



INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

ENERGIEKONZEPT IRMD

Bestandsaufnahme, Potenziale, Szenarien bis 2040
für die Innovationsregion Mitteldeutschland



Leipziger Institut
für Energie



NEUE WEGE FÜR
INNOVATION UND WERTSCHÖPFUNG

Strukturwandel in der Innovationsregion Mitteldeutschland

Ein Projekt der



METROPOLREGION
MITTELDEUTSCHLAND

7 Landkreise und 2 Städte in 3 Bundesländern mit 2 Mio. Einwohnern



Impulse für Innovation und Wertschöpfung im Mitteldeutschen Revier

Im Strukturwandelprojekt „Innovationsregion Mitteldeutschland“ entwickelt die Europäische Metropolregion Mitteldeutschland (EMMD) gemeinsam mit den Landkreisen Altenburger Land, Anhalt-Bitterfeld, Burgenlandkreis, Leipzig, Mansfeld-Südharz, Nordsachsen und Saalekreis und den Städten Halle (Saale) und Leipzig neue Strategien und Projekte für Innovation und Wertschöpfung, um den Strukturwandel in der Region aktiv zu gestalten.

Bearbeitung

Leipziger Institut für Energie
GmbH
Lessingstraße 2
04109 Leipzig
0341- 22 47 62 - 19
ilka.erfurt@ie-leipzig.com

r2b energy consulting GmbH
Zollstockgürtel 61
50969 Köln
0221 - 78 95 98 - 71
robert.diels@r2b-energy.com
www.r2b-energy.com.com

Deutsches Biomasseforschungszentrum
gGmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
0341- 24 34 -0
jaqueline.daniel-gromke@dbfz.de

Gefördert aus Mitteln der Bundesrepublik Deutschland, des Freistaates Sachsen, des Landes Sachsen-Anhalt und des Freistaates Thüringen im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe: "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsinfrastruktur".

Gefördert durch:



STAATSMINISTERIUM
FÜR WIRTSCHAFT
ARBEIT UND VERKEHR



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
1. Einleitung.....	8
2. Bestandsaufnahme	11
2.1 Energieerzeugung.....	11
2.2 Strom- und Wärmeverbrauch.....	25
3. Potenziale	30
3.1 Stromerzeugung.....	30
3.2 Wärmeerzeugung.....	53
3.3 Sektorenkopplung.....	61
4. Szenarien bis 2040.....	75
4.1 Vorgehensweise.....	75
4.2 Sozioökonomische Rahmenbedingungen.....	76
4.3 Strom- und Wärmebedarf.....	82
4.4 Energieerzeugung.....	89
4.5 Treibhausgasbilanz.....	98
5. Fazit & Handlungsempfehlungen	106
Literaturverzeichnis	110
Anhang	118

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1	GROßKRAFTWERKE NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD.....	12
ABBILDUNG 2	BHKW KWK (FOSSIL) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	14
ABBILDUNG 3	MÜLLVERBRENNUNGSANLAGEN NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	15
ABBILDUNG 4	WASSERKRAFT NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	16
ABBILDUNG 5	WINDENERGIE NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018.....	17
ABBILDUNG 6	PHOTOVOLTAIK NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018.....	18
ABBILDUNG 7	BIOMASSE NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	20
ABBILDUNG 8	KLÄRGASANLAGEN UND STANDORTE MIT KLÄRGAS-BHKW IN DER IRMD NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	21
ABBILDUNG 9	DEPONIEANLAGEN (GRÖßENKLASSE 2 UND 3) UND STANDORTE MIT DEPONIEGAS-BHKW NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	22
ABBILDUNG 10	ANLAGEN ZUR ENERGIEERZEUGUNG GESAMT IN DER IRMD IM JAHR 2018	23
ABBILDUNG 11	STROMERZEUGUNG GESAMT IN DER IRMD IM JAHR 2018	24
ABBILDUNG 12	WÄRMEERZEUGUNG GESAMT IN DER IRMD IM JAHR 2018.....	24
ABBILDUNG 13	ENDENERGIEVERBRAUCH IM JAHR 2018 IN DER IRMD NACH VERBRAUCHSSEKTOREN	26
ABBILDUNG 14	ENDENERGIEVERBRAUCH IM JAHR 2018 NACH SEKTOREN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	27
ABBILDUNG 15	ENDENERGIEVERBRAUCH IM JAHR 2018 IN DER IRMD NACH ENERGIETRÄGERN	28
ABBILDUNG 16	ZUSAMMENSETZUNG DER ERNEUERBAREN ENERGIEN IM ENERGIEVERBRAUCH IM JAHR 2018 IN DER IRMD	28
ABBILDUNG 17	ENDENERGIEVERBRAUCH IM JAHR 2018 NACH ENERGIETRÄGERN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	29
ABBILDUNG 18	REGIONALE PLANUNGSVERBÄNDE UND – GEMEINSCHAFTEN IN DER IRMD	32
ABBILDUNG 19	ENTWICKLUNG DER WINDENERGIE NACH ANZAHL DER WEA UND INSTALLIERTER LEISTUNG IN DER IRMD	33
ABBILDUNG 20	BEZUSCHLAGTE WEA NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN ZWISCHEN 2017 UND 2020	34
ABBILDUNG 21	POTENZIALE PV-DACHANLAGEN IN DER IRMD	38
ABBILDUNG 22	RESTRIKTIONSFREIE FLÄCHEN FÜR PV-FREIFLÄCHENANLAGEN IN DER IRMD	42
ABBILDUNG 23	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER FLOATING-PV-ANLAGE	43
ABBILDUNG 24	ERGEBNISSE POTENZIALANALYSE FÜR FLOATING-PV IN DEUTSCHLAND	44
ABBILDUNG 25	FLOATING-PV-ANLAGE IN RENCHEN (BADEN-WÜRTTEMBERG).....	45
ABBILDUNG 26	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER AGRI-PV-ANLAGE	46
ABBILDUNG 27	AUFBAU HTC-VERFAHREN FÜR KLÄRSCHLAMM QUELLE: [KLEMM ET AL. 2015]	59
ABBILDUNG 28	MARKTREIFE VON PtX-TECHNOLOGIEN	62
ABBILDUNG 29	BESTANDSANALYSE WASSERSTOFF FÜR DIE IRMD.....	67
ABBILDUNG 30	WASSERSTOFF-NACHFRAGEMENGEN SOWIE THEORETISCHE ANGEBOTSKAPAZITÄTEN BIS 2024 IN DER IRMD	69
ABBILDUNG 31	WASSERSTOFF-NACHFRAGESTANDORTE UND -MENGEN IN DER IRMD.....	70
ABBILDUNG 32	WASSERSTOFF-ANGEBOTSSTANDORTE UND -KAPAZITÄTEN IN DER IRMD	70
ABBILDUNG 33	WASSERSTOFF-PIPELINE IN DER IRMD.....	71
ABBILDUNG 34	FÜR WASSERSTOFF UMRÜSTBARE INFRASTRUKTUREN DER IRMD	71
ABBILDUNG 35	HEIMSPEICHERSYSTEME (SPEICHERKAPAZITÄT < 30 kWh).....	73
ABBILDUNG 36	LEITLINIEN DER BEIDEN SZENARIEN	76
ABBILDUNG 37	VERGLEICH GESAMTBEVÖLKERUNG 2018 UND 2040 IN DER IRMD NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	77
ABBILDUNG 38	VERGLEICH WOHNFLÄCHEN 2018 UND 2040 IN DER IRMD NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	78
ABBILDUNG 39	ERWERBSTÄTIGE IM JAHR 2040 IN DER IRMD NACH WIRTSCHAFTSZWEIGEN UND GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	79
ABBILDUNG 40	VERGLEICH ERWERBSTÄTIGKEIT 2018 UND 2040 IN DER IRMD NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	80
ABBILDUNG 41	BRUTTOWERTSCHÖPFUNG IM JAHR 2040 IN DER IRMD NACH WIRTSCHAFTSZWEIGEN UND GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	80
ABBILDUNG 42	VERGLEICH BRUTTOWERTSCHÖPFUNG 2018 UND 2040 IN DER IRMD NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	81



ABBILDUNG 43	ENDENERGIEBEDARF IN DER IRMD (GESAMT) NACH SEKTOREN IM JAHR 2040 – REFERENZSZENARIO.....	84
ABBILDUNG 44	ENDENERGIEBEDARF IN DER IRMD (GESAMT) NACH SEKTOREN IM JAHR 2040 – GREEN-DEAL-SZENARIO	84
ABBILDUNG 45	ENDENERGIEBEDARF IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH SEKTOREN IM JAHR 2040 – REFERENZSZENARIO ...	85
ABBILDUNG 46	ENDENERGIEBEDARF IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH SEKTOREN IM JAHR 2040 – GREEN-DEAL-SZENARIO	86
ABBILDUNG 47	ENDENERGIEBEDARF IN DER IRMD (GESAMT) NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2040 – REFERENZ-SZENARIO.....	87
ABBILDUNG 48	ENDENERGIEBEDARF IN DER IRMD (GESAMT) NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2040 – GREEN-DEAL-SZENARIO ..	87
ABBILDUNG 49	ENDENERGIEBEDARF IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2040 – REFERENZSZENARIO	88
ABBILDUNG 50	ENDENERGIEBEDARF IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2040 – GREEN-DEAL-SZENARIO	88
ABBILDUNG 51	CO ₂ -FREIER WASSERSTOFFBEDARF IM JAHR 2040 IN DER IRMD NACH SEKTOREN (EXKL. VERKEHRSSEKTOR)	90
ABBILDUNG 52	ELEKTROLYSEKAPAZITÄTEN UND STROMBEDARFE JE GEBIETSKÖRPERSCHAFT IM JAHR 2040	91
ABBILDUNG 53	STROMBASIERTE WASSERSTOFFERZEUGUNG UND CO ₂ -FREIER WASSERSTOFFBEDARF IM JAHR 2040 IN DER IRMD	91
ABBILDUNG 54	STROMBILANZ (ERZEUGUNG UND VERBRAUCH) IN DER IRMD – REFERENZSZENARIO	95
ABBILDUNG 55	STROMBILANZ (ERZEUGUNG UND VERBRAUCH) IN DER IRMD – GREEN-DEAL-SZENARIO	95
ABBILDUNG 56	FERNWÄRMEBILANZ (ERZEUGUNG UND VERBRAUCH) IN DER IRMD – REFERENZSZENARIO	97
ABBILDUNG 57	FERNWÄRMEBILANZ (ERZEUGUNG UND VERBRAUCH) IN DER IRMD – GREEN-DEAL-SZENARIO	97
ABBILDUNG 58	EMISSIONEN IN DER IRMD (GESAMT) NACH SEKTOREN IM JAHR 2020	100
ABBILDUNG 59	EMISSIONEN IN DER IRMD (GESAMT) NACH SEKTOREN IM JAHR 2040 – REFERENZSZENARIO	100
ABBILDUNG 60	EMISSIONEN IN DER IRMD (GESAMT) NACH SEKTOREN IM JAHR 2040 – GREEN-DEAL-SZENARIO	101
ABBILDUNG 61	EMISSIONEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH SEKTOREN IM JAHR 2020	102
ABBILDUNG 62	EMISSIONEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH SEKTOREN IM JAHR 2040 – REFERENZSZENARIO	102
ABBILDUNG 63	EMISSIONEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH SEKTOREN IM JAHR 2040 – GREEN-DEAL-SZENARIO.....	102
ABBILDUNG 64	EMISSIONEN IN DER IRMD (GESAMT) NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2020	103
ABBILDUNG 65	EMISSIONEN IN DER IRMD (GESAMT) NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2040 – REFERENZSZENARIO	104
ABBILDUNG 66	EMISSIONEN IN DER IRMD (GESAMT) NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2040 – GREEN-DEAL-SZENARIO.....	104
ABBILDUNG 67	EMISSIONEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2020.....	105
ABBILDUNG 68	EMISSIONEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2040 – REFERENZSZENARIO	105
ABBILDUNG 69	EMISSIONEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN NACH ENERGIETRÄGER IM JAHR 2040 – GREEN-DEAL-SZENARIO ..	105
ABBILDUNG 70	GROßKRAFTWERKE INSTALLIERTE LEISTUNG (> 10 MW) IN DER IRMD.....	118
ABBILDUNG 71	ANGABEN ZU GROßKRAFTWERKEN (BESTAND) IN DER IRMD (STAND 12/2020).....	119
ABBILDUNG 72	GROßKRAFTWERKE ANZAHL ANLAGEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN.....	119
ABBILDUNG 73	GROßKRAFTWERKE INSTALLIERTE LEISTUNG (MW _{el}) IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN.....	120
ABBILDUNG 74	GROßKRAFTWERKE ERZEUGTE STROMMENGE IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN.....	120
ABBILDUNG 75	GROßKRAFTWERKE ERZEUGTE WÄRMEMENGE IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	121
ABBILDUNG 76	BHKW KWK (FOSSIL) ANZAHL ANLAGEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	122
ABBILDUNG 77	BHKW KWK (FOSSIL) INSTALLIERTE LEISTUNG (MW _{el}) IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	122
ABBILDUNG 78	BHKW KWK (FOSSIL) ERZEUGTE STROMMENGE IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	123
ABBILDUNG 79	BHKW KWK (FOSSIL) ERZEUGTE WÄRMEMENGE IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	123
ABBILDUNG 80	MÜLLVERBRENNUNGSANLAGEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	124
ABBILDUNG 81	WASSERKRAFT NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	125
ABBILDUNG 82	WINDENERGIE NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	125
ABBILDUNG 83	ENTWICKLUNG WINDENERGIE NACH ANZAHL DER ANLAGEN UND INSTALLIERTER LEISTUNG IM ÄLTENBURGER LAND	126



ABBILDUNG 84	ENTWICKLUNG WINDENERGIE NACH ANZAHL DER ANLAGEN UND INSTALLIERTER LEISTUNG IM LANDKREIS LEIPZIG	126
ABBILDUNG 85	ENTWICKLUNG WINDENERGIE NACH ANZAHL DER ANLAGEN UND INSTALLIERTER LEISTUNG IM LANDKREIS NORDSACHSEN	127
ABBILDUNG 86	ENTWICKLUNG WINDENERGIE NACH ANZAHL DER ANLAGEN UND INSTALLIERTER LEISTUNG IN DER STADT LEIPZIG.	127
ABBILDUNG 87	ENTWICKLUNG WINDENERGIE NACH ANZAHL DER ANLAGEN UND INSTALLIERTER LEISTUNG IM BURGENLANDKREIS.	128
ABBILDUNG 88	ENTWICKLUNG WINDENERGIE NACH ANZAHL DER ANLAGEN UND INSTALLIERTER LEISTUNG IM SAALEKREIS	128
ABBILDUNG 89	ENTWICKLUNG WINDENERGIE NACH ANZAHL DER ANLAGEN UND INSTALLIERTER LEISTUNG IM LANDKREIS MANSFELD-SÜDHARZ	129
ABBILDUNG 90	ENTWICKLUNG WINDENERGIE NACH ANZAHL DER ANLAGEN UND INSTALLIERTER LEISTUNG IM LANDKREIS ANHALT-BITTERFELD-	129
ABBILDUNG 91	PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	130
ABBILDUNG 92	BIOMASSEANLAGEN NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	130
ABBILDUNG 93	BIOMASSE-ANLAGEN NACH ART DER BIOMASSE IN DER IRMD IM JAHR 2018	131
ABBILDUNG 94	WALDHOLZPOTENZIALE – MITTELDEUTSCHES REVIER (BIOÖKONOMIE ATLAS 2020/2021)	131
ABBILDUNG 95	ERNEUERBARE ENERGIE (ANZAHL ANLAGEN) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	139
ABBILDUNG 96	ERNEUERBARE ENERGIE (INSTALLIERTE LEISTUNG) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	139
ABBILDUNG 97	ERNEUERBARE ENERGIE (STROMERZEUGUNG) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	140
ABBILDUNG 98	ENERGIEERZEUGUNG GESAMT (ANZAHL ANLAGEN) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	140
ABBILDUNG 99	ENERGIEERZEUGUNG GESAMT (INSTALLIERTE LEISTUNG) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	141
ABBILDUNG 100	ENERGIEERZEUGUNG GESAMT (ERZEUGTE STROMMENGE) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018	141
ABBILDUNG 101	STROMBILANZ STADT HALLE (SAALE) – REFERENZSZENARIO	142
ABBILDUNG 102	STROMBILANZ STADT HALLE (SAALE) – GREEN-DEAL-SZENARIO	142
ABBILDUNG 103	STROMBILANZ LANDKREIS ANHALT-BITTERFELD – REFERENZSZENARIO	143
ABBILDUNG 104	STROMBILANZ LANDKREIS ANHALT-BITTERFELD – GREEN-DEAL-SZENARIO	143
ABBILDUNG 105	STROMBILANZ LANDKREIS MANSFELD-SÜDHARZ – REFERENZSZENARIO	144
ABBILDUNG 106	STROMBILANZ LANDKREIS MANSFELD-SÜDHARZ – GREEN-DEAL-SZENARIO	144
ABBILDUNG 107	STROMBILANZ SAALEKREIS – REFERENZSZENARIO	145
ABBILDUNG 108	STROMBILANZ SAALEKREIS – GREEN-DEAL-SZENARIO	145
ABBILDUNG 109	STROMBILANZ BURGENLANDKREIS – REFERENZSZENARIO	146
ABBILDUNG 110	STROMBILANZ BURGENLANDKREIS – GREEN-DEAL-SZENARIO	146
ABBILDUNG 111	STROMBILANZ STADT LEIPZIG – REFERENZSZENARIO	147
ABBILDUNG 112	STROMBILANZ STADT LEIPZIG – GREEN-DEAL-SZENARIO	147
ABBILDUNG 113	STROMBILANZ LANDKREIS NORDSACHSEN – REFERENZSZENARIO	148
ABBILDUNG 114	STROMBILANZ LANDKREIS NORDSACHSEN – GREEN-DEAL-SZENARIO	148
ABBILDUNG 115	STROMBILANZ LANDKREIS LEIPZIG – REFERENZSZENARIO	149
ABBILDUNG 116	STROMBILANZ LANDKREIS LEIPZIG – GREEN-DEAL-SZENARIO	149
ABBILDUNG 117	STROMBILANZ LANDKREIS ALTENBURGER LAND – REFERENZSZENARIO	150
ABBILDUNG 118	STROMBILANZ LANDKREIS ALTENBURGER LAND – GREEN-DEAL-SZENARIO	150
ABBILDUNG 119	FERNWÄRMEBILANZ STADT HALLE (SAALE) – REFERENZ-SZENARIO	151
ABBILDUNG 120	FERNWÄRMEBILANZ STADT HALLE (SAALE) – GREEN-DEAL-SZENARIO	151
ABBILDUNG 121	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS ANHALT-BITTERFELD – REFERENZ-SZENARIO	153
ABBILDUNG 122	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS ANHALT-BITTERFELD – GREEN-DEAL-SZENARIO	153
ABBILDUNG 123	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS MANSFELD-SÜDHARZ – REFERENZ-SZENARIO	154
ABBILDUNG 124	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS MANSFELD-SÜDHARZ – GREEN-DEAL-SZENARIO	154
ABBILDUNG 125	FERNWÄRMEBILANZ SAALEKREIS – REFERENZ-SZENARIO	155



ABBILDUNG 126	FERNWÄRMEBILANZ SAALEKREIS - GREEN-DEAL-SZENARIO	155
ABBILDUNG 127	FERNWÄRMEBILANZ BURGENLANDKREIS - REFERENZ-SZENARIO	156
ABBILDUNG 128	FERNWÄRMEBILANZ BURGENLANDKREIS - GREEN-DEAL-SZENARIO	156
ABBILDUNG 129	FERNWÄRMEBILANZ STADT LEIPZIG - REFERENZ-SZENARIO	157
ABBILDUNG 130	FERNWÄRMEBILANZ STADT LEIPZIG - GREEN-DEAL-SZENARIO	157
ABBILDUNG 131	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS NORDSACHSEN - REFERENZ-SZENARIO	159
ABBILDUNG 132	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS NORDSACHSEN - GREEN-DEAL-SZENARIO	159
ABBILDUNG 133	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS LEIPZIG - REFERENZ-SZENARIO	160
ABBILDUNG 134	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS LEIPZIG - GREEN-DEAL-SZENARIO	160
ABBILDUNG 135	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS ALTENBURGER LAND - REFERENZ-SZENARIO	161
ABBILDUNG 136	FERNWÄRMEBILANZ LANDKREIS ALTENBURGER LAND - GREEN-DEAL-SZENARIO	161

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1	ERGEBNISSE DER POTENZIALBETRACHTUNG FÜR WINDENERGIE UND BERÜCKSICHTIGUNG IN DEN SZENARIEN	35
TABELLE 2	KATALOG DER AUSSCHLUSSFLÄCHEN FÜR DIE ERRICHTUNG VON PV-FREIFLÄCHENANLAGEN IN DEN PLANUNGSREGIONEN DER IRMD	39
TABELLE 3	KATALOG DER AUSSCHLUSSFLÄCHEN FÜR DIE ERRICHTUNG VON PV-FREIFLÄCHENANLAGEN FÜR ALLE PLANUNGSREGIONEN DER IRMD	41
TABELLE 4	ÜBERSICHT DER THEORETISCHEN POTENZIALFLÄCHEN FÜR DIE NUTZUNG VON PHOTOVOLTAIK IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN	47
TABELLE 5	ABGLEICH DER BIOGASPOTENZIALE MIT DER GEGENWÄRTIGEN NUTZUNG IN DER IRMD-REGION	51
TABELLE 6	FERNWÄRMEVERSORGER IN DER IRMD	54
TABELLE 7	POTENZIALE ZUR NUTZUNG INDUSTRIELLER ABWÄRME.....	56
TABELLE 8	MÖGLICHE STANDORTE FÜR GROßWÄRMEPUMPEN IN DER IRMD	57
TABELLE 9	ABSCHÄTZUNG DER BIOGENEN CO ₂ -MENGEN DER BIOGASPRODUKTIONSANLAGEN	64
TABELLE 10	ABSCHÄTZUNG DER BIOGENEN CO ₂ -MENGEN DER BIOGASPRODUKTIONSANLAGEN	65
TABELLE 11	VERWENDETE H ₂ -INPUTFAKTOREN JE PRODUKTIONSEINHEIT	66
TABELLE 12	BESTAND AN BATTERIESPEICHERSYSTEMEN UNTERSCHIEDLICHER GRÖßENKLASSEN IN DER IRMD	74
TABELLE 13	ANNAHMEN ZUR BERECHNUNG DER STROMERZEUGUNG AUS WASSERKRAFT	92
TABELLE 14	ANNAHMEN ZUR BERECHNUNG DER STROMERZEUGUNG AUS PHOTOVOLTAIK	92
TABELLE 15	ANNAHMEN ZUR BERECHNUNG DER STROMERZEUGUNG AUS WINDENERGIE	93
TABELLE 16	EMISSIONSFAKTOREN WEITERER ENERGIETRÄGER IN DEN SZENARIEN	98
TABELLE 17	EMISSIONSFAKTOR FERNWÄRME DER GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DEN SZENARIEN	99
TABELLE 17	MÜLLVERBRENNUNGSANLAGEN IN DEN GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IM JAHR 2018.....	124
TABELLE 18	HOLZROHSTOFFBILANZ MITTELDEUTSCHES REVIER.....	132
TABELLE 19	ERNEUERBARE ENERGIEN (ANZAHL ANLAGEN) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018.....	133
TABELLE 20	ERNEUERBARE ENERGIEN (INSTALLIERTE LEISTUNG MW _{el}) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018	133
TABELLE 21	ERNEUERBARE ENERGIEN (ERZEUGTE STROMMENGE) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018.....	134
TABELLE 22	ERNEUERBARE ENERGIEN (ERZEUGTE WÄRMEMENGE) NACH GEBIETSKÖRPERSCHAFTEN IN DER IRMD IM JAHR 2018.....	134
TABELLE 23	STANDORTE DER KLÄRANLAGEN IN DER IRMD	135
TABELLE 24	STANDORTE KLÄRGAS-BHKW IN DER IRMD	136
TABELLE 25	STANDORTE DER DEPONIEANLAGEN IN DER IRMD.....	136
TABELLE 26	STANDORTE DER DEPONIEGAS-BHKW IN DER IRMD	137
TABELLE 27	BIOGASAUFBEREITUNGSANLAGEN (BGAA) IN DER IRMD MIT STATUS „IN BETRIEB“	138
TABELLE 28	ÜBERSICHT FACHGESPRÄCHE.....	162



Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AP	Arbeitspaket
APV	Agri-Photovoltaik
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Blockheizkraftwerk
BK	Braunkohle
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BNetzA	Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen
BTV	beste verfügbare Techniken
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
CO ₂	Kohlendioxid
DirektZahlDurchV	Direktzahlungen-Durchführungsverordnung
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EU	Europäische Union
EW	Einwohner
FPV	Floating-Photovoltaik (schwimmende Photovoltaik)
gem.	gemäß
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
H ₂	Wasserstoff
HKW	Heizkraftwerk
HTC	Hydrothermale Carbonisierung
Hs	Brennwert
IBN	Inbetriebnahme
IRMD	Innovationsregion Mitteldeutschland
IPCEI	Important Project of Common European Interest
km	Kilometer
kt	Kilo Tonnen (1.000 t)
KVBG	Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung
KW	Kraftwerk
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
MaStR	Marktstammdatenregister
Mio.	Millionen
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW _{el}	Megawatt elektrisch
MW _p	Megawatt peak
MWh	Megawattstunde
MW _{th}	Megawatt thermisch
N	Stickstoff
NEP	Netzentwicklungsplan
OSM	Open Street Map



P	Phosphor
PEM	Proton-Exchange-Membran
PtG	Power-to-Gas
PtH	Power-to-Heat
PtL	Power-to-Liquid
PtX	Power-to-X
PV	Photovoltaik
RED II	Europäische Erneuerbare-Energien-Richtlinie
REP	Regionalplan
SV	Selbstverbrauch
TRG	Technologiereifegrad
TRL	Technology Readiness Level (Englisch für TRG)
TWh	Terawattstunden
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VRG	Vorranggebiet
WEA	Windenergieanlagen
BauNVO	Baunutzungsverordnung

1. Einleitung

Mit dem auf Bundesebene beschlossenen Kohleausstieg bis spätestens zum Jahr 2038 steht dem ehemaligen Mitteldeutschen Revier ein erheblicher Strukturwandel bevor, der im Kern eine Transformation von fossiler hin zur erneuerbaren und klimaneutralen Energieversorgung beinhaltet. Die bis heute vom Braunkohletagebau geprägte Region benötigt ein innovatives Konzept, um Lebensqualität und Arbeitsplätze langfristig zu sichern, regionale Wertschöpfung zu fördern und einen ambitionierten Beitrag zur Energiewende zu leisten. Diesem Ziel hat sich die Innovationsregion Mitteldeutschland verschrieben. Die Gestaltung des Wandels im Dreiländereck Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen übernehmen damit lokale Akteure aus sieben Landkreisen und zwei Großstädten unter der Federführung des Burgenlandkreises und gestützt durch den Bund sowie die berührten Bundesländer. Das Projekt wird unterstützt und begleitet durch die Metropolregion Mitteldeutschland Management GmbH (MMM)“.

Die neun Gebietskörperschaften umfassen einen sehr heterogenen Raum mit mehr als 2 Mio. Einwohnern in städtischen und ländlich geprägten Strukturen mit einer Gesamtgröße von über 10.000 km². Die Diversität der Region spiegelt sich im Spektrum der Einwohnerdichten und -dynamiken sowie in den Abhängigkeiten zwischen den Räumen in der Energieerzeugung und -nutzung wider. Gleichwohl vereint die Region ihre zentrale Lage in Europa und ihre gute Anbindung, die sie zu einem gefragten Logistikstandort macht. Neben den traditionell starken Wirtschaftszweigen Anlagen- und Maschinenbau sowie Kunststoffverarbeitung und chemischer Industrie, hat sich Mitteldeutschland in den letzten Jahrzehnten auch als starker Wissenschafts- und Forschungsstandort etabliert – ein Motor für Innovation. Wirtschaftskraft, exzellente Bildungslandschaft, kultureller Reichtum, lebenswerte Heimat und hohe Lebensqualität sind weitere Charakteristika der Region, die durch die Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ in ihrem Abschlussbericht betont wurden.

Das Landschaftsbild Mitteldeutschlands zeugt von der Braunkohlenförderung. Neben den noch aktiven Tagebauen Vereinigtes Schleenhain, Profen (Sachsen) und Amsdorf (Sachsen-Anhalt), entstand in den letzten Jahren eine Vielzahl von rekultivierten ehemaligen Tagebauflächen, teils mit touristischer Relevanz und Naherholungsfunktion (z. B. das Leipziger Neuseenland). Diese stehen bereits heute beispielhaft für eine erfolgreiche Implementierung regionaler Wertschöpfung.

Hauptgrund für den Strukturwandel ist der geplante energetische Ausstieg aus der Kohle (planmäßig bis spätestens zum Jahr 2038) und die damit wegfallende Strom- und Wärmeerzeugung aus Braunkohlekraftwerken. Es handelt sich dabei um erhebliche Energiemengen, welche – zumindest zum Teil – durch andere Energieträger substituiert werden müssen.

Mit dem politischen Bekenntnis zu Klimaschutz und Energiewende sollte dies vorwiegend auf Basis erneuerbarer Energien erfolgen. Im Stromsektor werden voraussichtlich vorwiegend Windenergie und Photovoltaik eine große Rolle spielen, wobei dies – wegen deren Volatilität – durch den Einsatz von Stromspeichern umfangreich unterstützt werden muss. Von besonderer Wichtigkeit sind Gastechnologien, da das im Gasnetz vorhandene Erdgas sukzessiv durch erneuerbares Gas aus Power-to-Gas-Prozessen und Biomethan aus Biogasanlagen ersetzt werden soll. Da der Wärme- und Verkehrssektor hinsichtlich des Einsatzes erneuerbarer Energien erheblich gegenüber dem Stromsektor zurückliegt, ist auch die Betrachtung der Sektorenkopplung mittels Power-to-Liquid (Verkehr/Kraftstoffe) sowie Power-to-Gas (Strom/Wärme) und Power-to-Heat (Wärme) in Verbindung mit Wärmespeichern von besonderer Bedeutung.

Die vorliegende Studie ist ein wichtiger Ausgangspunkt für die strategische Ausgestaltung eines energetischen Zukunftsbildes der Region. Die breite öffentliche Diskussion der Themen Klimaschutz und Energieversorgung hat insbesondere in den letzten Jahren zu einer Reihe von politischen Entscheidungen und konkreten Maßnahmen geführt, die aufzeigen, dass viele politische Ebenen an der Ausgestaltung der Energiewende vor Ort arbeiten. Konkret haben einige Kommunen und Kreise in den Gebietskörperschaften der IRMD in den vergangenen Jahren bereits Strategien

für eine zukünftige Energieversorgung im Zuge von Energiewende und Klimawandel vorgelegt. So verfügen der Landkreis Nordsachsen sowie die Städte Halle (Saale) und Leipzig über Energie- und/oder Klimaschutzkonzepte. Auch der Landkreis Leipzig erarbeitet derzeit ein Klimaschutzkonzept.

Seitdem die von der Bundesregierung initiierte Nationale Klimaschutzinitiative u. a. die Erstellung von Klimaschutzkonzepten fördert, wurden in den letzten 10 Jahren auch viele kommunale Strategien auf Gemeinde- und Stadtebene erarbeitet. Klimaschutz- und Energieversorgungsstrategien werden auch in höhere Planungsebenen, wie Leitbilder, Masterpläne oder Stadtentwicklungspläne integriert (s. Burgenlandkreis, Landkreis Mansfeld-Südharz, Stadt Bitterfeld-Wolfen). Die Schaffung einer Stelle für Klimaschutzmanagement schließt sich nur in gut einem Viertel der Fälle an die Konzepterstellung an. Der Landkreis Leipzig hat im Jahr 2020 ein Klimaschutzmanagement eingerichtet, sonst existieren auf Landkreisebene bislang noch keine weiterführenden Umsetzungsstrukturen. Anders sieht dies in den Ballungsräumen aus. Die Stadt Halle (Saale) verfügt bereits seit 2013 über das Dienstleistungszentrum Klimaschutz, während die Stadt Leipzig im Jahr 2016 eine Klimaschutzleitstelle installierte. Die Stadt Leipzig hat zudem 2019 den Klimanotstand ausgerufen, welcher Einfluss auf die Diskussion über alle städtischen Vorhaben hat.

Aufgabe der Studie „Energiekonzept IRMD“ ist zunächst eine zusammenfassende Bestandsaufnahme für die IRMD, welche die Energieerzeugung der installierten Anlagen identifiziert, deren energetischen Output (Strom-/Wärmeerzeugung) bestimmt sowie den derzeitigen Strom- und Wärmeverbrauch nach relevanten Verbrauchergruppen ermittelt. Basierend auf dieser Ist-Analyse werden Szenarien für den Energiebedarf bis zum Jahr 2040 erstellt sowie Potenziale und Maßnahmen für eine sichere und weitgehend emissionsfreie Strom- und Wärmeversorgung ermittelt und diskutiert. Hierbei werden auch relevante bzw. systemkritische Wechselwirkungen oder Abhängigkeiten mit angrenzenden Gebietskörperschaften oder Bundesländern benannt. Durch den Abgleich von Energiebedarf und -erzeugung können darüber hinaus benötigte Speicherkapazitäten und/oder Stromimporte bestimmt werden. Abschließend werden die THG-Minderungen der Szenarien für das Jahr 2040 dargestellt.

Die Studie wird durch ein Konsortium von Fachbüros unter der Federführung der Leipziger Institut für Energie GmbH (IE Leipzig) erarbeitet, die entsprechend ihrer spezifischen Erfahrungen und Kompetenzen zu den Bausteinen beigetragen haben. Das IE Leipzig führt für die Themenschwerpunkte Windenergie, Photovoltaik, Wasserkraft, Blockheizkraftwerke sowie Strom- und Wärmeverbrauch eine Bestand- und Potenzialanalyse durch. Diese Ergebnisse fließen wiederum in die Erstellung der Szenarien ein. Weiterhin erstellt das IE Leipzig die THG-Bilanz.

Die r2b energy consulting GmbH (r2b) führt die Bestands- und Potenzialanalysen zum (fossilen) Kraftwerksbestand in der IRMD durch. Weiterhin erarbeitet r2b die Potenziale der Photovoltaik-Nutzung auf Dachanlagen und führt Analysen zum Einsatz von Stromspeichern, Optionen zur Sektorenkopplung sowie die Erstellung der Szenarien federführend durch. Die Deutsche Biomasse Forschungszentrum GmbH (DBFZ) erarbeitet die Bestandsanalyse für Biomasseanlagen und Müllverbrennungsanlage. Weiterhin analysiert das DBFZ Optionen zur energetischen Biomasse-nutzung und zur alternativen Klärgasnutzung.

Das vorliegende „Energiekonzept IRMD“ wird thematisch durch weitere Studien ergänzt, welche ebenfalls von der IRMD beauftragt und bearbeitet werden:

- Sozioökonomische Perspektive 2040
Auftragnehmer: Prognos AG [Prognos 2021]
- Potenzialstudie Grüne Gase
Auftragnehmer: Ludwig-Bölkow Systemtechnik GmbH, Schultz-project consult, Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW, HYPOS e.V. [LBST 2021 et al.]
- Thermische Seewassernutzung
Auftragnehmer: JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH Institut für Wasser und Boden, Tilia GmbH [JENA GEOS et al. 2021]



**INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND**

- Integrierte Mobilitätsstudie

Auftragnehmer: PTV Transport Consult GmbH, Leipziger Institut für Energie GmbH, EcoLibro GmbH [PTV et al. 2021]

2. Bestandsaufnahme

2.1 Energieerzeugung

In diesem Kapitel wird der Kraftwerkspark zur Vor-Ort-Erzeugung von Strom und Fern-/Nahwärme in der Innovationsregion Mitteldeutschland dargestellt. Zur Ermittlung der aktuellen Ausgangslage wird das Jahr 2018 berücksichtigt.

Die Darstellung umfasst folgende Unterteilung:

- **Großkraftwerke**
Braunkohle- und sonstige Kraftwerke einschließlich installierter Leistung sowie Strom- und Wärmeerzeugung
- **BHKW | KWK (fossil)**
Blockheizkraftwerke (BHKW) einschließlich installierter Leistung sowie Strom- und Wärmeerzeugung
- **Müllverbrennungsanlagen**
Müllverbrennungsanlagen einschließlich installierter Leistung sowie Strom- und Wärmeerzeugung
- **Wasserkraft**
Wasserkraftwerke einschließlich installierter Leistung sowie Stromerzeugung
- **Windenergie**
Windenergieanlagen einschließlich installierter Leistung sowie Stromerzeugung
- **Photovoltaik**
Photovoltaikanlagen (Dach- und Freiflächenanlagen) einschließlich installierter Leistung sowie Stromerzeugung
- **Biomasse sowie Deponie- und Klärgas**
Biomasse- und Biogasanlagen sowie Deponiegas-, Klärgas- und sonstigen Anlagen einschließlich installierter Leistung sowie Strom- und Wärmeerzeugung
- **Zusammenfassung**

Großkraftwerke

Im Rahmen der Bestandsaufnahme konventioneller Kraftwerke (KW) sind alle Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von mehr als zehn Megawatt (MW) berücksichtigt. Datengrundlagen für Großkraftwerke sind einerseits die Kraftwerksdatenbank der r2b energy consulting GmbH sowie andererseits die Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur [BNetzA 2021]. Darüber hinaus werden die verfügbaren Bewegungsdaten von ENTSO-E sowie Daten aus [Agora Energiewende 2017] und eigene Berechnungen für die Abschätzung der historischen Strom- und Wärmeerzeugung der Anlagen verwendet.

In Abbildung 1 sind alle konventionellen Kraftwerke nach Energieträgern im Gebiet der Innovationsregion verzeichnet. Neben der Differenzierung nach eingesetzten Energieträgern, wird nach Bestand (Dreiecke) und Neubau (Kreise) sowie nach Industrie und Öffentlicher Versorgung unterschieden.

Die insgesamt installierte elektrische Leistung konventioneller Kraftwerke in der IRMD beträgt ca. 3.800 MW. Davon entfällt mit ca. 2.800 MW der überwiegende Teil (ca. 75 % der Leistung) auf die Braunkohle (BK), deren

Verstromung in der IRMD gemäß dem Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung (KVVG) in Lippendorf spätestens zum Ende 2035 und in Schkopau spätestens zum Ende 2036 eingestellt wird.

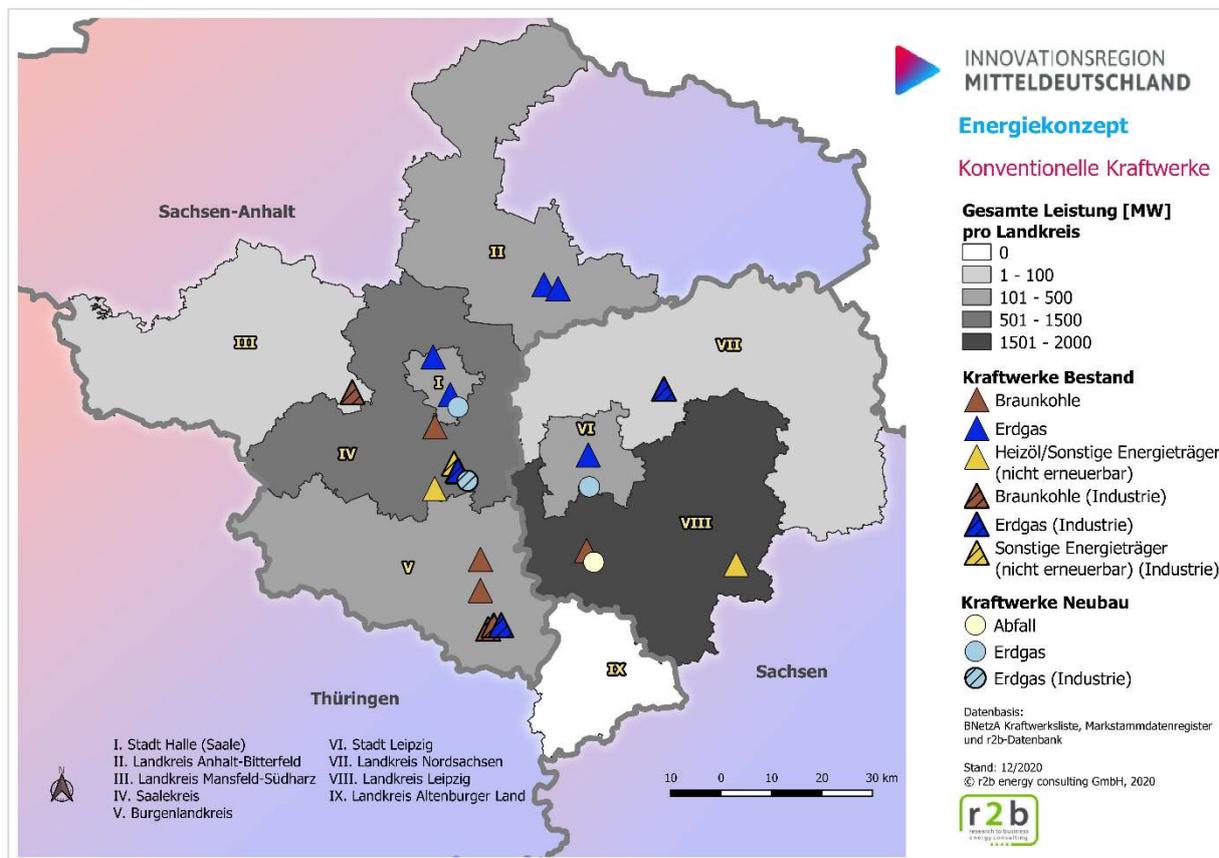


Abbildung 1 Großkraftwerke nach Gebietskörperschaften in der IRMD

Einige kleinere industrielle Braunkohleanlagen dürfen noch bis zum Jahresende 2038 laufen. Bei der Stromerzeugung fällt der Anteil der Braunkohle mit ca. 83 % noch etwas höher aus, während der Anteil der Braunkohle an der Wärmeerzeugung, aufgrund der häufig ungekoppelten Erzeugung von Strom in Braunkohleanlagen, mit ca. 45 % deutlich geringer ausfällt. Der Anteil der Erdgasbetriebenen Anlagen an der Wärmeerzeugung beträgt ebenfalls ca. 45 % (installierte elektr. Leistung ca. 18 %)¹

In sind beispielsweise die folgenden Bestandanlagen (> 10 MW_{el}) enthalten:

- Schkopau A+B (Saalekreis): je 450 MW_{el}; Außerbetriebnahme* Ende 2034
- Lippendorf R+S (Landkreis Leipzig): je 875 MW_{el}; Außerbetriebnahme* Ende 2035
- IKW Leuna: 8 Blöcke (Saalekreis) (vorwiegend Erdgas) mit zusammen 281 MW_{el}
- Envia Therm GmbH: 4 Blöcke (Erdgas/Heizöl) mit zusammen 283 MW_{el}
- Halle Trotha: 2 Blöcke (Erdgas) mit insgesamt 153 MW_{el}
- Leipzig Nord: (Erdgas) mit 167 MW_{el}
- 7 weitere Blöcke mit zusammen 254 MW_{el}

¹ Bei den Angaben zur Strom- und Wärmeerzeugung wurden, wenn keine Daten für das Kraftwerk oder den Kraftwerkblock öffentlich verfügbar sind, Abschätzungen auf Basis typischer Auslastungen der Anlagen vorgenommen. Dies ist neben den in diesem Abschnitt angeführten Aussagen insbesondere für die Ableitung von Szenarien in AP 4 erforderlich.

Damit sind im Rahmen der Szenarien bis zum Jahr 2040 (Arbeitspaket 4) insbesondere wärmeseitig, auch unter Berücksichtigung neuer emissionsarmer Wärmeerzeugung (z. B. Solarthermie, Bioenergie, Abfall, Abwärme), umfangreiche Ersatzkapazitäten zum Ersatz der wegfallenden Wärmebereitstellung aus Braunkohleanlagen bis zum Jahr 2038 zu schaffen, um die Wärmeversorgung zu gewährleisten (vgl. hierzu auch Kapitel 3 und 4). Teilweise wurden zur Schaffung solcher Ersatzkapazitäten bereits Investitionsentscheidungen getroffen.

In der r2b Kraftwerksdatenbank sind in der IRMD die folgenden Neubauprojekte enthalten:

- Stadt Halle: Modernisierung Heizkraftwerk (HKW) Dieselstraße (Erdgas) mit 165 MW_{el} und Inbetriebnahme (IBN) im Jahr 2020
- Stadt Leipzig: HKW-Süd (Gasturbinenanlage) mit 120 MW_{el} und Inbetriebnahme im Jahr 2023
- LK Leipzig: Müllheizkraftwerk Lippendorf (in Neukieritzsch) mit 50 MW_{el} und Inbetriebnahme im Jahr 2024
- IKW Leuna (ILK): Gasturbine mit 120 MW_{el} und Inbetriebnahme im Jahr 2022
- Bio-HKW und mehrere BHKW in Leipzig mit zusammen mehr als 30 MW_{el}

Eine tabellarische Darstellung aller konventionellen Kraftwerksblöcke (> 10 MW_{el}) im Bestand mit weiteren Angaben zu (geplanter) Inbetriebnahme, unterstellter Außerbetriebnahme, elektrischer/thermischer Leistung, historischer Strom- und Wärmeerzeugung (teilweise geschätzt), Wärmeversorgungsgebieten/-objekten sowie Power-to-Heat (PtH)-Anlagen, thermischen und elektrischen Speichern ist Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung | Großkraftwerke zu entnehmen.

BHKW | KWK (fossil)

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist vielschichtig und heterogen. KWK-Anlagen unterscheiden sich in ihren technischen Konzepten, Brennstoffen, Geschäftsmodellen, Akteuren sowie Leistungsgrößen. Die typischen drei Anwendungsfelder sind die KWK in der Öffentlichen Versorgung, sowie Industrie- und Objekt-KWK (Strom und Wärme werden vor Ort selbst genutzt, der Strom wird teilweise in ein Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist). Letzterem sind die Blockheizkraftwerke (BHKW) zuzuordnen, die sowohl mit fossilen Energieträgern (Erdgas, Erdöl) als auch biogenen Energieträgern (Biogas, Biomethan, Pflanzenöl, feste Biomasse) betrieben werden. Die Darstellung der installierten Biomasse-BHKW erfolgt im Kapitel 2.1 Biomasse sowie Deponie- und Klärgas.

Im folgenden Abschnitt werden somit die installierten BHKW auf Basis fossiler Energieträger (Erdgas, Flüssiggas und Heizöl) hinsichtlich der Anzahl der Anlagen, der gesamten installierten Anlagenleistung sowie der gesamten Strom- und Wärmeerzeugung ausgewiesen. Zur Identifizierung der in Betrieb befindlichen BHKW auf Basis fossiler Energieträger wurden Daten aus der Förderung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) ausgewertet. Betreiber von KWK-Anlagen erhalten demnach eine befristete Zuschlagszahlung. Voraussetzung für die Förderung ist die Zulassung der Anlage durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

Der aktuelle Bestand von KWK-Anlagen in der IRMD umfasst insgesamt 889 Anlagen. Davon befinden sich mit 209 etwa ein Viertel allein in der Stadt Leipzig und damit etwa doppelt so viele wie in der Stadt Halle (Saale) mit 94 Anlagen. Dominiert wird der Bestand von 803 Anlagen auf Erdgasbasis. Den weitaus kleineren Anteil repräsentieren 57 Flüssiggas-BHKW.

Die installierte Leistung im Jahr 2018 insgesamt umfasst 115 MW_{el}, davon rund 27 MW_{el} allein in der Stadt Leipzig. In der Stadt Halle (Saale) sind 7 MW_{el} installiert. In den Landkreisen variieren die installierten Leistungen von 6 MW_{el} im Altenburger Land bis 17 MW_{el} im Burgenlandkreis. Die durch KWK erzeugte Strommenge betrug im Jahr 2018 insgesamt 575 GWh, davon 561 GWh auf Basis von Erdgas.

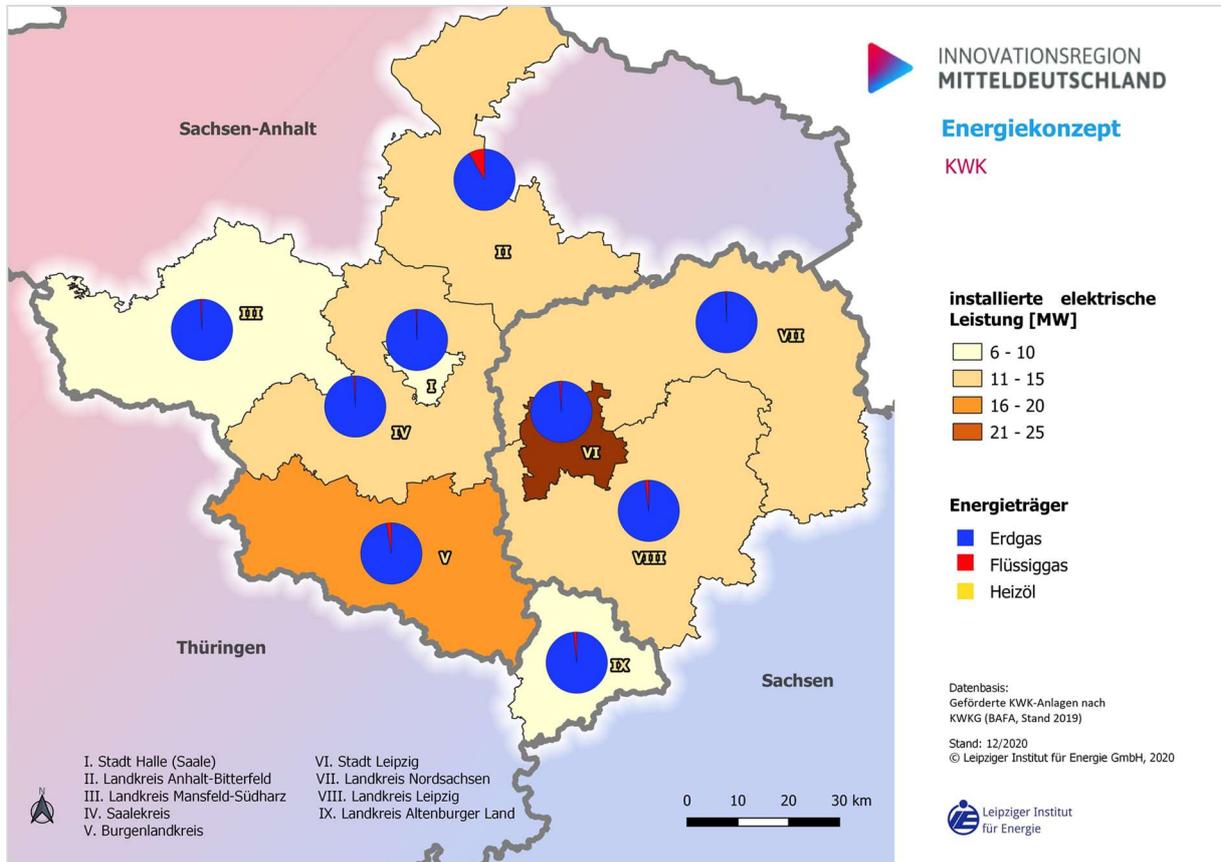


Abbildung 2 BHKW | KWK (fossil) nach Gebietskörperschaften in der IRMD im Jahr 2018

Weitere Detailinformationen zu Anzahl der Anlagen, installierter Leistung (el./th.), Stromerzeugung nach Energieträgereinsatz und eine Abschätzung zur Wärmeerzeugung nach Gebietskörperschaften befindet sich im Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung BHKW | KWK (fossil).

Müllverbrennungsanlagen

Zur Identifizierung der Müllverbrennungsanlagen (MVA) innerhalb der IRMD wurden die Statistiken der Abfall- /Entsorgungswirtschaft sowie Energiestatistiken der Länder ausgewertet. Ergänzt wurden diese durch eigene Standortrecherchen, wie die Auflistung meldepflichtiger Anlagen über das Umweltinformationssystem des Umweltbundesamtes.

Innerhalb der IRMD sind insgesamt 5 Müllverbrennungsanlagen (MVA) in Betrieb, die alle in den Landkreisen von Sachsen-Anhalt verortet sind:

- Landkreis Saalekreis: Leuna, 32,5 MW_{el}, Prozessdampfproduktion
- Landkreis Saalekreis: Standort Braunsbedra, 2,6 MW_{el}
- Burgenlandkreis: Standort Lützen, 25,4 MW_{el}, KWK (Strom-/Wärmeproduktion)
- Landkreis Anhalt-Bitterfeld: Standort Bitterfeld/Wolfen, 10 MW_{el}, KWK (Strom-/Wärmeproduktion)
- Landkreis Mansfeld-Südharz, Standort Mansfelder Land, 6,7 MW_{el} KWK (Strom-/Wärmeproduktion)

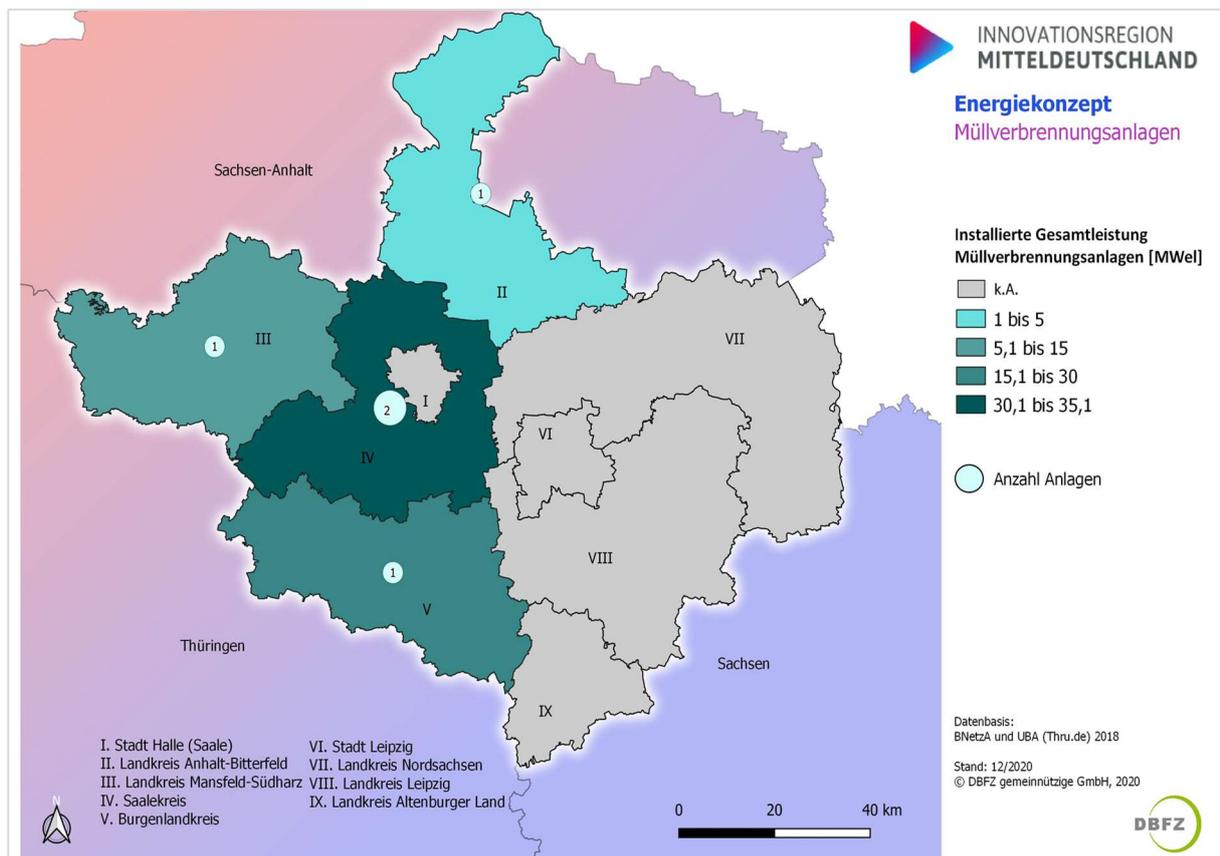


Abbildung 3 Müllverbrennungsanlagen nach Gebietskörperschaften in der IRMD im Jahr 2018

Sofern keine öffentlich verfügbaren Daten durch die Kraftwerksbetreiber genutzt werden konnten, erfolgte eine Abschätzung der Strom- und Wärmemengen auf der Basis von Energiestatistiken und Literaturrecherchen. Dazu erfolgte ein Abgleich der Anlagenleistungen der Kraftwerksliste der Bundesagentur (BNetzA) in Verbindung mit aktuellen Veröffentlichungen (Weber et al. 2020, BVT-Merkblatt für Abfallverbrennungsanlagen) zur Ableitung typischer elektrischer und thermischer Wirkungsgrade nach Kraftwerkstyp. Mit einer installierten elektrischen Gesamtleistung von 77,2 MW wurden in den 5 Anlagen im Jahr 2018 insgesamt 644 GWh Strom und 817 GWh Wärme erzeugt. Etwa die Hälfte der Gesamtleistung ist dem Saalekreis zu zu-

ordnen (Abbildung 3). Weitere Detailinformationen zu Anzahl der Anlagen, installierter Leistung, Stromerzeugung und eine Abschätzung zur Wärmeerzeugung nach Gebietskörperschaften befindet sich im Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen.

Wasserkraft

Zur Erfassung der existierenden Wasserkraftanlagen im Gebiet der IRMD wurden die Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie das Marktstammdatenregister (Stand 02/2021) ausgewertet.

Insgesamt waren in der IRMD im Jahr 2018 40 Wasserkraftanlagen mit einer installierten Nennleistung von 16,2 MW vorhanden, die circa 53 GWh Strom erzeugten (Abbildung 4). Die Saale ist mit ihrer mäßigen Fließgeschwindigkeit das am größten energetisch in Anspruch genommene Gewässer der Region. Die Wasserkraftanlage „Planena“ in der Stadt Halle (Saale) erzeugt ca. 5,9 GWh Strom jährlich. Im Burgenlandkreis sind mit 11 Anlagen die meisten Wasserkraftanlagen in einer Gebietskörperschaft der IRMD zu verzeichnen, während die höchste installierte Leistung der Saalekreis mit einer Nennleistung von 4,9 MW und einer Stromerzeugung von 17,8 GWh aufweist. In der Stadt Leipzig und im Landkreis Nordsachsen (z. B. in Bad Dübener Heide) liefern Wasserkraftanlagen im Bereich der Mulde und der Weißen Elster nur geringe Energiemengen.

Im Landkreis Leipzig, in Grimma, steht mit 1,4 MW installierter Leistung und einem jährlichen Stromertrag von rund 5,5 GWh die größte Anlage im Gebiet der IRMD. Weiterhin befinden sich im Landkreis Leipzig Anlagen in Colditz, Elstertrebnitz und Pegau. In der Stadt Halle wird eine Anlage mit einer installierten Leistung von 1,25 MW und einer Stromerzeugung von 4,9 GWh betrieben. Im Altenburger Land sind 5 Anlagen vorhanden, die das Wasser der Pleiße nutzen (z. B. in Bornshein, Münsa und Gardschütz). Ende 2019 wurde im Saalekreis eine weitere Anlage bei Merseburg mit einer installierten Leistung von 0,45 MW in Betrieb genommen. Die kartographische Darstellung zur Wasserkraft befindet sich im Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung | Erneuerbare Energien.

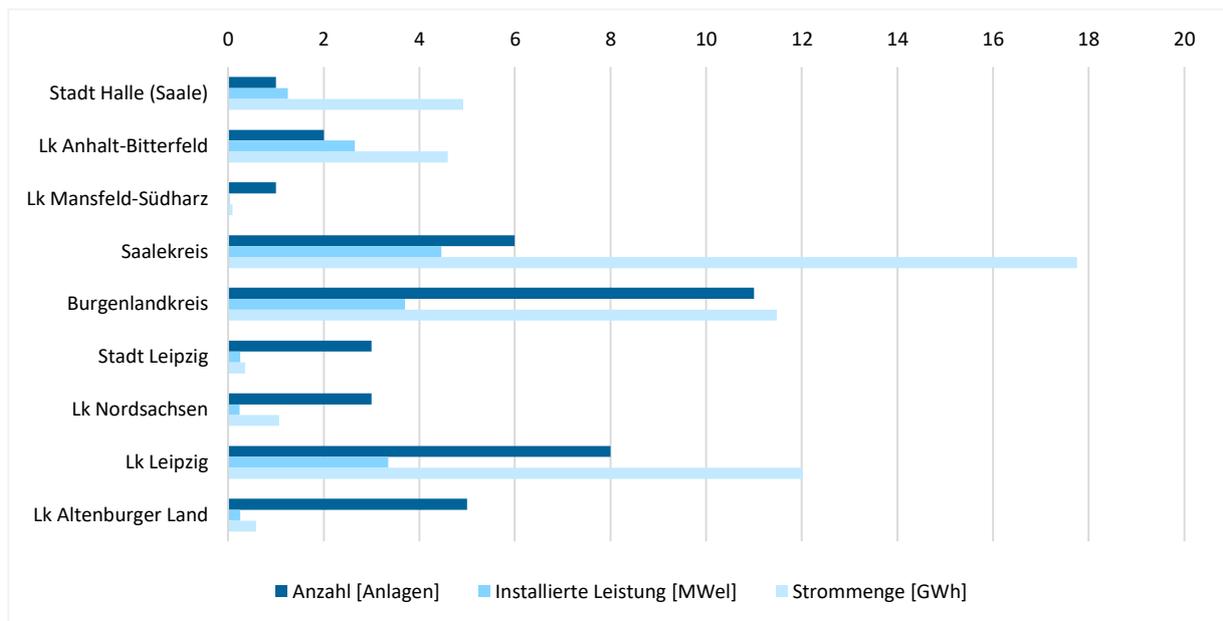


Abbildung 4 Wasserkraft nach Gebietskörperschaften in der IRMD im Jahr 2018

Windenergie

Zur Identifizierung der Windenergieanlagen (WEA) im Gebiet der IRMD wurden die Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie das Marktstammdatenregister (Stand 02/2021) ausgewertet.

In der IRMD befinden sich 1.205 Windenergieanlagen, welche sich recht ungleichmäßig auf die neun Gebietskörperschaften verteilen. So befinden sich etwa zwei Drittel aller Anlagen in den flächenmäßig größten Gebieten der Landkreise Anhalt-Bitterfeld, Mansfeld-Südharz, Saalekreis und Burgenlandkreis, wobei die Anzahl der Anlagen pro Landkreis zwischen 206 und 273 variiert (Abbildung 5). Weitaus weniger Anlagen finden sich in den Landkreisen Nordachsen, Leipzig und Altenburger Land. In den Städten Halle (Saale) und Leipzig sind erwartungsgemäß keine bzw. nur wenige Windenergieanlagen vorhanden. Die installierte Leistung beträgt 2.038 MW_{el} mit einer Gesamtstrommenge von 3.477 GWh im Jahr 2018.

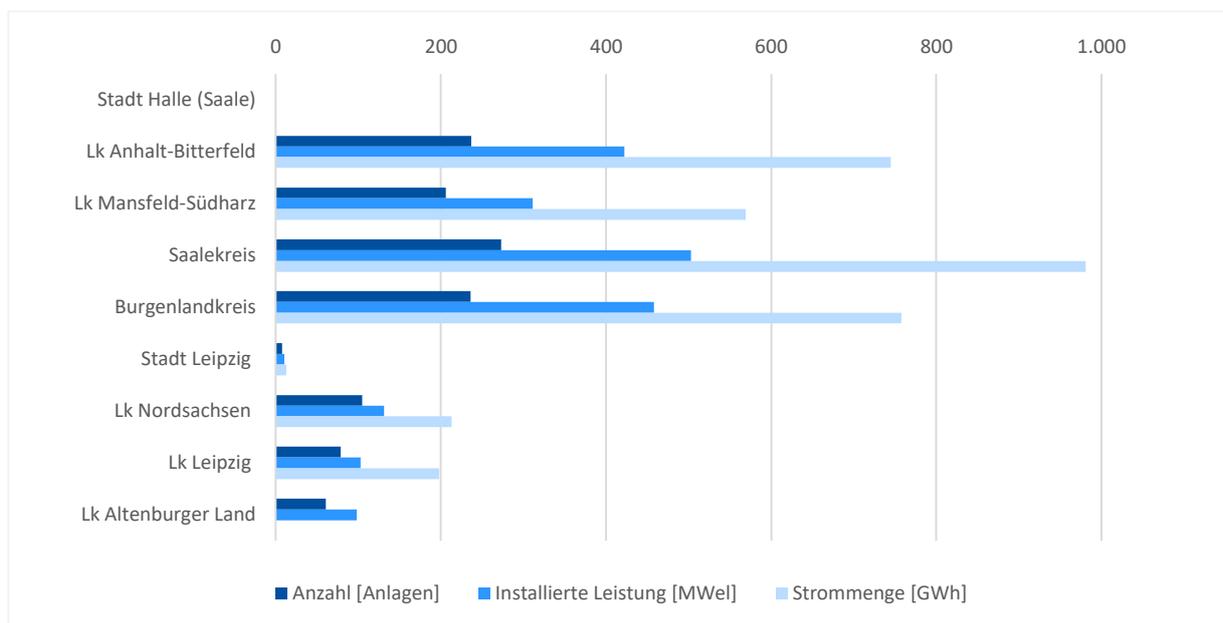


Abbildung 5 Windenergie nach Gebietskörperschaften in der IRMD im Jahr 2018

Weitere Detailinformationen zu Anzahl der Anlagen, installierter Leistung und Stromerzeugung befinden sich im Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung | Erneuerbare Energien.

Photovoltaik

Für die Erfassung der Photovoltaikanlagen (PVA) im Gebiet der IRMD wurden die Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH und das Marktstammdatenregister (Stand 02./2021) ausgewertet. Weiterhin erfolgte eine Differenzierung der Stromerzeugung bei PV-Dachanlagen zwischen ins Netz eingespeister und der selbstverbrauchten Strommenge (Strom, der nicht in das öffentliche Netz eingespeist wird).

Insgesamt sind in der IRMD 24.073 Photovoltaikanlagen auf Dächern und Freiflächen installiert, die im Jahr 2018 eine Strommenge von 2.034 GWh erzeugten, davon 110 GWh als Selbstverbrauch (Abbildung 6)..

Die meisten PV-Anlagen befinden sich im Landkreis Leipzig (ca. 4.400 Anlagen).

Derzeit liegt der Anteil der Freiflächenanlagen an der PV-Stromerzeugung bei 64 %. Den höchsten Anteil der Freiflächen an der solaren Stromerzeugung weist der Landkreis Anhalt-Bitterfeld mit 75 % (insgesamt 296 MW_{el}) auf, den niedrigsten Anteil der Freiflächenenerzeugung die Stadt Halle mit 26 % und ca. 8 MW.

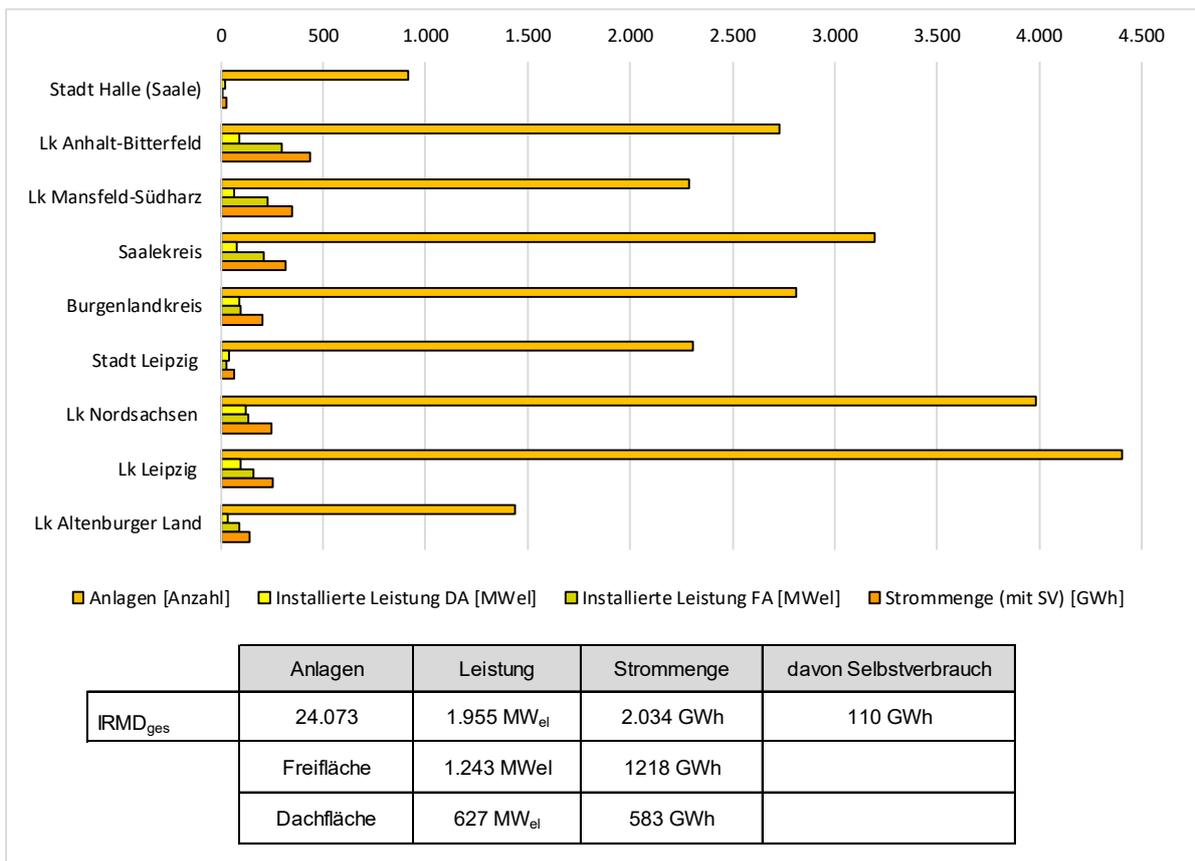


Abbildung 6 Photovoltaik nach Gebietskörperschaften in der IRMD im Jahr 2018

Weitere Detailinformationen zu Anzahl der Anlagen, installierter Leistung und Stromerzeugung befinden sich im Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung | Erneuerbare Energien.

Biomasse sowie Deponie- und Klärgas

Die folgenden Auswertungen umfassen folgende Anlagen nach Art der Bioenergieträger:

- Feste Biomasse: Biomasse-Heizkraftwerke, Altholzanlagen, Vergaseranlagen
- Gasförmige Bioenergieträger: Biogas-BHKW, Biomethan-BHKW
- Flüssige Biomasse: Pflanzenöl-BHKW
- Deponie- und Klärgas: Deponiegas-BHKW, Klärgas-BHKW

Zur Standortanalyse wurden die Daten der Bundesnetzagentur (BNetzA) und der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) zur Stromerzeugung von Biomasseanlagen (Bezugsjahr 2018) ausgewertet und nach Art der Bioenergieträger zugeordnet. Auf Basis der installierten Anlagenleistungen und der Stromerzeugungsmengen wurde unter Berücksichtigung anlagentypischer Wirkungsgrade die Wärmeerzeugung abgeschätzt.

Durch die energetische Nutzung von Biomasse wird im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien in den meisten Fällen nicht nur Strom, sondern durch den Einsatz von KWK-Anlagen auch gleichzeitig Wärme erzeugt. Im Bereich der erneuerbaren Energien wird der größte Teil der Wärmenergie durch Biomasse bereitgestellt, so dass Bioenergie im Vergleich zur Photovoltaik, Wasser- und Windkraft bei der Wärmebereitstellung eine Besonderheit darstellt. Bezogen auf die installierte elektrische Anlagenleistung dominieren in der IRMD mit rd. 61 % Biogas-BHKW. 24 % der installierten Leistung der Biomasseanlagen entfällt auf feste Biomasseanlagen, 8 % auf Biomethan-BHKW, 7 % auf Klärgas- und Deponiegas-BHKW und 0,2 % auf Pflanzenöl-BHKW.

Biomasseanlagen

Insgesamt sind in der IRMD etwa 252 Biomasseanlagen mit einer installierten Leistung von 198 MW_{el} in Betrieb. Mit Ausnahme der beiden Großstädte Halle (Saale) und Leipzig, sind die Biomasseanlagen relativ gleichmäßig auf die neun Gebietskörperschaften verteilt. Ähnlich wie bei den Windenergieanlagen finden Biomasseanlagen aufgrund der dichten Besiedlung und ungünstigen Standortfaktoren in Städten keinen Platz und werden meist in der Peripherie, in unmittelbarer Nähe zur Erzeugung von Biomasse, errichtet.

Im Jahr 2018 speisten die 252 Biomasseanlagen 1.098 GWh Strom ins Netz ein. Mit einer installierten Wärmeleistung von schätzungsweise 235 MW_{th} wurden etwa 1.312 GWh Wärme erzeugt. Die Verteilung der Anlagenzahl, installierten Leistung und erzeugten Strommengen der Biomasseanlagen in der IRMD nach Landkreis ist in Abbildung 7 dargestellt.

Hinsichtlich der Stromerzeugung aus Biomasse dominieren die Landkreise Nordsachsen und Mansfeld-Südharz. Weitere Detailinformationen zu Anzahl der Anlagen, installierter Leistung und Stromerzeugung befinden sich im Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung | Erneuerbare Energien.

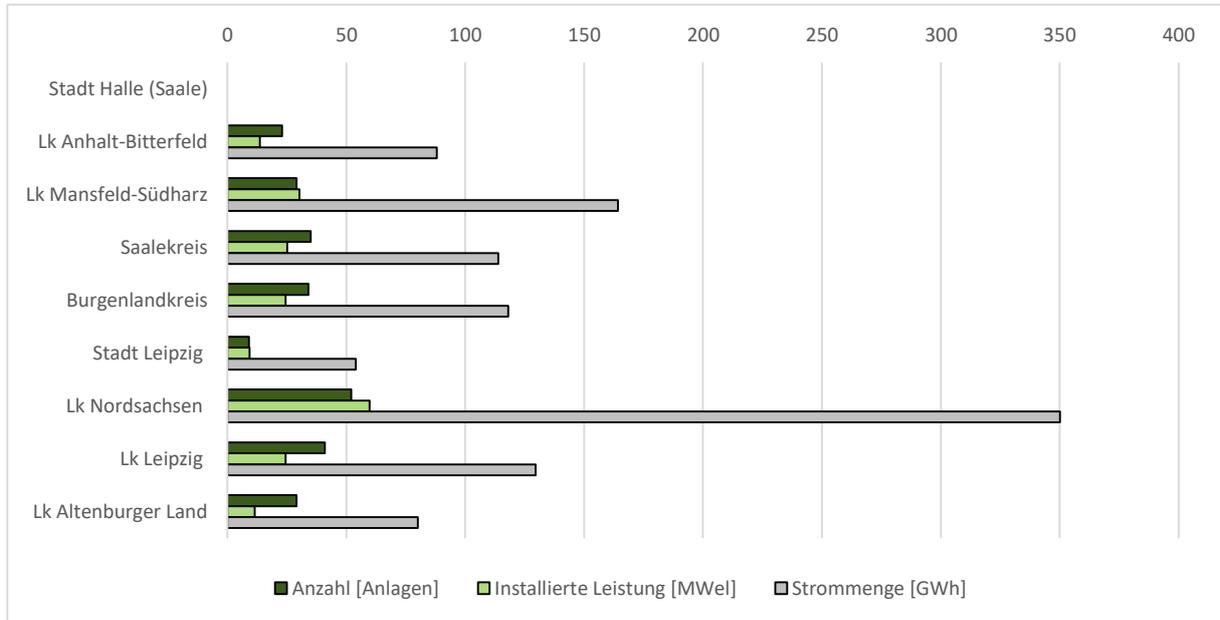


Abbildung 7 Biomasse nach Gebietskörperschaften in der IRMD im Jahr 2018

Klär-/Deponiegas

In der Innovationsregion gibt es 40 kommunale Kläranlagen (Größenklasse 3 bis 5, vgl. Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung) sowie 11 Deponieanlagen (Deponieklasse 2 und 3), wobei nicht an allen Standorten BHKW zur Verstromung des Klär- bzw. Deponiegases betrieben werden. Zudem zeigen die Auswertungen der Daten zur Stromerzeugung (BNetzA / ÜNB-Daten 2019 (Bezugsjahr 2018)), dass nicht an allen BHKW-Standorten eine Einspeisung des erzeugten Stromes vorgenommen wird. Dort wo Strom ins Stromnetz eingespeist wird, betrifft dies offenbar nur wenige Stunden im Jahr.

In der IRMD sind insgesamt 17 Deponie- und Klärgasanlagen mit BHKW (11 Deponiegas-BHKW, 6 Klärgas-BHKW an 4 Standorten) in Betrieb, wobei die Landkreise Mansfeld-Südharz, Leipzig und das Altenburger Land überhaupt keine BHKW-Anlagen aufweisen (Abbildung 8). Insgesamt umfassen die Deponie- und Klärgas-BHKW eine Anlagenleistung von rd. 15 MW_{el} bzw. 17 MW_{th} und tragen damit vergleichsweise wenig zur Energieproduktion bei. Im Jahr 2018 wurden durch die installierten Klär- und Deponiegas-BHKW schätzungsweise 28 GWh Strom und 32 GWh Wärme erzeugt, wobei nur ein kleiner Teil des Stromes ins Stromnetz eingespeist wurde. Der Großteil der Stromproduktion der BHKW deckt einen Teil des Eigenenergiebedarfes am Standort.

Den höchsten Wert der installierten Leistungen kann der Saalekreis mit 4 Deponieanlagen verzeichnen. Bei Klärgas dominiert die Stadt Halle (Saale) mit 3 BHKW mit rund 2 MW_{el} installierter Leistung aufgrund der großen Kläranlage (Halle-Nord). Eine Stromeinspeisung für 2018 erfolgte nach Auswertung der ÜNB-Daten für diese BHKW in Halle jedoch nicht.

Der spezifische Energieverbrauch der Kläranlagen hängt wesentlich von ihrer Größe ab. Im Mittel über alle Kläranlagen in Sachsen-Anhalt lag der Energieverbrauch im Jahr 2017 bei 34 kWh/EW [BDEW 2017]. Im bundesweiten Vergleich der Anlagen lag dieser Wert bei 31,8 kWh/EW und Jahr [DWA 2017]. Eigenenergie wird in Abhängigkeit von der Größe der Kläranlagen erzeugt. Derzeit wird der für die Abwasser- und Schlammbehandlung auf den Kläranlagen benötigte Strom bundesweit bilanziert schon zu 40 % durch Eigenstromerzeugung abgedeckt; in den Kläranlagen in Sachsen und Thüringen zu 43 %, in Kläranlagen Nord-Ost zu 49 % [DWA 2019]. Für Anlagen mit überdurchschnittlichem Faulgasanfall können sogar Spitzenwerte von über 80 % erreicht werden [DWA 2017]. Durch einen weiteren Ausbau einer Faulgasverstromung sind noch Potenziale zu heben, jedoch abhängig von der in den Landesverbänden jeweils vorherrschenden Anlagenstruktur [DWA 2019].

Aufgrund der Abfallgesetzgebung (u. a. Abfallablagerversordnung) nimmt der Organikanteil bei der Ablagerung von Siedlungsabfällen und damit verbunden das in Deponiegasanlagen erzeugte Deponiegas kontinuierlich ab. Perspektivisch wird demnach auch die Verstromung von Deponiegas zurückgehen.

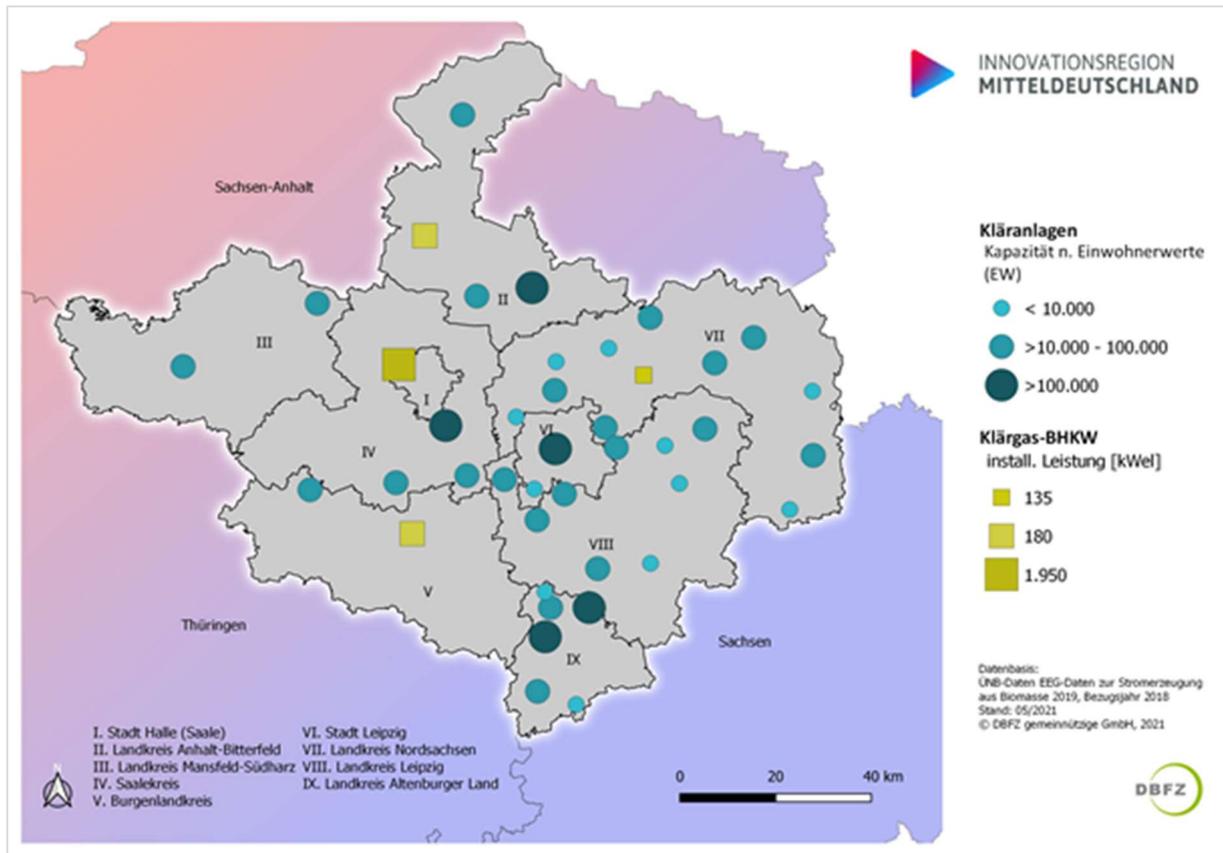


Abbildung 8 Klärgasanlagen und Standorte mit Klärgas-BHKW in der IRMD nach Gebietskörperschaften
Daten: Datenrecherche DBFZ mit Einbezug der Daten der Länderministerien, BNetzA/ÜNB-Daten 2019 (Bezugsjahr 2018), Darstellung DBFZ 5/2021

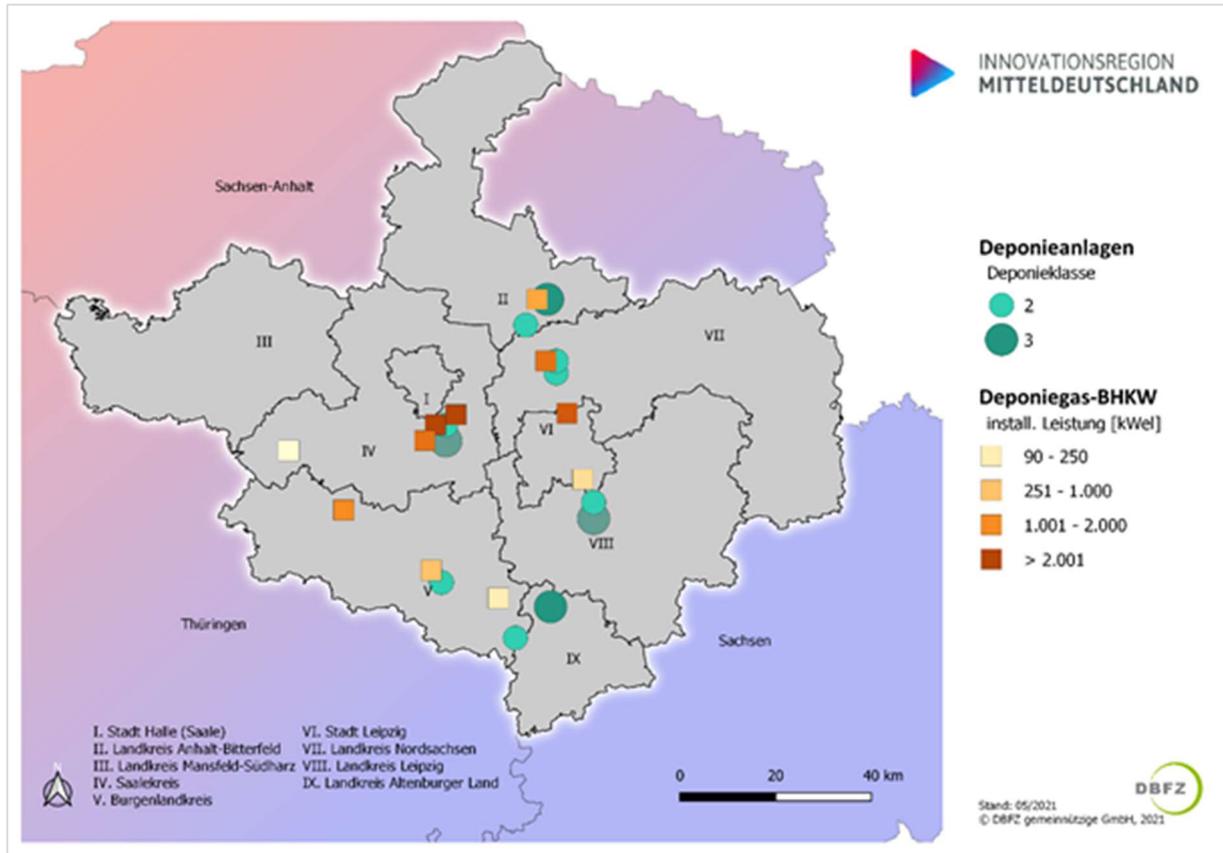


Abbildung 9 Deponieanlagen (Größenklasse 2 und 3) und Standorte mit Deponiegas-BHKW nach Gebietskörperschaften

Daten: Datenrecherche DBFZ mit Einbezug der Daten der Länderministerien, BNetzA/ÜNB-Daten 2019 (Bezugsjahr 2018), Darstellung DBFZ 5/2021)

Zusammenfassung

Im Jahr 2018 umfasste der Bestand in der IRMD insgesamt 26.507 Anlagen zur Energieerzeugung. Der Bestand entfiel zu 96 % (25.587) auf Anlagen auf Basis von erneuerbaren Energien. Die weitaus größte Anzahl von Erneuerbare-Energien-Anlagen umfasste die Photovoltaik mit 24.073 Anlagen (Abbildung 10). In der Region sind 26 Großkraftwerke sowie 889 Blockheizkraftwerke / KWK-Anlagen auf Basis von fossilen Energieträgern vorhanden. Der Energieträger Braunkohle wurde in 9 konventionellen Kraftwerken eingesetzt, welche sich im Landkreis Mansfeld-Südharz, Saalekreis, Burgenlandkreis und Landkreis Leipzig befinden.

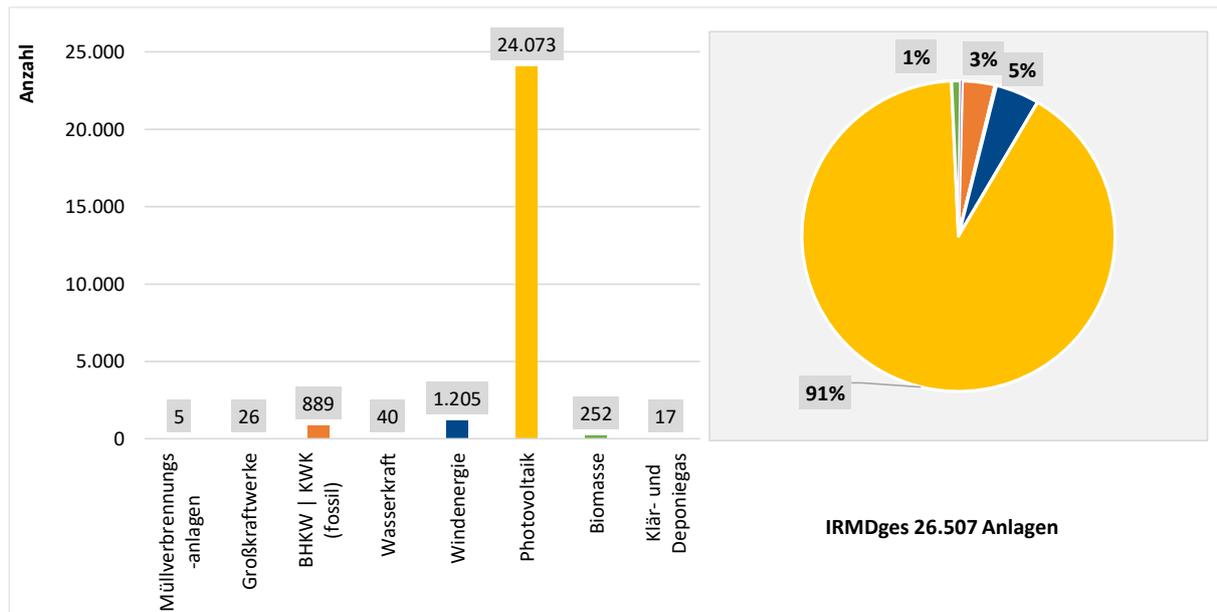


Abbildung 10 Anlagen zur Energieerzeugung gesamt in der IRMD im Jahr 2018

Die Großkraftwerke wiesen einen Anteil von 72 % an der Stromerzeugung in der Region auf, während die erneuerbaren Energien mit einem Anteil von 24 % zur Stromerzeugung beitragen. Zur Stromerzeugung in den Großkraftwerken wurden zu 83 % Braunkohle, zu 13 % Erdgas und zu 2 % Heizöl sowie weitere Brennstoffe eingesetzt. Der Anteil der MVA an der Stromerzeugung in der IRDM betrug 2,2 % und für BHKW 2 % (Abbildung 11).

Insgesamt wurden im Jahr 2018 28.381 GWh Strom erzeugt, 6.990 GWh davon durch erneuerbare Energien. Dominierend im Bereich der erneuerbaren Energien ist die Windenergie, deren Anteil an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2018 betrug 53 %. Photovoltaik wies einen Anteil von 30 % auf. Wasserkraft, Biomasse sowie Deponie- und Klärgas spielten eine untergeordnete Rolle. Insgesamt wurden im Jahr 2018 11.188 GWh Wärme erzeugt. Der Anteil der erneuerbaren Energien (Biomasse sowie Klär- und Deponiegas) betrug mit 1.344 GWh lediglich 12 %, der weitaus größte Anteil der Wärme von 73 % wurde bisher noch durch Großkraftwerke erzeugt. Weitere 7 % entfielen auf MVA und 8 % auf BHKW (Abbildung 12).

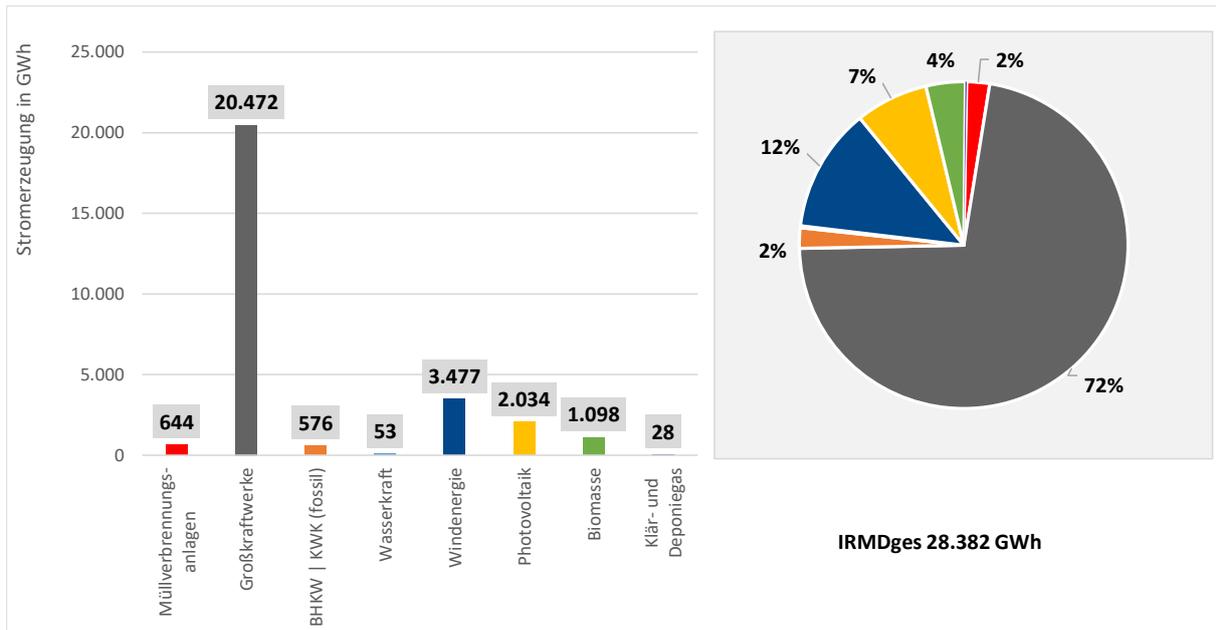


Abbildung 11 Stromerzeugung gesamt in der IRMD im Jahr 2018

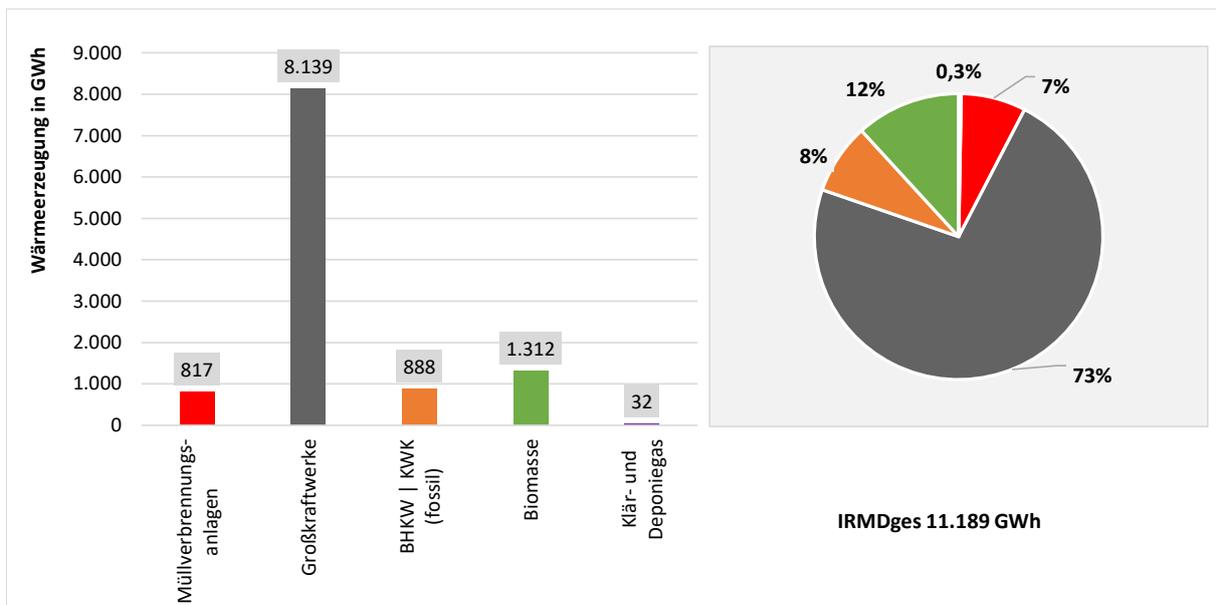


Abbildung 12 Wärmeerzeugung gesamt in der IRMD im Jahr 2018

Mehr Informationen zur regionalen Verteilung des Anlagenbestandes sowie zur Strom- und Wärmeerzeugung sind in Anhang 1 Strom- und Wärmeerzeugung | Zusammenfassung Energieerzeugung dargestellt.

2.2 Strom- und Wärmeverbrauch

Im Mittelpunkt der Betrachtung steht zunächst die Ermittlung des Endenergieverbrauchs (EEV) der Gebietskörperschaften für die Verbrauchssektoren Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) und der Industrie (Verarbeitendes Gewerbe). Der Endenergieverbrauch für den Sektor Verkehr wird gesondert in der Integrierten Mobilitätsstudie der IRMD [PTV et al. 2021] betrachtet. Weiterhin wird in den folgenden Abschnitten der Energieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungsarten dargestellt.

Im Rahmen der Erstellung von Energiebilanzen für regionale und kommunale Klimaschutzkonzepte sowie für Bundesländer wurde vom IE Leipzig ein kennzahlenbasiertes Modell zur Berechnung und Prognose des Endenergieverbrauchs entwickelt. Als primäre Datenquellen dienen Veröffentlichungen der statistischen Landesämter der Länder Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen [StaLa SN 2020] & [IE Leipzig 2020] [StaLa ST 2021] & [StaLa TH 2021]. Bei Verwendung des IE Leipzig-Kennzahlenmodells wurden lokalspezifische statistische Grunddaten der jeweiligen Gebietskörperschaften (bspw. Einwohnerzahlen, Wohn- und Gebäudebestand, Beschäftigtenzahlen, Bruttowertschöpfung) zur Ermittlung des Energieverbrauchs berücksichtigt. Die Ermittlung des Strom- und Wärmebedarfs innerhalb des Sektors **Industrie** erfolgte auf Basis des Stromverbrauchs sowie des Endenergieeinsatzes für die Erzeugung von Prozesswärme im „Verarbeitenden Gewerbe mit Integration der Statistik Energieverwendung im Verarbeitenden Gewerbe und Bergbau“.

Zur Bestimmung der Bedarfe auf Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte wurde auf die Beschäftigtenstatistik der Agentur für Arbeit aufgebaut. Aufgrund der zum Teil lückenhaften Daten – u. a. Datenschutz – wurden Abschätzungen auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse vorgenommen. Es erfolgte somit eine Verifizierung der räumlichen Verteilung der ermittelten Bedarfe. Für die Gebietskörperschaft Stadt Leipzig [Stadt Leipzig 2020] wurden die vorliegenden Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz ins Modell übertragen und integriert. Auch für die Stadt Halle (Saale) konnte das Modell anhand der Daten des Klimaschutzkonzeptes 2018 kalibriert werden, wobei derzeit für die Stadt die Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz nur bis zum Jahr 2015 vorliegen [Stadt Halle 2018].

Nach Verbrauchssektoren

Für das Jahr 2018 wurde für die IRMD ein Endenergieverbrauch von ca. 46,9 TWh ermittelt. In (Abbildung 13) ist die prozentuale Verteilung nach den Verbrauchssektoren Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) und Verarbeitendes Gewerbe dargestellt. Etwa die Hälfte des Energieverbrauchs (52 %) entfiel auf das Verarbeitende Gewerbe. Die Haushalte trugen mit einem Jahresenergieverbrauch von 14,2 TWh etwas weniger als ein Drittel bei. Der Sektor GHD wies einen Anteil von 18 % am Gesamtenergieverbrauch in der IRMD auf.

In der Darstellung auf Ebene der einzelnen Gebietskörperschaften in (Abbildung 14) ist festzustellen, dass die jeweiligen Anteile der Sektoren stark variieren. Im Saalekreis ist der Anteil des Sektors Verarbeitendes Gewerbe am größten. Die chemische Industrie befindet sich vorwiegend im Saalekreis, aber auch im Landkreis Anhalt-Bitterfeld. Neben der chemischen Industrie sind im Saalekreis u.a. die Logistik sowie verschiedene Wirtschaftsbereiche aus dem Gewerbe prägend. Im Landkreis Anhalt-Bitterfeld spielen neben der chemischen Industrie (ChemiePark Bitterfeld-Wolfen) auch die Logistik, die Kunststoffindustrie und der Maschinenbau eine wichtige Rolle und beeinflussen somit den Energieverbrauch durch die Wirtschaft.

Auch im Landkreis Leipzig ist der Anteil des Verarbeitenden Gewerbes sehr hoch, hier befindet sich zum z.B. der Chemie-Standort Böhlen-Lippendorf. Die Städte Halle (Saale) und Leipzig haben prozentual einen geringen Anteil des Verarbeitenden Gewerbes am jeweiligen Energieverbrauch. In der Stadt Leipzig, aber auch im Altenburger Land ist die Automobilindustrie (Herstellung von Kraftwagen/-teile) beheimatet. Im Landkreis

Altenburger Land ist neben der Automobilindustrie auch der Maschinen- und Anlagenbau, die Kunststoffverarbeitung sowie Solartechnik (Speicher und Bauelemententwicklung) ein wichtiger Wirtschaftsfaktor mit entsprechendem Energiebedarf.

Der Burgenlandkreis zeichnet sich ebenfalls durch einen hohen Anteil an Industrieunternehmen aus. Wichtige Wirtschaftszweige sind aber auch die Logistik und der Tourismus. Im Landkreis Mansfeld-Südharz ist ein breiter Branchenmix aus Elektrotechnik, Maschinenbau, Kunststoff- und Metallverarbeitung, Hotellerie und Ernährungswirtschaft vorhanden. Im Landkreis Nordsachsen ist wiederum auch das Verarbeitende Gewerbe ein relevanter Energieverbraucher, besonders in den Bereichen Logistik und Automobilindustrie. Auffällig ist noch der hohe Anteil des GHD in der Stadt Leipzig sowie auch in der Stadt Halle, entsprechend der vorhandenen Wirtschaftsstruktur weisen beide Städte einen hohen Anteil an Erwerbstätigkeiten im Bereich Dienstleistungen auf.

Absolut betrachtet hat der Saalekreis im Jahr 2018 einen Anteil von 26 %, den größten Anteil am Energieverbrauch in der IRDM, mit deutlichem Abstand folgen die Gebietskörperschaften Stadt Leipzig (15 %) und Landkreis Leipzig (14 %). Den geringsten Anteil weist mit 3 % das Altenburger Land auf. Wie bereits aufgezeigt, ist die Hauptursache hierfür die hohe Energienachfrage aus der Wirtschaft (besonders des Verarbeitende Gewerbes), während der hohe Energieverbrauch in Leipzig aufgrund der hohen Nachfrage aus dem Sektor Haushalte entsteht. Die Stadt Leipzig hat 30 % Anteil an der Gesamtbevölkerung der IRMD. Den geringsten Anteil hat das Altenburger Land mit 4 %. Entsprechend geringer fällt auch der Energieverbrauch der Haushalte aus. Im Landkreis Leipzig leben 13 % der Gesamtbevölkerung der IRMD, danach folgt die Stadt Halle (Saale) mit 12 %.

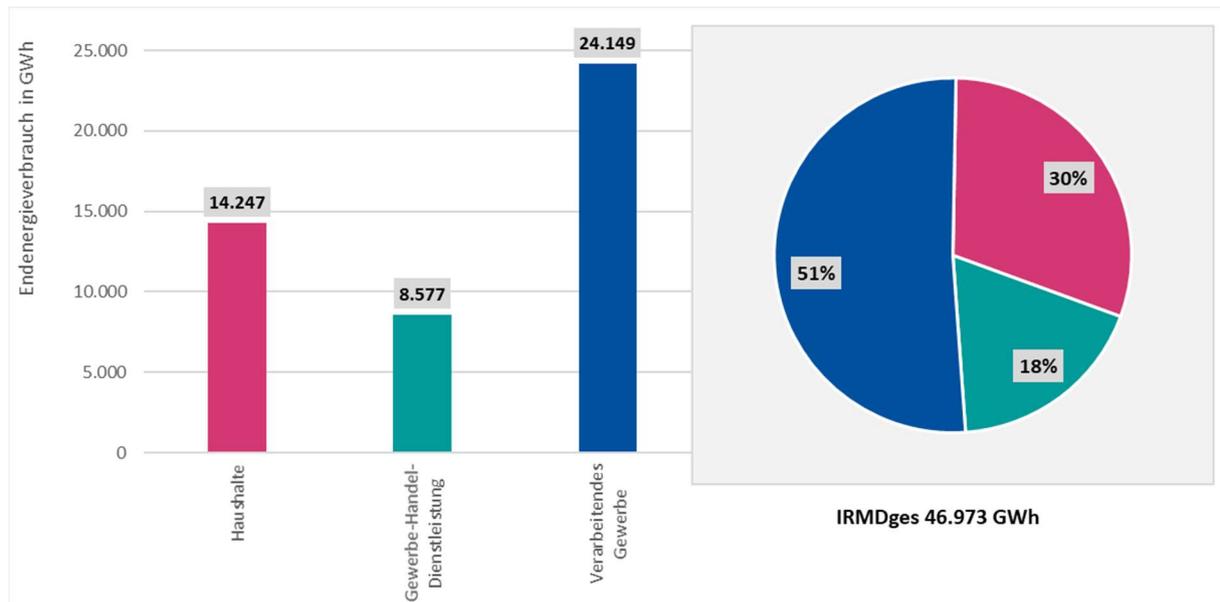


Abbildung 13 Endenergieverbrauch im Jahr 2018 in der IRMD nach Verbrauchssektoren

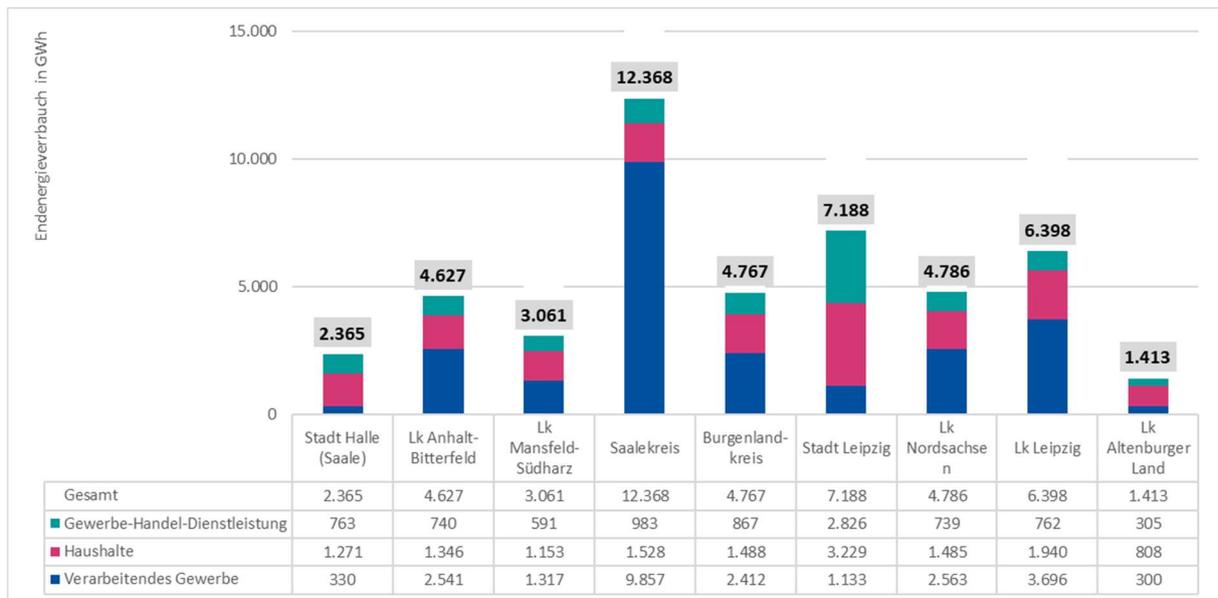


Abbildung 14 Endenergieverbrauch im Jahr 2018 nach Sektoren in den Gebietskörperschaften

Nach Energieträgern

Abbildung 15 zeigt den Anteil der einzelnen Energieträger am Endenergiebedarf der IRMD. Derzeit wird ein Großteil durch fossile Energieträger gedeckt. Mineralölprodukte (Heizöl) und Gase (Erdgas und Flüssiggas) weisen zusammen einen Anteil von 48 % auf. Kohlen (Braunkohle, Steinkohle und sonstiges Konventionelle) tragen nur 2 % am Endenergieverbrauch bei. Der Anteil der erneuerbaren Energien (umfasst Solarthermie, Biomasse und Umweltwärme) beträgt 6 %.

Die Zusammensetzung der erneuerbaren Energien ist in Abbildung 16 abgebildet. Strom ist nach Erdgas der zweitwichtigste Energieträger mit einem Anteil von 29 %. Fernwärme deckt 15 % des Endenergieverbrauchs. Fernwärme wird überwiegend im KWK-Prozess auf Basis von Erdgas erzeugt, eine ausführliche Darstellung hierzu erfolgt unter 2. Bestandsaufnahme Energieerzeugung BHKW | KWK (fossil) und in den Szenarien bis 2040 unter Energieerzeugung.

Diese Verteilung spiegelt sich in etwa auch in den einzelnen Gebietskörperschaften der IRMD wider (Abbildung 17). In Gebietskörperschaften, wo viel Verarbeitendes Gewerbe vorhanden ist (z.B. Saalekreis) ist auch der Anteil vom Strom am Energieverbrauch sehr hoch. Im Saalekreis ist der Stromverbrauch mit ca. 4.600 GWh daher mit Abstand am höchsten. Ähnlich hoch ist auch der Verbrauch von Erdgas.

Der Anteil der Fernwärme ist in den beiden Städten Halle (Saale) und Leipzig aufgrund der dortigen Versorgungs- und Siedlungsstruktur am höchsten. Aber auch der Saalekreis hat aufgrund der Nachfrage aus dem Verarbeitenden Gewerbe einen hohen Verbrauch an Fernwärme. Der Anteil der Mineralölprodukte (überwiegend Heizöl) beträgt in allen Gebietskörperschaften ca. 10 %. Ausnahme ist das Altenburger Land. Eine Ursache hierfür könnte die ländlich geprägte Siedlungsstruktur und die daraus resultierende dezentrale Versorgungsstruktur mit weniger leitungsgebundenen Energieträgern, wie eben Heizöl, sein. Im Altenburger Land ist aber auch der Anteil an erneuerbaren Energien am höchsten, was wiederum auch durch die ländlich geprägte Siedlungsstruktur zu erklären ist. In den Landkreisen Nordsachsen und Leipzig ist der Anteil der Gase mit über 50 % am höchsten. Eine zentrale Ursache hierfür ist die starke Nachfrage aus vorhandenen Wirtschaftsbereichen. Die Landkreise Burgenlandkreis und Mansfeld-Südharz weisen einen Anteil der Kohlen von über 5 % auf, während in allen anderen Gebietskörperschaften der Anteil deutlich geringer ausfällt.

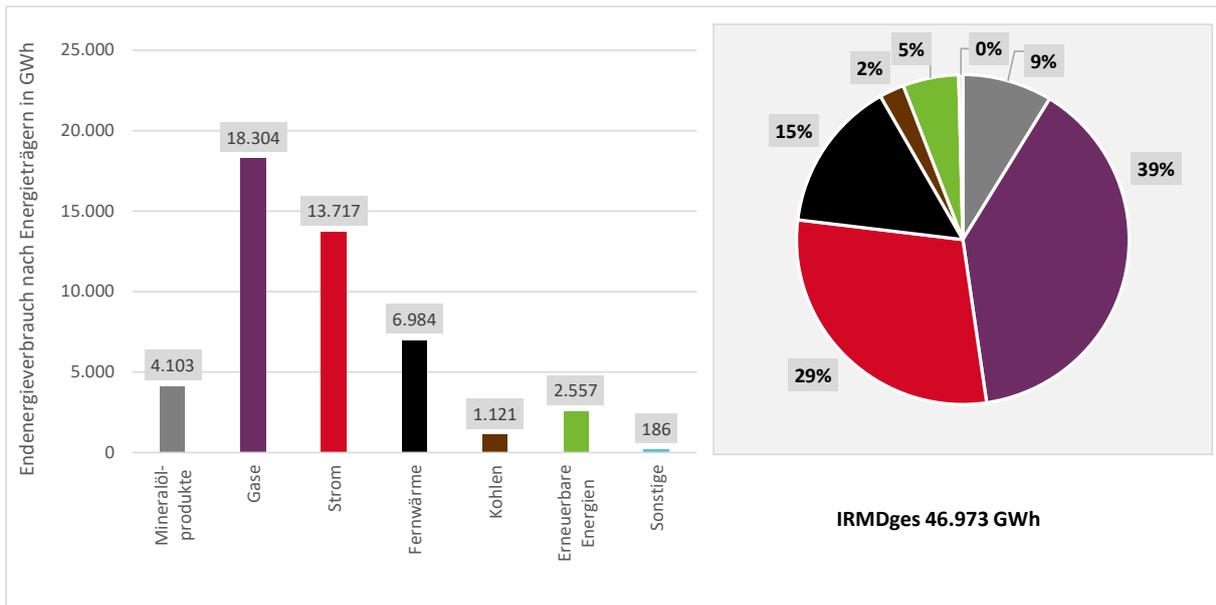


Abbildung 15 Endenergieverbrauch im Jahr 2018 in der IRMD nach Energieträgern

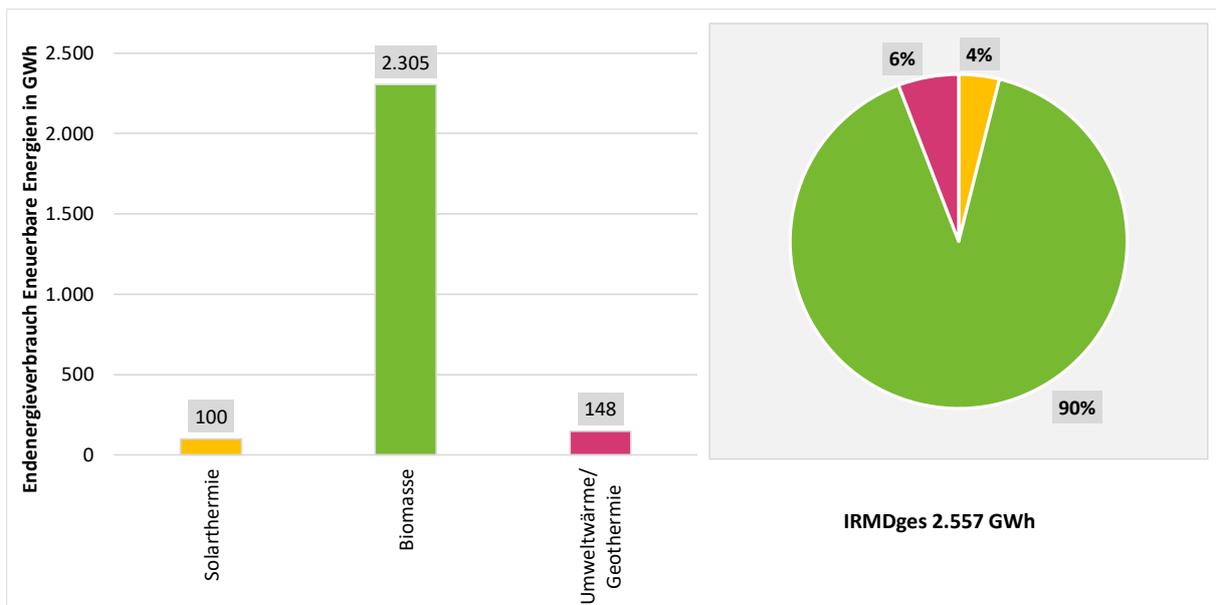


Abbildung 16 Zusammensetzung der erneuerbaren Energien im Energieverbrauch im Jahr 2018 in der IRMD

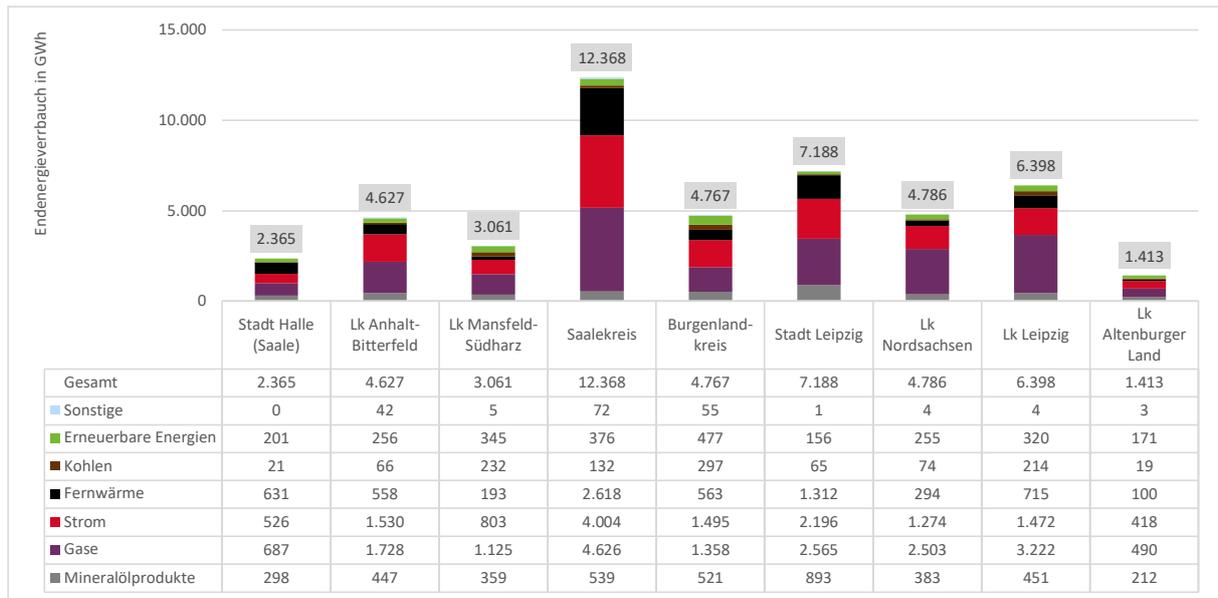


Abbildung 17 Endenergieverbrauch im Jahr 2018 nach Energieträgern in den Gebietskörperschaften

3. Potenziale

Das Kapitel Potenziale betrachtet zunächst den Schwerpunkt **Stromerzeugung** für folgende relevante Bereiche:

- Großkraftwerke
- Windenergie
- Photovoltaik
- Wasserkraft
- Biomasse sowie Deponie- und Klärgas

Im Rahmen der Potenzialbetrachtung für die **Wärmeerzeugung** stehen folgende Bereiche im Mittelpunkt:

- Abwärmenutzung (Industrielle Abwärme, Müllverbrennung etc.)
- Power-to-Heat (Großwärmepumpen, Elektrodenheizkessel)
- Einbindung erneuerbarer Energien

Tiefengeothermie und somit Geothermiekraftwerke zur Strom- und Wärmeerzeugung wurden in der Potenzialbetrachtung aufgrund von kaum lokal bzw. regional vorhandenen Potenzialen nicht weiter berücksichtigt [MULE 2019], [saena 2018], [TMUEN 2018], [Stadt Halle 2018], [ZERE e.V. 2014], [LRD TDO 2014], [RPG Ostthüringen 2012] & [Stadt Leipzig 2011]. Oberflächennahe Geothermie zur Nutzung geothermischer Energie im Bereich zwischen der Geländeoberfläche und einer Tiefe von 400 m wurde u.a. in den Bereichen Power-to-Heat und Einbindung erneuerbarer Energien berücksichtigt. Weiterhin erfolgt die Darstellung der Nutzung von Wärmepumpen im Bereich der Haushalte, konkret in den Szenarien im Kapitel 4.1 und die Nutzung von Großwärmepumpen im Kapitel 4.4.

Als Optionen der **Sektorenkopplung** werden die lokalen Potenziale bezüglich Power-to-Gas sowie Einsatz von Strom- und Wärmespeichern in den Gebietskörperschaften analysiert.

3.1 Stromerzeugung

Großkraftwerke

Hinsichtlich der Großkraftwerke gibt es keine relevanten flächen- bzw. dargebotsabhängigen Restriktionen, anhand derer ein technisches (Maximal-)Potenzial zur zukünftigen Nutzung abgeleitet werden könnte. Vielmehr wird die zukünftige Nutzung von Großkraftwerken zur Stromerzeugung bzw. gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung durch Wirtschaftlichkeitskriterien bestimmt. Deshalb wird folgende **Vorgehensweise** angewendet: Die Ausgangsbasis für die Ausgestaltung der beiden Szenarien sind die heute installierten Kraftwerke². Zudem werden die bekannten Ersatz- und Neubauten bei der Erstellung der Szenarien berücksichtigt. Darüber hinaus erfolgt ein über diese bekannten Projekte hinausgehender Ersatz von Anlagen mit Wärmeauskopplung in den vier nachfolgend beschriebenen Kategorien:

- 1) Annahmen zu technischer Lebensdauer
- 2) Gesetzliche Bestimmung gem. Gesetz zur Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung (KVBG)

² Datenbasis für den Kraftwerksbestand stellen die Kraftwerkliste der Bundesnetzagentur [BNetzA 2021] sowie die r2b GmbH interne Datenbanken dar.



- 3) Zur Abschätzung der zukünftigen Nutzung der Braunkohle-Kraftwerke werden zudem eine anlagenindividuelle Einschätzung zur Entwicklung der Wirtschaftlichkeit in den beiden Szenarien vorgenommen und die Ergebnisse der im Rahmen von AP 3.8 („Versorgungssicherheit Wärme nach dem Ende der BK-Verfeuerung“, vgl. weiter unten) geführten Fachgespräche mit den Betreibern LEAG, MIBRAG und ROMONTA berücksichtigt. Bei der Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der BK-Anlagen können dabei auf umfassende Expertise sowie aktuelle interne Simulationsrechnungen des europäischen Strommarktmodell von r2b zurückgegriffen werden, in denen die den Szenarien zugrunde liegenden Annahmen abgebildet sind.
- 4) Schließlich wird die Nutzung von Wasserstoff in (heutigen) Erdgas-KWK-Anlagen und -BHKW unterstellt, wenn die Kosten für den Erwerb von CO₂-Zertifikaten und den Einsatz von Erdgas die Kosten für den Einsatz von grünem Wasserstoff überschreiten.

Um die Auslastung der Kraftwerke für die Zukunft abzuschätzen, werden ebenfalls aktuelle interne Simulationsrechnungen mit dem r2b-Strommarktmodell zu den beiden Szenarien herangezogen.

Im **Ergebnis** werden der (konventionelle) Kraftwerkspark, d.h. Großkraftwerke und BHKW, je Gebietskörperschaft nach Stichjahren und nach Technologien sowie die erwartete Strom- und Wärmeerzeugung der Kraftwerke dargestellt. Die Darstellung erfolgt im Kapitel 4 Szenarien bis 2040 – Abschnitt 4 Energieerzeugung.

Fachgespräche zur Versorgungssicherheit Wärme nach dem Ende der BK-Verfeuerung

Es wurden Fachgespräche mit den Betreibern der großen Braunkohlekraftwerke geführt, um möglichst realistische Annahmen bei der Generierung der beiden Szenarien hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Braunkohlekraftwerke in der IRMD treffen zu können. Anhang 4 enthält eine Übersicht der Fachgespräche. Als Ausgangsbasis dienten Kraftwerkssteckbriefe sowie individuell erstellte Fragebögen zur Strukturierung der Gespräche, die den Gesprächspartnern im Vorfeld zur Verfügung gestellt wurden. Die Fachgespräche wurden mit der Lausitzer Energie AG (LEAG) zu den Standorten Lippendorf und Schkopau, mit der Mitteldeutschen Braunkohle AG (MIBRAG) zu den Standorten Wähilitz und Deuben sowie mit der ROMONTA GmbH zum Standort Amsdorf geführt.

Die wichtigsten Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst:

- LEAG (KW Lippendorf / KW Schkopau):
 - Lippendorf: kein Ersatz für Wärmeversorgung von Leipzig erforderlich, da diese ab 2023 im Wesentlichen vom HKW Leipzig Süd übernommen wird. Lediglich sehr geringe Wärmemengen für die Versorgung von Böhlen und Neukieritzsch müssen ersetzt werden.
 - Schkopau wurde an die MIBRAG / Saale Energie GmbH veräußert. An diesem Standort ist nach dem Ende der BK-Verfeuerung ein Ersatz insbesondere zur Wärmeversorgung der Industrie erforderlich.
- MIBRAG (KW Deuben / HKW Wähilitz):
 - Das Kraftwerk Deuben hat einen Zuschlag in der Steinkohle-Auktion gemäß KVVG erhalten; die Stilllegung muss bis spätestens zum 08.12.2021 erfolgen. Ein Ersatz ist nicht erforderlich, da das angeschlossene Fernwärmenetz Hohenmölsen-Webau künftig vollständig vom (ggf. erweiterten) Standort des HKW Wähilitz beliefert werden kann (vgl. folgender Spiegelstrich).
 - Das HKW Wähilitz wird künftig alleinig die Versorgung des Fernwärmenetzes Hohenmölsen-Webau übernehmen (dieses wurde auch in der Vergangenheit überwiegend von Wähilitz gespeist). Zudem sind die BHKW als Ergänzung und eine Umstellung auf biogene Brennstoffe



denkbar. Ein Ersatz ist nach dem Ende der Braunkohleverfeuerung für den Betrieb des Fernwärmenetzes Hohenmölsen-Webau erforderlich.

- ROMONTA (Amsdorf):
 - Am Standort Amsdorf wird Trockenbraunkohle verfeuert, die als Reststoff aus der Montanwachstumsproduktion anfällt. Nach heutigen Vorgaben darf diese behandelte Trockenbraunkohle ausschließlich verbrannt werden. Die entstehende Wärme sowie Teile des Stroms werden wiederum in der Montanwachstumsproduktion und weitere Teile des Stroms in den Tagebauen verwendet.
 - Die Aufrechterhaltung des Kraftwerksbetriebes ist daher so lange wie möglich erforderlich, wenn keine andere Lösung für die Verbringung oder stoffliche Nachnutzung der Trockenbraunkohle gefunden wird, ggf. (mit Sondergenehmigung) sogar bis zum Jahr 2038.
 - Das Kraftwerk besteht aus vier Kesseln, die einzeln betrieben werden können, so dass auch Teilstilllegungen möglich sind. Zudem ist die Errichtung einer dritten EBS-Linie (Ersatzbrennstoff / Müll) mit Inbetriebnahme im Jahr 2024 geplant (bereits installiert sind 7,5 MW und 2,5 MW). Weiterhin prüft die ROMONTA, ob Floating-PV-Anlagen auf Tagebauseen umsetzbar sind.

Windenergie

Für die Potenzialermittlung der Windenergie werden die Planwerke der Regionalen Planungsverbände und -gemeinschaften ausgewertet Abbildung 18. Die Potenzialanalyse konzentriert sich somit auf die ausgewiesenen Vorrang- und Eignungsgebiete für Windenergie der Regionalplanung. Auf Basis der Flächenausweisung werden in den Szenarien (vgl. Kapitel 4.4 Energieerzeugung) weiterhin die Außerbetriebnahmen von Altanlagen mit einer durchschnittlichen Betriebsdauer von mind. 25 Jahren sowie die Realisierung von kurzfristigen Projekten (bei Kenntnis über Genehmigung, ggf. auf Basis der Zuschläge für Windenergieanlagen 2017 bis 2020 im Rahmen der Ausschreibungen der BNetzA sowie bei Kenntnis zu konkreten Projekten u. a. durch Fachgespräche oder Pressemitteilungen) berücksichtigt.



Abbildung 18 Regionale Planungsverbände und -gemeinschaften in der IRMD

Hinweis: Altlandkreis Mansfelder Land gem. § 21 Abs. 1 Nr. 4 Landesentwicklungsgesetz Sachsen-Anhalt

Der Nettozubau an WEA verlief in den letzten Jahren deutlich gebremster, wobei jedoch in den Gebietskörperschaften sehr unterschiedliche Entwicklungen festzustellen sind. Bis Mitte der 2000er Jahre wurden die höchsten Zubauraten realisiert. Der Großteil der Anlagen wird somit bis Mitte der 2020er Jahre aus der EEG-Förderung fallen und voraussichtlich außer Betrieb genommen. Im Jahr 2019 fand sogar ein (Netto)Rückbau in der IRMD, aufgrund der Außerbetriebnahme von Anlagen in den Landkreisen Anhalt-Bitterfeld, Burgenlandkreis und Nordsachsen, statt (Abbildung 19).

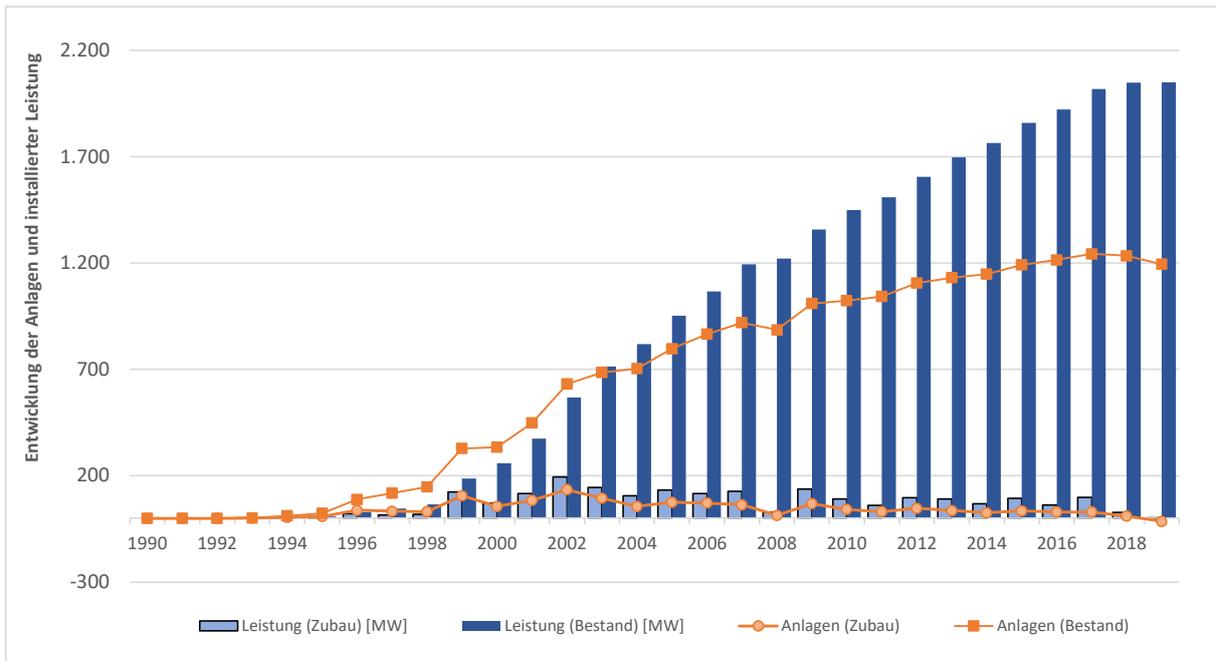


Abbildung 19 Entwicklung der Windenergie nach Anzahl der WEA und installierter Leistung in der IRMD

Im Anhang 1 Strom und Wärmeerzeugung | Erneuerbare Energien ist die Entwicklung der Windenergie je Gebietskörperschaft dargestellt. Weiterhin werden die Ausschreibungsergebnisse der BNetzA seit 2017 herangezogen. Insgesamt wurden zwischen 2017 und 2020 60 neue Anlagen bezuschlagt. Jedoch zeichnen sich hier starke regionale Unterschiede ab. Während im Landkreis Anhalt-Bitterfeld 19 WEA einen Zuschlag erhielten, sind es im Landkreis Leipzig 3 Anlagen. In den Gebietskörperschaften Stadt Halle, Stadt Leipzig und im Landkreis Nordsachsen wurden keine neue Anlagen bezuschlagt (Abbildung 20).

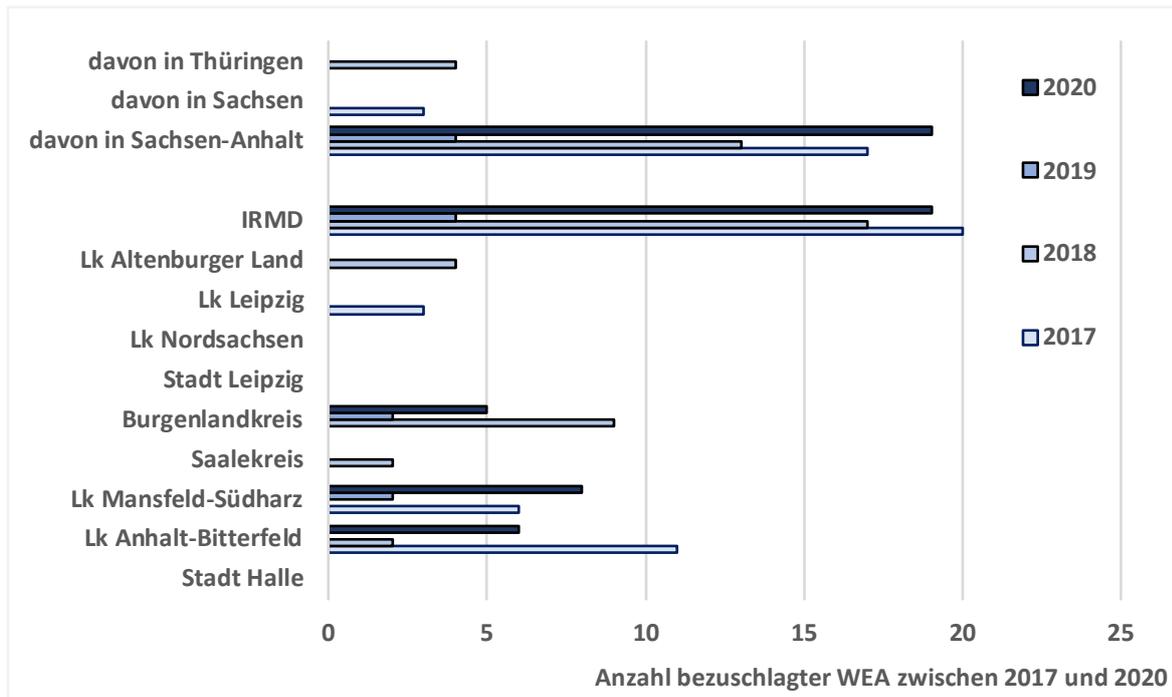


Abbildung 20 Bezuschlagte WEA nach Gebietskörperschaften zwischen 2017 und 2020
 Daten: Ausschreibungsberichte der BNetzA 2017 bis 2020 sowie [DWG 2020]

Im **Ergebnis** umfasst das ermittelte Flächenpotenzial für die Windenergie 8.782 ha. Die maximal installierbare Leistung auf dieser Potenzialfläche beträgt 1.756 MW (Tabelle 1). Dabei ist die regionale Verteilung der ausgewiesenen Flächen und der damit verbundene potenzielle Zubau sehr unterschiedlich. Die Strommenge für das maximale Flächenpotenzial wurde unter Berücksichtigung einer jährlichen Steigerungsrate der jeweils für die Gebietskörperschaften ermittelten Vollbenutzungsstunden von 1,0 % pro Jahr und einem einheitlichen Energiedichte-Faktor von 0,2 MW/ha ermittelt. Im Vergleich zum Bestand 2018 wird trotz maximaler Potenzialausschöpfung ein Rückgang der installierbaren Leistung erfolgen. Hauptursache hierfür ist, dass viele Anlagen bis 2040 deutlich über 20, teils über 30 Jahre, alt sind und voraussichtlich außer Betrieb genommen werden. In der Potenzialermittlung bis zum Jahr 2040 wurde eine durchschnittliche Betriebsdauer von 23 Jahren berücksichtigt. Viele dieser Bestandsanlagen befinden sich außerhalb der ausgewiesenen Potenzialfläche, weshalb ein Repowering nicht für alle Anlagen erfolgen kann.

Die Berücksichtigung eines einheitlichen Energiedichte-Faktors zur Potenzialermittlung war ein Wunsch bzw. ein Ergebnis der durchgeführten Fachgespräche mit der Regionalplanung, um vergleichbare Ergebnisse darzustellen. Grundsätzlich gelten in den jeweiligen Planungsregionen sehr unterschiedliche Regelungen aufgrund der jeweiligen Landesentwicklungsgesetze und der unterschiedlichen Planungsstände in den einzelnen Planungsregionen. In einigen Regionen sind z. B. Höhenbegrenzungen zu berücksichtigen oder es gelten unterschiedliche Abstandregelungen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Bestand in den derzeit ausgewiesenen Flächen nicht energetisch optimal belegt ist. Weiterhin ist zu beachten, dass einige Altanlagen außerhalb von ausgewiesenen Flächen stehen und somit dort nicht repowert werden können. Die Regelungen bezüglich Repowering sind in den Planungsregionen unterschiedlich. Einheitlich ist, dass in allen Planungsregionen und somit auch in den betrachteten Gebietskörperschaften keine Windenergiegebiete im Wald berücksichtigt wurden. In Sachsen-Anhalt sind WEA im Wald nicht zulässig (§ 8 Abs. 1 Satz 3 Landeswaldgesetz). In Sachsen wurde u. a. auch im Koalitionsvertrag 2019 bis 2024 der amtierenden Regierung eindeutig festgelegt: „Windenergieanlagen im Wald schließen wir aus.“ Und auch in Thüringen hat der Thüringer Landtag am 18. Dezember 2020 der Änderung des Thüringer Waldgesetzes zugestimmt. Somit ist im Wald eine Änderung der Nutzungsart zur Errichtung von WEA nicht zulässig (§ 10 (1) ThürWaldG).

Tabelle 1 Ergebnisse der Potenzialbetrachtung für Windenergie und Berücksichtigung in den Szenarien

Gebietskörperschaft	Installierte Leistung 2018	Stromerzeugung 2018	Potenzial Fläche	Potenzial Leistung 2040	Potenzial Erzeugung 2040
	[MW]	[GWh]	[ha]	[MW]	[GWh]
Stadt Halle	0	0	0	0	0
Landkreis Bitterfeld	422	745	1.987	397	879
Landkreis Mansfeld-Südharz	311	569	1.777	355	801
Saalekreis	503	981	1.616	323	777
Burgenlandkreis	458	758	1.870	374	788
Stadt Leipzig	11	13	53	11	18
Landkreis Nord-sachsen	132	213	742	148	296
Landkreis Leipzig	103	198	534	107	253
Landkreis Altenburger Land	98	192	203	41	84
Summe	2.038	3.669	8.782	1.756	3.896

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse je Planungsregion und Gebietskörperschaft kurz erläutert.

Für die **Stadt Halle (Saale)** wurden keine Potenziale für Windenergie ermittelt [Stadt Halle (Saale) 2020].

Der **Landkreis Anhalt-Bitterfeld** liegt in der Planungsregion Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg. Im Jahr 2018 trat der Sachliche Teilplan "Nutzung der Windenergie" in der Planungsregion Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg in Kraft. Der Teilplan weist Vorranggebiete mit Wirkung von Eignungsgebieten von insgesamt 1.987 ha aus (Brehna/Roitzsch mit 118 ha, Dornbock/Drosa/Kleinpaschleben mit 238 ha, Güterglück mit 208 ha, Libbesdorf/Quellendorf mit 269 ha, Löberitz Nordost mit 33 ha, Straguth mit 123 ha, Thurland mit 164 ha, Trebbichau a.d. Fuhne mit 198 ha, Weißandt-Görlau/Schortewitz mit 78 ha, Zerbst Flugplatz mit 289 ha sowie Zörbig mit 269 ha). Der Landkreis Anhalt-Bitterfeld verfügt zusammen mit dem Landkreis Mansfeld-Südharz über das größte Flächenpotenzial in der IRMD.

Der **Landkreis Mansfeld-Südharz** teilt sich auf die Planungsregion Harz (Altkreis Sangerhausen) und die Planungsregion Halle (Altlandkreis Mansfelder Land gem. § 21 Abs. 1 Nr. 4 Landesentwicklungsgesetz Sachsen-Anhalt) auf. Die Regionale Planungsgemeinschaft Halle hat den Sachlichen Teilplan Erneuerbare Energien – Windenergienutzung am 06.07.2021 veröffentlicht, derzeit läuft der Beteiligungsprozess im Rahmen des Aufstellungsverfahrens. Im Teilplan werden vier Vorrang- und Eignungsgebiete mit insgesamt 637 ha ausgewiesen. Zuvor waren es drei Vorrang- und Eignungsgebiete mit 459 ha. Der Teilplan enthält nur Flächenangaben und keine Ermittlung bzw. Berechnungen zu installierbarer Leistung oder Stromerträgen. Derzeit gibt es in den betrachteten Gebiet 50 Bestandsanlagen, davon befinden sich aber 10 Anlagen außerhalb ausgewiesener Flächen und sind somit nicht repowerbar. Repowering spielt im Südharz eine Rolle, hier gibt es aber auch Bürgerproteste, die derzeit den weiteren Ausbau der Windenergie erschweren. In der Region haben einige Kommunen selbst Grundsatzbeschlüsse gefasst und wollen so keine neuen WEA mehr zulassen, z. B. die Verbandsgemeinde Goldene Aue oder die Gemeinde Südharz. Ein weiteres Thema ist die Berücksichtigung der Sichtachsen von Kulturlandschaften. Hier sind Puffer einzuhalten (siehe auch das Konzept Regionale Kulturlandschaften aus dem Jahr 2014). Im Landkreis Mansfeld-Südharz sind besonders im Bereich Kyffhäusergebirge 48 % der Fläche Kulturlandschaften, im Bereich der Planungsregion Halle nur 28 %. Generell ist zu beachten, dass es in der Region Südharz viele Schutzgebiete gibt.

Der Regionalplan (REP) Halle befindet sich seit Anfang 2021 in der öffentlichen Auslegung (Entwurf Teiländerung des 2. Entwurfs der Planänderung). Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass voraussichtlich die meisten Flächen aus dem REP Halle 2010 bestehen bleiben. Ein zusätzliches VRG Windenergie östlich vom Tagebau Profen wurde neu aufgenommen. Für den **Saalekreis** wird eine Potenzialfläche von 1.616 ha und für den **Burgenlandkreis** eine Fläche von 1.870 ha im Entwurf zum REP Halle ausgewiesen. In Sachsen-Anhalt ist laut Landesentwicklungsgesetz Repowering nur in VRG bzw. Bestandswindparks erlaubt. Hier ist sogar ein 1:1-Repowering möglich. Grundsätzlich sind die Regelungen nicht so restriktiv wie z. B. in der Planungsregion Leipzig-West Sachsen. In der Planungsregion Halle ist es ausreichend, wenn der Mittelpunkt des Rotors 90 m von der Außengrenze / Rand des VRG entfernt ist. Derzeit beträgt der Anteil der ausgewiesenen Flächen 1,22 % der Landesfläche, ohne Berücksichtigung des 100-m-Puffers sind es sogar 1,87 %. Deshalb wurde auch hier im Rahmen des Fachgespräches die Verwendung eines einheitlichen Energiedichte-Faktors zur Ermittlung der installierbaren Leistung befürwortet.

Der Regionalplan Leipzig-West Sachsen wurde am 11.12.2020 als Satzung beschlossen und im Januar 2021 zur Genehmigung eingereicht. Es werden darin 16 Vorrang- und Eignungsgebiete (VEG) mit einem Flächenumfang von 1.243 ha benannt. Der **Stadt Leipzig** wird davon ein Flächenpotenzial für Windenergie von 53 ha zugeordnet. Der **Landkreis Nordsachsen** verfügt über Potenzialflächen in Höhe von 742 ha und der **Landkreis Leipzig** von 534 ha inkl. des VEG Elstertrebnitz mit 86 ha im noch zu sanierenden Tagebau Profen.

Anmerkung: Im Tagebau Vereinigtes Schleenhain ist ein Windpark mit 17 leistungsstarken Windenergieanlagen geplant. Auf einer Gesamtfläche von 275 Hektar sind 17 Windturbinen der 6-MW-Klasse geplant.



Der Windpark mit einer Kapazität von 102 MW und einer jährlichen Stromerzeugung von etwa 230 GWh soll ab 2024 Strom liefern. Voraussetzung für das Projekt mit einer Investitionssumme von etwa 100 Millionen Euro war die Ausweisung der Fläche auf der Innenkippe des Tagebaus Vereinigtes Schleenhain als Vorrang- und Eignungsgebiet. Im Anschluss an die Erteilung der Genehmigung sollen ab Anfang 2023 die ersten Infrastrukturmaßnahmen beginnen [Mibrag 2021].

Der Regionale Planungsverband Leipzig-West Sachsen hat eine Ertragsprognose Wind bis zum Jahr 2030 für die Vorrang- und Eignungsgebiete erstellt. Grundsätzlich hat für die Regionalplanung die Rechtssicherheit des Regionalplans die oberste Priorität. Deshalb sind in der vorliegenden Ertragsprognose eher konservative Annahmen getroffen worden, so wurden z. B. größere Abstände berücksichtigt. Im Rahmen der Potenzialbeurteilung für das Energiekonzept werden wiederum die ausgewiesenen Flächen berücksichtigt und die Stromerträge über einen einheitlichen Energiedichte-Faktor ermittelt.

Das **Altenburger Land** befindet sich in der Planungsregion Ostthüringen. Der Sachliche Teilplan Windenergie für die Planungsregion ist am 21.12.2020 in Kraft getreten. Die meisten Vorranggebiete im Altenburger Land sind bereits belegt (VRG Drogen, Thonhausen und Naundorf). Zubaupotenzial gibt es noch im VRG Rositz. Das VRG Großenstein liegt fast ausschließlich im Landkreis Greiz und hat im Altenburger Land nur einen Anteil von 2 ha. Das Gesamtpotenzial im Altenburger Land beträgt 203 ha. Derzeit befinden sich jedoch keine Anlagen im Genehmigungsverfahren.

Photovoltaik

PV-Dachanlagen

Im Rahmen der Potenzialanalyse PV-Dachanlagen wurde das technisch maximal erschließbare Potenzial von PV-Aufdachanlagen mit Hilfe einer Bottom-Up Analyse ermittelt. Zwar hängt die tatsächliche Erschließung der Potenziale in diesem Bereich auch maßgeblich von wirtschaftlichen und anderen Einflussfaktoren ab, jedoch dient das technisch verfügbare Potenzial mit Blick auf die Szenarien in Kapitel 4 als obere Grenze der Stromerzeugungspotenziale, die in diesem Bereich für die IRMD angenommen werden können und insofern als geeignete Ausgangsbasis für die Szenarien dienen.

Methodisch wurden zunächst alle Gebäudegrundflächen innerhalb der Gebietskörperschaften mittels OpenStreetMap (OSM) erfasst und anhand von OSM-Daten zur Land- bzw. Gebäudenutzung sowie Größenkategorisierung der Gebäudegrundflächen in die Sektoren Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD), Industrie, Landwirtschaft und öffentliche Gebäude eingeteilt. Auf dieser Basis wurde anschließend mit Hilfe von Annahmen zu unterschiedlichen Dachtypen, Dachausrichtungen (Süd- / Ost- / West-Ausrichtungen berücksichtigt) sowie zu durchschnittlichen Abschlägen für bspw. Fenster, Schornsteine, Dachaufbauten, Instabilitäten, Verschattung etc. und der Annahme einer durchschnittlich installierbaren PV-Leistung pro Dachfläche in Höhe von $0,15 \text{ kW/m}^2$ die technische installierbare Gesamtleistung errechnet.³ Schließlich wurde dieses Gesamtpotenzial um die bereits installierte Leistung in Bestandsanlagen bereinigt, um die noch erschließbare PV-Leistung der Aufdachanlagen in der IRMD zu erhalten. Ggf. bestehende Nutzungskonkurrenzen (z. B. im Bereich der Solarthermie) werden im Rahmen der Szenarien berücksichtigt.

Im Ergebnis beläuft sich das so hergeleitete technische Gesamtpotenzial in der IRMD auf insg. 6,3 GWp, wovon 5,5 GWp noch erschließbar sind. Die regionale Verteilung des noch erschließbaren Potenzials auf die Gebietskörperschaften, die Anteile der unterschiedlichen Sektoren am noch erschließbaren Potenzial und das erschließbare Dachflächenpotenzial pro Einwohner sind in Abbildung 21 dargestellt.

Absolut gesehen weisen die Gebietskörperschaften noch erschließbare PV-Dachflächenpotenziale zwischen 290 MW im Landkreis Altenburger Land bis hin zu 1,1 GW für die Stadt Leipzig aus. Nach Sektoren betrachtet

³ Annahmen u. a. auf Basis folgender Quellen: [FFE 2018]; [seecon 2017]; [IWES 2011]

zeigt sich, dass sich die Potenziale in allen Gebietskörperschaften überwiegend auf Wohngebäuden befinden sowie insb. in den größeren Städten auch große Anteile im GHD-Sektor. Zudem ergeben sich in Anhalt-Bitterfeld, Nordsachsen, im Landkreis Leipzig und der Stadt Leipzig sowie im Saalekreis größere Anteile bei der Industrie (18-20 %). Der Anteil der Landwirtschaft beläuft sich, außer in den kreisfreien Städten, in der Regel auf ca. 5-10 %.

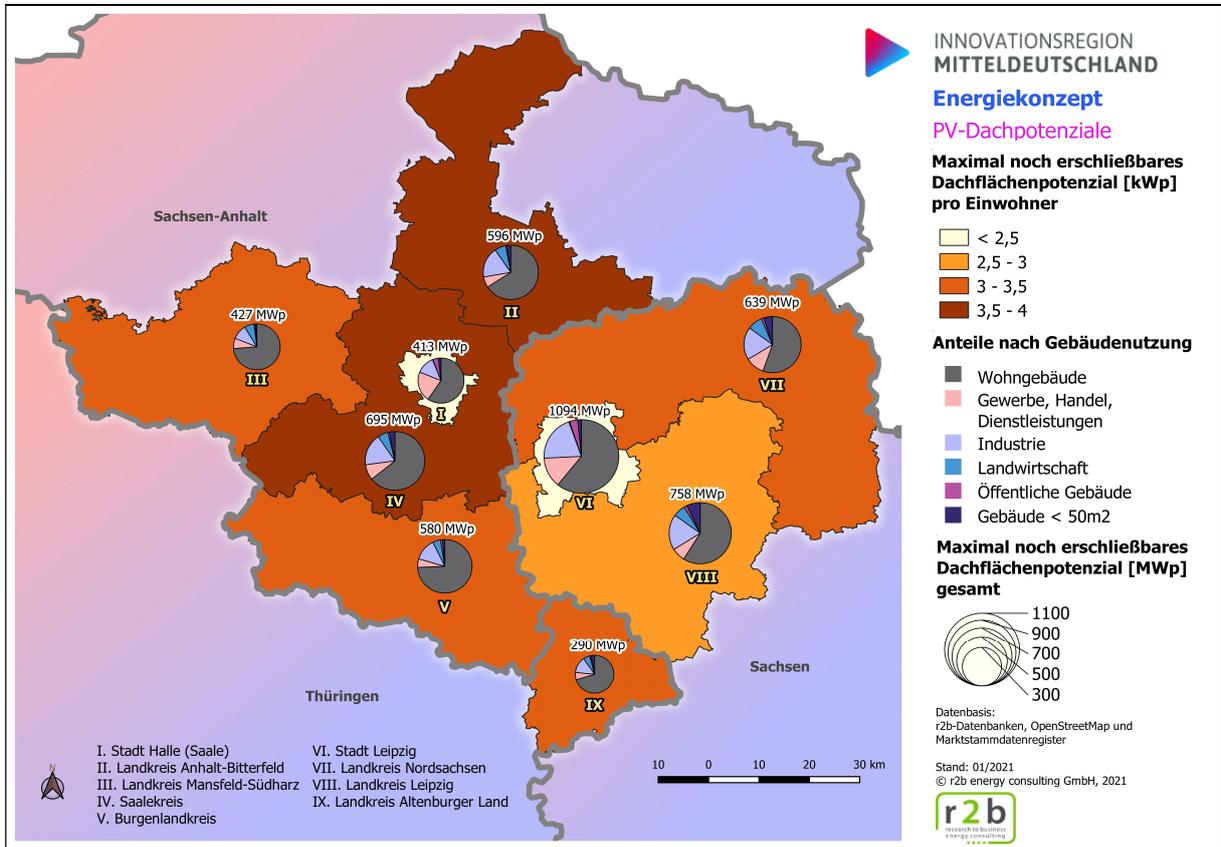


Abbildung 21 Potenziale PV-Dachanlagen in der IRMD

PV-Freiflächenanlagen

PV-Freiflächenanlagen, welche von der Einspeisevergütung nach EEG profitieren wollen, müssen innerhalb der im EEG festgeschriebenen Flächenkulisse installiert werden. Mit der am 1. Januar 2021 in Kraft getretenen, aktuellen Gesetzesnovelle ergeben sich Änderungen in der Flächenkulisse für PV-Freiflächenanlagen. Die Einspeisevergütung erhalten im Wesentlichen PV-Freiflächen-Anlagen, welche auf

- versiegelten Flächen
- Konversionsflächen aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung
- Flächen längs von Autobahnen- und Schienenwegen in einer Entfernung von bis zu 200 Metern, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn,
- Gewerbe- oder Industriegebieten
- Acker- und Grünland in benachteiligten Gebieten
- Flächen, die von der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben verwaltet und für die Entwicklung von Solaranlagen auf ihrer Internetseite veröffentlicht sind,

errichtet werden.

PV-Anlagen, welche außerhalb der EEG-Flächenkulisse errichtet werden, erhalten keine garantierte Einspeisevergütung. Des Weiteren werden in den entsprechenden Regionalplänen der Planungsregionen unzulässige Flächen zur Installation von PV-Freiflächenanlagen ausgewiesen (Tabelle 2) und Grundsätze zur Nutzung von solarer Strahlungsenergie durch PV-Freiflächenanlagen formuliert. In allen Regionalplänen wird die vorrangige Nutzung von bereits versiegelten bzw. ehemals baulich genutzten Flächen favorisiert.

Im Landesentwicklungsplan (LEP) des Landes Sachsen-Anhalt ist der Grundsatz festgeschrieben, dass PV-Freiflächenanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen und in Gewerbegebieten vermieden werden sollen. Die Sächsische Staatsregierung hat eine Photovoltaik-Freiflächenverordnung gemäß § 37c Abs. 2 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2021) erarbeitet: Der Verordnungsentwurf sieht vor, dass PV-Freiflächenanlagen auf landwirtschaftlich als Acker- oder Grünland genutzten Flächen in benachteiligten Gebieten für die EEG-Förderung geöffnet werden. Dies gilt für Anlagen mit einer Leistung zwischen 750 kW und 20 MW. Der Zeitplan sieht vor, dass die Verordnung vor der 3. Ausschreibungsrunde 2021 der BNetzA (1. November 2021) in Kraft treten soll [SMEKUL 2021].

In den Fachgesprächen mit den Regionalen Planungsgemeinschaften bzw. -verbänden wurde mehrheitlich betont, dass die EEG-Flächenkulisse langfristig eine untergeordnete Rolle spielen wird. Bereits heute werden große PV-Freiflächenanlagen außerhalb der EEG-Förderkulisse mit dem Ziel der Direktvermarktung errichtet. Hierbei sind die Investoren oft große Firmen (z. B. große Chemieunternehmen).

Die konkrete Genehmigung der PV-Freiflächenanlagen liegt u. a. im Verantwortungsbereich der Kommunen. In den Planungsregionen Halle, Harz und Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg findet keine Steuerung durch die Raumordnung statt. Es wurden lediglich Grundsatzformulierungen in den Regionalplänen aufgenommen. Zudem hat die Regionalversammlung Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg mit der am 30.04.2021 verabschiedeten Handreichung „Planungshilfe für gesamtäumliche Konzepte zur kommunalen Steuerung großflächiger Photovoltaikfreiflächenanlagen in der Planungsregion Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg“ Ausschlussflächen für den Bau von PV-Freiflächenanlagen aufgeführt.

Für die Planungsregionen Leipzig-West-sachsen und Ostthüringen werden in den aktuellen Regionalplänen unzulässige Flächen für den Bau von PV-Freiflächenanlagen definiert (Tabelle 2).

Tabelle 2 Katalog der Ausschlussflächen für die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen in den Planungsregionen der IRMD

Bezeichnung	Herkunft der Daten	RPG
Vorranggebiete für Landwirtschaft	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen, Thüringer Landesverwaltungsamt, Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg	Westsachsen, Ostthüringen, Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg
Vorranggebiete zum Schutz des vorhandenen Waldes	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
Vorranggebiete Waldmehrung	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen, Thüringer Landesverwaltungsamt	Westsachsen, Ostthüringen



Vorranggebiete oberflächennahe Rohstoffe, Festgesteinslagerstätten und -gewinnungsgebiete	Thüringer Landesverwaltungsamt, Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg	Ostthüringen, Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg
Vorranggebiete für den Braunkohlenabbau (Abbaufäche)	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
Vorranggebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen, Thüringer Landesverwaltungsamt	Westsachsen, Ostthüringen
Vorranggebiete für Industrie und Gewerbe	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
Vorranggebiete Arten- und Biotopschutz	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
regionale Schwerpunkte des archäologischen Kulturdenkmalschutzes	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
regionale Grünzüge	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
regional bedeutsame Kaltluftentstehungsgebiete	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
landschaftsprägende Höhenrücken, Kuppen und Kuppenlandschaften	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
Gebiete mit potenziell hoher Wassererosionsgefährdung	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
Grünzäsuren	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
Vorranggebiete Erholung	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
Vorranggebiete für den Rohstoffabbau einschließlich einer Pufferzone von 300 m bei Festgesteinslagerstätten oder -gewinnungsgebieten	Geoportal RPV Leipzig-West-sachsen	Westsachsen
Vorranggebiete Freiraumsicherung	Thüringer Landesverwaltungsamt	Ostthüringen
Siedlungszäsuren	Thüringer Landesverwaltungsamt	Ostthüringen
Vorrangstandorte für landesbedeutende Industrie- und Gewerbeflächen	Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg	Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg
regional bedeutsame Standorte für Industrie und Gewerbe	Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg	Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg
Vorrangstandorte für landesbedeutende Verkehrsanlagen	Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg	Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg

Methodisch wurde im Rahmen der Potenzialanalyse zunächst ein Katalog erstellt, der die für die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen ausgeschlossenen Flächen enthält. Die in den Regionalplänen der Planungsregionen Westsachsen und Ostthüringen ausgewiesenen Ausschlussflächen sowie die Ausschlussflächen der o. g. Handreichung der Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg sowie weitere Ausschlussflächen nach verschiedenen Datenquellen sind zusammenfassend in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3 Katalog der Ausschlussflächen für die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen für alle Planungsregionen der IRMD

Kategorie	Bezeichnung	Herkunft der Daten
Landschaftsschutzgebiete	Landschaftsschutzgebiete	BfN
Biosphärengebiete	Entwicklungszonen	BfN
Biosphärengebiete	Pflegezonen	BfN
Siedlungsflächen	Durchgängig städtische Prägung Nicht durchgängig städtische Prägung	Corine Land Cover 5ha → BKG
Siedlungsflächen	Industrie und Gewerbefläche öffentliche Einrichtungen	Corine Land Cover 5ha → BKG
Siedlungsflächen	Städtische Grünfläche Sport- und Freizeitanlagen Baustellen	Corine Land Cover 5ha → BKG
Straßen	Bundesautobahnen	DLM250 → BKG
Straßen	Weitere Straßen	DLM250 → BKG
Schienenstrecken	Bahnstrecken	Deutsche Bahn AG
Schienenstrecken	Bahnverkehrsanlagen	DLM250 → BKG
Flughäfen und Flugplätze	Flächen für Flugverkehr	DLM250 → BKG
Gewässer	Gewässerläufe	Corine Land Cover 5ha → BKG
Gewässer	Wasserflächen	Corine Land Cover 5ha → BKG
Wald- und Forstflächen	Laubwälder Nadelwälder Mischwälder	Corine Land Cover 5ha → BKG
Wald- und Forstflächen	Wald-Strauch-Übergangsstadien	Corine Land Cover 5ha → BKG
Naturschutzgebiete	Naturschutzgebiete	BfN
Biosphärengebiete	Kernzonen	BfN
Naturdenkmale	Flächenhafte Naturdenkmale	BfN
Natura 2000-Gebiete	FFH-Gebiete	BfN
Natura 2000-Gebiete	SPA (Vogelschutzgebiete)	BfN

Überschwemmungsgebiete

BfG

Wasserschutzgebieten

Zone I und II

BfG

Das Ergebnis der GIS-Analyse ist in Abbildung 22 dargestellt. Diese restriktionsfreien Flächen stellen die theoretischen Potenzialflächen zur Errichtung von PV-Freiflächenanlagen dar. Bei der Ableitung der nutzbaren Potenzialflächen müssen u. a. Flächenabschläge für verschattete Flächen, unwirtschaftliche Kleinflächen sowie Flächen mit operativen Restriktionen (z. B. Einfluss von Entfernungen zu Netzanschlusspunkten) berücksichtigt werden. Nach heutigem Stand der Technik beträgt der durchschnittliche Flächenbedarf von PV-Freiflächenanlagen etwa 1,4 ha/MW [ZSW 2019].

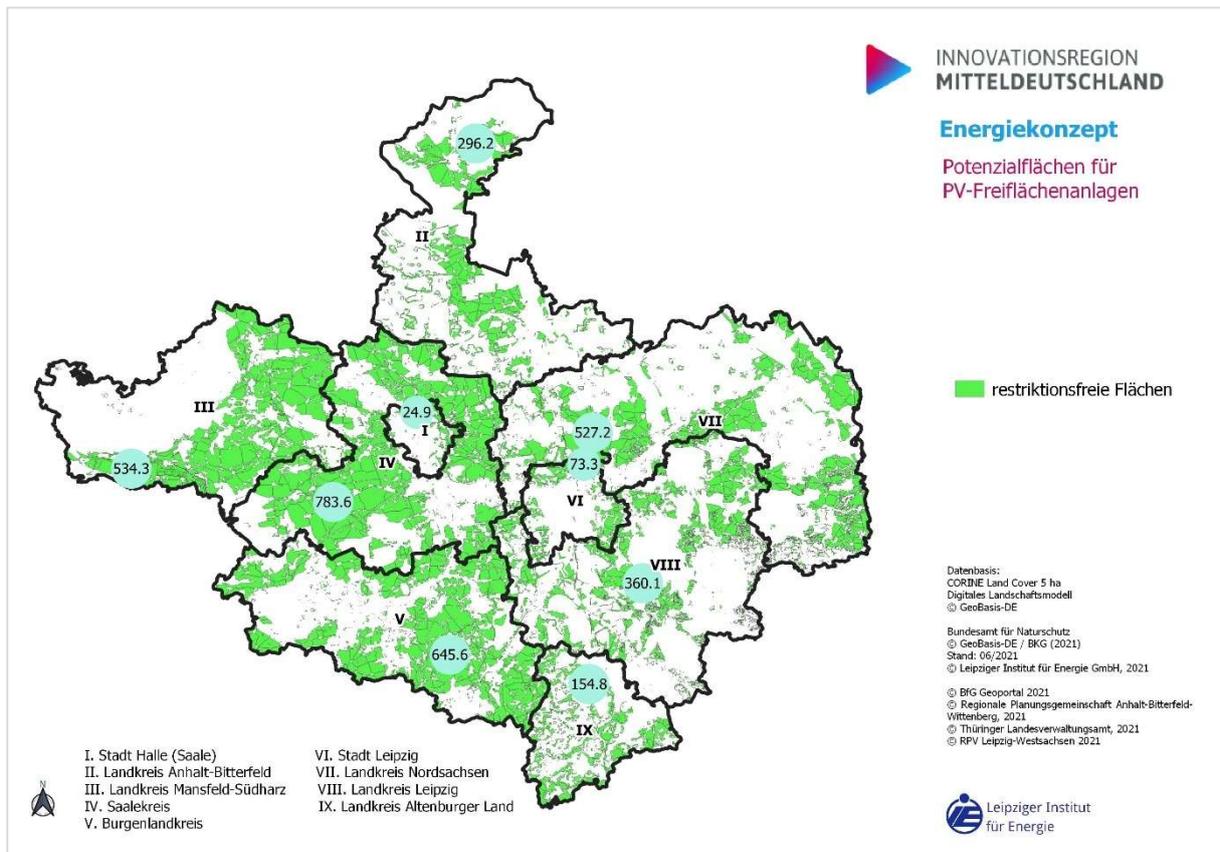


Abbildung 22 Restriktionsfreie Flächen für PV-Freiflächenanlagen in der IRMD

Floating-PV

Weitere Flächen, die zur Installation von Photovoltaikanlagen genutzt werden können, sind Wasseroberflächen. Dabei werden die Module auf Schwimmkörpern montiert, die entweder an Land oder am Seegrund verankert werden (Abbildung 23).

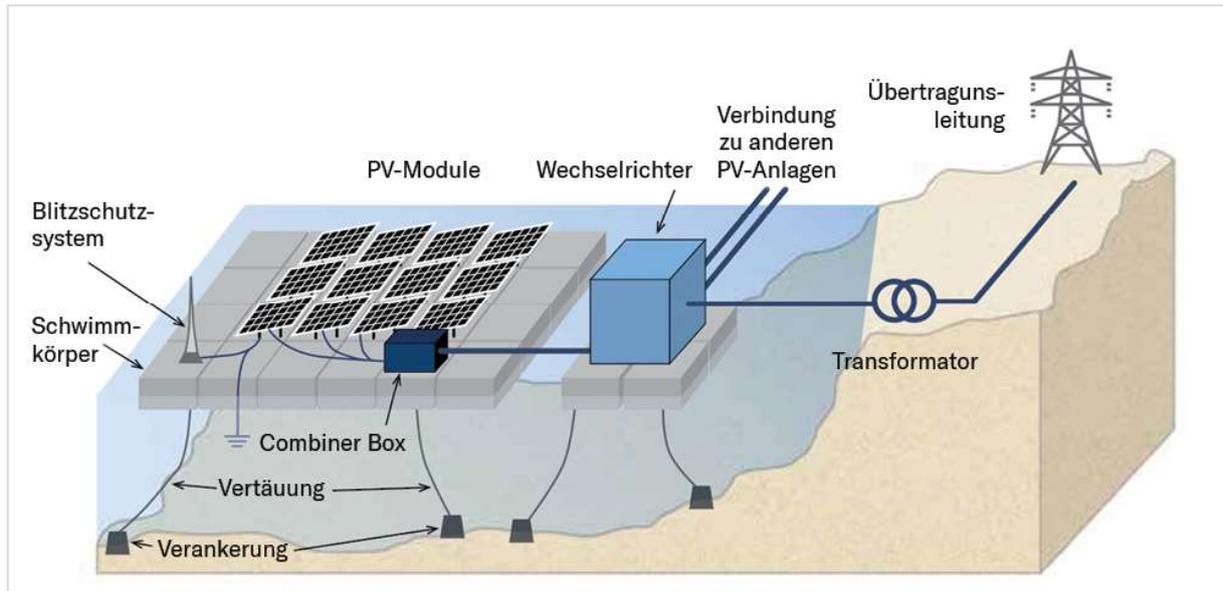


Abbildung 23 Schematische Darstellung einer Floating-PV-Anlage
Quelle: [SERIS 2021]

Die weltweit installierte Leistung beträgt bisher nur 1,1 GW. Allein das Potenzial deutscher Tagebauseen beläuft sich auf 56 GWp. Die meisten davon liegen in Sachsen (15,7 %), Sachsen-Anhalt (28,2 %) und Brandenburg (29,8 %). Abzüglich aller für Tourismus, Natur- und Landschaftsschutz und Freizeitaktivitäten relevanten Flächen bleiben noch 2,74 GWp [ISE 2020a]. Nach Abzug der ausgeschlossenen Gebiete wird deutlich, dass sich die größten Potenziale in der Lausitz und im Mitteldeutschen Revier befinden.

In [r.e. think energy 2021] wurde eine Potenzialanalyse mit folgenden Kriterien durchgeführt:

1. Standgewässer in Deutschland (> 4 ha)
2. Standgewässer (≥ 10 ha)
3. Restfläche nach Schutzgebieten (≥ 10 ha)
4. Restliche Kriterien

Im Ergebnis werden 469 Seen mit einer Gesamtfläche von 14.000 ha deutschlandweit erfasst. Bei Ausnutzung von nur 20 % der vorhandenen Fläche ergibt sich ein Potenzial von 4 bis 5 GW. Dabei entfallen 53 Gewässer mit einer Fläche von 2.269 ha auf Sachsen-Anhalt, 33 Gewässer mit 1.820 ha auf Sachsen und 34 Gewässer mit 771 ha auf Thüringen (Abbildung 24)Abbildung 24.

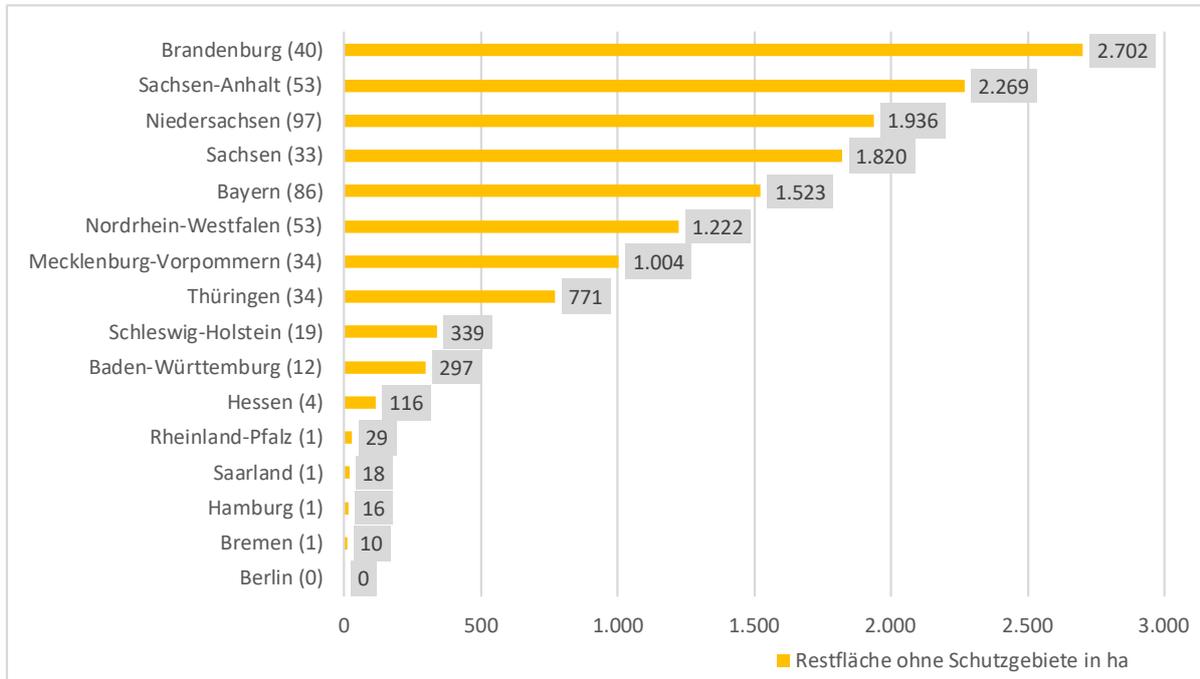


Abbildung 24 Ergebnisse Potenzialanalyse für Floating-PV in Deutschland

Daten: [r.e.think energy 2021], Darstellung: IE Leipzig

Hinweis: Restfläche ohne Schutzgebiete in ha, Anzahl Gewässer in Klammern

In Deutschland fehlen bisher noch die Anreize zur Errichtung von Floating-PV-Anlagen (FPV). Ein erster Schritt ist die Anerkennung der Potenzialflächen in der EEG-Gebietskulisse. Weiterhin könnten die Flächen als privilegiert anerkannt werden, um Genehmigungsverfahren zu beschleunigen. Auch die Aufnahme von FPV in die Sanierungsrahmenpläne stillgelegter Tagebaue könnte zum schnellen Ausbau beitragen. In den Niederlanden werden große FPV-Projekte erfolgreich umgesetzt, da die Stromeinspeisung dort entsprechend vergütet wird [ISE 2020].

Zu den Vorteilen der FPV zählen:

- Wirkungsgradsteigerung und somit erhöhte Stromproduktion von ca. 10 bis 20 % durch den Kühleffekt der Wasseroberfläche
- Verringerte Aufheizung der Gewässer durch Verschattung (geringeres Umschlagerrisiko)
- Verminderte Verdunstung des Seewassers
- Vermeidung von Flächennutzungskonflikten (gegenüber Landflächen)

Nachteile sind:

- Höhere Investitionskosten durch größeren Installationsaufwand (ca. 10-15 % mehr als bei Landnutzung)
- Fehlende Langzeitstudien zur Veränderung der Gewässerökologie

Deutschlands größte Floating-PV-Anlage wurde 2019 in Renchen in Baden-Württemberg errichtet (Abbildung 25). Die Anlagenleistung beträgt 750 kW (mit insgesamt 2.300 PV-Module). Das Projekt wurde von einem Kieswerkbetreiber initiiert. Bis zu 2/3 des erzeugten Stroms sollen in die Eigenversorgung des Kieswerks fließen.



Abbildung 25 Floating-PV-Anlage in Renchen (Baden-Württemberg)

Quelle: [energie-experten 2021]

In der IRMD gibt es bisher noch keine realisierten Pilotprojekte, geplant ist wohl aber die Errichtung einer FPV für ein Kieswerk in Nobitz im Altenburger Land mit einer Gesamtkapazität von ca. 1,5 MW [Solarserver 2020].

Die Potenzialflächen zur Nutzung von FPV in der IRMD wurden mit Hilfe einer GIS-basierten Auswertung der Seeflächen auf Basis der Datengrundlage CORINE Land Cover 5 ha vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKD) ermittelt. Bei Nutzung von zwei Prozent der vorhandenen Seeflächen steht in der IRMD eine Gesamtfläche von 361 ha für die Installation von schwimmenden PV-Anlagen zur Verfügung.

Agri-PV

Unter dem Aspekt von Landnutzungskonflikten wird die Installation von PV-Freiflächenanlagen oft kritisch beurteilt. Ein möglicher Lösungsweg zum Entgegenwirken von Nutzflächenverknappung bei der Installation von PV-Freiflächenanlagen ist die sog. Agri-Photovoltaik (APV). Unter dem Begriff der Agri-Photovoltaik werden die unterschiedlichen Möglichkeiten der Doppelnutzung von landwirtschaftlichen Flächen zur gleichzeitigen Nahrungsmittel- und Stromproduktion durch PV-Anlagen zusammengefasst (Abbildung 26). Hierbei ergeben sich folgende Vorteile der Doppelnutzung:

- Entgegenwirkung der Nutzflächenverknappung
- Neue Einkommensquelle für Landwirte durch zusätzlichen Stromertrag
- Erhöhte Resilienz des landwirtschaftlichen Betriebs gegenüber klimatischen Veränderungen
- Schutz vor zu hoher Sonneneinstrahlung, Hitze, Trockenheit und Hagel
- Überdurchschnittliche Ernteerträge in heißen Sommern mit zusätzlichem Stromertrag

Im Leitfaden für Agri-PV vom Oktober 2020 des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE wird das technische Potenzial für Agri-PV in Deutschland auf 1.700 GWp geschätzt. Der Leitfaden unterteilt die Agri-PV in folgende drei Kategorien:

- Kultur: Einjährige, Überjährige und Dauerkulturen (bspw. Obstbau, Weinbau, Gemüsebau)
- Grünland: Dauergrünland (bspw. Weide- und Wiesennutzung)
- Gewächshaus (bspw. Folientunnel)

In der IRMD existieren derzeit keine Pilotanlagen für Agri-PV. In den Fachgesprächen mit der Regionalplanung wurde die Nutzung von Agrarflächen zur Installation von Agri-PV-Anlagen mehrheitlich positiv bewertet. Es werden aber auch einschränkend die finanziellen Herausforderungen bei der Umstellung der Landwirtschaft an die Bedürfnisse der gleichzeitigen Flächennutzung für Agri-PV gesehen. In Deutschland stellen die politischen Rahmenbedingungen derzeit ein Hemmnis für die Nutzung von APV-Anlagen. So erhalten die Landwirte für den Betrieb der Anlagen aktuell weder eine EEG-Einspeisevergütung noch Agrarsubventionen für ihre landwirtschaftliche Fläche. Im aktuellen EEG konkurriert Agri-PV in den Ausschreibungen mit PV-Anlagen zur Parkplatzüberdachung und Floating-PV.

Die Potenziale zur Nutzung von Agri-PV in der IRMD wurden durch eine GIS-basierte Auswertung der Flächen von nicht bewässertem Ackerland, Weinbauflächen, Obst- und Beerenobstbeständen und Wiesen und Weiden Basis der Datengrundlage CORINE Land Cover 5 ha vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKD) ermittelt.

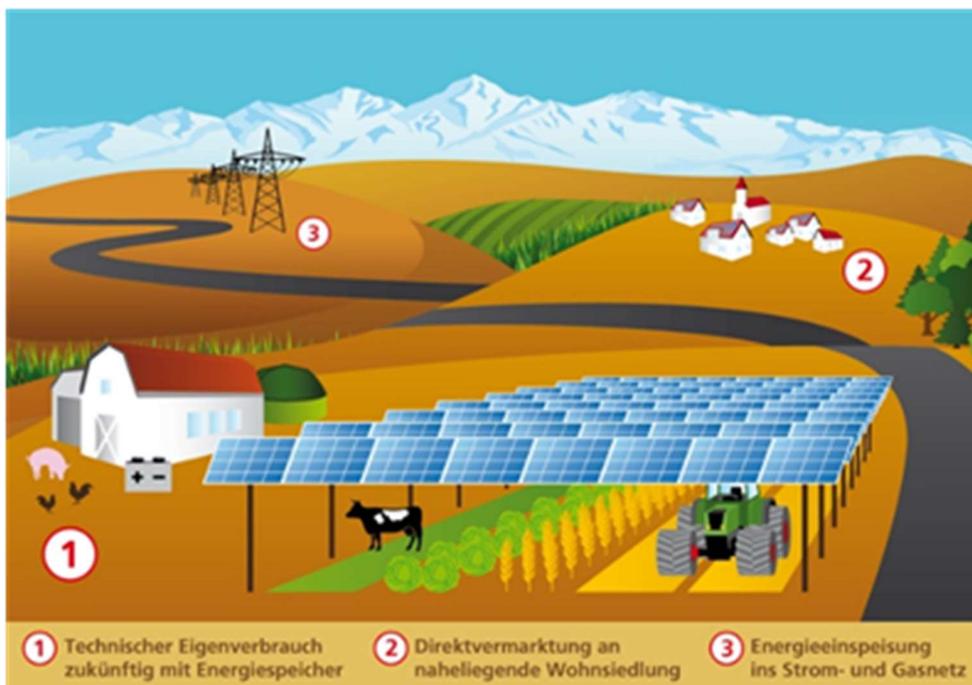


Abbildung 26 Schematische Darstellung einer Agri-PV-Anlage
 Quelle: [ISE 2020]

Zusammenfassung der Flächenpotenziale für Photovoltaik

Dieser Abschnitt fasst die ermittelten Potenzialflächen zur Installation von PV-Anlagen in der IRMD zusammen. Zunächst muss eine Unterscheidung zwischen theoretischem und wirtschaftlich-praktischem Potenzial vorgenommen werden. Mit Hilfe der dargestellten Methodik wurden zunächst die in Tabelle 4 dargestellten theoretischen Potenzialflächen zur Installation von PV-Anlagen ermittelt. Das theoretische Flächenpotenzial berücksichtigt bei PV-Freiflächenanlagen die raumordnerischen Vorgaben und Ausschlussflächen. Die Flächenabschläge für verschattete Flächen, unwirtschaftliche Kleinflächen sowie Flächen mit operativen Restriktionen (z. B. Einfluss von Entfernungen zu Netzanschlusspunkten) sowie konkurrierende Nutzungen werden im wirtschaftlich-praktischen Potenzial berücksichtigt, welches auch den Berechnungen der jeweiligen Szenarien zu Grunde liegt (vgl. Kapitel 4.4 Energieerzeugung) und somit erhebliche Abschläge gegenüber den hier dargestellten Potenzialflächen enthält.

Tabelle 4 Übersicht der theoretischen Potenzialflächen für die Nutzung von Photovoltaik in den Gebietskörperschaften

Gebietskörperschaft	Dachflächen [ha]	Freiflächen [ha]	Floating [ha]	Agri [ha]
Stadt Halle	275	2.490	224	3.852
Landkreis Bitterfeld	397	29.618	3.625	95.085
Landkreis Mansfeld-Südharz	285	53.426	1.071	89.709
Saalekreis	463	78.356	3.406	109.064
Burgenlandkreis	387	64.564	412	105.171
Stadt Leipzig	729	7.333	656	10.894
Landkreis Nordsachsen	426	52.723	2.941	135.502
Landkreis Leipzig	506	36.010	5.280	108.253
Landkreis Altenburger Land	193	15.482	429	42.728
Summe	3.661	340.002	18.045	700.258

Wasserkraft

Die Potenzialanalyse der Wasserkraft wurde **methodisch** mithilfe eines Bottom-Up Ansatzes vollzogen, d.h. es wurden gebietskörperschaftsspezifische Datenquellen ausgewertet.

Im **Ergebnis** zeigt sich, dass das Wasserkraftpotenzial nahezu ausgeschöpft ist. Zu dem Bestand von 17 MW_{el} (vgl. Kapitel 2) könnten lediglich noch 4,4 MW_{el} ausgebaut werden. Neben Natur- und Hochwasserschutzaspekten sind Hemmnisse für die Kapazitätssteigerung von Wasserkraftanlagen oftmals ungeklärte (eigentums-)rechtliche Aspekte. Für Modernisierungsmaßnahmen steht den hohen Kosten, den geringen Restlaufzeiten von Konzessionen sowie dem Umgang mit Anlagenrestwerten ein im Vergleich zu anderen Energieträgern geringes Leistungspotenzial gegenüber. Eine Finanzierung auf Grundlage der aktuellen Förderung durch das EEG stellt für manche Projektinitiativen keine ausreichende wirtschaftliche Basis dar, weiterhin haben einige der geplanten Projekte auch nicht eine wirtschaftliche Mindestgröße von über 40 kW [saena 2018]. In Einzelfällen könnte noch ein Zubau durch die Sanierung bestehender bzw. Reaktivierung stillgelegter Anlagen erfolgen. Konkret bedeutet dies für die einzelnen Gebietskörperschaften folgendes:

Die **Stadt Halle (Saale)** verfügt über ein technisches Potenzial für zwei weitere Anlagen. Das Wasserkraftwerk an der „Papiermühle Kröllwitz“ wird nach seiner Fertigstellung bei einer installierten Leistung von über 900 kW eine geschätzte jährliche Strommenge von 5 GWh zur Verfügung stellen. Dem Vorhaben „Halle-Pulverweiden“ wurde (noch) nicht stattgegeben. Hier würde sich die potenzielle Kapazität auf 900-1.000 kW beziffern [Stadt Halle (Saale) 2018].

Im **Landkreis Anhalt-Bitterfeld** lässt die Talsperren-Wasserkraft Sachsen-Anhalt GmbH gegenwärtig eine Wasserkraftanlage mit einer Leistung von ca. 2 MW im Bereich des Muldestausees errichten [MULE 2019].

Im **Landkreis Mansfeld-Südharz** befindet sich an der Talsperre Wippra in Sangerhausen eine Anlage mit 30 kW Nennleistung, weiteres Ausbaupotenzial ist nicht vorhanden [MULE 2019]. Im **Saalekreis** wurde Ende 2019 die Merseburger Königsmühle mit 450 kW in Betrieb genommen. Weiteres Zubaupotenzial wurde nicht ermittelt [ZERE e.V. 2014], [SALEG 2012]. Im **Burgenlandkreis** wird voraussichtlich zu den bestehenden 11 Wasserkraftanlagen eine 320-kW-Anlage mit ca. 1,6 GWh jährlich produzierter Strommenge am Rossnerwehr Großosida (Weiße Elster) hinzukommen [ZERE e.V. 2014]. In der **Stadt Leipzig** gibt es derzeit drei Wasserkraftanlagen mit insgesamt 250 kW Nennleistung. Das theoretische Potenzial wird auf 2.550 kW beziffert. Insgesamt sind drei weitere Anlagen möglich (Gefällestufe Hartmannsdorf, Wehr Großschocher und am Wehr Weiße Elster), wobei lediglich 900-1.000 kW Nennleistung für maximal 6 GWh Stromertrag als wirtschaftlich erschließbar gelten [Stadt Leipzig 2011]. Im **Landkreis Nordsachsen** ist das Potenzial bereits ausgeschöpft. Hier sind langfristig nur geringe Leistungssteigerungen durch Sanierungsmaßnahmen möglich [Landratsamt Nordsachsen 2014]. Am sächsischen Teil der vereinigten Mulde bestehen allerdings mehrere durch Wehre erzeugte Staustufen, an denen es früher bereits Wasserkraftanlagen gab, 2007 waren zwei im Landkreis Nordsachsen (Stadtgebiet Eilenburg, z. B. Kollauer Wehr: 800 kW) und drei im **Landkreis Leipzig** (Raum Wurzen, z. B. Wehr Wurzen: 160 kW). Der Wasserkraftverband Mitteldeutschland schätzte 2007 ein, dass diese Standorte wieder mit Wasserkraftanlagen ausgerüstet werden könnten, die zwischen 100 kW und 1.000 kW Leistung hätten, in Summe 2.760 kW [Franke 2007]. Da hierzu jedoch keine aktuellen Aktivitäten bekannt sind, wird das Potenzial nicht weiter berücksichtigt. In Sachsen gibt aber die Querbauwerksdatenbank Sachsen Auskunft über bestehende Querbauwerke in allen Flüssen [LfULG 2021]. Diese sind derzeit nur teilweise mit Wasserkraftwerken ausgerüstet. Ein Teil der von [Franke 2007] benannten Querbauwerke sind inzwischen nicht mehr verfügbar, wichtige Querbauwerke sind jedoch noch vorhanden. Sofern sich zukünftig



die administrativen Hemmnisse verringern lassen, können daher in allen Teilgebieten der IRMD auch weitere technische Potenziale zur Wasserkraftnutzung grundsätzlich aktiviert werden.

Im Landkreis **Altenburger Land** ist das Potenzial weitestgehend erschöpft, hier existieren derzeit vier Anlagen [RPG Ostthüringen 2012] & [TMUEN 2018].

Biomasse sowie Deponie- und Klärgas

Methodisch wurden bestehende Potenzialstudien herangezogen, um eine Einschätzung zu vorhandenen Biomassepotenzialen abzuleiten und mögliche Entwicklungen als Trendeinschätzung für die Szenarien berücksichtigen zu können. Eine eigene Potenzialanalyse zu Biomasse war in diesem Vorhaben nicht vorgesehen.

Für die Biomassepotenziale wurden folgende Studien verwendet:

- Die Biogaspotenziale wurden im FNR-Vorhaben „eMikroBGAA“ [Beil et al. 2019] – differenziert nach landwirtschaftlichen, kommunalen und industriellen Einsatzstoffen (Zeithorizont 2015, 2020, 2030) – auf Kreisebene ermittelt. Die aggregierten Daten der technischen Biogaspotenziale wurden auf der Basis des FNR-Vorhabens „eMikroBGAA“ [Beil et al. 2019] für die Gebietskörperschaften in der IRMD zusammengestellt und der gegenwärtigen Nutzung (vgl. Kapitel 2) gegenübergestellt. Der Abgleich der Potenziale (2020) mit der gegenwärtigen Nutzung (hier: IST-Nutzung über die Auswertung der Stromerzeugung aus den ÜNB-Daten für 2018) ist als Abschätzung zu sehen, da transportwürdige Substrate nicht zwingend in Landkreisen selbst genutzt werden müssen und Importe/Exporte nicht berücksichtigt sind.
- Für Deponie- und Klärgas wurden keine Potenziale ausgewiesen. Hier wurde lediglich eine Einschätzung zu möglichen Entwicklungen getroffen.
- Für die forstwirtschaftlichen Potenziale (Holzpotenziale und Nebenprodukte) wurde auf die Veröffentlichung „Bioökonomieatlas für das Mitteldeutsche und Lausitzer Revier“ [DBFZ 2020] zurückgegriffen, in der u. a. die Biomassepotenziale für das „Mitteldeutschen Revier“ auf Basis verschiedener Biomassedaten und Studien zusammengetragen und aufbereitet wurde. Da holzartige Biomassen besonders transportwürdig sind und Importe/Exporte nicht berücksichtigt sind, wird kein Abgleich mit der IST-Nutzung in den Anlagen fester Biomasse (vgl. Kapitel 2) vorgenommen.
- Die Mitverbrennung fester Biomasse in konventionellen Kraftwerken wurde nicht als Option betrachtet. Die Mitverbrennung ist technisch denkbar, aber die verfügbaren Biomassemengen sind für die Auslegung der großen Kraftwerke vergleichsweise gering. Für weitere Informationen sei auf das Positionspaper des DBFZ „Umrüstung von Kohlekraftwerken auf Biomasse“ vom Juni 2021 verwiesen [Thrän et al. 2021]. Demnach stehen Vorteilen in Form der Weiternutzung der Infrastruktur und Skaleneffekten Kosten- und Wertschöpfungsrisiken durch potenzielle Kannibalisierungseffekte in Bezug auf bestehende Biomassenutzungen und alternative Flexibilitätsoptionen gegenüber. Nachhaltige nationale Biomassepotenziale befinden sich vielfach bereits in Nutzung und sind nur begrenzt für den Einsatz in Kohlekraftwerken geeignet. Bei einer zusätzlichen Biomassenachfrage durch Kohlekraftwerke ist daher mit verstärkten Importen insbesondere von Holzpellets auch auf Basis von stofflich nutzbarem Stamm- und Industrieholz zu rechnen [Thrän et al. 2021].

Die **Ergebnisse** und Kernaussagen sowie Ausbauentwicklungen werden im Folgenden nach Art der Biomasse differenziert skizziert.

Biogas/Biomethan

Der Abgleich, der im Vorhaben eMikro-BGAA ermittelten Biogaspotenziale mit der gegenwärtigen Nutzung zeigt, dass noch verfügbare Biogaspotenziale bestehen (Tabelle 5).

Der Großteil der Biogaspotenziale liegt im landwirtschaftlichen Bereich (Anbaubiomasse, Grünland und landwirtschaftliche Reststoffe). Auf den Landkreis Nordsachsen entfällt mit knapp 130.000 ha die größte landwirtschaftliche Nutzfläche. In Relation zur gesamten Fläche in der IRMD weisen der Saalekreis, das Altenburger Land und der Burgenlandkreis mit je etwa 70 % Landwirtschaftsfläche die größten Anteile aus [DBFZ 2020].

Tabelle 5 Abgleich der Biogaspotenziale mit der gegenwärtigen Nutzung in der IRMD-Region nach DBFZ, 2021
Daten: FNR-Vorhaben eMikroBGAA in [Beil et al. 2019]; Bestandsanalyse Biogasanlagen auf der Basis der DBFZ-Biogasdatenbank und Auswertung der ÜNB-Daten zur Stromerzeugung für 2018

Gebietskörperschaft	Biogaspotenziale		IST-Nutzung Biogas		Differenz	in Nutzung	theoretisch verfügbar
	2020 GWh (Hs)	2030 GWh (Hs)	[GWh _{el}]	[GWh (Hs)]			
Leipzig, Stadt	163	173	16	45	118	27%	73 %
Landkreis Leipzig	2.504	2.584	128	355	2.149	14%	86 %
Landkreis Nordsachsen	4.246	4.369	144	400	3.846	9%	91 %
Halle (Saale), Stadt	40	42	0	0	40	0%	100 %
Landkreis Anhalt-Bitterfeld	1.657	1.835	88	244	1.414	15%	85 %
Burgenlandkreis	2.430	2.669	107	295	2.135	12%	88 %
Landkreis Mansfeld-Südharz	1.348	1.540	120	331	1.017	25%	75 %
Saalekreis	3.008	3.390	114	316	2.692	10%	90 %
Landkreis Altenburger Land	1.004	1.045	80	222	782	22%	78 %
IRMD	16.401	17.646	797	2.208	14.193	13%	87 %

Auch wenn der Abgleich verfügbare Potenziale insbesondere im Agrarbereich aufzeigt, wird der Fokus politisch zunehmend auf „Reststoffe“ gerichtet sein. Das bedeutet für die Szenarien für Biogas/Biomethan einen moderaten, nachhaltigen Energiepflanzenanbau, der über das jetzige Niveau nicht hinausgehen wird. Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen ist zu erwarten, dass der Ausbau neuer Biomasseanlagen zur Stromerzeugung begrenzt bleiben und der Anlagenbestand sogar sukzessive zurückgehen wird, da die EEG-Vergütung für Biomasseanlagen spätestens nach 20 Jahren ihrer Inbetriebnahme endet und nur ein Teil der Anlagen eine Anschlussförderung über Ausschreibungen oder eigene Vermarktungsoptionen nutzen wird. Zudem wird eine Verlagerung der Nutzung durch die Bereitstellung von Biomethan als Kraftstoff erwartet. Im Bereich der Biogasanlagen könnte perspektivisch insbesondere für größere Anlagen die Bereitstellung von Biomethan eine Option für den Weiterbetrieb darstellen. Auch die Einführung eines nationalen Emissionshandelssystems (ETS) wird sich auf den Absatz von Biomethan in der Zukunft auswirken.

Mit der Zielsetzung, den Ausbau erneuerbarer Gase (sowohl für Biomethan als auch biogene synthetische EE-Gase, u. a. Bio-SNG, Wasserstoff) zu fördern, dürfte auch der Anteil Biomethan im Erdgasnetz zukünftig steigen. Dabei wird abfallbasiertes Biogas /Biomethan (insbes. größerer Anlagen) aufgrund der höheren THG-Einsparungen (THG-quote / RED-II) zunehmend eine interessante Option für den Kraftstoffmarkt werden. Der Ausbau wird daher stärker durch die erweiterte Nutzung von Reststoffen oder/und Substratumstellungen geprägt sein.

Die Optimierung relevanter Reststoffe erfordert eine Detailprüfung. Folgende Ansätze können für eine vertiefende Analyse besonders relevant sein:

- Flächenpotenziale für alternative Substrate (u. a. Zwischenfrüchte, Substrate auf ertragsmindernden Flächen, Aufwüchse von Ackerrandstreifen- und Blühstreifen), aquatische Biomasse
- Energetische Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe (u. a. Gülle, Festmist, Stroh, sonstige Ernterückstände)
- Energetische Nutzung kommunaler Rest- und Abfallstoffe (u. a. Biotonne, Grünschnitt, Strauchschnitt, Park- und Gartenabfälle, Landschaftspflegematerialien) in Kombination mit stofflichen Nutzungen (u. a. Ausbau von Bioabfallvergärungskapazitäten / Erweiterung von Kompostierungsanlagen mit Vergärungsstufe; Behandlung von holzigen Substraten für die Bereitstellung von Torfersatzstoffen)
- Energetische Nutzung industrieller Rest- und Abfallstoffe (u. a. organische Abfälle der lebensmittelverarbeitenden Industriestandorte, Reststoffe der Bioethanol- und Biodieselanlagen)

Für die Ausgestaltung einer nachhaltigen energetischen Biomassenutzung stehen zudem Verwertungsoptionen für die in der Region anfallenden Rest- und Abfallstoffe zur Verfügung, die bisher noch nicht zur energetischen Nutzung verwendet werden. Mit der Biogastechnologie kann, z. B. durch Nutzung von Ackerrandstreifen- und Blühstreifen, Silageabraum oder/und sonstigen landwirtschaftlichen Reststoffen, eine sinnvolle energetische Biomassenutzung (Synergieeffekte, Akzeptanz, Wertschöpfungseffekte) ermöglicht und gleichzeitig positive Effekte, z. B. in den Bereichen Gewässerschutz, Minimierung von N-Einträgen, Bodenschutz und Biodiversitätsschutz, erzielt werden. Perspektivisch könnten anstelle des klassischen Einsatzes von Anbaubiomasse/Hauptfrucht-Energiepflanzen zur Biogaserzeugung (derzeit u. a. Mais) stärkere Anreize für den Einsatz alternativer Biomasse gesetzt werden. Eine Anpassung aktueller Rahmenbedingungen in verschiedenen Bereichen, u. a. über Treibhausgasgutschriften, Vertragsnaturschutz, Erfüllung von Greening-Auflagen, können so dazu beitragen, einen wirtschaftlichen Einsatz solcher Stoffströme zu ermöglichen.

Klär-/Deponiegas

Potenziale zusätzlicher Klärgaserzeugung könnte aus der Umstellung von Anlagen aerober auf anaerober Schlammstabilisierung sowie aus der Optimierung der Schlammfäulung erfolgen. Hinsichtlich der zukünftigen Klärgasnutzung für die Potenzialbetrachtung könnte man von einer gleichbleibenden Klärgasnutzung ausgehen, da die Klärgasnutzung in Deutschland seit Jahren stagniert. Hinsichtlich der Entwicklung von Deponiegas wird die Verstromung aufgrund des Ablagerungsverbotes organischer Abfälle weiter zurückgehen – dies wird auch für die IRMD angenommen.

Feste Biomasse

Im Bereich der festen Biomasse kann aufgrund der Anreize durch die Novellierung des EEG 2021 ein Neubau von Biomasseheizkraftwerken erwartet werden. Auch für Bestandsanlagen bieten sich nach dem Ende ihres ersten Vergütungszeitraumes bessere Optionen in das Ausschreibungsdesign zu wechseln, wenngleich die Anforderungen an den flexiblen Betrieb erhöht wurden.

Hinsichtlich der Holzpotenziale sei im Folgenden ein Auszug aus dem Bioökonomieatlas [DBFZ 2020] angeführt, der für die IRMD die forstwirtschaftlichen Potenziale zusammengeführt hat (Anhang 7.4 Erneuerbare Energien):

Die Waldholzpotenziale der Landkreise ergeben sich aus dem Waldrundholz, das sich in Nadel- und Laubholz sowie Stamm- und Industrieholz untergliedern lässt und dem bei der Holzernte und -verarbeitung anfallenden Waldrestholz. Im Mitteldeutschen Revier liegt die verwendete Holzmenge des Jahres 2016 knapp über dem potenziellen Waldholzaufkommen. Insbesondere für Nadelholz deutet dies auf eine starke holzverarbeitende Industrie hin. Hier ist das Zellstoffwerk in Stendal an der Nordgrenze des Reviers als Großverbraucher zu berücksichtigen, dessen

Daten nicht in die partielle Holzrohstoffbilanz einfließen. Im Bereich Laubholz und Waldrestholz finden sich hingegen größere Reserven, was auf eine nicht vorhandene Verarbeitungsstruktur für diese Sortimente innerhalb der Reviergrenzen hindeutet. Allerdings bietet die im Bau befindliche Bioraffinerie in Leuna neue stoffliche Verwendungsmöglichkeiten für Laubholz. In Hinblick auf die Verwendung von Nadelholz wird deutlich, dass die stoffliche Nutzung in der Sägeindustrie, der Furnier- und Sperrholzindustrie oder für Holzwerkstoffe überwiegt. Insgesamt konzentrierte sich die Verwendung von Nadelholz im Jahr 2016 auf die Landkreise Mansfeld-Südharz und Nord-sachsen, insbesondere aufgrund der dort ansässigen holzverarbeitenden Betriebe. Beim Laubholz überwiegt genau wie beim Waldrestholz die energetische gegenüber der stofflichen Nutzung. Die größte energetische Verwendung entfällt auf private Haushalte, gefolgt von Großfeuerungsanlagen. [DBFZ 2020].

Im Rahmen hydrothormaler Verfahren können für biogene Reststoffe, die bisher weder stofflich noch energetisch genutzt werden, Lösungen gefunden werden z. B. durch eine gekoppelte Produktion von Carbonsäuren und veredeltem Festbrennstoff, die gleichzeitig zur Ressourcenschonung (Energie, Nährstoffe, Wasser) beitragen. Dabei können nach der Abtrennung der Carbonsäuren weitere ressourcenrelevante Prozesswasserinhaltsstoffe, wie Phosphor und Stickstoff, abgetrennt und verbliebene organische Bestandteile energetisch genutzt werden, bevor die Aufbereitung des Prozesswassers erfolgt. Die möglichst hochwertige Verwendung kommunaler und industrieller Reststoffen trägt zur Lösung der Entsorgungsproblematik und zur Sicherung der regionalen Wertschöpfung in Mitteldeutschland bei.

Biomasse als Bioenergieträger wird letztlich als Ergänzung zu anderen Erneuerbaren Energien (Wind, Solar) mit höherer Flexibilität und Wärmenutzung von Bedeutung sein. Bioenergie wird perspektivisch nicht mehr (allein) im Stromsektor gesehen. Der Einsatz der Biomasse verlagert sich perspektivisch in Sektoren mit teuren alternativen Optionen zur Dekarbonisierung. Der Einsatz von Biomasse sollte dort erfolgen, wo Strom nicht sinnvoll genutzt werden kann.

3.2 Wärmezeugung

In der IRMD gibt es 19 Fernwärmeversorger. Ein Großteil davon sind Stadtwerke oder städtische Versorgungsunternehmen. Die Stadtwerke Halle und Leipzig haben einen Anlagenbestand mit hoher installierter Leistung. Dabei handelt es sich um wenige Großanlagen, wie die HKW Halle Trotha, Halle Dieselstraße und das HKW Leipzig Nord. In den Landkreisen Nordsachsen und Leipzig versorgen die Stadtwerke Schkeuditz, Torgau, Borna, Delitzsch und Eilenburg die Region mit Fernwärme (Tabelle 6). In den Städten Merseburg im Saalekreis, Sangerhausen im Landkreis Mansfeld-Südharz oder Weißenfels im Burgenlandkreis werden von den Stadtwerken zusätzlich zu den kleineren BHKW noch jeweils ein großes Heizkraftwerk betrieben.

Außerdem befinden sich die fünf Müllverbrennungsanlagen in der IRMD alle in Sachsen-Anhalt. Im Saalekreis sind die TREA Leuna und die SAV Schkopau ansässig. Die TREA Leuna ist bereits an das Fernwärmenetz der InfraLeuna angeschlossen und versorgt auch die Stadt Merseburg mit Fernwärme. Die SAV Schkopau besitzt momentan noch keine Fernwärme-Auskopplung. Weitere Müllverbrennungsanlagen befinden sich in Zorbau im Burgenlandkreis, in Bitterfeld im Landkreis Anhalt-Bitterfeld, in Braunsbedra im Saalekreis und in Amsdorf im Landkreis Mansfeld-Südharz. Alle diese Anlagen verfügen über eine Fernwärme-Auskopplung und versorgen damit hauptsächlich nahegelegene Industriestandorte. Generell wird fast ausschließlich Erdgas zur Erzeugung von Fernwärme eingesetzt, vereinzelt wird auch Biogas in den BHKW verbrannt. Diese Anlagen weisen alle einen sehr hohen KWK-Wirkungsgrad von mind. ca. 85 % auf, weswegen zunächst von einem langfristigen Betrieb ausgegangen wird.

Tabelle 6 Fernwärmeversorger in der IRMD
Daten: Erhebung IE Leipzig

Nr.	Fernwärmeversorger	(envia M)envia them	Stadtwerke Halle	Stadtwerke Leipzig	Stadtwerke Bitterfeld-Wolfen	Bitterfelder Fernwärme GmbH	Stadtwerke Sangerhausen	Stadtwerke Hetschdorf	Stadtwerke Merseburg	Stadtwerke Weißenfels	Stadtwerke Schleuditz	Stadtwerke Torgau	Stadtwerke Grimma	Stadtwerke Borna	Wurzener Landwerke	ewa: Energie- und Wasserversorgung Altenburg	Technische Werke Naumburg	Stadtwerke Lutherstadt-Eisleben	Stadtwerke Eilenburg	Stadtwerke Delitzsch	Stadtwerke Zeitz	Stadtwerke Schmolln	EWAG Braunsbedra
I	Stadt Halle (Saale)		x																				
II	Lk Anhalt-Bitterfeld	x				x																	
III	Lk Mansfeld-Südharz						x	x										x					
IV	Saalekreis								x														x
V	Burgenlandkreis									x							x				x	x	
VI	Stadt Leipzig			x																			
VII	Lk Nordsachsen										x	x							x	x			
VIII	Lk Leipzig													x	x								
IX	Lk Altenburger Land	x														x							

Die Städte Leipzig (485 km) und Halle (212 km) haben die größten Fernwärmenetze, gefolgt von Bitterfeld (65 km), Merseburg (40,2 km) und Weißenfels (25,8 km). Die meisten Fernwärmenetze werden noch mit sehr hohen Temperaturniveaus betrieben. Die Vorlauf-Temperaturen liegen zwischen 85 und 135 °C. Die Rücklauf-Temperaturen liegen oft zwischen 50 und 70 °C. Perspektivisch wird davon ausgegangen, dass die großen HKW und andere große KWK-Anlagen zunehmend von kleinen, dezentralen Anlagen abgelöst werden. Viele Anlagen wurden zwar umgerüstet, sodass sie auch erneuerbare Brennstoffe, wie Biogas, Biomethan, Pflanzenöle oder Wasserstoff, nutzen können. Durch das KWKG erhalten KWK-Anlagen den Einspeisevorrang für den erzeugten Strom, gleichrangig mit Erneuerbare-Energie-Anlagen. Außerdem erhalten sie für den produzierten Strom einen Zuschlag von bis zu 8 ct/kWh (KWKG 2020; §3, §7). Perspektivisch werden KWK-Anlagen jedoch vor allem zur Abdeckung von Spitzenlasten dienen, die Abdeckung der Grundlast wird überwiegend aus erneuerbaren Energien erfolgen [Öko-Institut e.V. & Hamburg Institut 2021]. Weitere Ausführungen zur Fernwärmeversorgung in den Gebietskörperschaften erfolgen im Kapitel 4 Szenarien bis 2040 und im Anhang 3 Wärmebilanzen der Gebietskörperschaften.

In den folgenden Abschnitten werden Optionen der Wärmeherzeugung vorgestellt.

Abwärmennutzung

Die Nutzung von Abwärme ist stark von lokalen Bedingungen abhängig. Neben der Siedlungsstruktur sind die technischen Anforderungen teilweise sehr hoch, was eine Auskopplung von industrieller Abwärme verhindert. Weiterhin stellen die hohen technischen und planerischen Anforderungen sowie Investitionskosten und lange Amortisationszeiten Hemmnisse dar [Öko-Institut e.V. & Hamburg Institut 2021]. Oftmals bestehen auch in der räumlichen Anordnung von Abwärmequelle und Wärmesenke große Herausforderungen, weiterhin muss zur Abwärmennutzung bestenfalls ein Wärmeversorgungsnetz vorhanden sein. Beim Wärmetransport über weite Strecken entstehen allerdings hohe Leitungsverluste. Weitere Gründe für die derzeit geringe Nutzung von industrieller Abwärme sind die niedrigen Gas- und Ölpreise [Pehnt et al. 2017].

Um die Nutzung industrieller Abwärme voranzutreiben, können folgende Maßnahmen in Betracht gezogen werden:

- Entwicklung von neuen Methoden zur bisher noch sehr lückenhaften Erfassung von Abwärmepotenzialen, um Abwärmequellen und -senken zusammenzuführen. Hierzu gibt es bereits Bestrebungen in Zusammenarbeit mit den Landesenergieagenturen der betroffenen Bundesländer.
- Einstufung der industriellen Abwärme als erneuerbare Fernwärme, auch wenn sie aus fossilen Energieträgern entsteht, da es Wärme ist, die sowieso anfällt und nicht extra produziert wird. Damit könnte



die Abwärme über eine Durchleitungsverpflichtung begünstigt werden, wie es auch für erneuerbar erzeugte Fernwärme der Fall ist [Pehnt et al. 2017].

- Zur effizienten Abwärmenutzung müssen an Orten ohne vorhandene Wärmeversorgungsnetze die passenden Infrastrukturen angelegt werden.
- Im Bereich der Abwärmenutzung durch Großwärmepumpen besteht noch Forschungs- und Förderungsbedarf für Pilotprojekte, da es sich dabei um bisher noch wenig erprobte Technik handelt.

Methodisch wurden zur Ermittlung der Abwärmepotenziale verfügbare Informationen zu bestehenden Abwärmekatastern der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen recherchiert. Hierzu wurden die jeweiligen Landesenergieagenturen kontaktiert. Zusätzlich wurden vorhandene Energie- und Klimaschutzkonzepte sowie wissenschaftliche Potenzialstudien ausgewertet.

Für **Thüringen** stellt die Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA) ein Abwärmekataster zur Verfügung. Auf Basis des Emissionskatasters der nach 11. BImSchV genehmigungspflichtigen Unternehmen wurden Berechnungen der Abwärmemengen durchgeführt. Die Datenbasis stammt aus dem Jahr 2016. Daten von nicht nach 11. BImSchV genehmigungspflichtigen Unternehmen sind nicht enthalten. Das erfasste Abwärmepotenzial entspricht allerdings nur zu ca. 21 % dem des theoretischen Gesamtpotenzials. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass die im Kataster ausgewiesenen Abwärmemengen teilweise nicht tatsächlich zur externen Nutzung zur Verfügung stehen, sondern bereits intern verwertet werden [ThEGA 2018]. Eine aussagekräftige Potenzialanalyse für die regionale Nutzung von Abwärme kann auf dieser Grundlage somit nicht erfolgen. Politisch ist eine verstärkte Nutzung der Abwärme gewollt, die integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie des Freistaates Thüringen aus dem Jahr 2019 schreibt u. a. Maßnahmen zur Unterstützung des Ausbaus von Wärmenetzen auf Basis von Abwärme sowie zur Steigerung der Nutzung industrieller und gewerblicher Abwärme fest. Zudem sollen verbesserte Finanzierungsmöglichkeiten zur Entwicklung von Projekten zur Nutzung von Abwärme geschaffen werden.

Für **Sachsen-Anhalt** wurde eine Methodenstudie zur Erstellung eines Abwärmekatasters in Auftrag gegeben. Im Klima- und Energiekonzept Sachsen-Anhalt (KEK) aus dem Jahr 2019 ist in den Handlungsfeldern Energiewirtschaft sowie Industrie und Wirtschaft das Ziel der gesteigerten Nutzung industrieller und gewerblicher Abwärme verankert.

Für **Sachsen** stellt das Energieportal Sachsen unter energieportal-sachsen.de freiwillig erfasste Daten zur industriellen Abwärme aus dem Jahr 2009 zur Verfügung. Diese Daten wurden mit Hilfe von Fragebögen an Industrieunternehmen erhoben. Der Rücklauf war begrenzt, weshalb dies keine repräsentative Datengrundlage für eine Potenzialanalyse darstellt. Die saena GmbH erstellt derzeit in Zusammenarbeit mit der TU Dresden ein neues Abwärmekataster.

Im **Ergebnis** zeigt sich, dass die Datenerfassung von Potenzialen zur Nutzung industrieller Abwärme bisher unvollständig ist, jedoch in einzelnen Energie- und Klimaschutzkonzepten das Ziel der zunehmenden Nutzung von Abwärme zur Effizienzsteigerung, meist ohne Angabe konkreter Erschließungspotenziale, formuliert wurde (Tabelle 7).

Tabelle 7 Potenziale zur Nutzung industrieller Abwärme

Daten: Zusammenstellung IE Leipzig

Gebietskörperschaft	Quelle	Zielformulierung
Leipzig, Stadt	Sofortmaßnahmenprogramm zum Klimanotstand 2020	Prüfung der Versorgungsmöglichkeit durch industrielle Abwärme bei Entwicklung neuer Quartiere Es ist weiterhin das Ziel der Effizienzsteigerung städtischer Rechenzentren durch die Nachrüstung technischer Komponenten zur Optimierung der Abwärmenutzung festgeschrieben. Können Abwärmepotenziale vor Ort nicht genutzt werden, erfolgt eine Prüfung hinsichtlich der Nutzung der Abwärme für das Fernwärmenetz mittels Wärmepumpen.
Landkreis Leipzig	KSK Wurzen 2014	Potenzialanalyse PQ Germany GmbH: Der vorhandene Abwärmestrom beträgt 15.000 Nm ³ /h à 450 °C im Sommer bzw. 190 °C im Winter. Damit wird u.a. bereits das Verwaltungsgebäude und die Warmwasserversorgung des Unternehmens versorgt.
Nordsachsen	-	-
Halle (Saale), Stadt	KSK Halle 2013	Erstellung Atlas „Erneuerbare Energien in Halle (Saale)“ Nutzungspotenziale für EE sollen erfasst werden, z. B. auch für Abwärmenutzung aus Abwasser
Anhalt-Bitterfeld	KSK Köthen 2018	Leitmaßnahme 7.2.3 Effiziente Wärmeversorgung in den Quartieren, u. a. Nutzung von Abwärme und Reststoffen aus industriellen Prozessen
Burgenlandkreis	KSK Naumburg 2015	Maßnahme V1 Wirtschaftlichkeits- und Wärmedichtenanalyse zum Aufbau von Nahwärmeinseln
Mansfeld-Südharz	Masterplan Mansfeld-Südharz 2020	Projektvorschlag: Nachhaltige Energieerzeugung und -nutzung für Industrieprozesse (Projektnr. MSH4.1.2.0-03), u. a. sollen Demonstratoren zur Abwärmenutzung konzipiert und aufgebaut werden
Saalekreis	KSK Stadt Naumburg 2015 KSK Leuna 2014	Im Klimaschutzkonzept der Stadt Leuna wird die zunehmende Nutzung der Abwärmepotenziale aus Biogasanlagen vorgeschlagen Im Klimaschutzkonzept Stadt Naumburg (Saale) werden mit der Maßnahme zur Wirtschaftlichkeits- und Wärmedichtenanalyse zum Aufbau von Nahwärmeinseln als Akteure die AbwärmeproduzentInnen adressiert.
Altenburger Land	KSK Schmöln 2014	Nutzung von Abwärme aus Abwasserkanälen durch Wärmepumpen

Großwärmepumpen und Elektrodenheizkessel

Großwärmepumpen funktionieren genauso wie normale Wärmepumpen, jedoch ist ihr Einsatzgebiet ein anderes. Großwärmepumpen werden an das Fernwärmenetz angeschlossen, um Umweltwärme mittels Einsatzes von Strom in das Fernwärmenetz einzuspeisen. Damit die Wärmepumpen so effizient wie möglich arbeiten können, ist es auch hier wichtig, die Temperaturdifferenz zwischen Einspeisetemperatur und Netztemperatur möglichst gering zu halten [Pehnt et al. 2017]. Die großtechnische, zentrale Umwandlung von elektrischem

Strom in Wärme, eingebettet in einen multivalenten Erzeugungspark, der sich durch die optionale Nutzung verschiedener Brennstoffe (erneuerbar oder fossil) und/oder Strom auszeichnet, wird hier als Power-to-Heat verstanden. Vorzugsweise handelt es sich bei dem multivalenten Erzeugungspark um KWK-Anlagen, die den Brennstoff hocheffizient in Strom und Wärme umwandeln [AGFW 2021]. Beispiele für solche Rahmenbedingungen sind fernwärmebetreibende Stadtwerke, die ihren KWK-basierten Kraftwerkspark durch einen Elektroheiz (Elektrodenkessel) ergänzen. Dabei werden zwei Elektroden direkt in das Wasser eingebracht und der Wechselstrom direkt durch das Wasser geleitet. Dadurch findet eine Widerstandsbeheizung statt [AGFW 2021]. Elektrodenheizkessel sind hocheffizient, mit Wirkungsgraden über 99 %, jedoch ist die Umwandlung von Strom in Wärme momentan noch ökologisch und ökonomisch meist ineffizient. Sie können auch gut in der Industrie eingesetzt werden, da sie Prozesswärme auf einem sehr hohen Temperaturniveau liefern und Wasserdampf mit einer Temperatur von 230 °C und einem Druck bis zu 30 bar bereitstellen. Der Dampf kann durch nachgeschaltete Elektrodurchlauferhitzer noch weiter erhitzt werden [Fraunhofer IWES 2015]. Doch auch in der Industrie ist die Erzeugung von Prozesswärme aus anderen Energieträgern als Strom etablierter und oft kostengünstiger. Elektrodenheizkessel lassen sich leicht in Fernwärmenetze integrieren und werden bereits genutzt, um auf die fluktuierende Erzeugung Wind- und Solarenergie zu reagieren. Diese Technik nutzen u.a. z.B. die Stadtwerke Münster: Die Anlage funktioniert dabei wie ein großer Tauchsieder mit einer Leistung von 22 Megawatt. Installiert wird die Anlage im bereits bestehenden Wärmespeicher, der an das Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk (GuD-HKW) der Stadtwerke angeschlossen ist [SW Münster 2016]. Ein weiteres Beispiel befindet sich in Hamburg. Die Power-to-Heat-Anlage Karoline wurde im November 2018 in Betrieb genommen. Der installierte Elektrodenheizkessel verfügt über eine Leistung von etwa 45 Megawatt [Wärme Hamburg 2021]. In Tabelle 8 sind im **Ergebnis** mögliche Standorte für Großwärmepumpen in Sachsen-Anhalt dargestellt. Weitere Ausführungen zur Fernwärmeversorgung (Abwärmenutzung, Großwärmepumpen und Elektrodenkessel) nach Gebietskörperschaften erfolgen im Kapitel 4 Szenarien bis 2040 und im Anhang 2 Strombilanzen der Gebietskörperschaften.

Tabelle 8 Mögliche Standorte für Großwärmepumpen in der IRMD
Daten: [LAU 2017], Darstellung IE Leipzig

Versorger	Standort	Netzein- speisung [GWh]	Netztempera- tur (Sommer)		Abwärmequellen im Umkreis von bis zu 5 km		
			VL [°C]	RL [°C]	Kläranlage mit Entfernung [km]	Fluss	Industrie mit Entfernung. [km]
Energieversorgung Halle	HKW Halle Trotha	703	98	60	5	Saale	0,4
Stadtwerke Merseburg	Heizwerk West	82	78	60	4,9	Saale	2,6
Stadtwerke Weißenfels	Hochheimweg	52	75	60	3	Saale	1,3
Stadtwerke Eisleben	Kurt Wein Str.	26	105	70	2,3		
Stadtwerke Eisleben	Heizhausweg	26	105	70	1,8		Dow Olefin- verbund GmbH
Danpower	Benndorf	23	80	60			
Technische Werke Naumburg	Steinkreuzweg	10	75	60	2,4	Saale	1,7

Einbindung erneuerbarer Energien

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, gibt es weitere Technologien und Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien. Bei den meisten erneuerbaren Energien, wie der Geothermie und der Solarthermie, handelt es sich um Wärmeerzeugungsprozesse mit einem niedrigeren Temperaturniveau als bei der konventionellen Wärmeerzeugung. Für den Transport der Wärme aus konventionellen Energieträgern werden aktuell überwiegend zwei Standards von Wärmenetzen verwendet, die Wärmenetze der 2. und 3. Generation. Diese Netze werden mit einem Temperaturniveau zwischen 75 und 135 °C betrieben. Anders als das Wärmenetz der 1. Generation wird in den derzeitigen Wärmenetzen Wasser statt Dampf als Wärmeträgerfluid eingesetzt. Aufgrund dieser Umstellung wurde bereits ein gewisser Teil der Wärmeverluste vermieden. Allerdings werden die Wärmenetze weiterhin mit einer hohen Temperatur betrieben. Bei den zukünftigen Technologien zur Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Quellen handelt es sich um Niedertemperaturwärmequellen. Zudem sind die Wärmequellen vermehrt mit dem Stromsektor gekoppelt und müssen flexibel auf die fluktuierende Stromerzeugung reagieren können. Mit den Wärmenetzen der 4. Generation wird die Lieferung von Niedertemperatur mit geringen Wärmeverlusten möglich. Diese Wärmenetze werden mit Temperaturen zwischen 30 und 70 °C betrieben, weswegen eine Integration von Niedertemperaturwärmequellen möglich ist.

Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten zur Einbindung von erneuerbaren Energien (energetische Verwertung von Klärschlamm, Solarthermie sowie Seethermie/ Flusswärme) in der Wärmeversorgung kurz vorgestellt und deren Einsatzpotenzial für die IRMD diskutiert. Eine Quantifizierung der jeweiligen Wärmeerzeugung nach Energieträger für die Gebietskörperschaften erfolgt im Kapitel 4 Szenarien bis 2040 und im Anhang 3 Wärmebilanzen der Gebietskörperschaften.

Energetische Verwertung von Klärschlamm

Derzeit erfolgt die Mitverbrennung von in der Region anfallenden Klärschlamm im Kraftwerk Lippendorf. Für eine alternative Verwertung stehen energieeffiziente Behandlungsverfahren, die eine Nährstoffrückgewinnung - Stickstoff (N₂) und Phosphor (P) - ermöglichen, im Fokus. Zu differenzieren ist dabei die Quelle bzw. die Qualität der Klärschlämme (u. a. Industrieabwässer, kommunale Abwässer).

Der Einsatz von Klärschlamm sowie die Anwendung des Verfahrens der Hydrothermalen Carbonisierung (HTC-Verfahren) ist Gegenstand verschiedener Forschungsvorhaben am DBFZ (u. a. CarBioPhos (FKZ 02WQ1438B), SIAAP, abonoCARE (FKZ: 031B0139A), HTC-liq (FKZ 100283030) und Pilot-SBG). Im Rahmen des Verbundvorhabens *abonoCARE* werden Technologien und Dienstleistungen für die (regionale) Produktion hochwertiger Düngerspezialprodukte aus (regional vorhandenen) Reststoffen, wie Klärschlamm, Gärprodukten und Bioabfall, entwickelt, bei dem sich neun innovative klein- und mittelständische Firmen mit sechs Forschungseinrichtungen vereinigt haben.

Im Rahmen der Studie „Analyse zur energetischen Nutzung von ausgefaulten Klärschlämmen für Leipzig und einem Verbund sächsischer Großstädte“ [Klemm et al. 2015] wurde bereits ein Vergleich durchgeföhrt, bei dem die Monoverbrennung, Pyrolyse, Vergasung und das HTC-Verfahren für Klärschlamm betrachtet wurde (Abbildung 27).

Die HTC ist ein thermochemischer Prozess zur Konversion von Biomasse, der in heißem Hochdruckwasser als Reaktionsmedium stattfindet. Die HTC arbeitet mit einer Temperatur von 180 bis 250°C und einem Druck von 10 bis 40 bar. Die Reaktionsdauer beträgt mehrere Stunden. Nach einer Vorwärmung wird die Biomasse teilweise durch einen Abbau der organischen Makromoleküle in die flüssige Phase überführt. Im weiteren Verlauf erfolgt unter Abspaltung von Wasser und funktionellen Gruppen ein Wiederaufbau langer Kohlenstoffketten. Die Biomasse durchläuft aufeinanderfolgend die Reaktorzone Erwärmung, HTC-Reaktion und Abkühlung. Nach einer Verweilzeit von mehreren Stunden verlässt die HTC-Kohle den Reaktor über eine Austragsschleuse

und wird in der Schneckenpresse mechanisch entwässert. Das abgetrennte Prozesswasser wird in den Vorlagebehälter am Anfang der Anlage zurückgeführt und mit neuer Biomasse vermischt. Die entwässerte HTC-Kohle wird im Trockner thermisch getrocknet [Blümel et al. 2015].

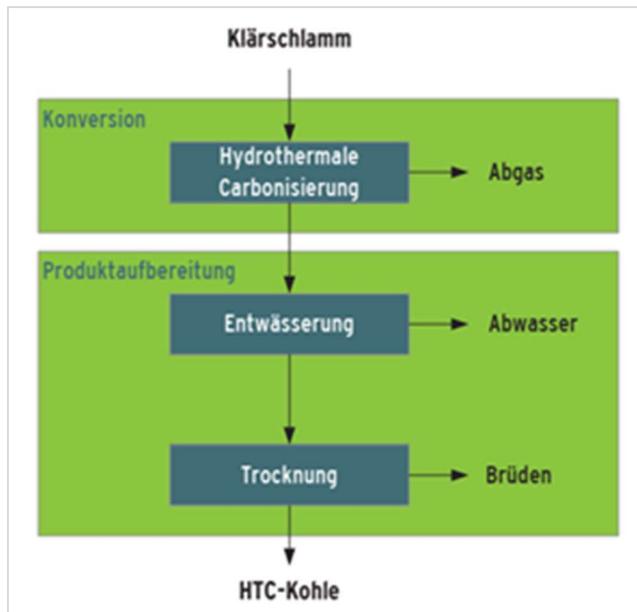


Abbildung 27 Aufbau HTC-Verfahren für Klärschlamm
Quelle: [Klemm et al. 2015]

Im Ergebnis stellt die Vorbehandlung des Klärschlammes mittels HTC mit anschließender Mitverbrennung der HTC-Kohle und Phosphorrückgewinnung eine effiziente Klärschlammverwertung dar. Bei der Hydrothermalen Carbonisierung von Klärschlamm wird unter Druck und Temperatur innerhalb weniger Stunden eine regenerative Kohle hergestellt. Damit wird gegenüber anderen Klärschlammbehandlungsverfahren eine erhebliche Steigerung der Energieeffizienz und Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht. Der entwässerte Klärschlamm kann anschließend entsorgt oder mitverbrannt werden.

Folgende Erkenntnisse können abgeleitet werden:

- Die Vorbehandlung in Kläranlagen durch HTC mit anschließender Mitverbrennung der HTC-Kohle ist unter den betrachteten Verfahren die geeignetste Lösung, wenn es gelingt, die HTC-Kohleabnahme im Vorhinein sicherzustellen.
- HTC kann bei geeigneter Gestaltung des Gesamtsystems (energetische Einbindung, HTC-Kohlenutzung, Klärwerksrückbelastung) heute schon ökonomisch günstiger sein als die Mitverbrennung
- HTC besitzt darüber hinaus Zukunftspotenzial durch Möglichkeiten des Nährstoffrecyclings und der Kostenstabilität.
- Die dezentrale Monoverbrennung (in jedem Klärwerk) ist zwar eine komplett autarke, aber deutlich kostenintensivere Variante.
- Nach Auskunft des Kraftwerksbetreibers ist am Standort Chemiepark Bitterfeld-Wolfen eine Klärschlamm-Mono-Verbrennung geplant, die noch 2021 in Betrieb gehen wird.
- Am Standort Halle wurde das HTC-Verfahren als Demonstrationsanlage im Vorhaben "Integrierte Verwertungsanlage und Strategie für kommunale Biomasse mit HTC" von der Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH (HWS), einem Unternehmen der Stadtwerke Halle, gemeinsam mit dem DBFZ mit dem Ziel erprobt, biogene Reststoffe in einen Biobrennstoff umzuwandeln. Die Anlage wurde auf dem



Gelände der Abfallwirtschaft GmbH Halle-Lochau erbaut und in das System der bestehenden Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft integriert.

Solarthermie

Auch die Solarthermie wird ein wichtiger Bestandteil der Wärmewende sein. Vor allem in Kombination mit saisonalen Großwärmespeichern zur Langspeicherung von Überschusswärme im Sommer können so Deckungsgrade von 40 % und mehr erreicht werden [Pehnt et al. 2017], .besonders die Kombination mit flexiblen Wärmeproduzenten, wie Biogasanlagen mit BHKW oder Biomasse-Heizkraftwerken. In den Sommermonaten kann die Versorgung komplett über die Solarthermieanlage erfolgen und der Speicher soweit wie möglich gefüllt werden. Der Brennstoff wäre gut lagerbar, so dass dieser bei Bedarf in den kälteren Monaten verfeuert werden könnte. Diese Kombination eignet sich vor allem zur Versorgung von kleineren ländlichen Gemeinden und Dörfern, wo für große Solarthermieanlagen Platz verfügbar ist und auch Biomasse oder Biogas als lokale Potenziale vorhanden sind.

In der IRMD sind in den Städten Halle (Saale) und Leipzig größere Solarthermieanlagen geplant bzw. bereits in Betrieb, so ist bereits im Jahr 2019 eine Anlage mit 3,3 MW_p Leistung in der Stadt Halle in Betrieb genommen wurden [EVH 2021]. In Leipzig Süd sollen 35 MW_p und in Leipzig West 4 MW_p errichtet werden [LSW 2021a].⁴

Seethermie / Flusswärme

Eine in Deutschland noch kaum genutzte Wärmequelle ist die Flussthermie/Seethermie. Dabei wird Oberflächengewässern Wasser an einem Punkt entnommen und durch einen Wärmetauscher geleitet, wo es um wenige Grad abgekühlt wird. Danach wird es wieder in das Gewässer eingeleitet. Im Sommer kann dieser Kreislauf auch - ähnlich wie bei einer Wärmepumpe - umgekehrt werden, um Räume zu kühlen. Mittels Großwärmepumpen wird die Temperatur noch weiter angehoben, sodass es in geeignete Nah- und Fernwärmenetze eingespeist werden kann. Auch für diese Technologie sind Wärmenetze der 4. Generation essenziell, da zwar eine große Wärmemenge aus den Gewässern entnommen werden kann, aber nur auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau. Die Nutzung von See- und Flusswärme ist jedoch noch nicht weit verbreitet. Schweden ist einer der Vorreiter. Hier wird die Wärme des Meerwassers zur Wärmeversorgung der Stadt Stockholm genutzt. In Deutschland gibt es noch keine Anlagen, jedoch werden an verschiedenen Standorten Potenziale geprüft und Machbarkeitsstudien durchgeführt. So wurde für die Wärmeversorgung Mannheims, Heidelbergs und der Region die Nutzung von Flusswärme aus Rhein und Neckar in mehreren Studien geprüft und eruiert.

Mitte 2021 wurde auch die Studie „Thermische Seewassernutzung“ fertiggestellt, welche von der IRMD beauftragt und von JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH, Institut für Wasser und Boden und Tilia GmbH erarbeitet wurde [JENA GEOS et al. 2021]. Am Beispiel des Zwenkauer Sees wurde die (Wärme)-Versorgung der Gebäude am Nordufer geprüft. Zur Studie gehörte die technische Machbarkeitsprüfung, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Abschätzung der Umweltverträglichkeit. Im Rahmen des Projektes soll die Vakuum-Flüssigeis-Technologie zum Einsatz kommen. Außerdem wurde die Verlegung eines kalten Nahwärmenetzes mit 6-12 °C und Wärmepumpen bei den Abnehmern in der Planung berücksichtigt. Die Investitionskosten des Projekts würden rund 3,5 Millionen Euro betragen. Mit einer Förderquote von 30 % für die Investitionen wäre das Projekt konkurrenzfähig zu anderen Heizsystemen. Gesamtheitlich betrachtet ist die technische und wirtschaftliche Umsetzung möglich, es wäre somit ein wichtiger Wegweiser für weitere Projekte. Die Ergebnisse der Studie zeigen auch, dass allein die Seen des Leipziger Neuseenlands und andere geflutete Tagebaue demnach das Potenzial besitzen, um ca. 4 GW thermischer Energie zur Nahwärmeversorgung bereitzustellen [JENA GEOS et al. 2021].

⁴ Die Solarthermie-Anlagen sind als Teil einer innovativen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (iKWK), die zudem ein Blockheizkraftwerk (BHKW Leipzig Nordost) sowie eine Power-to-Heat-Anlage umfasst [LSW 2021b].

Bis 2022 soll das Projekt „Saale-to-Heat“ umgesetzt werden. Die Solarthermie-Anlage und die Flusswärmenutzung sollen die Fernwärmeversorgung der Stadt Halle in den Sommermonaten CO₂-frei ermöglichen. Bis 2030 ist weiterhin geplant, eine Power-to-Heat-Anlage zu errichten. Im Jahr 2030 soll außerdem eine Umstellung von Erdgas auf synthetische Gase erfolgen [EVH 2021].

Im Landkreis-Mansfeld-Südharz untersucht eine Planungsgruppe die energetische Nutzung von Grubenwasser in ehemaligen Schächten des Kupferbergbaus. Drei Standorte mit gesichertem sowie zehn weitere mit möglichem technisch-wirtschaftlichem Potenzial wurden identifiziert. Zudem sollen bis 2025, auf Grundlage der im Projekt „ReSOURCE“ erhobenen Potenziale, Machbarkeitsstudien für Wärme- und Stromverbraucher erarbeitet werden. Konkrete Nutzungspotenziale werden dabei für die Schule Benndorf, das Gemeindehaus Benndorf, den Hof der Mansfelder Gewerke sowie das Mansfeld-Museum Hettstedt ermittelt [Lk MSH 2020].

3.3 Sektorenkopplung

Erneuerbare Energien im Stromsektor (v. a. PV, Wind) haben noch Ausbaupotenziale und kostenseitig hohe Konkurrenzfähigkeit erreicht, sind aber fluktuierend. Bioenergie dagegen ist flexibel einsetz- und speicherbar, aber begrenzt verfügbar. Daher ist eine übergreifende Nutzung von Energieformen und Energieträgern in den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität sowie deren Speicherung (täglich bis saisonal) erforderlich.

Im Folgenden werden in erster Linie quantitative Analysen zur Sektorenkopplung / Power-to-X (PtX) dargestellt, die auf der Erzeugung und Nutzung von (grünem) Wasserstoff in der IRMD fokussieren. Die in der IRMD vorhandenen Potenziale zur Erzeugung und Nutzung dieser PtX-Produkte werden intensiv in der Potenzialstudie Grüne Gase analysiert [LBST 2021 et al.] und daher hier nicht detaillierter betrachtet. Die Erzeugung und Nutzung von weiteren PtX-Prozessen, wie Power-to-Gas (PtG) oder Power-to-Liquids (PtL) z.B. zur Herstellung von synthetischem Methan in Kombination mit einer Biogasanlage als CO₂-Lieferant und Einspeisung in das Erdgasnetz oder zur Nutzung als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge und von Power-to-Chemicals zur Herstellung von chemischen und weiteren Produkten sowie die stoffliche Nutzung von CO₂ werden qualitativ eingeordnet.

Mögliche Formen der aktuell diskutierten Sektorenkopplung zielen insbesondere auf die Umwandlung von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energien, z. B. Windenergie aus Offshore-WEA, ab.

Dafür können folgende Beispiele genannt werden:

- Power-to-Heat (PtH) zur Bereitstellung von Raumwärme in Kombination mit bereits vorhandenen lokalen Nah- oder städtischen Fernwärmenetzen
- Power-to-Gas (PtG) zur Herstellung von Wasserstoff mittels eines Elektrolyseurs und dessen Einspeisung in das Erdgasnetz oder weitergehenden Herstellung von synthetischem Methan in Kombination mit einer Biogasanlage als CO₂-Lieferant
- Power-to-Liquid (PtL) zur Herstellung von Wasserstoff mittels eines Elektrolyseurs und weitergehenden Herstellung von synthetischem Kraftstoff in Kombination mit einer Biogasanlage als CO₂-Lieferant
- Power-to-Chemicals (PtC) zur Herstellung von chemischen und weiteren Produkten sowie die stoffliche Nutzung von CO₂ aus Biogas

Die Nutzung von aus erneuerbarem Strom hergestelltem Wasserstoff sowie Methan bzw. weiteren flüssigen E-Fuels und Chemikalien als Energieträger und Rohstoff in den unterschiedlichen Sektoren ist derzeit noch nicht wirtschaftlich.

Ein Überblick über die Marktreife (Technologiereifegrade TRG bzw. englisch TRL) der verschiedenen PtX-Optionen ist in Abbildung 28 dargestellt. Der kommerzielle Einsatz von katalytisch erzeugtem Methan aus regenerativen Quellen im Rahmen des PtG-Verfahrens befindet sich derzeit noch in der Entwicklungs- bzw. Erprobungsphase. Auch bei der Methanisierung ist die Entwicklung der einzelnen Technologien unterschiedlich weit. Während sich Suspensionsreaktoren im F&E-Stadium befinden, weisen Wirbelschichtreaktoren und verschiedene Festbettreaktoren bereits nahezu marktreife Technologien im Demonstrationsbetrieb auf. Neben katalytisch erzeugtem Methan existiert auch die biologische bzw. bioelektrische Methanisierung.

Die technische Umsetzung der biologischen Methanisierung ist mit dem TRL 6-7 gut erforscht. Insgesamt existieren in Deutschland sechs Demonstrationsanlagen bzw. -vorhaben zur biologischen Methanisierung im Technikums- bzw. Pilotmaßstab. Das Forschungsfeld Power-to-Liquid (PtL) ist noch vergleichsweise wenig bearbeitet. Dabei ist PtL besonders für den Flugverkehr, aber auch für den Schiffs- und Schwerlastverkehr wichtig, da es dort wenige oder keine CO₂-armen Kraftstoffe gibt [EUWID 2021].

Die Abtrennung von CO₂ aus Faulgasen ist dagegen Stand der Technik und wird bei der Aufbereitung von Biogas zu Biomethan seit Jahren praktiziert. Die Abtrennung von CO₂ aus der Umgebungsluft befindet sich noch in der Grundlagenforschung.

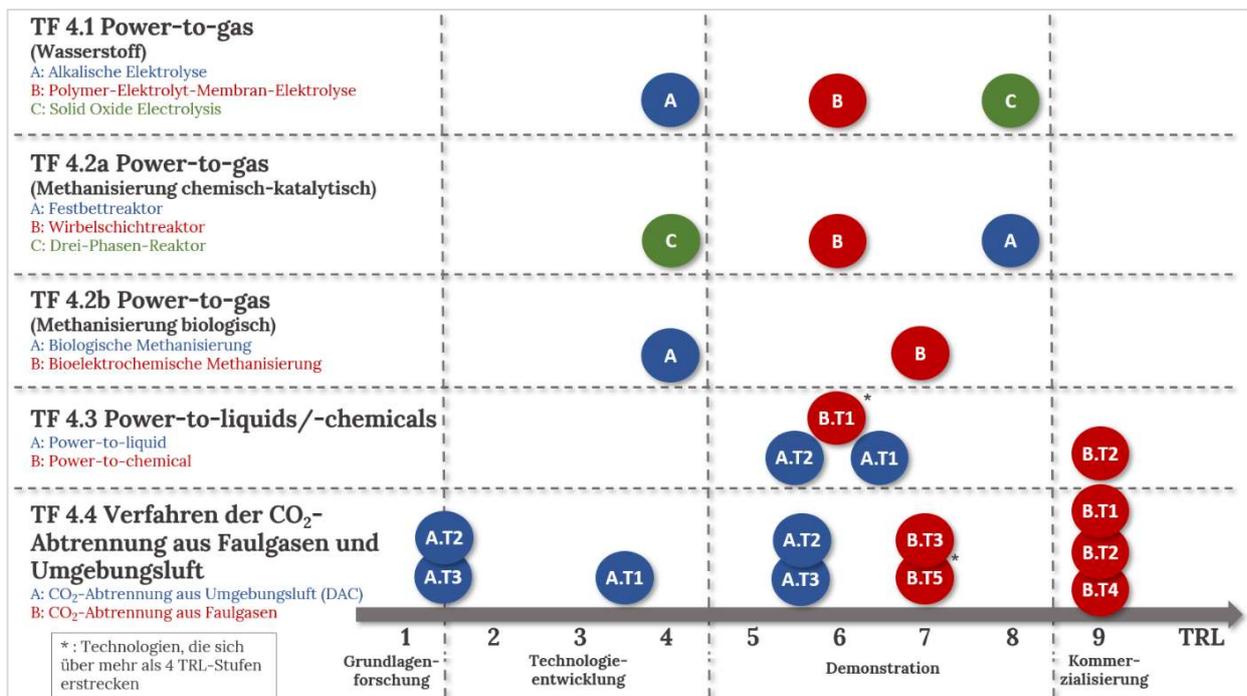


Abbildung 28 Marktreife von PtX-Technologien
Quelle: [Wuppertal Institut 2018]

Biogas/Biomethan ist als etablierte Technologie im besonderen Maße als Schnittstelle zwischen Strom und Gassektor geeignet. Da gleichzeitig mehr Strom im Wärme- und Verkehrssektor eingesetzt werden soll, bietet sich hier ein erster Ansatz für die Weiterentwicklung der Sektorenkopplung über Biogas- und Biomethananlagen, da eine übergreifende Nutzung von Energieformen /-trägern in den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität und deren Speicherung problemlos möglich ist. Bei hohen Reduktionszielen ist zudem eine weitgehend klimaneutrale Quelle für Methan (und andere Kraftstoffe) gegeben.

Problematisch sind derzeit die verhältnismäßig hohen Kosten für PtG-Anwendungen, relativ hohe Verluste im Wirkungsgrad im Vergleich zur direkten Nutzung von Strom sowie die Verfügbarkeit der „Überschussstrommengen“, z. B. von Offshore- und Onshore-Windenergie. Zudem wird PtG bzw. die Elektrolyse maßgeblich durch den Strompreis und den Investitionsbedarf beeinflusst. Kurzfristig betrachtet sollten daher andere Optionen, wie die Flexibilisierung, die Lastverschiebung sowie PtH-Anwendungen im Vordergrund stehen, da

diese vergleichsweise deutlich geringere Kosten verursachen, eine bessere Einbindung in das Energiesystem erlauben und zudem überschaubare Wirkungsgradverluste mit sich bringen [Barchmann et al. 2018].

Langfristig ist eine verstärkte Nutzung von Biogas in Kombination mit PtG denkbar. In den nächsten Jahren ist mit einer Steigerung der Wirkungsgrad von Elektrolyseuren zu rechnen, während die Investitionskosten mit der verstärkten Marktreife sinken. Trotz der bisher nicht förderlichen Rahmenbedingungen in Deutschland, steigen Anzahl und installierte Leistung von PtG-Anlagen seit einigen Jahren stetig an. Eine signifikante Nachfragesteigerung nach biogenen/ synthetischen Gasen wird in den Sektoren Verkehr und Industrie gesehen [AEE 2018]. Nach der Meta-Studie der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) könnte der Wirkungsgrad der Elektrolyse bis 2030 von heute 59 bis 82 % auf immerhin 70 bis 93 % ansteigen. Bis 2050 wird in den Studien ein Wirkungsgrad zwischen 76 und 93 % prognostiziert. Der Prozessschritt der Methanisierung erreicht heute schon einen Wirkungsgrad zwischen 70 und 83 %. Bis 2030 werden zwischen 84 und 89 % erwartet, bis 2050 bis zu 90 %⁵ [AEE 2018].

Für die Ermittlung der jährlich entstehenden **biogenen CO₂-Mengen aus Biogasproduktionsanlagen** (inkl. Aufbereitungsanlagen zur Bereitstellung von Biomethan) in der IRMD hat das DBFZ eine quantitative Abschätzung vorgenommen. So wurden auf Basis der Analyse der Bestandsanlagen für Biogas- und Biogasaufbereitungsanlagen zunächst die Mengen an Biogas bzw. Biomethan ermittelt und anschließend die Mengen an biogenem CO₂ abgeschätzt. Biogasanlagen in Kombination mit Aufbereitungstechnologien zur Bereitstellung von Biomethan werden in einem deutlich größerem Leistungsbereich (i.d.R. Faktor 3 bis 5) betrieben als übliche Biogasanlagen (Biogas). Daher unterscheiden sich die typischen Verfügbarkeiten von biogenem CO₂ je Anlage. Bei Biogasanlagen werden üblicherweise 1 - 3 kt CO₂/a je Anlage bereitgestellt, während bei Biogasaufbereitungsanlagen zwischen 8 - 10 kt CO₂/a je Anlage anfallen (Tabelle 9).

In der IRMD werden 215 Biogasanlagen mit einer installierten Leistung von 130 MW_{el} betrieben, die rd. 305 kt/a CO₂ bereitstellen könnten. Darüber hinaus befinden sich 15 Biogasaufbereitungsanlagen mit einer Kapazität von 13.420 m³/h Biomethan in Betrieb, die zusätzlich rd. 180 kt/a CO₂ erzeugen könnten. Insgesamt ergibt sich somit als theoretisches Potenzial für die Biogasanlagen inkl. Biogasaufbereitungsanlagen eine Menge von rd. 500 kt/a an biogenem CO₂. Besonders hoch ist die Menge an biogenem CO₂ im Landkreis Anhalt-Bitterfeld, da dort mit dem Standort Zörbig eine vergleichsweise große Biogasaufbereitungsanlage der Verbio AG betrieben wird. Die CO₂-Verfügbarkeit je Anlage liegt daher mit dem Faktor 3 deutlich über den durchschnittlichen Biogasaufbereitungsanlagen (Tabelle 10).

Nach Auswertungen der ÜNB-Daten 2018 gibt es in der Stadt Halle nur Klärgas-BHKW, keine Biogasanlagen bzw. Biogasaufbereitungsanlagen zu Biomethan, daher sind in den folgenden Tabellen keine Angaben zur Stadt Halle enthalten.

⁵ Bei der Kopplung von Methanisierung mit einer Hochtemperatur-Elektrolyse zur Erzeugung des Wasserstoffs könnte die Abwärme der Methanisierung für den Elektrolyseprozess genutzt werden. Damit ließe sich der Gesamtwirkungsgrad (von Strom zu Methan) deutlich steigern – im Prinzip auf ca. 85 %. In der Praxis eher bei etwa 80%. [Paschotta 2021].
Im Vorhaben KIT HELMETH wurden im Demonstrationsprojekt erstmals bis zu 76% Gesamtwirkungsgrad demonstriert [wvgw 2018].

Tabelle 9 Abschätzung der biogenen CO₂-Mengen der Biogasproduktionsanlagen

 Daten: Auswertungen DBFZ-Biogasdatenbank, MaStR 3/2021,
 ÜNB-Daten zur Stromerzeugung für das Jahr 2018

Gebietskörperschaft	Anzahl Anlagen	Abschätzung Biogas ⁶	Theoretisches Potenzial ⁷	Theoretisches Potenzial pro Anlage
		[GWh/a]	[1.000 t CO ₂]	[kt CO ₂]
Stadt Halle	-	-	-	-
Altenburger Land	27	155	26	1,0
Lk. Anhalt-Bitterfeld	21	207	35	1,7
Burgenlandkreis	31	259	43	1,4
Lk. Leipzig	32	277	46	1,5
Stadt Leipzig	2	16	2,7	1,4
Lk. Mansfeld-Südharz	26	279	47	1,8
Lk. Nordsachsen	41	332	56	1,4
Saalekreis	35	284	48	1,4
Summe	215	1.812	305	11,4

⁶ Annahme: 40 % elektrischer. Wirkungsgrad; Abschätzung über ÜNB-Daten für 2018

⁷ Annahmen: 53 % Methangehalt (1m³ Biogas = 5,3 kWh), 45 % CO₂-Gehalt, Dichte CO₂: 1,98 kg/m³ bei 0 °C und 1.013 hPa

Tabelle 10 Abschätzung der biogenen CO₂-Mengen der Biogasproduktionsanlagen mit Aufbereitungstechnologien zur Bereitstellung von Biomethan

Daten: Auswertungen DBFZ-Biogasdatenbank, MaStR 3/2021, dena-Einspeiseatlas 1/2021, ÜNB-Daten zur Stromerzeugung für das Jahr 2018

Gebietskörperschaft	Anzahl Anlagen	Abschätzung Biomethan ⁸	Theoretisches Potenzial	Theoretisches Potenzial pro Anlage
		[Mio. m ³ /a]	[1.000 t CO ₂]	[kt CO ₂]
Stadt Halle	-	-	-	-
Altenburger Land	1	4,8	8,0	8,0
Lk. Anhalt-Bitterfeld	3	45,6	76,6	25,6
Burgenlandkreis	1	5,2	8,7	8,7
Lk. Leipzig	3	15,2	25,5	8,5
Stadt Leipzig				
Lk. Mansfeld-Südharz	3	15,3	25,8	8,6
Lk. Nordsachsen	3	15,6	26,2	8,7
Saalekreis	1	5,6	9,4	9,4
Summe	15	107,3	180,2	12,0

Power to Gas

PtX-Technologien, insbesondere die elektrochemische Herstellung von Wasserstoff, werden zurzeit als Schlüsseltechnologie für die Energiewende diskutiert. Wasserstoff kann energetisch genutzt werden, findet aktuell aber vor allem Anwendung in der Chemie- und Raffineriebranche. Bestehende Anlagen und Infrastruktur sowie geplante Projekte in diesem Bereich machen deutlich, dass die IRMD beim Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft eine Vorreiterrolle in Deutschland und darüber hinaus einnehmen kann.

Wie schnell dieser Hochlauf voranschreitet, hängt stark von techno-ökonomischen und regulatorischen Faktoren ab. Hier sind vor allem die Wasserstoffgestehungskosten sowie die Höhe und der Umfang der CO₂-Bepreisung⁹ ausschlaggebend. Ein weiteres Instrument ist die von der Bundesregierung zur Umsetzung der europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) eingeführte Treibhausgas-Minderungs-Quote für Kraftstoffe. E-Fuels stellen eine Möglichkeit für Kraftstoffproduzenten dar, diese Quoten einzuhalten.

Die Wasserstoffbestandsanalyse umfasst Angebots- und Nachfragekapazitäten, für Wasserstoff geeignete Kavernenspeicher sowie vorhandene und eine zukünftig umrüstbare H₂-Infrastruktur. Zusätzlich zu den aktuell vorhandenen Kapazitäten wurden bereits geplante Projekte ermittelt. Die Bestandsanalyse basiert grundsätzlich auf der r2b-Wasserstoffdatenbank. Diese vereint öffentlich zugängliche Datenbanken, Statistiken, Studien und Veröffentlichungen, Artikel in energiewirtschaftlichen Fachzeitschriften, Papiere sowie r2b-interne Datenbanken.

Auswahl der verwendeten Studien:

⁸ Annahme: 8.000 h/a

⁹ Gegenwärtig ist die Herstellung von Industriegasen (NACE 20.11) ein Teil der Carbon-Leakage-Liste der EU. Das bedeutet, dass die Herstellung von Wasserstoff zur stofflichen Verwendung mittels Dampfreformierung von 100 % freien Zertifikate-zuteilungen profitiert.



1. Angebotskapazitäten von öffentlich zugänglichen Datenbanken und Statistiken, wie [H2tools 2015], [Roads2HyCom 2007]) und [IEA 2020]
2. Branchenstatistiken, wie [MWV 2020], [Industrieverband Agrar 2017], [VCI 2020] und Tankstellen auf [H2.LIVE 2021]
3. Studien, Netzentwicklungspläne (NEP) und Veröffentlichungen, wie [Grünbuch H₂ SA 2020], der [NEP Gas 2020-2030] oder [Öko-Institut 2014]
4. Artikel in energiewirtschaftlichen Fachzeitschriften & wissenschaftliche Papiere, wie [Thema et al. 2019] und [Poggi et al. 2014]

Wenn Elektrolyseure nicht explizit in Quellen ausgewiesen wurden, wurden diese über die installierte elektrische Aufnahmeleistung errechnet und ein Elektrolyse-Wirkungsgrad von 70 % unterstellt. Die Wasserstoffnachfrage je Betrieb wird üblicherweise als vertrauliche Information gehandelt und ist daher in der Regel nicht öffentlich verfügbar. Daher wurden nicht explizit ausgewiesene Nachfragemengen anhand der jährlichen Produktmengen des Standortes und den entsprechenden H₂-Inputfaktoren approximiert. Die verwendeten Umrechnungsfaktoren können Tabelle 11 entnommen werden.

Tabelle 11 Verwendete H₂-Inputfaktoren je Produktionseinheit

Produkt	H ₂ -Bedarf	Quelle
Methanol	2.100 m ³ H ₂ /t	[Öko-Institut 2014]
Ammoniak	1.974 m ³ H ₂ /t	
Rohöl	100 m ³ H ₂ /t	
Wasserstoffperoxid	695 m ³ H ₂ /t	Eigene Berechnung mittels Stoffmengenanteil
Caprolactam	1.430 m ³ H ₂ /t	[FZ Jülich GmbH 1979]

Abbildung 29 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Bestandsanalyse. Es wird deutlich, dass in der IRMD herausragende Standortfaktoren vorhanden sind: Elektrolyseure, Dampfreformierungsanlagen, eine H₂-Pipeline und Salzkavernen. Dies bietet eine geeignete Grundlage für den weiteren Ausbau von Komponenten der Wasserstofftechnologie.

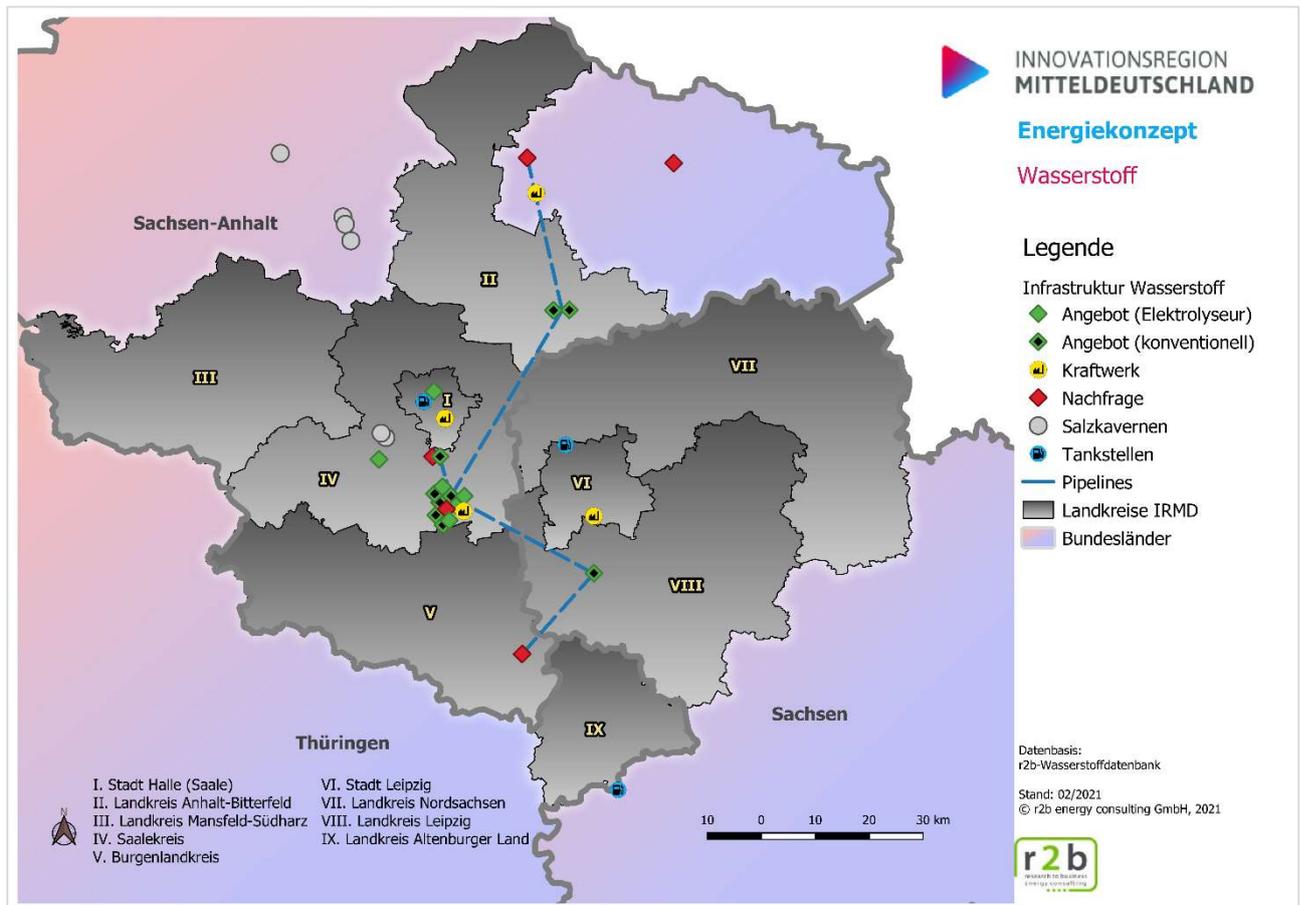


Abbildung 29 Bestandsanalyse Wasserstoff für die IRMD

Die Nachfrage der jeweiligen Standorte wird in Abbildung 31 dargestellt. Wasserstoff wird in der Region aktuell ausschließlich stofflich verwendet und stellt hier vor allem in der Rohölverarbeitung und Methanolherstellung (Total GmbH) sowie für die Ammoniakherstellung (Stickstoffwerke Piesteritz) einen wichtigen Rohstoff dar. Die Linde AG betreibt am Standort Leunawerke H₂-Verflüssigungsanlagen, um Wasserstoff in Tanks transportieren zu können.

Das Angebot wird in der Region derzeit überwiegend konventionell durch Dampfreformierung hergestellt (sog. „grauer“ Wasserstoff). Die Dampfreformierungsanlagen in den Leunawerken sowie das bestehende Pipeline-netz werden von der Linde AG betrieben. Zusätzlich bestehen aus der IRMD heraus feste Lieferbeziehungen zu AirLiquide, welche in Westdeutschland Wasserstoff produziert und über LKW-Tanks in die Modellregion an Industriekunden liefert (Abbildung 32).

Zukünftig gilt es, den grauen Wasserstoff durch nachhaltigere Alternativen (grüner, türkiser, blauer Wasserstoff) zu substituieren, um CO₂-Emissionen zu reduzieren. Hierfür sind einige zentrale, bereits geplante Projekte zu nennen:

- Im Rahmen des Großprojekts "GreenHydroChem" soll eine Modellregion für grünen Wasserstoff im Chemiedreieck Leuna-Buna-Bitterfeld aufgebaut werden. Ziel ist es, einen Elektrolyseur im industriellen Maßstab mit bis zu 100 MW Leistung zu installieren. Der Wasserstoff soll am Standort in Methanol umgewandelt werden und so als erneuerbarer Kraftstoff eingesetzt werden [Fraunhofer IMWS 2019].
- Die Linde AG plant zusammen mit ITM-Power einen weiteren Elektrolyseur mit einer installierten Leistung von 24 MW am Standort Leuna. Dabei setzt das Unternehmen auf die Proton-Exchange-Membrane (PEM)-Technologie, welches sich durch seine flexible Lastmöglichkeiten auszeichnet.



Eingebunden in den Industriecluster Leuna will die Linde AG ihre Industriekunden per LKW-Tanks oder über das bestehende Pipelinenetz beliefern. Das Projekt wird vom Bundesforschungsministerium (BMBF) im Rahmen des Ideenwettbewerbs „Wasserstoffrepublik Deutschland“ subventioniert [PV-Magazin 2021].

- Ein Konsortium aus Uniper, VNG Gasspeicher GmbH, Ontras Gastransport GmbH, DBI Freiberg und Terrawatt Planungsgesellschaft mbH planen im mitteldeutschen Chemiedreieck eine Elektrolyse-Anlage mit einer installierten Leistung in Höhe von 35 MW. Im Rahmen des Projektes sollen im „Energiepark Bad Lauchstädt“ die Herstellung, der Transport, die Speicherung und der wirtschaftliche Einsatz von grünem Wasserstoff untersucht werden. Besonders interessant hierbei ist das Vorhaben, den so produzierten Wasserstoff in einer Salzkaverne mit einer Kapazität von bis zu 50 Mio. m³ zu speichern [Uniper Energy 2019].
- „Doing hydrogen“ – der Ostdeutsche Wasserstoffhub – wird mit seinen Projektpartnern für alle drei eingereichten Projekte im Rahmen der H₂-IPCEI-Projekte bezuschusst. Die Projekte bearbeiten die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette, die Erzeugung, den Transport, die Speicherung und den Verbrauch des Rohstoffes. Alle Projekte haben regionale Überschneidungen mit der IRMD [Doing Hydrogen 2021].
- Das Unternehmen Puraglobe im Chemiecluster Zeitz im Burgenlandkreis plant, seine Kapazitäten zum Recycling von Motoröl deutlich auszubauen und zukünftig „grauen Wasserstoff“ durch „grünen Wasserstoff“ zu ersetzen. Daher soll neben einem Elektrolyseur in Zusammenarbeit mit der Energiefirma Getec und den Stadtwerken Zeitz auch ein neuer Windpark entstehen, welcher grünen Strom für die Anlage liefern soll. Dadurch würde der Standort zum weltweit größten für aufbereitetes Mineralöl werden [SZ 2021].

In Deutschland gibt es aktuell nur drei Pipelines¹⁰, die ausschließlich für den Transport von Wasserstoff errichtet wurden. Eine davon liegt inmitten des mitteldeutschen Chemiedreiecks und weist eine Länge von ca. 144 km auf (Abbildung 33). Wie in Abbildung 33 ersichtlich verbindet die Chemiestandorte von Zeitz über Böhlen, Leuna, Schkopau, Bitterfeld-Wolfen bis Rodleben [Chemie Technik 2021].

Zu den umrüstbaren Infrastrukturen in der IRMD zählen einerseits die bislang für die Speicherung von Erdgas genutzten Salzkavernen, die sich für die Speicherung von Wasserstoff eignen. Darüber hinaus wurden Kraftwerke identifiziert, die in Fernwärmenetze eingebunden sind und in Zukunft mit Wasserstoff befeuert werden könnten (Abbildung 34). Ein Beispiel ist der Neubau des HKW Süd in Leipzig, welches bereits zur geplanten Inbetriebnahme im Jahr 2022 gemäß Betreiberangaben 100 % H₂-fähig sein wird.

¹⁰ Eine weitere Pipeline mit einer Länge von ca. 240 km, betrieben von AirLiquide, befindet sich im Ruhrgebiet. Eine dritte Pipeline verbindet in Schleswig-Holstein auf ca. 30 km die Raffinerie in Heide mit dem Chemcoast Park in Brunsbüttel.

Übergreifend verdeutlicht bereits der Status quo die zentrale Stellung der IRMD für die Schlüsseltechnologie Wasserstoff. Ungefähr 12 % [BMW I 2020] bis 16 % [Kakoulaki et al. 2021] der deutschen Jahresnachfrage, nämlich ca. 257.000 t H₂/a oder 8,6 TWh H₂/a, werden im Raum der IRMD nachgefragt. Aktuelle konventionelle Angebotskapazitäten liegen bei 276.000 t bzw. 9,24 TWh H₂ pro Jahr. Die gesamte Elektrolyseurkapazität inklusive der bis 2024 geplanten Anlagen (welche noch nicht in Betrieb sind) belaufen sich auf 32.600 t H₂ bzw. 1,1 TWh H₂ pro Jahr. Zusammenfassend sind in Abbildung 30 die aktuellen, regional aufgeschlüsselten H₂-Nachfragemengen einerseits, den nach Produktionsprozessen gegliederten theoretischen Angebotskapazitäten bis 2024 andererseits gegenübergestellt.¹¹

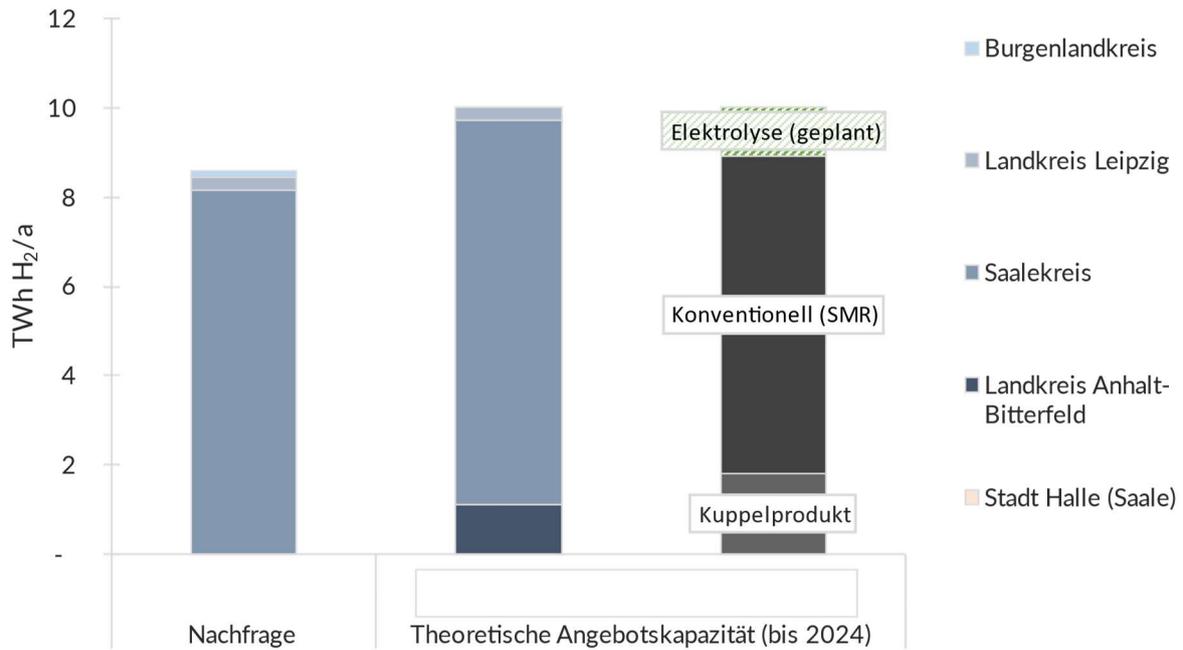


Abbildung 30 Wasserstoff-Nachfragemengen sowie theoretische Angebotskapazitäten bis 2024 in der IRMD

¹¹ Dies unterstellt eine vollständige Auslastung der elektrischen Leistung, also eine Volllaststundenzahl, bei der zumindest ein Teil des elektrochemisch produzierten Wasserstoffs nicht „grün“ wäre.

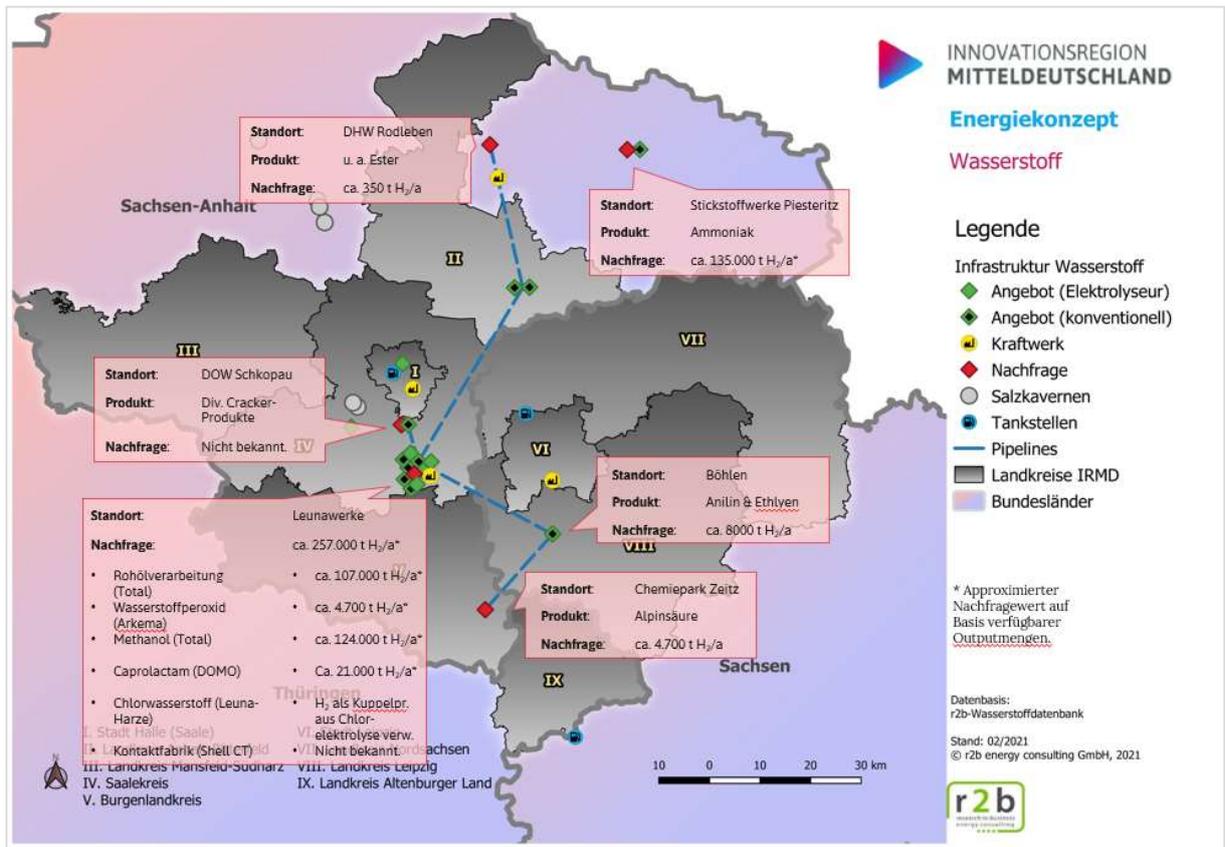


Abbildung 31 Wasserstoff-Nachfragestandorte und -mengen in der IRMD

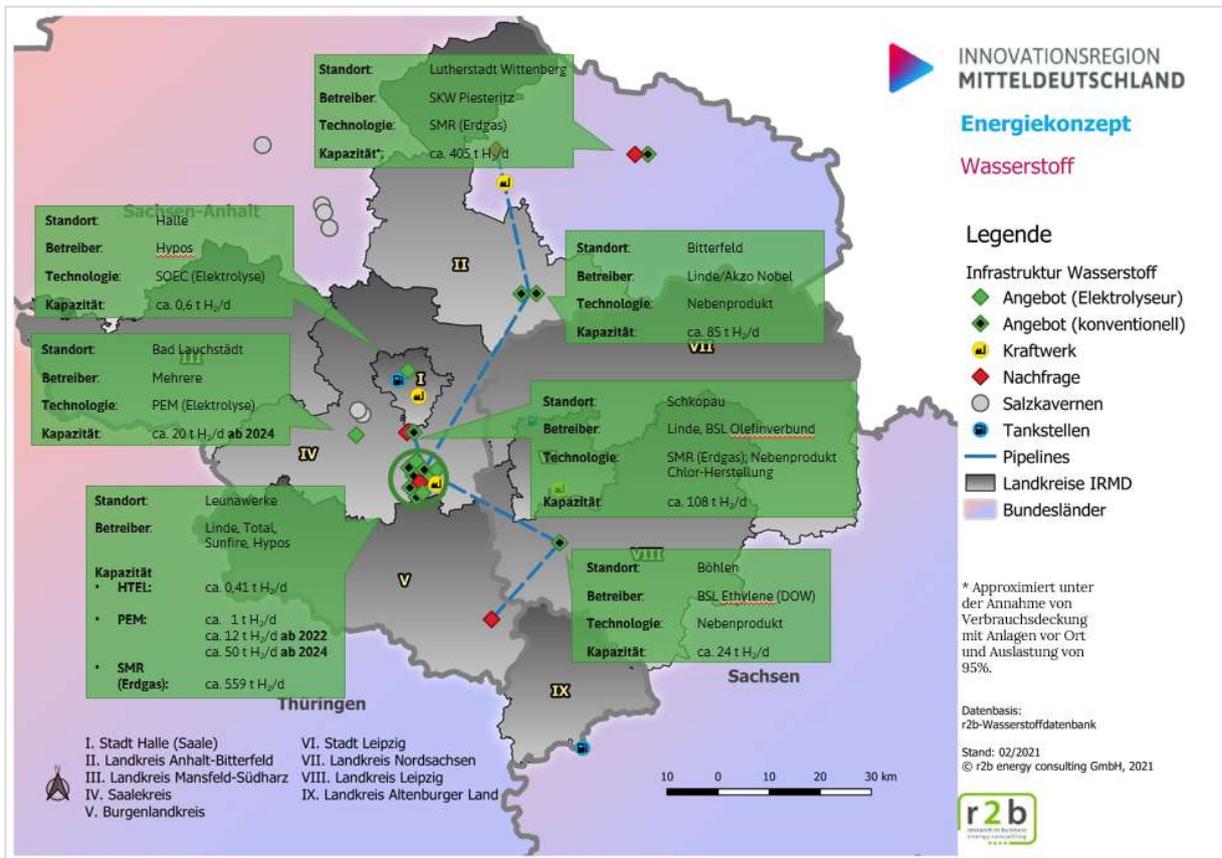


Abbildung 32 Wasserstoff-Angebotsstandorte und -kapazitäten in der IRMD

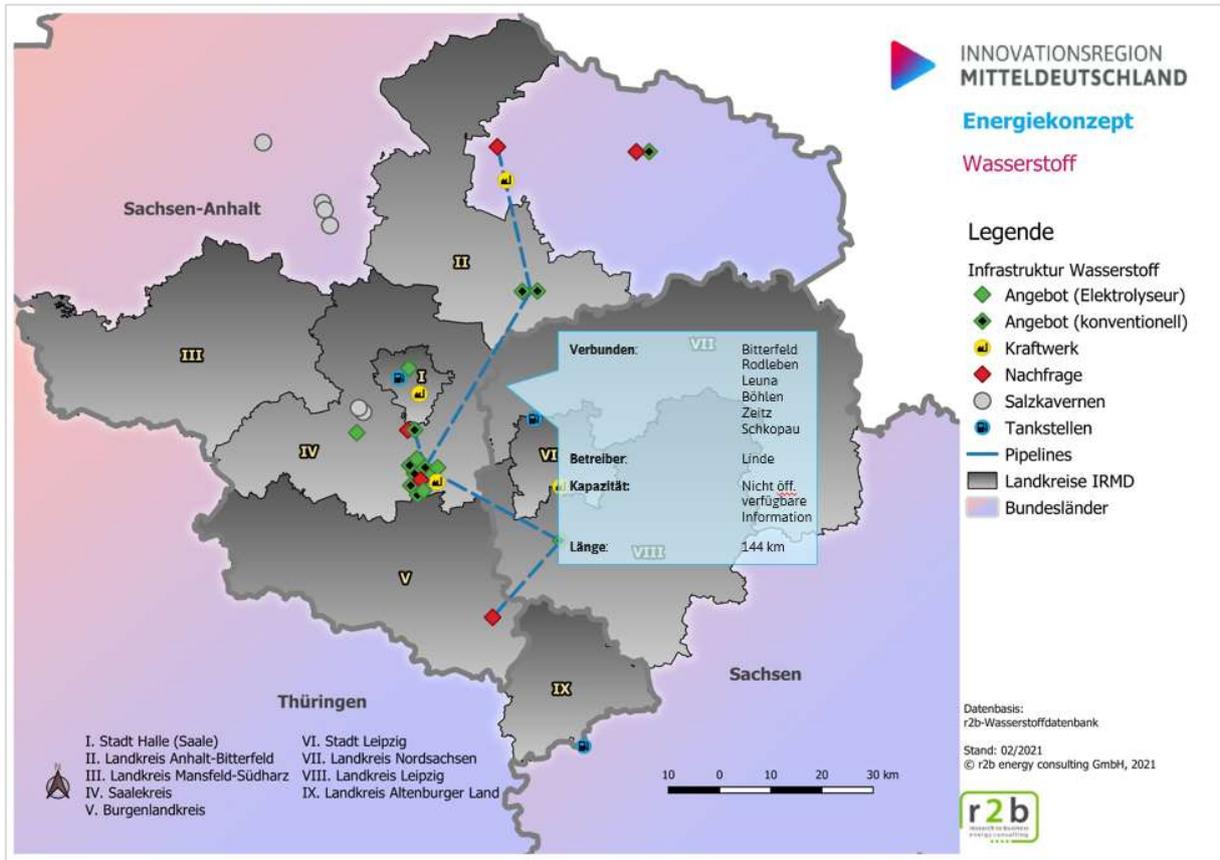


Abbildung 33 Wasserstoff-Pipeline in der IRMD

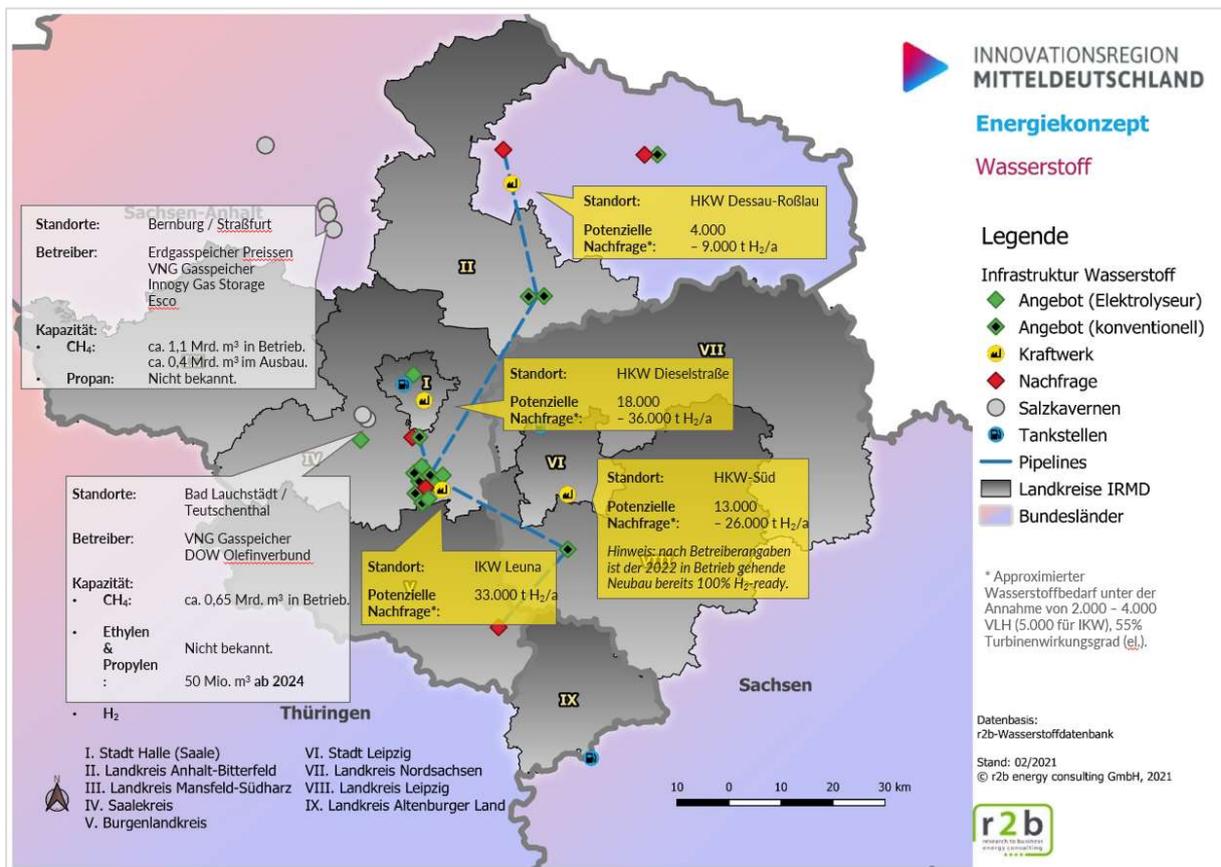


Abbildung 34 Für Wasserstoff umrüstbare Infrastrukturen der IRMD

Einsatz von Strom- und Wärmespeichern

Um die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und insbesondere die dargebotsabhängige Stromspeicherung aus Windenergie und Photovoltaik effizient in das Gesamtsystem zu integrieren, werden zunehmend Flexibilitätsoptionen genutzt. Zum einen bestehen derartige Flexibilitätsoptionen in der Nutzung von kurzfristigen bis hin zu saisonalen Stromspeichern, zum anderen können Anreize gesetzt werden, die vorhandene Flexibilitätspotenziale auf der Nachfrageseite erschließen (bspw. durch Lastverzicht oder zeitliche Verschiebung der Last, sog. „Demand Side Management“).

Zudem werden bei steigenden Anteilen erneuerbarer Stromerzeugung zunehmend Situationen entstehen, in denen das momentane Angebot die momentane Stromnachfrage übersteigt und somit sog. Überschussstrom vorhanden ist, der aus ökonomischen und ökologischen Effizienzgründen genutzt werden sollte. Dies kann bspw. mit Hilfe des Einsatzes von Power-to-Heat-Optionen und thermischen Speichern erfolgen, die in Stunden hoher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien diese in Wärme umwandeln (bspw. mit einem Elektrokessel oder einer Großwärmepumpe – vgl. Kapitel 3.2) und in einem thermischen Speicher zwischenspeichern, um diese Wärme später bspw. in einem angeschlossenen Fernwärmesystem zu nutzen.

Dem Einsatz von Strom- und Wärmespeichern kommt eine zentrale Bedeutung zu, weshalb im Rahmen der Erarbeitung des Energiekonzepts für die IRMD auch das technische Potenzial zur Nutzung dieser Technologien abgeschätzt wurde. Bei der Betrachtung des technischen Potenzials wird unterschieden zwischen

- dezentralen Batteriespeichersystemen,
- großtechnischen Batteriespeichern und
- thermischen Speichern.

Bei den **dezentralen (stationären) Stromspeichersystemen** wird davon ausgegangen, dass auch weiterhin sowohl bei privaten als auch bei gewerblichen Betreibern die Erhöhung des PV-Eigenverbrauchs den relevantesten Anwendungsfall darstellt. Weitere Anwendungsfälle, wie etwa die Bereitstellung von Not- bzw. Ersatzstrom oder das Peak Shaving (Kappung der Spitzenlast) des Strombezugs aus dem Netz der öffentlichen Versorgung, stellen ebenfalls relevante Anwendungsfelder dar und können auch bspw. im Rahmen einer Mehrfachnutzung integriert werden [Rolink et al. 2021].

Zur Ermittlung des technischen (Gesamt-)Potenzials der Nutzung von dezentralen Stromspeichern wird auf die Potenzialanalysen für PV-Dachflächenanlagen aufgebaut. Die dort abgeleitete Anzahl der Gebäude je Sektor (Private Haushalte, GHD, Industrie, Landwirtschaft und Öfftl. Sektor) in den einzelnen Gebietskörperschaften wird als Ausgangsbasis genutzt, um anhand von Annahmen zur durchschnittlichen Dimensionierung dezentraler Batteriespeichersysteme deren technisches Gesamtpotenzial abzuschätzen.

Bei den Privaten Haushalten sind für die zukünftige Entwicklung der Dimensionierung gegenläufige Trends zu berücksichtigen: Zwar wird der durchschnittliche Stromverbrauch eines Haushalts zukünftig aufgrund der vermehrten Nutzung von Sektorenkopplungstechnologien steigen. Diese Steigerung dürfte jedoch durch weitere Effizienzsteigerungen abgemildert werden. Auf Basis der entwickelten Stromverbrauchsszenarien (vgl. Kapitel 4) wird davon ausgegangen, dass die durchschnittliche Stromnachfrage eines Haushaltes bis zum Ende des Analysezeitraums um knapp 14 % im Referenzszenario bzw. um ca. 24 % im Green-Deal-Szenario ansteigt. Die gleichen Steigerungsraten werden bei der Dimensionierung des durchschnittlichen Speichervolumens dezentraler Batteriespeichersysteme im Haushaltssektor in den beiden Szenarien unterstellt. Hinsichtlich der durchschnittlichen Leistung der Batteriesysteme wird analog zu den Annahmen der Übertragungsnetzbetreiber von einer Steigerung gegenüber den aktuell durchschnittlichen 4 kW auf 7 kW im Jahr 2040 ausgegangen [BNetzA 2020].

Die in den Sektoren GHD, Industrie, Landwirtschaft und Öffentlicher Sektor installierten dezentralen Batteriespeichersysteme werden neben der PV-Eigenverbrauchsmaximierung auch zum Peak-Shaving oder zur Notstromversorgung genutzt und zeigen daher eine eher heterogene Dimensionierung [Figgener et al. 2021]. Vor dem Hintergrund der vielfältigen Einsatzfelder wird von einer konstanten Entwicklung der durchschnittlichen Dimensionierung ausgegangen. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen resultiert für die IRMD ein technisches Gesamtpotenzial dezentraler PV-Batteriespeichersysteme in Höhe von insg. knapp 4,7 GW installierbarer Leistung und – je nach angenommener Entwicklung der durchschnittlichen Speichervolumina – insg. rd. 7 GWh Speicherkapazität im Referenzszenario bzw. 7,4 GWh im Green-Deal-Szenario.

Die tatsächliche Erschließung hängt maßgeblich von wirtschaftlichen Einflussfaktoren, wie der zukünftigen Entwicklung der Kosten für Batteriespeichersysteme und PV-Anlagen sowie von der weiteren Entwicklung der Endverbraucherpreise Strom, ab. Die Festlegung des tatsächlich erschließbaren Potenzials erfolgt daher unter Berücksichtigung der zu erarbeitenden Szenarien jeweils zugrunde liegenden Rahmenannahmen sowie unter Berücksichtigung des bereits existierenden Bestands an Batteriespeichern in der IRMD.

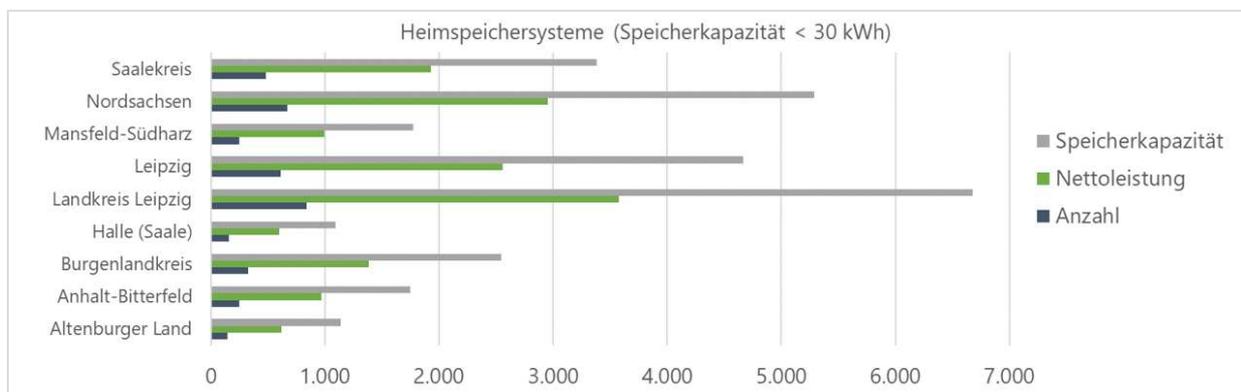


Abbildung 35 Heimspeichersysteme (Speicherkapazität < 30 kWh)
Daten: [Markstammdatenregister 2021]

Hinsichtlich **großtechnischer elektrochemischer Speicher** (Speicherkapazität > 1 MWh) sind in der IRMD aktuell 15 Anlagen installiert, die eine Nettoleistung von knapp 94 MW und eine Gesamtspeicherkapazität von 134 MWh aufweisen (Tabelle 12). Entsprechend dem heute vorrangig genutzten Einsatzzweck wird davon ausgegangen, dass Anlagen in dieser Größenklasse auch zukünftig weiterhin insb. zur Bereitstellung von Regelleistung genutzt werden¹². Deshalb basieren die Annahmen zum zukünftigen Einsatz von Großbatteriespeicher auf dem in den entwickelten Szenarien unterstellten Bedarf an Regelleistung.

Thermische Speicher sind in der IRMD aktuell an den Kraftwerksstandorten HKW Dieselstraße in Halle (2.000 MWh), HKW Leipzig-Nord (225 MWh) und am HKW Leipzig-Süd (1.500 MWh) installiert. Am HKW Dieselstraße und HKW Leipzig-Süd werden die Anlagen dabei in Verbindung mit Elektrodenkesseln zur Integration von EE-Überschussstrom betrieben.

¹² Vgl. ebd.



Tabelle 12 Bestand an Batteriespeichersystemen unterschiedlicher Größenklassen in der IRMD
Daten: [Markstammdatenregister 2021]

Bestand Batteriespeicher in der IRMD	Anzahl	Nettoleistung [kW]	Speicherkapazität [kWh]
Heimspeicher (Speicherkapazität < 30 kWh)	2.724	15.579	28.311
Gewerbliche Speicher (30 kWh ≤ Speicherkapazität < 1.000 kWh)	28	1.740	2.407
Großbatteriespeicher (1.000 kWh ≤ Speicherkapazität)	15	93.655	134.012

4. Szenarien bis 2040

4.1 Vorgehensweise

Es wurden jeweils zwei Szenarien für die einzelnen Gebietskörperschaften innerhalb der IRMD sowie aggregiert für die IRMD erarbeitet. Dabei wurden zunächst je Szenario die jeweils unterstellten Ziele und Leitplanken auf Bundesebene definiert und anschließend anhand geeigneter Indikatoren auf die Region der IRMD bzw. die einzelnen Gebietskörperschaften heruntergebrochen. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden folgende Szenarien entwickelt (Abbildung 36):

- Zum einen wurde ein **Referenzszenario** erarbeitet, welches „realistisch-ambitionierte“ Entwicklungen in der Zukunft unterstellt. Die aktuellen Ziele auf Bundes- und Landesebene werden hierbei erreicht. Dazu gehört auf der Bundesebene bspw. eine Verminderung der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 von mind. 55 % bis zum Jahr 2030 und um ca. 70 % bis 2040.¹³ Der Anteil der erneuerbaren Energien am nationalen Bruttostromverbrauch steigt bis zum Jahr 2030 bis auf 65 % und der Ausstieg aus der Kohleverstromung erfolgt gem. KVBG bis spätestens Ende des Jahres 2038.
- Zum anderen wurde ein **Green-Deal-Szenario** erarbeitet, das eine ambitionierte Umsetzung des European Green Deals unterstellt, bei der die klima- und energiepolitischen Ziele auf EU-, Bundes- und Landesebene nochmals angehoben werden. Gegenüber dem Referenzszenario, bei dem im Einklang mit dem im Dezember 2019 in Kraft getretenen Klimaschutzgesetz (KSG) ebenfalls die Erreichung der Klimaneutralität bis spätestens zur zweiten Jahrhunderthälfte angenommen wird, werden im Green-Deal-Szenario THG-Minderungen insbesondere zeitlich nach vorne gezogen. Der Anteil der erneuerbaren Energien am nationalen Bruttostromverbrauch steigt in diesem Szenario bis zum Jahr 2030 bereits auf 70 %. Der Ausstieg aus der Kohleverstromung erfolgt marktgetrieben bereits früher, da sich die Strom- und Wärmeerzeugung aus Kohlekraftwerken bei den unterstellten Rahmenbedingungen ab der ersten Hälfte der 2030er Jahre nicht mehr wirtschaftlich darstellt.

Die Annahmen in den beiden Szenarien werden gespiegelt und ergänzt mit Annahmen aus den folgenden beiden Veröffentlichungen, die jeweils sehr ähnliche Entwicklungen wie in den vorliegenden Szenarien unterstellen:

- Referenzszenario: Genehmigter Szenariorahmen zum NEP 2030 (V2019) und NEP 2035 (V2021), Szenario B [ÜNB / BNetzA 2021]
- Green-Deal-Szenario: Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, Szenario Klimaneutralität 2050. [Prognos et al. 2020]

Die Regionalisierung der auf nationaler Ebene getroffenen Annahmen auf die IRMD und die einzelnen Gebietskörperschaften erfolgt anschließend anhand geeigneter Indikatoren sowie auf Basis eigener Einschätzungen, bspw. im Bereich der Wirtschaftlichkeit der konventionellen Kraftwerke in ähnlich ausgestalteten Szenarien,

¹³ Die im Frühsommer 2021 beschlossene Änderung des Klimaschutzgesetzes, mit der die nationalen Zielvorgaben zur Reduktion der THG-Emissionen nochmals verschärft wurden, konnte im Rahmen der Projektbearbeitung nicht mehr berücksichtigt werden. Das neue CO₂-Emissionsreduktionsziel wurde für 2030 um 10 % angehoben und beträgt nun für 2030 bereits 65 % und im Jahr 2040 bereits 88 %. Zudem soll Klimaneutralität bereits im Jahr 2045 erreicht werden.

und – sofern vorhanden – auf Basis von Einzelinformationen zu bspw. Kraftwerksneubauten oder bereits geplanten Projekten zur Erschließung erneuerbarer Wärmequellen. Dabei erfolgt (soweit möglich) auch eine Berücksichtigung der bestehenden Landesklimaschutzziele und -strategien von Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Teilweise wurden in der Zwischenzeit bereits weitere Maßnahmen und Ziele auf Bundes- oder Landesebene umgesetzt bzw. verabschiedet (z. B. IKEP Sachsen 2021; Strukturprogramm Sachsen-Anhalt oder das Investitionsgesetz Kohleregionen).

Bei der Erarbeitung der Szenarien wurde auch darauf geachtet, dass beide Szenarien zwar durchaus ambitionierte, dennoch aber auch realistische Entwicklungen abbilden. So sollen ggf. noch vorhandene Lücken zwischen diesen aktuell als realistisch eingeschätzten Entwicklungen und den unterstellten Klimaschutzzielen sichtbar werden.

Szenario	Leitgedanke	Szenariobereich	Kennzahl	Einheit	Historie*			Zeithorizonte				
					1990	2018	2019	2025	2030	2035	2040	
Referenz	Realistisch ambitioniertes Szenario - aktuelle Ziele auf Bundes- und Landesebenen werden erreicht.	Sektoren-übergreifende Ziele	Gesamt THG-Emissionsminderung ggü. 1990	%		-31%	-36%	-45%	min -55%	-62,5%	-70%	
			Umsetzung Wasserstoffstrategie									
			Installierte Leistung	GW					0,8	3	5	10
			Volllaststunden	h					3.500	3.500	3.500	3.500
			Stromverbrauch	TWh _{el}					3	11	18	35
			Wärmeerzeugung	%		16%		25%	30%	40%	50%	
			Stromerzeugung	%		38%	42%	53,6%	65%	75%	82,5%	
			Kohleausstieg	-				spätestens bis zum Jahr 2038				
			Erneuerbare Erzeugungsleistung									
			Wind an Land	GW		53			82	87	89	
Wind auf See	GW		7,5			17	30	40				
PV	GW		49			91	118	126				
Green-Deal	Ambitionierte Umsetzung des European Green Deals - Ziele auf EU-, Bundes- und Landesebene werden angehoben (bzw. insb. zeitlich nach vorne gezogen) und erreicht.	Sektoren-übergreifende Ziele	Gesamt THG-Emissionsminderung ggü. 1990	%		-31%	-36%	-48%	-65%	-75%	-85%	
			Umsetzung Wasserstoffstrategie									
			Installierte Leistung	GW					0,8	5	10	15
			Volllaststunden	h					3.500	3.500	3.500	3.500
			Stromverbrauch	TWh _{el}					3	18	35	53
			Wärmeerzeugung	%		16%		25%	40%	50%	60%	
			Stromerzeugung	%		38%	42%	55%	70%	85%	90%	
			Kohleausstieg	-				vorgezogen auf das Jahr 2030				
			Erneuerbare Erzeugungsleistung									
			Wind an Land	GW		53			65	80	94	119
Wind auf See	GW		7,5			11	25	36	51			
PV	GW		49			91	150	211	252			

*Quellen für die Daten der Historie: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, BNetzA (2020): Genehmigung des Szenarioramms 2021-2035 sowie UBA - Klimaschutz in Zahlen, Ausgabe 2020. ** Erneuerbare Energien hier definiert als: Biomasse, Biogener Müll, Wärmepumpen, Elektrodenkessel, Geothermie, Solarthermie.

Abbildung 36 Leitlinien der beiden Szenarien

Quellen: [ÜNB / BNetzA 2021] & [Prognos et al. 2020]

Anmerkung: Erneuerbare Energien hier definiert als Biomasse, Biogener Müll, Wärmepumpen, Elektrodenkessel, Geothermie, Solarthermie)

4.2 Sozioökonomische Rahmenbedingungen

Die sozioökonomischen Rahmenbedingungen wurden jeweils detailliert für die neun Gebietskörperschaften berücksichtigt. Sie bilden den Rahmen für die Szenarien zur Entwicklung des Strom- und Wärmebedarfs bis zum Jahr 2040. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde in den beiden Szenarien die gleiche Entwicklung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen unterstellt.

Folgende sozioökonomische Rahmenbedingungen haben einen relevanten Einfluss auf die Entwicklung des künftigen Energieverbrauchs:

- Bevölkerungsentwicklung
- Wohnflächenentwicklung
- Wirtschaftsentwicklung (Erwerbstätigkeit und Bruttowertschöpfung)

Bevölkerungsentwicklung

Die demografische Entwicklung in der IRMD bis ins Jahr 2018 folgte dem allgemeinen Trend in Ostdeutschland. Aufgrund von Abwanderung und geringen Geburtenraten sank die Bevölkerung von 1990 bis 2018 um 15 %. Besonders betroffen davon waren die Landkreise Mansfeld-Südharz (-31 %), Altenburger Land (-30,2 %) und Anhalt-Bitterfeld (-30 %). Ab dem Jahr 2012 hat sich der Bevölkerungsstand leicht erholt (+2 %). Die größten Zuwächse konnten die Städte Leipzig (13 %) und Halle (3 %) erzielen, in den weiteren Landkreisen war die Entwicklung weiterhin rückläufig [Prognos 2021].

Im vorliegenden Energiekonzept dient die Referenzprognose aus [Prognos 2021] als fachliche Grundlage der sozioökonomischen Rahmenbedingungen, welche für die Erarbeitung der Szenarien zur Entwicklung des Strom- und Wärmebedarfs berücksichtigt wurde. Laut Referenzprognose von [Prognos 2021] wird für die IRMD ein Rückgang der Gesamtbevölkerung um rund 3,6 % bzw. 73.000 Personen bis ins Jahr 2040 erwartet. Bis Mitte der 2020er steigt zunächst die Bevölkerung um rund 8.500 Personen an, danach sinkt die Gesamtbevölkerung konstant bis ins Jahr 2040. Die Entwicklungen weisen z. T. erhebliche Differenzen zwischen den beiden Städten sowie den Landkreisen auf (Abbildung 37).

Während die Stadt Leipzig deutlich an Bevölkerung (17 %) gewinnt, stagniert in der Stadt Halle nahezu die Bevölkerungsentwicklung. Von einem deutlichen weiteren Bevölkerungsrückgang betroffen sind besonders die Landkreise Mansfeld-Südharz (-26 %), das Altenburger Land (-21 %) und der Burgenlandkreis (-20 %). Auf die Landkreise Leipzig und Nordsachsen (beide -4 %) strahlt hingegen die Entwicklung der Stadt Leipzig aus, sie verzeichnen einen vergleichsweise geringeren Bevölkerungsrückgang [Prognos 2021]. Für die IRMD insgesamt wird im Zeitraum von 2018 (2.0333.543 Einwohner) bis 2040 (1.960.503 Einwohner) ein Bevölkerungsrückgang von 4 % erwartet.

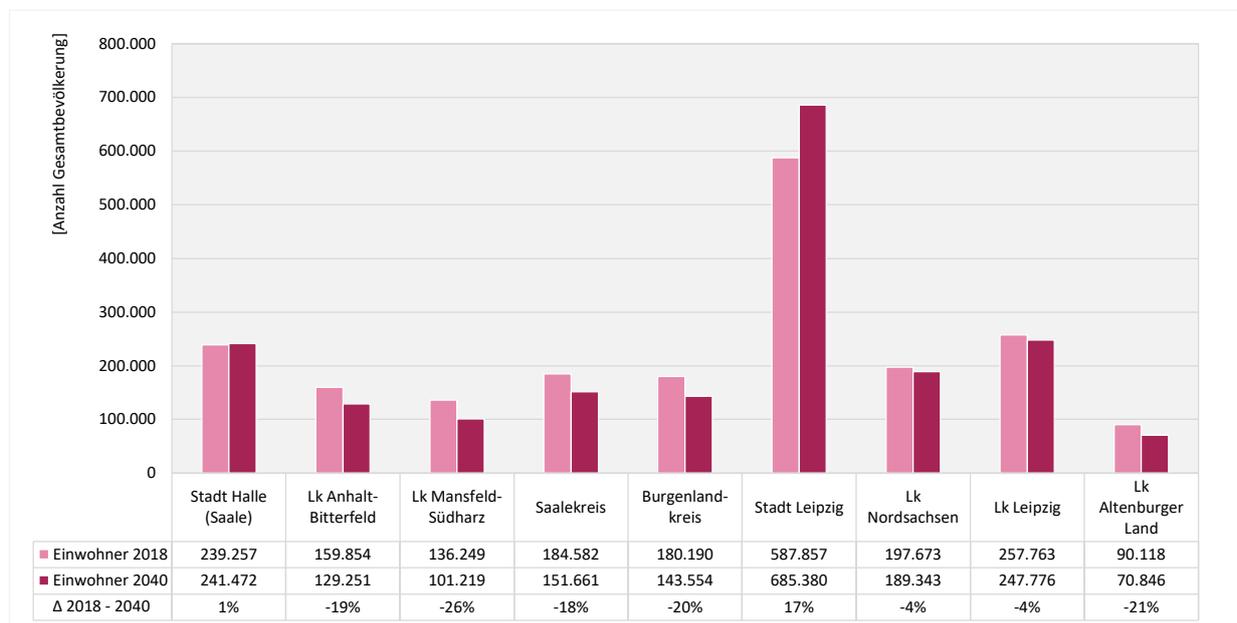


Abbildung 37 Vergleich Gesamtbevölkerung 2018 und 2040 in der IRMD nach Gebietskörperschaften
Daten: [Prognos 2021] Anmerkung: Ergebnisse des Referenzszenarios, Darstellung IE Leipzig

Wohnflächenentwicklung

Der rückläufigen Bevölkerungsentwicklung steht ein zwischenzeitlicher Anstieg der Zahl der Haushalte, und hier insbesondere der Einpersonenhaushalte, gegenüber [Prognos 2021]. Bis zum Jahr 2040 wird aber im Ergebnis für die IRMD insgesamt ein leichter Rückgang der Wohnflächennachfrage um rund 0,2 Mio. m² bzw. um -0,3 % gegenüber dem Jahr 2018 erwartet. Der zwischenzeitliche Anstieg wird bis Ende 2030 erwartet, danach

ist die Wohnflächennachfrage wieder leicht rückläufig. Hintergründe sind die sinkende Gesamtbevölkerung und die sich verändernde Haushaltsstruktur. Der größte Zuwachs wird im Landkreis Leipzig erwartet, mit 15 % ist der Zuwachs an Wohnfläche sogar höher als in den Städten Leipzig (5 %) und Halle (3 %) (Abbildung 38). Im Landkreis Leipzig kommen dabei folgende Effekte zum Tragen:

- Zum einen sorgt der weitere Trend zu mehr Einpersonen-Haushalten für eine steigende Nachfrage.
- Zum anderen ist der Bevölkerungsrückgang sehr moderat [Prognos 2021].
- Entscheidend ist aber, dass die durchschnittliche Wohnfläche je Einwohner bzw. je Einwohnerin (im Jahr 2017) mit 46,0 m² deutlich über der Flächennachfrage in den Städten mit 40,5 m² (Leipzig) und 41,2 m² (Halle) liegt. Dieser Unterschied wird zukünftig noch weiter zunehmen [Prognos 2021].

Auch in den anderen Landkreisen liegt die durchschnittliche Wohnfläche je Einwohner bzw. je Einwohnerin deutlich über dem Kennwert in den beiden kreisfreien Städten. Aufgrund der rückläufigen Bevölkerung und der spezifischen Haushaltsstruktur nimmt der Bedarf an Wohnfläche bis zum Jahr 2040 aber zum Teil deutlich ab. Hiervon sind das Altenburger Land (-16 %), der Burgenlandkreis (-15 %) und der Saalekreis (-12 %) am stärksten betroffen [Prognos 2021].

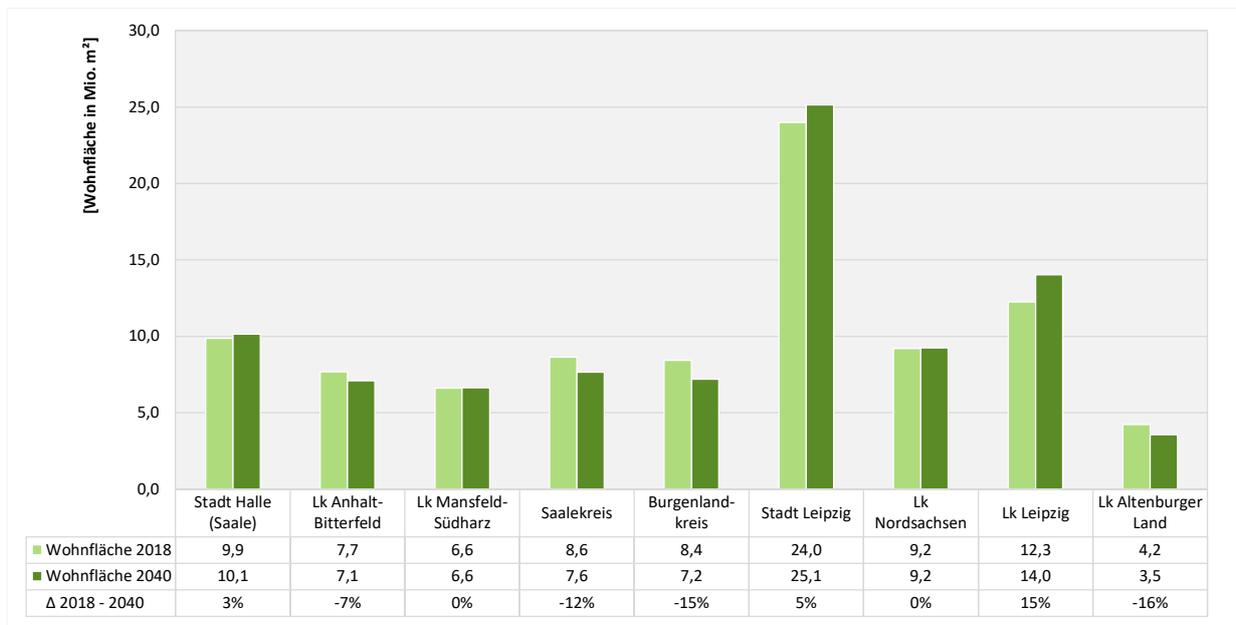


Abbildung 38 Vergleich Wohnflächen 2018 und 2040 in der IRMD nach Gebietskörperschaften

Daten: [Prognos 2021] Anmerkung: Ergebnisse Referenzszenarios, Darstellung IE Leipzig

Wirtschaftsentwicklung

Erwerbstätige:

Vergleichbar mit der demografischen Entwicklung durchlief die Wirtschaft der IRMD seit den frühen 1990er Jahren einen Transformationsprozess. Die Zahl der Erwerbstätigen entwickelte sich rückläufig und es kam zu starken Verschiebungen zwischen den Wirtschaftsbranchen. Im Jahr 2018 waren 984.873 Erwerbstätige in der IRMD gemeldet [Prognos 2021].

Besonders im Bereich des Bergbaus war die Entwicklung durch beträchtliche Arbeitsplatzverluste gekennzeichnet. Zwischen 1995 und 2019 verlor das Mitteldeutsche Revier und damit die IRMD geschätzt rund drei Viertel der Erwerbstätigen in dieser Branche. Auch im Bereich Baugewerbe kam es zu massiven Arbeitsplatzverlusten. Grundsätzlich kann in den letzten Jahren eine langfristige Verschiebung der Branchenstruktur hin

zum Dienstleistungssektor festgestellt werden. Einige Landkreise konnten von größeren Unternehmensansiedlungen, u. a. im Bereich Logistik, unternehmensnahe Dienstleistungen oder auch von Teilen des Verarbeitenden Gewerbes, wie Maschinenbau oder Fahrzeugindustrie, profitieren [Prognos 2021]. Auf die Stadt Leipzig entfällt mit 35 % (bzw. 343.320 Personen) der größte Anteil der Erwerbstätigen. Mit großem Abstand folgen die Stadt Halle mit 13 % (bzw. 129.257 Personen), der Landkreis Leipzig mit 11 % (bzw. 103.530 Personen) und der Landkreis Nordsachsen mit 10 % (bzw. 93.432 Personen) (Abbildung 39).

Die Land- und Forstwirtschaft, Fischerei spielt erwartungsgemäß in der Stadt Leipzig keine Rolle, aber auch in den anderen Gebietskörperschaften beträgt der Anteil nur zwischen 2 und 3 %. Das Produzierendes Gewerbe (ohne Baugewerbe) hat in der IRMD insgesamt einen Anteil von 15 %, prozentualer Spitzenreiter ist der Landkreis Anhalt-Bitterfeld mit 29 %, den geringsten Anteil hat die Stadt Leipzig mit 10 %. Zweitwichtigster Wirtschaftszweig mit 26 % in der IRMD ist der Bereich Handel, Verkehr und Lagerei, Gastgewerbe. In allen Gebietskörperschaften liegt der jeweilige Anteil dieses Wirtschaftsbereiches deutlich über 20 %.

Die meisten Erwerbstätigen (270.000 Personen bzw. 29 %) arbeiten im Bereich "Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung und Gesundheit, Private Haushalte und Hauspersonal". In allen Gebietskörperschaften ist der Anteil dieses Wirtschaftszweiges deutlich über 20 %, in der Stadt Leipzig ist er mit 32 % am größten [Prognos 2021].

Im Jahr 2040 sind dann etwa 855.132 Personen in der IRMD beschäftigt, was einem Rückgang von 15 % gegenüber dem Jahr 2018 entspricht. Die Stadt Leipzig stellt mit 338.084 Personen fast 40 % der gesamten Erwerbstätigen. Wichtigster Wirtschaftsbereich bleibt der Bereich Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung und Gesundheit, Private Haushalte und Hauspersonal mit einem Anteil von 29 % in der IRMD insgesamt. Der Bereich Produzierendes Gewerbe (ohne Baugewerbe) reduziert seinen Anteil auf 12 % [Prognos 2021].

Die Rückgänge konzentrieren sich nicht nur auf einzelne Branchen oder Teilregionen, sondern zeigen sich in allen Wirtschaftsbereichen und für alle regionalen Einheiten. Einzige Ausnahme bildet die Stadt Leipzig, die in einzelnen Branchen, wie der Energieversorgung oder dem Gesundheits-/Sozialwesen, bis zum Jahr 2040 Erwerbstätige aufbauen kann. Die Entwicklung in den Städten ist dabei mit Rückgängen zwischen 2 % (Leipzig) und 9 % (Halle) bis zum Jahr 2040 noch eher moderat [Prognos 2021]. Im Vergleich dazu zeigen sich bei den Landkreisen in Thüringen und Sachsen-Anhalt signifikante Einbrüche zwischen 24 % in Anhalt-Bitterfeld und 30 % in Mansfeld-Südharz (Abbildung 40).

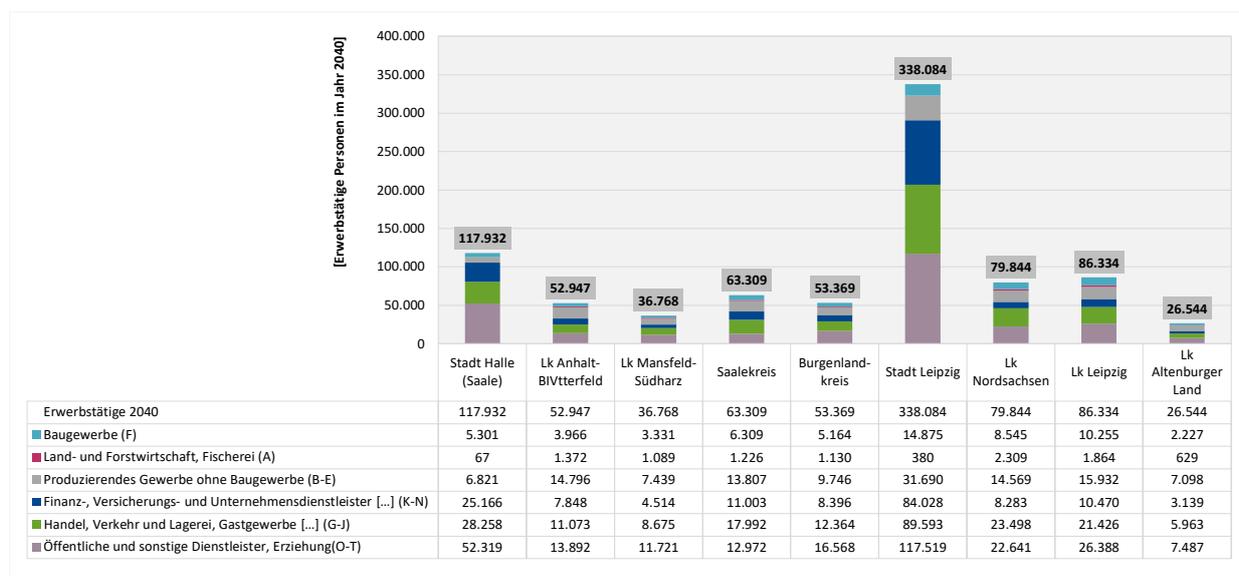


Abbildung 39 Erwerbstätige im Jahr 2040 in der IRMD nach Wirtschaftszweigen und Gebietskörperschaften
Daten: [Prognos 2021], Darstellung: IE Leipzig

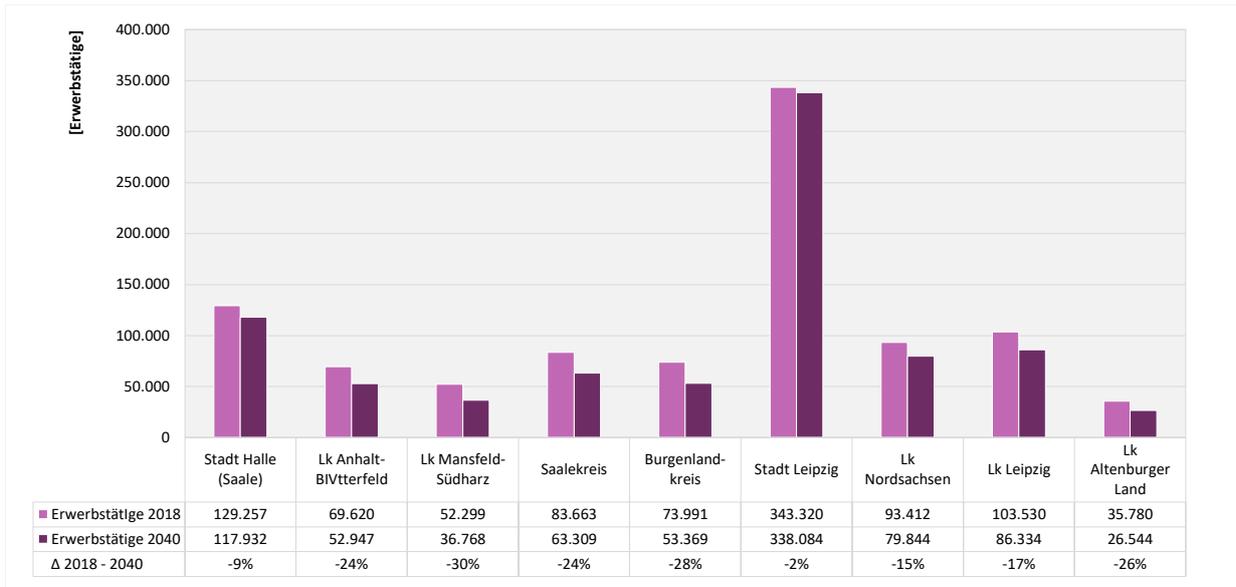


Abbildung 40 Vergleich Erwerbstätigkeit 2018 und 2040 in der IRMD nach Gebietskörperschaften
Daten: [Prognos 2021], Darstellung IE Leipzig

Bruttowertschöpfung:

Die Wirtschaftsleistung der IRMD lag im Jahr 2018 bei 55,6 Mrd. Euro. Im Jahr 2018 war der Bereich „Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung“ für 27 % und das Produzierende Gewerbe für 23 % der Wirtschaftsleistung verantwortlich, aber auch der Bereich Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister hatte einen Anteil von 22 %. Diese Wirtschaftsbereiche sind damit wichtige Arbeit- und Impulsgeber für die IRMD [Prognos 2021]. Die regionale Verteilung zeigt ein ähnliches Bild wie bei der Verteilung der Erwerbstätigkeit. Auf die Stadt Leipzig entfällt mit 35 % (bzw. 19,6 Mrd. Euro) der größte Anteil an der Bruttowertschöpfung. Mit Abstand folgen die Stadt Halle mit 12 % (bzw. 6,6 Mrd. Euro), der Landkreis Leipzig mit 11 % (bzw. 6,3 Mrd. Euro) und der Saalekreis mit 10 % (bzw. 5,5 Mrd. Euro) (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Wirtschaftsbereiche Handel, Verkehr und Lagerei, Gastgewerbe sowie Öffentliche und sonstige Dienstleister & Erziehung sind in allen Gebietskörperschaften stark vertreten. In der Stadt Halle ist die Wirtschaftsstruktur sehr deutlich durch das Gesundheits-/Sozialwesen (Wirtschaftsbereich Öffentliche und sonstige Dienstleister) geprägt [Prognos 2021].

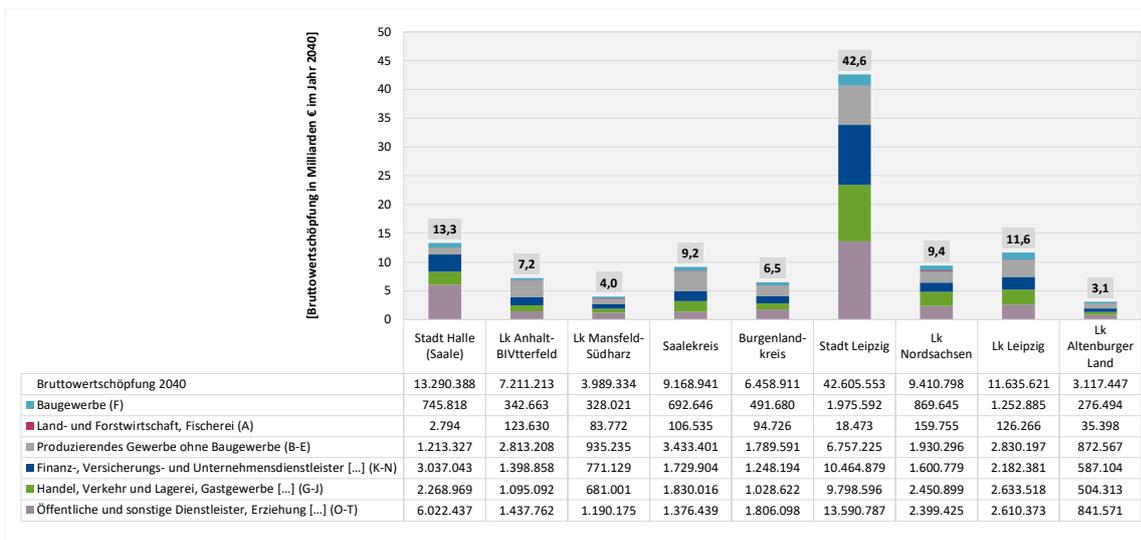


Abbildung 41 Bruttowertschöpfung im Jahr 2040 in der IRMD nach Wirtschaftszweigen und Gebietskörperschaften

Daten: [Prognos 2021], Darstellung IE Leipzig

In den kommenden Jahren wird die IRMD ihre Wirtschaftsleistung weiter deutlich steigern. Im Jahr 2040 wird eine Bruttowertschöpfung von 106,9 Mrd. Euro (nominal) erwartet, ein Wachstum von rund 92 % gegenüber dem Jahr 2018. Das erwartete Wachstum liegt damit deutlich über dem der Bundesländer Sachsen-Anhalt (+69 %) und Thüringen (+77 %) und in etwa auf dem Niveau von Sachsen (+83 %) [Prognos 2021].

Ein näherer Blick auf die einzelnen Gebietskörperschaften der IRMD verdeutlicht, dass auch zukünftig die Städte die zentralen Wachstumsmotoren sein werden. Bis zum Jahr 2040 kann die Stadt Leipzig ihre Wirtschaftsleistung gegenüber dem Jahr 2018 mehr als verdoppeln (+118 %). Auch die Stadt Halle verzeichnet ein Wachstum von +100 %. Insbesondere die Stadt Leipzig baut damit ihre wirtschaftlich prägende Stellung in der IRMD weiter aus und wird mit 42,6 Mrd. Euro im Jahr 2040 für etwa 40 % der Bruttowertschöpfung verantwortlich sein (Abbildung 41 und Abbildung 42) [Prognos 2021]. Bei den Landkreisen verzeichnet Nordsachsen mit einem Plus von etwa 93 % bis zum Jahr 2040 das stärkste Wachstum, gefolgt vom Landkreis Leipzig mit +84 %. Die geringsten Zuwächse entfallen, relativ betrachtet, auf die Landkreise Mansfeld-Südharz und den Burgenlandkreis (beide mit + 57 %) [Prognos 2021].

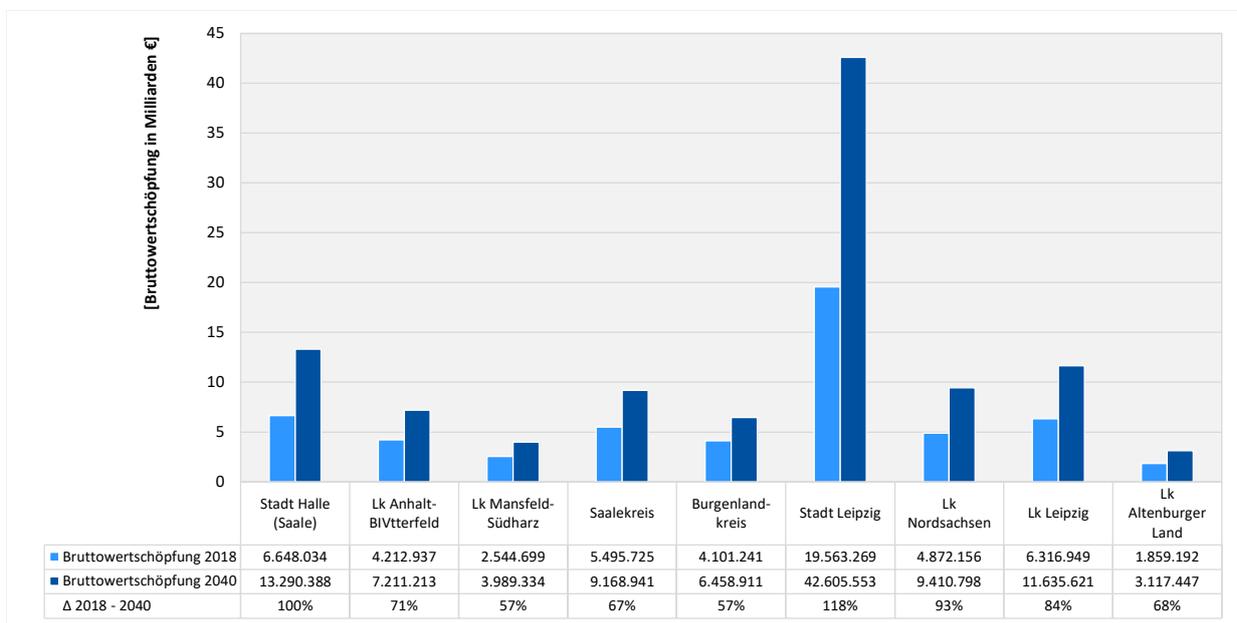


Abbildung 42 Vergleich Bruttowertschöpfung 2018 und 2040 in der IRMD nach Gebietskörperschaften
Daten: [Prognos 2021], Darstellung IE Leipzig

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der IRMD die Bruttowertschöpfung bis ins Jahr 2040 wächst, während die Zahl der Erwerberstätigen zurückgeht. Die Ursachen lassen sich im demographischen Wandel und einem gleichzeitigen Anstieg der Produktivität finden. Die Produktivitätssteigerungen führen trotz sinkender Erwerbstätigkeit zu einem weiteren Wirtschaftswachstum. Öffentliche Dienstleistungen werden auch im Jahr 2040 das wirtschaftliche Fundament der IRMD bilden. Das Verarbeitende Gewerbe verliert im Vergleich zu dem Dienstleistungssektor bis ins Jahr 2040 an Bedeutung [Prognos 2021].

4.3 Strom- und Wärmebedarf

Für die beiden Szenarien (Referenz und Green-Deal) werden zur Ermittlung des Strom- und Wärmebedarfs bis zum Jahr 2040 die im Kapitel 4.2 beschriebenen sozioökonomischen Rahmenbedingungen, d.h. die Entwicklung der Bevölkerung und Wohnflächen sowie die Erwerbstätigkeit und die Wirtschaftsleistung (Bruttowertschöpfung) in den jeweiligen Gebietskörperschaften berücksichtigt. Die sozioökonomischen Rahmenbedingungen werden in beiden Szenarien analog angesetzt.

Im Folgenden werden zunächst wichtige Prämissen und Annahmen zur Entwicklung des Endenergiebedarfs in den beiden Szenarien vorgestellt.

Das Referenzszenario orientiert sich am genehmigten Szenariorahmen zum NEP 2030 (V2019) und NEP 2035 (V2021), Szenario B [ÜNB / BNetzA 2021] und berücksichtigt folgende Prämissen, die auch im vorliegenden Referenzszenario integriert wurden:

- Das Szenario B beschreibt eine stetig voranschreitende Transformation des Stromsektors, in der die Sektorenkopplung und das stromnetzorientierte Einsatzverhalten von Erzeugern und Verbrauchern eine große Rolle spielen.
- Es werden umfangreiche Effizienzsteigerungen in den Verbrauchssektoren unterstellt, welche den „klassischen“ Stromverbrauch reduzieren (bis zu - 7 % bis 2040).
- Dem gegenüber stehen neue Sektorenkopplungstechnologien und Bestrebungen zur Dekarbonisierung, welche den „neuen Stromverbrauch“ bedingen (bis zu +14 % bis 2040).
- Weiterhin sind neue Stromgroßverbraucher z. B. im Industriesektor, wie etwa Batteriefabriken oder neue Anlagen in der Stahl- und Aluminiumindustrie sowie der chemischen Industrie, zu berücksichtigen.
- Besonders Im Bereich der Haushalte findet ein starker Ausbau von Wärmepumpen statt.

Das Green-Deal-Szenario orientiert sich am Szenario Klimaneutralität 2050 (KN2050) Klimaneutrales Deutschland. Diese Studie wurde im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und der Stiftung Klimaneutralität von [Prognos et al. 2020] erarbeitet.

- Das Green-Deal-Szenario unterstellt verbesserte Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger (Brennwerttechnologie), eine gesteigerte Gebäudeeffizienz durch Sanierungen und das Aufkommen von erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung. Die jährlichen Sanierungsraten steigen bei Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) auf rund 1,5 %, bei Mehrfamilienhäusern (MFH) und Nichtwohngebäuden (NWG) auf 1,7 % bezogen auf den Gesamtbestand. Somit wird eine Sanierungsrate von 1,6 % im Mittel berücksichtigt.
- Bei der Wärmeversorgung gewinnen auch Elektrowärmepumpen und Wärmenetze stark an Bedeutung. Weiterhin wird unterstellt, dass ab 2025 keine neuen Wärmeerzeuger auf Basis von Heizöl oder Gas installiert werden. Jährlich werden rund 3 bis 4 % der Wärmeerzeuger ausgetauscht.
- Der Fernwärmeverbrauch steigt stark an und erhöht sich bis 2030 um annähernd 50 %.
- Im Green-Deal-Szenario wird weiterhin ein ambitionierter Einsatz von neuen Sektorenkopplungstechnologien aufgrund des stärkeren Ausbaus der erneuerbaren Energien unterstellt.
- Insgesamt unterstellt das Szenario etwas ambitionierte Effizienzanstrengungen und einen stärkeren Ausbau der erneuerbaren Energien im Strom- und Wärmebereich. Eine ausführliche Darstellung hierzu erfolgt auch im Kapitel 4.4.



Der steigende Strombedarf bzw. die Elektrifizierung aufgrund verschiedener Technologien zur Sektorenkopplung wird in den erarbeiteten Szenarien für das Energiekonzept wie folgt berücksichtigt und abgebildet:

- Die Höhe der konventionellen Stromanwendungen und der steigende Strombedarf aufgrund des verstärkten Einsatzes von Wärmepumpen im Haushaltsbereich wird im Kapitel 4.3 Strom- und Wärmebedarf ausgewiesen.
- Der Strombedarf von Großwärmepumpen wird in den Strombilanzen im Kapitel 4.4 Energieerzeugung ausführlich betrachtet, diese neuen Großverbraucher bzw. Technologien zur Dekarbonisierung werden hier dem Erzeugungsbereich zugeordnet.
- Der zusätzliche Strombedarf durch den Verbrauch durch Wasserstoff wird im Kapitel 4.4 dargestellt.
- Generell nicht berücksichtigt wurden in den Szenarien zum Energiekonzept der Strombedarf durch elektrisch betriebene Pkw und Lkw (der Endenergieverbrauch für den Sektor Verkehr wird gesondert in der Integrierten Mobilitätsstudie der IRMD [PTV et al. 2021] betrachtet) sowie der nicht-energetische Verbrauch des Verarbeitenden Gewerbes.

Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Verbrauchssektoren

Zunächst werden die Ergebnisse zur Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Verbrauchssektoren für die beiden Szenarien vorgestellt (Abbildung 43 und Abbildung 44). Bis zum Jahr 2040 reduziert sich der Energiebedarf im Referenzszenario in der IRMD insgesamt um 10 % bzw. um ca. 4.600 GWh auf 42.332 GWh gegenüber dem Jahr 2018 (vgl. Kapitel 2. 2). Die prozentuale Verteilung der Sektoren ändert sich grundsätzlich kaum.

Der Anteil des Verarbeitenden Gewerbes am Gesamtverbrauch steigt leicht von 52 % im Jahr 2018 auf 54 % im Jahr 2040. Haushalte sowie GHD verlieren jeweils einen Prozentpunkt. Im Green-Deal-Szenario sinkt der Energiebedarf um 17 % bzw. um ca. 8.000 GWh auf 38.889 GWh im Jahr 2040, wobei sich die Anteile der drei Sektoren analog zum Referenzszenario entwickeln.

Der Energiebedarf der Haushalte sinkt im Referenzszenario um 18 % auf 11.732 GWh, im Green-Deal-Szenario um 26 % auf 10.564 GWh. Hauptursachen hierfür sind die negative Entwicklung der Gesamtbevölkerung und ein Rückgang der Wohnflächen. Zusätzlich werden weitere Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen, wie Gebäudesanierung und Optimierung von Heizsystemen, erzielt. Der Strombedarf der Haushalte sinkt trotz „neuer Anwendungen“ insgesamt leicht um 6 bzw. 8 % in den beiden Szenarien.

Im Bereich GHD ergibt sich ebenfalls ein Rückgang von 16 bzw. 20 % von 2018 bis 2040. Auch hier werden Einspareffekte durch Effizienzmaßnahmen berücksichtigt. Wie im Kapitel 4.2 bereits dargestellt, wird für GHD ein Wirtschaftswachstum erwartet, bei einer rückläufigen Anzahl der Erwerbstätigen. Im GHD ist die Entwicklung des Energieverbrauchs stärker an die Entwicklung der Erwerbstätigen gekoppelt.

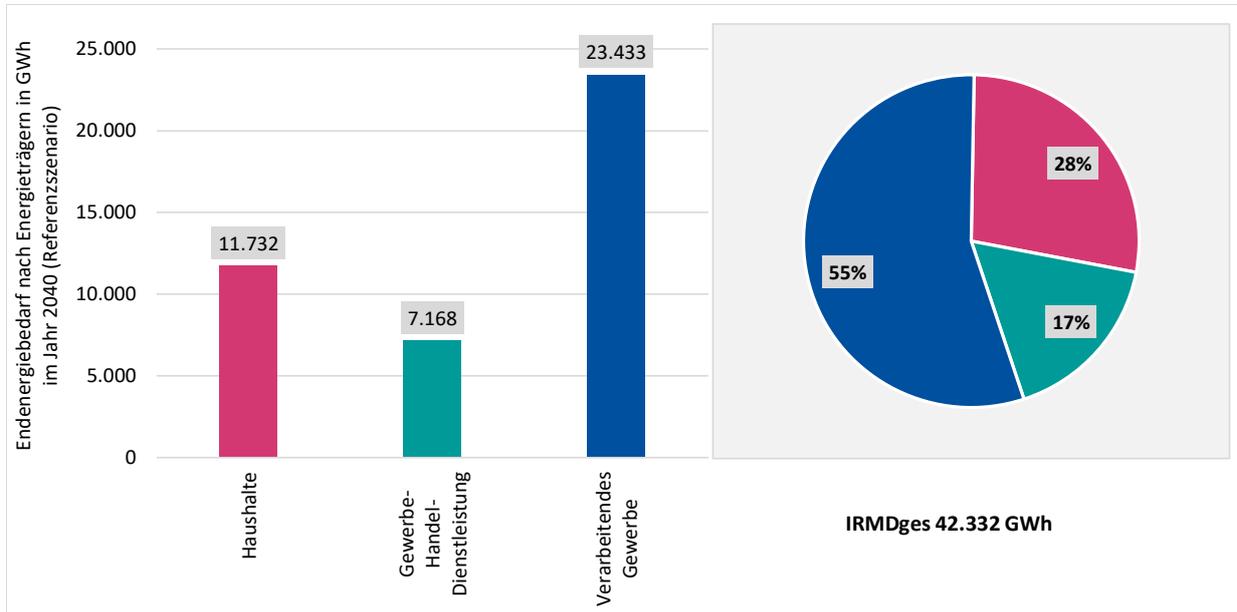


Abbildung 43 Endenergiebedarf in der IRMD (gesamt) nach Sektoren im Jahr 2040 – Referenzszenario

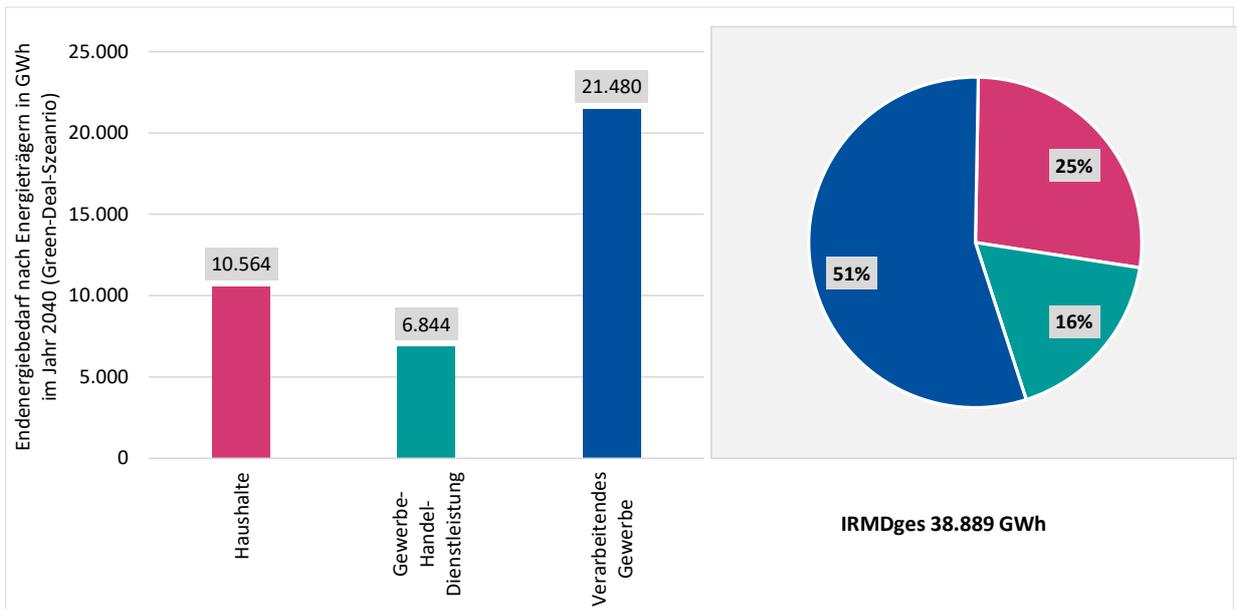


Abbildung 44 Endenergiebedarf in der IRMD (gesamt) nach Sektoren im Jahr 2040 – Green-Deal-Szenario

Währenddessen schreitet im Verarbeitenden Gewerbe die Automatisierung weiter voran und die gehobenen Effizienzpotenziale werden voraussichtlich trotz sinkender Erwerbstätigenzahlen geringer ausfallen. Im Referenzszenario wird für das Verarbeitende Gewerbe ein Rückgang von 3 % und im Green-Deal-Szenario von 11 % (auf 23.433 GWh bzw. 21.480 GWh) unterstellt.

Bei Betrachtung der Entwicklung des Endenergiebedarfs in den Gebietskörperschaften sind wiederum signifikante Unterschiede festzustellen. Am stärksten wird sich der Energiebedarf im Altenburger Land reduzieren (Referenz: -24 % und Green-Deal: 30 %). Hauptursachen sind der starke Bevölkerungsrückgang von 21 % und eine Wohnflächenreduzierung um 16 %.

Stark rückläufig sind auch die Erwerbstätigenzahlen (GHD: – 22 % und Verarbeitendes Gewerbe: – 7 %), trotz steigender Wirtschaftsleistung führt dies zu einer Reduktion des Energieverbrauchs im Sektor GHD von 32 % (Referenz) bzw. 35 % (Green-Deal), im Verarbeitenden Gewerbe wird der Energiebedarf im Referenzszenario relativ konstant bleiben und im Green-Deal-Szenario sich um 7 % gegenüber 2018 reduzieren.

Ähnliche Entwicklungen werden auch für den Burgenlandkreis unterstellt, mit einem Rückgang des Energiebedarfs von 23 % im Referenzszenario und 29 % im Green-Deal-Szenario. Die Hauptursachen sind wiederum sinkende Bevölkerungszahlen und Wohnflächen sowie eine nicht so stark wachsende Wirtschaft wie in anderen Landkreisen. Ähnliche Tendenzen sind auch für den Landkreis Mansfeld-Südharz festzustellen, mit einer Reduktion des Energiebedarfs um 18 % im Referenzszenario bzw. 25 % im Green-Deal-Szenario (Abbildung 45 und Abbildung 46).

Grundsätzlich wird in allen Gebietskörperschaften ein Rückgang des Energiebedarfs unterstellt, nur im Landkreis Leipzig und im Landkreis Nordsachsen wird im Referenzszenario ein leichter Anstieg von 1 % erwartet. Im Green-Deal-Szenario beträgt die Minderung nur 7 bzw. 8 %. Hauptursache ist der steigende Bedarf im Verarbeitenden Gewerbe in den beiden Gebietskörperschaften. Ähnliche Entwicklungen werden für die Stadt Leipzig erwartet. Auch hier steigt der Bedarf im Verarbeitenden Gewerbe und im GHD, und es werden nur geringe Reduzierungen erzielt.

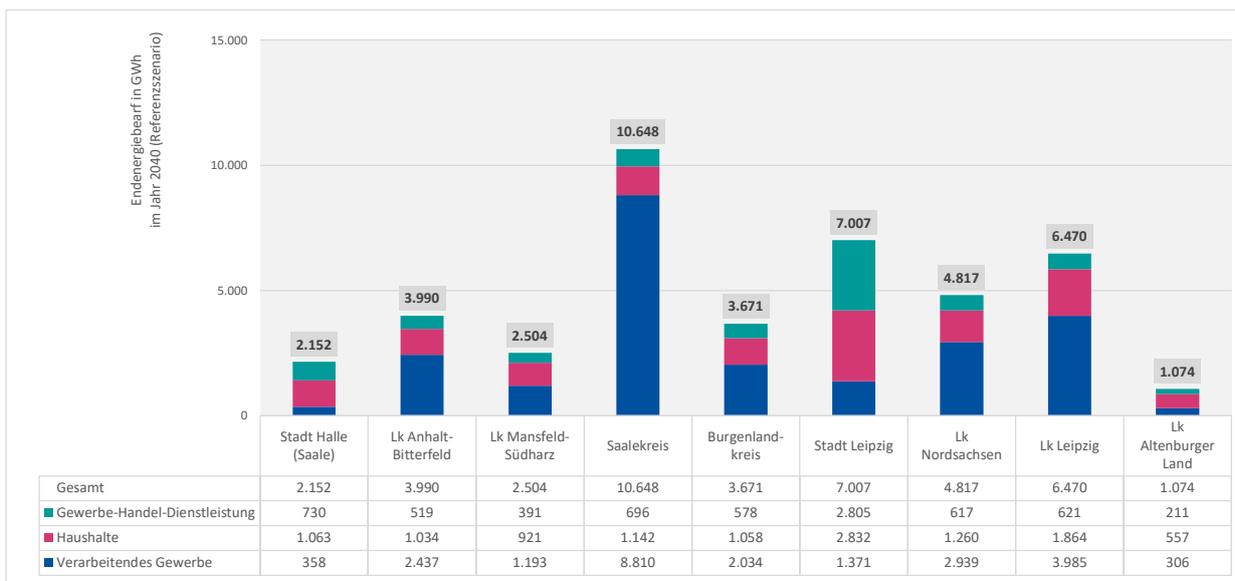


Abbildung 45 Endenergiebedarf in den Gebietskörperschaften nach Sektoren im Jahr 2040 – Referenzszenario

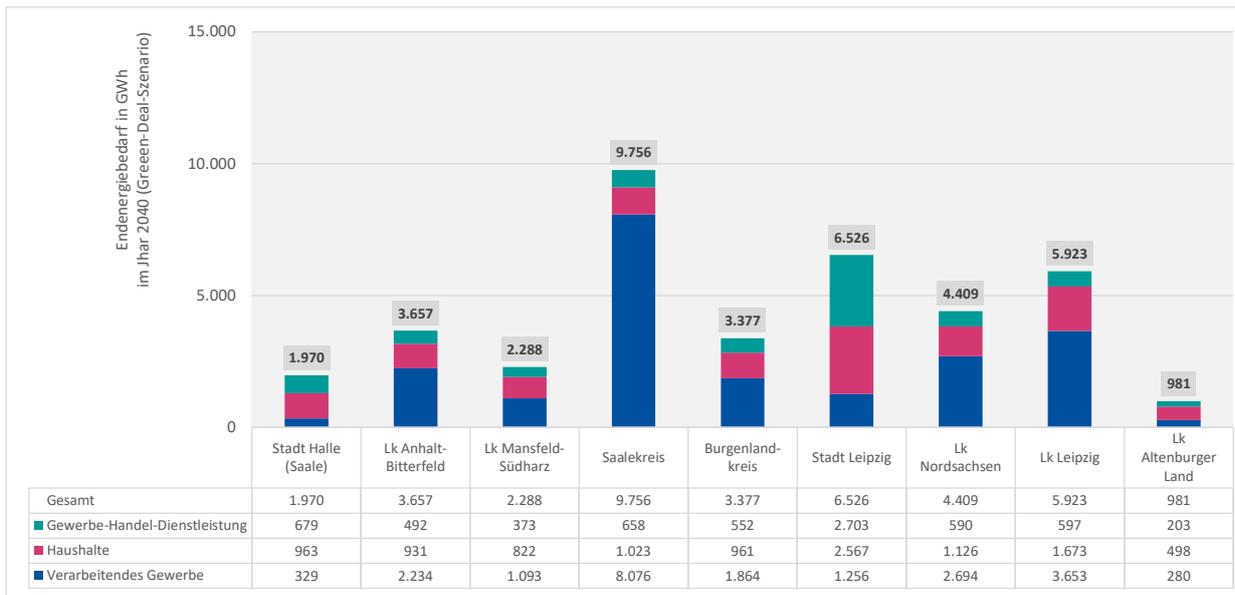


Abbildung 46 Endenergiebedarf in den Gebietskörperschaften nach Sektoren im Jahr 2040 – Green-Deal-Szenario

Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern

Um den Wärmesektor weitestgehend klimaneutral zu gestalten, ist neben der Reduktion des Bedarfs eine Umstellung der Heizsysteme weg von fossilen hin zu erneuerbaren Energieträgern zwingend erforderlich. Neben einem starken Zubau von Wärmepumpen wird ein dementsprechend massiver Rückbau von Heizöl- und Gasheizungen unterstellt. Weiterhin wird ein verstärkter Ausbau der Fernwärme berücksichtigt. Die Abkehr von Heizöl und Erdgas und der Ausbau von Fernwärme (dann auf Basis erneuerbarer Energien, vgl. Kapitel 4.4) sind die zentralen Annahmen der beiden Szenarien. Die Szenarien unterscheiden sich hier nur in der Geschwindigkeit der Umsetzung. Kohle spielt in beiden Szenarien im Jahr 2040 keine Rolle mehr. Um diese enormen Veränderungen realisieren zu können, sind dringend intensivere politische Weichenstellungen erforderlich (vgl. Kapitel 5). Derzeit wird noch ein Großteil des Energieverbrauchs in der IRMD durch fossile Energieträger gedeckt (vgl. Kapitel 2.2). Im Jahr 2040 haben die fossilen Energieträger (Mineralölprodukte und Gase sowie Sonstige) nur noch einen Anteil von 25 % im Referenzszenario und 23 % im Green-Deal-Szenario. Der Anteil der erneuerbaren Energien (umfasst u. a. Solarthermie, Biomassennutzung und Umweltwärme) steigt auf 20 % (Referenz) bzw. 21 % (Green-Deal). Strom wird in beiden Szenarien zum Energieträger mit dem höchsten Anteil am Endenergiebedarf im Jahr 2040 (Abbildung 48 und Abbildung 49).

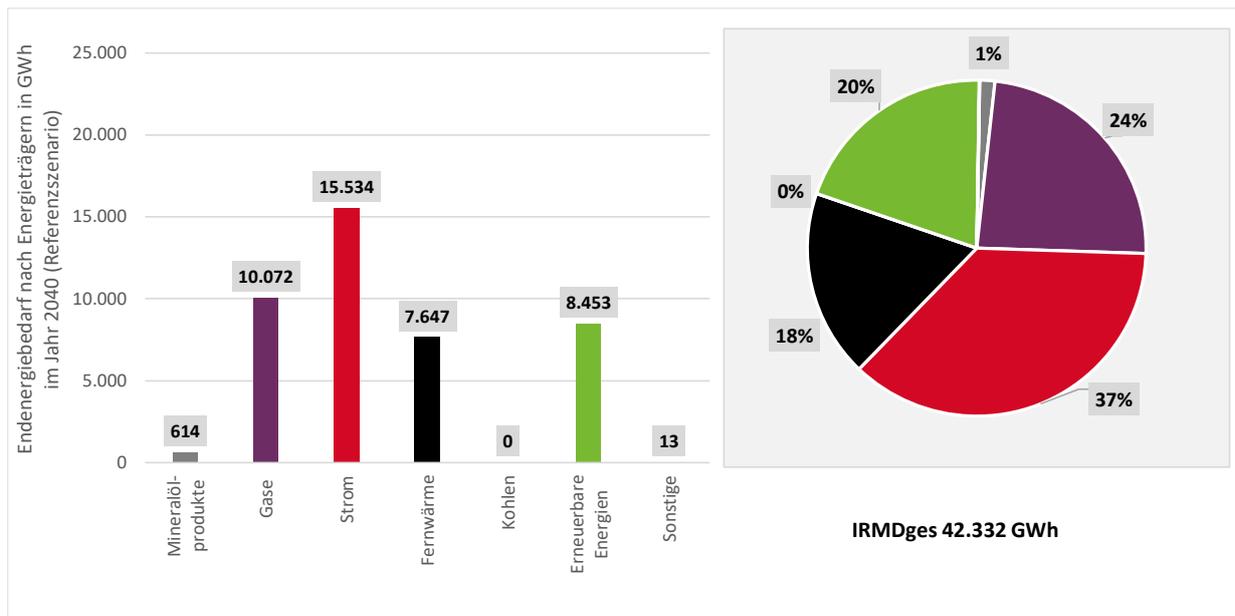


Abbildung 47 Endenergiebedarf in der IRMD (gesamt) nach Energieträger im Jahr 2040 – Referenz-Szenario

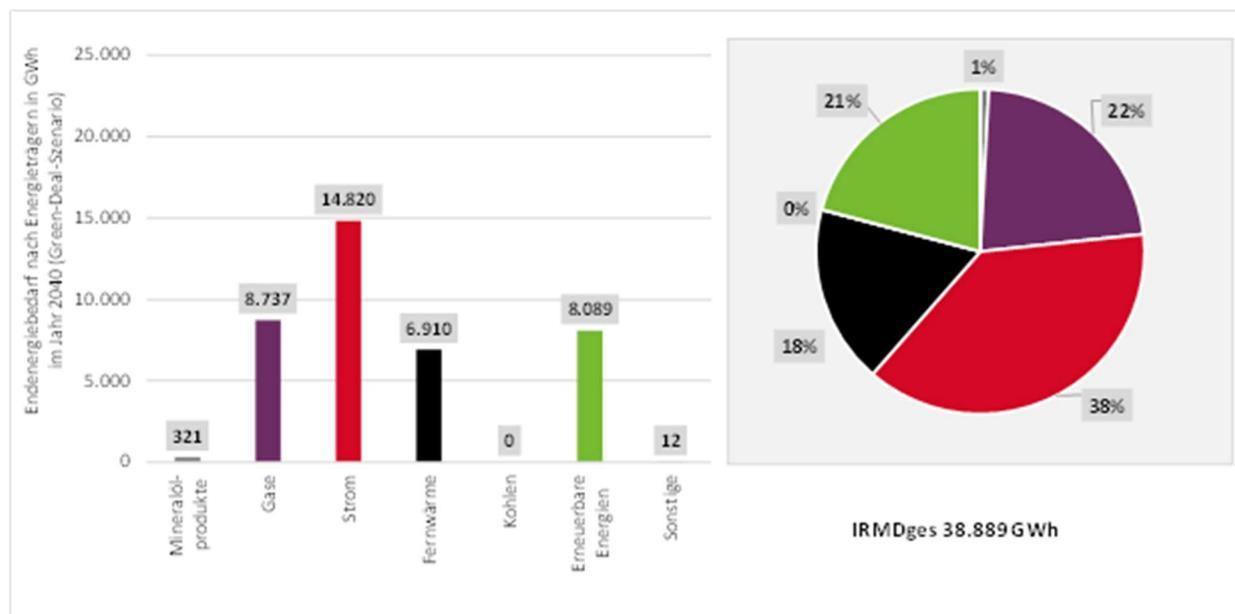


Abbildung 48 Endenergiebedarf in der IRMD (gesamt) nach Energieträger im Jahr 2040 – Green-Deal-Szenario

Die Entwicklung der Energieträger in den einzelnen Gebietskörperschaften zeigt, dass der Anteil von Strom besonders in den Gebietskörperschaften steigt, die auch einen hohen Anteil am Energiebedarf des Verbrauchssektors Verarbeitendes Gewerbe haben (z. B. Saalekreis). Entsprechend der lokalen Situation in den jeweiligen Gebietskörperschaften ist auch ein Ausbau der Fernwärme möglich (z. B. Stadt Leipzig oder Stadt Halle). In allen Gebietskörperschaften wird ein massiver Rückgang der Mineralölprodukte unterstellt und Kohle komplett substituiert (Abbildung 50 und Abbildung 51). Die Gase werden in allen Gebietskörperschaften bis 2040 noch eine (wenn auch untergeordnete) Rolle spielen (mit Anteilen von 10 bis 15 % in den Gebietskörperschaften). Entscheidend ist hier, ob die Fernwärme wirklich ihre Anteile so stark steigern kann und die Wärmeversorgung mit Erdgas teilweise ersetzt. Auch die erneuerbaren Energien müssen eine immer stärkere Rolle einnehmen (besonders der Einsatz von Wärmepumpen ist notwendig, um Heizöl und Erdgas zu substituieren). Die Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen, besonders im Bestand, sind umstritten und derzeit

schwierig. Es sind Flächen für Erdwärmekollektoren und entsprechende Temperaturniveaus sowie Heizsysteme erforderlich. Deshalb ist der Ausbau von Wärmenetzen und der Einsatz von weiteren erneuerbaren Energien unbedingt notwendig. Letztendlich sind die spezifischen lokalen Bedingungen entscheidend. Szenarien können nur einen groben Orientierungsrahmen bilden und nicht konkrete Machbarkeitsprüfungen vor Ort ersetzen. Hier sind alle Akteure aufgerufen, geeignete lokale Lösungen zu finden.

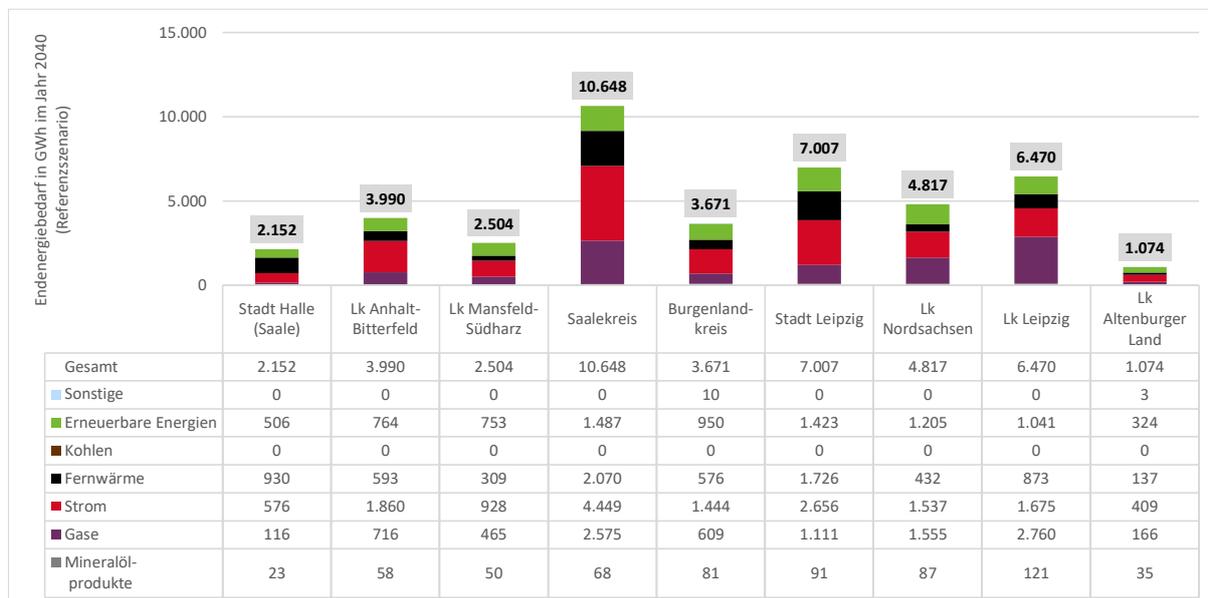


Abbildung 49 Endenergiebedarf in den Gebietskörperschaften nach Energieträger im Jahr 2040 – Referenzszenario

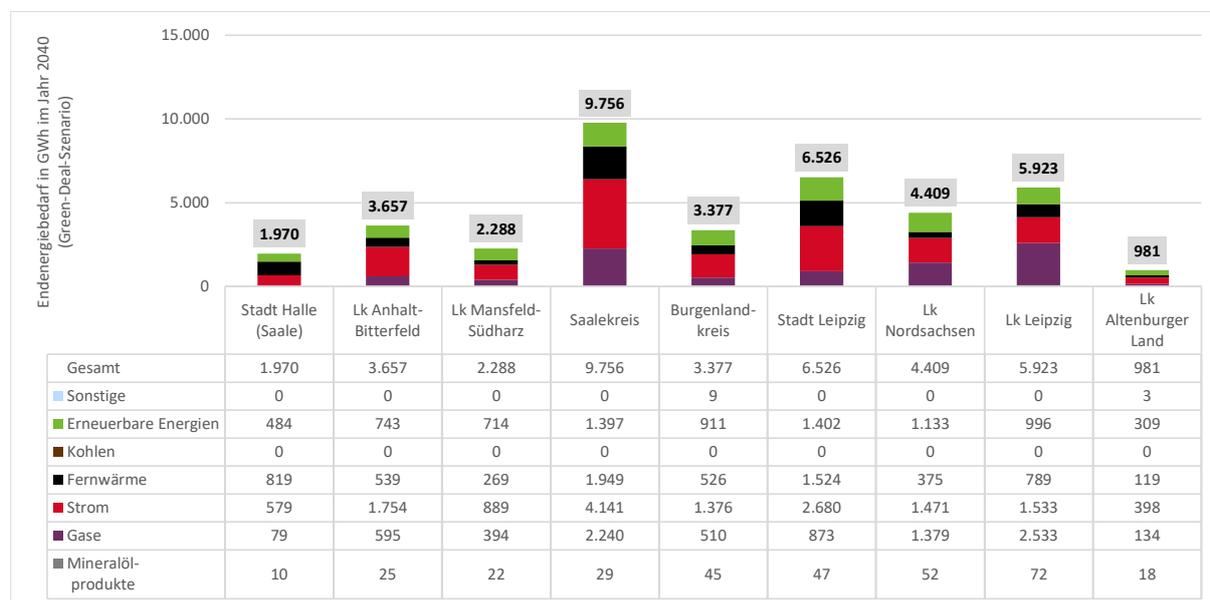


Abbildung 50 Endenergiebedarf in den Gebietskörperschaften nach Energieträger im Jahr 2040 – Green-Deal-Szenario

4.4 Energieerzeugung

Zur Erstellung der Szenarien zur Strom- und Fernwärmeerzeugung bis 2040 dienten wiederum die beiden bereits genannten Veröffentlichungen, einerseits der Genehmigung des Szenariorahmens zum Netzentwicklungsplan 2035 (V2021) [BNetzA 2020] und andererseits die Studie „Klimaneutrales Deutschland“ [Prognos et al. 2020] als Orientierung.

Zusätzlich wurden insbesondere zur Entwicklung der Annahmen bei der Stromerzeugung aus dargebotsabhängigen erneuerbaren Energien (Wind & PV) die Ergebnisse der zahlreich geführten Fachgespräche mit den regionalen Planungsverbänden berücksichtigt. Die Annahmen zur Wärmeversorgung bauen auch auf den geführten Fachgesprächen zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit nach dem Kohleausstieg und – soweit bekannt – auch auf bereits geplanten Einzelprojekten, wie Erdgas-Ersatzbauten und größeren Solar- oder Seethermieanlagen, auf.

Die Szenarien wurden für die Gebietskörperschaften erarbeitet und abschließend auf die IRMD aggregiert. Die Ergebnisse für die Gebietskörperschaften können dem Anhang entnommen werden.

Die Ergebnisse zur Strom- und Fernwärmeerzeugung werden im übernächsten Abschnitt erläutert, zuvor werden die Entwicklungen des Bedarfs an CO₂-freiem Wasserstoff sowie der strombasierten Erzeugung von Wasserstoff in der IRMD aufgezeigt, welche sich anschließend auch in den Strom- und Fernwärmebilanzen wiederfinden.

CO₂-freier Wasserstoffbedarf und strombasierte Wasserstofferzeugung

Für die Abschätzung der zukünftigen Bedarfsmengen an CO₂-freiem Wasserstoff und dessen strombasierter Erzeugung in der IRMD wird auf den jeweiligen Annahmen zu nationalen Entwicklungen der Veröffentlichungen [BNetzA 2020] und [Prognos et al. 2020] aufgebaut. Den Ausgangspunkt bildet dabei die in [Prognos et al. 2020] nach Sektoren aufgeschlüsselte Entwicklung der deutschlandweiten Nachfrage nach CO₂-freiem Wasserstoff. Diese Bedarfsmengen wurden anhand von drei Indikatoren nach Gebietskörperschaften regionalisiert:

1. Für den Industriesektor **Grundstoffchemie** wurde zum einen der prognostizierte stoffliche H₂-Bedarf anhand der Produktionsmengen der bekannten Standorte in den Gebietskörperschaften regionalisiert (Abbildung 51). Zum anderen wurde der energetische Bedarf der Grundstoffchemie über die Beschäftigungszahlen approximiert.
2. Ähnlich wurde der Wasserstoffbedarf für die **Mineralölverarbeitung** anhand der in der Region vorhandenen Raffineriestandorte regionalisiert. Bezugspunkt hierfür war der relative Anteil der regionalen Produktionskapazitäten an den nationalen Gesamtproduktionskapazitäten [MWV 2020].
3. Die nationale Wasserstoffnachfrage **sonstiger Industriesektoren** wurde anteilig über den Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes regionalisiert.

Einen weiteren relevanten Bereich zum Einsatz von CO₂-freiem Wasserstoff stellt mittel- bis langfristig auch die Strom- und Fernwärmeerzeugung dar. Um die Wasserstoffnachfrage hierfür zu berücksichtigen, wurde ein im Stichtag 2040 anteiliger Einsatz von Wasserstoff in Erdgas-KWK-Kraftwerken von 15 % im Referenzszenario bzw. von 25 % im Green-Deal Szenario angenommen. Zusätzlich zukünftig vorhandene Wasserstoffbedarfe im Verkehrssektor wurden nicht betrachtet. Die Ergebnisse können der Abbildung 51 entnommen werden. Hier wird deutlich, dass die Leunawerke im Saalekreis im Bereich Wasserstoff besonders ins Gewicht fallen.

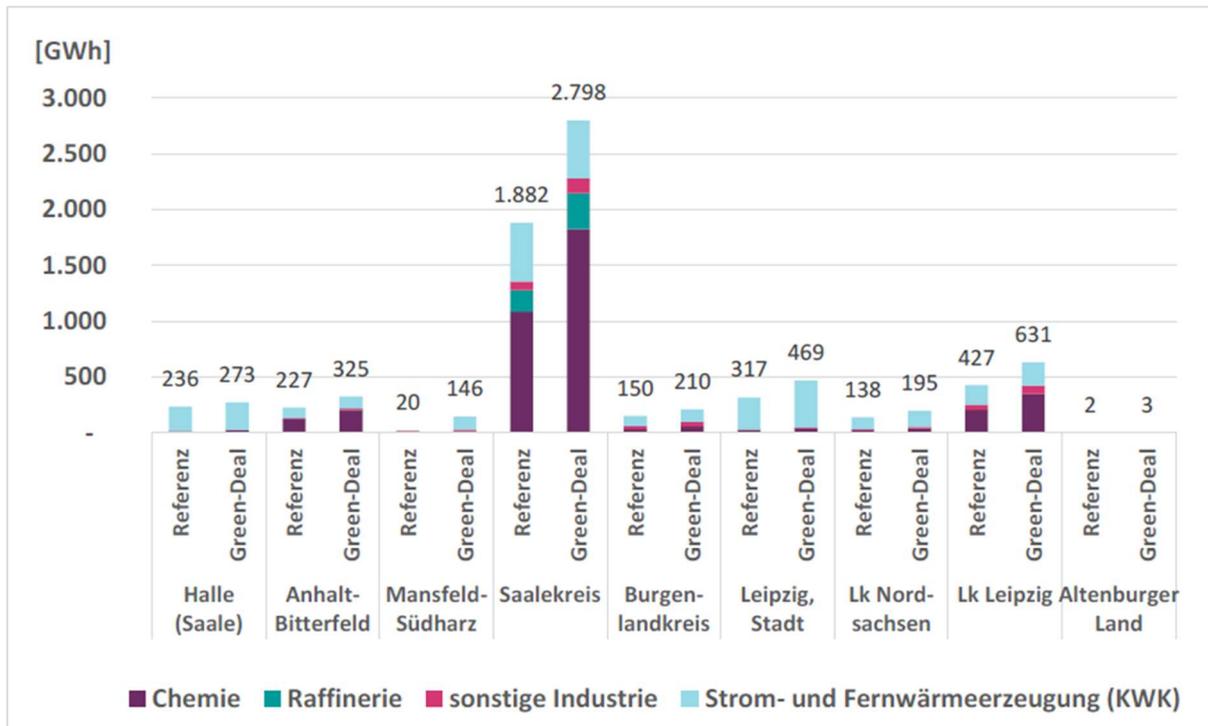


Abbildung 51 CO₂-freier Wasserstoffbedarf im Jahr 2040 in der IRMD nach Sektoren (exkl. Verkehrssektor)

Zusätzlich zur Abschätzung des CO₂-freien Wasserstoffbedarfs wurde auch eine Abschätzung hinsichtlich potenzieller Elektrolyseurkapazitäten und der entsprechenden strombasierten Wasserstoffherzeugung vor Ort vorgenommen. Hierfür wurden für das Referenz- und das Green-Deal-Szenario jeweils die in den beiden Veröffentlichungen [BNetzA 2020] bzw. [Prognos et al. 2020] unterstellten nationalen Elektrolyseurkapazitäten als Basis genutzt und regionalisiert. Zunächst wurde die Stromnachfrage von Power-to-Gas-Anwendungen verwendet, welche auf Ebene der Bundesländer vorliegt. Innerhalb der Bundesländer erfolgte eine Regionalisierung über die jeweilige Bruttowertschöpfung je Landkreis, um Elektrolyseurkapazitäten je Gebietskörperschaft abzuschätzen.

Im Ergebnis wurden für die IRMD im Jahr 2040 insg. ca. 430 MW Elektrolyseurkapazitäten im Referenzszenario bzw. ca. 1.030 MW im Green-Deal Szenario ermittelt. Für das Jahr 2040 wurde ein Strombedarf der Elektrolyseure von insg.ca. 1,51 TWh im Referenzszenario und ca. 2,47 TWh im Green-Deal-Szenario errechnet. Eine Übersicht der Ergebnisse je Gebietskörperschaft für das Jahr 2040 ist in Abbildung 52 dargestellt. Schließlich wurden die CO₂-freien Wasserstoffbedarfsmengen den Erzeugungskapazitäten in der Region gegenübergestellt. Hier weist die IRMD signifikante lokale Versorgungsanteile für das Jahr 2040 auf: Im Referenzszenario werden von ca. 3,4 TWh CO₂-freiem Wasserstoffbedarf ca. 0,96 TWh durch Elektrolyseure gedeckt (Abbildung 53). Dies stellt einen Anteil von ca. 28 % dar. Im Green-Deal-Szenario hingegen werden von ca. 5 TWh CO₂-freiem Wasserstoffbedarf ca. 1,56 TWh durch Elektrolyseure, was einem Deckungsanteil von 31 % entspricht. Trotz der hohen Nachfragemengen in der Region liegen in beiden Szenarien die Versorgungsanteile somit über dem nationalen Durchschnitt von jeweils ca. 22 %. Anzumerken ist hierbei, dass die Regionalisierung der unterstellten Elektrolyseurkapazitäten anhand einer Methodik approximiert wurde, die mittels einer einheitlichen Datenbasis auf alle Gebietskörperschaften der IRMD gleichermaßen angewendet werden konnte. Die tatsächliche regionale Verteilung von Elektrolyseuren wird zukünftig voraussichtlich vom regionalen Bedarf an CO₂-frei erzeugtem Wasserstoff, ebenso wie von regionalen Stromerzeugungsüberschüssen aus erneuerbaren Energien abhängen. Zusätzlich können ggf. regional vorhandene Förderungen eine Wirkung entfalten. Im Ergebnis kann sich die zukünftige Allokation der Elektrolyseurkapazitäten damit von der hier dargestellten Verteilung unterscheiden.

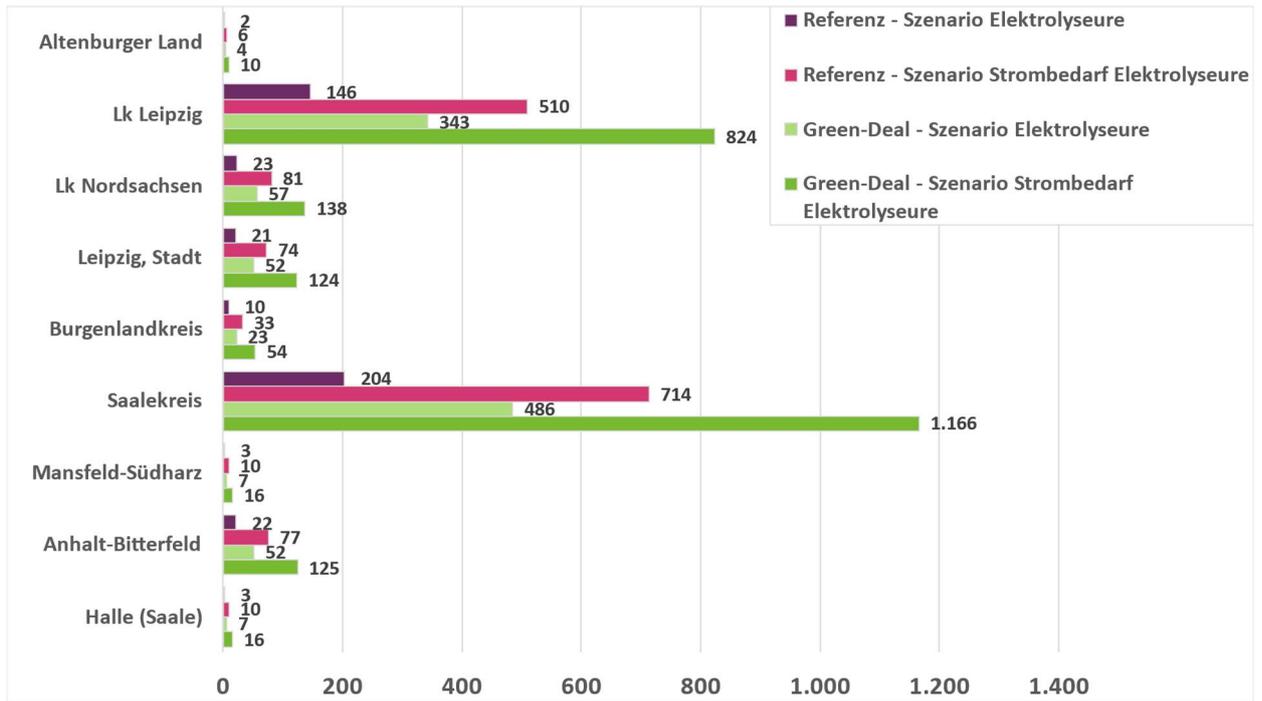


Abbildung 52 Elektrolysekapazitäten und Strombedarfe je Gebietskörperschaft im Jahr 2040

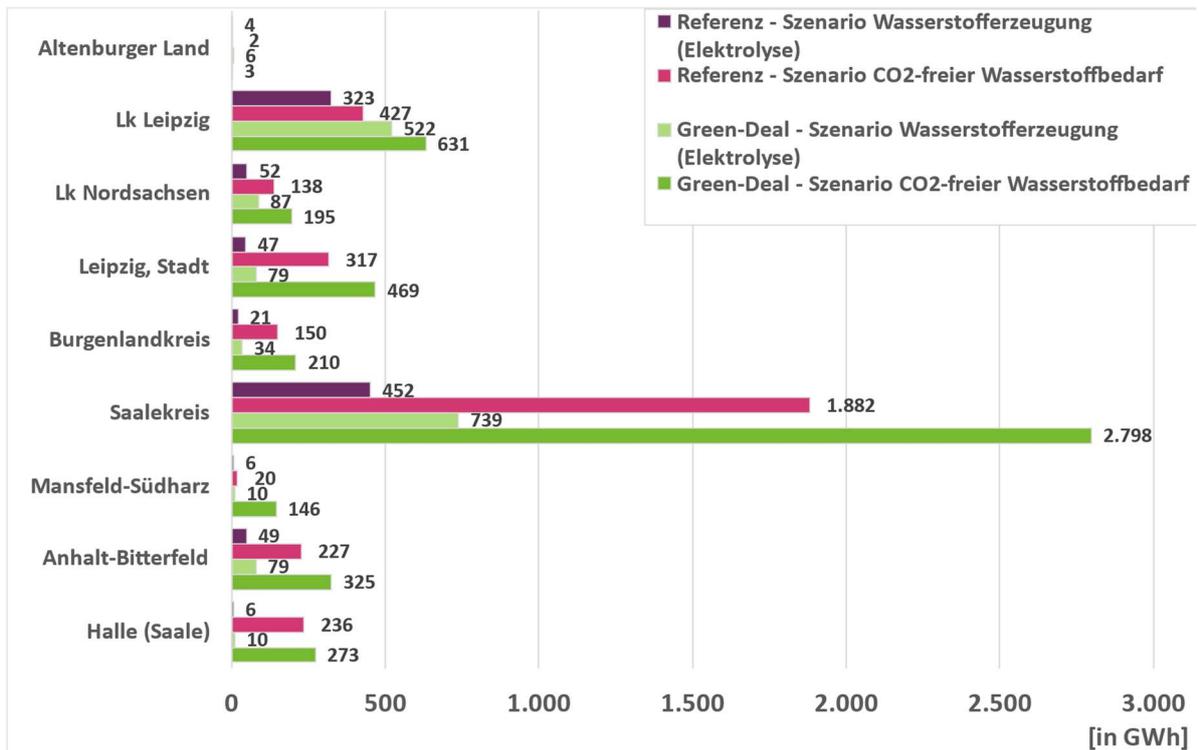


Abbildung 53 Strombasierte Wasserstoffherzeugung und CO₂-freier Wasserstoffbedarf im Jahr 2040 in der IRMD

Stromerzeugung

Bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien werden die getroffenen Annahmen für die jeweiligen Energieträger im Folgenden kurz dargestellt. Bei der Stromerzeugung aus **Wasserkraft** wurde ein Bottum-Up-Ansatz gewählt, d.h. es wurden die Potenziale bzw. bekannten Projekte auf Basis vorliegender Konzepte und Studien berücksichtigt, wie in Kapitel 3 dargestellt. Im Referenzszenario wurden die Projekte mit einer hohen Umsetzungswahrscheinlichkeit berücksichtigt, das Green-Deal-Szenario berücksichtigt noch weitere Vorhaben, deren Umsetzung derzeit noch unsicher ist (Tabelle 13).

In den Szenarien zur Stromerzeugung wurden für die **Photovoltaikanlagen** folgende Annahmen berücksichtigt (Tabelle 14).

Tabelle 13 Annahmen zur Berechnung der Stromerzeugung aus Wasserkraft

Gebietskörperschaft	Zubau bis 2040	Zubau bis 2040
	Referenzszenario	Green-Deal-Szenario
	[kW]	[kW]
Stadt Halle (Saale)	900	1.900
Landkreis Anhalt-Bitterfeld	2.000	2.000
Landkreis Mansfeld-Südharz	-	-
Saalekreis	450	450
Burgenlandkreis		320
Stadt Leipzig	1.000	2.550
Landkreis Nordsachsen		
Landkreis Leipzig		
Altenburger Land		
Summe	4.350	7.220

Tabelle 14 Annahmen zur Berechnung der Stromerzeugung aus Photovoltaik

Anlagentyp	VBN	Flächenbedarf		Theoretisches Flächenpotenzial	
		2021	2040	Referenzszenario	Green-Deal-Szenario
	[h/a]	[MW/ha]	[MW/ha]	[%]	[%]
	[enervis 2020]	[ISE 2020a], [ISE 2021]			
Freiflächenanlagen	980	1,00	1,22	0,50	1,00

Floating-PV	980	1,33	1,55	1,00	2,00
Agri-PV ¹⁴	980	0,60	0,82	0,25	0,50
Agri-PV ¹⁵	1.078	0,25	0,47	0,25	0,50

In den Szenarien für Stromerzeugung aus **Windenergie** wurden folgende Annahmen getroffen: Im Referenzszenario wird eine Potenzialausschöpfung von 90 % und im Green-Deal-Szenario von 100 % berücksichtigt (Tabelle 15).

Tabelle 15 Annahmen zur Berechnung der Stromerzeugung aus Windenergie

Gebietskörperschaft	Installierte Leistung Stromerzeugung		Installierte Leistung Stromerzeugung	
	Referenzszenario 2040		Green-Deal-Szenario 2040	
	[MW]	[GWh]	[MW]	[GWh]
Stadt Halle	0	0	0	0
Landkreis Bitterfeld	358	791	397	879
Landkreis Mansfeld-Südharz	320	720	355	801
Saalekreis	291	700	323	777
Burgenlandkreis	337	710	374	788
Stadt Leipzig	10	16	11	18
Landkreis Nordsachsen	134	266	148	296
Landkreis Leipzig	96	228	107	253
Landkreis Altenburger Land	37	76	41	84
Summe	1.581	3.507	1.756	3.896

Im Bereich **Biomasse** wird in beiden Szenarien insgesamt von einem Rückgang von sowohl der installierten Leistung als auch der Strom- und Wärmeerzeugung ausgegangen: Während Deponiegasanlagen im Prognosezeitraum sukzessive stillgelegt werden, wird für Klärgasanlagen von einem weitergeführten Betrieb der bestehenden Anlagen ausgegangen. Der Betrieb weiterer Biomasseanlagen wird sich zukünftig wirtschaftlich weiterhin schwierig gestalten, insbesondere sobald Anlagen aus dem 20-jährigen Förderzeitraum des EEG fallen. Insgesamt wird damit im Referenzszenario von einem Rückgang der installierten Leistung von 3,75% pro Jahr ausgegangen; im Green-Deal-Szenario wird ein etwas geringerer Rückgang der installierten Leistung in Höhe von 2,5 % pro Jahr unterstellt. Insbesondere aufgrund der weiterhin angereizten Flexibilisierung von Biomasseanlagen sinkt die damit einhergehend unterstellte Strom- und Wärmeerzeugung jeweils noch etwas stärker.

Bei der Stromerzeugung aus **Großkraftwerken** wurden einerseits die bereits bekannten Kraftwerksneu- oder -ersatzbauten (z. B. GuD Leipzig Süd) berücksichtigt. Andererseits wurde angenommen, dass KWK-Anlagen

¹⁴ in überdachender Konstruktionsweise

¹⁵ in senkrecht bifazialer Konstruktionsweise

durch moderne Erdgas-KWK-Anlagen ersetzt werden. Die Verstromung von Braunkohle endet im Referenzszenario im Jahr 2038 (Ausnahme: Kohlechemie-Unternehmen ROMONTA¹⁶). Im Green-Deal-Szenario hingegen wird die Braunkohlenutzung bereits im Jahr 2035 beendet sein. Hierbei stützen sich die Annahmen auf eigene Modellrechnungen mit dem r2b-Strommarktmodell, dessen Ergebnisse in Szenarien mit ähnlichen Annahmen wie dem hier unterstellten Green-Deal-Szenario nahelegen, dass ein Weiterbetrieb der deutschen Braunkohlekraftwerke ab dem Jahr 2035 nicht mehr wirtschaftlich darstellbar ist.

In Abbildung 54 ist die Strombilanz für die gesamte IRMD dargestellt, d. h. eine Gegenüberstellung der Stromerzeugung aus den unterschiedlichen vorhandenen Energieträgern und des Stromverbrauchs in der IRMD. Zusätzlich wird hierbei zwischen dem Stromverbrauch in den klassischen Verbrauchssektoren Haushalte (HH), Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) sowie Verarbeitendes Gewerbe (VG) (vgl. Kapitel Strom- und Wärmebedarf) und dem Stromverbrauch der Sektorkopplungstechnologien (dezentrale Haushaltswärmepumpen, Großwärmepumpen und Seethermie, Elektrodenheizkessel sowie Wasserstoff-Elektrolyse) unterschieden. Es wird ersichtlich, dass der klassische Stromverbrauch im Prognosezeitraum zwar auch leicht ansteigt, der bis 2040 deutlich erkennbare Zuwachs auf der Verbrauchsseite ist jedoch insbesondere auf die steigenden Verbräuche der Sektorkopplungstechnologien im Zeitverlauf zurückzuführen (insg. ca. 3 TWh_{el} im Jahr 2040). Auf der Erzeugungsseite ist die Verstromung von Braunkohle rückläufig, während die erneuerbaren Energien Wind und PV ausgebaut werden. Insbesondere die Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen umfasst bis 2040 den größten Anteil an der Stromerzeugung in der Region. Im Jahr 2040 wurde zudem eine anteilige Wasserstoffnutzung in den Erdgas-KWK-Anlagen i. H. v. 15 % unterstellt (entspricht ca. 0,6 TWh_{el} p.a.). In Summe bleibt die IRMD im Referenzszenario damit bis zum Jahr 2035 Nettoexporteur von Strom, im letzten betrachteten Stichjahr 2040 wird in der Region insgesamt weniger Strom produziert als verbraucht. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung (EE-Anteil an der Erzeugung) steigt von 25 % im Jahr 2020 auf 75 % im Jahr 2040 an.

Im Green-Deal Szenario steigt der klassische Stromverbrauch im Zeitverlauf etwas weniger als im Referenzszenario. Der Stromverbrauch der Sektorkopplungstechnologien steigt dagegen deutlich stärker an als im Referenzszenario (ca. 4 TWh_{el} im Jahr 2040, vgl. Abbildung 55). Zudem endet die Verstromung von Braunkohle schon bereits vor 2035, während die erneuerbaren Energien Wind und PV noch stärker als im Referenzszenario ausgebaut werden. Die Verstromung von Erdgas in KWK-Anlagen ist verglichen mit dem Referenzszenario im Jahr 2040 ca. ein Drittel (ca. 1 TWh_{el}) geringer. Im Green-Deal-Szenario bleibt die IRMD somit bis zum Jahr 2040 durchweg Nettoexporteur von Strom. Der EE-Anteil an der Stromerzeugung steigt von 25 % im Jahr 2020 auf 86 % im Jahr 2040 an. Für das Jahr 2040 wurde dabei auch eine anteilige Wasserstoffnutzung in den Erdgas-KWK-Anlagen i.H.v. 25 % unterstellt (entspricht ca. 0,8 TWh_{el} p.a.).

¹⁶ Im Referenzszenario wird für das Kohlechemie-Unternehmen ROMONTA unterstellt, dass die Verfeuerung der Trockenbraunkohle, die einen Reststoff aus der Montanwachsproduktion darstellt, in deutlich reduziertem Umfang auch nach 2038 im Rahmen einer Sondergenehmigung erfolgt. Im Green-Deal-Szenario wird hingegen unterstellt, dass die Braunkohleanlage ab 2035 mit einem Erdgas-KWK-Ersatz ersetzt wird. Außerdem wird auf Basis des Fachgesprächs mit der ROMONTA die Annahme getroffen, dass eine Genehmigung für die Verbringung der Trockenbraunkohle im Tagebau erteilt oder eine anderweitige technische Lösung etabliert wird. Zudem wird in beiden Szenarien die Inbetriebnahme einer dritten EBS-Linie (EBS = Ersatzbrennstoff) ab 2024 unterstellt (vgl. hierzu: <https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen-anhalt/halle/mansfeld/spatenstich-ersatzbrennstoffkraftwerk-amsdorf-100.html>).

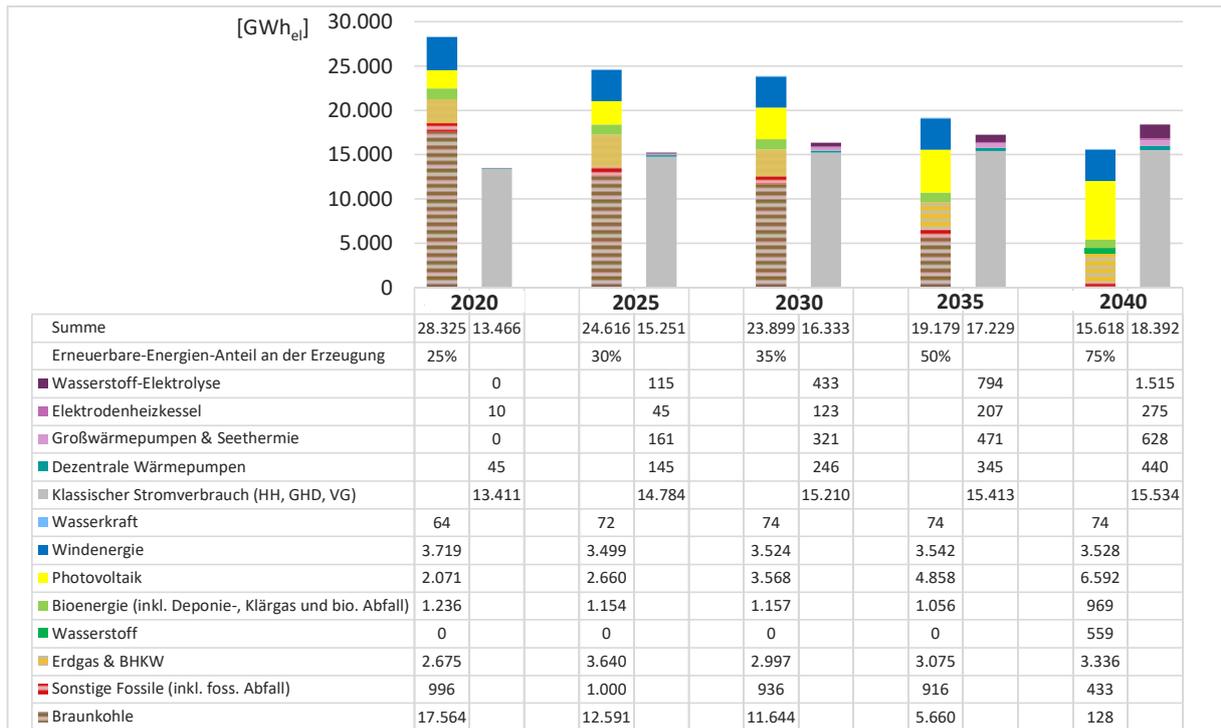


Abbildung 54 Strombilanz (Erzeugung und Verbrauch) in der IRMD - Referenzszenario

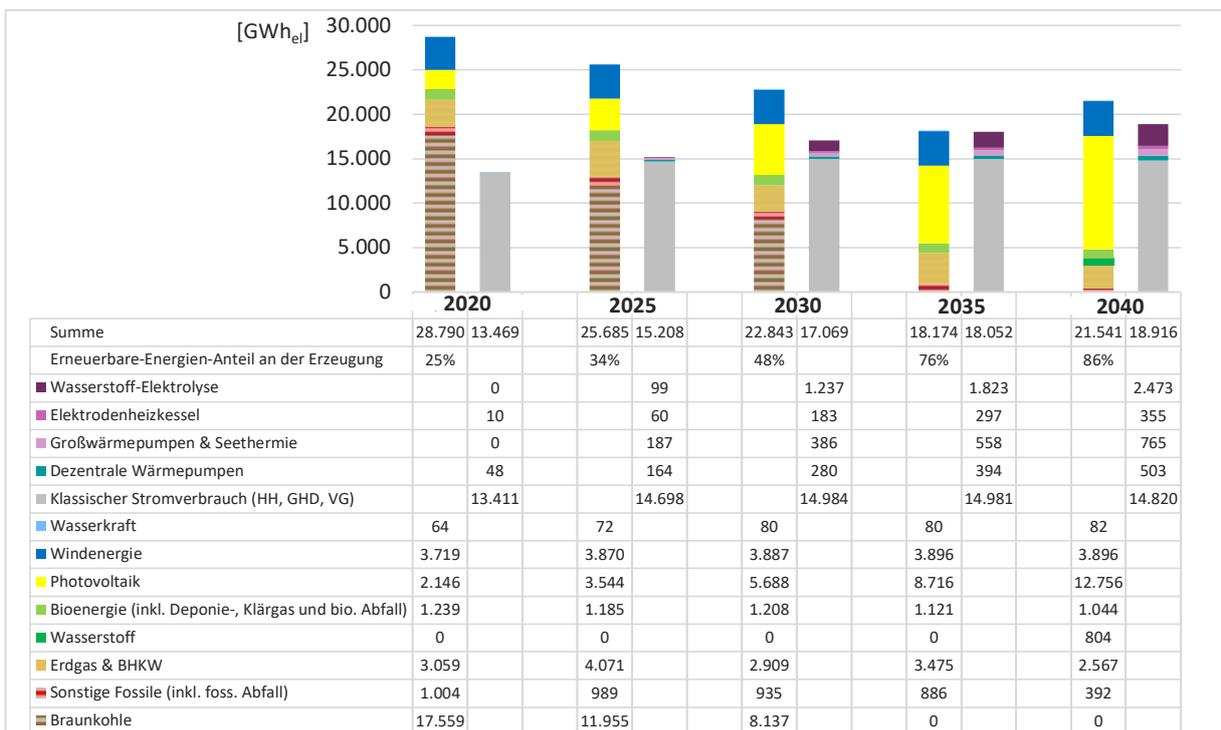


Abbildung 55 Strombilanz (Erzeugung und Verbrauch) in der IRMD - Green-Deal-Szenario

Wärmeerzeugung

Bezüglich der Entwicklung des Fernwärmemix sind lediglich in [Prognos et al. 2020] Angaben gemacht worden, der Szenariorahmen 2021-2035 zum NEP [BNetzA 2020] enthält hierzu keine Angaben. Somit wurde in beiden hier entwickelten Fernwärmeszenarien langfristig eine Entwicklung des Fernwärmemix analog zu den Entwicklungen in [Prognos et al 2021] unterstellt. Zusätzlich wurden – soweit bekannt – bereits geplante Projekte zur Erschließung fossiler und erneuerbarer Wärmequellen auf Basis von Einzelinformationen berücksichtigt.

Im Ergebnis endet im Referenzszenario [vgl. Abbildung 56] die Nutzung von Braunkohle in der Wärmeerzeugung analog zur Stromerzeugung im Jahr 2038 – auch hier mit der Ausnahme des Kohlechemie-Unternehmens ROMONTA (vgl. Ausführungen Abschnitt Stromerzeugung). KWK-Ersatzbauten auf Basis von Erdgas werden unterstellt, wenn diese wärmeseitig erforderlich sind. Der Anteil des fossilen Mülls sowie der Einsatz von Biogas und Deponiegas entwickeln sich rückläufig, während der Einsatz von biogenem Abfall konstant bleibt (unter Berücksichtigung bekannter Neubauten). Zudem wird eine ambitioniert realistische Erschließung neuer Technologien der Wärmebereitstellung unterstellt, wobei bereits einzelne bekannte Projekte berücksichtigt werden konnten. Diese neuen Technologien der Wärmebereitstellung umfassen u.a. den Einsatz von Großwärmepumpen und die Seethermie¹⁷, Solarthermie, Abwärmenutzung und Elektrodenheizkessel. Zudem wird analog zur Stromerzeugung der anteilige Einsatz von 15 % Wasserstoff in Erdgas-KWK-Anlagen unterstellt (entspricht in etwa 0,7 TWh_{th}). Im Ergebnis steigt der Anteil erneuerbarer Energien an der Fernwärmeversorgung im Referenzszenario von 16 % im Jahr 2020 auf 46 % im Jahr 2040. Je Gebietskörperschaft wurden zwei Szenarien zur Wärmeversorgung erarbeitet und anschließend für die IRMD aggregiert. Die Wärmebilanzen der einzelnen Gebietskörperschaften sind dem Anhang zu entnehmen.

Die Fernwärmebilanz für das Green-Deal-Szenario ist in Abbildung 57 dargestellt. Auch hier wird ab dem Jahr 2035 – analog zur Stromerzeugung – keine Braunkohle zur Wärmeerzeugung mehr genutzt. Die Annahmen zu fossilem und biogenem Abfall sowie Deponiegas sind identisch zu den Annahmen des Referenzszenarios, während der Einsatz von Biogas im Green-Deal-Szenario etwas weniger stark rückläufig ist. Bezüglich der Entwicklung neuer Technologien der Wärmebereitstellung (Großwärmepumpen und Seethermie, Solarthermie, Abwärmenutzung und Elektrodenheizkessel) wird eine ambitioniertere Erschließung als im Referenzszenario unterstellt. Dies führt dazu, dass der Umfang des Einsatzes von Erdgas in KWK-Anlagen in der Fernwärme gegenüber dem Referenzszenario ca. um ein Drittel niedriger ist (entspricht ca. 1,4 TWh_{th}). Dementsprechend steigt der Anteil erneuerbarer Energien in der Fernwärmeversorgung von 16 % im Jahr 2020 auf ca. 60 % im Jahr 2040 und damit deutlich stärker als im Referenzszenario.

¹⁷ Nutzung des Wärmepotenzials von (Tagebau-)Seen oder Fließgewässern. Eine aktuelle Studie für die IRMD zeigt, dass die so genannte Seethermie mittels der Vakuum-Flüssigeis-Technologie technologisch, wirtschaftlich und umweltverträglich eingesetzt werden kann sowie grundsätzlich genehmigungsfähig ist. Allein die Seen des Leipziger Neuseenlands und andere geflutete Tagebaue besitzen demnach das Potenzial, um circa 4 Gigawatt thermischer Energie zur Nahwärmeversorgung bereitzustellen. Deutschlandweit könnten so in einem Umkreis von 1 Kilometer rund um alle Seen mit einer Fläche größer 50 Hektar jährlich 58,73 Terrawattstunden (TWh) Wärme durch die Seethermie sich selbst regenerierend erzeugt werden, knapp 5 Prozent des bundesweiten Wärmebedarfs von Haushalten und Industrie [JENA-GEOS 2021].

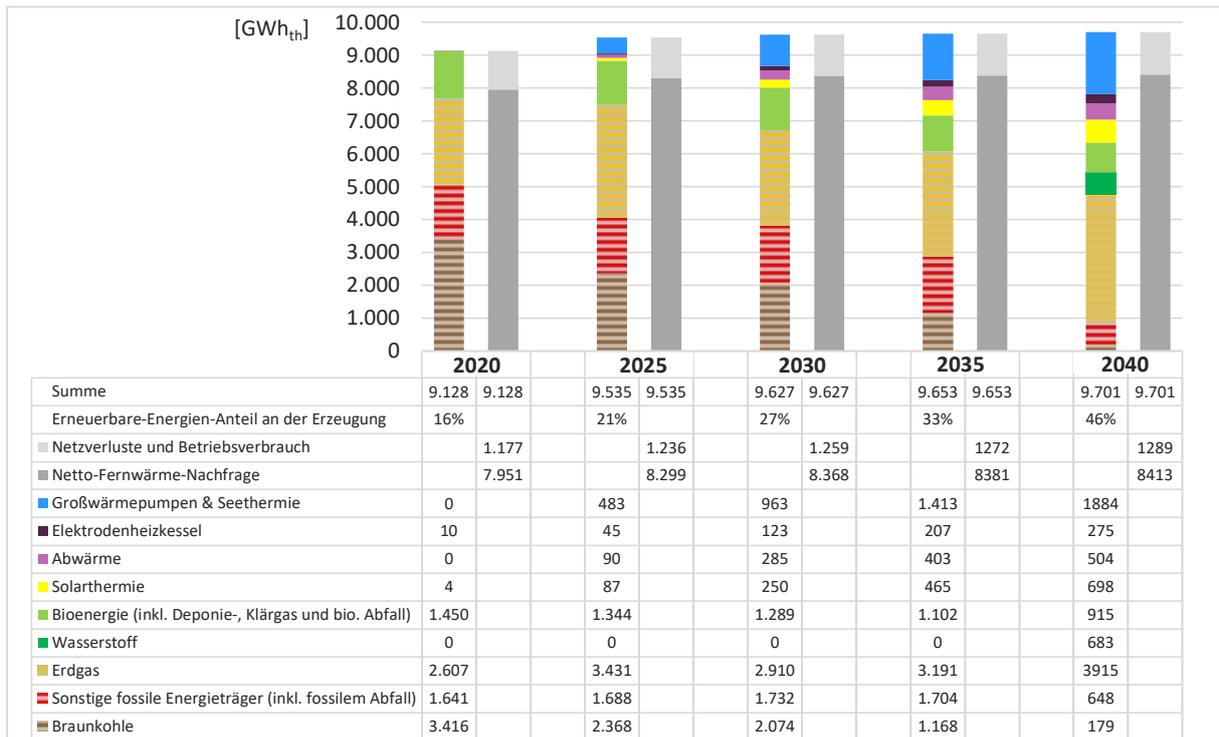


Abbildung 56 Fernwärmebilanz (Erzeugung und Verbrauch) in der IRMD - Referenzszenario

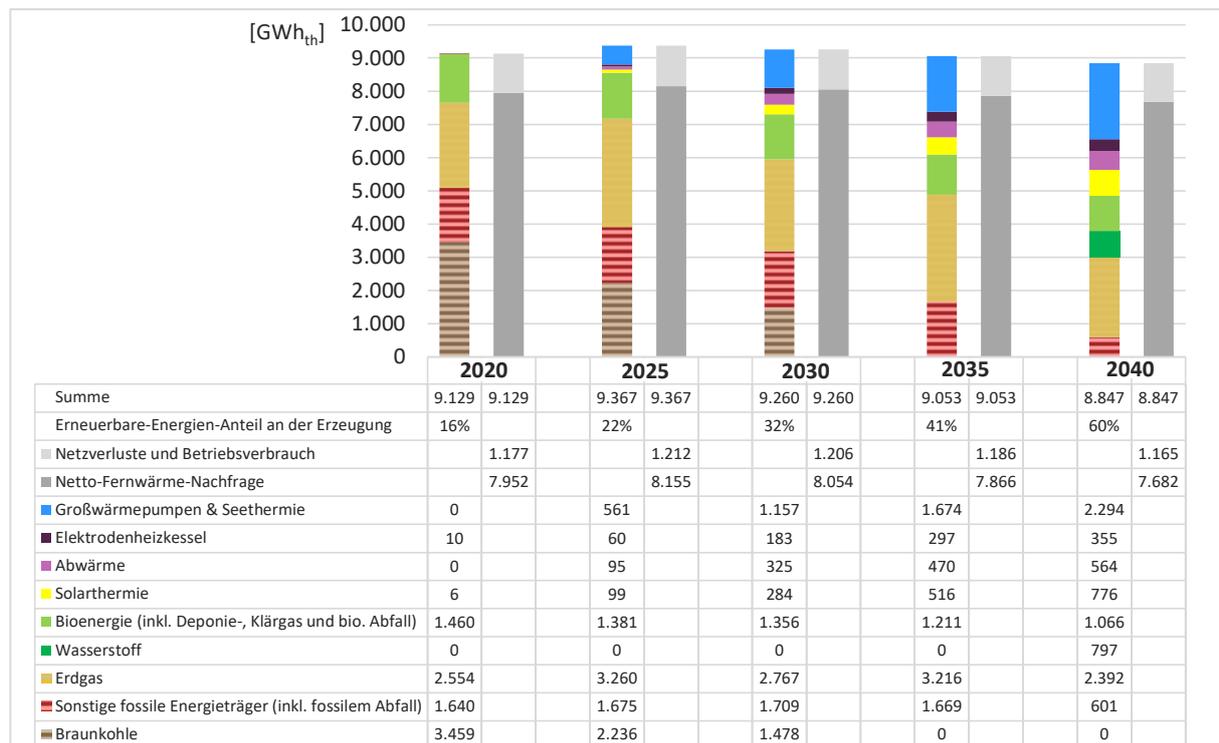


Abbildung 57 Fernwärmebilanz (Erzeugung und Verbrauch) in der IRMD - Green-Deal-Szenario

4.5 Treibhausgasbilanz

Aufbauend auf den Szenarien zur alternativen Strom- und Wärmeerzeugung ohne energetische Verwertung der Braunkohle, wird eine Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz) für die beiden Szenarien erarbeitet. Im Ergebnis stellt die THG-Bilanz die Emissionsminderungen im Jahr 2040 gegenüber 2020 dar.

Zur Erstellung der THG-Bilanz kann grundsätzlich der sogenannte BSKO-Standard angewendet werden. Der BSKO-Standard (Bilanzierungs-Systematik Kommunal) wird mittlerweile im Rahmen der Förderung durch die Nationale Klimaschutzinitiative für Kommunen und Regionen empfohlen. BSKO ist eine endenergiebasierte Territorialbilanz. Erfasst werden alle energiebedingten Treibhausgasemissionen, die auf dem Gebiet der IRMD bzw. der jeweiligen Gebietskörperschaften entstehen. Dazu werden alle auf dem Territorium anfallenden Endenergieverbräuche ermittelt und Verbrauchssektoren zugeordnet. Die Daten werden ohne Witterungskorrektur verwendet. Graue Energie der konsumierten Produkte wird nicht berücksichtigt. Im Rahmen des vorliegenden Energiekonzeptes wird eine vereinfachte THG-Bilanz erarbeitet. Der Verbrauchssektor Kommunale Verwaltung wird nicht gesondert ausgewiesen, sondern im Sektor GHD berücksichtigt. Der Verbrauchssektor Verkehr wird separat in der Integrierten Mobilitätsstudie der IRMD ausführlich betrachtet und bilanziert [PTV et al. 2021].

Über spezifische Emissionsfaktoren werden die Emissionen berechnet. Die Faktoren berücksichtigen Vorketten, beinhalten also auch Emissionen, die z. B. durch den Abbau von Rohstoffen oder deren Transport entstehen. So werden auch erneuerbare Energieträger nicht nur mit einem Emissionsfaktor von „Null“ angesetzt (vgl. Tabelle 16).

Tabelle 16 Emissionsfaktoren weiterer Energieträger in den Szenarien

Daten: Faktoren aus GEMIS 4.94, Energieträger Strom auf Basis Berechnungen r2b

Energieträger	Ist-Stand 2020	Referenzszenario 2040	Green-Deal-Szenario 2040
	[gCO _{2äq} /kWh]	[gCO _{2äq} /kWh]	[gCO _{2äq} /kWh]
Strom (Bundesstrommix)	366	118	23
Mineralölprodukte	318	318	318
Gase	247	247 ¹⁸	247 ¹⁸
Kohlen	411	411	411
Sonstige	330	330	330
Solarthermie	25	25	25
Biomasse (ohne Biokraftstoffe)	22	22	22

Die Emissionen des Stromverbrauchs werden mit dem Gesamtstrommix Deutschland ermittelt. Die Berücksichtigung des Bundesstrommix wird auch im BSKO-Standard gefordert. Für das Jahr 2040 handelt es sich dann um Modellergebnisse auf Basis der beiden erarbeiteten Szenarien.

¹⁸ Entspricht dem Emissionsfaktor für fossiles Erd- und Flüssiggas. Hier erfolgt keine Berücksichtigung von Wasserstoff oder weiteren synthetischen Gasen, denn in den entwickelten Szenarien wird unterstellt, dass Wasserstoff überwiegend in der chemischen Industrie (Prozessbedingte Emissionen – sind aber nicht Bestandteil der vorliegenden Bilanz) und in der Energiezeugung (hier im Rahmen von KWK-Prozessen → vgl. Kapitel Strom- und Wärmeerzeugung) zum Einsatz kommt. Dies spiegelt sich dann wiederum in der Entwicklung der jeweiligen Emissionsfaktoren der Fernwärme wider, d.h. hier wird der Einsatz von Wasserstoff berücksichtigt und auch dargestellt bzw. die Emissionsminderungen bilanziert.

Für die Fernwärme werden die Emissionsintensitäten je Gebietskörperschaft berechnet (vgl. Tabelle 17). Auch dies entspricht dem BSKO-Standard, den lokalen Erzeugungsmix zu berücksichtigen. Konkret werden die Emissionen in der Fernwärmeversorgung mittels der KWK-Wärmeerzeugung je Brennstoff in den einzelnen Gebietskörperschaften ermittelt und entsprechend der jeweiligen Wärmebilanzen berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.4 Energieerzeugung | Wärmeerzeugung und Anhang 3 Wärmebilanzen der Gebietskörperschaften). Die spezifischen Emissionsfaktoren ($\text{gCO}_2/\text{kWh}_{\text{th}}$) der KWK je Brennstoff wurden aus [Prognos et al 2019] entnommen.

Tabelle 17 Emissionsfaktor Fernwärme der Gebietskörperschaften in den Szenarien
Daten: Berechnung r2b & auf Basis [Prognos et al 2019]

Gebietskörperschaft	Ist-Stand 2020	Referenzszenario 2040	Green-Deal-Szenario 2040
	[$\text{gCO}_{2\text{äq}}/\text{kWh}$]	[$\text{gCO}_{2\text{äq}}/\text{kWh}$]	[$\text{gCO}_{2\text{äq}}/\text{kWh}$]
Stadt Halle	196	118	75
Landkreis Anhalt-Bitterfeld	173	105	65
Landkreis Mansfeld-Südharz	270	156	96
Saalekreis	294	166	130
Burgenlandkreis	278	86	36
Stadt Leipzig	175	118	80
Landkreis Nordsachsen	96	82	50
Landkreis Leipzig	363	116	66
Altenburger Land	67	68	8
Summe	261	126	84

Nicht-energetische Emissionen aus den Bereichen Land- und Abfallwirtschaft, Abwasser sowie industrielle Prozessemissionen sind in der Bilanz nicht berücksichtigt.

Entwicklung der Emissionen nach Verbrauchssektoren

Zunächst werden die Ergebnisse nach Verbrauchssektoren für die beiden Szenarien vorgestellt (Abbildung 58, Abbildung 59 und Abbildung 60). Bis zum Jahr 2040 reduzieren sich die Emissionen im Referenzszenario insgesamt um 55 % bzw. um ca. 7,1 Mio. t $\text{CO}_{2\text{äq}}$ auf 5,7 Mio. t $\text{CO}_{2\text{äq}}$ gegenüber dem Jahr 2020. Die prozentuale Verteilung der Sektoren ändert sich. Der Anteil des Verarbeitenden Gewerbes steigt von 53 % im Jahr 2020 auf 62 % im Jahr 2040. Haushalte sowie GHD verlieren jeweils Prozentpunkt. Im Green-Deal-Szenario sinken die Emissionen um 74 % bzw. um ca. 9,4 Mio. t $\text{CO}_{2\text{äq}}$ auf 3,4 Mio. t $\text{CO}_{2\text{äq}}$ im Jahr 2040, wobei sich die Anteile nochmal verschieben, indem der Anteil des Verarbeitenden Gewerbes auf 66 % steigt und sich Haushalte und GHD entsprechend reduzieren. Die Emissionen der Haushalte sinken im Referenzszenario um 62 % auf 1,3 Mio. t $\text{CO}_{2\text{äq}}$, im Green-Deal-Szenario um 79 % auf 0,7 Mio. t $\text{CO}_{2\text{äq}}$. Hauptursachen hierfür sind die neben der Verbrauchsreduktion aufgrund negativer Entwicklung der Gesamtbevölkerung und ein Rückgang der Wohnflächen die Energieträgersubstitution bei den Heizsystemen und der sinkende Emissionsfaktor bzw. sinkende Emissionen im Stromverbrauch. Im Bereich GHD ergibt sich ebenfalls ein Rückgang von 67 bzw. 84 % von 2020 bis 2040. Auch hier werden Einspareffekte durch Verbrauchsminderung, aber im Besonderen durch Energieträgersubstitution erzielt.

Bei Betrachtung der Entwicklung der Emissionen in den Gebietskörperschaften sind wiederum signifikante Unterschiede festzustellen (Abbildung 61, Abbildung 62 und Abbildung 63). Die größten Minderungen erzielt der Burgenlandkreis (Referenz: -68 % und Green-Deal: -84 %). Die Hauptursachen sind Energieträgersubstitution und Endenergieeinsparung aufgrund sinkender Bevölkerungszahlen und Wohnflächen sowie eine nicht so stark wachsende Wirtschaft wie in anderen Landkreisen. Ähnliche Tendenzen sind aber auch für den Landkreis Mansfeld-Südharz (Reduktion der Emissionen um 62 % im Referenzszenario bzw. 79 % im Green-Deal-Szenario) und das Altenburger Land (-65 % im Referenzszenario bzw. -84 % im Green-Deal-Szenario) festzustellen.

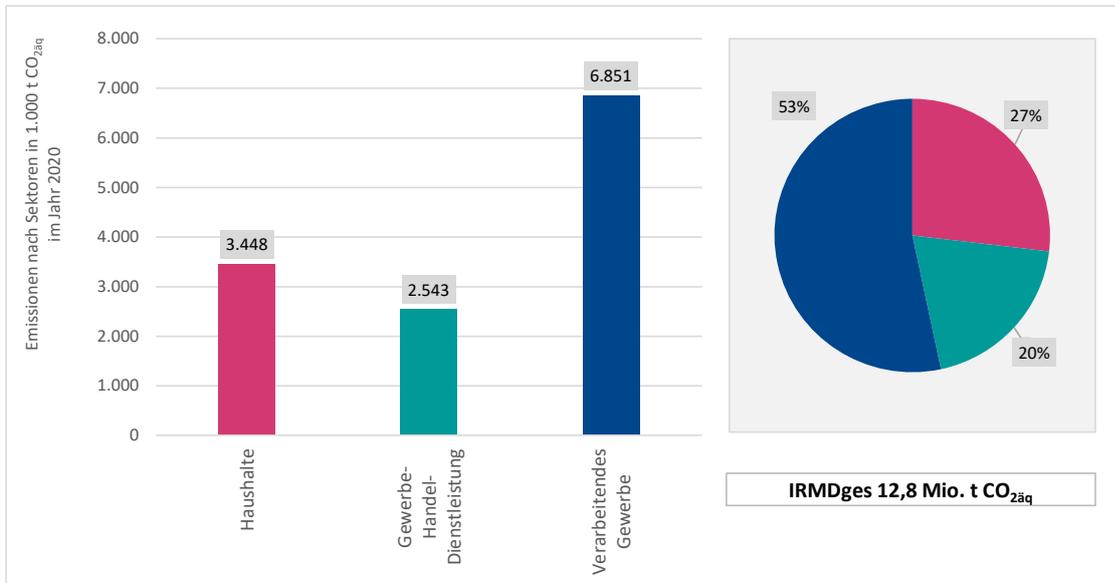


Abbildung 58 Emissionen in der IRMD (gesamt) nach Sektoren im Jahr 2020

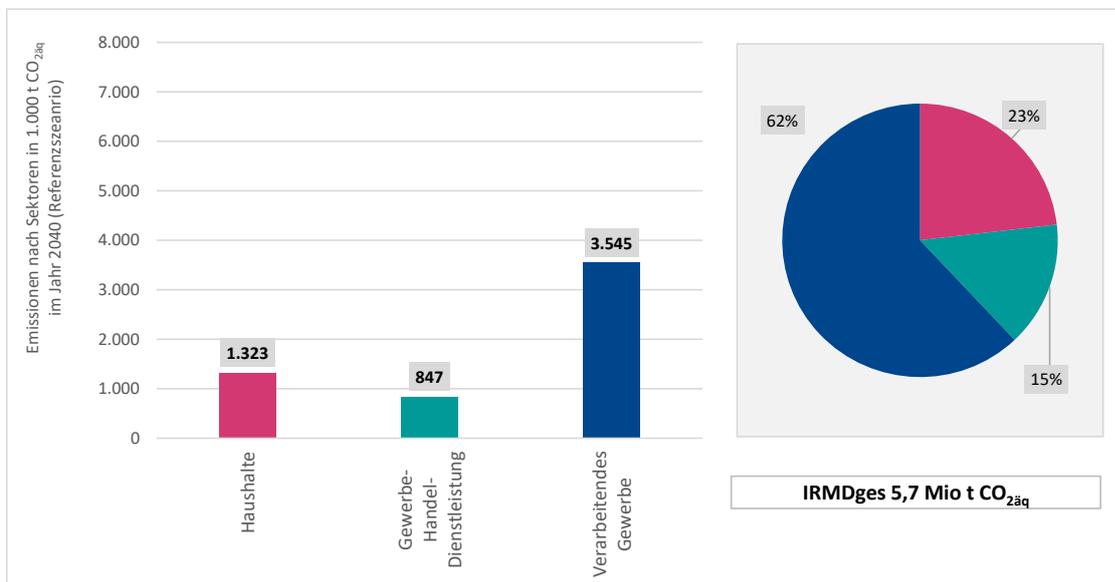


Abbildung 59 Emissionen in der IRMD (gesamt) nach Sektoren im Jahr 2040 - Referenzszenario

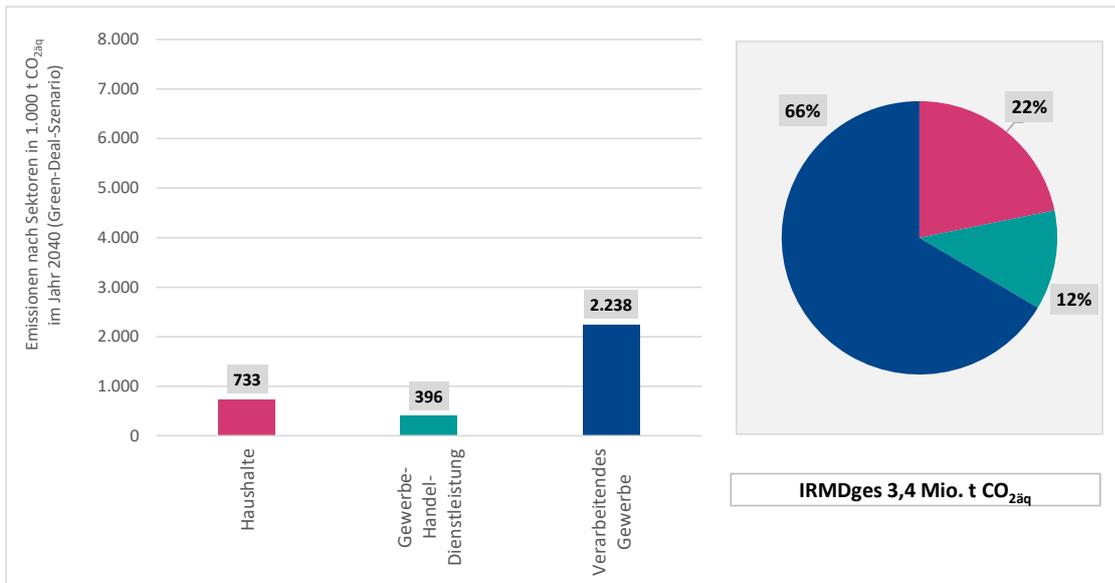


Abbildung 60 Emissionen in der IRMD (gesamt) nach Sektoren im Jahr 2040 – Green-Deal-Szenario

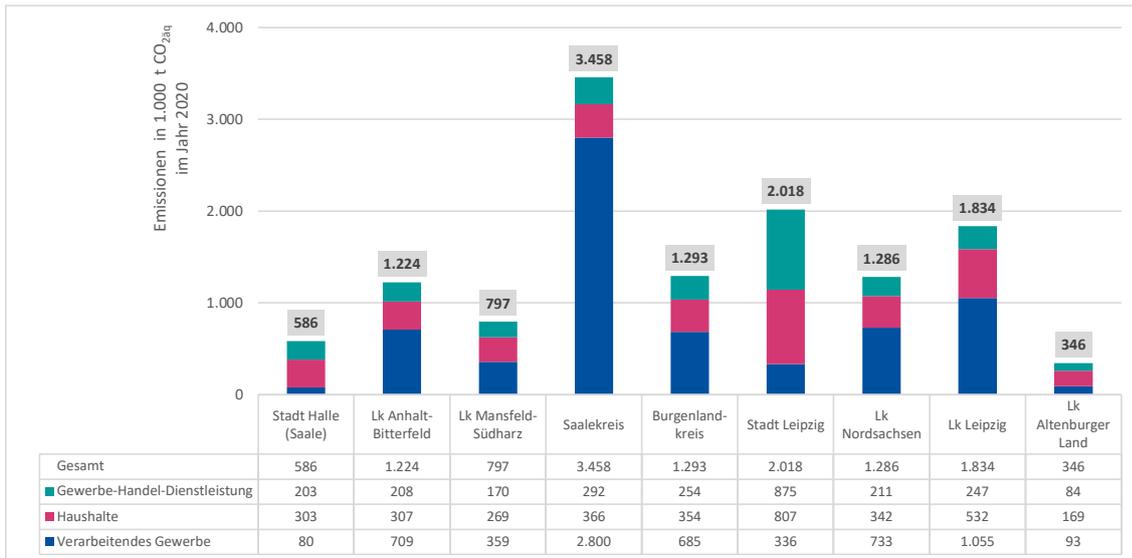


Abbildung 61 Emissionen in den Gebietskörperschaften nach Sektoren im Jahr 2020

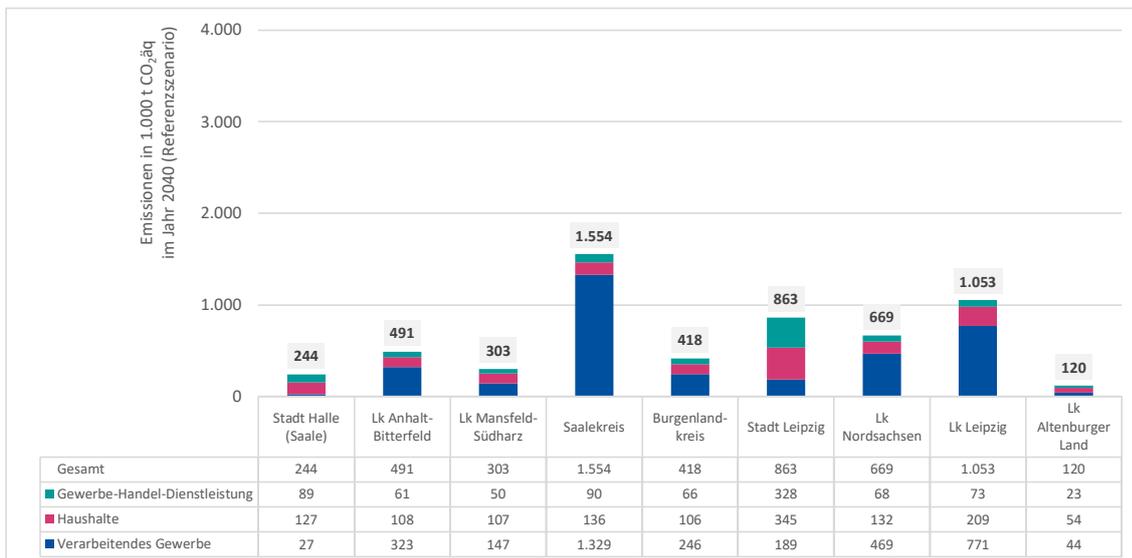


Abbildung 62 Emissionen in den Gebietskörperschaften nach Sektoren im Jahr 2040 – Referenzszenario

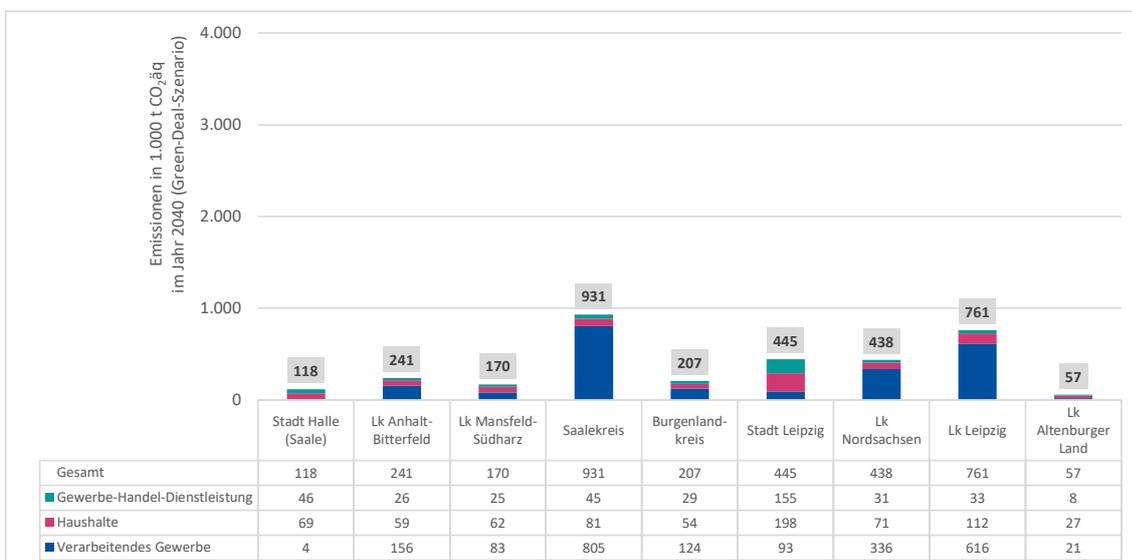


Abbildung 63 Emissionen in den Gebietskörperschaften nach Sektoren im Jahr 2040 – Green-Deal-Szenario

Entwicklung der Emissionen nach Energieträgern

Entscheidend für die Minderung der Emissionen ist die Substitution der fossilen Energieträger. Bei Betrachtung der Emissionen nach Energieträgern ist die Verschiebung der prozentualen Anteile ganz entscheidend für die erreichbaren Emissions-reduktionen (Abbildung 64, Abbildung 65 und Abbildung 66).

Die Abkehr von Heizöl und Erdgas und der Ausbau von Fernwärme (dann auf Basis erneuerbarer Energien, vgl. Kapitel 4.4) sind die zentralen Annahmen der beiden Szenarien. Die Szenarien unterscheiden sich hier nur in der Geschwindigkeit der Umsetzung. Kohle spielt in beiden Szenarien im Jahr 2040 keine Rolle mehr. Während im Jahr 2020 die fossilen Energieträger (Mineralölprodukte und Gase sowie Sonstige) ca. 5,7 Mio. t CO_{2äq} emittieren, reduzieren sie sich im Referenzszenario auf 2,7 Mio. t CO_{2äq} und im Green-Deal-Szenario auf 2,3 Mio. t CO_{2äq}. Prozentual gesehen, steigt aber ihr Anteil, da sich auch die Emissionen der Energieträger Strom und Fernwärme in den beiden Szenarien deutlich reduzieren.

Die Entwicklung der Emissionen nach Energieträgern in den einzelnen Gebietskörperschaften zeigt, dass die Verdrängung der fossilen Energieträger (Mineralölprodukte) entscheidend für die jeweiligen Emissionsminderungen ist. Gebietskörperschaften mit einem hohen Bedarf an Mineralölprodukten (besonders aus dem Sektor Verarbeitenden Gewerbe) stehen hier vor großen Herausforderungen. Im Verarbeitenden Gewerbe ist es von entscheidender Bedeutung, inwieweit der Energieträger Strom die fossilen Energieträger substituieren kann (Abbildung 67, Abbildung 68 und Abbildung 69). Aber auch der Ausbau der (erneuerbaren) Fernwärme ist ein wichtiger Baustein um fossile Energieträger zu verdrängen und Emissionen zu mindern.

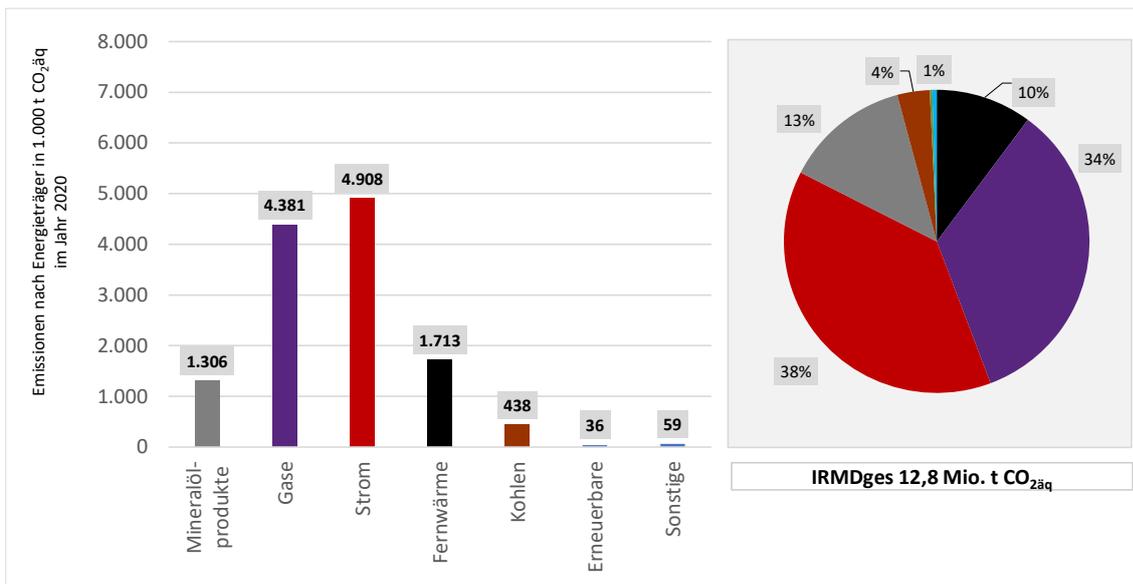


Abbildung 64 Emissionen in der IRMD (gesamt) nach Energieträger im Jahr 2020

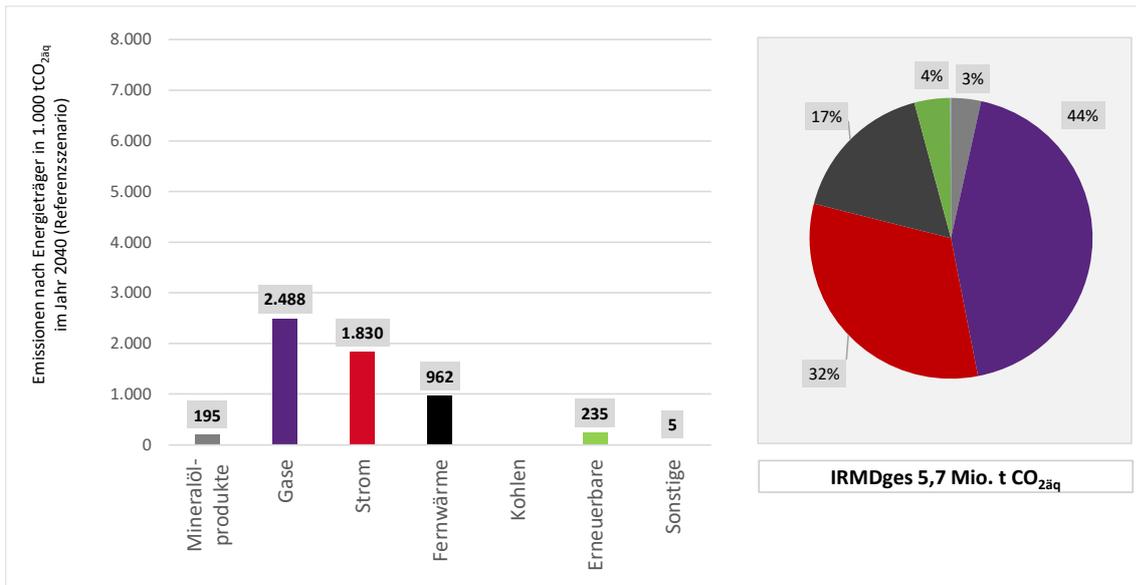


Abbildung 65 Emissionen in der IRMD (gesamt) nach Energieträger im Jahr 2040 – Referenzszenario

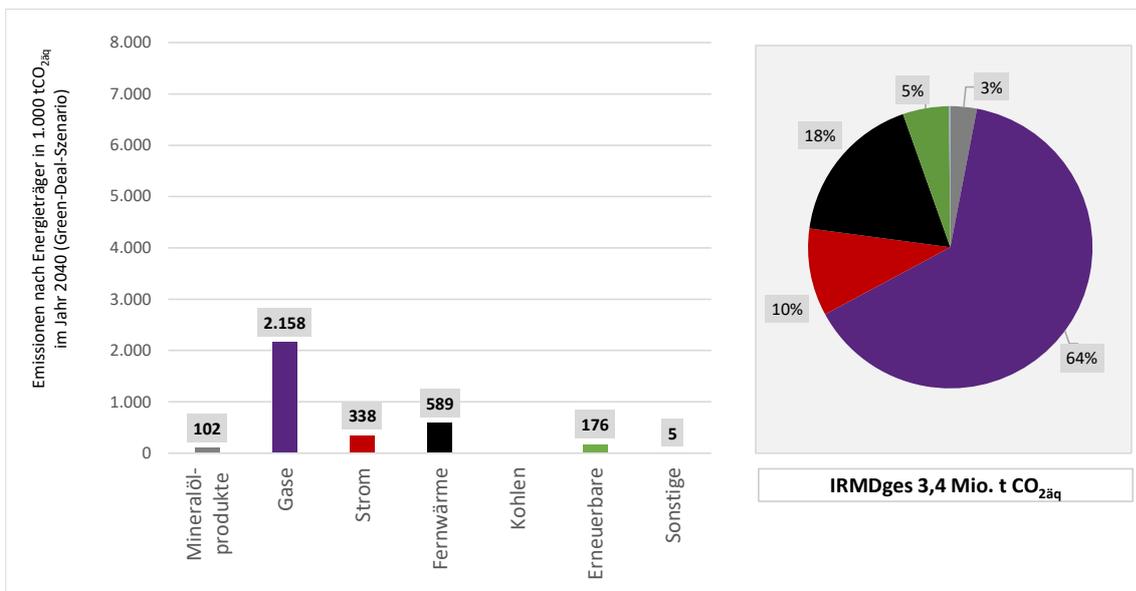


Abbildung 66 Emissionen in der IRMD (gesamt) nach Energieträger im Jahr 2040 – Green-Deal-Szenario

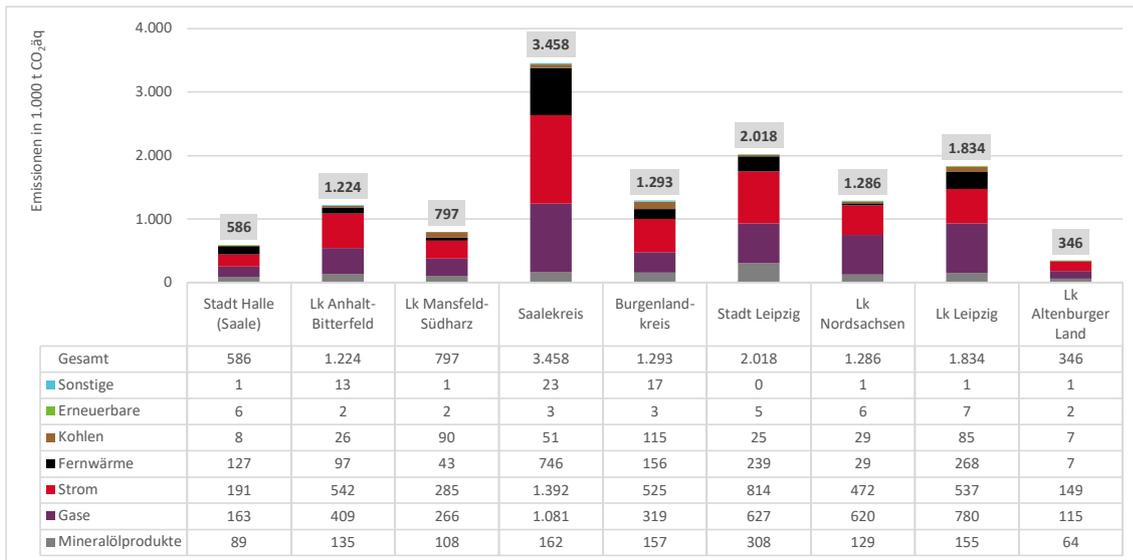


Abbildung 67 Emissionen in den Gebietskörperschaften nach Energieträger im Jahr 2020

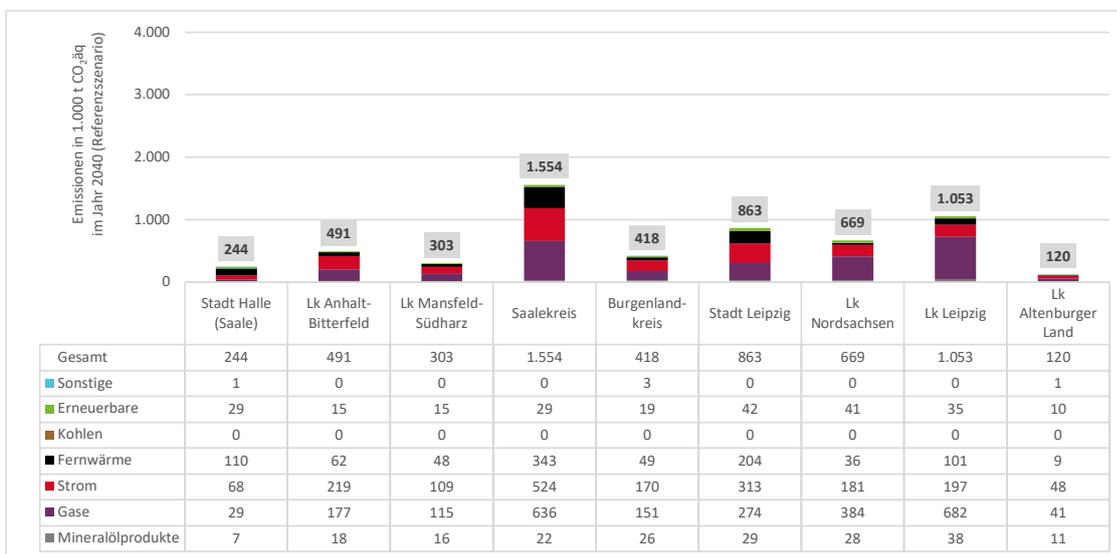


Abbildung 68 Emissionen in den Gebietskörperschaften nach Energieträger im Jahr 2040 – Referenzszenario

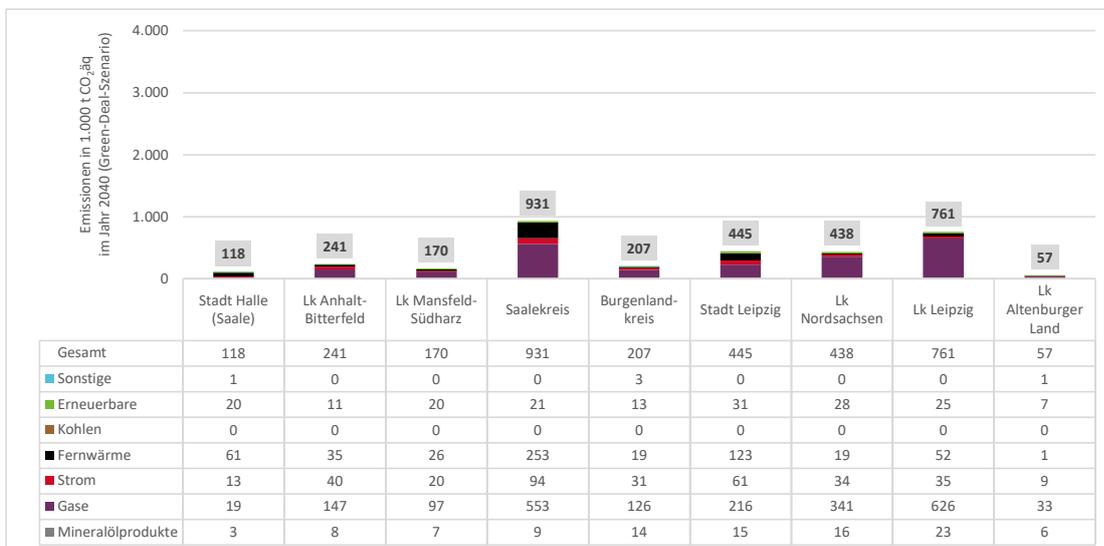


Abbildung 69 Emissionen in den Gebietskörperschaften nach Energieträger im Jahr 2040 – Green-Deal-Szenario

5. Fazit & Handlungsempfehlungen

Im Ergebnis zeigen die entwickelten Szenarien zur Stromerzeugung, dass die Innovationsregion Mitteldeutschland trotz Kohleausstieg auch zukünftig ihren Status als Nettostromexporteur behaupten kann. Voraussetzung hierfür ist ein ambitionierter Ausbau der Stromerzeugungskapazitäten aus erneuerbaren Energien, wobei der Photovoltaik hierbei vor dem Hintergrund der bestehenden Restriktionen beim Windenergieausbau eine besondere Bedeutung zufällt. Dies bedeutet gleichzeitig, dass auch die mit der heutigen hohen Stromerzeugung einhergehende Wertschöpfung zukünftig in der Region gehalten werden kann, sofern es gelingt, die vorhandenen hohen Potenziale insb. beim PV-Ausbau zu nutzen. Gerade die noch relativ neuen Technologien Agri- und Floating-PV bieten hier ggf. hohe Potenziale.

Auch die Fernwärmeerzeugung kann sowohl im entwickelten Referenzszenario als auch in einem noch ambitionierteren Green-Deal-Szenario gesichert, ohne Wärmeerzeugung aus Braunkohle dargestellt werden. Voraussetzung ist auch hier die Integration der erneuerbaren Energien sowie von Power-to-Heat-Technologien in die Wärmeversorgungskonzepte. Erste Schritte werden hierfür aktuell bspw. mit der Inbetriebnahme von Solarthermieanlagen oder in Form der Planung von Seethermie-Projekten bereits unternommen.

Aspekte der Versorgungssicherheit fanden in der Simulation keine Berücksichtigung. Die Bedarfe von Stromspeichern und weiteren Flexibilitätsoptionen wurden im Kapitel 3.3 Sektorenkopplung behandelt.

Zusammenfassend können folgende Handlungsempfehlungen für die untersuchten Bereiche abgeleitet werden:

Handlungsempfehlungen Wärme- und im Besonderen Fernwärmeversorgung:

- Förderung strategischer kommunaler Wärmeplanung
- Ausbau der Fernwärmeinfrastruktur
- Regulierung von Wärmenetzen
- Wärmenetz-Transformationspläne
- Übergreifende Instrumente für eine klimaneutrale / grüne Fernwärme
- Förderung von Technologieoffenheit in der Wärmeversorgung
- Umbau des KWKG; Förderung von iKWK-Anlagen, um erforderliche Temperaturniveaus auch mit hohen Anteilen erneuerbarer Wärme gewährleisten zu können
- Regulierungsrahmen für den Ausstieg aus der Gasversorgung

Handlungsempfehlungen konventionelle Stromversorgung und KWK-Stromerzeugung:

- Konventionelle Stromerzeugung ausschließlich in KWK-Anlagen
- Umbau des KWKG / künftige KWK-Anlagen sollten H₂-ready sein
- Flexibilisierung der KWK mittels PtH und Wärmespeichern
- Stärkung des Preissignals des Strommarktes, um Anreize zur Flexibilisierung der Stromnachfrage zu setzen
- Überarbeitung der Regelungen zu Netzentgelten (gleichmäßiger Bezug wird belohnt)
- Abschaffung weitere Bestandteile des Endkundenpreises für Strom (z. B. Stromsteuer, EEG-Umlage)

Handlungsempfehlungen für den Bereich Gebäude nach [Prognos et al. 2020]:

- ➔ Weiterentwicklung des Gebäudeenergierechts → Gebäudestandards rechtlich verankern
- ➔ Förderung ordnungsrechtlich zwingender Maßnahmen
- ➔ Verschärfung der Nachrüstpflicht für alte Heizkessel sowie Installationsverbot für Heizölkessel, möglicherweise auch eine Ausweitung des Verbotes auf Gaskessel
- ➔ Streichung der EEG-Umlage für Wärmepumpen-Strom
- ➔ Neue Regelungen und Gesetze sollten mit mehr Vorlauf angekündigt und sukzessiv erhöht werden
- ➔ Stärkung des gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplans (iSFP)
- ➔ Vereinfachung der Beantragung von Fördermitteln
- ➔ Reform der Modernisierungsumlage für eine gerechte Verteilung der Mehrkosten

Handlungsempfehlungen zum Ausbau der erneuerbaren Energien

Windenergie

Die Potenzialanalyse hat aufgezeigt, dass selbst bei 100 % Ausschöpfung des vorhandenen Ausbaupotenzials die Stromerzeugung aus Windenergie bis 2040 rückläufig wäre. Viele der derzeitigen Bestandsanlagen werden voraussichtlich bis 2040 aufgrund ihres Alters (deutlich über 20 Jahre) außer Betrieb genommen. Ein Repowering ist nur teilweise möglich, da sich viele dieser Anlagen außerhalb der derzeit ausgewiesenen Vorkang- und Eignungsgebiete zur Windenergienutzung befinden. Das Potenzial neu ausgewiesener Flächen kann dies voraussichtlich nicht kompensieren. Die Installation und der Betrieb von Windenergieanlagen im Wald ist derzeit in der IRMD nicht zulässig.

Handlungsempfehlungen Windenergie:

- ➔ Änderung der vorhandenen Flächenrestriktionen

Photovoltaik:

Im vorliegenden Konzept wurde aufgezeigt, dass für den Photovoltaikausbau in der IRMD erhebliche Flächenpotenziale vorhanden sind. Im Rahmen der Potenzialanalyse für PV-Dachanlagen wurde das technisch maximal erschließbare Potenzial von PV-Aufdachanlagen mit Hilfe einer Bottom-Up-Analyse ermittelt und Bestandsanlagen sowie Nutzungskonkurrenzen berücksichtigt. Im Ergebnis beläuft sich das so hergeleitete technische Gesamtpotenzial für PV-Aufdachanlagen in der IRMD auf insg. 6,3 GW_p, wovon 5,5 GW_p noch erschließbar sind. Im Bereich der Freiflächenphotovoltaik ergeben sich mit zunehmendem Flächenausbau auch größere Akzeptanzprobleme auf Grund von Flächenkonkurrenzen. Um den PV-Ausbau voranzutreiben, müssen insbesondere bei den innovativen Ansätzen zur Reduktion von Flächenkonkurrenzen (Agri-PV, Floating-PV, Parkplatzüberdachungen) Anpassungen der Rahmenbedingungen umgesetzt werden. So treten im Rahmen der Innovationsausschreibungen des EEG die unterschiedlichen Technologieansätze der Agri-, Floating- und Gebäudeintegrierten PV-Anlagen in Konkurrenz. Da die Stromgestehungskosten auf Grund des sich voneinander unterscheidenden Planungs- und Installationsaufwands stark variieren, wäre eine weitere Segmentierung der Innovationsausschreibungen nach Technologien zielführend, um die Entwicklung aller Technologien gleichermaßen voranzubringen.

Handlungsempfehlungen Photovoltaik:

- ➔ Weitere Segmentierung der Innovationsausschreibungen nach EEG (wegen ungleicher Stromgestehungskosten der einzelnen Technologien)
- ➔ Erhöhung der jährlichen Ausschreibungsvolumina der EEG-Anlagen (bisher alle Ausschreibungsrunden überzeichnet)
- ➔ Erhöhung der Maximalgröße von EEG-Anlagen auf bspw. 30 MW
- ➔ Vereinfachung der Etablierung von Mieterstrommodellen, um PV auf Mehrfamilienhäusern verstärkt nutzen zu können

Handlungsempfehlungen Floating-PV:

- ➔ Tagebaurestseen unterliegen Bergaufsicht – teilweise Uneinigkeit über rechtliche Grundlage (Wasserrecht vs. Baurecht)
- ➔ PV auch unter Bergrecht möglich, ggf. Sonderbetriebspläne (abhängig von Bergbaubehörde)

Handlungsempfehlungen für den Bereich Agri-Photovoltaik nach [ISE 2020]:

- ➔ Explizite Privilegierung von Agri-PV-Anlagen gemäß § 35 Abs. 1 BauGB, um Genehmigungsverfahren zu erleichtern (öffentliche Belange werden durch Agri-PV-Anlagen kaum berührt)
- ➔ Unsicherheiten im Zusammenhang mit bauplanerischen Festsetzungsmöglichkeiten kann mit der Einführung eines „Sondergebiets für Agri-PV“ in der BauNVO entgegengewirkt werden
- ➔ Analog zum 1.000-Dächer-Programm für PV-Anlagen in den 1990er Jahren könnte bspw. ein 100-Äcker-Programm die Forschung und Entwicklung der Agri-PV-Technologie stark vorantreiben
- ➔ Anerkennung in der Direktzahlungen-Durchführungsverordnung (DirektZahlDurchV), um Flächenprämien für landwirtschaftliche Betriebe auch bei Doppelnutzung der Flächen zur Landwirtschaft und Stromproduktion zu erhalten

Handlungsempfehlungen für Biomasse / Müllverbrennungsanlagen / Deponie- und Klärgas etc.

- ➔ Effiziente Reststoffnutzung für energetische und stoffliche Nutzung forcieren und Nutzungspotenziale für Region prüfen:
 - Ausbau der energetischen Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe (u. a. Gülle, Festmist, Stroh, sonstige Ernterückstände) in Kombination mit stofflicher Nutzung (Rückführung Gärprodukt als Dünger)
 - stärkere Anreize für den Einsatz alternativer Biomasse, Nutzung alternativer Substrate (u. a. Zwischenfrüchte, Substrate auf ertragsmindernden Flächen, Aufwüchse von Ackerrand- und Blühstreifen, Dauergrünland), aquatische Biomasse
 - Ausbau der energetischen Nutzung kommunaler Rest- und Abfallstoffe, u. a.
 - Bioabfallvergärung von getrennt erfassten Biogut (Biotonne), Grünschnitt, Strauchschnitt, Park- und Gartenabfälle, Landschaftspflegematerialien) in Kombination mit stofflichen Nutzungen
 - Ausbau von Bioabfallvergärungskapazitäten / Erweiterung von Kompostierungsanlagen mit Vergärungsstufe
 - Behandlung von holzigen Substraten für die Bereitstellung von Torfersatzstoffen



- Energetische Nutzung industrieller Rest- und Abfallstoffe (u. a. organische Abfälle der Lebensmittelverarbeitenden Industriestandorte, Reststoffe der Bioethanol- und Biodieselanlagen)
- Effiziente Klärschlammverwertung über die energetische Nutzung von ausgefaultem Klärschlamm mittels Hydrothormaler Carbonisierung (HTC) und Phosphorrückgewinnung
- ➔ Anpassung aktueller Rahmenbedingungen, u.a. EEG-Umlage für alle Eigenbedarfsnutzungen aufheben (Anreize für Eigenbedarfskonzepte werden so stärker gefördert); bürokratische Hürden minimieren (u.a. Netzzugang); Transformation des Energiesystems durch Ausbau der EEG-Förderung unterstützen (u.a. Flexibilisierung, Mehrwerte für Ökosystemdienstleistungen, erhöhtes Ausschreibungsvolumen für Biomasse, Einbindung von Nachhaltigkeitskriterien)
- ➔ Ausbau erneuerbarer Gase (sowohl für Biomethan als auch biogene synthetische EE-Gase, u. a. Bio-SNG, Wasserstoff) fördern
 - Biomethan-KWK (besonders in urbanen Räumen mit Gasinfrastruktur): Flexibilisierung (z.B. zur Netzstabilisierung) in „klassischer KWK“ (z.B. Wärmespeicher und Nahwärmenetze) und Biomethan-KWK, Bestandteil der „Wärmewende“ (effiziente Strom-Wärme-Systeme), Flexibilität mit hoher Wärmenutzung
 - Biomethan als Kraftstoff (CNG/LNG, perspektivisch Brennstoffzelle), wo elektrische Alternativen schwer realisierbar sind (u.a. Agrar-Kraftstoff, Schifffahrt, Flugverkehr)
 - Biomethan für Industrieprozesse (Prozessdampf), wo Umstellung auf Strom schwierig

Weitere Handlungsempfehlungen:

Handlungsempfehlung Sektorenkopplung:

- ➔ Flexibilisierung der KWK mittels PtH und Wärmespeichern
- ➔ Nutzung von Großwärmepumpen in der Fernwärme (z.B. Seethermie)
- ➔ Schaffung von ausreichender Ladeinfrastruktur für den Hochlauf der Elektromobilität; ggf. Kombination mit stationären Stromspeichern
- ➔ Flexible Einbindung der H₂-Elektrolyse in den Strommarkt

Handlungsempfehlung Power-to-Gas

- ➔ Vorreiterschaft der IRMD im Bereich Wasserstoff beibehalten bzw. ausbauen
- ➔ Nutzung der bestehenden H₂- und Erdgas-Infrastruktur (Pipelines, Kavernen) bei Hochlauf des grünen H₂
- ➔ Flexible Einbindung der H₂-Elektrolyse in den Strommarkt

Literaturverzeichnis

- [AEE 2018] Agentur für Erneuerbare Energien: Metaanalyse: Die Rolle erneuerbarer Gase in der Energiewende. März 2018
- [AGFW 2021] AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.: Power-to-Heat – Politische Forderungen zum Thema Power-to-Heat. Frankfurt, 2021. Abrufbar unter: <https://www.agfw.de/technik-sicherheit/erzeugung-sektor-kopplung-speicher/sektorkopplung/power-to-heat/>
- [Agora et al. 2014] Agora Energiewende et al.: Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien“; Agora Energiewende, Fraunhofer IWES, Fraunhofer IFAM; Berlin, 2014.
- [Agora et al. 2017] Agora Energiewende et al.: Die deutsche Braunkohlenwirtschaft - Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen. Berlin, 2017.
- [Barchmann et al. 2018] Barchmann et al.: Strategien und Perspektiven für Biogas in Deutschland im Rahmen der Sektorenkopplung. 12. Rostocker Bioenergieforum, 2018.
- [BDEW 2017] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), Landesgruppe Mitteldeutschland, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Landesverband Nord-Ost, Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), Landesgruppe Sachsen-Anhalt, Wasserverbandstag e. V. Bremen | Niedersachsen | Sachsen-Anhalt (WVT), confideon Unternehmensberatung GmbH, Berlin (Hrsg.): Kennzahlenvergleich Abwasserbeseitigung Sachsen-Anhalt. Betrachtungsjahr 2017. Öffentlicher Projektbericht. Abrufbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Sachsen-Anhalt_Benchmarking-Abwasser.pdf
- [Beil et al 2019] Beil, M.; Beyrich, W.; Kasten, J., Krautkremer, B.; Daniel-Gromke, J.; Denysenko, V.; Rensberg, N.; Schmalfuß, T.; Erdmann, G.; Jacobs, B.; Müller-Syring, G.; Erler, R.; Hüttenrauch, J.; Schumann, E.; König, J.; Jakob, S.; Edel, M. (2019): Effiziente Mikro-Biogasaufbereitungsanlagen (eMikroBGAA). Endbericht 2/2019. FNR Verbundvorhaben von Fraunhofer IEE, DBFZ, DBI und dena. FKZ 22402411, 22401615 bzw. 15EKF016, 22401715 bzw. 15EKF017. Abrufbar unter: http://download.fnr-server.de/download.php?file=979190219_eMikroBGAA_Schlussbericht.pdf
- [Blümel et al. 2015] Blümel et al. 2015: Integrierte Verwertungsanlage und Strategie für kommunale Biomasse –HTC Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft. Abschlussbericht 2015. Abrufbar unter: https://www.energetische-biomassennutzung.de/fileadmin/Steckbriefe/dokumente/03KB049_HTC_Endbericht.pdf
- [BMWi 2020] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Die Nationale Wasserstoffstrategie, 2020. Abrufbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html>
- [BNetzA 2020] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA): Genehmigung des Szenariorahmens zum NEP 2035 (Version 2021). Abrufbar unter: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmen_2035_Genehmigung_1.pdf

- [BNetzA 2021] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA): Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur - Stand: 19.01.2021. Abrufbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/Kraftwerksliste_2021_1.html
- [Chemie 2021] Chemie Technik 2021: Pläne für ein nationales Wasserstoffnetz in Deutschland, 2021. Abrufbar unter: <https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/plaene-fuer-ein-nationales-wasserstoff-netz-in-deutschland-341.html>
- [DBFZ 2020] Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ): Bioökonomieatlas für das Mitteldeutsche und Lausitzer Revier. Leipzig, 2020.
- [Destatis 2019] Pressemitteilung Nr.340 6. September 2019. Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/09/PD19_340_433.html
- [Doing Hydrogen 2021] Doing Hydrogen 2021: Start für den ostdeutschen Wasserstoff-Hub, 2021. Presseportal 2021
Abrufbar unter: <https://www.doinghydrogen.com/>
- [DWA 2017] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA): Leistungsdaten kommunaler Kläranlagen, 2017
- [DWA 2019] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA): Leistungsdaten kommunaler Kläranlagen, 2019
- [DWG 2020] Deutsche Windguard GmbH: Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - Jahr 2020. Auftraggeber: Bundesverband WindEnergie & VDMA
- [energie-experten 2021] Energie-Experten.org 2021 - Greenhouse Media GmbH: Schwimmende Solaranlage
Abrufbar unter: https://www.energie-experten.org/fileadmin/_processed_/8/6/csm_Solarenergie_Solaranlage_Schwimmende_Baggersee_Renchen_Foto_Ossola_GmbH-Joerg_Wilhelm_62ef4f3833.jpg
- [enervis 2020] enervis energy advisors GmbH: Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG-geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2021 bis 2025, erstellt im Auftrag der 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH. Berlin, 2020
- [EVH 2021] Energieversorgung Halle: Energie-Initiative Halle (Saale); Abrufbar unter: <https://evh.de/privatkunden/waerme/fernwaerme/energie-initiative>
- [EUWID 2021] Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH (EUWID): Dossier PtG 6. April 2021. Power-to-Gas: Potenziale, Grenzen und Geschäftsmodelle.
- [FfE 2018] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V (FfE): Regionalisierung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien Begleitdokument zum Netzentwicklungsplan 2030. Version 2019.
Abrufbar unter: [https://www.ffe.de/attachments/article/909/FfE_Begleitstudie_Regionalisierung_EE-Ausbau_\(2018\).pdf](https://www.ffe.de/attachments/article/909/FfE_Begleitstudie_Regionalisierung_EE-Ausbau_(2018).pdf)
- [Figgenger 2021] Figgenger et al. 2021: The development of stationary battery storage systems in Germany – status 2020. Journal of Energy Storage, Vol. 33.
Abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X2031817X>



- [FNB Gas 2021] Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V. (FNB Gas): Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030, 2021.
Abrufbar unter: <https://www.fnb-gas.de/netzentwicklungsplan/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-2020/>
- [FZJ 1979] Forschungszentrum Jülich GmbH 1979: Wirtschaftliche Aspekte für Wasserstoff austhermochemischen und hybriden Kreisprozessen mit HTR-Prozesswärme - Potentiale, Kosten, Konkurrenzfähigkeit, 1979.
Abrufbar unter: https://juser.fz-juelich.de/record/824488/files/J%C3%BCI_Spez_0066_Winkels.pdf
- [Franke 2007] Franke, Günter (Verband der Wasserkraftwerksbetreiber Sachsen und Sachsen-Anhalt e. V., heute Wasserkraftverband Mitteldeutschland e. V.): Wasserkraft an der vereinigten Mulde. Foliensatz zum Vortrag, Delitzsch, Oktober 2007.
- [Grünbuch H₂ SA 2020] Grünbuch zur Entwicklung einer Wasserstoffstrategie für Sachsen-Anhalt, 2020.
Abrufbar unter: https://mule.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/MLU/04_Energie/Erneuerbare_Energien/Wasserstoff/200914_Gruenbuch_zur_Entwicklung_einer_Wasserstoffstrategie_fuer_Sachsen-Anhalt_final_bf_01.pdf
- [H₂.LIVE 2021] H₂.LIVE: Wasserstofftankstellen in Deutschland & Europa, 2021.
Abrufbar unter: <https://h2.live/>
- [Hydrogen Tools 2015] Hydrogen Tools: Europe merchant hydrogen plants, 2015.
Abrufbar unter: <https://h2tools.org/hyarc/hydrogen-data/merchant-hydrogen-plant-capacities-europe>
- [IEA 2020] International Energy Agency (IEA): Hydrogen Projects Database, 2020.
Abrufbar unter: <https://www.iea.org/reports/hydrogen-projects-database>
- [IE Leipzig 2020] Leipziger Institut für Energie GmbH: Prognose ausgewählter Energiedaten einschließlich der Energiebilanz – Prognose bis 2019. Im Auftrag von Freistaat Sachsen, Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klima, Umwelt und Landwirtschaft, Leipzig. 2020.
- [Industrieverband Agrar 2017] Industrieverband Agrar: Wichtige Zahlen; Düngemittel, Produktion, Markt, Landwirtschaft, 2016-2017.
Abrufbar unter: https://bv-agrar.de/sites/default/files/pdf/info/statistik/wichtige_zahlen_2016-2017%20%281%29.pdf
- [ISE 2020a] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: FRAUNHOFER ISE ANALYSIERT POTENZIAL FÜR SOLARKRAFTWERKE AUF BRAUNKOHL-TAGEBAUSEEN; Presseinformation, 03.02.2020
- [ISE 2020b] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: AGRI-PHOTOVOLTAIK: CHANCE FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ENERGIEWENDE. EIN LEITFADEN FÜR DEUTSCHLAND. Freiburg. 2020.
- [ISE 2021] Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Harry Wirth, Fraunhofer ISE, Download von www.pv-fakten.de, Fassung vom 6.8.2021
- [IWES 2011] Fraunhofer IWES: Vorstudie zur Integration großer Anteile Photovoltaik in die elektrische Energieversorgung, 2012. Studie im Auftrag des Bundesverband Solarwirtschaft e.V.
Abrufbar unter: https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/IWES_Netzintegration_lang.pdf
- [IWES 2015] IFRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WINDENERGIE UND ENERGIESYSTEMTECHNIK IWES, FRAUNHOFER INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP, IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Stiftung Umweltenergierecht



- Würzburg: INTERAKTION - EE-STROM, WÄRME UND VERKEHR. Analyse der Interaktion zwischen den Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr in Deutschland in Hinblick auf steigende Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien im Strombereich unter Berücksichtigung der europäischen Entwicklung. Ableitung von optimalen strukturellen Entwicklungspfaden für den Verkehrs- und Wärmesektor. Kassel, 2015.
- [JENA GEOS et al. 2021] JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH Institut für Wasser und Boden, Tilia GmbH: Seethermie. Innovative Wärmeversorgung aus Tagebaurestseen Hrsg.: Innovationsregion Mitteldeutschland. Leipzig, 2021.
- [Kakoulaki et al. 2021] Kakoulaki et al.: Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables, 2021. Abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890420311766>
- [Klemm et al. 2015] Klemm et al.: Analyse zur energetischen Nutzung von ausgefaulten Klärschlämmen für Leipzig und einem Verbund sächsischer Großstädte, HTP –Forum, 2015.
- [Kraftwerksliste 2020] Kraftwerksliste Bundesnetzagentur (bundesweit; alle Netz- und Umspannebenen) Stand 01.04.2020
- [LAU 2017] EEB ENERKO GmbH unter Mitarbeit von MITNETZ Strom: Potenziale der Sektorkopplung und Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien im Wärmebereich in Sachsen-Anhalt. Endbericht. Hrsg. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle, 2017.
- [LBST et al. 2021] Ludwig-Bölkow Systemtechnik GmbH, Schultz-Project Consult, Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW, HYPOS: Potenzialstudie Grüne Gase, 2021, Hrsg.: Innovationsregion Mitteldeutschland
- [LfULG 2021] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.): Querbauwerksdatenbank Sachsen. Dresden, 2021. Abrufbar unter: <https://www.smul.sachsen.de/Wehre/Index.aspx>
- [Lk MSH 2020] Landkreis Mansfeld-Südharz: Masterplan zur Gestaltung des Strukturwandels im Landkreis Mansfeld-Südharz im Zusammenhang mit dem Ausstieg aus der Braunkohleverstromung bis 2038. Hrsg.: Arbeitsgruppe Strukturwandel Mansfeld-Südharz. Sangerhausen, 2020 Abrufbar unter: https://www.mansfeldsuedharz.de/datei/anzeigen/id/50790,1154/masterplan_strukturwandel_mansfeld_suedharz_v1.0.pdf
- [LRD TDO 2014] Landratsamt Nordsachse: Fortschreibung des Energiekonzeptes des Landkreises Nordsachsen. Delitzsch, 2014.
- [LSW 2021a] Leipziger Stadtwerke GmbH: Die Zukunft der Leipziger Fernwärme Abrufbar unter: <https://zukunft-fernwaerme.de/>
- [LSW 2021b] Leipziger Stadtwerke GmbH: Erster Schritt in Richtung „grüne“ Fernwärme: Leipziger Stadtwerke erhalten Bundeszuschuss für innovatives KWK-System mit Solarthermie-Anlage – Digital Campus Leipzig; Abrufbar unter: <https://digitalcampus.leipzig.de/2021/03/03/erster-schritt-in-richtung-gruene-fernwaerme-leipziger-stadtwerke-erhalten-bundeszuschuss-fuer-innovatives-kwk-system-mit-solarthermie-anlage/>
- [MaStR 2021] Marktstammdatenregister (MaStR): Eigene Auswertungen des Marktstammdatenregisters, 2021. Abrufbar unter: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>
- [Mibrag 2021] Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH (Mibrag): MIBRAG INVESTIERT IN WINDPARK BREUNSDORF, Meldung vom 20. April 2021



- Abrufbar unter: <https://www.mibrag.de/mibrag-investiert-in-windpark-breunsdorf/>
- [MWV 2020] Mineralölwirtschaftsverband e. V (MWV): Ergebnisse der jährlichen Kapazitäts-erhebung des MWV (aktuell: 31.12.2020).
Abrufbar unter: <https://www.mwv.de/statistiken/raffineriekapazitaeten/>
- [MULE 2019] Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt. Klima- und Energiekonzept Sachsen-Anhalt Stand: 05.Februar 2019. Magdeburg, 2019
- [Öko-Institut & Hamburg Institut 2021] Öko-Institut e.V. und Hamburg Institut: Agenda Wärmewende 2021.
Hrsg.: Stiftung Klimaneutralität und Agora Energiewende.
Freiburg/ Hamburg, 2021
- [Öko-Institut 2014] Öko-Institut e.V.: Prüfung der klimapolitischen Konsistenz und der Kosten von Methanisierungsstrategien, 2014.
Abrufbar unter: <https://www.oeko.de/oekodoc/2005/2014-021-de.pdf>
- [Paschotta 2021] Paschotta, R.: Artikel 'Methanisierung' im RP-Energie-Lexikon
Abrufbar unter: <https://www.energie-lexikon.info/methanisierung.html>
- [Pehnt et al. 2017] Pehnt et al.: Wärmenetze 4.0 – Endbericht – Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahmen „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturnetzen“, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH sowie adelphi consult GmbH, Ecofys Germany GmbH, PricewaterhouseCoopers GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH, Agentur für Erneuerbare Energien e. V, Berlin, Düsseldorf, Köln 2017
- [Poggi et al. 2014] Poggi et al.: The PV-hydrogen MYRTE platform - PV output power fluctuations smoothing, 2014.
Abrufbar unter: https://www.researchgate.net/publication/275244646_The_PV-hydrogen_MYRTE_platform_-_PV_output_power_fluctuations_smoothing
- [Presseportal 2021] Presseportal: Presseinformation: Bundeswirtschaftsministerium benennt zu fördernde H2-IPCEI-Projekte: ONTRAS mit allen drei eingereichten Projekten dabei, 2021.
Abrufbar unter: <https://www.presseportal.de/pm/128321/4930333>
- [Prognos et al. 2019] Prognos AG, Fraunhofer IFAM, Öko-Institut e.V., BHKW-Consult, Stiftung Umweltenergierecht: Evaluierung der KWK- Analysen zur Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien“. Berlin, 2019.
- [Prognos et al. 2020] Prognos AG, Öko-Institut e. V. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH: Klimaneutrales Deutschland. Klimaneutrales Deutschland: In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65 % im Jahr 2030 als Teil des EU-Green.
Hrsg.: Agora Energiewende, Agora Verkehrswende & Stiftung Klimaneutralität. Berlin 2020.
- [Prognos 2021] Prognos AG: Sozio-ökonomische Perspektive 2040, Analyse und Bewertung der demografischen und wirtschaftlichen Perspektive 2040 für die Innovationsregion Mitteldeutschland. Berlin, 2021.
Hrsg.: Innovationsregion Mitteldeutschland
- [PTV et al. 2021] PTV Transport Consult GmbH, Leipziger Institut für Energie, EcoLibro GmbH: Integrierte Mobilitätsstudie, 2021.
Hrsg.: Innovationsregion Mitteldeutschland

- [PV-Magazin 2021] PV-Magazin: Linde baut PEM-Elektrolyse-Anlage mit 24 Megawatt für grünen Wasserstoff in Leuna, 2021.
Abrufbar unter: <https://www.pv-magazine.de/2021/01/13/linde-baut-pem-elektrolyse-anlage-mit-24-megawatt-fuer-gruenen-wasserstoff-in-leuna/>
- [r2b 2021] r2b energy consulting GmbH (r2b): Interne Kraftwerksdatenbank. Köln, 2021.
- [RPG Halle 2010] Regionale Planungsgemeinschaft Halle: Regionaler Entwicklungsplan für die Planungsregion Halle. Halle (Saale), 2010.
- [RPG Harz 2009] Regionale Planungsgemeinschaft Harz: Regionaler Entwicklungsplan für die Planungsregion Harz. Halle, 2009.
- [RPG ABW 2018] Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg: Sachlicher Teilplan „Nutzung der Windenergie in der Planungsregion Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg. 2018.“
- [RPV Leipzig-West-sachsen 2020] Regionale Planungsverband Leipzig-West-sachsen am 11.12.2020 als Satzung beschlossen und im Januar 2021 zur Genehmigung eingereicht sowie Ertragsprognose Wind. Hrsg. Regionale Planungsgemeinschaft Leipzig-West-sachsen. Leipzig
- [RPG Ostthüringen 2012] Regionale Planungsgemeinschaft Ostthüringen: Regionalplan Ostthüringen 2012. Gera, 2012.
- [RPG Ostthüringen 2020] Regionale Planungsgemeinschaft Ostthüringen: Sachlicher Teilplan Windenergie in Kraft getreten am 21.12.2020. Gera 2020.
- [r.e. think energy 2021] r.e.think energy: Schwimmende Solarfarmen (Floating PV) – ein Erfahrungsbericht. 7. Info-Veranstaltung zum Klimaschutz. Toni Weigl. Hrsg.: BayWa r.e. AG, 2021.
- [Roads2HyCom 2007] Roads2HyCom: PART II: Industrial surplus hydrogen and markets and production, 2007.
Abrufbar unter: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.477.3069&rep=rep1&type=pdf>
- [Rolink et al. 2021] Rolink et al.: Auslegungspraxis von Stromspeichern in Gebäudeenergiesystemen. Zusammenfassende Auswertung der Umfrage aus dem Projekt PIEG-Strom - Planung und Integration von Energiespeichern in Gebäudeenergiesystemen Schwerpunkt: Elektrische Stromspeicher, 2021.
Abrufbar unter: https://zenodo.org/record/4515661/files/Zusammenfassung_Auswertung.pdf.
- [saena 2018] Sächsische Energieagentur GmbH (saena): EE-Ausbaupotenziale in Sachsen. Hrsg. Freistaat Sachsen. Dresden, 2018.
- [SALEG 2012] Sachsen-Anhaltinische Landesentwicklungsgesellschaft mbH & PBW – Planungsbüro Wahlbuhl (SALEG): Klimaschutzkonzept der Stadt Merseburg – Kurzfassung Merseburg, 2012.
- [SMEKUL 2021] Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft: Sachsen will Photovoltaik auf Landwirtschaftsflächen in benachteiligten Gebieten ermöglichen. Medieninformation vom 11.05.2021
Abrufbar unter https://www.energie.sachsen.de/download/210511_PM_PVFVO.pdf
- [seecon 2017] seecon Ingenieure GmbH: Integriertes Klimaschutzkonzept der Stadt Brandis. Endbericht, 2017.
Abrufbar unter: https://www.stadt-brandis.de/images/pdf/Klimaschutzkonzept_Brandis.pdf

- [SERIS 2021] Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS) at the National University of Singapore)
- [Solarserver 2020] Solarserver/ Solarthemen Media GmbH: Pfalzwerke bauen schwimmende Photovoltaik für Kieswerk – Solarserver. Meldung vom 31.07.2020
Abrufbar unter: <https://www.solarserver.de/2020/07/31/pfalzwerke-bauen-schwimmende-photovoltaik-fuer-kieswerk/>
- [Stadt Halle 2018] Target GmbH: Integriertes Kommunales Klimaschutzkonzept der Stadt Halle (Saale) – Fortschreibung 2018, Prozessbegleitung und Erarbeitung: target GmbH, 2020
- [Stadt Leipzig 2020] Stadt Leipzig/ Der Oberbürgermeister Dezernat Umwelt, Ordnung, Sport: Europäische Energie- und Klimaschutz-Kommune – Umsetzungsbericht 2018. Leipzig, 2020.
- [Stadt Leipzig 2011] Amt für Umweltschutz der Stadt Leipzig: Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept für die Stadt Leipzig. Phase 4- Maßnahmenkatalog, Umsetzungsstrategien, Empfehlung für die Öffentlichkeitsarbeit. Leipzig, 2011.
- [StaLa SN 2020] Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen: Energiebilanz Freistaat Sachsen bis zum Jahr 2017 Dresden, 2020.
Abrufbar unter: <https://www.energie.sachsen.de/zahlen-und-fakten-3971.html>
- [StaLa ST 2021] Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt: Energiebilanz Sachsen-Anhalt bis zum Jahr 2018, Dresden, 2021.
Abrufbar unter: <https://statistik.sachsen-anhalt.de/themen/wirtschaftsbereiche/energie-und-wasserversorgung/tabellen-energiebilanz/#c207075>
- [StaLa TH 2021] Statistisches Landesamt Thüringen: Energiebilanz Thüringen bis zum Jahr 2018, Erfurt, 2021.
Abrufbar unter: <https://statistik.thueringen.de/datenbank/TabAnzeigeDatei.asp?tabelle=dj000613>
- [SW Münster 2016] Stadtwerke Münster GmbH: Elektrodenkessel treibt Energiewende in Münster voran.
Meldung vom 01.02.2016.
Abrufbar unter: <https://www.stadtwerke-muenster.de/privatkunden/startseite/nachricht/artikel/elektrodenkessel-treibt-energiewende-in-muenster-voran.html>
- [SZ 2021] Süddeutsche Zeitung: Zeitz soll weltgrößter Ort für recyceltes Motoröl werden, 2021.
Abrufbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/chemie-elsteraue-zeit-soll-weltgroesster-ort-fuer-recyceltes-motoroel-werden-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-210526-99-748729>
- [Thema et al. 2019] Thema et al.: Power-to-Gas: Electrolysis and methanation status review, 2019.
Abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211930423X>
- [ThEGA 2018] Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur (ThEGA): Abwärme besser nutzen. Erste Thüringer Abwärmestrategie. Erfurt, 2018
- [Thrän et al. 2021] Thrän et al. 2021: Positionspapier des DBFZ „Umrüstung von Kohlekraftwerken auf Biomasse“ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig, 2021.
Abrufbar unter: <https://www.dbfz.de/pressemediathek/presse/pressemitteilungen/positionspapier-dbfz-experten-sehen-keine-vorteile-fuer-eine-staatlich-gefoerderte-umruetzung-von-kohlekraftwerken-auf-biomasse>



- [TLS 2019] Thüringer Landesamt für Statistik: Energiebilanz Thüringen bis zum Jahr 2017, 2019, Abrufbar unter <https://statistik.thueringen.de/datenbank/TabAnzeigeDatei.asp?tabelle=dj000603>
- [TMUEN 2018] Leipziger Institut für Energie GmbH: Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen. Hrsg. Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz. Erfurt, 2018.
- [UBA 2020] Umweltbundesamt (UBA): Verbringung gefährlicher und nicht gefährlicher Abfallmengen t/a (Abfall) (www.Thru.de, Berichtsjahr 2018, Stand der Daten 31/03/2020)
- [ÜNB 2019] EEG-Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse, 2019 (Bezugsjahr 2018). Abrufbar unter: www.netztransparenz.de
- [ÜNB/ BNetzA 2021] Übertragungsnetzbetreiber & Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: Genehmigter Szenariorahmen zum NEP 2030 (V2019) und NEP 2035 (V2021), Bonn, 2021.
- [Uniper Energy 2019] Uniper Energy: Uniper und Partner planen Großanlage zur Herstellung und Speicherung von grünem Wasserstoff in Sachsen-Anhalt, Magdeburg, 2019. Abrufbar unter: <https://www.uniper.energy/news/uniper-und-partner-planen-grossanlage-zur-herstellung-und-speicherung-von-grunem-wasserstoff-in-sachsen-anhalt>
- [VCI 2020] Verband der Chemischen Industrie e. V: Chemiewirtschaft in Zahlen 2020. Abrufbar unter: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/chemiewirtschaft-in-zahlen-print.pdf>
- [Wärme Hamburg 2021] Hamburg Wärme GmbH: Power-to-Heat-Anlage Karoline: Windstrom für das Hamburger Wärmenetz. Hamburg, 2021
- [Weber et al. 2020] Weber et al.: Status of waste-to-energy in Germany, Part I – Waste treatment facilities. Waste Management & Research 2020, Vol. 38
Abrufbar unter: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0734242X19894632>
- [wvgW 2018] Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH (wvgw): Power-to-Gas mit 76 Prozent Wirkungsgrad, Meldung vom 12. April 2018.
- [WUI 2018] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Technologien für die Energiewende – Politikbericht. Wuppertal Report. Wuppertal, 2018.
- [ZERE e.V. 2014] Zentrum für Regenerative Energien Sachsen-Anhalt e.V.: „Wissenschaftliche Begleitung der Koordinierung des Ausbaus erneuerbarer Energien in Sachsen-Anhalt“. Hrsg. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt. Magdeburg, 2014.
- [ZSW 2019] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Bosch & Partner GmbH: Untersuchung zur Wirkung veränderter Flächenrestriktionen für PV-Freiflächenanlagen. Kurzstudie im Auftrag der innogy SE. Freiburg, 2019.

Anhang

Anhang 1: Strom- und Wärmeerzeugung

Großkraftwerke

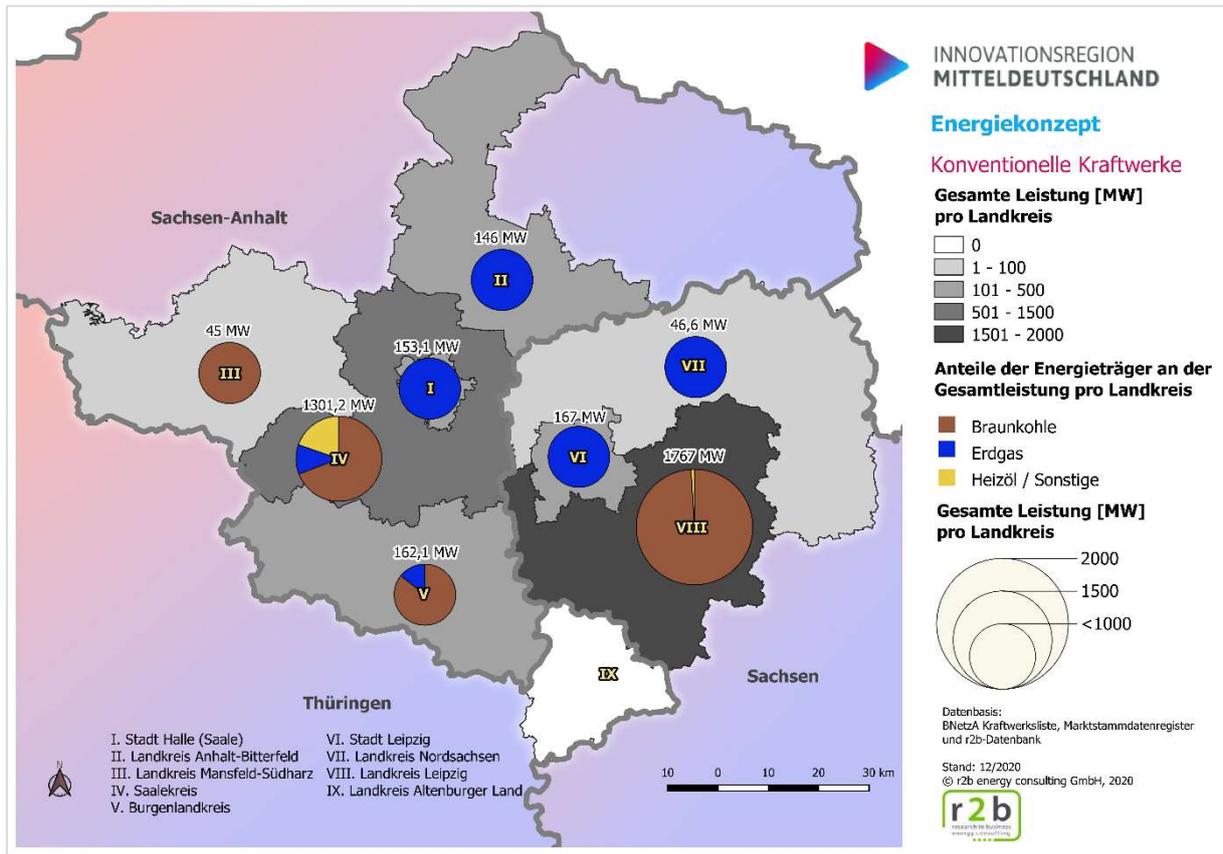


Abbildung 70 Großkraftwerke | Installierte Leistung (> 10 MW) in der IRMD
Daten: BNetzA-Kraftwerksliste, Marktstammdatenregister, r2b-Datenbank und eigene Abschätzungen (Stand 12/2020)

Bezeichnung Kraftwerk	Zuordnung Haupt-energeträger	IBN	ABN (Jahres-ende)	Netto-Nenn-leistung	Netto-Elektrizitäts-erzeugung	Thermische Leistung	Wärme-erzeugung	Bei Fernwärmeauskoppelung: Versorgungsgebiet
		[Jahr]	[Jahr]	[MWe]	[GWh]	[MWtherm]	[GWh]	
Deuben	Braunkohle	1937	2025	67	302	100	300	Hohenmölsen, angeschlossene Ortschaften
HKW Dieselstrasse (Halle)	Erdgas	2006	2036	97	437	160	497	Halle (Saale)
HKW Halle-Trotha	Erdgas	2013	2043	56	252	70	288	Halle (Saale)
HKW Leipzig-Nord	Erdgas	1996	2026	167	441	196	502	Leipzig (Stadt)
HKW Wähltitz	Braunkohle	1995	2038	31	140	40	100	Hohenmölsen, angeschlossene Ortschaften
IKW Amsdorf - ROMONTA	Braunkohle	1980	2025	45	225	129	500	Industrie am Standort
IKW Bitterfeld	Erdgas	2001	2031	106	477	k.A.	474	Chemiepark Bitterfeld-Wolfen
IKW Eilenburg	Erdgas	1994	2024	47	233	k.A.	333	Industrie am Standort
IKW Leuna	Erdgas	1999	2029	39	195	44	163	Industriegebiet Leuna, Stadt Leuna
IKW Leuna (LLK)	Sonstige	2000	2040	14	70	k.A.	117	Industriegebiet Leuna, Stadt Leuna
IKW Leuna (LLK)	Schweres Heizöl	1997	2037	93	463	208	1.028	Industriegebiet Leuna, Stadt Leuna
IKW Leuna (LLK)	Sonstige	2010	2040	20	100	k.A.	167	Industriegebiet Leuna, Stadt Leuna
IKW Leuna (LLK)	Sonstige	1995	2025	9	44	k.A.	54	Industriegebiet Leuna, Stadt Leuna
IKW Leuna (LLK)	Erdgas	1995	2025	35	175	75	219	Industriegebiet Leuna, Stadt Leuna
IKW Leuna (LLK)	Erdgas	1995	2025	35	175	75	219	Industriegebiet Leuna, Stadt Leuna
IKW Leuna (LLK)	Erdgas	1995	2025	37	185	75	231	Industriegebiet Leuna, Stadt Leuna
IKW Zeitz	Erdgas	1994	2024	23	117	k.A.	194	Industrie am Standort
IKW Zeitz - CropEnergies Bioethanol	Braunkohle	2005	2038	18	88	45	194	Industrie am Standort
IKW Zeitz - Südzucker	Braunkohle	1994	2038	23	117	75	259	Industrie am Standort
Lippendorf	Braunkohle	2000	2035	875	5.634	165	464	Stadt Leipzig, Gde. Böhlen, Gde. Neukirchsch
Lippendorf	Braunkohle	2000	2035	875	6.270	165	536	Stadt Leipzig, Gde. Böhlen, Gde. Neukirchsch
Schkopau	Braunkohle	1996	2034	450	2.121	100	690	Chemieindustrie am Standort, Deutsche Bahn
Schkopau	Braunkohle	1996	2034	450	2.193	100	610	Chemieindustrie am Standort, Deutsche Bahn
Spitzenlastkraftwerk Großkayna	Leichtes Heizöl	1994	2034	120	12	k.A.	0	Keine Wärmeauskoppelung
Spitzenlastkraftwerk Sermuth	Leichtes Heizöl	1996	2036	17	2	k.A.	0	Keine Wärmeauskoppelung
Spitzenlastkraftwerk Wolfen	Erdgas	1997	2037	40	4	k.A.	0	Keine Wärmeauskoppelung

Abbildung 71 Angaben zu Großkraftwerken (Bestand) in der IRMD (Stand 12/2020)

Daten: BNetzA-Kraftwerksliste, ENTSOE-E, Marktstammdatenregister, r2b-Datenbank und eigene Abschätzungen [gelb hinterlegt] (Stand 12/2020)

Weitere Informationen zu PtH-Anlagen sowie thermischen und elektrischen Speichern an den Kraftwerkstandorten in der IRMD:

- **PtH-Anlagen** (Elektrodenkessel) bekannt an den Kraftwerksstandorten HKW Dieselstraße (Halle), HKW Süd Leipzig, Lippendorf (Leistung unbekannt) und IKW Zeitz Südzucker (10 MW)
- **Thermische Speicher** bekannt an den Kraftwerksstandorten HKW Dieselstraße (Halle, 2.000 MWh), HKW Leipzig-Nord (225 MWh), HKW Süd Leipzig (1.500 MWh)
- **Elektrische Speicher** (Großbatterien) aktuell an den Kraftwerksstandorten nicht bekannt

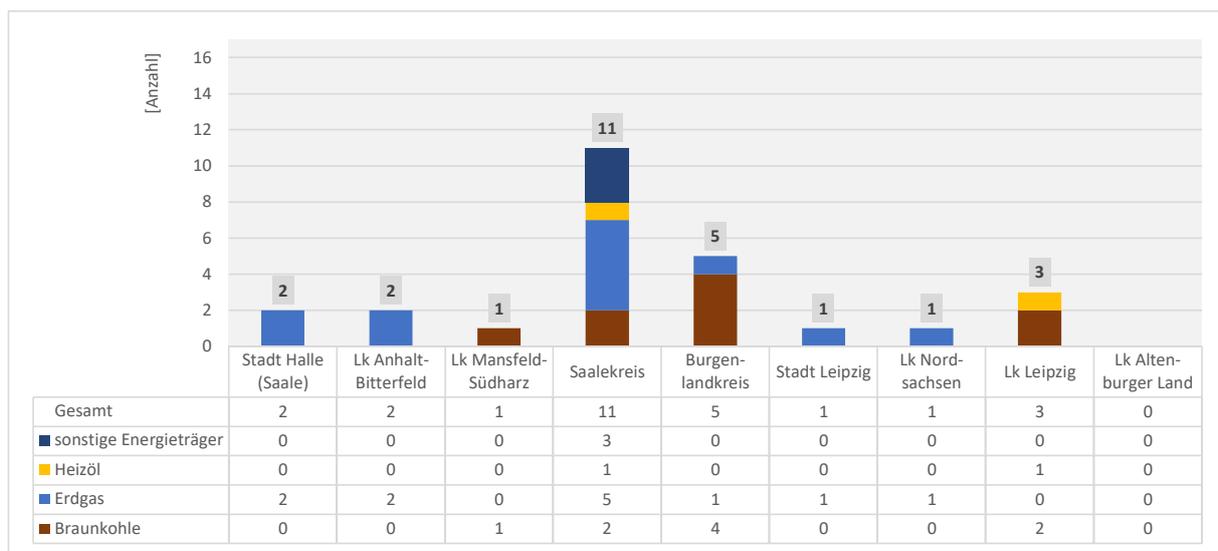


Abbildung 72 Großkraftwerke | Anzahl Anlagen in den Gebietskörperschaften

Daten: BNetzA-Kraftwerksliste, Marktstammdatenregister, r2b-Datenbank und eigene Abschätzungen (Stand 12/2020)

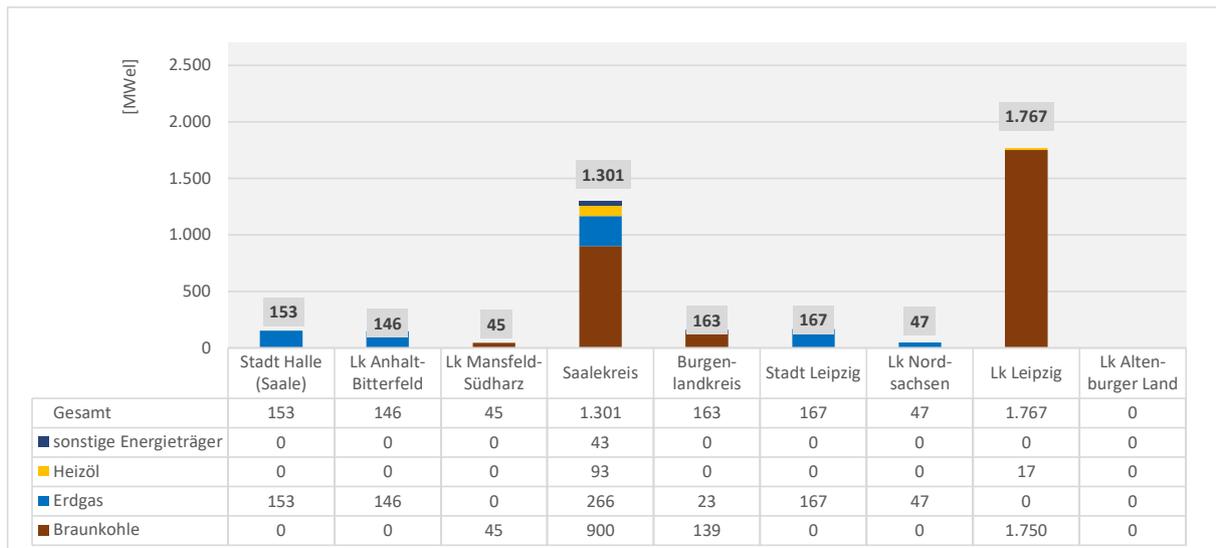


Abbildung 73 Großkraftwerke | Installierte Leistung (MW_{el}) in den Gebietskörperschaften

Daten: BNetzA-Kraftwerksliste, Marktstammdatenregister, r2b-Datenbank und eigene Abschätzungen (Stand 12/2020)

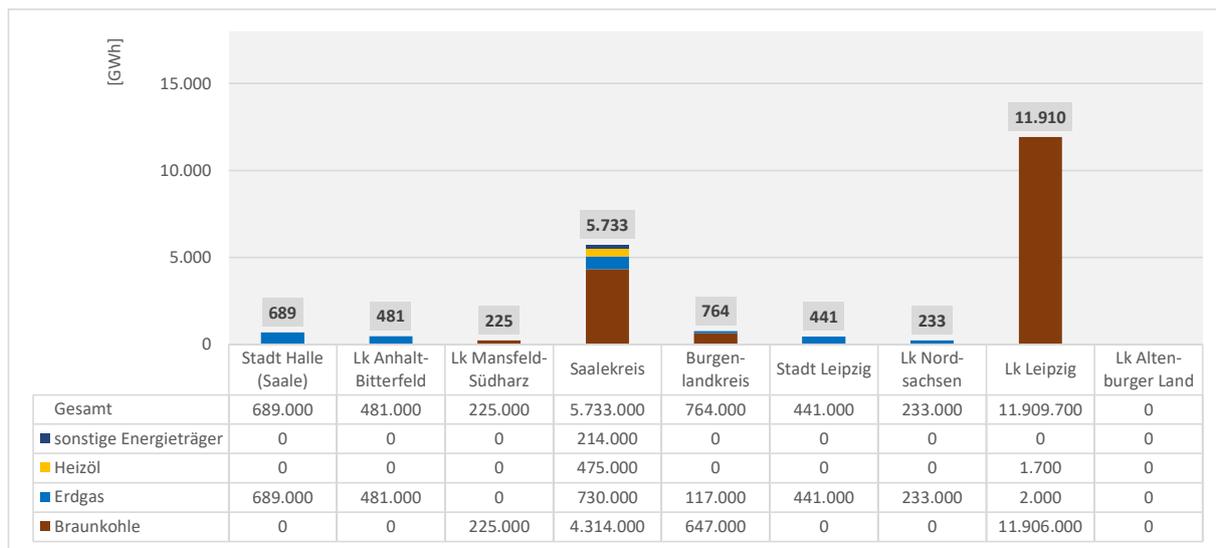


Abbildung 74 Großkraftwerke | Erzeugte Strommenge in den Gebietskörperschaften

Daten: BNetzA-Kraftwerksliste, Marktstammdatenregister, r2b-Datenbank und eigene Abschätzungen (Stand 12/2020)

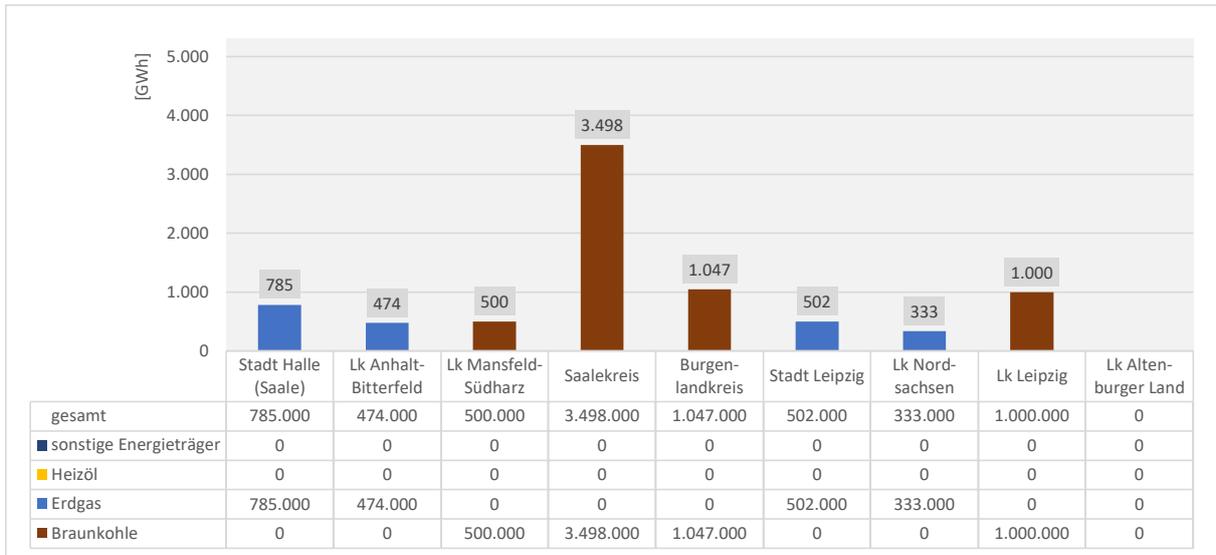


Abbildung 75 Großkraftwerke | Erzeugte Wärmemenge in den Gebietskörperschaften

Daten: BNetzA-Kraftwerksliste, Marktstammdatenregister, r2b-Datenbank und eigene Abschätzungen (Stand 12/2020)

BHKW | KWK (fossil)

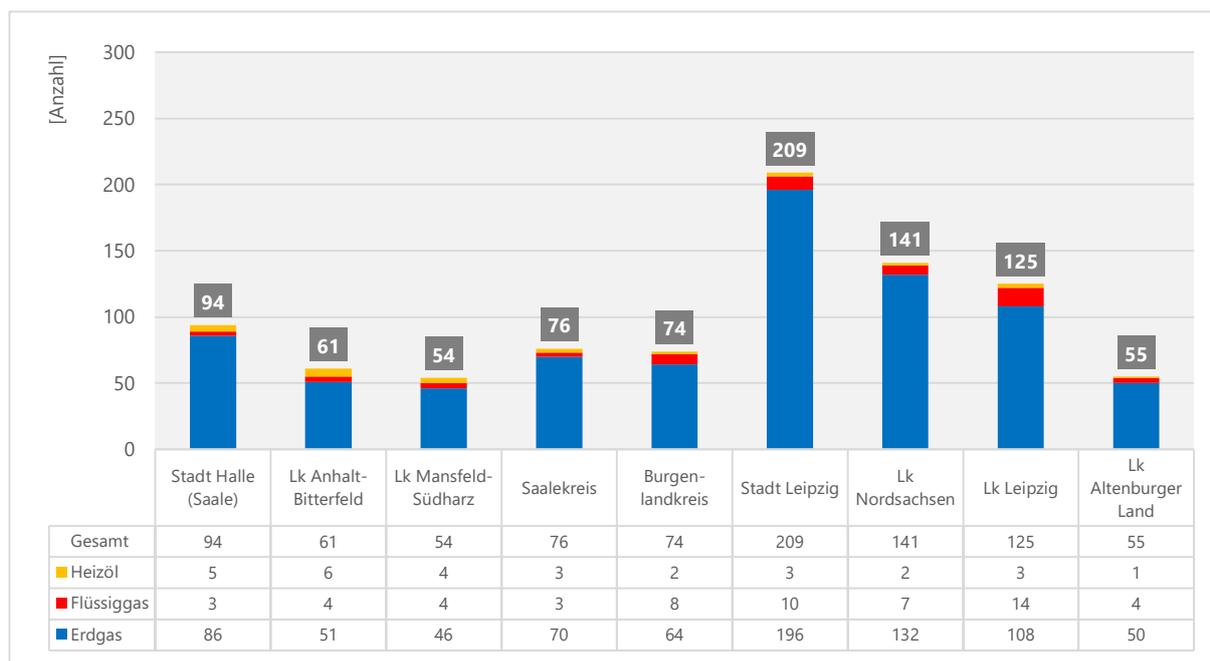


Abbildung 76 BHKW | KWK (fossil) | Anzahl Anlagen in den Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Geförderte KWK-Anlagen nach KWKG (BAFA, Stand 12/2020)

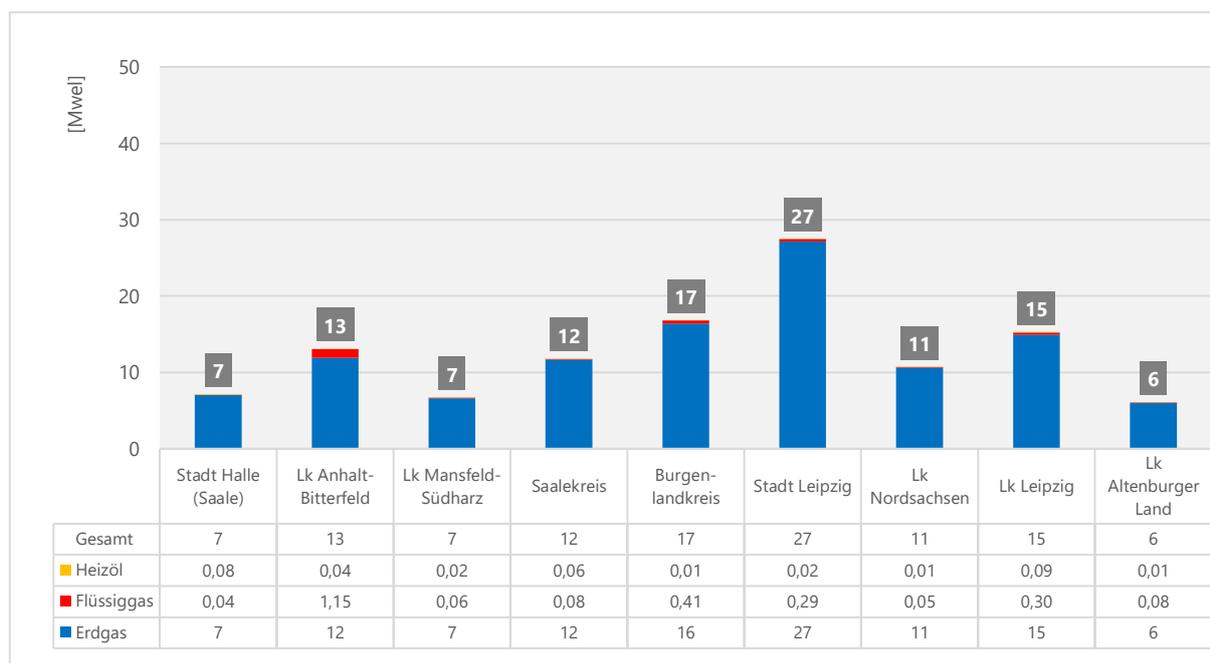


Abbildung 77 BHKW | KWK (fossil) | Installierte Leistung (MW_{el}) in den Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Geförderte KWK-Anlagen nach KWKG (BAFA, Stand 12/2020)

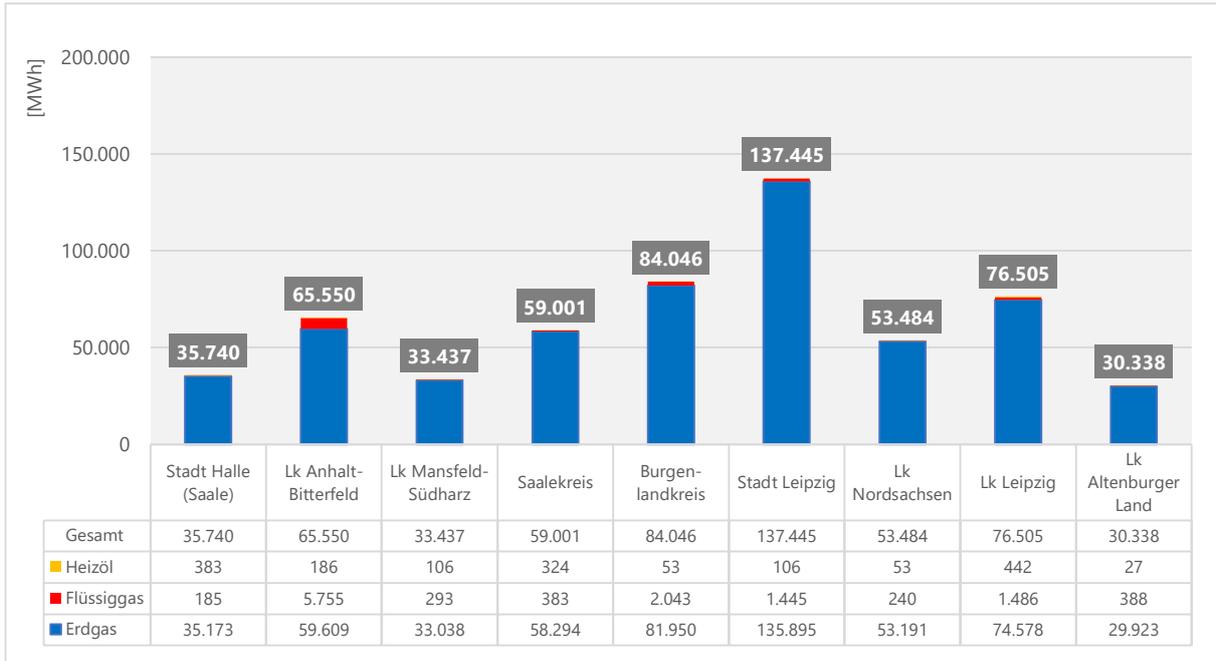


Abbildung 78 BHKW | KWK (fossil) | Erzeugte Strommenge in den Gebietskörperschaften im Jahr 2018
 Daten: Geförderte KWK-Anlagen nach KWKG (BAFA, Stand 12/2020)

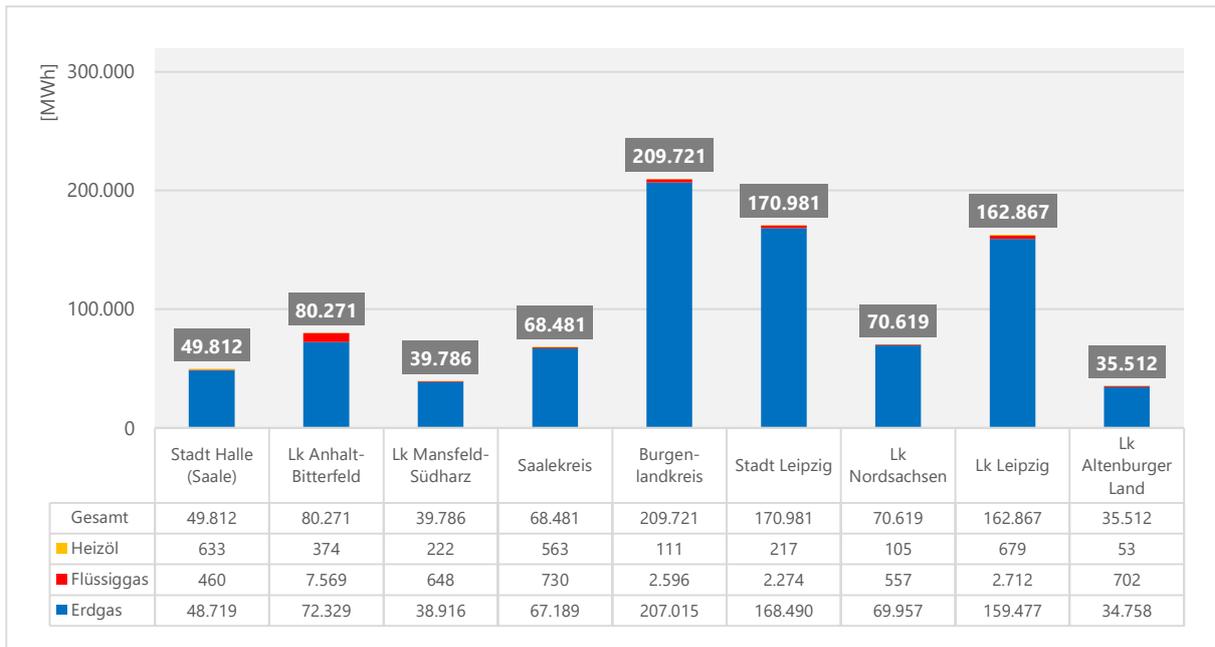


Abbildung 79 BHKW | KWK (fossil) | Erzeugte Wärmemenge in den Gebietskörperschaften im Jahr 2018
 Daten: Eigene Abschätzung auf Basis Geförderte KWK-Anlagen nach KWKG (BAFA, Stand 12/2020)

Müllverbrennungsanlagen

Nr.	Gebietskörperschaft	MVA Jahr	Anlagen	Ins tallierte Leistung	Stromerzeugung	Wärmeerzeugung	Wärmeerzeugung
			MVA	MVA	MVA	MVA	MVA
			[Anzahl]	[MW _e]	[MWh]	[MW _{th}]	[MWh]
I	Stadt Halle (Saale)	2018	0	0	0	0	0
II	Lk Anhalt-Bitterfeld	2018	1	10	80.000	15	120.000
III	Lk Mansfeld-Südharz	2018	1	7	53.760	17	138.240
IV	Saalekreis	2018	2	35	310.800	36	287.733
V	Burgenlandkreis	2018	1	25	199.754	34	270.983
VI	Stadt Leipzig	2018	0	0	0	0	0
VII	Lk Nordsachsen	2018	0	0	0	0	0
VIII	Lk Leipzig	2018	0	0	0	0	0
IX	Lk Altenburger Land	2018	0	0	0	0	0
	Innovationsregion	2018	6	77	844.314	102	818.907

Tabelle 18 Müllverbrennungsanlagen in den Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Eigene Abschätzung DBFZ auf Basis Statistik der Abfall- / Entsorgungswirtschaft sowie Energiestatistik der Länder, eigene Standortrecherchen auf Basis Auflistung meldepflichtiger Anlagen über das Umweltinformationssystem des Umweltbundesamtes (Stand 12/2020)

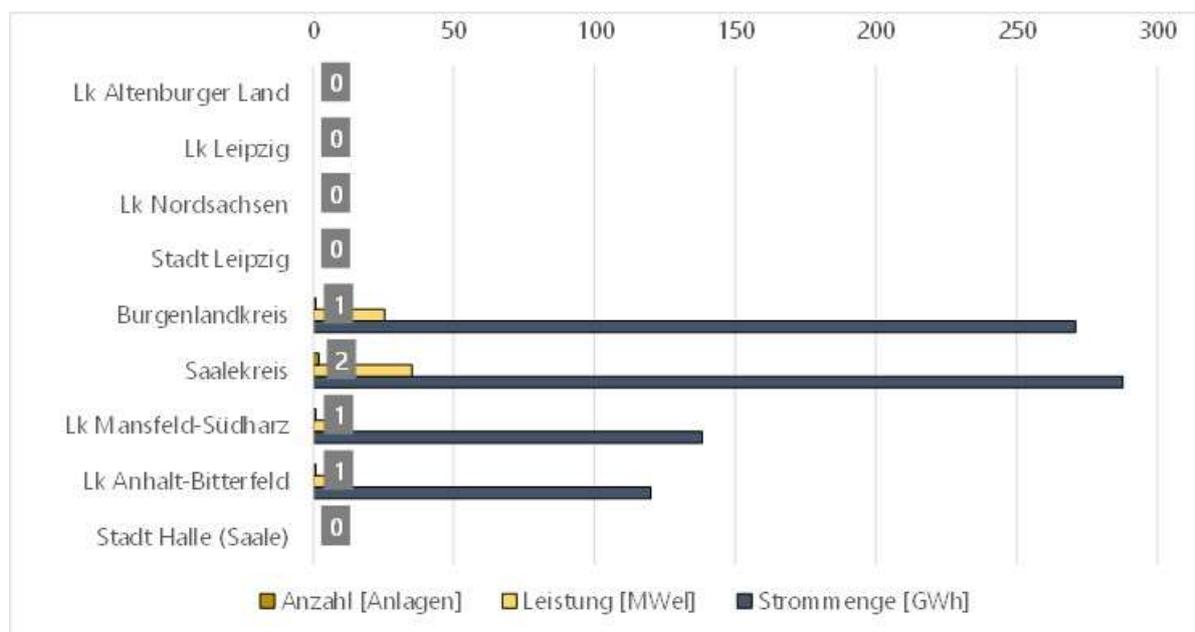


Abbildung 80 Müllverbrennungsanlagen in den Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Eigene Abschätzung DBFZ auf Basis Statistik der Abfall- / Entsorgungswirtschaft sowie Energiestatistik der Länder, eigene Standortrecherchen auf Basis Auflistung meldepflichtiger Anlagen über das Umweltinformationssystem des Umweltbundesamtes (Stand 12/2020)

Erneuerbare Energien

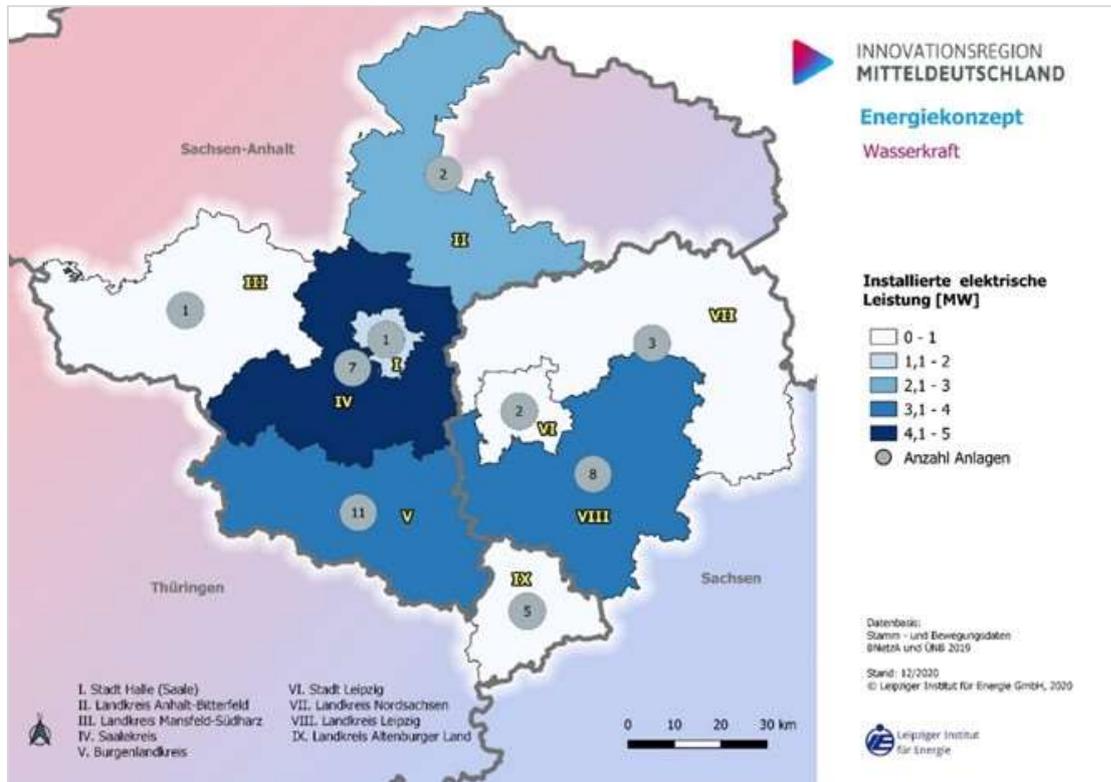


Abbildung 81 Wasserkraft nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

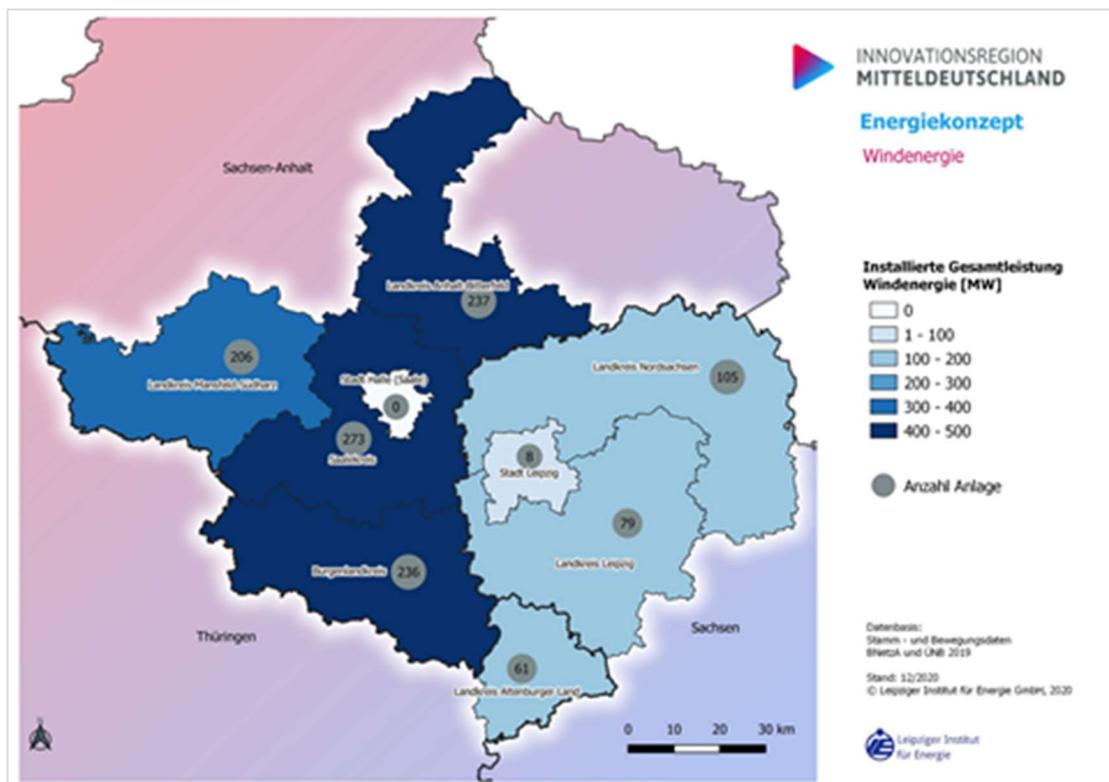


Abbildung 82 Windenergie nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

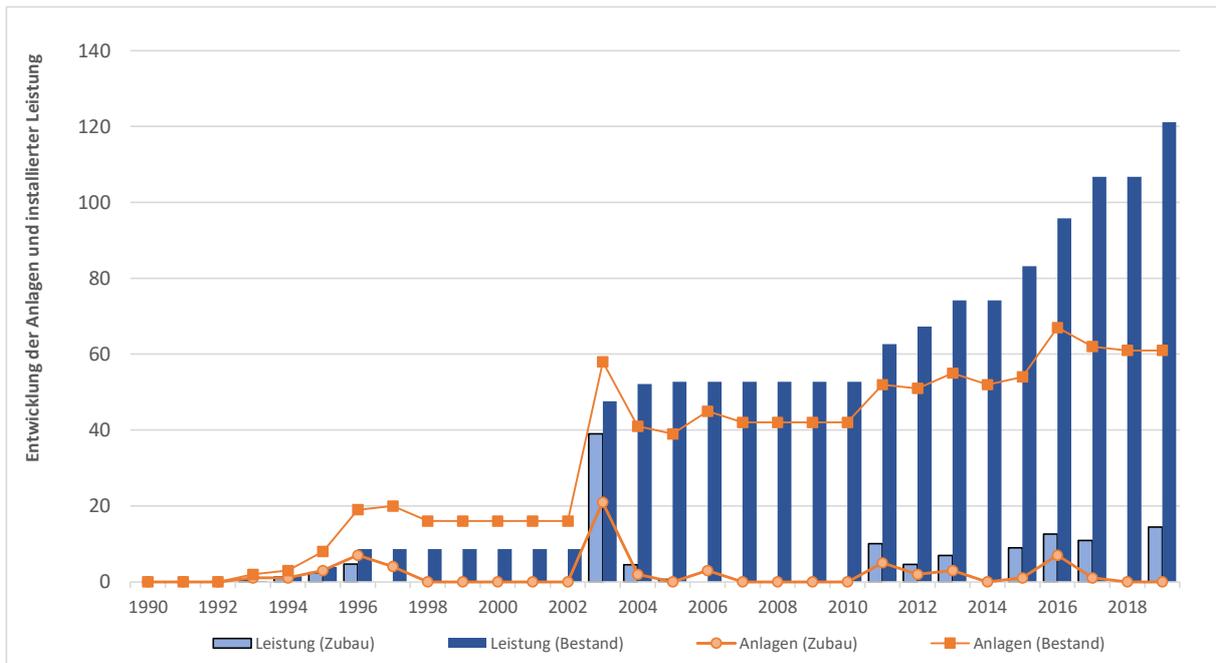


Abbildung 83 Entwicklung Windenergie nach Anzahl der Anlagen und installierter Leistung im Altenburger Land

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

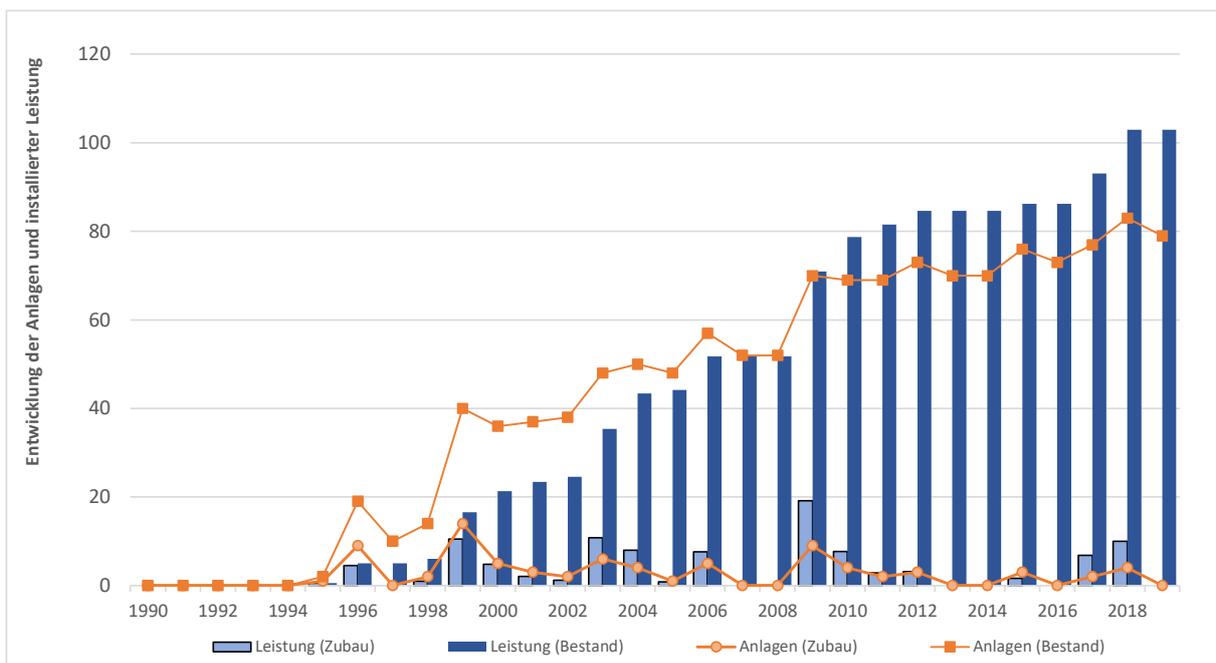


Abbildung 84 Entwicklung Windenergie nach Anzahl der Anlagen und installierter Leistung im Landkreis Leipzig

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

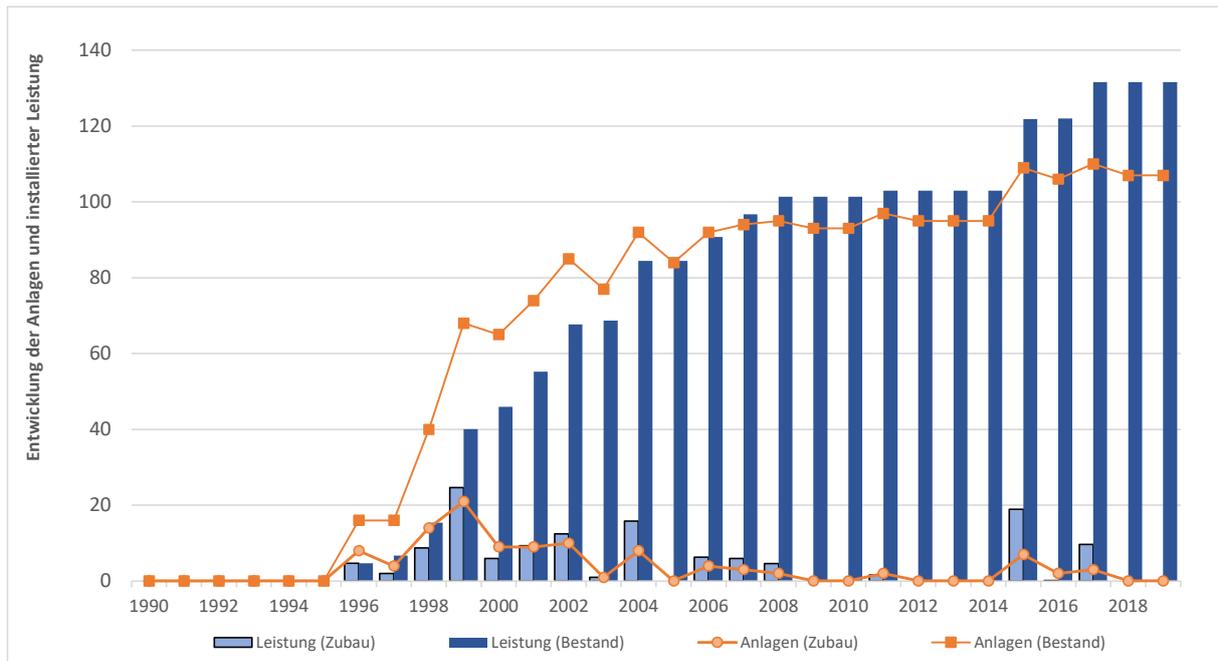


Abbildung 85 Entwicklung Windenergie nach Anzahl der Anlagen und installierter Leistung im Landkreis Nordsachsen
Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

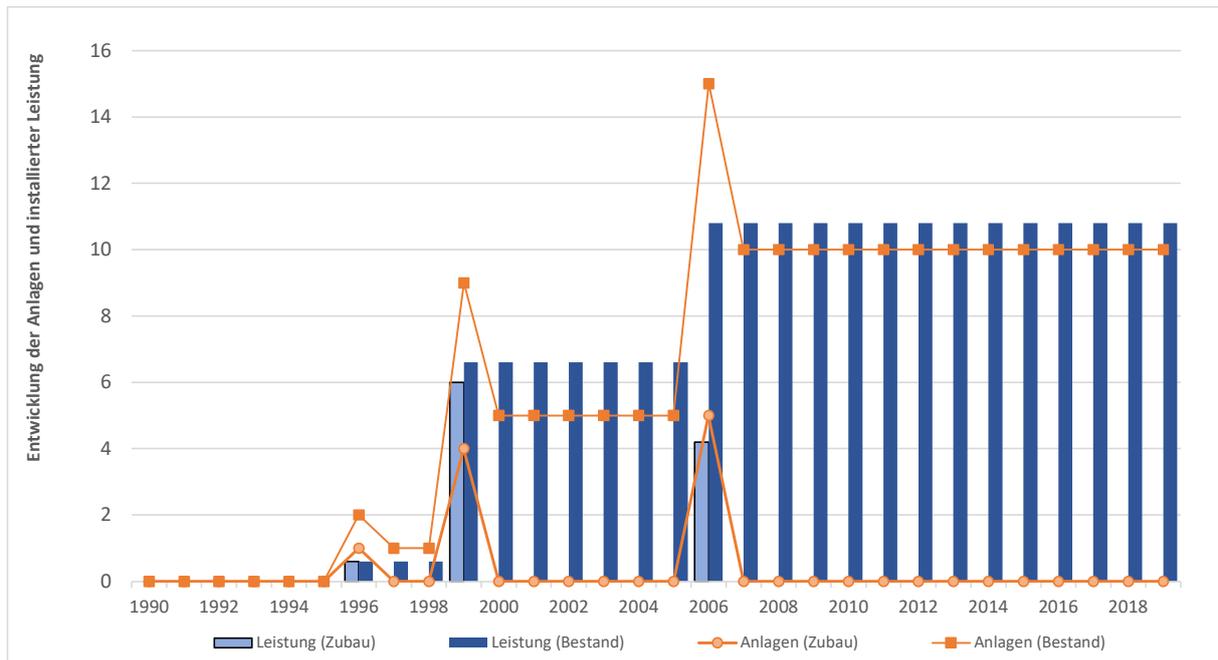


Abbildung 86 Entwicklung Windenergie nach Anzahl der Anlagen und installierter Leistung in der Stadt Leipzig
Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

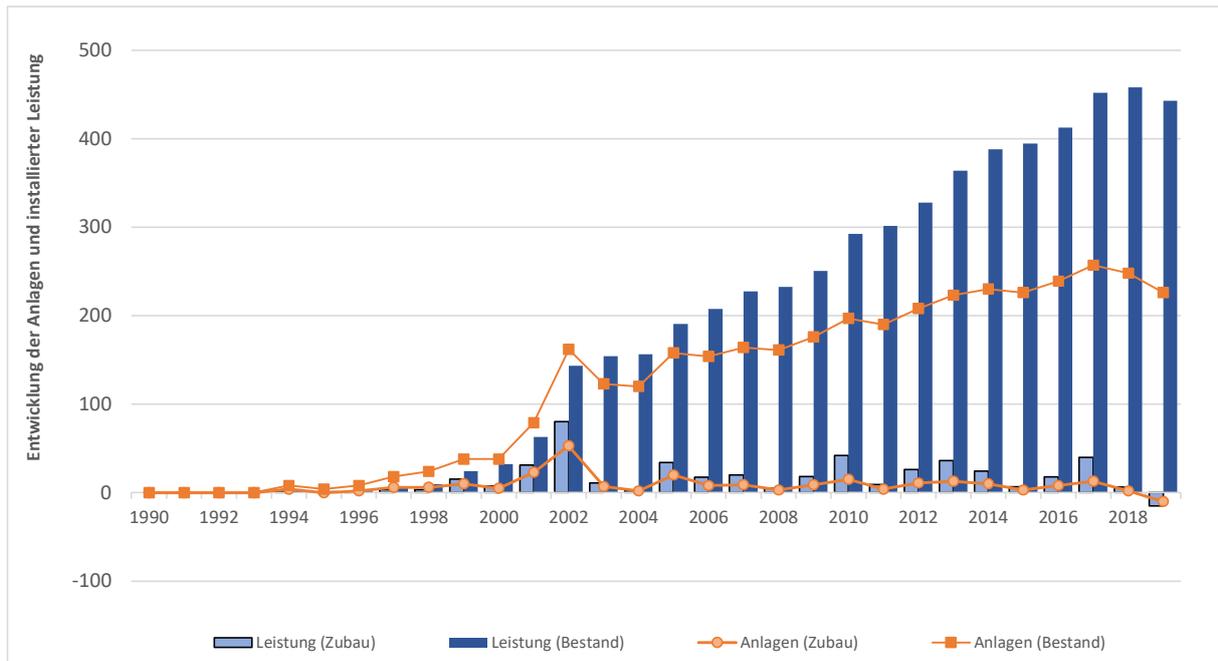


Abbildung 87 Entwicklung Windenergie nach Anzahl der Anlagen und installierter Leistung im Burgenlandkreis
 Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

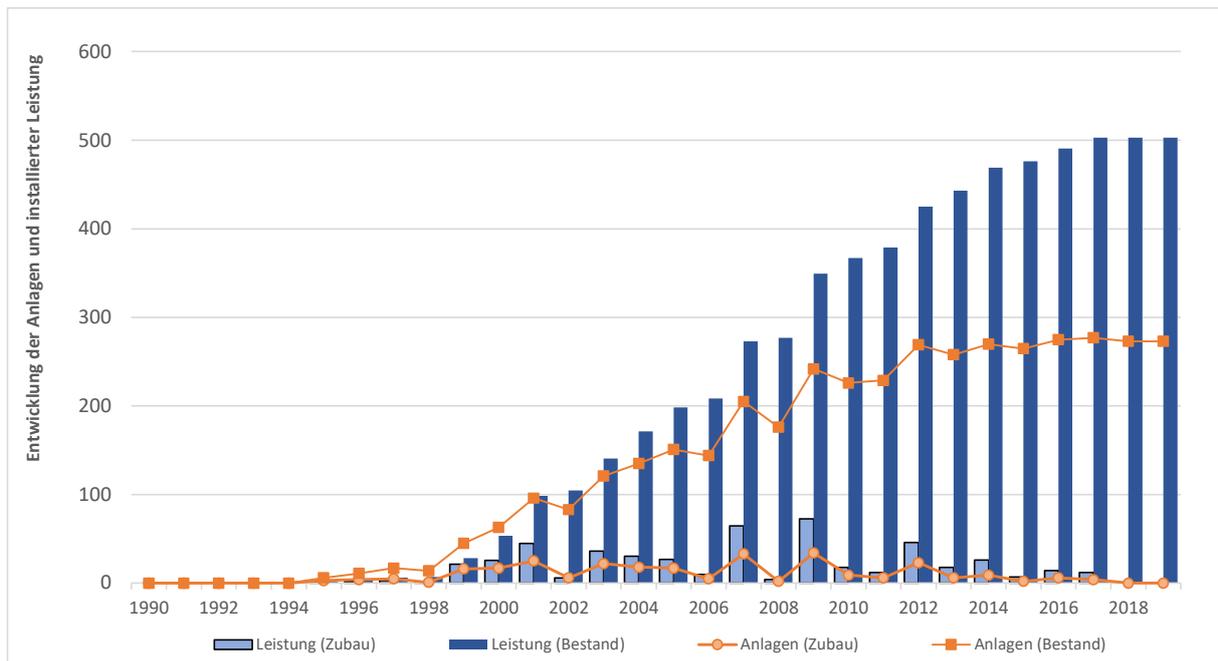


Abbildung 88 Entwicklung Windenergie nach Anzahl der Anlagen und installierter Leistung im Saalekreis
 Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

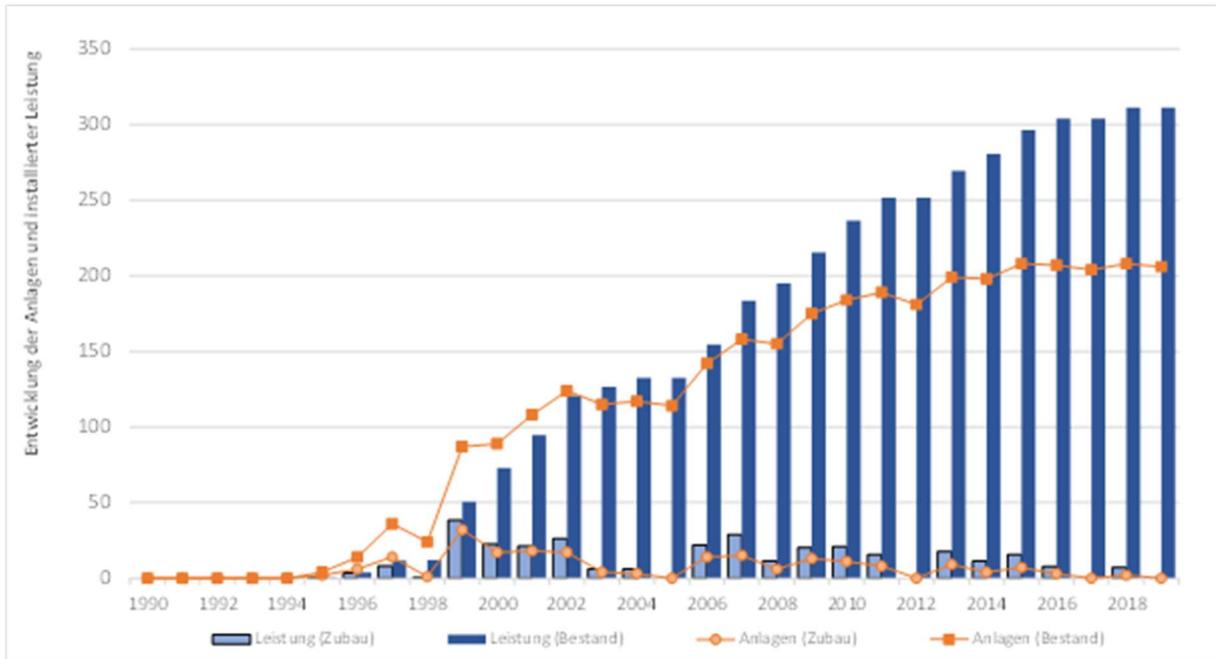


Abbildung 89 Entwicklung Windenergie nach Anzahl der Anlagen und installierter Leistung im Landkreis Mansfeld-Südharz

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

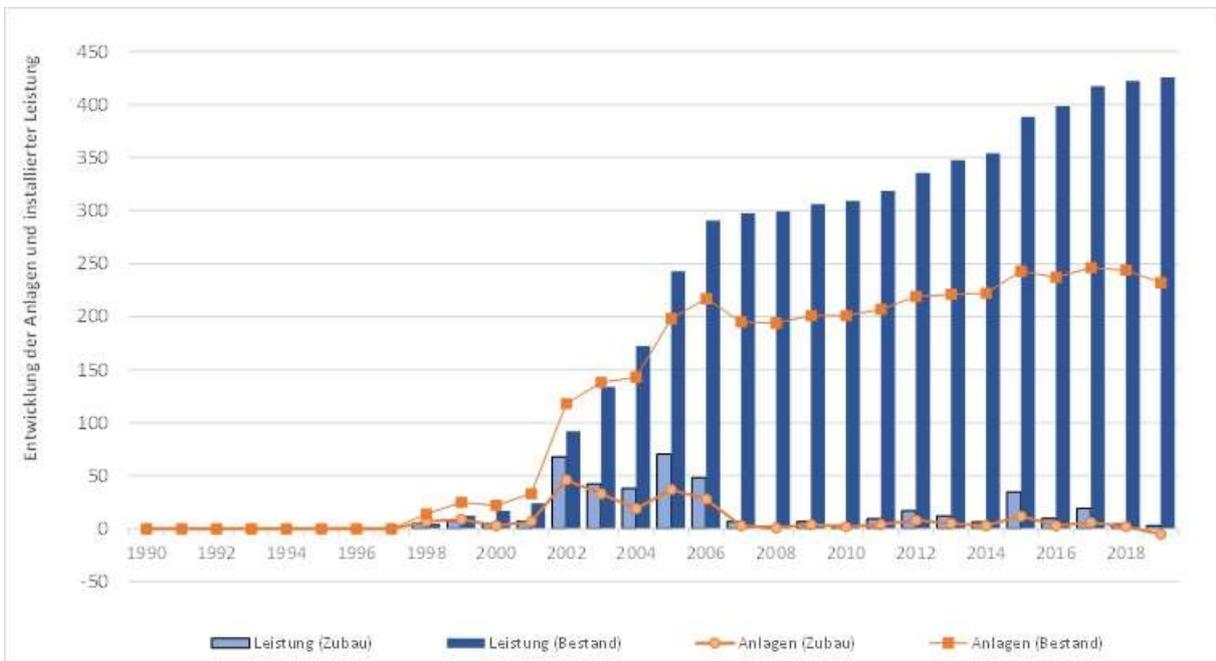


Abbildung 90 Entwicklung Windenergie nach Anzahl der Anlagen und installierter Leistung im Landkreis Anhalt-Bitterfeld-

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

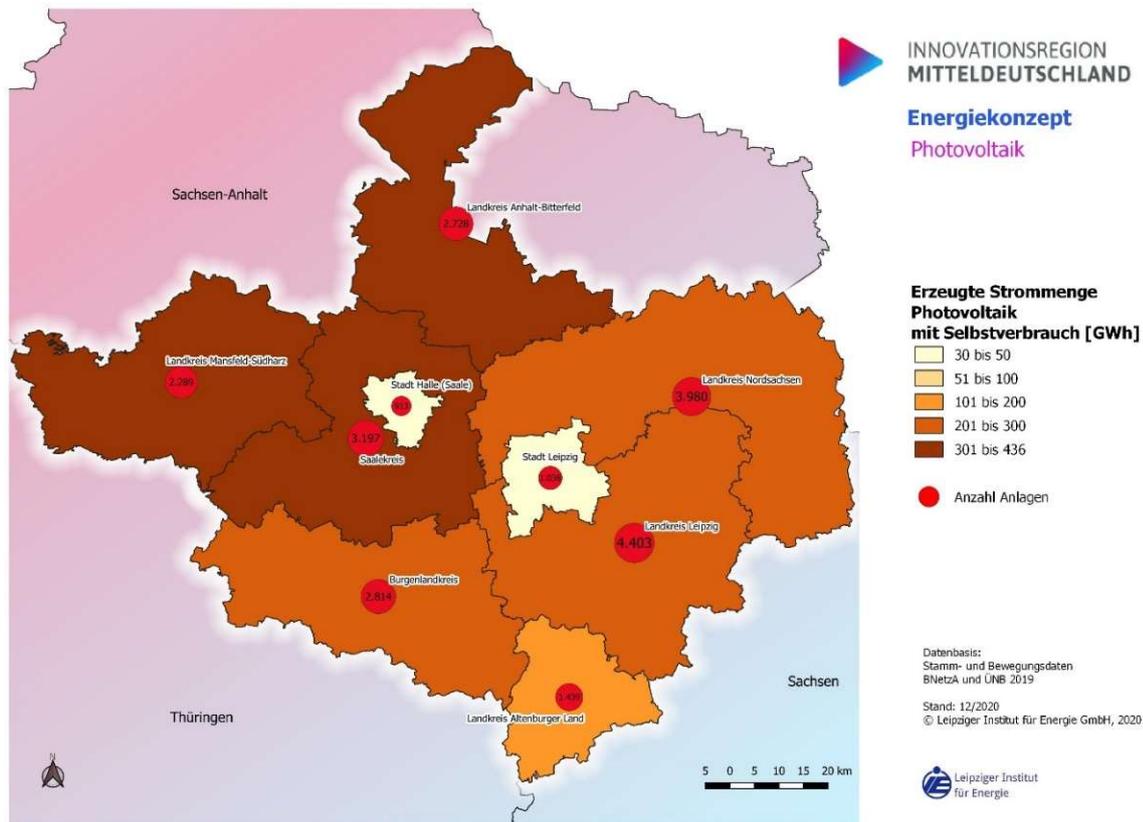


Abbildung 91 Photovoltaik-Anlagen nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018
Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

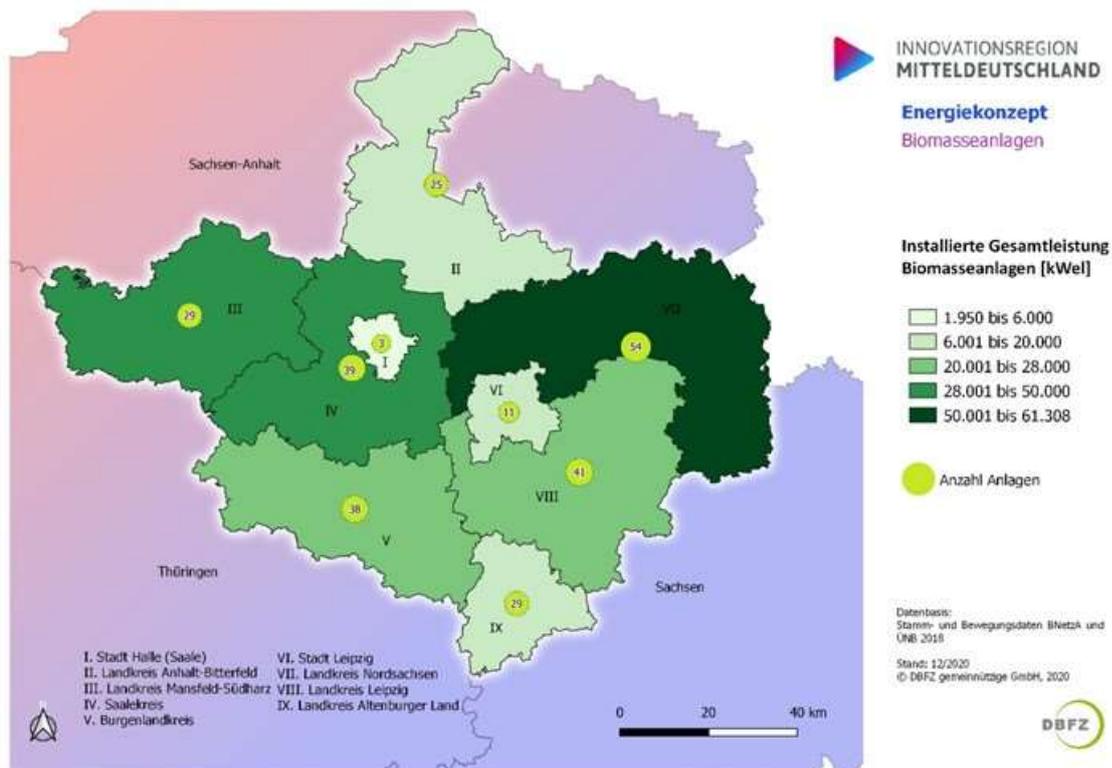


Abbildung 92 Biomasseanlagen nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

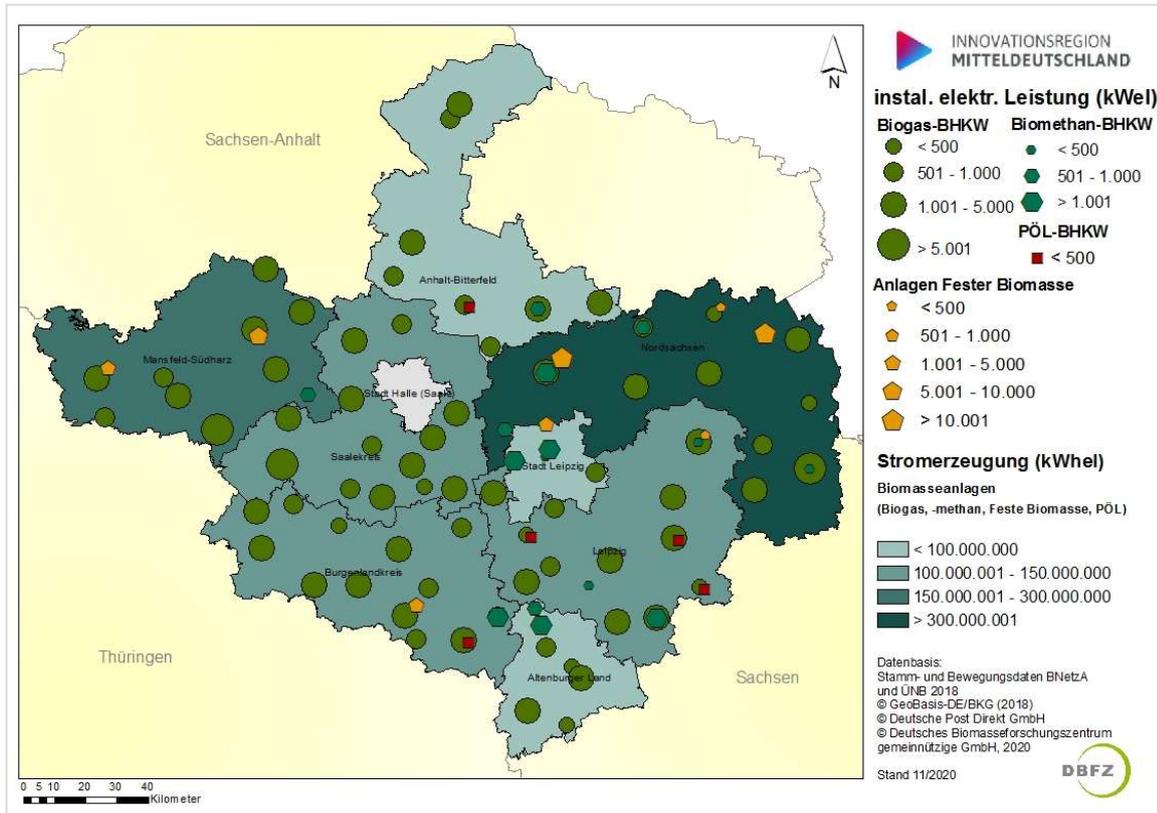
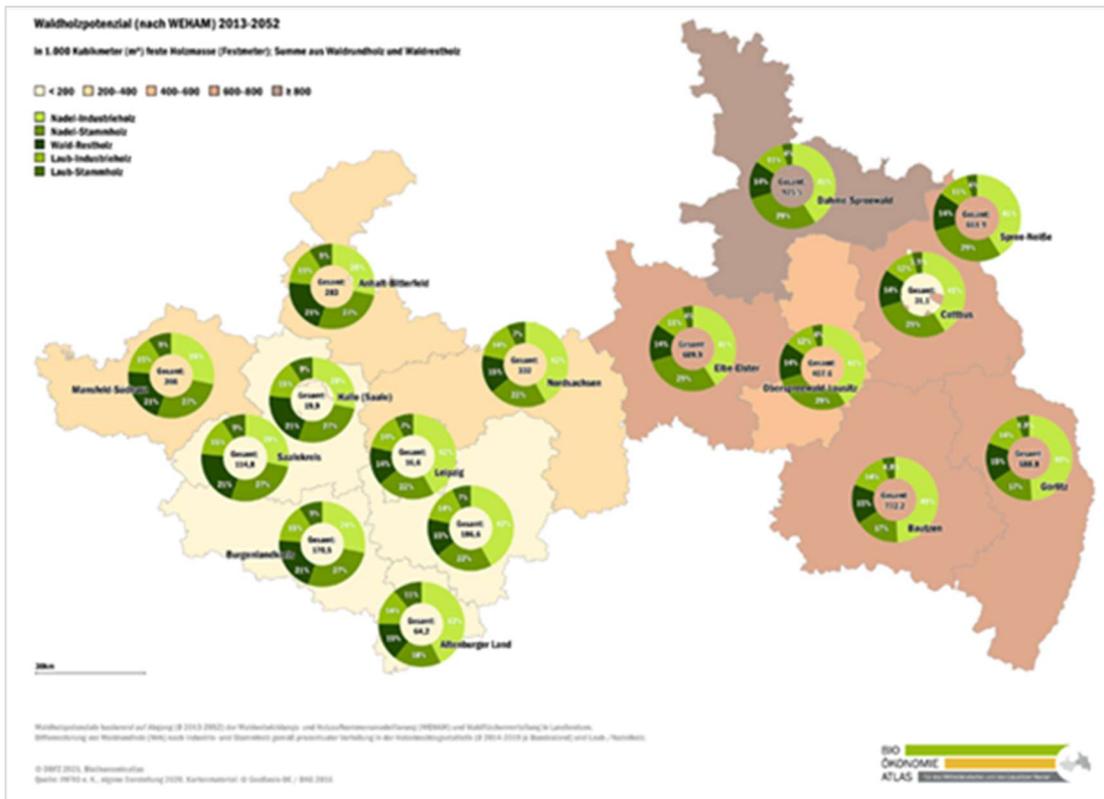


Abbildung 93 Biomasse-Anlagen nach Art der Biomasse im Jahr 2018

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie



Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

Abbildung 94 Waldholzpotenziale - Mitteldeutsches Revier (Bioökonomie Atlas 2020/2021)

Daten: [DBFZ 2020]

Tabelle 19 Holzrohstoffbilanz - Mitteldeutsches Revier (Bioökonomie Atlas 2020/2021)
Daten: [DBFZ 2020]

Waldholzpotenzial (nach WEHAM) 2013-2052 und Waldholzverwendung 2016

Holzrohstoffbilanz Mitteldeutsches Revier				
Potenzielles Aufkommen in 1.000 m ³		Verwendung in 1.000 m ³		Auschöpfung (in %)
Waldrundholz (Nadelholz)	866,2	1.332,6	Waldrundholz (Nadelholz)	153,8
		1.222,4	Stofflich	
		110,2	Energetisch	
Waldrundholz (Laubholz)	460,2	186,5	Waldrundholz (Laubholz)	40,5
		32,1	Stofflich	
		154,4	Energetisch	
Waldrestholz	227,6	52,9	Waldrestholz	23,2
		6,1	Stofflich	
		46,8	Energetisch	
Bilanzausgleich	18,0	0,0	Bilanzausgleich	
Insgesamt	1.571,9	1.571,9	Insgesamt	

© DBFZ 2021, Bioökonomieatlas

Quelle: INFRO 2020, eigene Darstellung 2021.

BIO
ÖKONOMIE
ATLAS  für das Mitteldeutsche und das Lausitzer Revier

Tabelle 20 Erneuerbare Energien (Anzahl Anlagen) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

Nr.	Gebietskörperschaft	Jahr	Gesamt	Wasserkraft	Windenergie	Photovoltaik	Biomasse	Biogas	Biomethan	Feste Biomasse	POL	Klar- und Deponiegas	Klärgas	Deponiegas
I	Stadt Halle (Saale)	2018	917	1	0	913	0	0	0	0	0	3	3	0
II	Lk Anhalt-Bitterfeld	2018	2.992	2	237	2.728	23	21	1	0	1	2	1	1
III	Lk Mansfeld-Südharz	2018	2.525	1	206	2.289	29	26	1	2	0	0	0	0
IV	Saalekreis	2018	3.516	6	273	3.197	35	35	0	0	0	4	0	4
V	Burgenlandkreis	2018	3.099	11	236	2.844	34	31	1	1	1	4	1	3
VI	Stadt Leipzig	2018	2.332	3	8	2.310	9	2	6	1	0	2	0	2
VII	Lk Nordsachsen	2018	4.142	3	105	3.980	52	41	5	6	0	2	1	1
VIII	Lk Leipzig	2018	4.531	8	79	4.403	41	32	5	1	3	0	0	0
IX	Lk Altenburger Land	2018	1534	5	61	1439	29	27	2	0	0	0	0	0
	IRMD	2018	25.587	40	1.205	24.073	252	215	21	11	5	17	6	11
	davon Sachsen-Anhalt		13.048	21	952	11.941	121	113	3	3	2	13	5	8
	davon Sachsen		11.005	14	192	10.693	102	75	16	8	3	4	1	3
	davon Thüringen		1534	5	61	1439	29	27	2	0	0	0	0	0

Tabelle 21 Erneuerbare Energien (Installierte Leistung MW_e) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

Nr.	Gebietskörperschaft	Jahr	Gesamt	Wasserkraft	Windenergie	Photovoltaik	Biomasse	Biogas	Biomethan	Feste Biomasse	POL	Klar- und Deponiegas	Klärgas	Deponiegas
I	Stadt Halle (Saale)	2018	34	1	0	31	0	0	0	0	0	2	2	0
II	Lk Anhalt-Bitterfeld	2018	837	3	422	394	14	13	1	0	0	1	0	1
III	Lk Mansfeld-Südharz	2018	658	0	311	317	30	22	1	8	0	0	0	0
IV	Saalekreis	2018	839	4	503	300	25	25	0	0	0	6	0	6
V	Burgenlandkreis	2018	668	4	458	195	24	21	1	2	0	2	0	2
VI	Stadt Leipzig	2018	88	0	11	67	9	1	6	5	0	2	0	2
VII	Lk Nordsachsen	2018	460	0	132	267	60	21	5	36	0	2	0	1
VIII	Lk Leipzig	2018	388	3	103	257	24	19	5	0	0	0	0	0
IX	Lk Altenburger Land	2018	237	0	98	127	11	9	2	0	0	0	0	0
	IRMD	2018	4.209	16	2.038	1.955	198	130	21	51	0	15	2	12
	davon Sachsen-Anhalt		3.037	12	1694	1237	93	80	3	10	0	11	2	9
	davon Sachsen		935	4	245	591	94	41	16	41	0	3	0	3
	davon Thüringen		237	0	98	127	11	9	2	0	0	0	0	0

Tabelle 22 Erneuerbare Energien (erzeugte Strommenge) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018
 Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH
 sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

Nr.	Gebietskörperschaft	Jahr	Gesamt	Wasserkraft	Windenergie	Photovoltaik	Biomasse	Klar- und Deponiegas
I	Stadt Halle (Saale)	2018	48.373	4.923	0	29.800	0	13.650
II	Lk Anhalt-Bitterfeld	2018	1278.578	4.597	745.000	436.100	87.978	4.903
III	Lk Mansfeld-Südharz	2018	1078.875	88	569.000	345.600	164.187	0
IV	Saalekreis	2018	1432.778	17.758	981.000	319.600	113.906	514
V	Burgenlandkreis	2018	1095.957	11.482	758.000	202.600	118.042	5.832
VI	Stadt Leipzig	2018	133.721	355	13.000	64.810	53.923	1633
VII	Lk Nordsachsen	2018	812.206	1.064	213.000	246.237	350.064	1.842
VIII	Lk Leipzig	2018	612.555	12.020	198.000	251.081	129.635	0
IX	Lk Altenburger Land	2018	218.928	585	0	138.300	80.043	0
	IRMD	2018	6.711.970	52.872	3.477.000	2.034.127	1.097.777	28.375
	davon Sachsen-Anhalt		4.934.561	38.848	3.053.000	1.333.700	484.113	24.900
	davon Sachsen		1.558.482	13.439	424.000	562.127	533.621	3.475
	davon Thüringen		218.928	585	0	138.300	80.043	0

Tabelle 23 Erneuerbare Energien (erzeugte Wärmemenge) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018
 Daten: Stamm- und Bewegungsdaten des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission GmbH
 sowie Marktstammdatenregister (Stand 12/2020)

Nr.	Gebietskörperschaft	Jahr	Gesamt	Wasserkraft	Windenergie	Photovoltaik	Biomasse	Klar- und Deponiegas
I	Stadt Halle (Saale)	2018	15.644	0	0	0	0	15.644
II	Lk Anhalt-Bitterfeld	2018	96.022	0	0	0	90.404	5.618
III	Lk Mansfeld-Südharz	2018	197.257	0	0	0	197.257	0
IV	Saalekreis	2018	118.914	0	0	0	118.325	589
V	Burgenlandkreis	2018	137.743	0	0	0	131.127	6.616
VI	Stadt Leipzig	2018	81.835	0	0	0	79.963	1.872
VII	Lk Nordsachsen	2018	476.641	0	0	0	474.531	2.111
VIII	Lk Leipzig	2018	135.581	0	0	0	135.581	0
IX	Lk Altenburger Land	2018	85.246	0	0	0	85.246	0
	IRMD	2018	1.344.865	0	0	0	1.312.413	32.451
	davon Sachsen-Anhalt		565.581	0	0	0	537.113	28.468
	davon Sachsen		694.037	0	0	0	690.054	3.983
	davon Thüringen		85.246	0	0	0	85.246	0

Tabelle 24 Standorte der Kläranlagen in der IRMD

Darstellung: DBFZ

Nr.	Gebietskörperschaft	Standort	Postleitzahl
I	Halle (Saale), Stadt	Halle	06120
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Bitterfeld-Wolfen	06803
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Köthen	06366
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Zerbst	39261
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Zörbig	06780
III	Landkreis Mansfeld-Südharz	Sangerhausen	06526
III	Landkreis Mansfeld-Südharz	Freist	06347
IV	Saalekreis	Schkopau	06258
IV	Saalekreis	Bad Dürrenberg	06231
IV	Saalekreis	Braunsbedra	06242
V	Burgenlandkreis	Weißenfels	06667
V	Burgenlandkreis	Karsdorf	06638
VI.	Leipzig, Stadt	Leipzig	04105
VII	Landkreis Nordsachsen	Eilenburg	04838
VII	Landkreis Nordsachsen	Delitzsch	04509
VII	Landkreis Nordsachsen	Torgau	04860
VII	Landkreis Nordsachsen	Bad Dübén	04849
VII	Landkreis Nordsachsen	Oschatz	04758
VII	Landkreis Nordsachsen	Mügeln	04769
VII	Landkreis Nordsachsen	Belgern	04874
VII	Landkreis Nordsachsen	Langenreichenbach	04862
VII	Landkreis Nordsachsen	Zschortau-Rackwitz	04519
VII	Landkreis Nordsachsen	Wiedemar	04509
VII	Landkreis Nordsachsen	Dölzig	04435
VIII	Landkreis Leipzig	Markranstädt	04420
VIII	Landkreis Leipzig	Markleeberg	04416
VIII	Landkreis Leipzig	Borsdorf	04451
VIII	Landkreis Leipzig	Wurzen	04808

VIII	Landkreis Leipzig	Trebsen	04687
VIII	Landkreis Leipzig	Espenhain	04552
VIII	Landkreis Leipzig	Bad Lausick	04651
VIII	Landkreis Leipzig	Klein Dalzig	04442
VIII	Landkreis Leipzig	Bennewitz	04828
IX	Altenburger Land	Treben	04617
IX	Altenburger Land	Lucka	04613
IX	Altenburger Land	Gößnitz	04639
IX	Altenburger Land	Schmölln	04626
IX	Altenburger Land	Meuselwitz	04610

Tabelle 25 Standorte Klärgas-BHKW in der IRMD

Daten: ÜNB EEG-Daten 2019 (Bezugsjahr 2018), Darstellung: DBFZ 5/2021

Nr.	Gebietskörperschaft	Standort	Leistung kW _{el} (Klärgas-BHKW)	Stromeinspeisung kWh _{el} /a (Klärgas-BHKW)
I	Halle (Saale), Stadt	Halle	1.950	0
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Köthen	180	19.183
V	Burgenlandkreis	Weißenfels	180	0
VII	Landkreis Nordsachsen	Eilenburg	135	678

Tabelle 26 Standorte der Deponieanlagen in der IRMD

Daten: ÜNB EEG-Daten 2019 (Bezugsjahr 2018), Darstellung: DBFZ 5/2021

Nr.	Gebietskörperschaft	Stadt	Deponie	Deponie-Klasse
VIII	Landkreis Leipzig	Großpösna/OT Störmthal	Cröbern	3
VIII	Landkreis Leipzig	Großpösna/OT Störmthal	Cröbern	2
VII	Landkreis Nordsachsen	Delitzsch	Entsorgungsanlage Spröda	2
VII	Landkreis Nordsachsen	Wiedemar	Entsorgungsanlage Lissa	2
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Bitterfeld-Wolfen	Deponie Grube Antonie	3
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Roitzsch	Roitzsch	2

IV	Saalekreis	Schkopau	Deponie HH Schkopau	3
IV	Saalekreis	Schkopau	Lochau	2
V	Burgenlandkreis	Deuben	Deuben Grub. Siegfried- Nord	2
V	Burgenlandkreis	Elsteraue	Nißma	2
IX	Altenburger Land	Meuselwitz	Betriebsdeponie Phönix-Ost III	3

Tabelle 27 Standorte der Deponiegas-BHKW in der IRMD

Daten: ÜNB EEG-Daten 2019 (Bezugsjahr 2018), Darstellung: DBFZ 5/2021

Nr.	Gebietskörperschaft	Stadt	installierte BHKW-Leistung, kW _{el}	Stromerzeugung, kWh _{el} /a (BHKW)
VI	Leipzig, Stadt	Leipzig	1.727	411.784
VI	Leipzig, Stadt	Leipzig	249	1.221.703
VII	Landkreis Nordsachsen	Delitzsch, OT Spröda	1.365	1.841.095
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Bitterfeld-Wolfen	888	0
V	Burgenlandkreis	Teuchern	311	93.737
V	Burgenlandkreis	Freyburg	1.107	3.906.720
V	Burgenlandkreis	Elsteraue	150	571.962
IV	Saalekreis	Schkopau	2.663	0
IV	Saalekreis	Schkopau	2.262	150.169
IV	Saalekreis	Schkopau	1.455	363.910
IV	Saalekreis	Steigra	90	0

Tabelle 28 Biogasaufbereitungsanlagen (BGAA) in der IRMD mit Status „in Betrieb“

Daten: Biomethan-Datenbank DBFZ, MaStR 6/2021, dena Einspeiseatlas 1/2021; Darstellung: DBFZ 6/2021

Nr.	Gebietskörperschaft	Stadt	m ³ /h Biomethan
VIII	Landkreis Leipzig	Markranstädt	700
VIII	Landkreis Leipzig	Thierbach7Kitzscher	700
VIII	Landkreis Leipzig	Trebsen	500
VII	Landkreis Nordsachsen	Oschatz	700
VII	Landkreis Nordsachsen	Raitzen	550
VII	Landkreis Nordsachsen	Gordemitz/Jesewitz	700
IV	Saalekreis	Teutschental	700
III	Landkreis Mansfeld-Südharz	Röblingen am See	750
III	Landkreis Mansfeld-Südharz	Erdeborn	550
III	Landkreis Mansfeld-Südharz	Niederröblingen	620
V	Burgenlandkreis	Zeitz	650
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Bitterfeld-Wolfen	700
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Zörbig	2500
II	Landkreis Anhalt-Bitterfeld	Zörbig (2. Ausbaustufe)	2500
IX	Altenburger Land	Lehma / Altenburg	600

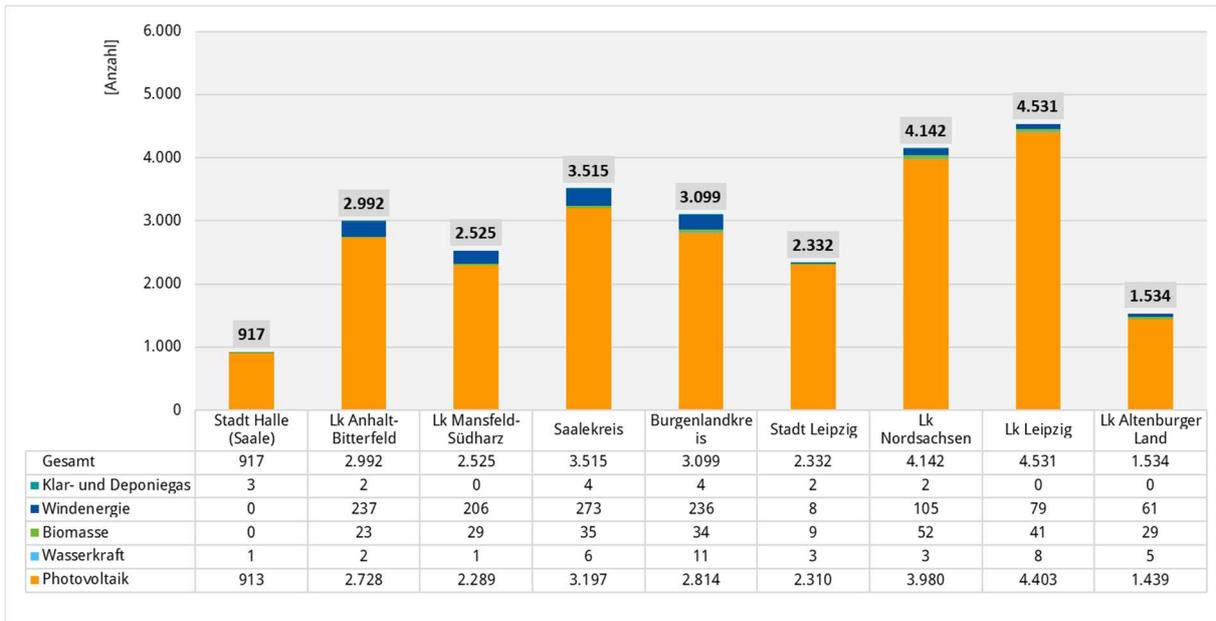


Abbildung 95 Erneuerbare Energien (Anzahl Anlagen) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

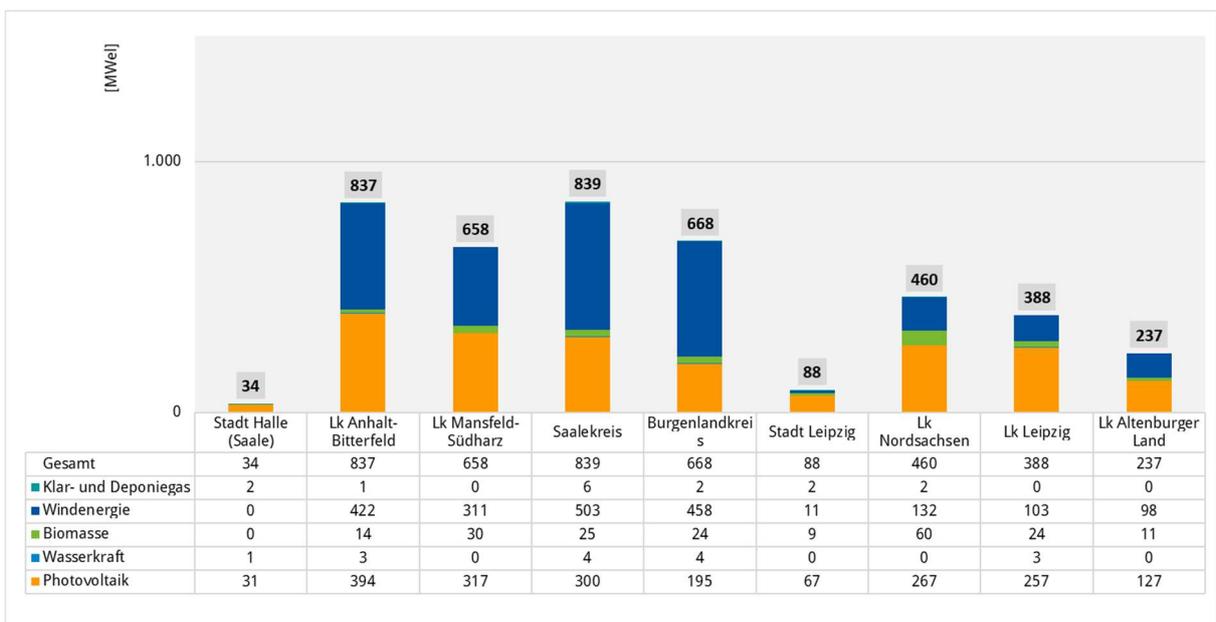


Abbildung 96 Erneuerbare Energien (Installierte Leistung) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

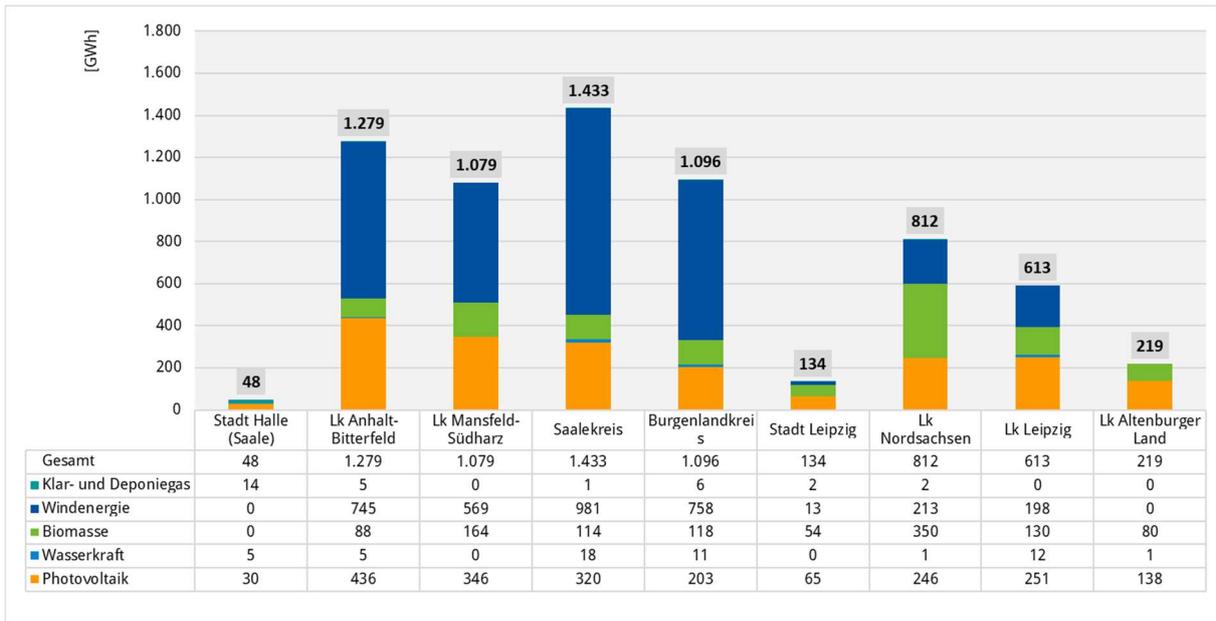


Abbildung 97 Erneuerbare Energien (Stromerzeugung) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Zusammenfassung Energieerzeugung

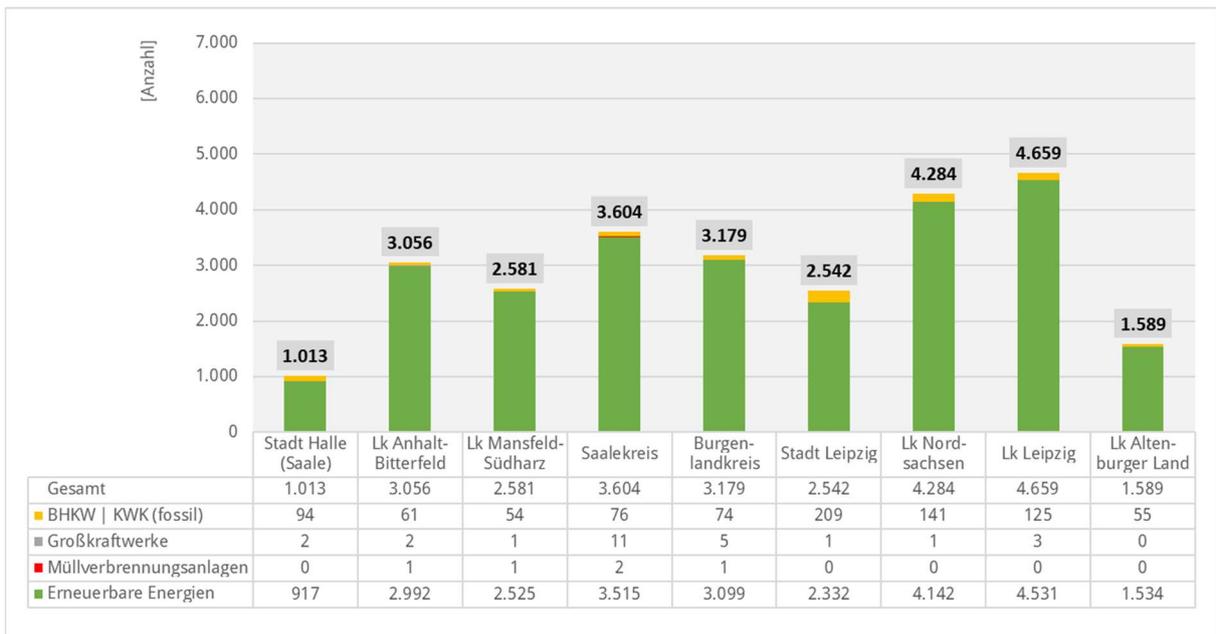


Abbildung 98 Energieerzeugung gesamt (Anzahl Anlagen) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

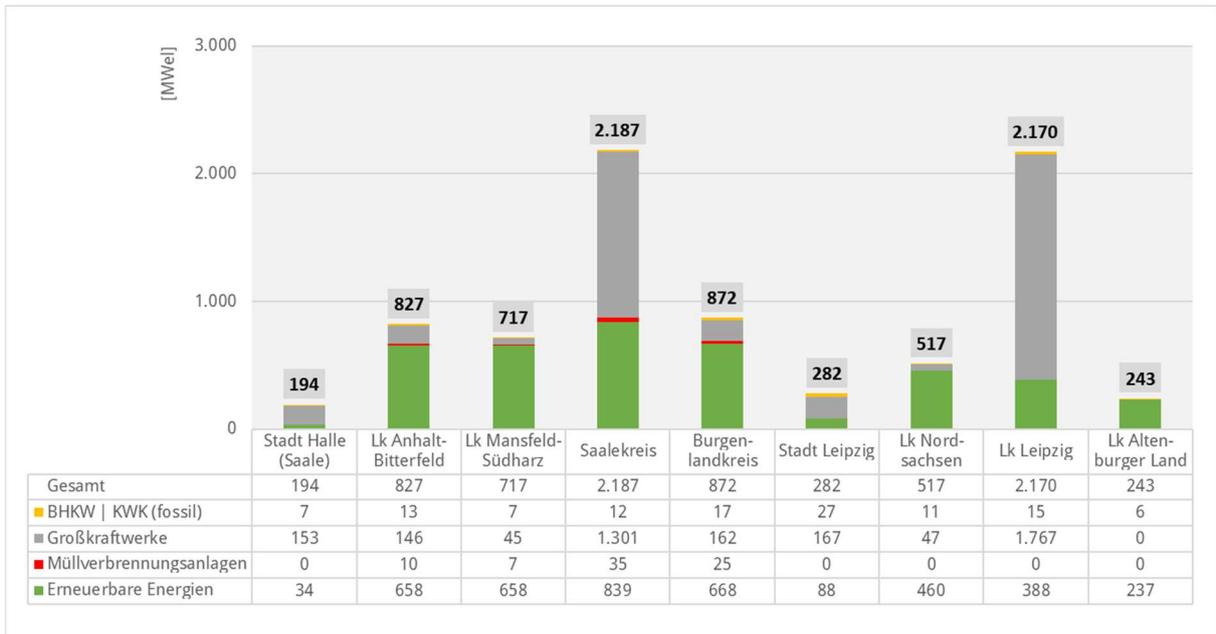


Abbildung 99 Energieerzeugung gesamt (Installierte Leistung) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

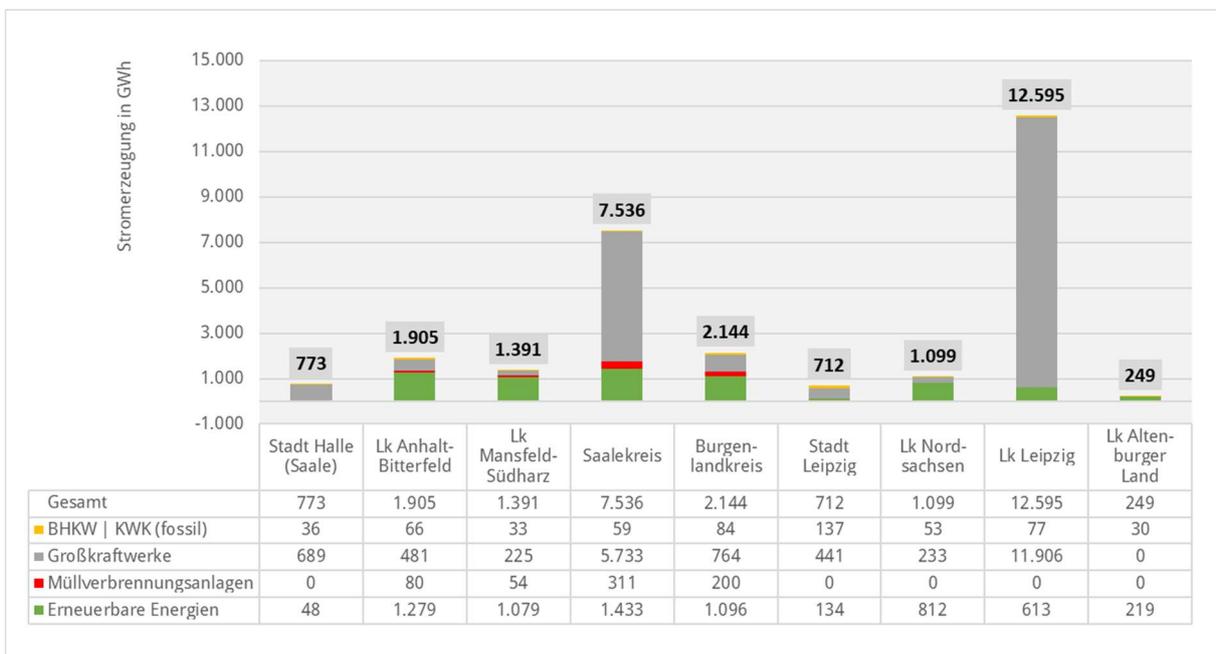


Abbildung 100 Energieerzeugung gesamt (erzeugte Strommenge) nach Gebietskörperschaften im Jahr 2018

Anhang 2: Strombilanzen der Gebietskörperschaften

Stadt Halle (Saale)

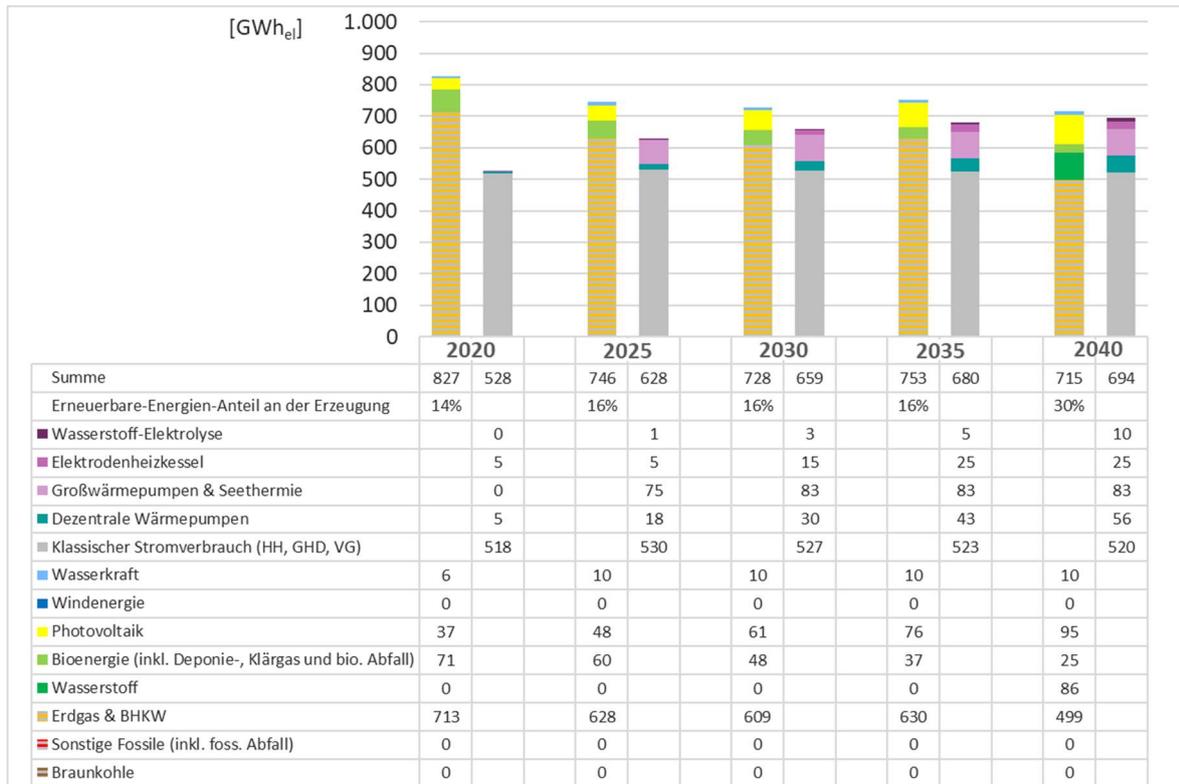


Abbildung 101 Strombilanz Stadt Halle (Saale) - Referenzszenario

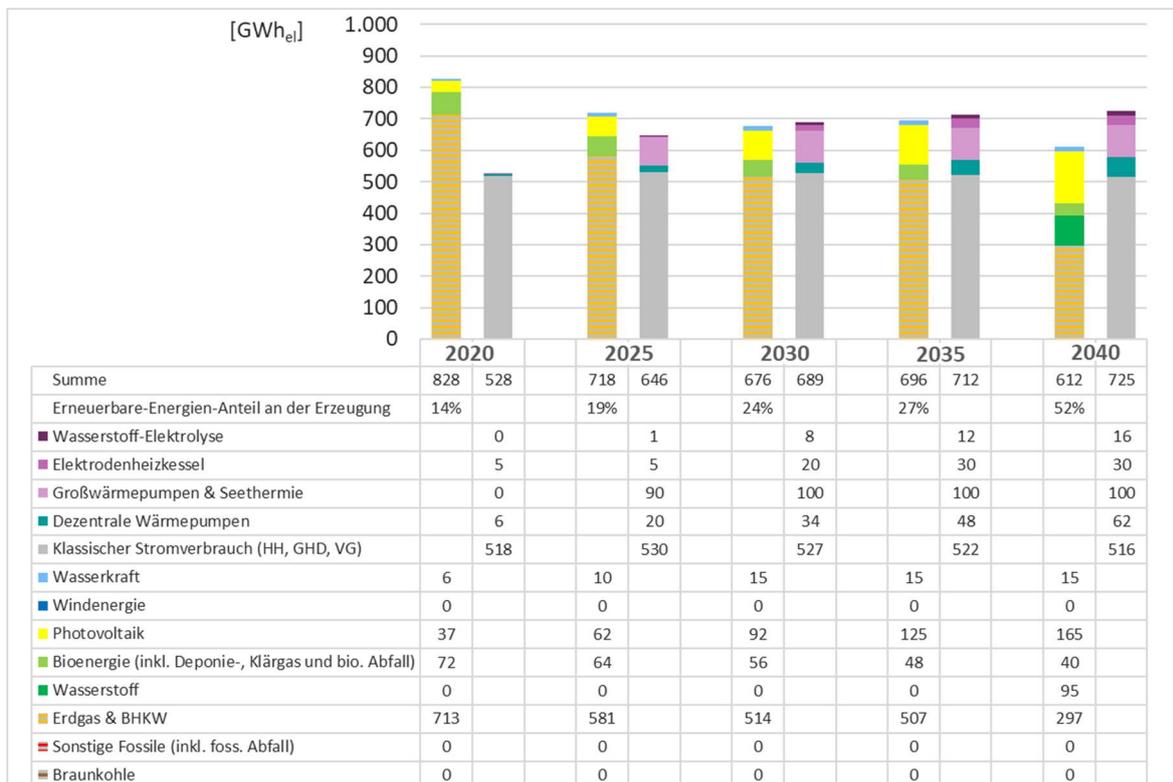


Abbildung 102 Strombilanz Stadt Halle (Saale) - Green-Deal-Szenario

Landkreis Anhalt-Bitterfeld

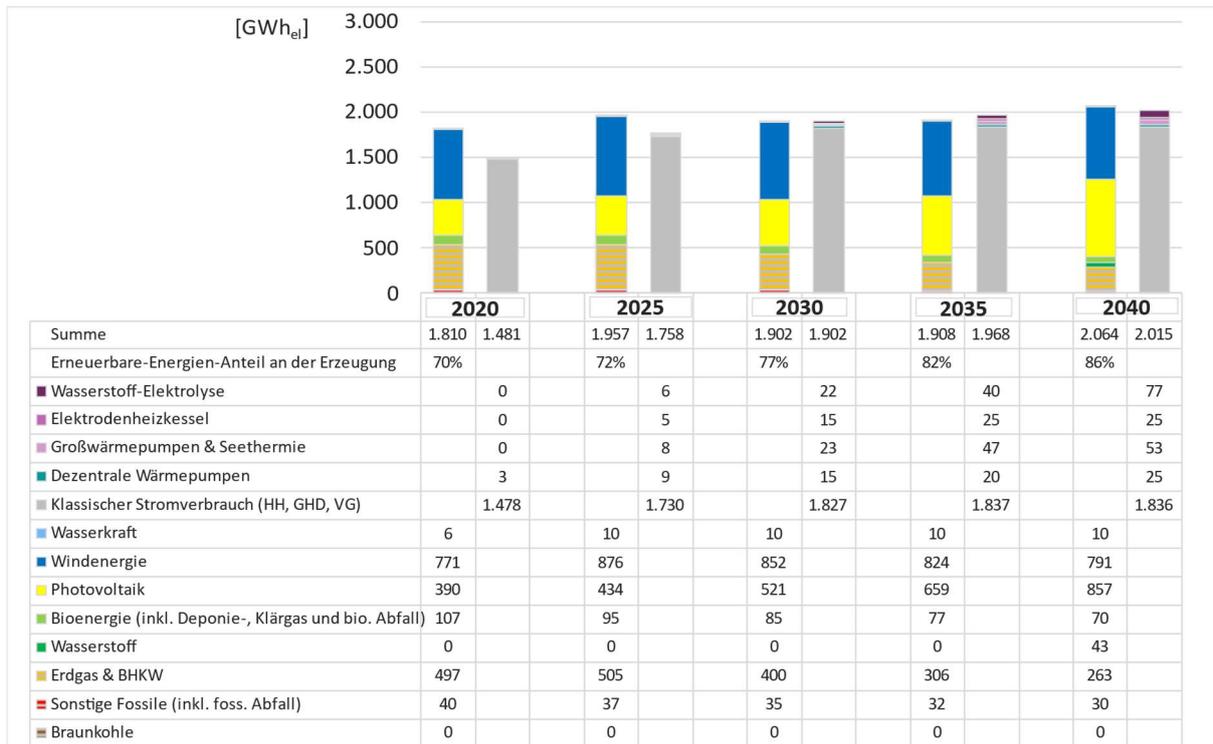


Abbildung 103 Strombilanz Landkreis Anhalt-Bitterfeld - Referenzszenario

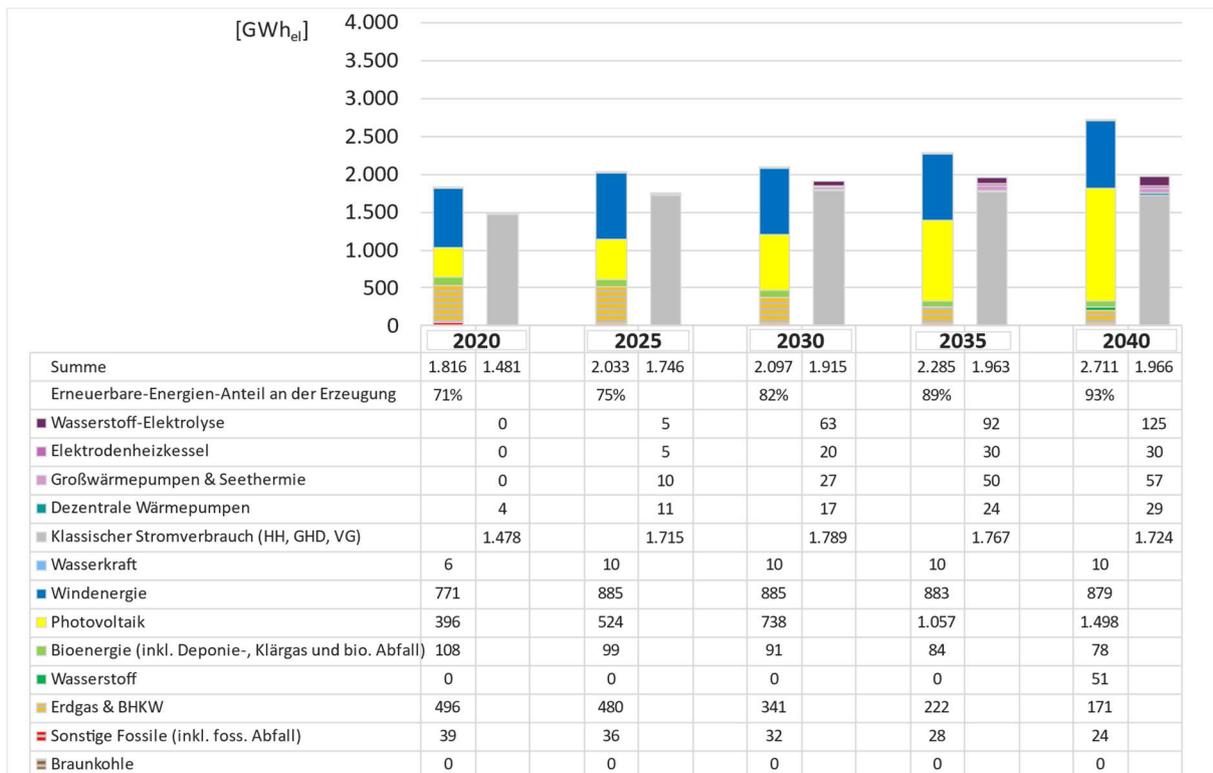


Abbildung 104 Strombilanz Landkreis Anhalt-Bitterfeld - Green-Deal-Szenario

Landkreis Mansfeld-Südharz

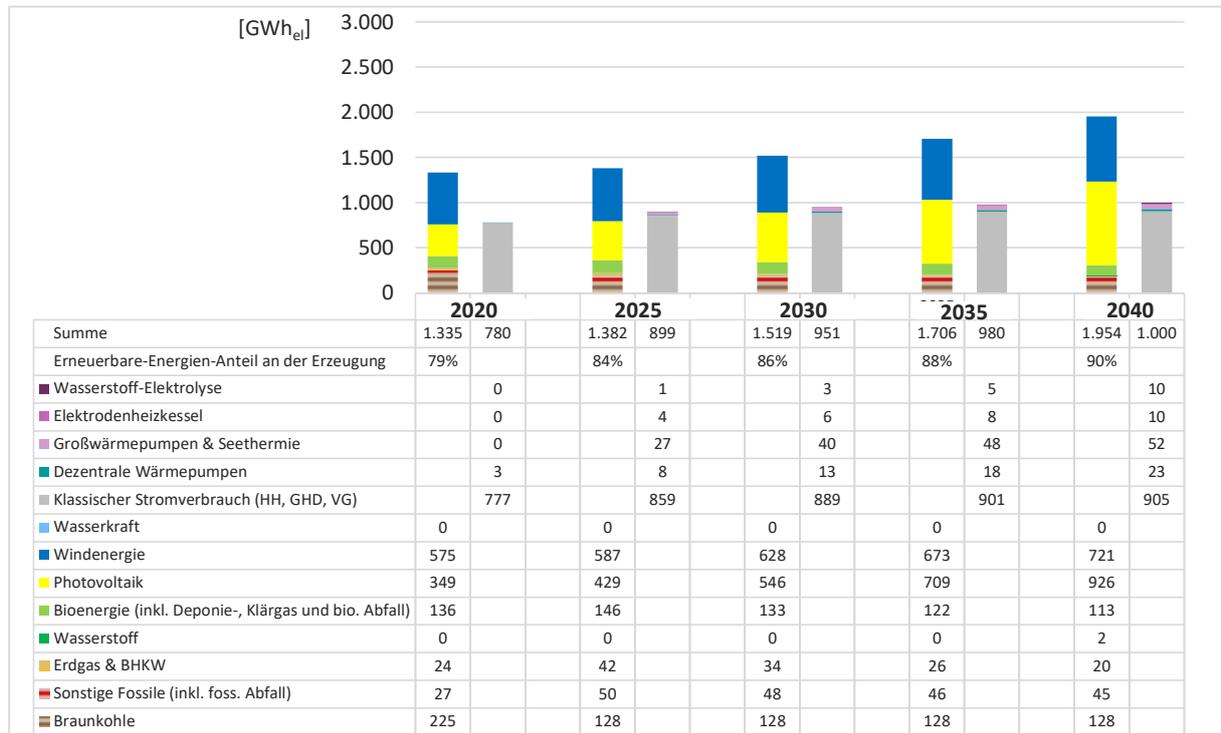


Abbildung 105 Strombilanz Landkreis Mansfeld-Südharz – Referenzszenario

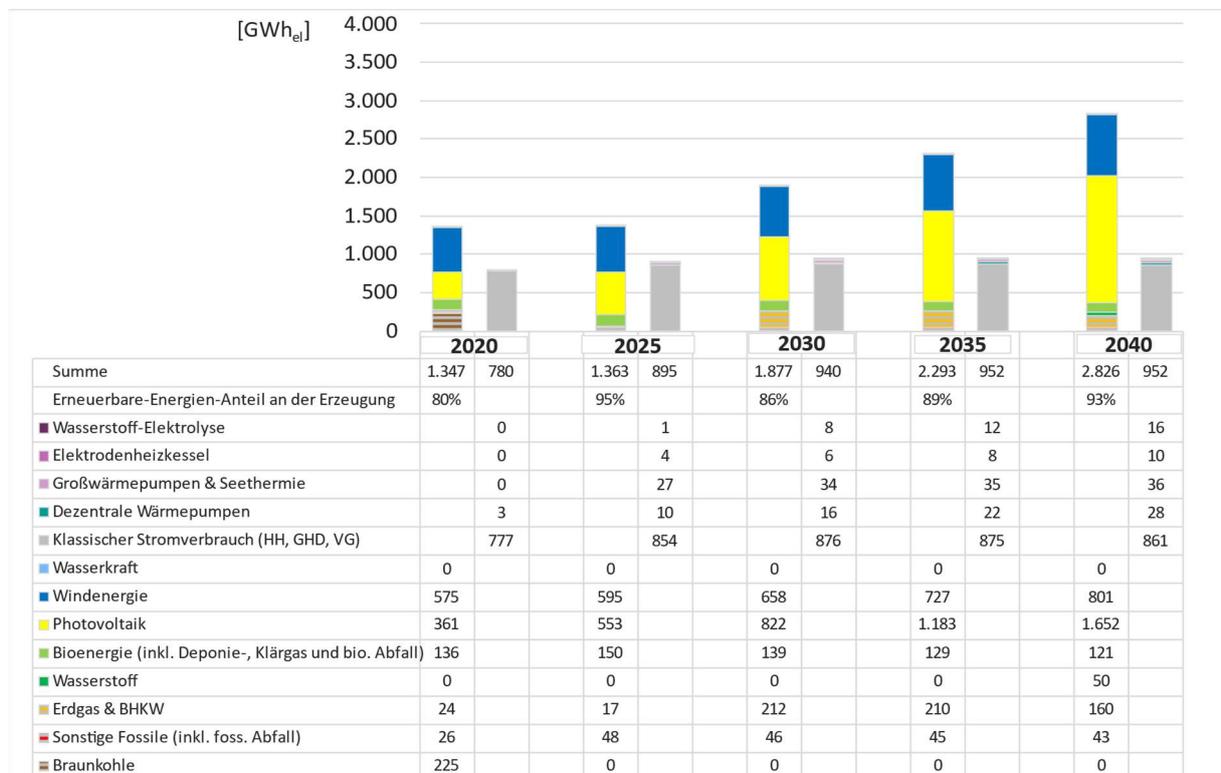


Abbildung 106 Strombilanz Landkreis Mansfeld-Südharz – Green-Deal-Szenario

Saalekreis

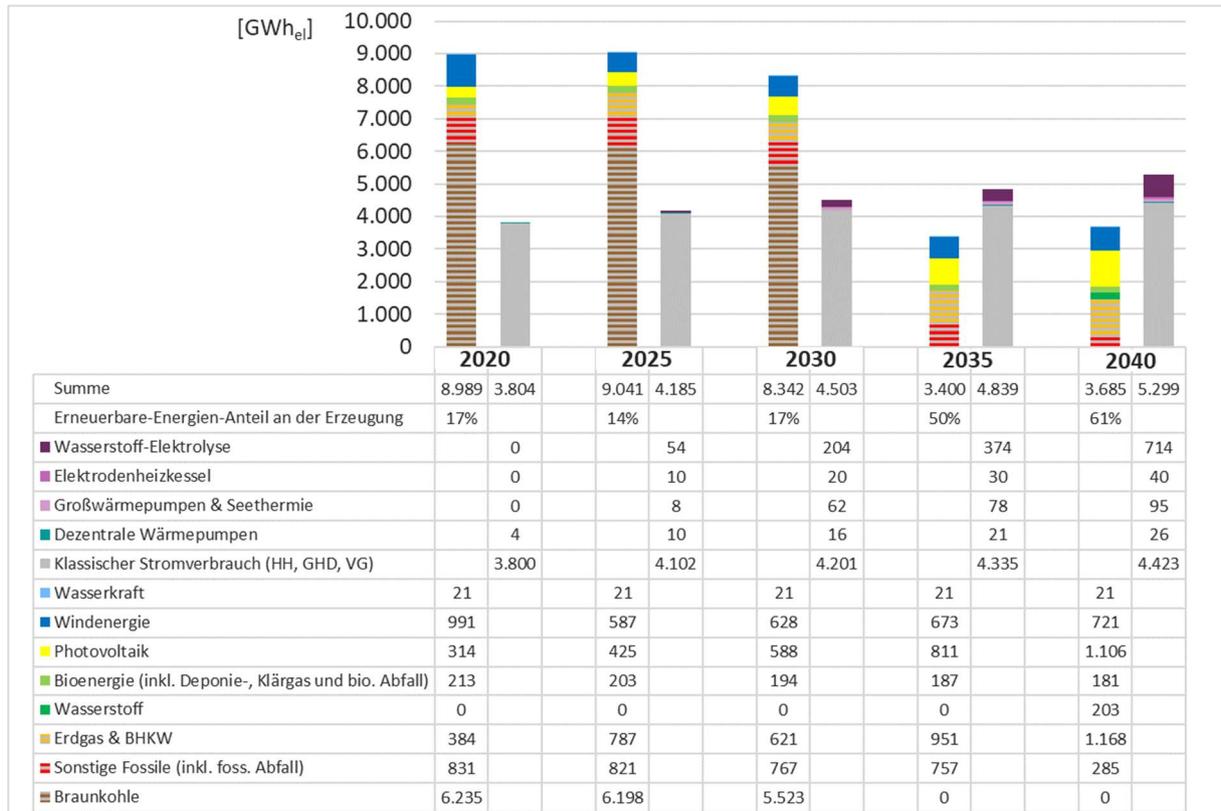


Abbildung 107 Strombilanz Saalekreis - Referenzszenario

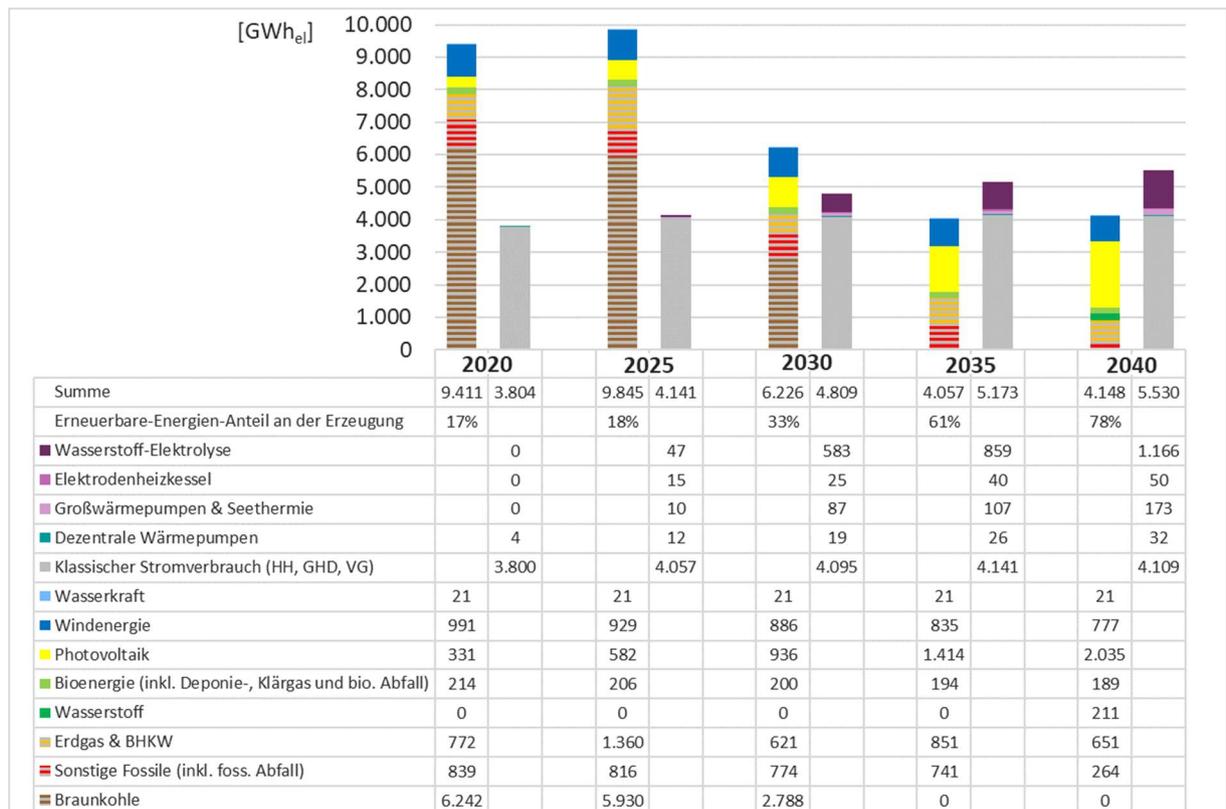


Abbildung 108 Strombilanz Saalekreis - Green-Deal-Szenario

Burgenlandkreis

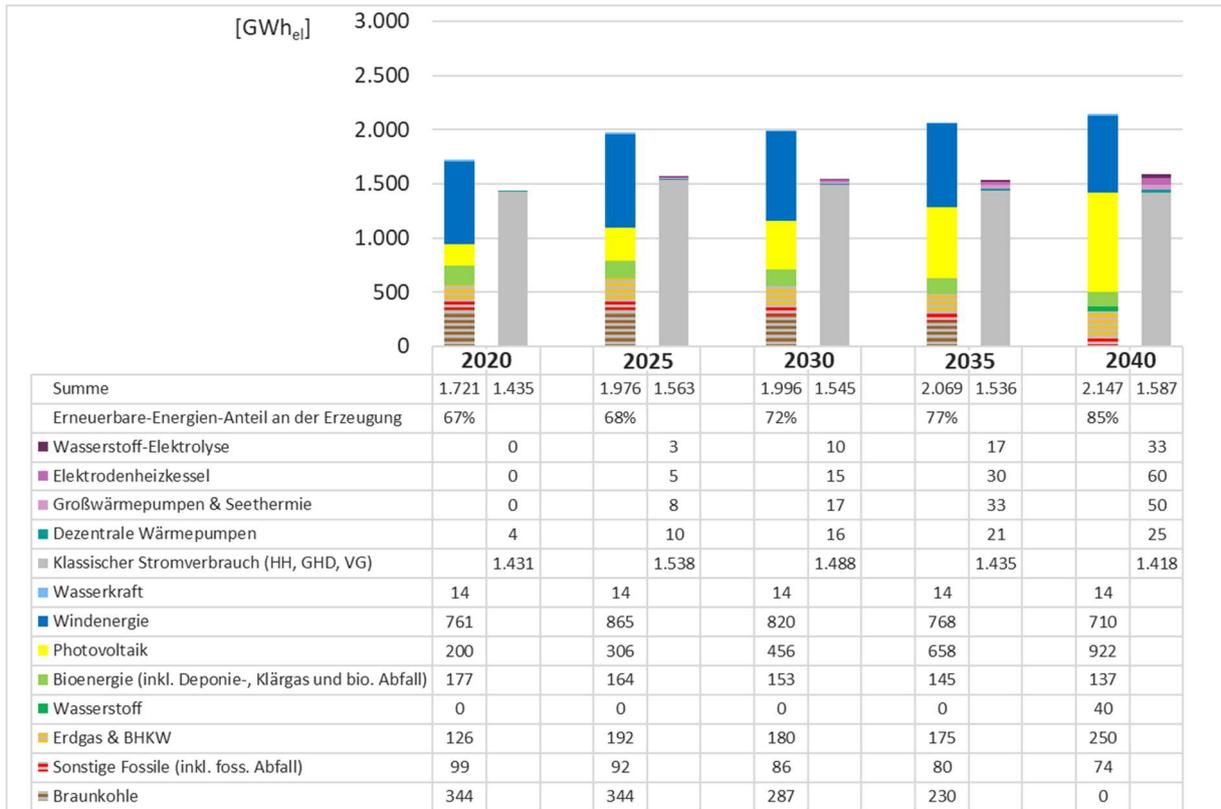


Abbildung 109 Strombilanz Burgenlandkreis - Referenzszenario

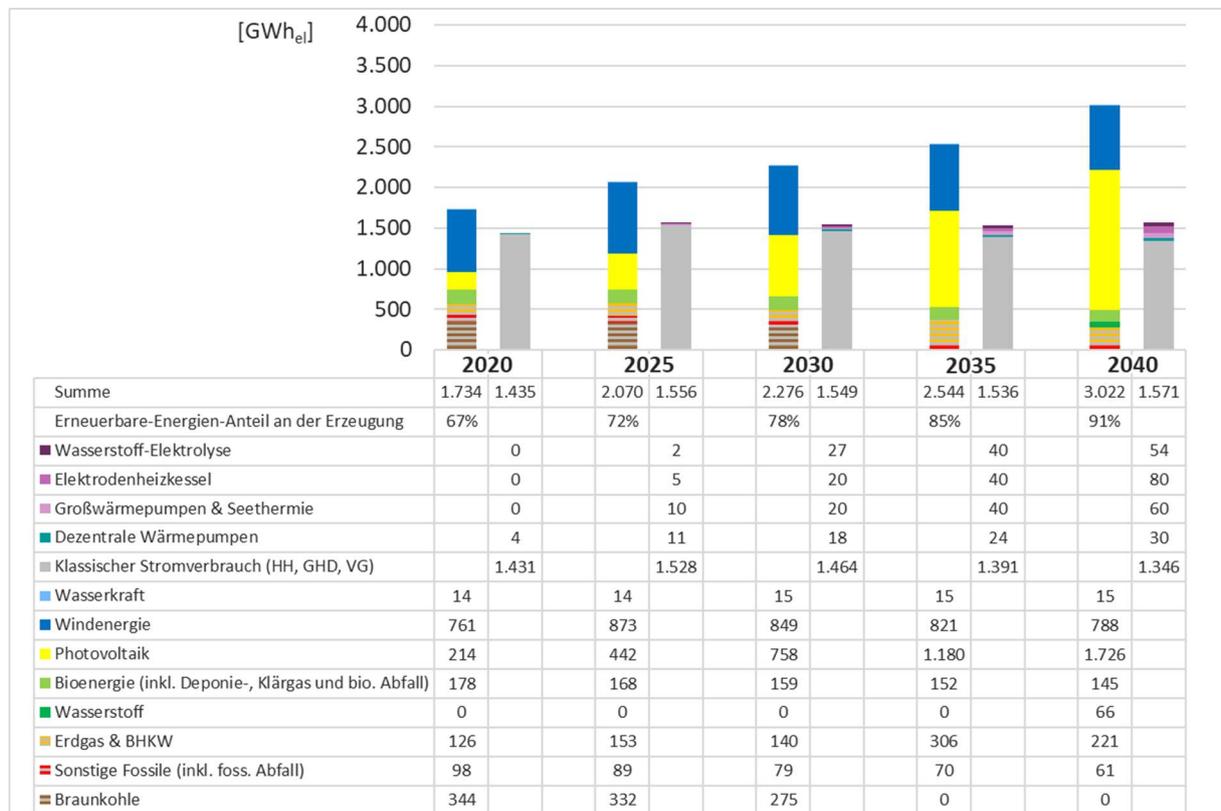


Abbildung 110 Strombilanz Burgenlandkreis - Green-Deal-Szenario

Stadt Leipzig

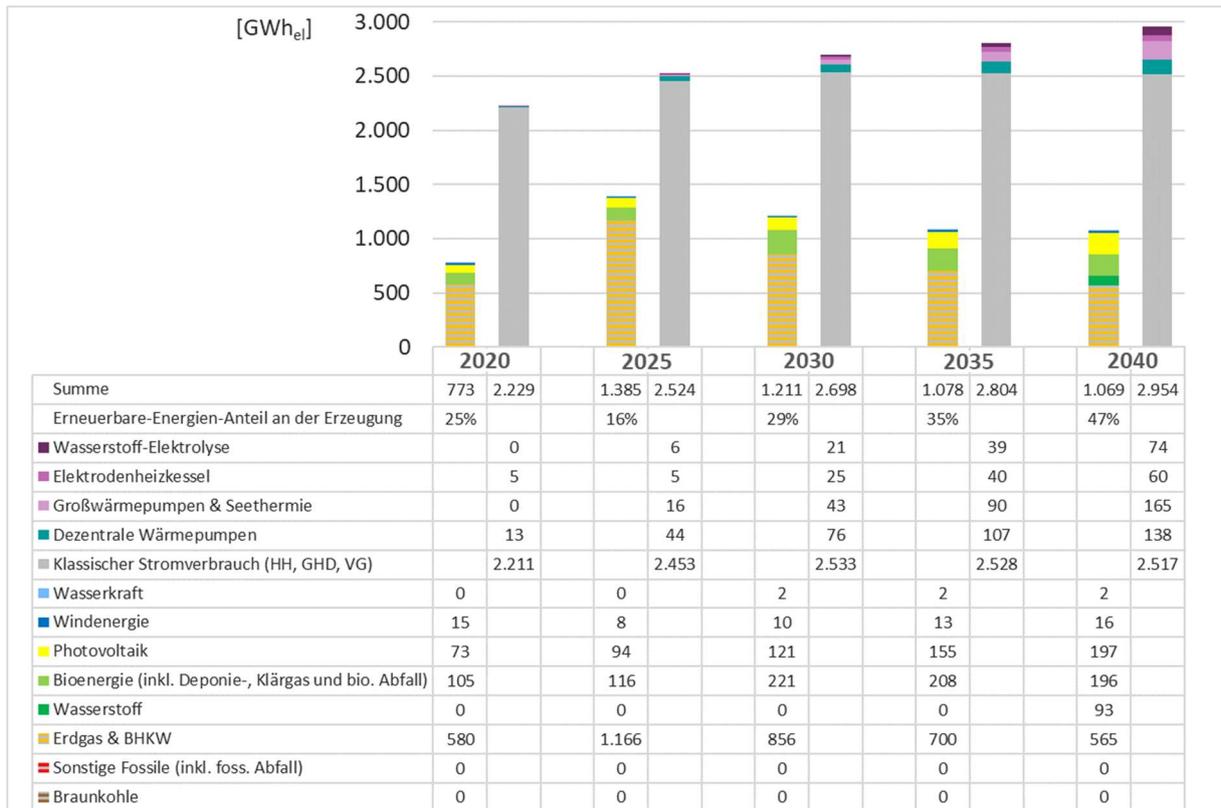


Abbildung 111 Strombilanz Stadt Leipzig - Referenzszenario

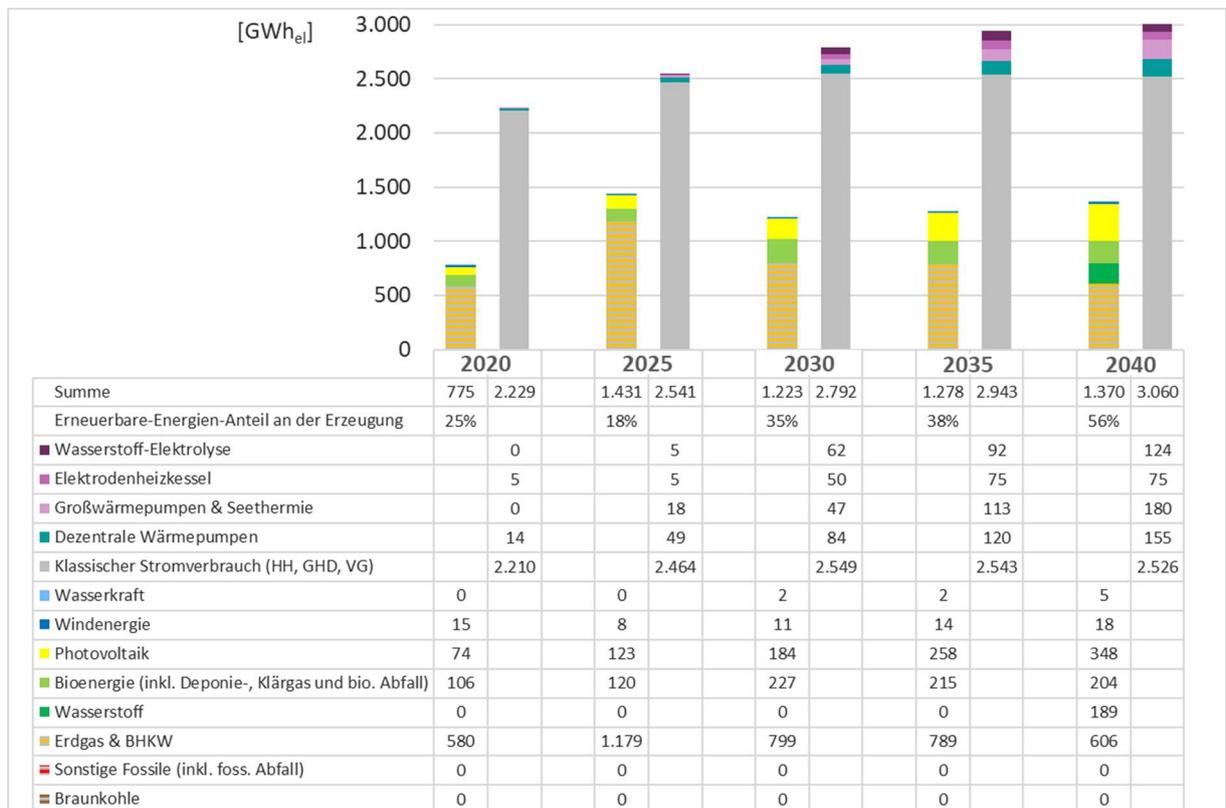


Abbildung 112 Strombilanz Stadt Leipzig - Green-Deal-Szenario

Landkreis Nordsachsen

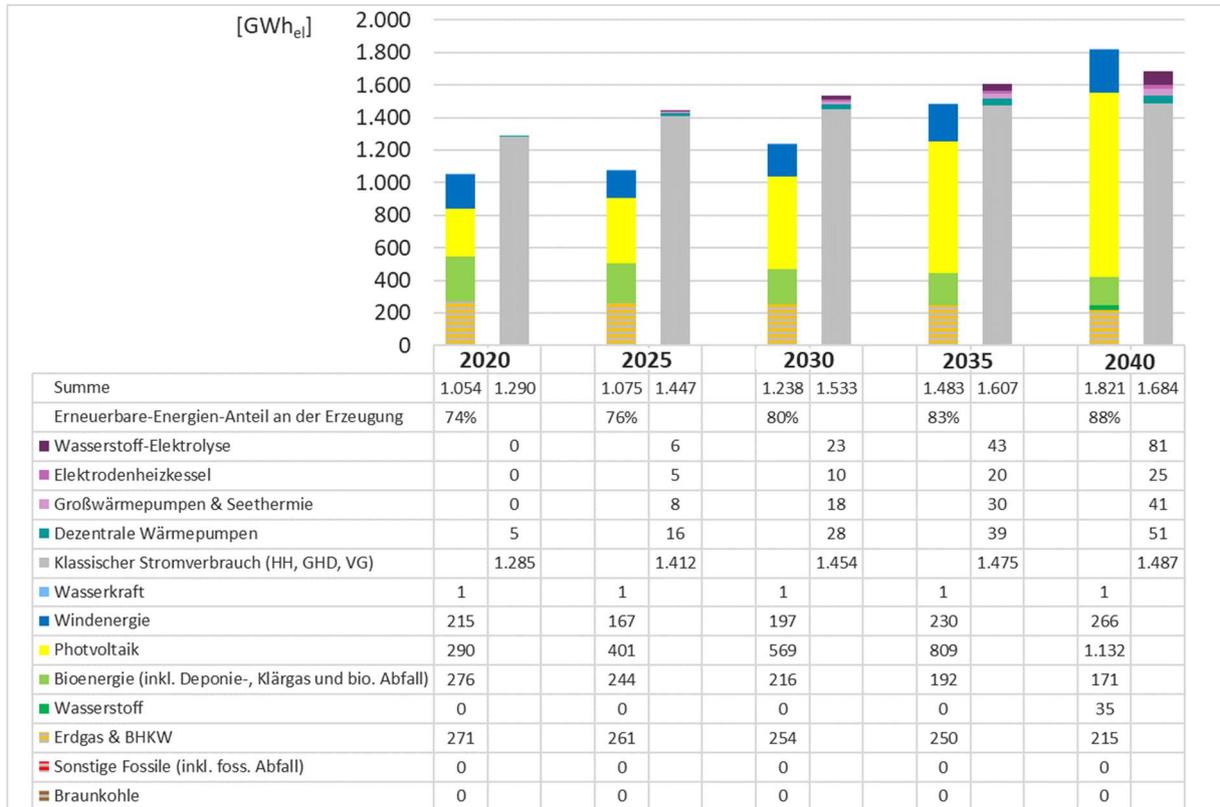


Abbildung 113 Strombilanz Landkreis Nordsachsen - Referenzszenario

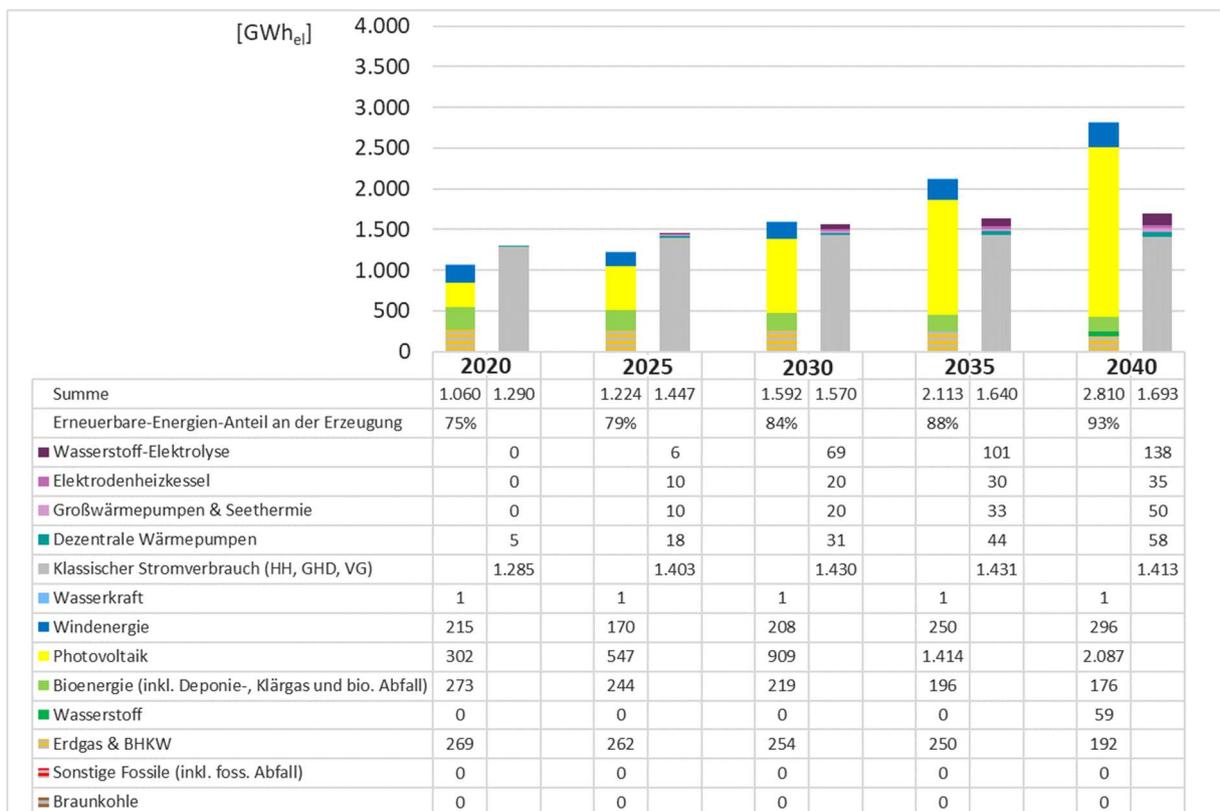


Abbildung 114 Strombilanz Landkreis Nordsachsen - Green-Deal-Szenario

Landkreis Leipzig

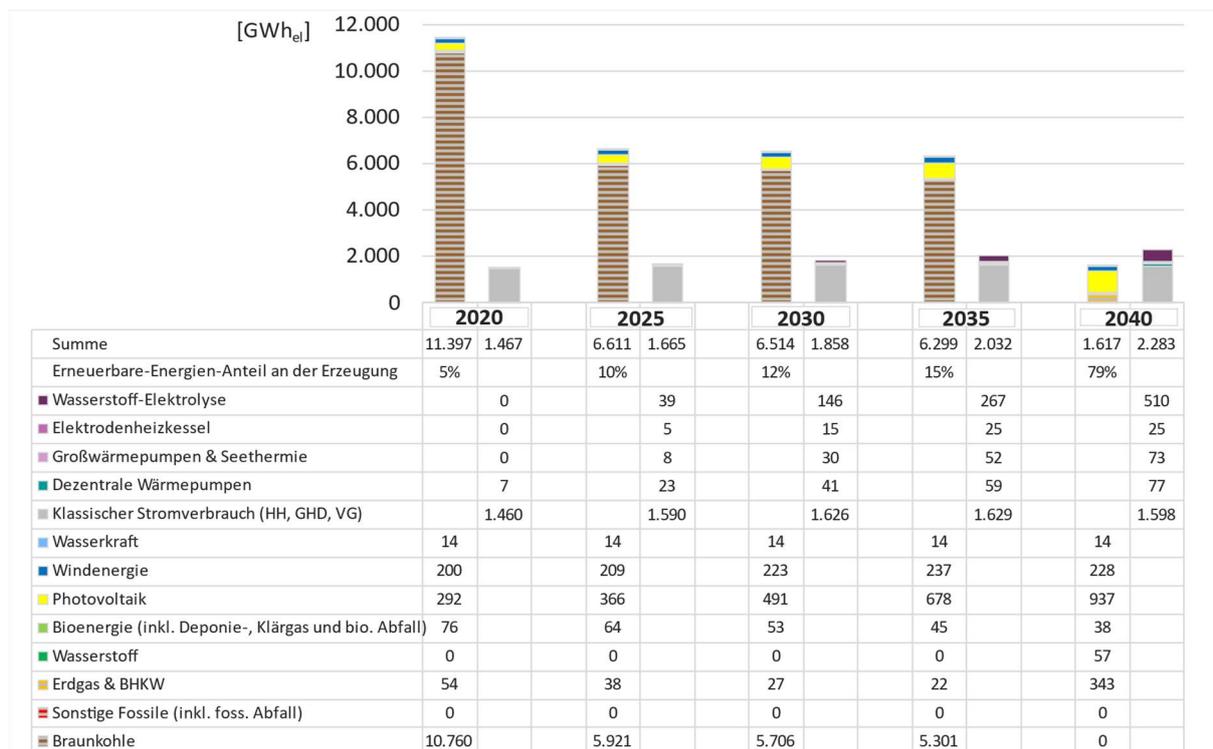


Abbildung 115 Strombilanz Landkreis Leipzig - Referenzszenario

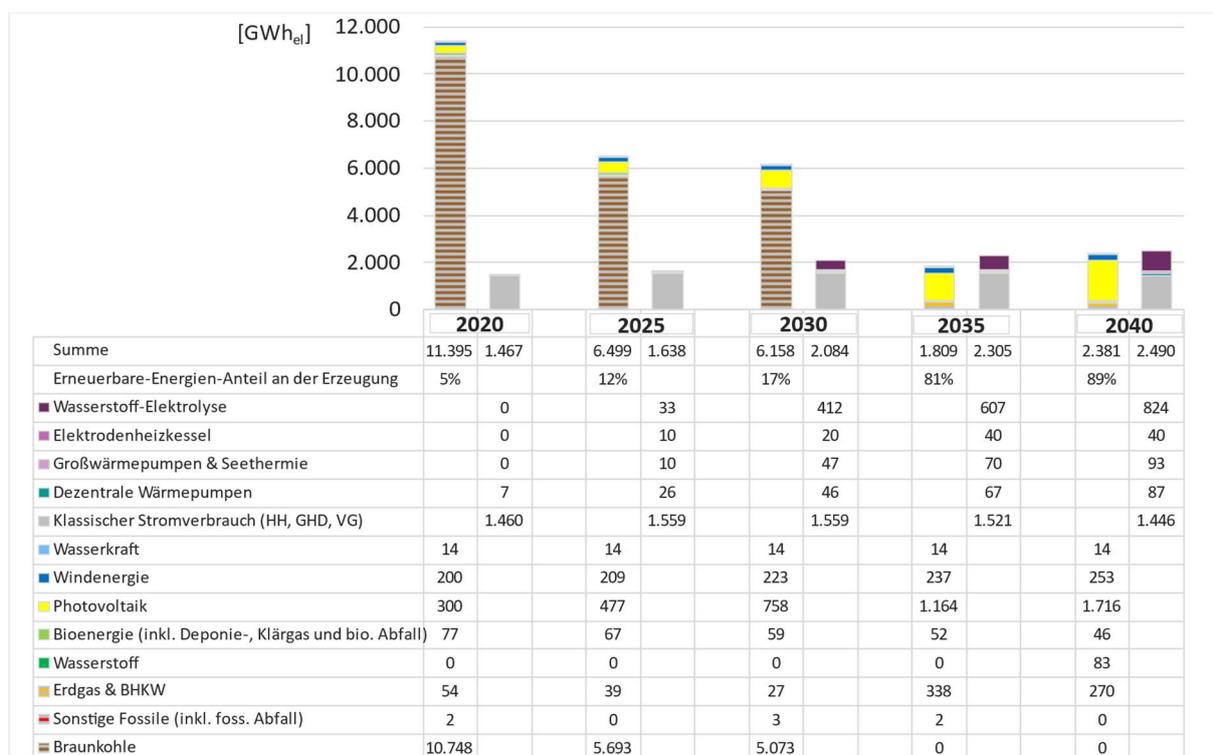


Abbildung 116 Strombilanz Landkreis Leipzig - Green-Deal-Szenario

Landkreis Altenburger Land

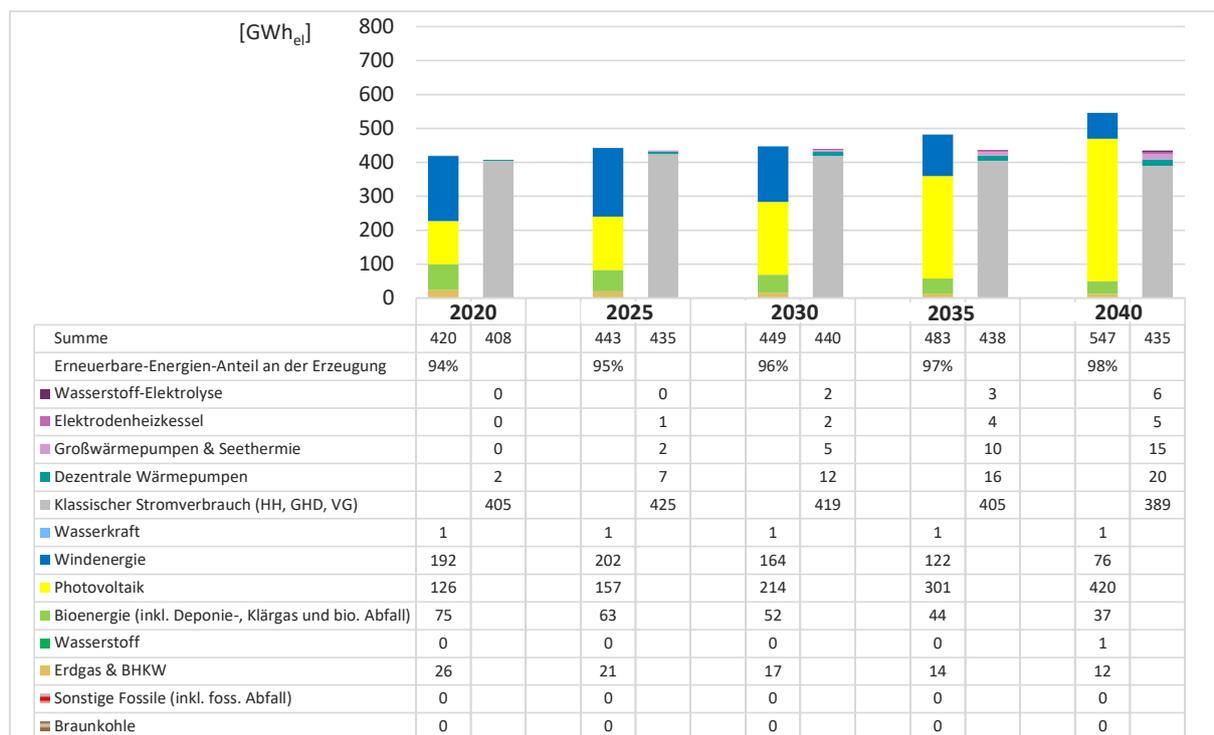


Abbildung 117 Strombilanz Landkreis Altenburger Land – Referenzszenario

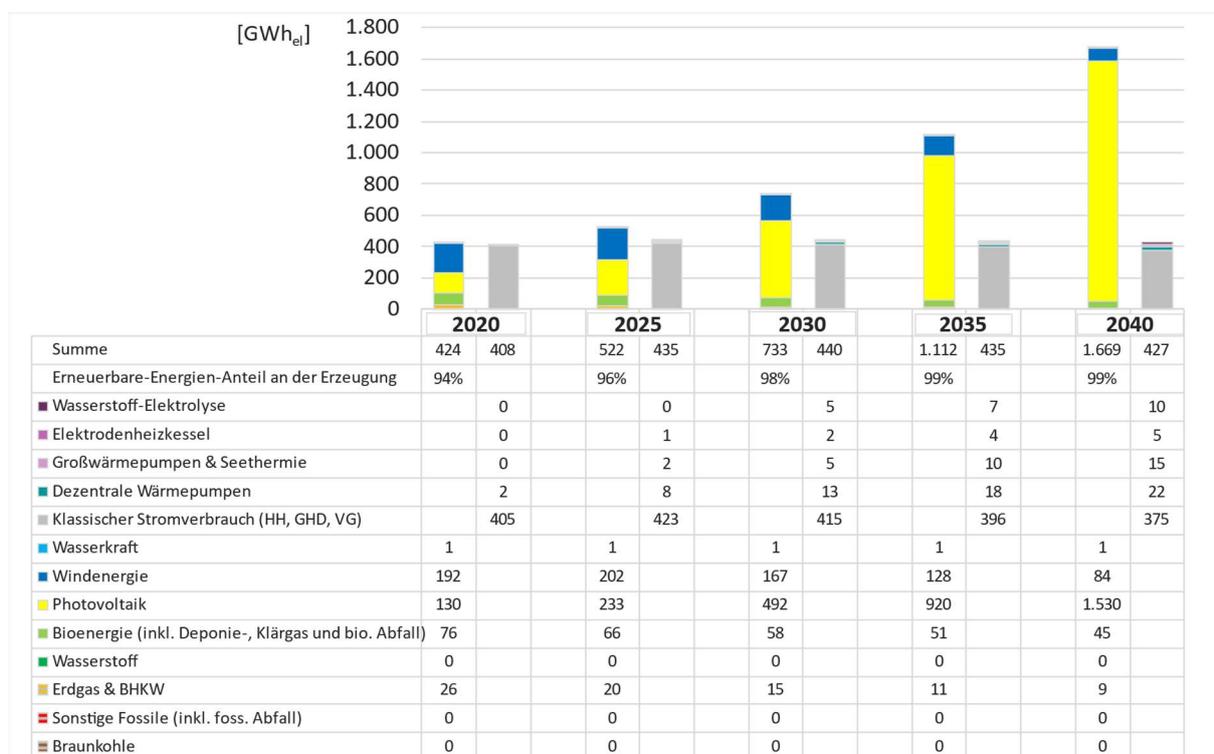


Abbildung 118 Strombilanz Landkreis Altenburger Land – Green-Deal-Szenario

Anhang 3: Wärmebilanzen der Gebietskörperschaften

Stadt Halle (Saale)

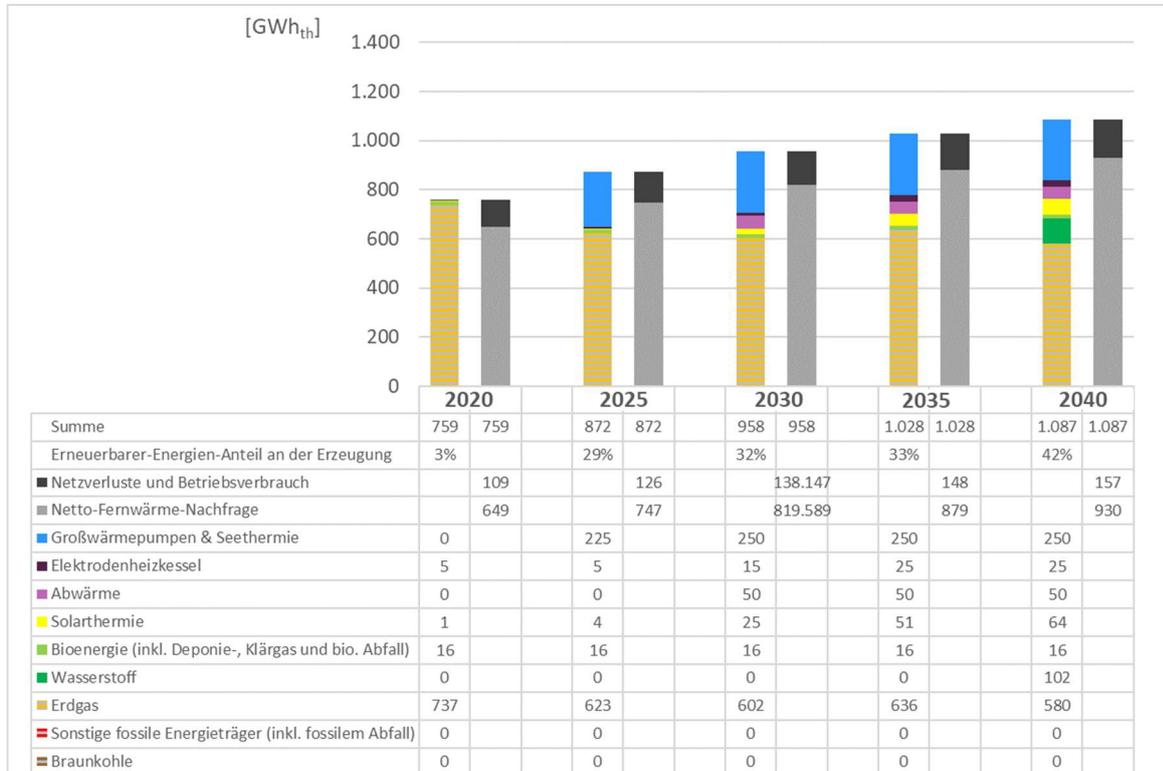


Abbildung 119 Fernwärmebilanz Stadt Halle (Saale) - Referenz-Szenario

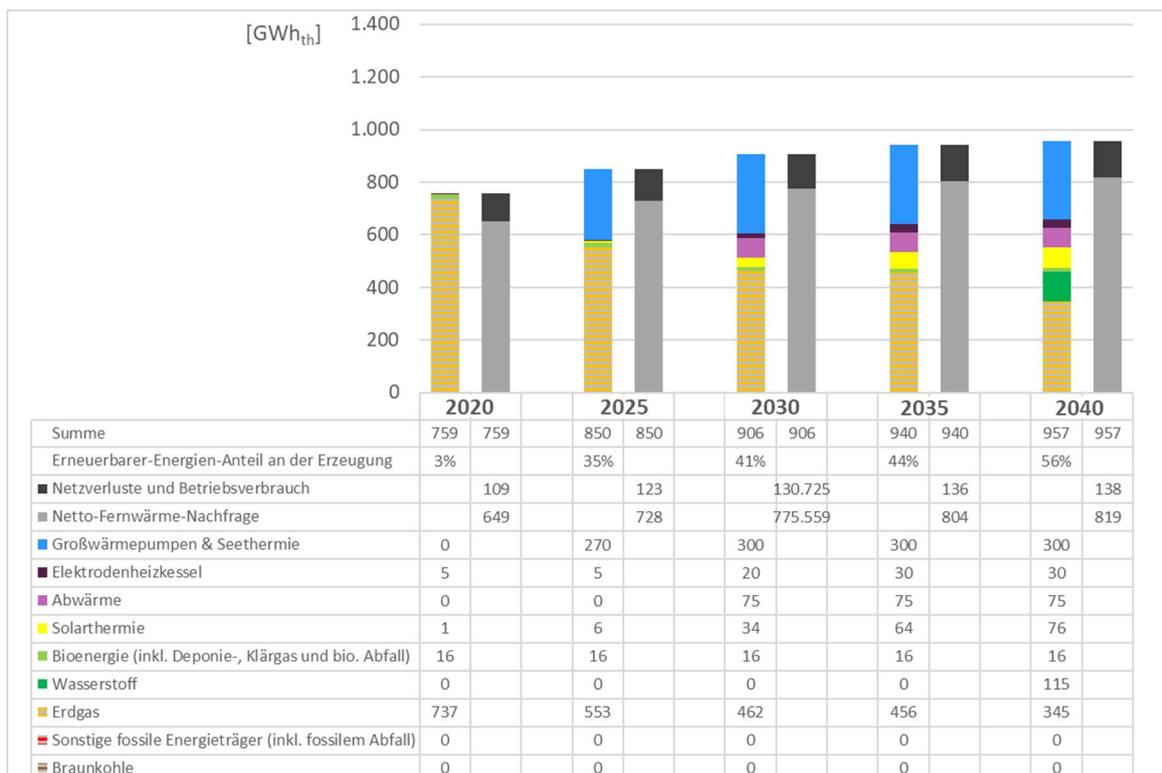


Abbildung 120 Fernwärmebilanz Stadt Halle (Saale) - Green-Deal-Szenario



Berücksichtigte Vorhaben der SWH/EVH:

- GuD Block C Dieselstraße (57 MW_{el} / 70 MW_{th})
- Inbetriebnahme der Solarthermieanlage in Trotha mit (3,3 MW_{th}) berücksichtigt
- Saale-to-Heat: Implementierung eines innovativen KWK-Systems, bestehend aus einem Blockheizkraftwerk und einer Großwärmepumpe, am Standort Halle Trotha ab 2025 (Annahme Referenz: 25 MW_{th}; GreenDeal: 30 MW_{th})
- Power-to-Heat-Anlage (Annahme 5 MW_{th}); ab 2030 (Annahme: 15 MW_{th} ab 2035)

Landkreis Anhalt-Bitterfeld

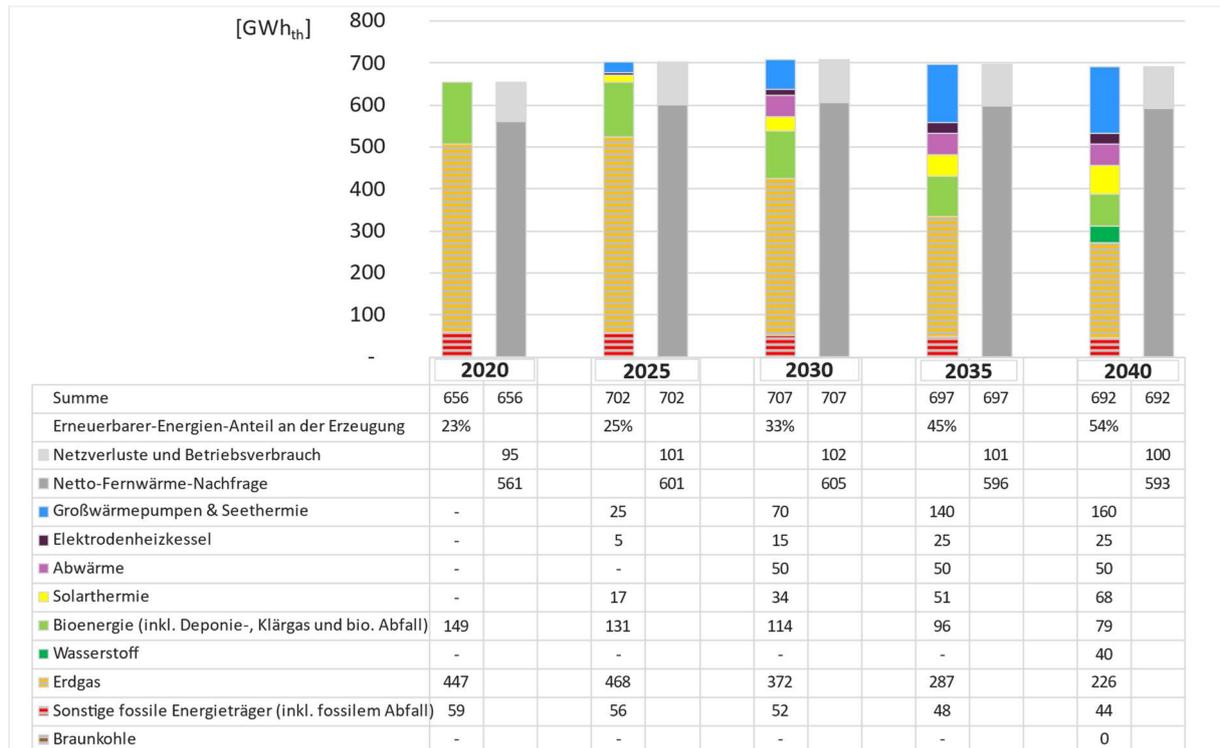


Abbildung 121 Fernwärmebilanz Landkreis Anhalt-Bitterfeld - Referenz-Szenario

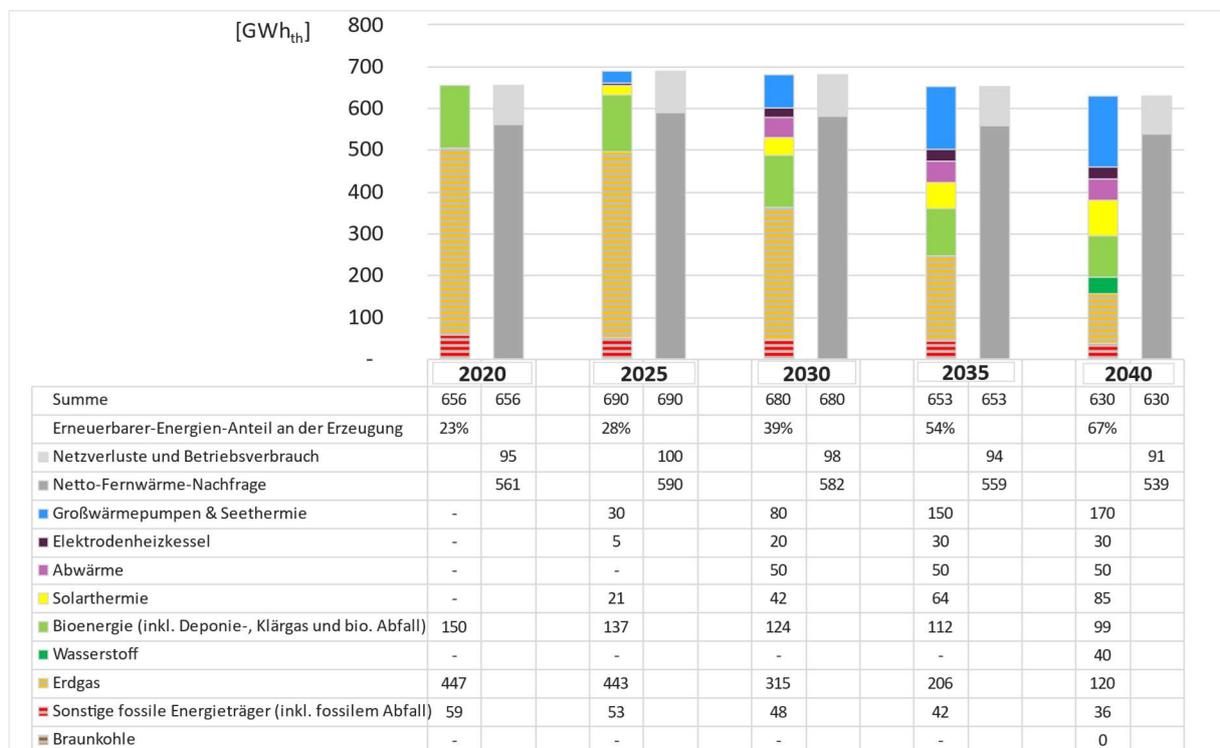


Abbildung 122 Fernwärmebilanz Landkreis Anhalt-Bitterfeld - Green-Deal-Szenario

Landkreis Mansfeld-Südharz

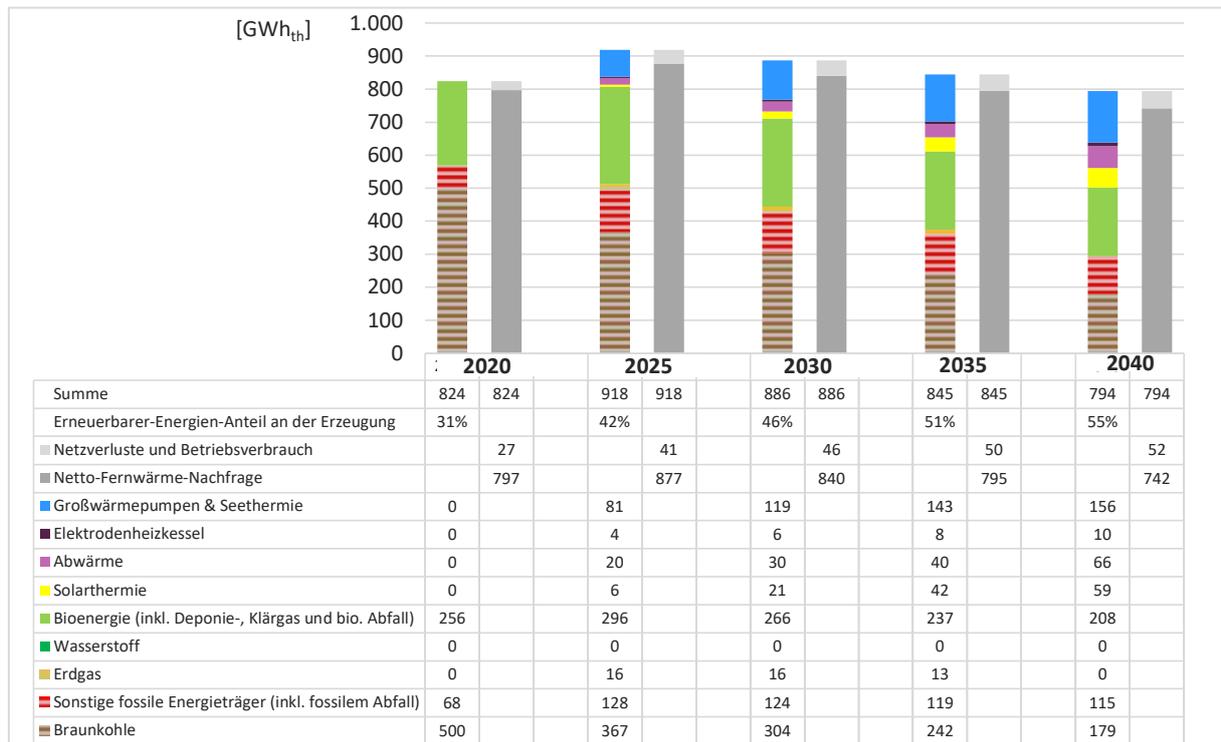


Abbildung 123 Fernwärmebilanz Landkreis Mansfeld-Südharz - Referenz-Szenario

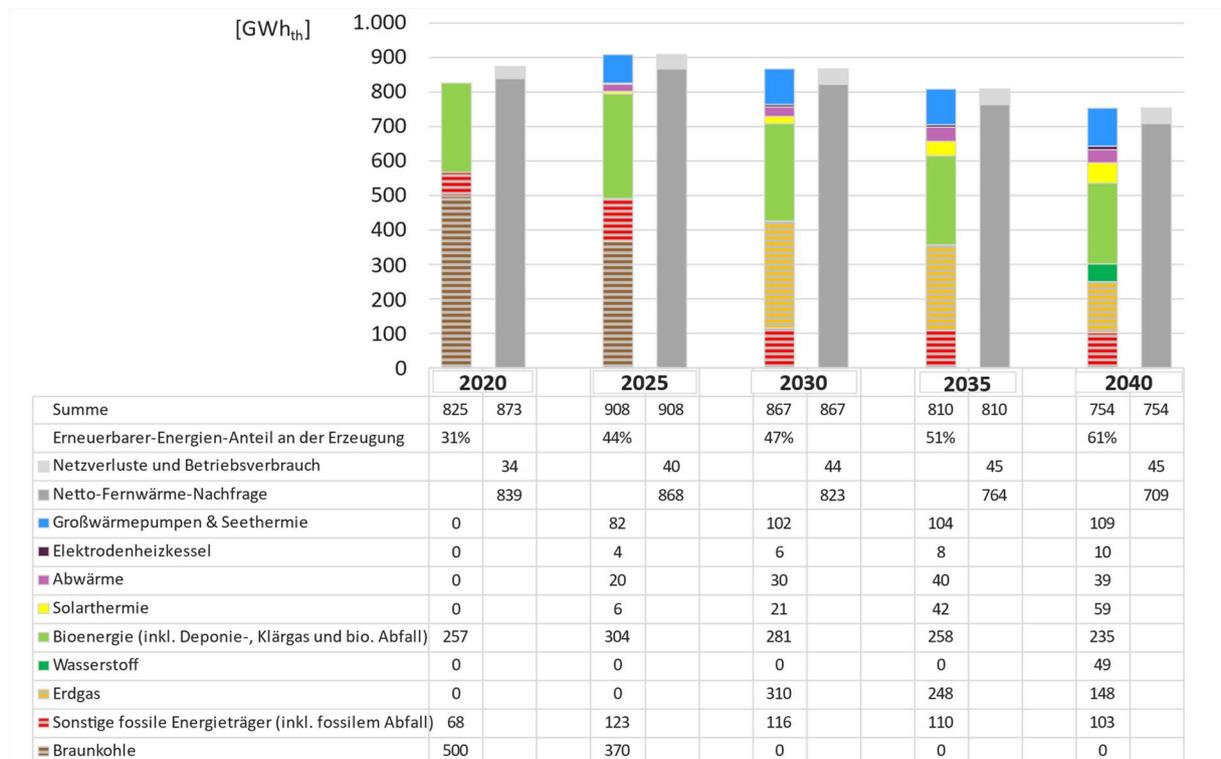


Abbildung 124 Fernwärmebilanz Landkreis Mansfeld-Südharz - Green-Deal-Szenario

Saalekreis

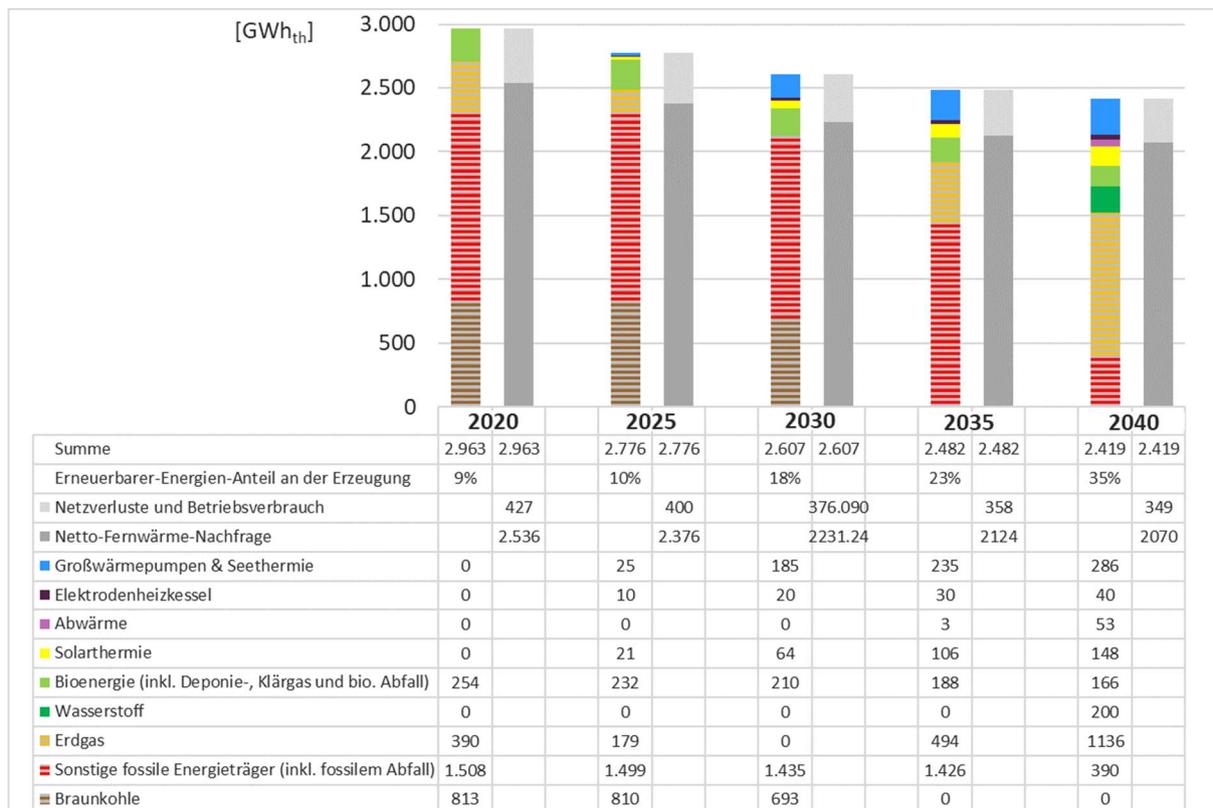


Abbildung 125 Fernwärmebilanz Saalekreis - Referenz-Szenario

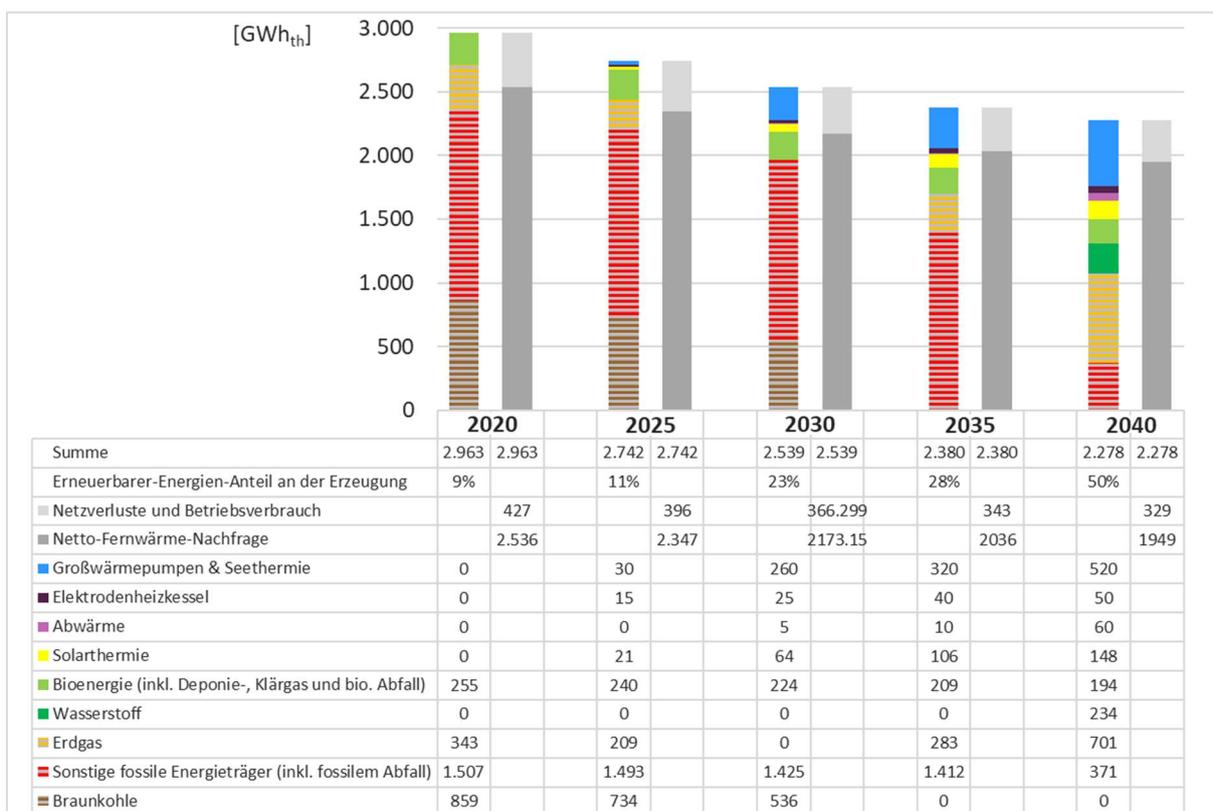


Abbildung 126 Fernwärmebilanz Saalekreis - Green-Deal-Szenario

Burgenlandkreis

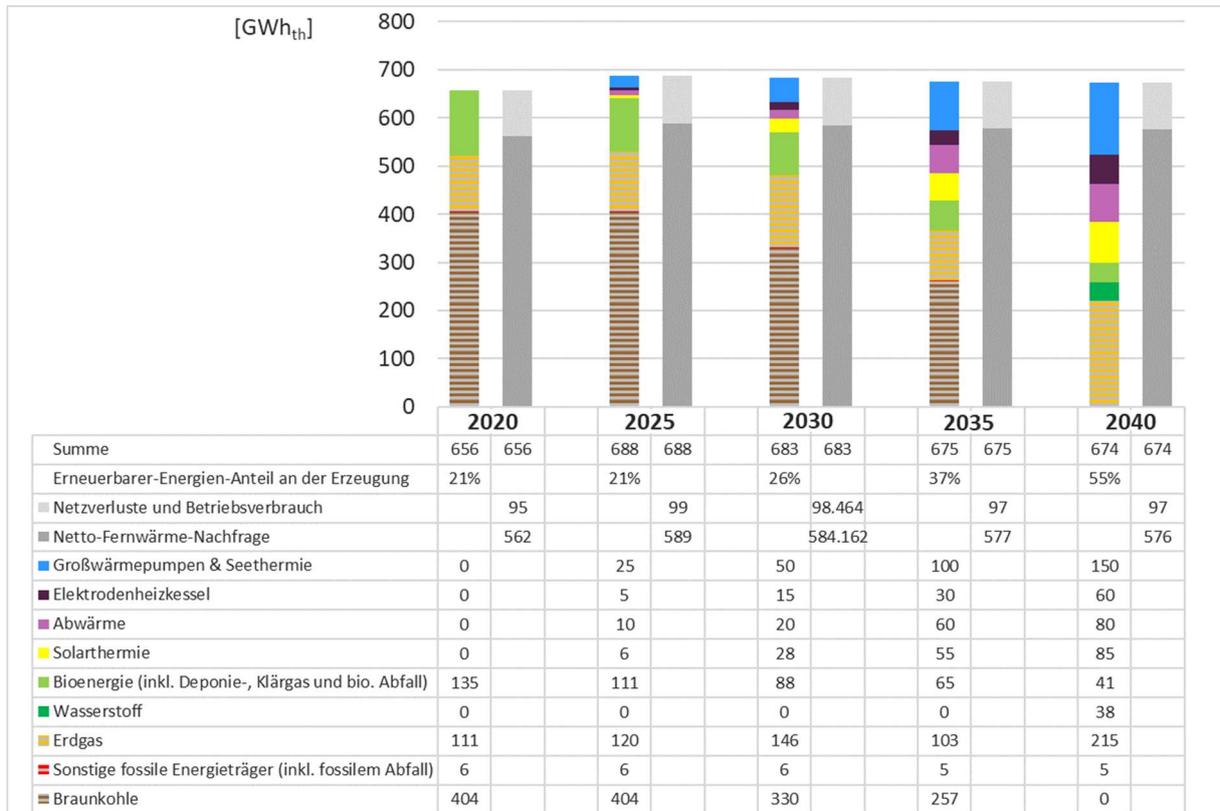


Abbildung 127 Fernwärmebilanz Burgenlandkreis - Referenz-Szenario

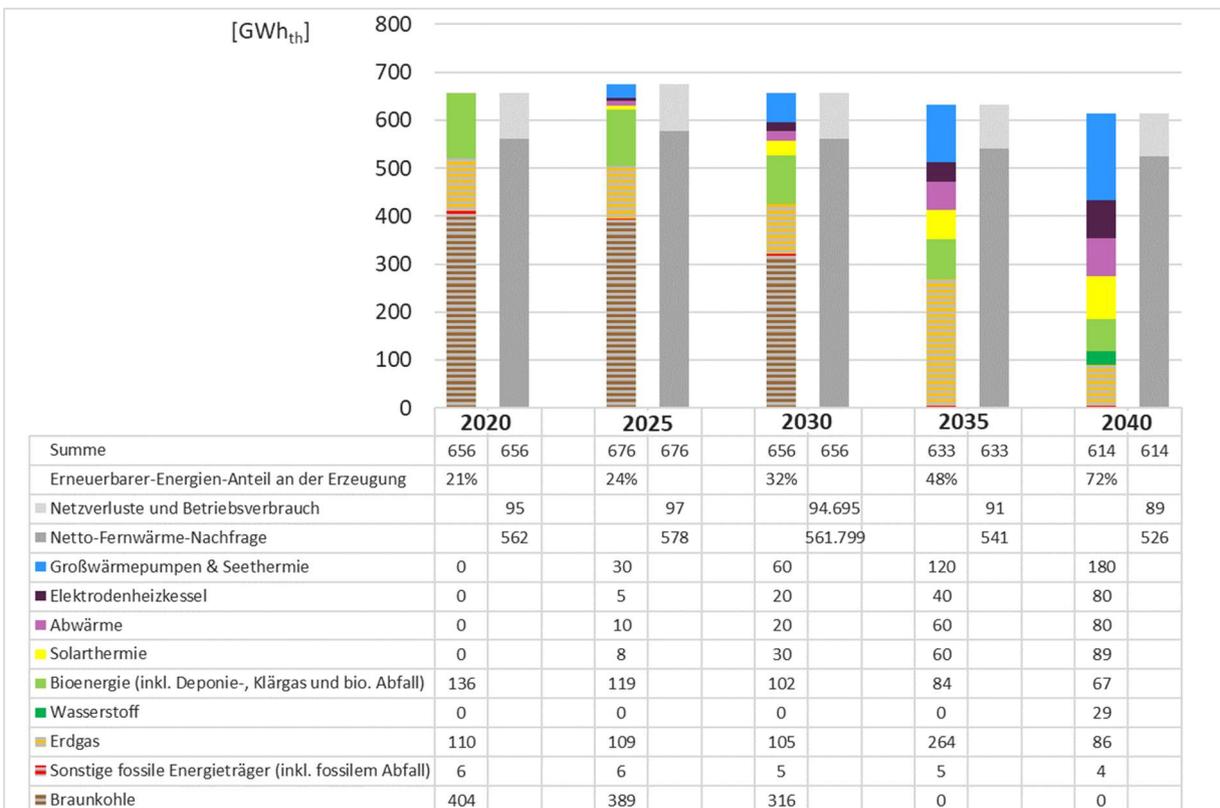


Abbildung 128 Fernwärmebilanz Burgenlandkreis - Green-Deal-Szenario

Stadt Leipzig

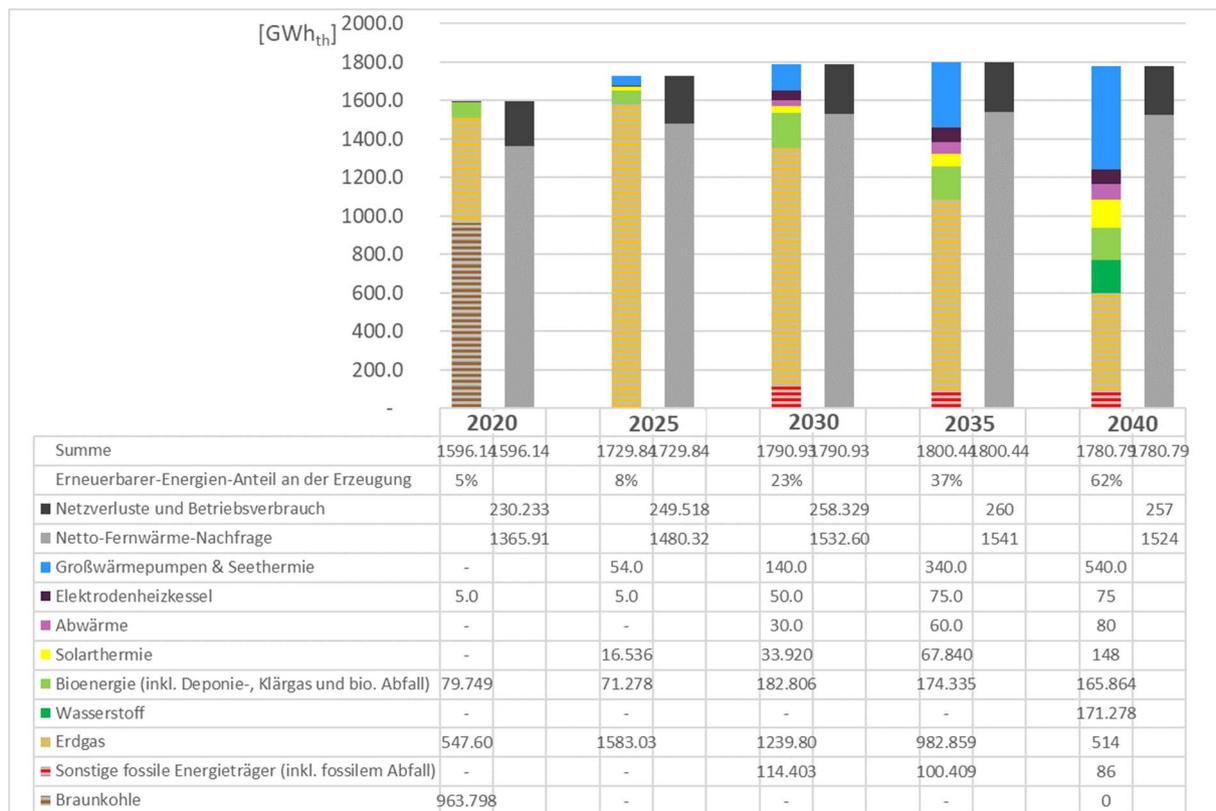


Abbildung 129 Fernwärmebilanz Stadt Leipzig - Referenz-Szenario

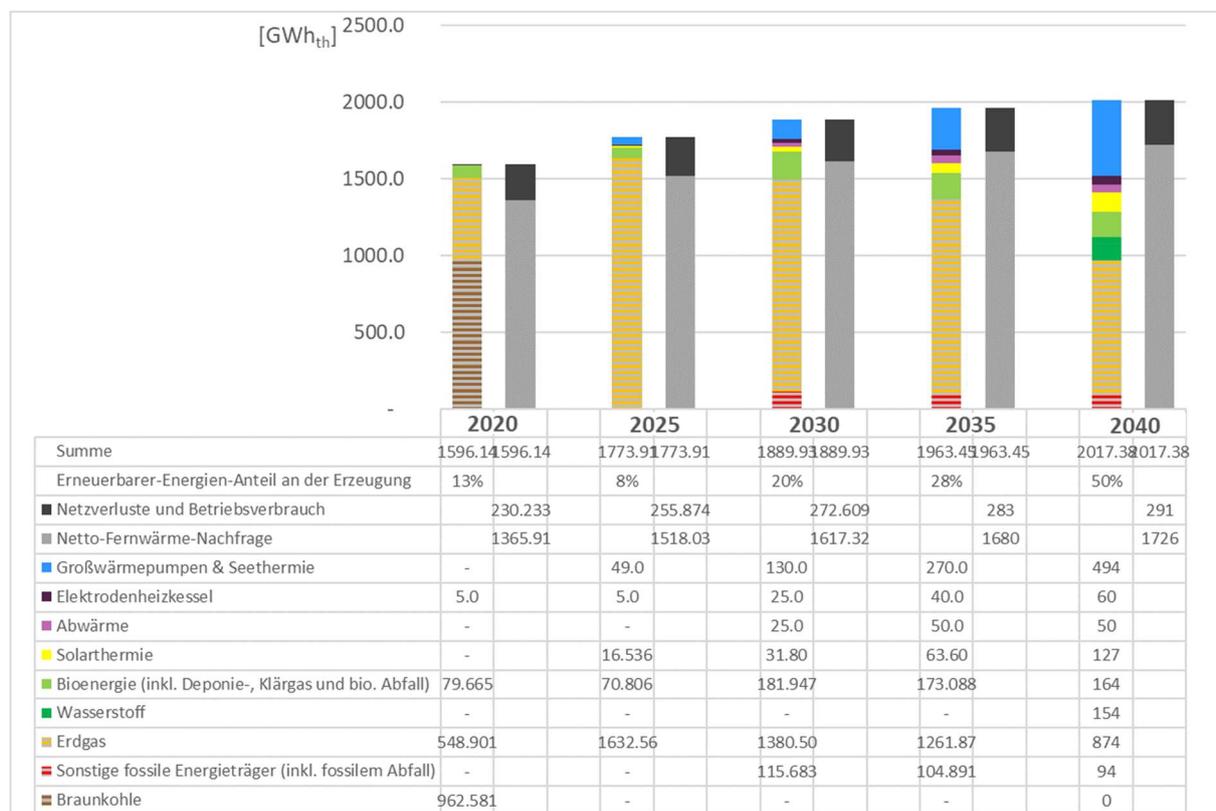


Abbildung 130 Fernwärmebilanz Stadt Leipzig - Green-Deal-Szenario



Anmerkung: Die Stadt Leipzig plant im Jahre 2022, unabhängig vom Kraftwerk Lippendorf, den eigenen Fernwärmebedarf zu decken. Hierfür befindet sich das HKW Leipzig Süd im Bau und weitere HKW, BHKW, Bio-HKW und Solarthermieranlagen sind in Planung. Mit Investitionen von über 300 Millionen Euro soll in den nächsten zehn Jahren eine umweltfreundliche Alternative zur jetzigen Wärmeversorgung geschaffen werden (siehe: Die Zukunft der Leipziger Fernwärme - Leipziger Stadtwerke; zukunft-fernwaerme.de).

Berücksichtigte Vorhaben der Leipziger Stadtwerke in Strom und Wärmebilanz:¹⁹

- HKW Leipzig Süd (GuD mit 125 MW_{el} und 163 MW_{th}); drei neue Erdgas-BHKWs (zusammen 27 MW_{el} und 30 MW_{th}), Bio-HKW Leipzig West (10 MW_{el} und 25 MW_{th})
- Solarthermieranlage Leipzig Süd (39 MW_{th, peak}); Solarthermieranlage Leipzig Süd (4 MW_{th, peak})
- Power-to-Heat-Anlage BHKW Leipzig Nord-Ost (4 MW_{th}); Weitere Anlage ab 2030 (Annahme: 50 MW_{th})
- MVA Leipzig (Annahme: Deponie Cröbern) ab 2028 (Annahme: 30 MW_{el} / MW_{th})

¹⁹ Vgl. hierzu: <https://zukunft-fernwaerme.de/>.

Landkreis Nordsachsen

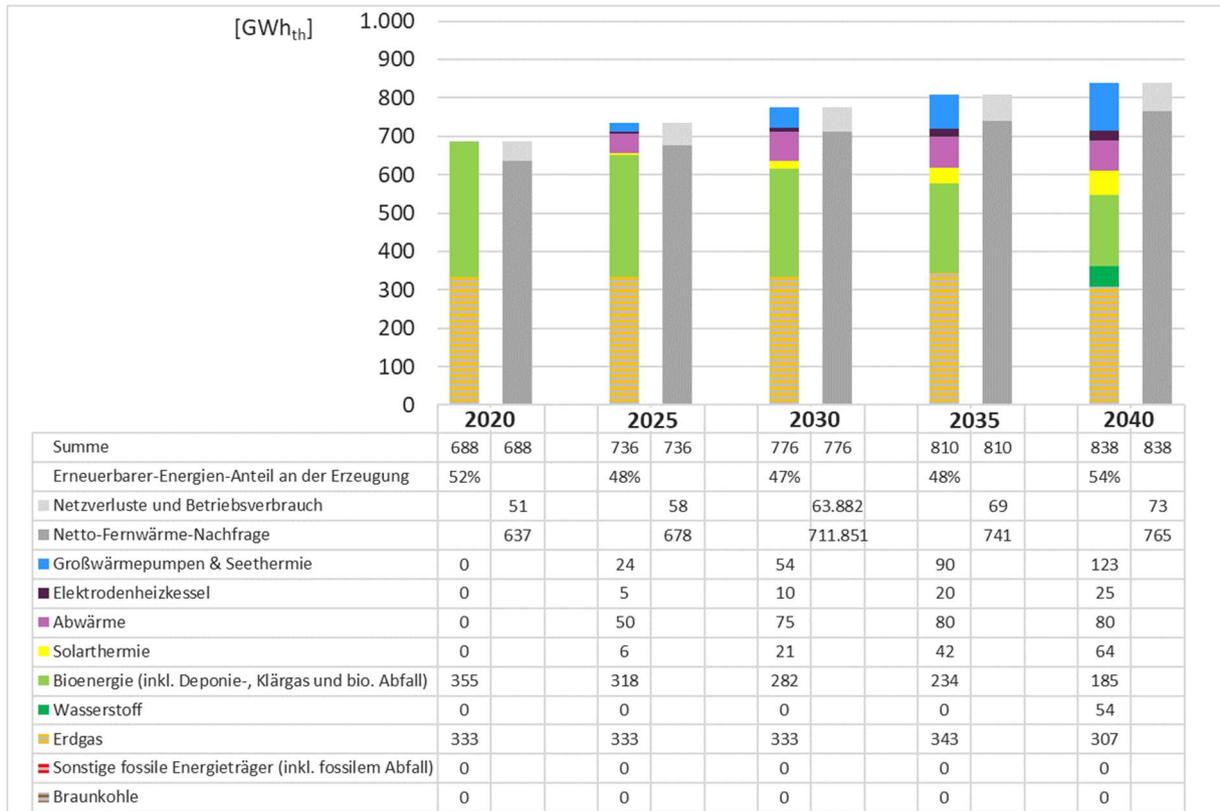


Abbildung 131 Fernwärmebilanz Landkreis Nordsachsen - Referenz-Szenario

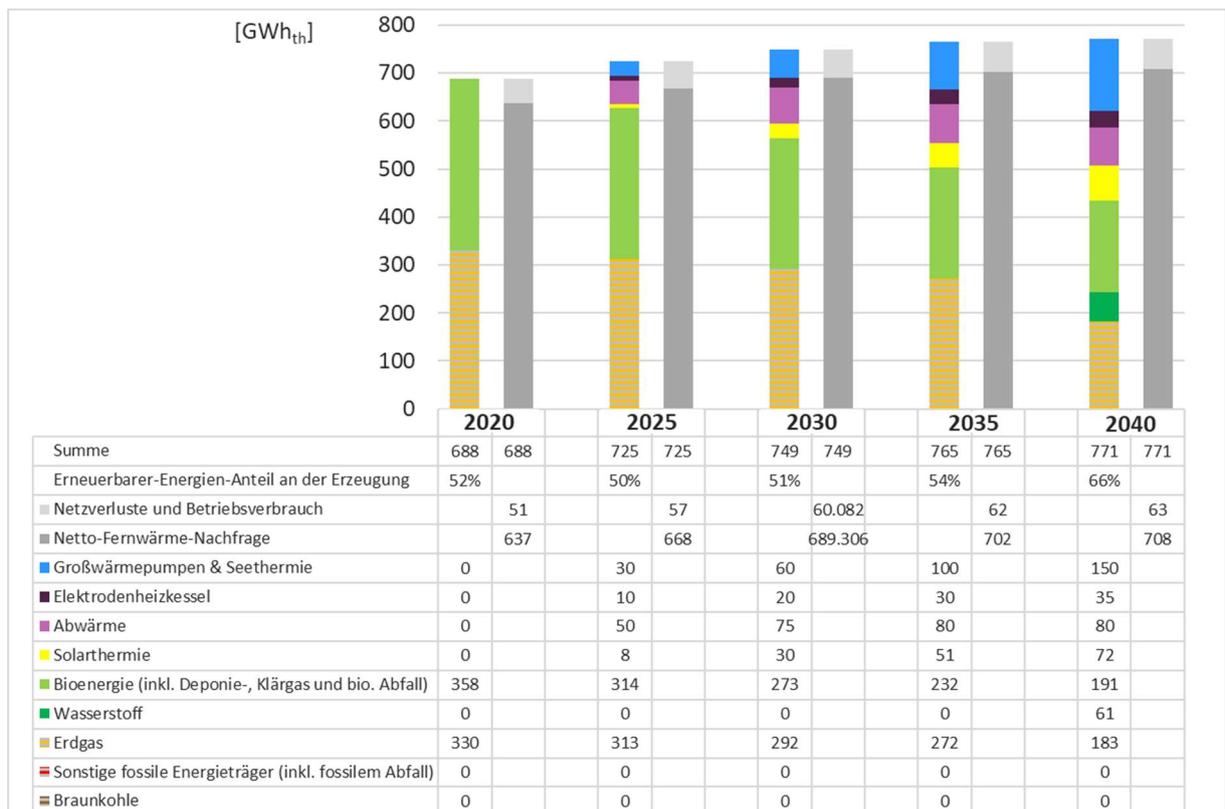


Abbildung 132 Fernwärmebilanz Landkreis Nordsachsen - Green-Deal-Szenario

Landkreis Leipzig

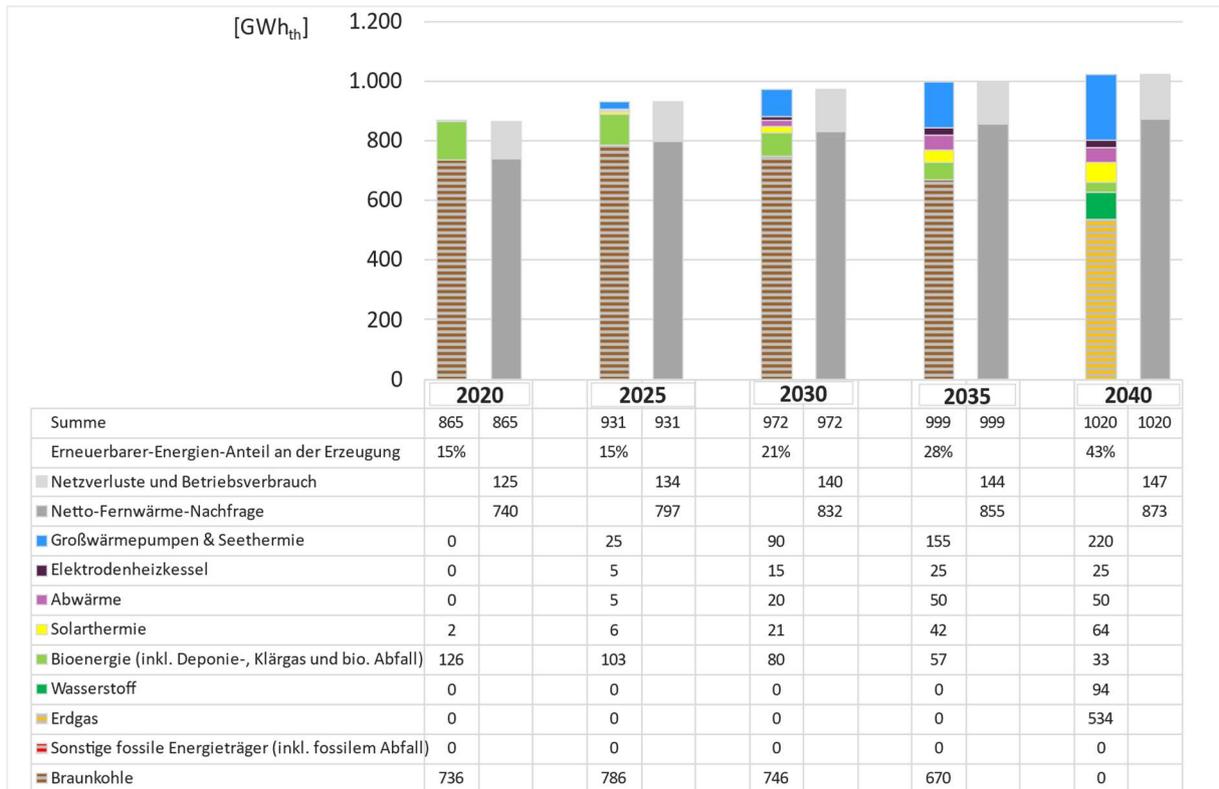


Abbildung 133 Fernwärmebilanz Landkreis Leipzig - Referenz-Szenario

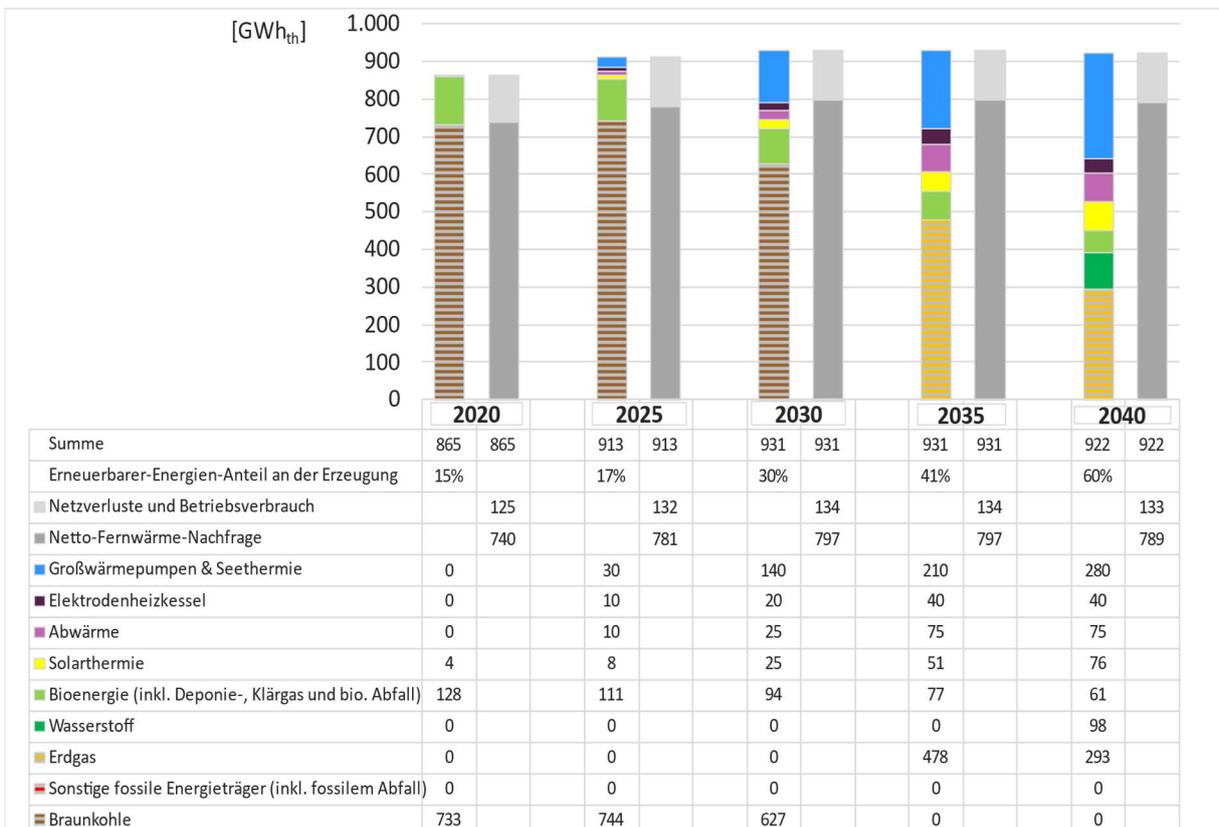


Abbildung 134 Fernwärmebilanz Landkreis Leipzig - Green-Deal-Szenario

Landkreis Altenburger Land

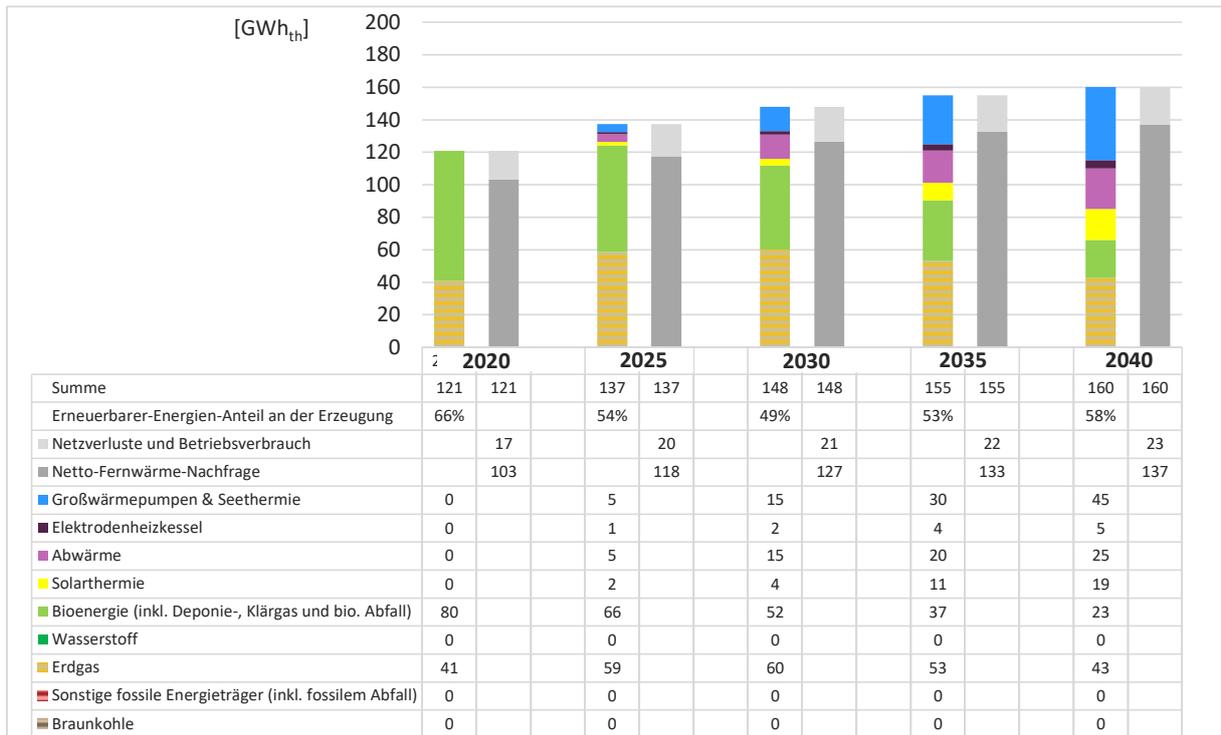


Abbildung 135 Fernwärmebilanz Landkreis Altenburger Land - Referenz-Szenario

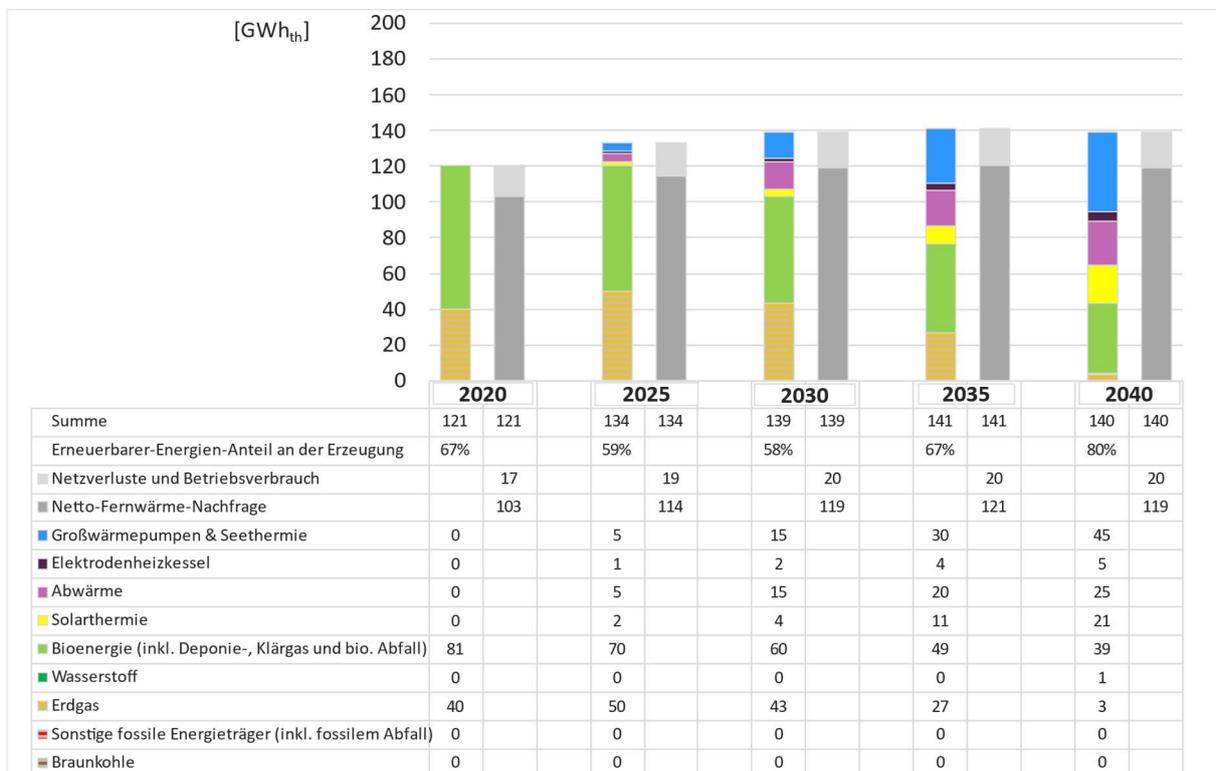


Abbildung 136 Fernwärmebilanz Landkreis Altenburger Land - Green-Deal-Szenario

Anhang 4: Fachgespräche

Tabelle 29 Übersicht Fachgespräche

Nr.	Projektpartner	Gesprächspartner	Datum	Thematik
1.	r2b	Mitteldeutsche Braunkohle- gesellschaft mbH	14.04.2021	Fernwärmeversorgung nach Braunkohleaus- stieg
2.	r2b	ROMONTA GmbH	14.04.2021	Fernwärmeversorgung nach Braunkohleaus- stieg
3.	r2b	Total Raffinerie Mittel- deutschland GmbH	04.05.2021	Power-to-Gas (Fokus: Wasserstoff)
4.	r2b	Lausitz Energie Kraftwerk AG	14.04.2021	Fernwärmeversorgung nach Braunkohleaus- stieg
5.	IE Leipzig	Regionaler Planungsverband Leipzig-West Sachsen	10.05.2021	Potenziale Wind und Photovoltaik
6.	IE Leipzig	Regionale Planungsgemein- schaft Halle	17.06.2021	Potenziale Wind und Photovoltaik
7.	IE Leipzig	Regionale Planungsgemein- schaft Anhalt-Bitterfeld-Wit- tenberg	20.05.2021	Potenziale Wind und Photovoltaik
8.	IE Leipzig	Regionale Planungsgemein- schaft Ostthüringen	04.06.2021	Potenziale Wind und Photovoltaik
9.	IE Leipzig	Regionale Planungsgemein- schaft Harz	15.06.2021	Potenziale Wind und Photovoltaik
10	IE Leipzig	Saena GmbH (Herr Kalau)	18.02.2021	Abwärmenutzung und Abwärmekataster
11	IE Leipzig	Lena GmbH (Frau Nestmann)	17.02.2021	Abwärmenutzung und Abwärmekataster
12	IE Leipzig	ThEGA GmbH (Herr Wetzell)	17.02.2021	Abwärmenutzung und Abwärmekataster



Kontakt

Metropolregion Mitteldeutschland Management GmbH
Schillerstraße 5
04105 Leipzig
0341 / 600 16 – 264
Gansler@mitteldeutschland.com

www.mitteldeutschland.com
www.innovationsregion-mitteldeutschland.com

Ein Projekt der

