht. Daraus ist auch der Verbrauch an nichtregenerativer Primärenergie eine übliche Bezugsgröße.

Primärenergie kann durch einen mit Verlusten behafteten Umwandlungsprozess in Sekundär-energie umgewandelt werden. Primär- oder Sekundärenergie wird nach Abzug von Übertragungsverlusten zu vom Verbraucher nutzbarer ENDENERGIE. Endenergieverbrauch ist die Energie, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, Trinkwassererwärmungsanlage, Kälteanlage etc.) beim Endverbraucher zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Rauminnentemperatur, die Erwärmung des Trinkwassers sowie die Kältebereitstellung über das ganze Jahr sicherzustellen und die in der Regel auch zu bezahlen ist. Beim Endverbraucher erfolgt noch eine wiederum verlustbehaftete Energieumwandlung in NUTZENERGIE zur Bereitstellung einer Energiedienstleistung (Wärme, Kälte aber z.B. auch Licht, Kraft, Mobilität). Diese Nutzbarmachung bedeutet zum Beispiel eine Umwandlung der elektrischen Energie oder der chemischen Energie von Brennstoffen in Wärme.

4.2 Ergebnis Wärmeversorgung Haushalte

Wohnfläche Die differenzierten Raten für Sanierung bzw. Rückbau/Leerstand führen zu einer szenarienspezifischen Zusammensetzung des Wohnflächenbestands im Jahr 2050 (siehe

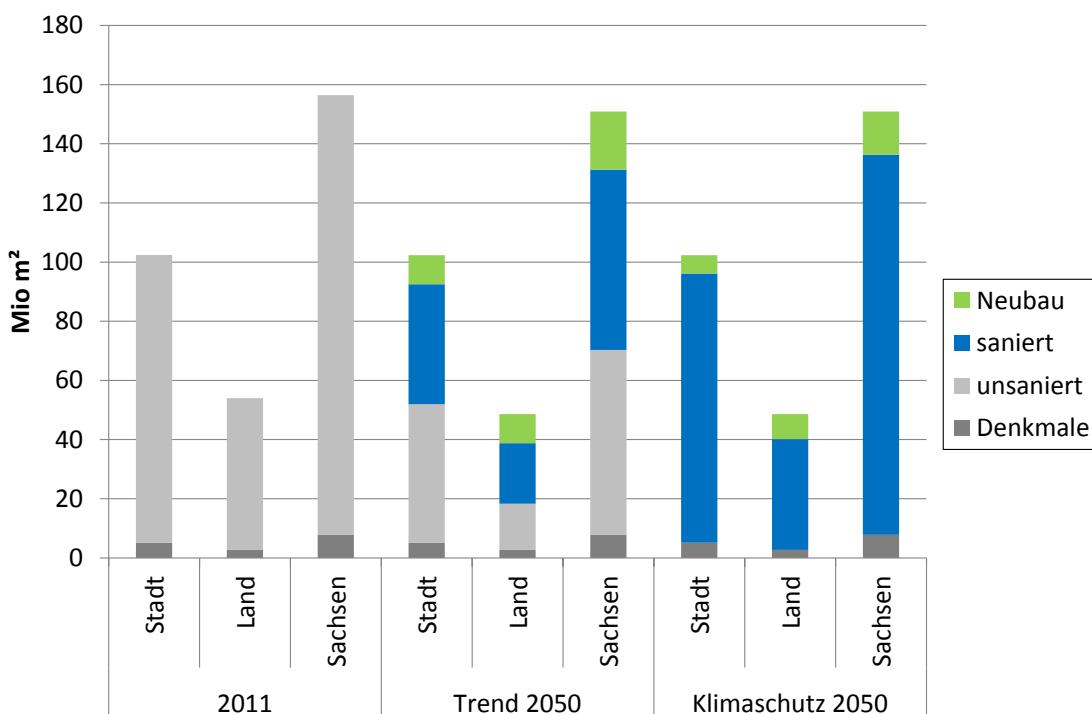


Abbildung 4.1: Vergleich der Wohnflächenverteilung 2011 und in beiden Szenarien

Abbildung 4.1¹). Während im Klimaschutzszenario keine seit 2011 unsanierte Wohnfläche verbleibt, ist dieser Anteil im Trendszenario erheblich. Daraus folgt ein deutlich differenzierterer Energieverbrauch des Gebäudebestandes.

Flächenbezogener Wärmeverbrauch Die spezifischen Werte pro Quadratmeter Wohnfläche sind vergleichend in Abbildung 4.2 dargestellt. Man erkennt, dass der Stellenwert der Trinkwasserwärmung steigt, obwohl der absolute Trinkwarmwasserverbrauch aufgrund des Bevölkerungsrückgangs sinkt. Der spezifische Verbrauch in urbanen Räumen liegt höher als jener in ländlichen Räumen. Dies liegt daran, dass im ländlichen Raum der Neubauanteil mit 20 % auf Grund der günstigeren Marktbedingungen doppelt so hoch liegt wie in der Stadt. Die Neubauaktivität bis 2025 und der danach folgende deutliche Rückbau bzw. Leerstand an Wohnflächen bewirken im ländlichen Raum diesen zunächst unerwartete Effekt.

Bzgl. der Anlagensanierung besteht im Jahr 2050 kein wesentlicher Unterschied zwischen den Szenarien, da beide Quoten so hoch sind, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums annähernd der gesamte Bestand saniert wird. Beide Szenarien ermöglichen eine vollständige Aus schöpfung dieses Potentials bis 2050. Im Szenario KLIMASCHUTZ wirken sich diese Effekte bereits ab 2033 im vollen Umfang emissionsmindernd aus.

Endenergieverbrauch Der Endenergieverbrauch der Haushalte sinkt bis zum Jahr 2050 auf 50 % im Szenario TREND bzw. 38 % im Szenario KLIMASCHUTZ². Tabelle 4.3 zeigt, dass dies im Wesentlichen aus der Sanierung der Gebäudehüllen und den damit sinkenden Transmissions- und Lüftungsverlusten resultiert. Der Bevölkerungsrückgang hat nur bzgl. des

¹ Im Bereich Denkmale wird in der Grafik nur aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in saniert und unsaniert differenziert. Im Modell sind gleiche Sanierungsquoten wie in anderen Bestandsgebäuden hinterlegt.

² alle Prozentangaben im Folgenden (wenn nicht anders angegeben) bezogen auf den Wert 2011

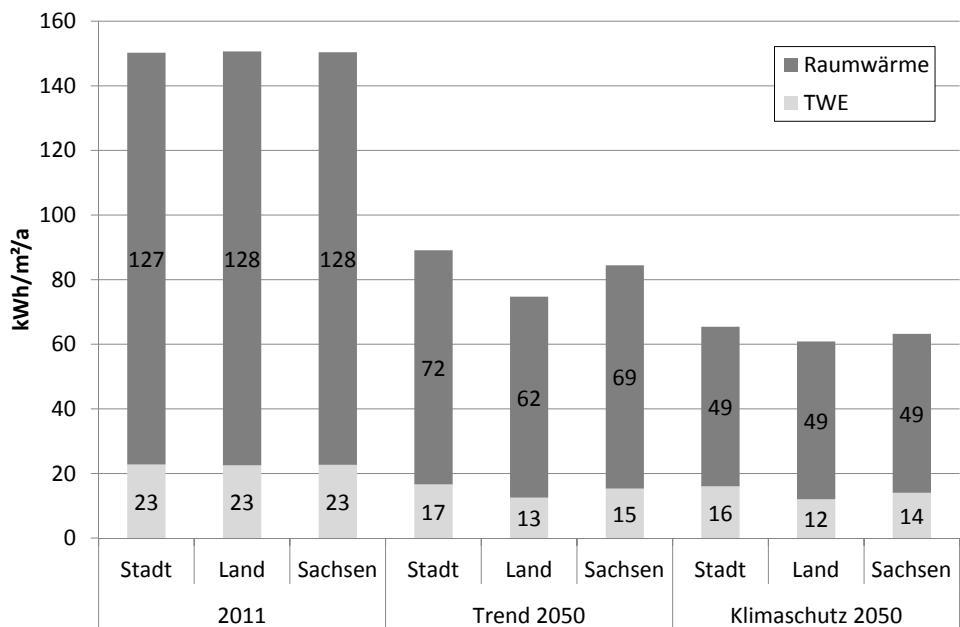


Abbildung 4.2: Entwicklung des durchschnittlichen spezifischen Endenergieverbrauchs der Haushalte

Trinkwarmwasserverbrauchs Einfluss. Der Trinkwarmwasserverbrauch sinkt - wie die Bevölkerung auf 76 %. Durch anlagenseitige Maßnahmen kann eine weitere Reduzierung des Endenergieverbrauchs um 11 % erreicht werden, sodass der Endenergieverbrauch für die Trinkwassererwärmung TWE in 2050 auf 65 % des Wertes von 2011 absinkt. Dies wirkt sich trotzdem auf den gesamten Endenergieverbrauch nur marginal aus, da der Anteil der TWE am gesamten Endenergieverbrauch 2011 lediglich 15 % betrug. Bzgl. des Raumwärmeverbrauchs hat der Bevölkerungsrückgang kaum eine verbrauchsmindernde Wirkung, da die Gesamtwohnfläche durch die steigende pro-Einwohner-Wohnfläche nur auf 96 % sinkt. Die Sanierung der Anlagen (ohne Sanierung der Erzeuger) bringt weitere sieben Prozentpunkte Einsparung. Dieser Wert ist zwar klein im Vergleich zu den Einsparungen durch die Sanierung der Gebäudehülle, jedoch erfordern diese Maßnahmen geringere Investitionskosten. Der absolute Einspareffekt (in GWh) dieser Maßnahmen ist auch größer, wenn man sie auf hüllenseitig unsanierte Gebäude anwendet. Der Erzeugerwechsel - effizienzverbessernd wirksam gleichermaßen auf den Endenergieverbrauch für Raumheizung und Trinkwassererwärmung - bringt im Vergleich gesehen mit vier Prozentpunkten die geringste Einsparung, ist jedoch zwingend erforderlich um überhaupt einen Wechsel in der Energieträgerstruktur zu realisieren. Hierüber werden insbesondere die Solarenergie und die Umweltwärme als dezentrale Erneuerbare ohne weitere Verluste in vorgelagerten Versorgungsnetzen aktiviert. Die Abbildung 4.3 zeigt, wie sich der Endenergieverbrauch der Haushalte in beiden Szenarien verändert. Obwohl der absolute jährliche Beitrag der dezentralen Erneuerbaren an der Endenergieverbrauchsdeckung gegenüber 2011 im Szenario TREND den 4,7-fachen Wert aufweist, wird damit erst ein prozentualer Anteil am Gesamtverbrauch 2050 von 14 % erreicht. Erst mit den verstärkten Aktivitäten im Szenario KLIMASCHUTZ können im sächsischen Mittel 29 % des Endenergieverbrauchs 2050 dezentral erneuerbar gedeckt werden.

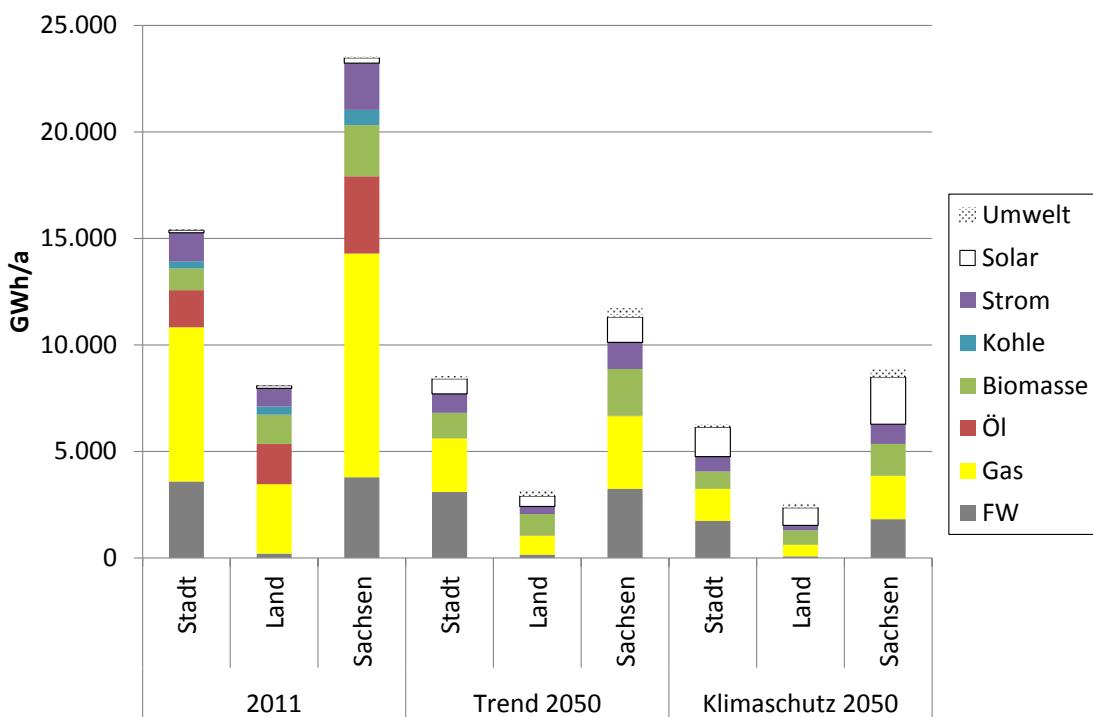


Abbildung 4.3: Vergleich des Endenergieverbrauchs der Haushalte Sachsen 2011 und in beiden Szenarien

Endenergieträger Neben der bereits beschriebenen Absenkung des absoluten Endenergieverbrauchs fällt die Verschiebung der Energieträger ins Auge (Abb. 4.4). Kohle und Öl sind bis 2050 als direkte Endenergieträger an der Bilanzgrenze Verbraucher vollständig aus dem Wärmemarkt verdrängt. Der Gasanteil sinkt deutlich, hingegen steigt die Bedeutung der dezentralen erneuerbaren Energie (Umwelt = Erdreich und Luft als Quelle für Wärmepumpen, Solar = Solarthermie und Photovoltaik zur Wärmeversorgung), der Biomasse und der Fernwärme (FW). Der Anteil des Stroms an der Wärmeversorgung bleibt annähernd gleich, wobei der absolute Betrag deutlich sinkt. Beide Szenarien unterscheiden sich neben dem absoluten Endenergieverbrauch im Wesentlichen durch den Anteil, den die Fernwärme und – wie bereits diskutiert – die dezentralen Erneuerbaren dazu beitragen. Zwischen Stadt und Land differiert hauptsächlich der Stellenwert der Nah- und Fernwärme, dieser ist auf dem Land deutlich geringer, wird dafür aber durch überproportional viel dezentrale erneuerbare Energie kompensiert.

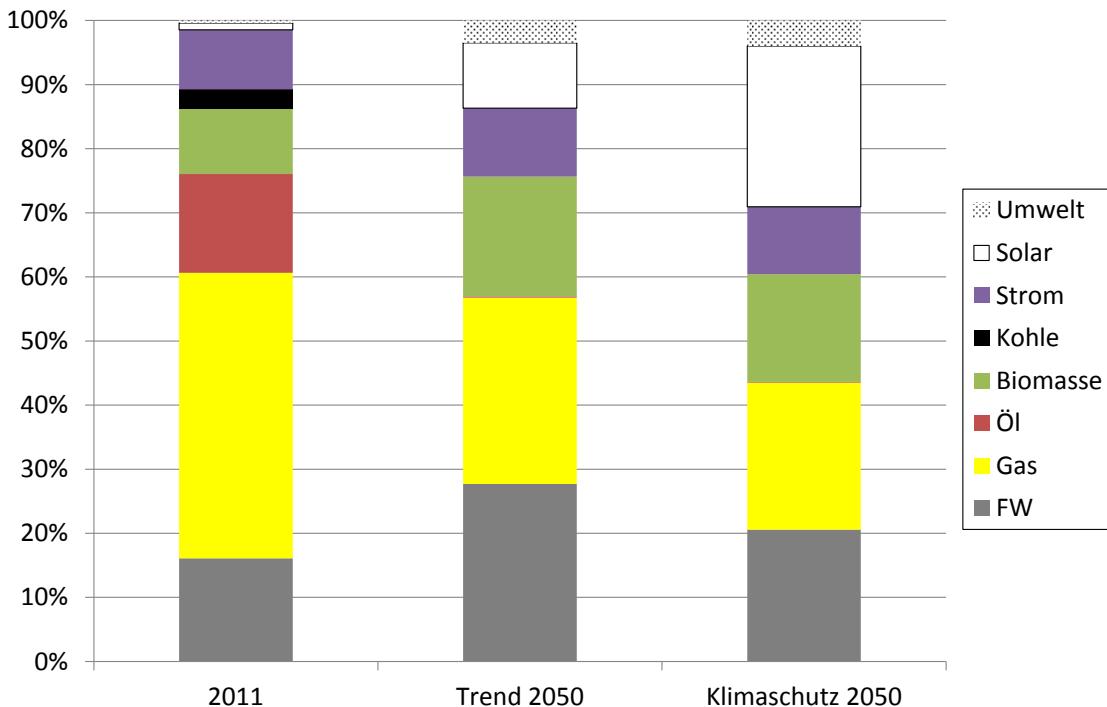


Abbildung 4.4: Anteile der Energieträger am Endenergieverbrauch der Haushalte Sachsens 2011 und in beiden Szenarien

4.3 Ergebnis Wärme- und Kälteversorgung sektorenübergreifend

Endenergieverbrauch

Bezieht man neben dem dominierenden Sektor der Wärmeversorgung der Haushalte auch den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie die Kälteversorgung beider Sektoren in die Betrachtungen ein, fällt das Endenergie-Einsparpotential etwas geringer aus, da insbesondere im Bereich Kälte bestenfalls mit einem konstant bleibenden Endenergieverbrauch gerechnet werden kann (s.a. Tabelle 4.3). Im Szenario TREND reduziert sich der Endenergieverbrauch gegenüber 2011 um 45 %. Das deutlich ambitioniertere Szenario KLIMASCHUTZ erreicht 60 %.

4.4 Ausblick und Weiterführende Maßnahmen

Definiert man die Ziele entsprechend des hier diskutierten Szenarios KLIMASCHUTZ, so ist im Gebäudebestand eine Verdopplung der jetzigen Sanierungsrate der Gebäudehülle unbedingt anzustreben. Dies ist zwingend mit Aktivitäten zur Sicherstellung der Sozialverträglichkeit sowie des Stadt- und Siedlungsbildes zu flankieren und erfordert Überlegungen auf politischer Ebene. Insbesondere der heterogenen Eigentümerstruktur ist bei der Ableitung konkreter Maßnahmen Rechnung zu tragen. Eine Lösung für das Mieter-Vermieter-Dilemma ist mit der Mietrechtsreform 2013 nur zum Teil auf den Weg gebracht, würde dem Sanierungsprozess sicherlich neuen Schwung verleihen. Ähnliches gilt für Maßnahmen, die den

Tabelle 4.3: Änderung des Endenergieverbrauchs 2050 im Vergleich zu 2011 durch verschiedene Maßnahmen

Änderung des Endenergieverbrauchs auf ... % des Wertes von 2011 durch ...		Trend	Klimaschutz
Sektor	Maßnahme		
Wärme Haushalte	Sanierung der Gebäudehülle	63 %	49 %
	... und Sanierung der Anlage	54 %	42 %
	... und Erzeugerwechsel	50 %	38 %
Wärme GHD	Sanierung Hülle, Anlage, Erzeugerwechsel	58 %	45 %
Kälte HH u. GHD	Sanierung Hülle, Anlage, Erzeugerwechsel	343 %	100 %
Gesamt HH u. GHD	Sanierung Hülle, Anlage, Erzeugerwechsel	55 %	40 %

HH - Haushalt; GHD - Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Erzeugerwechsel hin zu effizienteren und verstärkt dezentrale erneuerbare Energien nutzende Technologien (Solarenergie und Umweltwärme) befördern sollen. Diese tragen signifikant zu einem Wechsel der Energieträgerstruktur bei, der dringend geboten ist. Hier müssen einfach zugängige Förderinstrumente geschaffen werden, die es ermöglichen, den oft kurzfristig anstehenden Ausfall des Erzeugers als Chance zu nutzen. Anstatt des billigen Ersatzes in veralteter Technologie muss der Einbau fortschrittlicher Technologien attraktiv werden. Auch niedriginvestive Maßnahmen wie die Sanierung der Anlagentechnik (Tausch der Heizungspumpen, hydraulischer Abgleich) haben einen nennenswerte Effekt und sollten daher vorzugsweise bereits bis 2030 priorisiert werden.

Für einen Wechsel der Zusammensetzung der zentral bereitgestellten Energieträger sind andere Akteure anzusprechen. Dies sind lokale und regionale sowie bundesweit agierende Energieversorger bzw. Investoren von Wind- und Solarparks sowie Biogasanlagen.

Flankierend könnte in Sachsen ein Maßnahmenpaket geschnürt werden, das die nachfolgend beispielhaft zusammengestellten Aktivitäten des Bundes bzw. anderer Bundesländer aufgreift:

Gesetzgebungsinitiativen Neben Landesgesetzen wie z.B. dem Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg, sind Gesetzgebungsinitiativen auf Bundes- und Europaebene denkbar, die verstärkt auf den Gebäudebestand abzielen. Einige Bundesländer haben Vereinbarungen mit den Wohnungsunternehmen zu Sanierung und Erzeugerwechsel geschlossen.

Finanzielle Förderung Die Länder können hier eigene Mittel einsetzen, wie in Sachsen z.B. bei der Förderung von Brennstoffzellen für die dezentrale KWK geschehen, aber auch auf die Freigabe von Bundes- oder kommunalen Mitteln ist hinzuwirken. Die bereits angedachte „Abwrackprämie für Heizungen“ und Zuschüsse zu bzw. steuerliche Absetzbarkeit von energetischer Gebäudesanierung würden in diesem Bereich deutlicher Effekte erzielen.

Information, Marketing, Aufklärungsarbeit Informationskampagnen haben fast alle Bundesländer in ihre Programme aufgenommen, da diese sehr kostengünstig sind. Dazu gehört die finanzielle Förderung von Energieberatung, Pilotprojekten und von Smart-Metering als Anreiz für energiesparendes Verhalten. Die Bereitstellung von Solar-, Biomassepotential- und Abwärmepekatastern ist für potentielle Investoren hilfreich. Viele Länder hatten die Stärkung des Energieausweises als Qualitätskriterium bei der Auswahl von Wohnraum bereits vorweggenommen. Eine ähnliche Wirkung entfaltet die Ergänzung des Mietspiegels um die Nebenkosten.

Weitere Maßnahmen Weitere Angriffspunkte, um den Endenergieverbrauch zu senken, hat das Land als Bauherr und Eigentümer von Liegenschaften. Die aktuelle EnEV [54] sieht aus diesem Grund bereits verschärzte Anforderungen für öffentliche Bauherren vor. Viele Länder setzen außerdem verstärkt auf Forschungsförderung als gezielte Technologieförderung. Dies sollte für Sachsen auch den mittel- bis langfristigen Ausstieg aus der Braunkohleverstromung im Blick haben. Bei den Schlüsseltechnologien der Energiewende, z.B. Speicher besteht nach wie vor hoher Forschungsbedarf. Dies betrifft nicht nur Speicher für Elektroenergie, sondern besonders auch solche für thermische Energie, welchen im Zusammenhang mit Power-to-Heat erhöhte Aufmerksamkeit zukommen wird.

A FORMELWERK UND ZAHLENWERTE

$$EEV_{\text{fiktiv,a}} = \sum_v \sum_w (q_{\text{Trans},v,w} + q_{\text{Vent},v,a}) * A_{v,w,a} * f_{\text{Anlage}} \quad (\text{A.1})$$

$$q_{\text{Vent},v,a} = \frac{V_m}{A_m} * c_{p,\text{Luft}} * \rho_{\text{Luft}} * G_a * (n_{\text{Inf},v} + n_{\text{akt}} * (1 - f_{\text{WRG}})) \quad (\text{A.2})$$

$$q_{\text{Trans},v,w} = G_a * u_{v,w} * \frac{A_{\text{hüll},v,w}}{A_{v,w}} \quad (\text{A.3})$$

$$u_{v,w} = \sum_u f_{u,v,w} * \lambda_u \quad (\text{A.4})$$

$$f_{u,v,w} = \frac{A_{\text{hüll},u,v,w}}{A_{\text{hüll},v,w}} \quad (\text{A.5})$$

$$f_{F,v,w} = f_{\text{AW/F},v} * \sigma_{\text{Fenster},v} \quad (\text{A.6})$$

$$f_{\text{AW},v,w} = f_{\text{AW/F},v} - f_{F,v,w} \quad (\text{A.7})$$

q...flächenbezogener Energieverbrauch

V...Volumen

A...Fläche

c_p...Wärmekapazität

ρ...Dichte

GTZ...Gradtagszahl

n...Luftwechselzahl

f_{WRG}...Wärmerückgewinnungsfaktor

u...Wärmedurchgangskoeffizient

λ...Wärmeleitwert

a...Laufindex für Jahr

v...Laufindex für Baualtersklasse

w...Laufindex für Gebäudetyp

u...Laufindex für Bauteil

Tabelle A.1: Verschiedene Annahmen zur Berechnung des fiktiven Energieverbrauchs nach Gl. A.1ff

spezifische Verteilungsverluste: $q_{\text{Vert},w}$ siehe [80]

Wohnfläche in den Gebäudetypen: $A_{v,w,a}$ siehe [9]

Verhältnis Wohnfläche und umbautes Volumen: $\frac{V_m}{A_m} = 2.5\text{m}$

Gradtagszahl: $G_{2011} = 3463 \text{ Kd/asi}$ siehe [101]

Luftwechsel: $n_{\text{akt}} = 0.6$

Wärmerückgewinnungsfaktor: $f_{\text{WRG}} = 0$

Tabelle A.2: Annahmen zum Verhältnis Hüll- zu Wohnfläche

Verhältnis von Hüll- zu Wohnfläche $\frac{A_{hüll,v,w}}{A_{v,w}}$	Baualtersklasse v										
	bis 1860	1861	1919	1949	1958	1969	1979	1984	1995	2002- 2009	
Gebäude- typ w	EFH	1,7	2,0	1,9	2,8	2,0	2,8	1,8	2,7	2,6	2,5
	RH	1,2	1,7	1,4	2,3	1,2	1,9	1,9	1,4	1,4	2,2
	MFH	1,6	0,9	2,0	2,1	1,4	1,9	1,6	1,9	1,5	1,3
	GMH	1,2	0,8	1,2	1,6	1,2	1,2	1,1	1,3	1,1	1,0

Tabelle A.3: Annahmen zur Infiltration und zum Fensterflächenanteil

	Baualtersklasse v									
	bis 1860	1861	1919	1949	1958	1969	1979	1984	1995	2002- 2009
Luftwechselzahl durch ungewollte Infiltration $n_{inf,v}$	0,10	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05
Fensteranteil an der Außenwandfläche $\sigma_{Fenster,v}$	10%	1%	9%	13%	14%	16%	17%	18%	19%	30%

Tabelle A.4: Annahmen zum Anteil der Bauteile an der Hüllfläche

Anteil des Bauteils an der Gebäudehülle $f_{u,v,w}$	Bauteil u				
	Fußboden/ Kellerdecke FB/KD	Dach / Oberste Ge- schossdecke Dach/OGD	Zwischen- wand (zw. Reihenhäu- sern) ZW	Außenwand incl. Fenster AWF	
Gebäude- typ w	EFH	20%	20%	3%	57%
	RH	17%	17%	25%	41%
	MFH	13%	13%	23%	51%
	GMH	7%	7%	21%	65%

Tabelle A.5: Annahmen zum Wärmeleitwert der Bauteile

	Bauteil u				
	Fußboden/ Kellerdecke FB/KD	Dach/ OGD	Zwischen- wand ZW	Außenwand AW	Fenster F
Wärmeleitwert des Bauteils λ_u in $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$	0,16	0,18	0,03	0,13	0,7

$$A_{NB,a} = \max(A_a - A_{uns,a} - A_{san,a} - A_D; A_{NB,a-1}) \quad (A.8)$$

$$a_{RB,a,e} = \max(A_{uns,2010,e} * r_{RB,e}; A_{uns,a-1,e}) + a_{RB,Z,a,e} \quad (A.9)$$

$$a_{RB,Z,uns,a,e_{akt}} = \min \left(a_{RB,Z,a} - \sum_{e=e_{max}}^{e_{akt}} a_{RB,Z,uns,a,e}; A_{uns,a,e_{akt}} \right) \quad (A.10)$$

$$a_{RB,Z,uns,a} = \sum_e a_{RB,Z,uns,a,e} \quad (A.11)$$

$$a_{RB,Z,san,a,e_{akt}} = \min \left(a_{RB,Z,a} - a_{RB,Z,uns,a} - \sum_{e=e_{max}}^{e_{akt}} a_{RB,Z,san,a,e}; A_{san,a,e_{akt}} \right) \quad (A.12)$$

$$a_{RB,Z,a} = A_{uns,a} + A_{san,a} + A_{NB,a} + A_D - A_a \quad (A.13)$$

$A_{NB,a}$...kummulierte Neubaufläche

$A_{uns,a}$...kummulierte unsanierte Fläche

$A_{san,a}$...kummulierte sanierte Fläche

A_D ...Fläche der Denkmale

a_{RB} ...jährlich rückgebaute/leerstehende Fläche

r_{RB} ...Rückbau- und Leerstandsrate

a ...Laufindex für Jahr

e ...Laufindex für Energieverbrauchsklasse

$$EEV_{j,k,m,n}(a) = EEV_{ohne,j,k,m,n}(a) - f_{j,k,m,n}(a) \quad (A.14)$$

$$* (E_{sol,sek,j,k,m}(a) + E_{kam,sek,j,k,m}(a))$$

$$f_{j,k,m,n}(a) = \frac{EEV_{ohne,j,k,m,n}(a)}{EEV_{mit,j,k,m}(a)} \quad (A.15)$$

$$EEV_{mit,j,k,m}(a) = EEV_{ohne,j,k,m}(a) - E_{sol,sek,j,k,m}(a) - E_{kam,sek,j,k,m}(a) \quad (A.16)$$

$$E_{sol,sek,j,k,m}(a) = EEV_{ohne,j,k,m}(a) * \sigma_{sol,j,k,m}(a) \quad (A.17)$$

$$E_{kam,sek,j,k,m}(a) = EEV_{ohne,j,k,m}(a) * \sigma_{kam,j,k,m}(a) \quad (A.18)$$

$$EEV_{ohne,j,k,m,n}(a) = \frac{A_{j,k,m,n}(a) * q_{nutz,j,k,m}(a)}{\eta_n(a)} \quad (A.19)$$

$$q_{nutz,j,k,m}(a) = q_{j,m}(a) * f_{j,k}(a) * \eta_{2011,j,k,m} \quad (A.20)$$

EEV ...Endenergieverbrauch

A ...Wohnfläche

q ...flächenbezogener Energieverbrauch

η ...Jahresnutzungsgrad/Jahresarbeitszahl

j ...Laufindex für Region

k ...Laufindex für Haustyp

m ...Laufindex für Energieverbrauchsklassengruppe

n ...Laufindex für Erzeuger

Tabelle A.6: Erzeugerbestand 2011 angepasst für Sachsen

		Wärmebedarf (kWh/m ² ·a)						Wärmequellen						Wärmeabfuhr		Wärmeverbrauch		
		Wärmebedarf			Wärmequellen			Wärmeabfuhr			Wärmeverbrauch			Wärmeabfuhr	Wärmeverbrauch	Wärmeabfuhr	Wärmeverbrauch	
		EZFH	MFH	Land	EZFH	MFH	Land	EZFH	MFH	Land	EZFH	MFH	Land	EZFH	MFH	Land	EZFH	MFH
Stadt																		
	EZFH	<20	1%	23%	26%	0%	0%	0%	16%	3%	0%	3%	2%	25%	0%	0%	0%	
		20<...<100	2%	22%	25%	0%	0%	0%	15%	3%	5%	2%	1%	25%	0%	0%	0%	
		>100	3%	26%	28%	0%	0%	0%	16%	9%	3%	0%	0%	14%	0%	0%	0%	
MFH		<20	23%	26%	28%	0%	0%	0%	10%	1%	0%	1%	0%	10%	0%	0%	0%	
		20<...<100	23%	23%	30%	0%	0%	0%	10%	1%	3%	1%	0%	9%	0%	0%	0%	
		>100	38%	21%	24%	0%	0%	0%	9%	2%	1%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	
Land																		
	EZFH	<20	1%	17%	20%	0%	0%	0%	24%	5%	1%	4%	7%	21%	0%	0%	0%	
		20<...<100	1%	17%	20%	0%	0%	0%	24%	5%	8%	2%	3%	21%	0%	0%	0%	
		>100	1%	19%	22%	0%	0%	1%	26%	15%	5%	0%	0%	11%	0%	0%	0%	
MFH		<20	2%	25%	37%	0%	0%	0%	20%	2%	0%	1%	2%	11%	0%	0%	0%	
		20<...<100	9%	17%	36%	0%	0%	0%	20%	2%	5%	0%	1%	10%	0%	0%	0%	
		>100	11%	24%	34%	0%	0%	1%	18%	5%	3%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	

Tabelle A.7: TREND Erzeugerbestand 2050

		EZFH		MFH		Land		ST/PV				
		<20		20...<100		>100		>20				
		Gas-BW	Gas-WP	Gas-BHKW	Gas-Nicht-BW	ÖL-BW	ÖL-Nicht-BW	Biomasse	Kohle	WP el. Sole/Wasser	WP el. Luft	direkt elektrisch
		kWh/m ² .a										
Stadt	EZFH	7%	30%	0%	3%	0%	0%	5%	0%	10%	13%	24%
		8%	40%	0%	1%	0%	0%	6%	0%	3%	8%	29%
	>100	18%	46%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	1%	1%	15%
MFH	<20	46%	29%	0%	3%	0%	0%	2%	0%	2%	3%	11%
	20...<100	49%	33%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	1%	1%	12%
	>100	65%	26%	0%	0%	1%	0%	4%	0%	0%	0%	4%
Land	EZFH	2%	20%	0%	8%	0%	0%	6%	0%	16%	21%	13%
		3%	28%	0%	6%	0%	0%	9%	0%	10%	15%	21%
	>100	8%	31%	0%	5%	5%	1%	0%	34%	0%	5%	10%
MFH	<20	5%	37%	0%	12%	0%	2%	0%	4%	0%	6%	11%
	20...<100	11%	40%	0%	11%	3%	1%	0%	4%	0%	3%	5%
	>100	15%	44%	0%	10%	10%	1%	0%	11%	0%	1%	6%

Tabelle A.8: KLIMASCHUTZ Erzeugerbestand 2050

		ST/PV									
		direktelektrisch					WP el Sole/Wasser				
		WP el Luft					Kohle				
		Biomasse					WP el Sole/Wasser				
		O-L-BW					Kohle				
		O-L-Nicht-BW					WP el Sole/Wasser				
		Gas-BHKW					Kohle				
		Gas-WP					WP el Sole/Wasser				
		Gas-Nicht-BW					Kohle				
		FW					WP el Sole/Wasser				
		kWh/m ² ·a					Kohle				
Stadt	EZFH <20	7%	26%	0%	3%	0%	0%	0%	5%	0%	12%
	20<...<100	8%	37%	0%	1%	0%	0%	0%	6%	0%	3%
	>100	18%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	1%
MFH	EZFH <20	46%	24%	0%	3%	0%	0%	0%	2%	0%	2%
	20<...<100	49%	28%	0%	1%	0%	0%	0%	2%	0%	1%
	>100	65%	23%	0%	0%	1%	0%	0%	4%	0%	0%
EZFH	EZFH <20	2%	20%	0%	8%	0%	0%	0%	6%	0%	16%
	20<...<100	3%	28%	0%	6%	0%	0%	0%	9%	0%	10%
	>100	8%	26%	0%	5%	1%	0%	0%	34%	0%	5%
Land	EZFH <20	5%	34%	0%	12%	0%	2%	0%	4%	0%	6%
	20<...<100	11%	39%	0%	11%	3%	1%	0%	4%	0%	3%
	>100	15%	39%	0%	10%	10%	1%	0%	11%	0%	1%

B ENERGIEPROGRAMME DER LÄNDER

Für diese Studie wurden die Energiekonzepte aller deutschen Bundesländer recherchiert. Weiterführende Aussagen zum Abschnitt 1.7, auch zu den zu Grunde liegenden wissenschaftlichen Studien und ggf. weiteren konkurrierenden Studien finden sich im Folgenden. Die Zusammenstellung ist stichpunktartig und mit Fokus auf Verknüpfungen zum Wärmemarkt erstellt. Sie erhebt deshalb nicht den Anspruch ein Exzerpt der genannten Quellen zu sein.

B.1 Baden-Württemberg

- 2009 Energiekonzept Baden-Württemberg 2020[102]
 - umfassende Betrachtung des Zielvierecks, auch Aspekt der Versorgungssicherheit
 - 2020 ist 16% der Wärme erneuerbar, Verteilung auf die Energieträger angegeben, aber abgesehen vom IST-Stand keine weiteren Infos zur Herkunft dieser Annahmen
- 17.2.2011 Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg 2020Plus [85]
 - Fokus auf vielen konkreten Maßnahmen
 - deutliche Bedarfssenkung wird auch angesetzt
- 27.3.2011 Regierungswechsel hin zu Kretschmann
- Sept 2011 ZSW Gutachten „Erneuerbare Energien und Energieeffizienz in Baden-Württemberg - Sachstand und Entwicklungsperspektiven“ [103]
- Dezember 2012 ZSW „Gutachten zur Vorbereitung eines Klimaschutzgesetzes für Baden-Württemberg“ [104]
- Juli 2013 Klimaschutzgesetz
- zu dessen Umsetzung: Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK), das konkrete Strategien und Maßnahmen enthält [105]
 - 2020: 12%; 2030: 36%; 2050: 89% erneuerbare Wärme, basierend auf ZSW Gutachten 2011
 - Maßnahmen bzgl. Wärme sind zahlreich und umfänglich beschrieben
- Wärme wird bei allen Konzepten angemessen berücksichtigt

B.2 Bayern

- Bayerisches Energiekonzept „Energie innovativ“ [106]

B.3 Bremen

Studie des BET, BEI und Wuppertal Instituts im Auftrag des Senats [107] mündete 2009 im Klimaschutz- und Energieprogramm 2020 [75]

- Fokus auf CO₂, Erneuerbare werden gar nicht extra ausgewiesen
 - Erneuerbarer Ausbau nur für Strom
 - Maßnahmen im Bereich Wärme:
 - * Ertüchtigung Kraftwerke mit KWK, Wirkungsgrad hoch
 - * Ausbau Fernwärme
 - * Gebäude
 - Sanierung
 - Erneuerbare Heizung
 - aber beide Aspekte ohne konkrete Zahlen
- bereits 1989 wurde die Studie [108] vom Bremer Energiebeirat (bürgerschaftliches Engagement) ausgearbeitet

B.4 Berlin

Die Studie[109] (BEA; IÖW) mündete 2011 in das Konzept der Bundeshauptstadt[110]:

- umfangreiches Konzept für 2020
- Fokus CO₂
- es wird getrennt betrachtet: Verbrauch & Erzeugung
- Wärme sehr detailliert für Sub-Sektoren
- Ergebnis Zielszenario: 2020 ist 5% der Wärme erneuerbar, + erneuerbare im FW-Netz + Biogas → gesamt scheinbar 13% (laut Twele)

Weitere Berlin betreffende Studien:

- finanziert von Siemens und Vattenfall hat das Konsortium aus BEA und TU Berlin 2011 folgende Studie erarbeitet: [111]
- Klimaallianz und BUND beauftragen wegen Kraftwerksplänen von Vattenfall: [112]
- Grüne Fraktion: [113]

B.5 Brandenburg

B.5.1 Programm der Landesregierung

- Weiterentwicklung der Energiestrategie Brandenburg 2020
- Grundlagen zur Weiterentwicklung
 - Bestandsanalyse

- Lösungsansätze entwickeln
- Szenarienanalyse
- Zielpräzisierung
- Aktionsplanung
- Bürgerbeteiligungsprozess
- wissenschaftliche Basis [114]

Ziele

- Eneff steigern, Verbrauch reduzieren
- Anteil EE steigern
- zuverlässig und preisgünstige Energieversorgung
- energiebedingte CO₂-Emissionen senken
- regionale Beteiligung und Akzeptanz herstellen
- Beschäftigung und Wertschöpfung stabilisieren
- Wärme: 2030 zu 39% aus EE

Gegenkonzept: [113], Gegenrede zum Stromteil [115]

B.5.2 Zugrunde liegende Studie im Auftrag der Landesregierung

Die Studie „Grundlagen für die Erstellung der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg“ [114] wurde von der Brandenburgischen Landesregierung in Auftrag gegeben und von zwei Beratungsunternehmen erstellt. Die Studie behandelt alle Bereiche der Energiebereitstellung: Wärme, Strom, Verkehr. Es wird das Zieltviereck Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Akzeptanz behandelt. Die entstehenden Zielkonflikte werden beschrieben. Für die Indikatoren

- Primärenergieverbrauch (Veränderung 2007 -> 2030: -38...-34%)
- Endenergieverbrauch (Veränderung 2007 -> 2030: -17...-14%)
- Energiebereitstellung aus Erneuerbaren Quellen (2030: 45..,50%)
- energiebedingte CO₂-Emissionen (2030: 22,8 Mio t)

werden Zielwerte für das Jahr 2030 aufgestellt. Damit finden sich drei der vier Ziele nicht in den Indikatoren wieder, jedoch wurde der Aspekt Versorgungssicherheit in einer separaten Studie [116] behandelt. Es wurden zwei Szenarien - konservativ und ambitioniert - aufgestellt. Der größte Einflussfaktor - die Braunkohleverstromung - wurde dabei jeweils separat als Unterszenario geführt. Hierbei wurden die Optionen

1. kein Ersatzbau Jänschwalde
2. Neubau Jänschwalde mit hoher Effizienz und Braunkohletrocknung in Schwarze Pumpe
3. Neubau Jänschwalde mit CCS und Braunkohletrocknung in Schwarze Pumpe

betrachtet. Das konservative Szenario beruht grundsätzlich auf einer linearen Fortschreibung der Ziel und Parameter der Energiestrategie 2020 auf den Zielhorizont 2030, aufgrund veränderter Rahmenbedingung ist das Szenario allerdings etwas konservativer, als die bisherige Energiestrategie. Das Szenario „ambitioniert“ geht in wesentlichen Zielparametern von einer Erhöhung der Dynamik gegenüber der Energiestrategie 2020 aus. Die Annahmen in den beiden Szenarien bewegen sich nach eigener Aussage der Studie zwischen dem letzten bekannten Ist-Stand 2007 und den theoretischen Potentialen, jedoch sind beide Grenzen jeweils nicht angegeben. Für den Ausbau von Wind- und Photovoltaikanlagen werden konkrete Ausbauziele in Form von installierter Kapazität angegeben. Bezuglich des Endenergieverbrauchs wird von einer jährlichen Reduktion um 0,67% (konservativ) bzw. 1% (ambitioniert) ausgegangen. Dies basiert auf einer Fortschreibung der im Monitoring des Energiekonzepts 2020 [117] ermittelten jährlichen Absenkung um 0,4%.

Für alle anderen Bereiche wird eine Fortsetzung der Ziele und Parameter aus der Energiestrategie 2020 angenommen, welche aber auch darin nicht quantifiziert sind. Letztlich erreicht keines der Szenarien die gesteckten Ziele.

Die Studie widmet sich in zwei Dritteln ihres Umfangs den Maßnahmen zur Umsetzung der Szenarien. Diese wurde gesammelt in „Strategiewerkstätten“¹ und Expertengesprächen, weiterhin wurden herangezogen Best Practice Beispiele, Brandenburgspezifische Studien, darunter das Monitoring der Energiestrategie 2020, sowie „Energy Transition Modelle“². Anschließend wurden die Maßnahmen priorisiert nach energiepolitischem Beitrag, Akzeptanzbeitrag und Umsetzungsaufwand und in die Kategorien „Leitprojekte“, „Projekte“ und „Themenspeicher“ eingeordnet. Den Bereich Wärme betreffen dabei folgende Leitprojekte:

- Zielvereinbarung mit den Wohnungswirtschaftsverbänden
- Entwickeln eines Energieeffizienzpreise für KMU
- Errichten einer „KWK-Initiative Brandenburg“ mit dem Ziel in Privaten Haushalten, in Kommunen und der Wirtschaft den Einsatz von KWK voranzubringen, mit Hilfe von Beratung.
- Aufbau einer Solarbörse (wahrscheinlich aber nur Bezug auf PV)
- Fortführen der regionale Bioenergieberatung als anbieterneutrale Anlaufstelle (von KWK ist aber keine Rede, daher wahrscheinlich nur Strombezogen)

B.5.3 Studie der Grünen Fraktionen

Die Studie „Szenarioberechnung einer Strom- und Wärmeversorgung der Region Brandenburg-Berlin auf Basis erneuerbarer Energien“ [112] wurde vom Reiner Lemoine Institut im Auftrag der Grünen Fraktion im Brandenburger Landtag angefertigt. Das RLI existiert seit 2010, wird finanziert von der Stiftung des Q-Cells-Gründers und beschäftigt ca. 30 Wissenschaftler. Die Studie betrachtet nur die Aspekte Strom und Wärme, lässt Mobilität und den Sektor der Industrie außen vor.

Es werden Zielkonflikte bei Biomasse und Windkraft bzgl. Umweltverträglichkeit und Akzeptanz aufgezeigt und durch Begrenzung beider Erzeugerarten behandelt. Versorgungssicherheit

¹ Maßnahmenimpulse von Vertretern der öffentlichen Hand, Unternehmen, Verbänden und Forschung, aufgenommen während vier Strategiewerkstätten

² dabei handelt es sich um Szenarienanalysen, näheres ist der Studie leider nicht zu entnehmen, ein Quellenverzeichnis fehlt

wird beim Strom als Aspekt mitbehandelt. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wird im Wesentlichen nicht betrachtet, dennoch in der Zusammenfassung der Schluss gezogen, dass die Energiepreise „bezahlbar“ bleiben. Es werden die Indikatoren Endenergiebedarf, Anteil Erneuerbarer, CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf behandelt.

Im Folgenden wird nur noch auf den zweiten Teil der Studie, welcher sich mit Wärme beschäftigt, eingegangen. Es wird zunächst eine Ist-Stands-Analyse bezüglich des Endenergiebedarfs und des Erzeugerparks durchgeführt und mit Quellen belegt dokumentiert. Anschließend werden die Potentiale der einzelnen Arten Erneuerbarer Energien durch Recherche externer Studien abgeschätzt. Es werden zwei Szenarien bzgl. der Sanierungsrate gebildet und für die Erzeugerarten einheitliche Annahmen getroffen. Die Auswirkungen auf die Indikatoren werden berechnet und so aufgeschlüsselt, dass der Einfluss der verschiedenen Maßnahmen in den Szenarien erkennbar bleibt. Am Ende der Studie werden auf fünf Seiten sinnvolle Zielstellungen für die Politik vorgeschlagen, jedoch keine konkreten Vorschläge zur Umsetzbarkeit gemacht, insbesondere findet auch keine Berücksichtigung der Einflussphäre des Bundeslandes statt.

Die Annahmen der Studie sind im Wesentlichen nachvollziehbar dargestellt, werden aber teilweise als (zu) optimistisch eingeschätzt. Beispielsweise wird im Bereich Fernwärme von einer 100%igen Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen ausgegangen und der restliche Bedarf soll aus Geothermie gedeckt werden. Die Annahmen im Bereich Müll, Biogas und feste Biomasse erscheinen hingegen realistisch und ausgewogen. Ergebnis der Betrachtungen ist ein Anteil Erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung im Jahr 2020 von 34% in Brandenburg bzw. 28% in Berlin und im Jahr 2030 von 53% bzw. 61% im Sanierungsszenario 2%. Die Vollversorgung wird für 2050 ohne weitere Begründung vorausgesagt, bei Strom wird die 100%ige Deckung aus Erneuerbaren im Jahr 2030 für realistisch befunden.

B.5.4 Studie im Auftrag von Greenpeace

Die Studie [118] betrachtet die „Erneuerbare Energien Potenziale in Brandenburg 2030“ im Auftrag von Greenpeace. Sie wurde erstellt von Mitarbeitern des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung - einem unabhängigen Umweltforschungsinstitut. Die Studie betrachtet alle Bereiche: Strom, Wärme und Verkehr. Es werden zunächst energetische Untersuchungen angestellt und in einem zweiten Teil die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte betrachtet. Die Versorgungssicherheit im Stromsektor in Hinblick auf starken Ausbau fluktuierender Erzeugung und notwendige Speicher- oder Ausgleichsmechanismen wird nur kurz angeschnitten. Im ersten Teil der Studie wird als Indikator hauptsächlich die Menge „erzeugter“ erneuerbarer Energie in den einzelnen Sektoren herangezogen, die Bezugsgröße Endenergieverbrauch wird ebenfalls sektorbezogen mitbetrachtet. Eine Ausweisung der CO₂-Einsparpotentiale erfolgt nicht. Kostenbetrachtungen sind im zweiten Teil der Studie zu finden, welche für diese Zusammenfassung nicht betrachtet wurde.

Zunächst erfolgt eine umfangreiche Ermittlung und Darstellung des Ist-Zustandes Sektor genau, anschließend werden die Potentiale der einzelnen Energieträger und Energieeinsparmöglichkeiten detailliert betrachtet. Beides ist umfangreich mit Quellen dokumentiert und gut nachvollziehbar. Anschließend werden für die Energiebereitstellung zwei Szenarien definiert, diese unterscheiden sich im wesentlich im Anteil der Braunkohleverstromung. Dieser soll vom Jahr 2010 bis 2030 entweder um 50% oder um 100% sinken. Für den Endenergieverbrauch werden ebenfalls zwei Szenarien erstellt: „Effizienz“ und „Effizienz Plus“. Erstere orientiert sich an der Energiestrategie der Brandenburgischen Landesregierung für 2020

und geht von einer Senkung des Energiebedarfs zwischen 2010 und 2030 um 15% aus, das Szenario „Effizienz Plus“ setzt hierfür -36% an entsprechend der Studie [67], die Zahlen sind sektorgenau hinterlegt. Ergebnis der Berechnungen ist eine deutliche Überdeckung im Strombereich (198...270%) und deutliche Unterdeckung im Bereich Wärme (38...47%) und Verkehr (10...22%). Dabei ist bereits berücksichtigt, dass aufgrund des Stromüberschusses für die Wärmebereitsstellung bevorzugt Kompressionswärmepumpen eingesetzt werden und eine „Biogas-Gutschrift“, für ins Gasnetz eingespeistes Biogas, welche in KWK-Anlagen eingesetzt wird.

Die Annahmen im Bereich Wärme in beiden Szenarien erscheinen realistisch und sind nachvollziehbar, die Annahmen bzgl. Endenergieverbrauch in beiden Szenarien wurden nicht überprüft.

Die Umsetzung der Szenarien mit Hilfe politische Maßnahmen ist nicht Bestandteil der Studie.

B.5.5 Studie der Rosa-Luxemburg-Stiftung

Die Studie von „Neue Energielandschaften - neue Akteurslandschaften - Eine Bestandsaufnahme im Land Brandenburg“ von [119] beschäftigt sich ausschließlich mit organisatorischen Aspekten der Energiewende (Eigentümerstrukturen, Akzeptanzproblematik, Handlungsansätze für Kommunen) und wird daher nicht weiter betrachtet.

B.6 Hamburg

- Hamburger Klimaschutzkonzept 2007-2012 [120]
- neues Konzept [77] basiert auf Studien [121, 122]

B.7 Hessen

- „Klimaschutzkonzept Hessen 2012“ [123]
- 5.4.2011 Hessischer Energiegipfel führte zum Umsetzungskonzept der Landesregierung [124]

B.8 Mecklenburg-Vorpommern

- Programm der Landesregierung: [125]
- die zu Grunde liegenden Studie „Energieszenarien M-V 2020“ ist online nicht auffindbar

B.9 Niedersachsen

- Programm der Landesregierung:[78]

B.10 Nordrhein-Westfalen

- Oktober 2011 KlimaschutzStartProgramm, 22 Maßnahmen in 10 Feldern
- Januar 2013 Klimaschutzgesetz mit konkreten Zielen
- seit Februar 2012 Erarbeitung eines Klimaschutzplans mit großer Beteiligung, bisher noch ohne Ergebnis

B.11 Rheinland-Pfalz

- Programm der Landesregierung:[73]
- weitere Aussagen dazu auch im Landesentwicklungsplan, Kapitel „Erneuerbare Energien“

B.12 Saarland

- Saarländisches Klimaschutzkonzept 2008-2013 [126]
- zugrunde liegende Studie des IZES „Masterplan für eine nachhaltige Energieversorgung im Saarland“ [127]

B.13 Sachsen

- Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2012 [2]
 - ist eine Zusammenfassung und Weiterentwicklung von
 - * Energieprogramme 1993, 2004
 - * Klimaschutzprogramm 2001
 - * Aktionsplan Klima & Energie 2008
 - zugehöriger Maßnahmenplan [2]
 - zugrunde liegende Studie des IER in Stuttgart ist online nur teilweise verfügbar [128]
- Stromstudie im Auftrag der grünen Landtagsfraktion (Partnerdokument zu diesem hier): [129]

B.14 Sachsen-Anhalt

- 1997: Plan für 2005
- 2007: Studie Iststand 2005
- 2008: Plan für 2020 [76]

B.15 Schleswig Holstein

- Programm der Landesregierung:[130]

B.16 Thüringen

- Konzept der Landesregierung existiert lediglich in Form einer kurzen Regierungserklärung [74]
- zugrunde liegende Studie wurde von der FH Nordhausen, EKP und Geos Jena 2011 erstellt: [89]

B.17 Norddeutschland

Die vom Zukunftsrat Hamburg beauftragte Studie „Entwicklung der Energieversorgung in Norddeutschland“ [131] betrachtet die Perspektiven des Wärmemarktes in den fünf norddeutschen Bundesländern (Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Bremen und Hamburg) bis 2020. Sie wurde vom Bremer Energieinstitut bearbeitet und 2009 veröffentlicht.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] *Energiebilanz Sachsen.* http://www.energie.sachsen.de/download/Bilanz_2011_in_Energieeinheiten_endg.pdf. Version: 2011
- [2] *Maßnahmenplan zum Energie- und Klimasprogramm Sachsen 2012.* <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/Massnahmenplan.pdf>. Version: 2013
- [3] *100 Erneuerbare-Energie-Regionen.* http://100ee.deenet.org/fileadmin/redaktion/100ee/Downloads/broschuere/100ee-Karte_Liste_Juli_2014.pdf. Version: 2014
- [4] *Energieportal Sachsen.* <http://www.energieportal-sachsen.de>
- [5] *12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung - Bevölkerung Deutschlands nach Bundesländern bis 2060.* <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Bevoelkerungsvorausberechnung.html>. Version: 2010
- [6] *2012 bis 2025 5. Regionalisierte Bevölkerungsprognose für den Freistaat Sachsen - Gemeinden.* http://www.statistik.sachsen.de/bevprog/documents/Einwohnerzahl_Prognose_Gemeinden.xls. Version: 2010
- [7] *Aufbereitung aus GWZ für TUD.* – Auskunft des statistischen Landesamtes auf Anfrage
- [8] *Wohnungen und Gebäude gemeindescharf nach Anzahl der Wohnungen und Art der Heizung.* 2014. – Auskunft des statistischen Landesamtes auf Anfrage
- [9] Diefenbach, N.: Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäude- und Wohngebäude des IWU: Neufassung Oktober 2013 / IWU. Version: 2013. http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/F1%C3%A4chen_Geb%C3%A4udetypologie_Okt_2013.pdf. 2013. – Forschungsbericht
- [10] *Alle politisch selbständigen Gemeinden in Deutschland nach Bevölkerung am 31.12.2011 auf Grundlage des Zensus 2011 und früherer Zählungen.* https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Aktuell/Zensus_Gemeinden.xls?__blob=publicationFile. Version: 2013
- [11] *Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes - Lange Reihen von 1969 bis 2012.* https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/Wohnsituation/FortschreibungWohnungsbestandXLS_5312301.html. Version: 2014, Abruf: 10.3.14
- [12] Diefenbach ; Cischinsky ; Rodenfels ; Clausnitzer: Datenbasis Gebäudebestand / Bremer Energie Institut & IWU. Version: 2010. http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht_Datenbasis.pdf. 2010. – Forschungsbericht
- [13] *DIN V 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.* 02 2007

- [14] Nitsch, Joachim ; Pregger, Thomas ; Naegler, Tobias ; u. a.: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global / DLR, Fraunhofer IWES, IF-NE. Version: 2012. http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal_2012_1/leitstudie2011_bf.pdf. 2012. – Forschungsbericht
- [15] : GdW Energieprognose 2050 SSanierungsfahrplanentsprechend Energiekonzept der Bundesregierung für die durch GdW-Unternehmen bewirtschafteten Bestände. Version: 2013. http://web.gdw.de/uploads/GdW_Position_Energieprognose.pdf. 2013. – Forschungsbericht
- [16] Jungbluth, N. ; Flury, F.: *Primärenergiefaktoren von Energiesystemen: Herleitung, Verwendung, Diskussion*. Swisspower, Juni 2013
- [17] *Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2012*. http://www.smwa.sachsen.de/download/Energie_und_Klimaprogramm_Sachsen_2012_20130312_v2.pdf. Version: 2013
- [18] Henning, Hans-Martin ; Palzer, Andreas: 100 Version: 2012. <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-100-erneuerbare-energien-in-deutschland.pdf>. 2012. – Forschungsbericht
- [19] Fachausschuss "Nachhaltiges Energiesystem 2050" des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE = IBP, ISE, IWES, ISFH, IZES, ZAE, ZSE): Energiekonzept 2050 - Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100 Version: 2010. http://www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf. 2010. – Forschungsbericht
- [20] *Satellitenbilanz Erneuerbare Energieträger zur Sächsischen Energiebilanz für das Jahr 2011 (endgültig)*. http://www.energie.sachsen.de/download/Satellitenbilanz2011_endg.pdf. Version: 2011
- [21] *Strategie für eine erfolgreiche Bekämpfung der globalen Klimaänderung*. http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128157_de.htm. Version: 2005
- [22] *Aktionsplan für Energieeffizienz: Das Potenzial ausschöpfen*. http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/127064_de.htm. Version: 2006
- [23] *Fahrplan für erneuerbare Energien. Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: Größere Nachhaltigkeit in der Zukunft*. http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/127065_de.htm. Version: 2007
- [24] *Eine Energiepolitik für Europa*. http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/127067_de.htm. Version: 2007
- [25] *Presidency Conclusions Brussel European Council 8/9 March 2007*. http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_Data/docs/pressData/en/ec/93135.pdf. Version: 2007
- [26] *Presidency Conclusions Brussel European Council 13/14 March 2008*. http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/99410.pdf. Version: 2008

- [27] *Presidency Conclusions Brussel European Council 11/12 December 2008.* http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/104692.pdf. Version: 2009
- [28] *Energy and climate change – Elements of the final compromise.* http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/104672.pdf. Version: 2008
- [29] *Abstimmung des Europäischen Parlaments zum Energiepaket.* <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+CRE+20081217+TOC+DOC+XML+V0//DE&language=DE>. Version: 2008
- [30] *Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/128012_de.htm. Version: 2003
- [31] *Begrenzung der globalen Klimawandels auf 2 Grad Celsius - Der Weg in die Zukunft bis 2020 und darüber hinaus.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/128188_de.htm. Version: 2007
- [32] *Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/en0009_de.htm. Version: 2009
- [33] *Aktionsplan für Biomasse.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/127014_de.htm. Version: 2005
- [34] *Richtlinie 92/75/EWG über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch Haushaltsgeräte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen.* http://europa.eu/legislation_summaries/other/132004_de.htm. Version: 1992
- [35] *DIRECTIVE 2010/31/EU on the energy performance of buildings.* <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031>. Version: 2010
- [36] *Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (ErP directive).* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/en0018_de.htm. Version: 2009
- [37] *VERORDNUNG (EG) Nr. 244/2009 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 Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht.* <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:DE:PDF>. Version: 2009
- [38] *Verordnung (EG) Nr. 245/2009 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 Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/en0030_de.htm. Version: 2009

- [39] *Richtlinie 2004/8/EG über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/127021_de.htm. Version: 2004
- [40] *Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/127019_de.htm. Version: 2003
- [41] *Verordnung (EG) Nr. 663/2009 über ein Programm zur Konjunkturbelebung durch eine finanzielle Unterstützung der Gemeinschaft zugunsten von Vorhaben im Energiebereich.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/en0012_de.htm. Version: 2009
- [42] *Entscheidung Nr. 1230/2003/EG zur Festlegung eines mehrjährigen Programms für Maßnahmen im Energiebereich: Programm „Intelligente Energie für Europa“(2003-2006).* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/127046_de.htm. Version: 2003
- [43] *Beschluss 1982/2006/EG über das siebte Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration (2007-2013).* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/i23022_de.htm. Version: 2006
- [44] *Richtlinie 2006/32/EG über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/127057_de.htm. Version: 2006
- [45] *Zweite Überprüfung der Energiestrategie: EU-Aktionsplan für Energieversorgungssicherheit und -solidarität.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/en0003_de.htm. Version: 2008
- [46] *Investitionen in die Entwicklung von Technologien mit geringen CO2-Emissionen (SET-Plan).* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/en0019_de.htm. Version: 2009
- [47] *Energie 2020 - Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/en0024_de.htm. Version: 2010
- [48] *Energieeffizienzplan 2011.* http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/en0029_de.htm. Version: 2011
- [49] *DIRECTIVE 2012/27/EU on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.* <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:EN:PDF>. Version: 2012
- [50] *RICHTLINIE 2013/12/EU zur Anpassung der Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Energieeffizienz aufgrund des Beitritts der Republik Kroatien.* <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013L0012&from=EN>. Version: 2013
- [51] *Energieeinspeisegesetz EEG.* http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/. Version: 2014
- [52] *EEWärmeG.* http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eew_rmeg/gesamt.pdf. Version: 2008

- [53] Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Broschueren/nationaler_aktionsplan.pdf?__blob=publicationFile&v=4. Version: 2010
- [54] Energieeinsparverordnung EnEV. 2014
- [55] Energieeinspargesetz EnEG. <http://www.gesetze-im-internet.de/eneg/>. Version: 2013
- [56] Gesetz zur Kraft-Wärme-Kopplung KWKG. 2002
- [57] Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kWel. http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/mini_kwk_anlagen/vorschriften/rili_minikwk.pdf. Version: 2012
- [58] Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt. http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/vorschriften/energie_ee_richtlinie_20_07_2012.pdf. Version: 2012
- [59] Bundeskabinett: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung - Beschluss des Bundeskabinetts vom 28. September 2010. Version: 2010. http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5. 2010. – Forschungsbericht
- [60] Schlesinger ; Hofer ; Kemmler ; u. a.: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung / Prognos and Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) und Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung (GWS). Version: 2010. http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2010/EWI_2010-08-30_Energieszenarien-Studie.pdf. 2010. – Forschungsbericht
- [61] DEUTSCHLANDS ZUKUNFT GESTALTEN - KOALITIONSVERTRAG ZWISCHEN CDU, CSU UND SPD. <https://www.cdu.de/sites/default/files/media/dokumente/koalitionsvertrag.pdf>. Version: 2013
- [62] 2. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) der Bundesrepublik Deutschland. <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/zweiter-nationaler-energieeffizienz-aktionsplan-der-brd.pdf>. Version: 2014
- [63] Energieprogramm Sachsen. 1993
- [64] Energieprogramm Sachsen. 2004
- [65] Klimaschutzprogramm Sachsen. 2001
- [66] Aktionsplan Klima und Energie Sachsen. 2008
- [67] Barzantny ; Achner ; Vomberg: Klimaschutz: Plan B 2050 - Energiekonzept für Deutschland / EUtech. Version: 2007. http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/klima/Plan_B_2050_lang.pdf. 2007. – Forschungsbericht
- [68] al, Lutz M.: Zukünftiger Ausbau erneuerbarer Energieträger unter besonderer Berücksichtigung der Bundesländer / Forschungsstelle für Umweltpolitik am

- Otto-Suhr-Institut der Freien Universität Berlin. 2007. – Forschungsbericht. – [http://www.solarserver.de/solar-magazin/solar-report/...](http://www.solarserver.de/solar-magazin/solar-report/)
- [69] Hinrichs-Rahlwes, Rainer ; Pieprzyk: Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche. Version: 2009. http://www.bee-ev.de/_downloads/publikationen/studien/2010/100125_BEE-Roadmap_AusbauEE_2020.pdf. 2009. – Forschungsbericht
- [70] Bundesverband Erneuerbare Energie: Wege in die moderne Energiewirtschaft - Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche - Teil 2: Wärmeversorgung 2020. Version: 2009. http://www.bee-ev.de/_downloads/publikationen/studien/2009/091015_BEE-Branchenprognose_Waerme2020.pdf. 2009. – Forschungsbericht
- [71] Oschatz, Bert ; Mallach, Bettina: Klimaschutz im Wohnungssektor - Wie heizen wir morgen? Fakten, Trends und Perspektiven für Heiztechniken bis 2030 / Hamburgischen Weltwirtschaftsinstitut (HWI) und dem Institut für Technische Gebäudeausrüstung (ITG). Version: 2013. <http://s08.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/downloads/pdf/comms-shell-bdh-heating-study-2013.pdf>. 2013. – Forschungsbericht
- [72] Shell: Hauswärme-Studie. Version: 2011. <http://s05.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/downloads/pdf/shell-hauswaermestudie-2011.pdf>. 2011. – Forschungsbericht
- [73] *Road-map zur Energiewende in Rheinland-Pfalz*. <http://www.mwkel.rlp.de/Klimaschutz,-Energie/binarywriterservlet?imgUid=e2961f5c-ba09-9319-f611-7515e1df7d18&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>
- [74] *Energiekonzept Thüringen 2020*. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1214.pdf>. Version: 2011
- [75] *Klimaschutz- und Energieprogramm 2020*. http://www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/KEP-Brosch%FCre_Endfassung%20komplett.21626.pdf. Version: 2009
- [76] *Klimaschutz 2020 des Landes Sachsen-Anhalt*. http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Master-Bibliothek/Landwirtschaft_und_Umwelt/K/Klimaschutz/Klimaschutzprogramm_2020/Klimaschutzprogramm2020.pdf
- [77] *Masterplan Klimaschutz*. <http://www.hamburg.de/contentblob/4050236/data/masterplan-klimaschutz.pdf>. Version: 2013
- [78] *Das Energiekonzept des Landes Niedersachsen*. <http://www.erneuerbare-energien-niedersachsen.de/downloads/20120131-energiekonzept--broschuere.pdf>. Version: 2012
- [79] *Die Bioenergie-Regionen*. <http://www.bioenergie-regionen.de/foerdermassnahme/>, Abruf: 06.08.2014
- [80] Emminghaus, Christoph ; Herms ; Niwaz ; u. a.: Dresden auf dem Weg zur Energieeffizienten Stadt / ARGE Remboll-KEEA. Version: 2013. <http://ratsinfo.dresden.de/getfile.php?id=122710&type=do>. 2013. – Forschungsbericht

- [81] 2012 bis 2025 5. Regionalisierte Bevölkerungsprognose für den Freistaat Sachsen - Landkreise und Varianten. http://www.statistik.sachsen.de/bevprog/documents/Einwohnerzahl_Prognose_Landkreise.xls. Version: 2010
- [82] Sonderbericht Zensus 2011 Gebäude und Wohnungszählung im Freistaat Sachsen am 9. Mai 2011 Teil 1: Gebäude und Wohnungen. http://www.statistik.sachsen.de/download/300_Voe-Sonderpublikation/F_I-Zensus-2011_GWZ_TI1_2.Auflage.pdf. Version: 2011
- [83] Loga ; Diefenbach ; Born: Deutsche Gebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden / IWU. Version: 2011. http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf. 2011. – Forschungsbericht
- [84] empirica: Wohnflächennachfrage in Deutschland. Version: 2005. <https://www.baufachinformation.de/kostenlos.jsp?sid=350777F13B862B0E4F74EA9106D8FA55&id=2007089002681&link=http%3A%2F%2Fedoc.difu.de%2Fedoc.php%3Fid%3DQL3SC5YP>. 2005. – Forschungsbericht
- [85] IFEU: Klimaschutz 2020Plus Baden-Württemberg. Version: 2011. http://www.ifeu.de/energie/pdf/klimaschutzkonzept_2020plus.pdf. 2011. – Forschungsbericht
- [86] Antwort des BMUB auf Anfrage von Dr. Julia Verlinden an die Bundesregierung zur Definition der Sanierungsrate im Gebäudebestand. http://www.julia-verlinden.de/wp-content/uploads/2014/08/140822_Antw-BR-auf-sF-8-103-Sanierungsrate.pdf. Version: 2014, Abruf: 23.9.14
- [87] Diefenbach: Wichtungsfaktoren. 2005. – Forschungsbericht
- [88] Eckpunkte Energieeffizienz. <http://www.bmwii.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eckpunkte-energieeffizienz,property=pdf,bereich=bmwii,sprache=de,rwb=true.pdf>. Version: 2011
- [89] Fischer, Joachim ; Genske, Dieter ; Jödecke, Thomas ; u. a.: Neue Energie für Thüringen / Fachhochschule Nordhausen and EKP Energie-Klima-Plan GmbH and JenaGeos Ingenieurbüro GmbH. Version: 2011. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1277.pdf>. 2011. – Forschungsbericht
- [90] UBA: Wie private Haushalte die Umwelt nutzen - höherer Energieverbrauch trotz Effizienzsteigerungen. Version: 2006. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressekonferenzen/2006/UGR/UBA_Hintergrundpapier.pdf?__blob=publicationFile. 2006. – Forschungsbericht
- [91] Felsmann ; Schmidt: Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität / TU Dresden. Version: 2013. <http://www.wohnungswirtschaft-heute.de/dokumente/prof-felsmann-nutzerverhalten-2013-AbschlussberichtVA.pdf>. 2013. – Forschungsbericht
- [92] BDH: Bilanz Heizung Wärmemarkt 2013. Version: 2013. http://www.bdh-koeln.de/uploads/media/Bilanz_Heizungsindustrie_2013.pdf. 2013. – Forschungsbericht
- [93] Wohnen im Freistaat Sachsen (Ergebnisse des Mikrozensus) 2006. http://www.statistik.sachsen.de/download/100_Berichte-F/F_I_1_4j06.pdf. Version: 2006

- [94] Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2012. http://www.schornsteinfeger.de/bilder_ziv/files/erhebungen2012.pdf. Version: 2012
- [95] Meyer, Stephan: Situation Erneuerbarer Energie im Freistaat Sachsen unter spezieller Berücksichtigung von Biogaslagen, 2010
- [96] BSW: Fahrplan Solarwärme. Version: 2012. http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/120854_bsw_studie_st.pdf. 2012. – Forschungsbericht
- [97] Wolf ; Felix ; Berger ; u. a.: RahmenRahmen Tiefengeothermie Freistaat Sachsen / LfLUG. Version: 2009. http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/TGT-Rahmenkonzept_Sachsen_100809.pdf. 2009. – Forschungsbericht
- [98] Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig - Holstein: Fakten zu Abregelung und Entschädigungsansprüchen von Strom aus Erneuerbaren Energien in den Jahren 2012 und 2011 in Schleswig - Holstein. Version: 2013. http://www.schleswig-holstein.de/Energie/DE/Energiewende/Kosten_Energiewende/einspeisemanagement_fakten_pdf_blob=publicationFile.pdf. 2013. – Forschungsbericht
- [99] Burger: *Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2012*. <http://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/stromproduktion-aus-solar-und-windenergie-2012.pdf>. Version: 2013
- [100] Agora Energiewende: Stromspeicher in der Energiewende. 2014. – Forschungsbericht
- [101] Excel-Tool: Gradtagszahlen für Deutschland. <http://www.geb-info.de/GEB-Newsletter-2009-12/Excel-Tool-Gradtagszahlen-fuer-Deutschland,QU1EPTIONjcwMiZNSUQ9MzAwMDE.html>, Abruf: 7.8.14
- [102] Energiekonzept Baden-Württemberg 2020. http://www.landtagswahl-bw.de/fileadmin/landtagswahl-bw/pdf/Energiekonzept_2020.pdf. Version: 2009
- [103] Vogel-Sperl, Antje ; Schmidt, Maike ; Staiß, Frithjof: Erneuerbare Energien und Energieeffizienz in Baden-Württemberg - Sachstand und Entwicklungsperspektiven / ZSW. Version: 2011. http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/104622/ZSW_Studie_ErneuerbareEnergien_Energieeffizienz_2011.pdf. 2011. – Forschungsbericht
- [104] Schmidt, Maike ; Staiß, F. ; Nitsch, J.: Gutachten zur Vorbereitung eines Klimaschutz für Baden-Württemberg / ZSW. Version: 2012. http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/103572/Gutachten_zum%20Klimaschutzgesetz_BW_Stand%202012_2012.pdf. 2012. – Forschungsbericht
- [105] Integriertes Energie- und Klimaschutz Baden-Württemberg. http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/103570/IEKK_Entwurf_Verbaendeanhoerung.pdf. Version: 2013
- [106] Bayerisches Energiekonzept „Energie innovativ“. <https://www.bayern.de/Anlage10344945/BayerischesEnergiekonzeptEnergieinnovativ.pdf>. Version: 2011
- [107] Schrader, Knut u. a.: Energie- und Klimaschutz für das Land Bremen (2020) / BET, Bremer Energieinstitut, Wuppertal Institut. Version: 2010. http://www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Endbericht_Langfassung_fin_28-06-10.pdf. 2010. – Forschungsbericht
- [108] Noack ; von Ehrenstein ; Franke: Energie für die Stadt der Zukunft - Das Beispiel Bremen / Bremer Energiebeirat. Version: 1989. <http://www.itp.uni-bremen.de/~noack/beb.pdf>. 1989. – Forschungsbericht. – ISBN 39248002571

- [109] Hirschl, Bernd ; Aretz, Astrid ; Dunkelberg, Elisa ; Neumann, Anna ; Weiß, Julia: Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin 2020 und langfristig – Quantifizierung und Maßnahmengenerierung zur Erreichung ambitionierter Ausbauziele / IÖW. Version: 2011. https://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-wirtschaftschaft/energie/energiekonzept_anlage6.pdf?start&ts=1302605452&file=energiekonzept_anlage6.pdf. 2011. – Forschungsbericht. – ISBN 978-3-940920-01-0
- [110] *Energiekonzept 2020*. <http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-wirtschaftschaft/energie/energiekonzept.pdf?start&ts=1302593601&file=energiekonzept.pdf>. Version: 2011
- [111] Strunz ; Dittmann, L. ; Salecker: Sustainable Urban Infrastructure - Intelligente Energieversorgung für Berlin 2037 / TU Berlin, BEA. Version: 2011. https://www.cki.tu-berlin.de/fileadmin/fg94/CKI/Innovation/Studie_Intelligente_Energieversorgung.pdf. 2011. – Forschungsbericht
- [112] Twele, Jochen ; Schmidthals, Malte ; Gaßner, Hartmut: Wärme ohne Kohle - alternativstudie zur Wärmeversorgung in den Berliner Bezirken Lichtenberg, Marzahn-Hellersdorf und Kreuzberg-Friedrichshain / FHTW Berlin. Version: 2009. http://www.bund-berlin.de/fileadmin/bundberlin/pdfs/Klima_und_Energie/Waermestudie_Berlin_09_komplett.pdf. 2009. – Forschungsbericht
- [113] Twele, Jochen ; Müller, Berit ; Möller, Caroline ; u. a.: SZENARIOBERECHNUNG EINER STROM- UND WÄRMEVERSORGUNG DER REGION BRANDENBURG-BERLIN AUF BASIS ERNEUERBARER ENERGIEN / Reiner Lemoine Institut gGmbH. Version: 2012. http://www.gruene-fraktion-brandenburg.de/fileadmin/ltf_brandenburg/Dokumente/Studien_und_Gutachten/121017_Energiestudie-Strom_Waerme.pdf. 2012. – Forschungsbericht
- [114] Arms, Hanjo ; Bernewitz, Friedrich von ; Chromiec, Jan ; u. a.: Grundlagen für die Erstellung der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg / A.T. Kearney and Decision Institut. Version: 2011. http://www.energie.brandenburg.de/media/bb1.a.2865.de/Grundlagen_Energiestrategie_2030_Endbericht.pdf. 2011. – Forschungsbericht
- [115] Rasim, Wolfgang: *Elektrizitätsversorgung der Region Brandenburg- Berlin ab 2030 kohle- und erdgasunabhängig? Das ist eine Farce!* www.prolausitzerbraunkohle.de. Version: 2012
- [116] BTU: Netzstudie Brandenburg. <http://www-docs.tu-cottbus.de/cebra/public/Veroeffentlichungen/Netzstudie-Schlussbericht-final.pdf>. – Forschungsbericht
- [117] *Energiestrategie 2020 Brandenburg*. http://www.energie.brandenburg.de/media/bb1.a.2755.de/Energiestrategie_2020.pdf. Version: 2008
- [118] Bost, Mark ; Böther, Timo ; Hirschl, Bernd ; u. a.: Erneuerbare Energien Potenziale in Brandenburg 2030 / Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Version: 2012. http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/Bericht_EE-Potenziale_und_Wertschoepfung.pdf. 2012. – Forschungsbericht
- [119] Becker, Sören ; Gailing, Ludger ; Naumann, Matthias: Neue Energieand-Energiel - neue Akteurslandschaften - Eine Bestandsaufnahme im Land Brandenburg / Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IR. Version: 2012. http://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/Studien/

- Studien_Energielandschaften_150dpi.pdf*. 2012. – Forschungsbericht. – ISSN 2194–2242
- [120] "Hamburger Klimaschutzkonzept 2007-2012Änschlussbericht und Gesamtbilanz. <http://www.hamburg.de/contentblob/4052736/data/klimaschutzkonzept-abschlussbericht.pdf>. Version: 2013
- [121] Hermelink ; Bettgenhäuser ; Schüler: Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg - Ergänzungsgutachten: Wärmebedarf der Gebäude / Ecofys. Version: 2010. <http://www.hamburg.de/contentblob/2577380/data/gutachten-masterplan-ergaenzung.pdf>. 2010. – Forschungsbericht
- [122] Groscurth, Helmuth-M. ; Bode, Sven ; Kühn, Isabel ; Nitsch ; Strößenreuther: Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg - Möglichkeiten zur Verringerung der CO2-Emissionen im Rahmen einer Verursacherbilanz / arrhenius. Version: 2010. <http://www.hamburg.de/contentblob/3959514/data/download-basisgutachten.pdf>. 2010. – Forschungsbericht
- [123] *Klimaschutzkonzept Hessen 2012*. http://www.klimaoffensivewolfgang.de/Hessisches_Klimakonzept_2007.pdf. Version: 2007
- [124] *Hessischer EnergiEnergie - Umsetzungskonzept der Hessischen Landesregierung*. http://www.energieland.hessen.de/mm/HEGUK_Broschuere.pdf. Version: 2011
- [125] *Energieand 2020*. http://www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/vm/_Service/Publikationen/index.jsp?publikid=4859. Version: 2009
- [126] *Saarländisches Klimaschutzkonzept 2008-2013*. 2008
- [127] IZES: Neue Energie für den Zukunftsstandort Saarland - Masterplan für eine nachhaltige Energieversorgung im Saarland. http://www.saarland.de/dokumente/thema_energie/Masterplan_Energie_Langfassung_Internet-PDF.pdf. – Forschungsbericht
- [128] Ullrich, Simone ; Fahl, Ulrich: Wissenschaftliche Begleitung der Erstellung eines Energieprogramm Sachsen inkl. einer Dialogphase ("Energiedialog Sachsen") - Expertise 1 "Internationale und nationale Rahmenbedingungen im Energie- und Umweltbereich" / IER Uni Stuttgart. Version: 2003. http://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/projektwebsites/ep_sachsen/EXP/Entwurf_Expertise1_230603.pdf. 2003. – Forschungsbericht
- [129] Daniels, Wolfgang ; Grafe ; Koppen ; u. a.: Grüne Ausbaustudie 2020 - Perspektiven für Erneuerbare Energien in Sachsen = Ermittlung der technischen Potenziale der erneuerbaren Energieträger in Sachsen sowie deren wirtschaftliche Umsetzungsmöglichkeiten für die Stromerzeugung bis zum Jahr 2020 / VEE. Version: 2008. http://www.vee-sachsen.de/images/stories/gruene_ausbaustudie_2020_version_2010_01.pdf. 2008. – Forschungsbericht
- [130] *Integriertes Energie- und Klimakonzept für Schleswig-Holstein*. http://www.schleswig-holstein.de/MELUR/DE/Service/Broschueren/Umwelt/pdf/Integriertes_Energie_und_Klimakonzept__blob=publicationFile.pdf
- [131] Jahn, Karin ; Eikmeier, Bernd ; Ludewig, Heidi ; Eilmes, Sabine: Entwicklung der Energieversorgung in Norddeutschland - Perspektiven des Wärmemarktes bis 2020 / Bremer Energie Institut. Version: 2009. http://www.zukunftsrat.de/fileadmin/pdf/energie/Waermestudie_ZR_2009.pdf, Abruf: 14.1.14. 2009. – Forschungsbericht

Eine umfangreiche verschlagwortete Linkssammlung zur Studie „Wärmeversorgung für Sachsen aus Erneuerbaren Energien“ befindet sich unter https://delicious.com/tud_eel.