

Endbericht zum Projekt I C 4 - 42/13

Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014

Auftraggeber
Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie

Projektleitung
Prognos AG:
Marco Wunsch

Fraunhofer IFAM:
Dr. Bernd Eikmeier

IREES:
Prof. Dr. Eberhard
Jochem

BHKW-Consult:
Markus Gailfuß

Berlin, 01. Oktober 2014

Die beteiligten Unternehmen im Überblick

Prognos AG (Hauptauftragnehmer)

Geschäftsführer
Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrats
Gunter Blickle

Hauptsitz
Henric Petri-Str. 9
CH-4010 Basel
Telefon +41 61 3273-310
www.prognos.com

Weitere Standorte (Auswahl)
Goethestr. 85
D-10623 Berlin
+49 30 52 00 59-210

Schwanenmarkt 21
D-40213 Düsseldorf
+49 211 91316-110

Handelsregisternummer
Berlin HRB 87447 B

Fraunhofer IFAM

Institutsleiter
Matthias Busse / Bernd Mayer

Hauptsitz
Wiener Straße 12
Telefon 0421 / 2246-0
www.ifam.fraunhofer.de

IREES

Geschäftsführer
Prof. Dr. Eberhard Jochem

Hauptsitz
Schönfeldstraße 8
76131 Karlsruhe
Telefon 0721/ 915263636
www.irees.de

BHKW-Consult

Geschäftsführer
Markus Gailfuß

Hauptsitz
Raentaler Straße 22/1
76437 Rastatt
Telefon 07222 / 96 86 73 11
www.bhkw-consult.de

Die Autoren dieser Studie

Prognos AG

Eva-Maria Klotz

Marcus Koepp

Frank Peter

Nils Thamling

Marco Wunsch

Inka Ziegenhagen

Fraunhofer IFAM

Dr. Bernd Eikmeier

Max Fette

Karen Janßen

IREES

Prof. Dr. Eberhard Jochem

Dr. Felix Reitze

Michael Schön

Dr. Felipe Toro

BHKW-Consult

Markus Gailfuß

Inhalt

1	Policy Brief	1
2	Kurzfassung	1
2.1	Aufgabenstellung und Vorgehensweise	4
2.2	Kosten-Nutzen-Analyse	6
2.3	Potenzialanalyse	8
2.4	Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem	14
2.5	Evaluierung des KWKG	17
3	Aufgabenstellung und Vorgehensweise	21
4	Kosten-Nutzen-Analyse	25
4.1	Gemeinsame Rahmenbedingungen	28
4.2	Private Haushalte und GHD	33
4.2.1	Fernwärme-KWK	34
4.2.2	Objekt-KWK	34
4.2.3	Fazit der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse	45
4.3	Industrielle KWK	46
4.3.1	Typisierung und Kenndaten der industriellen KWK-Anlagen	47
4.3.2	Methodisches Vorgehen und Energiepreise	48
4.3.3	Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen	50
4.3.4	Zur Wirtschaftlichkeit der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung	59
4.3.5	Zur Wirtschaftlichkeit von ORC-Anlagen	60
4.3.6	Fazit der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	61
5	Potenzial-Analyse	62
5.1	Potenzial-Ermittlung für die Sektoren Private Haushalte und GHD	64
5.1.1	Potenziale der wärmeleitungsgebunden KWK	65
5.1.2	Potenziale der Objekt-KWK	91
5.1.3	Fazit: Potenziale in den Sektoren Private Haushalte und GHD	101
5.2	Potenziale der industriellen KWK inklusive Abwärmenutzung	102
5.2.1	Wärmebedarf 2012 und dessen künftige Entwicklung	103
5.2.2	Brennstoff- und Stromverbrauch nach Branchen und Unternehmensgrößenklassen, 2012	109
5.2.3	Wärme- (bis 300°C) und Kältebedarf in der Industrie bis 2020 und Ausblick bis 2030 und 2050	111
5.2.4	Potenziale der KWK in der Industrie bis 2020 und Ausblick bis 2030 und 2050 nach Branchen und Anlagengrößen	113
5.2.5	Potenziale industrieller Stromerzeugung durch Abwärmenutzung	121
5.2.6	Technisch geeignete Abwärmepotenziale der Industrie zur Stromerzeugung 2020 und Ausblick auf 2030 und 2050	121
5.2.7	Hemmnisse der Nutzung von Abwärme in der Industrie	123
5.2.8	Fazit: Potenzial in der Industrie	124

6	Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem	127
6.1	Anforderungen an das Stromsystem der Zukunft	128
6.2	Technische Konzepte zur Flexibilisierung der KWK-Anlagen	131
6.3	Derzeitige Nutzung der Flexibilität von KWK-Anlagen zur Vermeidung der Abregelung von EE-Anlagen	133
6.3.1	Charakteristik der heutigen KWK-Stromerzeugung	136
6.3.2	KWK der allgemeinen Versorgung	138
6.3.3	Industrielle KWK	140
6.4	KWK im Wärmemarkt	143
6.5	Langfristige Rolle der KWK im Gesamtsystem	146
6.6	CO ₂ -Einsparungen durch KWK	150
7	Evaluierung des KWKG	155
7.1	Anteil der Stromerzeugung in KWK-Anlagen an der Gesamtstromerzeugung	158
7.2	Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderten KWK-Anlagen	159
7.3	Zubau von Wärme- und Kältenetzen	166
7.4	Zubau von Wärme-/ Kältespeichern	172
7.5	Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen	176
7.5.1	Öffentliche KWK	177
7.5.2	Objekt- und Industrie-Anlagen	194
7.5.3	Rolle der Biomasse-KWK	210
7.6	Prognose der KWK-Erzeugung und der Kosten der KWKG-Umlage	211
7.7	Empfehlungen zur Weiterentwicklung des KWKG	218
7.7.1	Allgemeine Empfehlungen	218
7.7.2	KWK-Anlagen der Allgemeinen Versorgung	219
7.7.3	KWK- und KWKK- und ORC-Anlagen in der Industrie	219
7.7.4	Objekt-KWK	220
7.7.5	Netze und Speicher	223
7.7.6	Weitere Maßnahmen zur Förderung von KWK, außerhalb des Einflussbereichs des KWKG	223
8	Literatur	226
9	Anhang	230
9.1	Ergänzende Informationen zu Kapitel 4	230
9.1.1	Gemeinsame Rahmenbedingungen	230
9.1.2	Private Haushalte und GHD	235
9.1.3	Industrielle KWK	243
9.2	Ergänzende Informationen zu Kapitel 5 (Potenzial-Analyse)	251
9.2.1	Potenzial-Ermittlung für die Sektoren Private Haushalte und GHD	251
9.2.2	Potenziale der industriellen KWK	259
9.3	Ergänzende Informationen zu Kapitel 6: Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmesystem	269

Abbildungen

Abbildung 1:	Ergebnisse der Clusteranalysen zur Fernwärme-KWK	10
Abbildung 2:	Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für Einfamilienhäuser bei volkswirtschaftlicher Betrachtung	38
Abbildung 3:	Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für Einfamilienhäuser bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung	39
Abbildung 4:	Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für Mehrfamilienhäuser bei volkswirtschaftlicher Betrachtung	40
Abbildung 5:	Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für Mehrfamilienhäuser bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung	41
Abbildung 6:	Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für GHD-Gebäude bei volkswirtschaftlicher Betrachtung	42
Abbildung 7:	Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für GHD-Gebäude bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung	43
Abbildung 8:	Vergleich der Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten von Wärmepumpen mit einem Gaskessel bei volkswirtschaftlicher Betrachtung	44
Abbildung 9:	Vergleich der Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten von Wärmepumpen mit einem Gaskessel bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung	45
Abbildung 10:	„Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 50 kW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	52
Abbildung 11:	„Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 500 kW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	53
Abbildung 12:	„Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 2 MW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	54
Abbildung 13:	„Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Dampfturbine mit 5 MW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	56
Abbildung 14:	„Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Gasturbine mit 10 MW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	57
Abbildung 15:	„Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Gas- und Dampfturbine mit 20 MW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	58
Abbildung 16:	Bearbeitungsschema zur Ermittlung der Fernwärme-KWK-Potenziale	66

Abbildung 17:	Karte des Nutzwärmebedarfs der Sektoren Private Haushalte und GHD	69
Abbildung 18:	Beispiel einer Rasterkarte	73
Abbildung 19:	Clusterung der Städte	74
Abbildung 20:	Bildung von Clusterverbänden	75
Abbildung 21:	Wärmeverteilungskosten bei betriebswirtschaftlicher Betrachtungsweise im Szenario AG 90 B	79
Abbildung 22:	Wärmeerzeugungskosten der BHKW ab einer elektrischen Leistung von 50 kW	81
Abbildung 23:	Wärmeerzeugungskosten der GuD-Anlagen	81
Abbildung 24:	Ergebnisse der Szenarien im Vergleich	86
Abbildung 25:	Anteil der Stadtkategorien am wirtschaftlichen KWK-Potenzial im Szenario AG 90 B bezogen auf den versorgten Nutzwärmebedarf	87
Abbildung 26:	Anteil der Stadtkategorien am wirtschaftlichen KWK-Potenzial im Szenario AG 90 V bezogen auf den versorgten Nutzwärmebedarf	88
Abbildung 27:	Karte der wirtschaftlichen Fernwärme-KWK-Potenziale bei volkswirtschaftlicher Sicht und einem Anschlussgrad von 90 %	89
Abbildung 28:	Ermittlung des erforderlichen Wärmebedarfs für den Gebäudetyp 4 Gesundheitseinrichtungen und Wohnheime	96
Abbildung 29:	Struktur der Stromerzeugung in Deutschland 2010 bis 2050	129
Abbildung 30:	Netzbedingte Abregelung von Erneuerbaren Energien im Übertragungsnetz nach § 13.2 EnWG	134
Abbildung 31:	Wärmebedarf eines realen Fernwärmenetzes in Abhängigkeit der Börsenstrompreise (Day-Ahead) der Epex Spot im Jahr 2012	138
Abbildung 32:	Wärmebedarf eines realen Fernwärmenetzes im Vergleich zur EE-Einspeisung aus Windkraft- und Solaranlagen im Jahr 2012	139
Abbildung 33:	Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, Klimatisierung und Prozesskälte nach Energieträgern	143
Abbildung 34:	Gegenüberstellung KWK-Potenzial und Entwicklung der KWK-kompatiblen Stromerzeugung	148
Abbildung 35:	Strom- und wärmeseitige Begrenzung der KWK-Stromproduktion	149
Abbildung 36:	Vermiedene CO ₂ -Emissionen durch die KWK bei Erschließung der berechneten Potenziale bei Ansatz des KWK-Stromverdrängungsmix und alternativ eines neuen Gaskraftwerks, in Mio. Tonnen CO ₂	154
Abbildung 37:	Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderten KWK-Anlagen in MW in den Jahren 2003 bis 2013 (Berücksichtigung der bereits zugelassenen Anlagen und von noch nicht abschließend bearbeiteten Zulassungsanträge)	161

Abbildung 38:	Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderten KWK-Anlagen in MW im Zeitraum 2012 und 2013 (Berücksichtigung der bereits zugelassenen Anlagen und von noch nicht abschließend bearbeiteten Zulassungsanträgen)	162
Abbildung 39:	Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderte KWK-Anlagen bis 50 kW in MW	164
Abbildung 40:	Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderte KWK-Anlagen zwischen 50 kW und 2 MW in MW	165
Abbildung 41:	Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderte KWK-Anlagen ab 2 MW in MW	166
Abbildung 42:	Trassenlänge bereits bewilligter Wärmenetze und zur Förderung beantragter Netze nach Jahr der Inbetriebnahme und Nenndurchmesser in km	169
Abbildung 43:	Nach dem KWKG geförderte Wärmenetze, Investitionskosten und KWKG-Auszahlungsbetrag in Millionen Euro	170
Abbildung 44:	Art der Baumaßnahmen und Netzeinspeisung nach Energieträgern der geförderte und beantragten Wärmenetze im Zeitraum 2009 bis 2013	171
Abbildung 45:	Mittlerer Durchmesser von Wärmenetzen in Abhängigkeit vom Energieträger der Netzeinspeisung in mm	171
Abbildung 46:	Verteilung der Energieträger der Wärmeeinspeisung für Neubau- und Ausbauvorhaben in Prozent bezogen auf die Trassenlänge	172
Abbildung 47:	Volumen bereits bewilligter und zur Förderung beantragter Wärmespeicher nach Jahr der Inbetriebnahme in Tsd. m ³ Speichervolumen	174
Abbildung 48:	Nach dem KWKG geförderte Wärmespeicher, Investitionskosten und KWKG-Auszahlungsbetrag	175
Abbildung 49:	Entwicklung der Brennstoff- und Energiepreise 2008-2020, nominal	179
Abbildung 50:	Wärmelastprofil	186
Abbildung 51:	DB 2 der KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, in Euro ₂₀₁₃ /kW im Zeitraum 2008-2013	188
Abbildung 52:	DB 2 der KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, in Euro ₂₀₁₃ /kW im Zeitraum 2008-2013	189
Abbildung 53:	DB 2 der KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, Euro ₂₀₁₃ / kW im Zeitraum 2014-2020	190
Abbildung 54:	DB 2 der KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, in Euro ₂₀₁₃ / kW im Zeitraum 2014-2020	191

Abbildung 55:	DB 2 der KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, Euro ₂₀₁₃ / kW im Zeitraum 2014-2034	192
Abbildung 56:	DB 2 der KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, in Euro ₂₀₁₃ / kW im Zeitraum 2014-2034	193
Abbildung 57:	Projekttrenditen für die BHKW 1 bis 3 in Abhängigkeit der Eigennutzungsquote (Annahme: 5.000 Vollbenutzungsstunden)	207
Abbildung 58:	Beispielhafte EEG-Vergütung für Biogasanlagen	211
Abbildung 59:	Entwicklung der förderfähigen KWK-Strommengen	217
Abbildung 60:	Entwicklung der KWK-Zuschlagszahlungen	217
Abbildung 61:	Ausgleichsfunktion der Stromkennzahl der BHKW	235
Abbildung 62:	Ausgleichsfunktion des elektrischen Wirkungsgrades der BHKW	235
Abbildung 63:	Ausgleichsfunktion der spezifischen Investitionssummen der BHKW	236
Abbildung 64:	Ausgleichsfunktion der fixen Betriebskosten der BHKW	236
Abbildung 65:	Ausgleichsfunktion der variablen Betriebskosten der BHKW	237
Abbildung 66:	„Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 50 kW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	248
Abbildung 67:	„Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 500 kW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	248
Abbildung 68:	„Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 2 MW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	249
Abbildung 69:	„Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Dampfturbine mit 5 MW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	249
Abbildung 70:	„Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Gasturbine mit 10 MW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	250
Abbildung 71:	„Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Gas- und Dampfturbine mit 20 MW _{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013	250
Abbildung 72:	Anteil der Stadtkategorien am Nutzwärmebedarf der Sektoren Private Haushalte und GHD in Deutschland	255
Abbildung 73:	Bildung von Adressverbänden	256
Abbildung 74:	Steckbriefe der Gebäudetypen	256

Tabellen

Tabelle 1:	Fernwärme-KWK-Potenziale in Deutschland bei einem Anschlussgrad von 90 %	11
Tabelle 2:	Objekt-KWK-Potenziale in Deutschland in den AG 90-Szenarien	12
Tabelle 3:	KWK-Potenziale in Deutschland in den AG 90-Szenarien	12
Tabelle 4:	Potenziale der Wärme- und Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, Basis-Szenario	14
Tabelle 5:	Berücksichtigte Kosten- bzw. Ausgabenkomponenten für die volks- und betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse	27
Tabelle 6:	Annahmen zur Verzinsung für die Kosten-Nutzen-Analyse	28
Tabelle 7:	Energiepreisentwicklung nach der Energierferenzprognose	30
Tabelle 8:	Zuschlagssätze KWKG 2012	32
Tabelle 9:	Betrachtete KWK-Anlagen	33
Tabelle 10:	Kenndaten der analysierten KWK-Anlagentypen und -Leistungen in der Industrie	47
Tabelle 11:	Industrielle Strompreise nach Verbrauchsklassen inklusive / exklusive Umlagen und Steuern ("betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise" / „volkswirtschaftliche Betrachtungsweise“) bis 2050, jeweils ohne MwSt.	50
Tabelle 12:	Fernwärme-KWK-Potenziale (Szenario AG 90)	62
Tabelle 13:	Objekt-KWK-Potenziale (Szenario AG 90)	63
Tabelle 14:	Definition der Stadtkategorien	67
Tabelle 15:	Wärmebedarfsprognose für private Haushalte im Trend- und Zielszenario	71
Tabelle 16:	Wohnflächenentwicklung in Deutschland	72
Tabelle 17:	Mittlere Wärmeverteilungskosten bei betriebswirtschaftlicher Betrachtungsweise im Szenario AG 90 B	79
Tabelle 18:	Eingangsdaten der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Berechnung der Fernwärme-KWK-Potenziale	83
Tabelle 19:	Ergebnisse der Szenarien zur Fernwärme-KWK	84
Tabelle 20:	Fernwärme-KWK-Potenziale (nachfrageseitig)	86
Tabelle 21:	Fernwärme-KWK-Potenziale in Deutschland bei einem Anschlussgrad von 90 %	90
Tabelle 22:	Fernwärme-KWK-Potenziale in Deutschland bei einem Anschlussgrad von 45 %	90

Tabelle 23:	Anteil mit wirtschaftlicher Objekt-KWK erschließbarer Wärmemengen je Stadtkategorie am Gesamtwärmebedarf einer Stadt in den Szenarien AG 90 B und AG 90 V	98
Tabelle 24:	Wirtschaftlich erschließbares Objekt-KWK-Potenzial (Nutzwärmebedarf) in Deutschland in den Szenarien AG 90 B und AG 90 V	99
Tabelle 25:	Objekt-KWK-Potenziale in Deutschland in den Szenarien AG 90 B und AG 90 V	99
Tabelle 26:	KWK-Potenziale in Deutschland in den Szenarien AG 90 B und AG 90 V	101
Tabelle 27:	Aufteilung des Wärmebedarfs im Jahr 2012 nach Industriebranchen und in Raumwärme bzw. Warmwasser mit unterschiedlichen Temperaturniveaus der benötigten Prozesswärme	104
Tabelle 28:	Energieverbrauch, Brennstoffbedarf für die Wärmeerzeugung bis 300°C und Anteile der KWK-Strom- und Wärmeerzeugung am Strombedarf bzw. der Wärme bis 300°C nach Industriebranchen im Jahr 2012	105
Tabelle 29:	Entwicklung der industriellen Bruttowertschöpfung in Deutschland 2012 bis 2050 (Einheit: Mrd. € ₂₀₁₁)	107
Tabelle 30:	Strom- und Brennstoffbedarf der Industrie im Jahr 2012, unterteilt nach Industriezweigen und drei Unternehmensgrößenklassen	110
Tabelle 31:	Entwicklung des Wärmebedarfs < 300°C für die Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, 2012-2050 in GWh/a	112
Tabelle 32:	Entwicklung des Endenergiebedarfes zur Kälteerzeugung für die Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, 2012-2050	113
Tabelle 33:	Potenziale der Wärmeerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, Basis-Szenario	115
Tabelle 34:	Potenziale der Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, Basis-Szenario	117
Tabelle 35:	Potenziale der Wärmeerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, im Fall der ambitionierten Politik-Variante mit erhöhtem KWK-Wärmeanteil	119
Tabelle 36:	Potenziale der Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, im Fall der ambitionierten Politik-Variante mit erhöhtem KWK-Wärmeanteil	120
Tabelle 37:	Abwärmemengen über 140°C mit möglicher Verwendung zur Stromerzeugung mittels ORC-Anlagen und anderen Technologien im Verarbeitenden Gewerbe	122
Tabelle 38:	Potenziale der Wärme- und Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, Basis-Szenario	125

Tabelle 39: Potenziale der Wärme- und Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, ambitionierte Politik-Variante	126
Tabelle 40: Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (eigene Anlagen nach AGFW) nach Turbinenart im Jahr 2012	132
Tabelle 41: Absolute Häufigkeit von Day-Ahead-Preisen an der Epex Spot zwischen 2004 und 2013	136
Tabelle 42: Klassifizierung von KWK-Anlagen	137
Tabelle 43: Bruttostromerzeugung nach der Energiereferenzprognose im Trend- und Zielszenario bis 2050, in TWh	147
Tabelle 44: KWK-Stromerzeugungspotenzial, in TWh	148
Tabelle 45: Brennstoffmix der KWK-Anlagen	151
Tabelle 46: Emissionsfaktoren der ungekoppelten Referenz-Strom- und Wärme-Erzeugung	153
Tabelle 47: Entwicklung der KWK-Nettostromerzeugung im Zeitraum 2005 bis 2013	159
Tabelle 48: Weitere Wärmespeicherprojekte in Deutschland	176
Tabelle 49: Brennstoff- und CO ₂ -Zertifikate-Preise, Prognose	181
Tabelle 50: Wärmeerlöse zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Fernwärme KWK-Anlagen 2008-2013	182
Tabelle 51: Wärmeerlöse zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Fernwärme KWK-Anlagen, Prognose	182
Tabelle 52: Entwicklung des Wärmebenchmarks zur Zuteilung kostenloser CO ₂ -Zertifikate	183
Tabelle 53: Zuschlagssätze KWKG, nominal	184
Tabelle 54: Zusätzliche Angaben zu den KWK-Anlagen	187
Tabelle 55: Projektrendite und Amortisationszeit für Neubauprojekte von KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung	193
Tabelle 56: Industrie- und Objekt-KWK-Anlagen	196
Tabelle 57: Versorgungsobjekte	198
Tabelle 58: Betrachtete Fälle	199
Tabelle 59: Projektrendite für Neubauprojekte von Objekt- und Industrie-KWK-Anlagen, mit KWK-Zulage	205
Tabelle 60: Projektrendite für Neubauprojekte von Objekt- und Industrie-KWK-Anlagen, ohne KWK-Zulage	209
Tabelle 61: Im Bau befindliche und abschließend von den Unternehmen genehmigte größere KWK-Kraftwerkprojekte	212

Tabelle 62:	Entwicklung der KWK-Nettostromerzeugung bis 2020	214
Tabelle 63:	Endkundenpreise Erdgas nach Kundengruppen und Verbrauchswerten bis 2050, real, oberer Heizwert, ohne MwSt., Steuern und Abgaben	230
Tabelle 64:	Zusammensetzung und Entwicklung der Strompreise für Haushalte und Gewerbekunden	231
Tabelle 65:	Zusammensetzung und Entwicklung der Stromendkundenpreise für Industriekunden	232
Tabelle 66:	Zusammensetzung und Entwicklung der Stromendkundenpreise für Industriekunden, Fortsetzung	233
Tabelle 67:	Endkundenpreise Strom nach Kundengruppen und Verbrauchswerten bis 2050, bis auf Haushalte, Schule (GHD 2a) und Krankenhaus (GHD 3) ohne MwSt.	234
Tabelle 68:	Gebäude- und Anlagenkennwerte für EFH	237
Tabelle 69:	Gebäude- und Anlagenkennwerte für MFH (Teil 1/2)	238
Tabelle 70:	Gebäude- und Anlagenkennwerte für MFH (Teil 2/2)	238
Tabelle 71:	Gebäude- und Anlagenkennwerte für GHD-Gebäude	239
Tabelle 72:	Wärmedämmmaßnahmen für EFH	240
Tabelle 73:	Wärmedämmmaßnahmen für MFH (Teil 1/2)	241
Tabelle 74:	Wärmedämmmaßnahmen für MFH (Teil 2/2)	242
Tabelle 75:	Rahmendaten des betrachteten EFH	243
Tabelle 76:	Rahmendaten des betrachteten MFH	243
Tabelle 77:	Verwendete Wärmegutschriften für die unterschiedlichen KWK-Anlagentypen bzw. -leistungsgrößen	245
Tabelle 78:	Anzahl der Modellstädte in den Stadtkategorien	251
Tabelle 79:	Attribute der Einzelobjekte in den Modellstädten	252
Tabelle 80:	Eingangsdaten der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Berechnung der Fernwärme-Verteilkosten	253
Tabelle 81:	Ergebnisse des Szenarios AG 90 B	253
Tabelle 82:	Ergebnisse des Szenarios AG 90 V	254
Tabelle 83:	Ergebnisse des Szenarios AG 45 B	254
Tabelle 84:	Ergebnisse des Szenarios AG 45 V	255
Tabelle 85:	Anteil der wirtschaftlich realisierbaren Objekt-KWK an der bei einem Fernwärme-Anschlussgrad von 90 % in Frage kommenden Wärmemenge	258

Tabelle 86: Aufteilung des Kältebedarfs im Jahr 2012 nach Industriebranchen und nach unterschiedlichen Temperaturniveaus	261
Tabelle 87: Entwicklung der Strom- und Brennstoffintensität für die Periode 2012-2050, unterteilt nach Industriesektoren	264
Tabelle 88: Deckungsbeitrag 1 der öffentlichen KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag	269
Tabelle 89: Deckungsbeitrag 1 der öffentlichen KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag	270
Tabelle 90: Deckungsbeitrag 2 der öffentlichen KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag	271
Tabelle 91: Deckungsbeitrag 2 der öffentlichen KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag	272
Tabelle 92: Wirtschaftliche Betriebsstunden der öffentlichen KWK-Anlagen, ohne KWK-Zuschlag	273
Tabelle 93: Wirtschaftliche Betriebsstunden der öffentlichen KWK-Anlagen, mit KWK-Zuschlag	274

Abkürzungsverzeichnis

ABL	Alte Bundesländer
AG	Anschlussgrad
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
B	Betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise
BHKW	Blockheizkraftwerk
DMV	Discounted Mean Value
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
ETS	Emissions Trading System
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GuD	Gas- und Dampfturbine
HA	Hausanschluss
HS	Hochspannung
IFAM	Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung
IH	Instandhaltung
IND	Industrie
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
LoD1	Level of Detail 1
MFH	Mehrfamilienhaus
MS	Mittelspannung
NBL	Neue Bundesländer
NS	Niederspannung
NT	Nachtstrom
PHH	Private Haushalte
REH	Reihenendhaus
RMH	Reihenmittelhaus
V	Volkswirtschaftliche Betrachtungsweise
WP	Wärmepumpe

1 Policy Brief

Status quo und Kurzzeitperspektive

- Die KWK erzeugt heute rund 96 TWh Strom (netto) und hat einen Anteil von 16,2 % an der gesamten Nettostromerzeugung in Deutschland. Hiervon entfällt etwas mehr als die Hälfte auf KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung, knapp ein Drittel auf die Industrie. Die restliche KWK-Stromerzeugung wird durch biogene KWK-Anlagen und dezentrale Kleinanlagen bereitgestellt. Mit rund 200 TWh betrug der Anteil der KWK-Wärme am Wärmemarkt (<300°C) rund 20 %.
- Unter Berücksichtigung der aktuellen Marktbedingungen wird die KWK-Stromerzeugung bis zum Jahr 2020 allerdings gegenüber dem heutigen Stand stagnieren. Das aktuelle Ziel von 25 % KWK-Stromerzeugung im Jahr 2020 wird demnach deutlich verfehlt werden.
- Bereits heute spart die KWK gegenüber der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung rund 56 Mio. Tonnen CO₂ ein. Bei einer Erschließung weiterer KWK-Potenziale sind gegenüber heute weitere Einsparungen möglich, auch wenn das zukünftige Stromerzeugungssystem durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien geprägt sein wird.

Kosten-Nutzen-Analyse und Potenzialermittlung

- Aus der Kosten-Nutzen-Analyse geht hervor, dass KWK gegenüber ungekoppelten Systemen in bestimmten Anwendungsfällen betriebs- und volkswirtschaftliche Vorteile aufweist.
- Auch deshalb wurden für den weiteren KWK-Ausbau große Potenziale identifiziert. Diese liegen hauptsächlich im Bereich der allgemeinen Versorgung (Fernwärme) und der Industrie. In Gebieten ohne Fernwärmeanschluss weisen auch Objekt-KWK-Anlagen zusätzliche Potenziale auf. Das Gesamtpotenzial für die KWK-Stromerzeugung beträgt je nach Betrachtung zwischen etwa 170 TWh/a und 240 TWh/a.
- Die Fernwärme-Potenziale weisen eine hohe Sensitivität auf. Bereits geringe Änderungen der Rahmenbedingungen, d. h. auch der Förderbedingungen, wirken sich erheblich auf die Ergebnisse aus. Das Erreichen hoher Anschlussgrade ist von essentieller Bedeutung; dies erfordert eine entsprechende politische Flankierung.
- Für die Industrie könnte die Stromerzeugung bis 2030 um 50 % auf 43 TWh zunehmen. Das größte Zuwachspotenzial liegt in den Nahrungsmittel-, Investitions-, Konsum- und Gebrauchsgüter-Industrien. Bei vorsichtiger Schätzung ergibt sich ein Stromerzeugungspotenzial aus der Nutzung von Abwärme in Höhe von 0,7 TWh bis 1,5 TWh pro Jahr.

Potenzialumsetzung, Flexibilisierungsaspekte und aktuelle Marktsituation

- Die KWK-Potenziale könnten zumindest mittelfristig (bis 2030) gemeinsam mit einem weiterem starken Ausbau der EE-Stromerzeugung erschlossen werden. Positiv wirkt hier die Ungleichzeitigkeit der Einspeisemaxima von fluktuierendem Wind- und PV-Strom und dem maximalen Wärmebedarf der Fernwärmesysteme. Nach 2030 hängt die mögliche Nutzung des KWK-Potenzials von der Struktur der Stromerzeugung, der Entwicklung der Stromnachfrage sowie der Flexibilität des gesamten Stromsystems ab.
- Technisch ist der größte Teil der KWK schon heute in der Lage, flexibel auf Strommarktsignale zu reagieren. Vor allem durch den Bau von kostengünstigen Wärmespeichern kann die Flexibilität der KWK noch weiter erhöht werden.
- Große KWK-Anlagen (im Megawatt-Bereich) bieten schon seit Jahrzehnten Regelenergie an. Bei kleineren KWK-Anlagen ist dies heute über eine Bündelung der Anlagen ebenfalls möglich.
- Die Wirtschaftlichkeit der KWK in der allgemeinen Versorgung ist unter den aktuellen Bedingungen (niedrige Stromgroßhandelspreise) für Neubauvorhaben und Anlagenmodernisierungen nicht gegeben. Im Bestand können heute und in den nächsten Jahren nur noch Kohle-KWK-Anlagen wirtschaftlich betrieben werden. Erdgas-KWK-Anlagen hingegen sind nicht in der Lage, ihre Betriebskosten zu decken. Für die Betreiber entstehen damit aktuell und zukünftig Verluste.
- Für Anlagen der Objektversorgung und der Industrie hängt die Wirtschaftlichkeit sehr stark von der Stromeigennutzungsquote und den Strombezugskosten ab. Daher bestimmt die spezifische Situation in den zu versorgenden Objekten bzw. Produktionsstandorten sehr stark die erreichbaren Projektrenditen. Die anteilige Belastung des selbst genutzten Stroms mit der EEG-Umlage dämpft seit der EEG-Novelle die Wirtschaftlichkeit.
- Die häufig und erheblich von der Strom- und Energiesteuer und der EEG-Umlage befreiten energieintensiven Unternehmen haben so geringe Strombezugskosten, dass sich Neuinvestitionen in größere KWK-Anlagen kaum rentieren.
- Aufgrund der hohen Anzahl an Wohngebäuden besteht in diesem Sektor ein sehr großes KWK-Potential. Der hohe administrative Aufwand eines direkten Stromverkaufs sowie hemmende Regelungen im Steuerrecht verhindern aber häufig eine Erschließung dieses Potenzials, insbesondere vor dem Hintergrund der erheblich gefallenen Großhandelsstrompreise und der damit unattraktiven Einspeisung von Strom ins öffentliche Netz.

Weiterentwicklung des KWKG

- Das aktuelle Förderdesign des KWKG sollte in seiner Grundform beibehalten werden. Die arbeitsseitige Förderung von KWK-Stromerzeugung führt nicht nur zu einer Verbesserung der allgemeinen Wirtschaftlichkeit der geförderten Anlagen, sondern reizt damit auch den Betrieb an und führt damit zu einer Einsparung von Primärenergie und CO₂ gegenüber einer ungekoppelten Erzeugung.
- Die Investitionskostenzuschüsse für den Ausbau der Netze und Speicher haben sich in den letzten Jahren bewährt. Sie sollten beibehalten werden.
- Unter den aktuellen und für die nächsten Jahre erkennbaren Marktbedingungen sollte eine Bestandförderung für Erdgas-KWK-Anlagen in der allgemeinen Versorgung in Betracht gezogen werden.
- Um den Neubau und die Modernisierung von KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung zu ermöglichen, müssten die Zuschlagssätze insbesondere für den ins öffentliche Netz eingespeisten KWK-Strom deutlich erhöht werden, je nach Technologie um Faktor 2 bis 3 im Vergleich zum heutigen Niveau.
- Überschlägig betrachtet wäre für eine Erreichung des KWK-Ziels bis zum Jahr 2020 eine zusätzliche KWK-Stromerzeugung von etwa 50 TWh notwendig. Der bestehende Deckel im KWKG müsste stark angehoben werden. Unter der vereinfachten Annahme eines notwendigen KWK-Zuschlags von 4 bis 6 Cent/kWh ergibt sich als Orientierungswert im Jahr 2020 ein zusätzliches Fördervolumen von 2 bis 3 Milliarden Euro. Andere politische Maßnahmen (Kapazitätselemente) oder Änderungen der Marktsituation könnten die wirtschaftliche Lage für KWK-Projekte verbessern und damit auch den notwendigen Förderbedarf senken.
- Das bisherige Zielsystem zur Förderung der KWK-Anlagen erweist sich langfristig aufgrund des zunehmenden Anteils von nicht KWK-fähigen Stromerzeugungstechnologien (Wind und PV) als wenig passend. Eine Umstellung der Zielgröße auf die KWK-kompatible Stromerzeugung erscheint vor dem Hintergrund der wachsenden Anteile fluktuierender Stromerzeugung langfristig sinnvoll.
- An einzelnen Punkten sollte die bestehenden Regelungen für die KWK-Zuschläge angepasst werden. Vorschläge hierzu sind Kapitel 7.7 zu entnehmen.
- Zusätzlich zu den Anpassungen des KWKG sollte der Emissionshandel gestärkt werden. Der CO₂-Preis hat seine Lenkungswirkung derzeit verloren. Zudem sollte die Gleichbehandlung der Wärmebereitstellung von KWK-Anlagen, die am ETS teilnehmen, und von dezentralen Heizungssystemen, für die keine CO₂-Kosten entstehen, sichergestellt werden.

2 Kurzfassung

2.1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Die EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU¹) sieht vor, dass die Mitgliedstaaten bis spätestens zum 31. Dezember 2015 eine umfassende Bewertung des Potenzials für den Einsatz der hocheffizienten KWK und der effizienten Fernwärme- und Fernkälteversorgung durchführen und diese der Europäischen Kommission mitteilen. Artikel 14 Absatz 3 sieht zudem vor, dass die Mitgliedstaaten eine Kosten-Nutzen-Analyse für ihr gesamtes Hoheitsgebiet durchführen. Darüber hinaus soll das KWK-Gesetz nach § 12 des gültigen KWK-Gesetzes im Jahr 2014 evaluiert werden.

Das Ministerium für Wirtschaft und Energie hat vor diesem Hintergrund beschlossen, die Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse auf das Jahr 2014 vorzuziehen, hieraus Schlussfolgerungen zur möglichen Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem abzuleiten und diese mit der gesetzlich vorgesehenen Evaluierung des KWKG zu verbinden.

Ziel dieses Projektes ist die Erstellung einer umfassenden Studie als Grundlage für die Entscheidungen der Bundesregierung. Die Studie umfasst die folgenden Bausteine, die inhaltlich aufeinander aufbauen:

- Kosten-Nutzen-Analyse,
- Potenzialanalyse für die KWK,
- Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem und
- Zwischenevaluierung des KWKG.

Die Studie basiert bei der Ermittlung des Status quo auf aktuellen Daten und Statistiken. Für die zukünftige Entwicklung der demografischen, ökonomischen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen wurde das konsistente Annahmen-Set der aktuellen Energiereferenzprognose der Prognos AG [Prognos/EWI/GWS 2014] verwendet.

Kosten-Nutzen-Analyse

Das Ziel der Kosten-Nutzen-Analyse ist, Versorgungsoptionen zu vergleichen und die kosteneffizientesten Optionen zu ermitteln. Die

¹ Richtlinie zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG

Analyse erfolgt über eine Kapitalwertbetrachtung sowohl unter volkswirtschaftlichen als auch unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten. Grundsätzlich wird zwischen Anwendungen in privaten Haushalten, Anwendungen im Bereich GHD und Industrieanwendungen unterschieden.

Die Kosten-Nutzen-Analyse erfolgt ohne einen direkten Bezug zu Mengengerüsten – im Gegensatz zur sich anschließenden Potenzialanalyse, bei der es um die Auswirkungen der (aktuellen) Wirtschaftlichkeitsvergleiche geht.

Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse basiert auf den Ergebnissen der Kosten-Nutzen-Analyse und zeigt auf, welche Mengenentwicklungen sich für Deutschland insgesamt daraus ergeben können.

Die Ermittlung der Potenziale der leitungsgebundenen KWK in den Bereichen **Private Haushalte und GHD** beruht auf der Detailanalyse von 41 repräsentativen Modellstädten. Die Fortschreibung des Wärmebedarfs berücksichtigt Sanierungs- und Neubaueffekte. Die Potenziale der Objekt-KWK basieren auf einem Vollkostenvergleich mit einem Gaskessel für 8 typische Anwendungsfälle. Die Potenzialermittlung für die **Industrie** erfolgt mittels einer Analyse des Wärmebedarfs der einzelnen Industriebranchen im für KWK interessanten Temperaturbereich bis zu 300°C und seiner künftigen Entwicklung aufgrund der Produktionsentwicklung sowie struktureller und technischer Einflüsse.

Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem

Die Analyse konzentriert sich auf die Potenziale zur KWK-Stromerzeugung, da diese in der Potenzialanalyse aus dem über KWK gedeckten Wärmebedarf abgeleitet werden. Für die KWK wird untersucht, welche technischen Konzepte zur Flexibilisierung bestehen bzw. bereits umgesetzt wurden und in welchen Einsatzbereichen die Flexibilität der KWK heute bereits genutzt wird.

Es wird analysiert, in welchem Umfang die KWK-Potenziale in das zukünftige Stromsystem integrierbar sind und welche Rolle die KWK im zukünftigen Stromsystem, auch bei der Bereitstellung von System- und Versorgungssicherheit einnehmen kann. Für die KWK wird ermittelt, in welchem Maße aus dem KWK-Betrieb auch langfristige positive Effekte auf die CO₂-Emissionen hervorgehen.

Zwischenevaluierung des KWKG

Die Zwischenevaluierung betrachtet die Entwicklung der KWK und den Abruf der KWK-Förderung in den letzten Jahren, da aus ihnen die Wirkungen des KWKG abgelesen werden können. Sie bildet

die Grundlage für die kurzfristige Perspektive bis zum Jahr 2020, die entscheidend für die Weiterentwicklung der KWK ist.

Untersucht werden deshalb der Anteil der Stromerzeugung in KWK-Anlagen an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland und die Entwicklung des über das KWKG geförderten KWK-Anlagenbestands sowie der Netze und Speicher. Ein wesentlicher Punkt der Evaluierung ist auch die Entwicklung der Wirtschaftlichkeit des Betriebs von KWK-Anlagen. Diese wird, differenziert nach Anlagenklassen und Nutzungsart und unter Berücksichtigung der Erlöse aus Strom und Wärmeerzeugung sowie ggf. der Förderung nach KWKG durchgeführt. Aufbauend auf diese Analyse wird die Entwicklung des KWK-Anteils und der Kosten der KWKG-Umlage bis zum Jahr 2020 abgeschätzt.

Abschließend werden die sich aus der Analyse ergebenden Empfehlungen zur Weiterentwicklung des KWKG für die einzelnen Einsatzbereiche sowie zu Maßnahmen außerhalb des KWKG formuliert.

2.2 Kosten-Nutzen-Analyse

Private Haushalte und GHD

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse von KWK-Anlagen in der **Objektversorgung** erfolgt ein Vergleich mit einem Gaskessel sowie mit einem kleineren Gaskessel nach erfolgter Wärmedämmung des Gebäudes. Wärmepumpen eignen sich nur für Niedertemperatur-Heizsysteme, sind also im Neubau eine relevante Alternative.

Für die untersuchten Optionen werden jeweils die Kapitalwerte der Wärmekosten (als Realwerte) über einen Zeitraum von 30 Jahren berechnet und vergleichend gegenübergestellt. Für den Bereich Wohnen werden vier Ein- und acht Mehrfamilienhäuser betrachtet; im Bereich GHD sind es die Anwendungsfälle *Krankenhaus*, *Bürogebäude* und *Gewerbebetrieb*.

Im Einfamilienhaus ist bei volkswirtschaftlicher Betrachtung der Einsatz eines BHKW die mit Abstand unwirtschaftlichste Option, bedingt durch die sehr hohen spezifischen Investitionen in diesem Leistungsbereich. Die Kapitalwerte für die Option Wärmedämmung liegen in etwa gleichauf mit denen eines Gaskessels, wobei die Resultate hier deutlich vom gewählten Sanierungsstandard abhängen. Bei betriebswirtschaftlicher Sichtweise verschlechtert sich die von den Kapitalkosten dominierte Wärmedämmung auf das BHKW-Niveau; der Gaskessel ist dann eindeutig die wirtschaftlichste Option. Bei den Mehrfamilienhäusern ergeben sich grundsätzlich identische Ergebnisse.

Bei den GHD-Beispielen ist die KWK-Anlage dem Gaskessel nur im Anwendungsfall *Krankenhaus* volkswirtschaftlich knapp und betriebswirtschaftlich deutlich überlegen. Bei betriebswirtschaftlicher Sicht stellt sich auch für den Anwendungsfall *Gewerbebetrieb* das BHKW knapp wirtschaftlicher dar als ein Gaskessel. Für das beispielhafte Bürogebäude ist für die volks- und betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise jeweils der Gaskessel die Option mit dem geringeren Kapitalwert. Von zentraler Bedeutung ist stets der Wärmebedarf der Objekte: je größer dieser ist, umso eher zeigt die Kosten-Nutzen-Analyse Vorteile der Option KWK gegenüber einem Gaskessel.

Bei Neubauten im Wohngebäudebereich rangieren Wärmepumpen zwischen den Gaskesseln (günstigste Versorgungsoption) und den BHKW (teuerste Versorgungsoption).

Für **wärmeleitungsgebundene KWK-Anlagen** ist die Vielfalt der in der Realität vorkommenden Siedlungstypen und anzurechnenden Wärmeverteilungskosten sehr groß; demzufolge ist auch die Festlegung einer allgemeingültigen Vergleichsreferenz kaum möglich. Die Bandbreite der Versorgungsfälle wird deshalb im Rahmen der Potenzialanalyse betrachtet.

Kosten-Nutzen-Analyse der industriellen KWK, KWKK und ORC-Anlagen

Die Wirtschaftlichkeitsrechnungen für die hier exemplarisch betrachteten sechs industriellen KWK-Anlagentypen verdeutlichen die Bedeutung der bestehenden KWK-Förderung für die betriebswirtschaftliche Rentabilität. Besonders deutlich wird dies beim kleinsten betrachteten Anlagentyp, der BHKW-Anlage mit 50 kW_{el}.

Bei den größeren Leistungsgrößen wird die betriebswirtschaftliche Rentabilität der Eigenerzeugung in KWK-Anlagen häufig durch die niedrigen Strombezugpreise beeinträchtigt, die für die größeren und energieintensiven Unternehmen anzunehmen sind, die solche Anlagen betreiben oder in solche Anlagen investieren würden. Dies gilt insbesondere für große, stromintensive Unternehmen, die in den Genuss von verminderten Stromsteuern (auch Spitzenausgleich) und einer weitgehenden EEG-Umlagebefreiung gelangen. Besonders deutlich wird dies in den betrachteten Fällen der Dampfturbine mit 5 MW_{el} und des GUD-Kraftwerks mit 20 MW_{el}, bei denen es sich um Anlagen handelt, die hohe Investitionssummen erfordern, was zu relativ hohen Kapitalkosten führt.

Bei der volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise wurden Steuern und Abgaben nicht berücksichtigt. Dadurch war in der Regel die Rentabilität der industriellen KWK-Anlagen noch geringer als in der betriebswirtschaftlichen Perspektive.

Die Rentabilität von KWK-Anlagen mit gleichzeitiger Erzeugung von Kälte über die Absorptionstechnik hängt sehr von den Jahres-

nutzungsstunden der gesamten Anlage ab. Günstigerweise könnten KWKK-Anlagen in einigen Branchen zulegen, die derzeit noch relativ geringe KWK-Anteile an dem Wärmebedarf <300°C haben (z. B. die Nahrungsmittel-Industrie, sonstige chemische Industrie).

ORC-Anlagen zur Stromerzeugung aus Abwärme existieren in der Industrie derzeit nur vereinzelt. Bei Ausnutzung der bestehenden Entwicklungspotenziale sind jedoch künftig durchaus rentable Anwendungsmöglichkeiten gegeben, insbesondere bei höheren Temperaturen der Abwärme.

2.3 Potenzialanalyse

Private Haushalte und GHD

Die Arbeiten zur Ermittlung der **Potenziale der leitungsgebundenen KWK** beruhen auf dem methodischen Konzept der Detailanalyse von repräsentativen Modellstädten und deren Ergebnisübertragung auf vergleichbare Städte. Dazu werden alle 4.598 Städte und Gemeindeverbände in Deutschland auf Basis von Strukturdaten in 9 ausreichend homogene Stadtkategorien eingeteilt. In der Summe repräsentieren sie einen Nutzwärmebedarf in Höhe von 762 TWh/a.

Es werden 41 Modellstädte aus 6 Bundesländern genutzt. Für alle wird ein GIS-basierter, hochaufgelöster digitaler Wärmeatlas erstellt, der viele Detailinformationen u. a. über die Gebäudemaße und -flächen, die Baualtersklasse sowie die Nutzungsart enthält. Insgesamt enthält diese Datenbasis über 1,1 Mio. Gebäude. Die hinterlegten Wärmebedarfswerte beruhen auf Typologiebildungen anhand von rund einer Viertelmillion realer Verbrauchsdaten. Für die Berechnung der Hausanschluss- und Verteilnetzlängen greift das IFAM zurück auf ein eigens entwickeltes Verfahren, dessen gute Genauigkeit anhand von existierenden Netzen erfolgreich validiert werden konnte. Die Fortschreibung des Wärmebedarfs berücksichtigt Sanierungs- und Neubaueffekte in einer räumlichen Differenzierung nach Gemeindeverbänden.

Alle Modellstädte werden anhand ihrer Siedlungsstruktur in räumliche Einheiten geclustert. Dabei wird für jedes Gebiet erfasst, ob es sich um ein „Insel-Cluster“ (die KWK-Anlage bedient genau die Wärmenachfrage dieses Clusters) oder Teil eines Verbundclusters (die Positionierung und Dimensionierung der KWK-Anlagen ist ein Freiheitsgrad) handelt. Insgesamt ergeben sich 1.403 Cluster.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen erfolgen stets *wärmeseitig*; die Ergebnisse sind angegeben als spezifische Werte (Discounted Mean Value (DMV, Realwerte €₂₀₁₃, ohne MwSt.). Sie erfolgen für jedes Cluster nach folgender Bedingung (alle Angaben in €/MWh):

$$\begin{aligned} & \text{Anlegbarer Fernwärmepreis} \\ & - \text{Wärmeerzeugungskosten} \\ & - \underline{\text{Wärmeverteilungskosten}} \\ & = x \text{ €/MWh} \end{aligned}$$

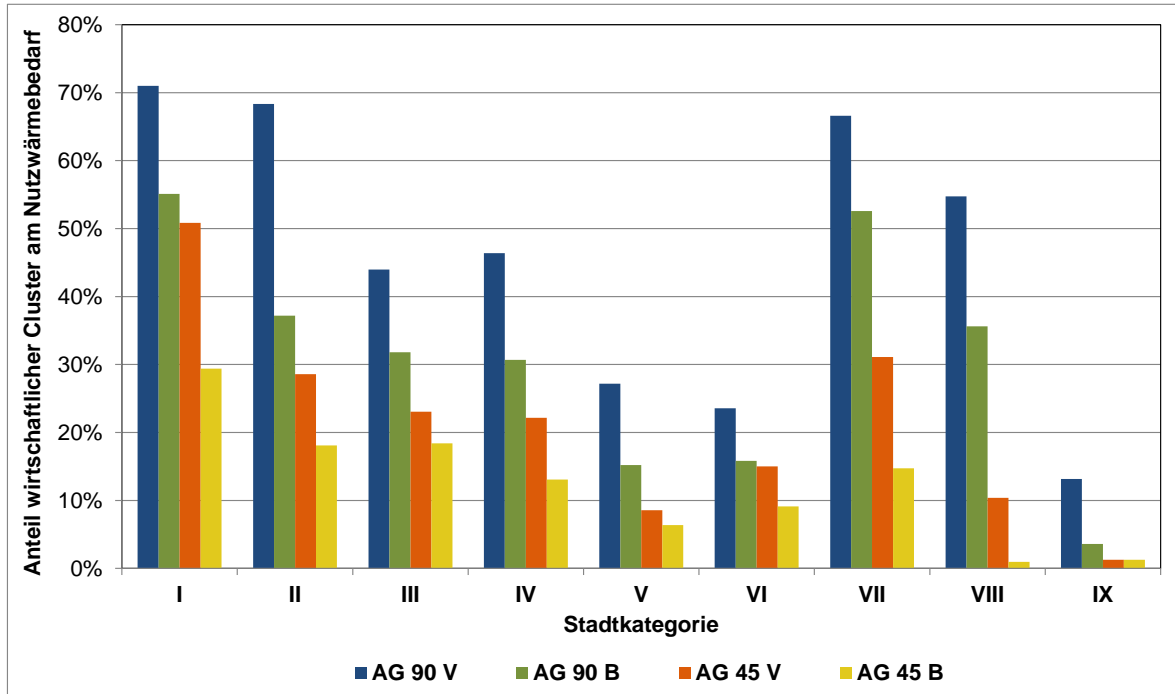
Die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Lösung ist gegeben bei $x > 0$. Um die Sensitivität der Ergebnisse zu verdeutlichen, werden diese in abgestuften „Wirtschaftlichkeitsstufen“ ausgewiesen.

Die anlegbaren Fernwärmepreise ergeben sich aus Vollkostenvergleichen mit Gaskesseln für eine mittlere Zusammensetzung von unterschiedlich großen Gebäuden zu 89,5 €/MWh für die betriebswirtschaftliche und 79,4 €/MWh für die volkswirtschaftliche Betrachtungsweise.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht bieten größere BHKW und kleinere GuD-Anlagen die niedrigsten Wärmeerzeugungskosten, ein paritätischer Anlagenmix führt zu Erzeugungskosten in Höhe von 58 €/MWh. Bei der volkswirtschaftlichen Rechnung sinken die Erzeugungskosten mit größeren GuD-Anlagenleistungen leicht. Bei einer Anlagenzusammensetzung wie zuvor liegen die Erzeugungskosten mit 44 €/MWh deutlich niedriger.

Es werden jeweils zwei Szenarien betrachtet, einerseits zur Ermittlung der maximalen wirtschaftlichen Potenziale eine flächendeckende KWK-Versorgung der Cluster mit einem Anschlussgrad (AG) von 90 % und andererseits ein realitätsnaher Ausbaufall mit einem auf die Hälfte reduzierter Anschlussgrad von 45 %. Abbildung 1 zeigt die Szenarienergebnisse im Überblick. Dargestellt ist jeweils der Anteil des Wärmebedarfs in den wirtschaftlichen Clustern für den Referenzfall ($x > 0$); zum besseren Vergleich also die Anteile *vor* Berücksichtigung des Anschlussgrades.

Abbildung 1: Ergebnisse der Clusteranalysen zur Fernwärme-KWK



AG: Anschlussgrad in %, V: Volkswirtschaftlich, B: Betriebswirtschaftlich, Definition Stadtkategorien siehe *Tabelle 14*

Quelle: IFAM 2014

Die Ergebnisse belegen die zu erwartende Abstufung zwischen den Stadtkategorien. Bei volkswirtschaftlicher Betrachtung ergeben sich deutlich größere Potenziale, weil die Verbesserung bei den Erzeugungskosten die Verschlechterung bei den anlegbaren Wärmepreisen deutlich überwiegt; hinzu kommen verringerte Verteilkosten. Bei einem auf 45 % verringerten Anschlussgrad verringern sich die Wärmemengenanteile der wirtschaftlichen Cluster deutlich, im Mittel um gut 50 %. Unter Einbeziehung des halbierten Anschlussgrades sinken die tatsächlich angeschlossenen Wärmemengen auf rund ein Viertel. Die Potenziale weisen eine hohe Sensibilität auf; geringfügige Änderungen der Rahmenbedingungen führen zu einer deutlichen Veränderung der Resultate.

Die Hochrechnung der KWK-Potenziale auf Deutschland ergeben bei flächendeckendem Anschluss die Werte in *Tabelle 1*. Auf die Städte mit mehr als 150 Tsd. Einwohner in den ABL entfällt jeweils rund die Hälfte des Potenzials.

Tabelle 1: Fernwärme-KWK-Potenziale in Deutschland bei einem Anschlussgrad von 90 %

Betrachtungsweise	Fernwärme-KWK-Potenzial	Einheit	Wert
betriebswirtschaftlich	Wärmenachfrage	TWh/a	154
	KWK-Wärmeerzeugung		128
	KWK-Stromerzeugung		113
volkswirtschaftlich	Wärmenachfrage		249
	KWK-Wärmeerzeugung		207
	KWK-Stromerzeugung		182

Quelle: IFAM 2014

Die Rechnungen zur Bestimmung der **Potenziale der Objekt-KWK** greifen auf Ergebnisse der modellhaften Kosten-Nutzen-Analyse zurück und basieren auf einem Vollkostenvergleich mit einem Gaskessel. Für 8 Gebäudetypen erfolgen eine typische Anlagenauslegung und die Ermittlung der für eine Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlage erforderlichen Mindestwärmemengen.

Weil im Regelfall die Einbindung in wärmeleitungsgebundene Systeme die wirtschaftlichere Option darstellt, werden zur Vermeidung von Doppelzählungen mit den Fernwärme-KWK-Potenzialen nur diejenigen Gebäude der Modellstädte, die sich außerhalb der in den jeweiligen Szenarien wirtschaftlichen Fernwärme-KWK-Clustern befinden, betrachtet.

Jedes Gebäude wird einer der 8 Typenklassen zugeordnet und einzeln auf das Wirtschaftlichkeitskriterium geprüft. Im Mittel der Stadtkategorien ergibt sich bei den Szenarien mit einem Anschlussgrad von 90 % der Anteil der mit wirtschaftlicher Objekt-KWK erschließbaren Wärmemengen am Gesamtwärmebedarf einer Stadt zu:

- 4,5 % bei betriebswirtschaftlicher Rechnung,
- 0,8 % bei volkswirtschaftlicher Rechnung.

Die Anteile bei volkswirtschaftlicher Betrachtungsweise liegen aus zwei Gründen deutlich niedriger: die „Erfolgsquote“ der untersuchten Teilmengen ist deutlich niedriger, zudem sind die zur Verfügung stehenden (Cluster-)Mengen wesentlich geringer. Die Potenziale beschränken sich auf den Nichtwohngebäudebereich. Von zentraler Bedeutung ist die Stromeigennutzungsquote. Je höher diese ist, desto eher sind KWK-Anlagen ökonomisch konkurrenzfähig. Die Ergebnisse der Hochrechnung auf Deutschland ergeben sich gemäß Tabelle 2.

Tabelle 2: Objekt-KWK-Potenziale in Deutschland in den AG 90-Szenarien

Betrachtungsweise	Fernwärme-KWK-Potenzial	Einheit	Wert
betriebswirtschaftlich	Wärmenachfrage	TWh/a	33
	KWK-Wärmeerzeugung		21
	KWK-Stromerzeugung		14
volkswirtschaftlich	Wärmenachfrage		5
	KWK-Wärmeerzeugung		3
	KWK-Stromerzeugung		3

Quelle: IFAM 2014

Durch Addition der beiden Teilpotenziale Fernwärme- und Objekt-KWK ergeben sich die Gesamtpotenziale in den Sektoren Private Haushalte und GHD. Die Ergebnisse für die AG 90-Szenarien sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Bei den Anteilsangaben ist zu berücksichtigen, dass die Fernwärme-KWK-Potenziale weitere Objekte beinhalten, die auch als dezentrale KWK-Lösungen wirtschaftlich darstellbar sind.

Tabelle 3: KWK-Potenziale in Deutschland in den AG 90-Szenarien

Erzeugungspotenzial	betriebswirtschaftlich	Anteil	volkswirtschaftlich	Anteil
	TWh/a	%	TWh/a	%
KWK-Wärme Fernwärme-KWK	128	86	207	99
KWK-Wärme Objekt KWK	21	14	3	1
Summe KWK-Wärme	149		210	
KWK-Strom Fernwärme-KWK	113	89	182	98
KWK-Strom Objekt KWK	14	11	3	2
Summe KWK-Strom	127		185	

Quelle: IFAM 2014

Potenziale der industriellen KWK

Bei der zukünftigen Entwicklung der Strom- und Wärmeerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe wurden für die Periode 2012 bis 2050 zwei unterschiedliche Varianten berechnet (Basis-Szenario, vgl. Tabelle 4, und eine Politik-Variante, vgl. Tabelle 39 in Kapitel 5.2.8). Diese ergeben

- eine Stagnation der KWK-Anwendung bei den drei Industriesektoren Grundstoffchemie, Gewinnung von Steinen und Erden/sonstiger Bergbau und Papiergewerbe (zum Teil noch mit einem Maximum um 2020 bis 2030) sowie
- eine merklich ansteigende KWK-Anwendung bei den übrigen Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes (Nahrungsmittel-, Investitionsgüter-, Konsum- und Gebrauchsgüterindustrieweige).

Bei der Gruppe der Industriesektoren mit stagnierender KWK-Erzeugung steigt das Wärmeerzeugungspotenzial im Basis-Szenario mit unveränderter Förderung der KWK bis zum Jahr 2030 zunächst um gut 11% (+0,6 % pro Jahr) an und sinkt anschließend bis 2050 um etwa 8 % gegenüber dem Potenzial im Jahr 2030 ab (vgl. Tabelle 4). Dadurch ergibt sich bis zum Ende der Betrachtungsperiode insgesamt ein leichter Zuwachs des KWK-Potenzials von 1,3 TWh Wärme (ca. 2 %) und 0,9 TWh Strom.

Im Gegensatz dazu weisen die Sektoren mit ansteigendem KWK-Erzeugungspotenzial insgesamt betrachtet einen Anstieg von 13 TWh Wärme (5,7 % pro Jahr) bis 2030 bzw. gut 20 TWh (3,6 % pro Jahr) bis 2050 auf (vgl. Tabelle 4). Insgesamt ergibt sich durch diesen Verlauf im Jahr 2050 ein Wärmepotenzial, das durch KWK-Anlagen erzeugt werden könnte, von ca. 91 TWh (+20 % gegenüber 2012) im Basis-Fall.

Erwähnt werden muss dabei, dass im Basisjahr 2012 auf der Wärmeseite 82 % der KWK-Wärmeerzeugung und auf der Stromseite knapp 88 % der KWK-Stromerzeugung den ausgewiesenen Industriesektoren zweifelsfrei zugeordnet werden können. Somit besteht zu den offiziellen Statistiken eine Lücke von 18 % bzw. 12 %, die aufgrund von Geheimhaltungskriterien von den Autoren nicht entsprechenden Sektoren zugewiesen werden konnten. Die Potenzialentwicklung der nicht zuordenbaren KWK-Erzeugung wird dann ausgehend von der realen Datenlage in 2012 mit Hilfe der durchschnittlichen Wachstumsraten der gesamten Industrie (vgl. Tabelle 4) bis 2050 projiziert, um einen vollständigen Gesamteindruck zu ermöglichen.

Tabelle 4: Potenziale der Wärme- und Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, Basis-Szenario

Industriesektoren		KWK-Erzeugungspotenziale in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
		2012	2020	2030	2040	2050	2012 - 2030	2012 - 2050
Wärme	Industriesektoren mit stagnierender KWK-Erzeugung ¹⁾	51.738	57.200	57.600	56.100	53.000	0,6%	0,1%
	Industriesektoren mit ansteigender KWK-Erzeugung ²⁾	17.452	25.200	30.330	35.040	38.050	3,1%	2,1%
	Industrie insgesamt ³⁾	69.190	82.400	87.930	91.140	91.050	1,3%	0,7%
	Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ⁴⁾	14.935	16.614	18.980	19.673	19.653		
	Gesamtpotenzial Industrie ⁵⁾	84.125	99.014	106.910	110.813	110.703		
Strom	Industriesektoren mit stagnierender KWK-Erzeugung ¹⁾	19.690	23.450	23.830	22.730	20.520	1,1%	0,1%
	Industriesektoren mit ansteigender KWK-Erzeugung ²⁾	5.158	10.550	14.100	17.450	19.470	5,7%	3,6%
	Industrie insgesamt ³⁾	24.848	34.000	37.930	40.180	39.990	2,4%	1,3%
	Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ⁴⁾	3.432	4.142	5.239	5.550	5.523		
	Gesamtpotenzial Industrie ⁵⁾	28.280	38.142	43.169	45.730	45.513		

1) Grundstoffchemie, Gewinnung von Steinen und Erden/sonstiger Bergbau und Papiergewerbe

2) Ernährung und Tabak, Fahrzeugbau, Glas und Keramik, Gummi- und Kunststoffwaren, Maschinenbau, Metallbearbeitung, Metallherzeugung, NE-Metalle und -gießereien, sonstige chemische Industrie, Sonstige Wirtschaftszweige sowie Verarbeitung von Steine und Erden

3) Summe der detailliert betrachteten Industriesektoren, ohne nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken

4) Differenz ergibt sich aufgrund von Geheimhaltungsfällen in den offiziellen Statistiken

5) Summe von Industrie gesamt und nicht ausgewiesener Differenz zu Statistiken

Quelle: DESTATIS 2013 und 2014 a, b; VIK 2014, eigene Berechnungen IREES 2014

Der Zuwachs der KWK-Anlagen in der Industrie zwischen 2030 und 2040 verlangsamt sich deutlich. Nach 2040 stagniert der Bestand infolge des Rückbaus der KWK-Anlagen in den Branchen mit hohen gegenwärtigen KWK-Anteilen, der kompensiert wird durch das weitere Anlagenwachstum in den Branchen mit höheren Wachstumspotenzialen

2.4 Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem

Durch den weiter wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien im Stromsystem ergibt sich für das Stromsystem ein verändertes Anforderungsprofil dem sich auch die KWK-Anlagen langfristig stellen müssen. Dieses Anforderungsprofil näher zu beschreiben war Gegenstand des ersten Analyseschritts.

Im zweiten Schritt wurden die technischen Konzepte von KWK-Anlagen hinsichtlich ihrer Flexibilität und ihrer Häufigkeit in der praktischen Anwendung ausgewertet. Eine Analyse der heute bereits genutzten technischen Flexibilität von KWK-Anlagen im Abgleich zu typischen Strommarktsituationen, die historisch aufgetreten sind, verdeutlicht die Rolle der KWK im heutigen Strommarkt.

In Verbindung mit der Betrachtung der KWK im Wärmemarkt erfolgt die Einordnung der zukünftigen Rolle der KWK im Gesamtsystem. Hierzu wird unter der Berücksichtigung der Potenzialanalyse im Wärmemarkt zunächst eine Einordnung im Vergleich zur KWK-kompatiblen Stromerzeugung in den Szenarien der energiewirtschaftlichen Referenzprognose vorgenommen.

Darüber hinaus wird in einer stündlichen Betrachtung die mögliche KWK-Erzeugung bei hohen Anteilen erneuerbarer Energieträger simuliert ohne das fluktuierende erneuerbare Energien abgeregelt werden. Dadurch wird die stromseitige Begrenzung der KWK-Erzeugung langfristig abgeschätzt. Diese Analyse ist schließlich Grundlage für die Berechnung der CO₂-Einsparung der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme im zukünftigen Energiesystem.

Die einzelnen Analyseschritte kommen zu folgenden zentralen Ergebnissen:

Anforderungen an das Stromsystem der Zukunft

Durch den wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien im Strommarkt ergeben sich für das Stromsystem drei zentrale Herausforderungen: Neben der Vermeidung von volkswirtschaftlich ineffizienten systematischen Strom-Überschüssen und der Refinanzierung der Leistungsabsicherung im Strommarkt stellt die Bereitstellung von Systemdienstleistungen eine zentrale Herausforderung dar. Hieraus ergeben sich auch an die KWK-Stromerzeugung entsprechende Flexibilitätsanforderungen, die zur effizienten Einbindung in das Stromsystem der Zukunft notwendig sind.

Technische Konzepte zur Flexibilisierung der KWK-Anlagen

Die KWK-Stromerzeugung bietet als Teil von zumeist großen Wärmeversorgungssystemen in der Industrie und in der allgemeinen Versorgung über Anlagenkonzepte, Wärmespeicher und Spitzenkessel ausreichend technische Flexibilität um langfristig auch in einem System mit hohen Anteilen fluktuierender erneuerbarer Energien bestehen zu können. Die Anwendungen in der Objektversorgung verfügen über die gleichen technischen Flexibilitätsoptionen.

Derzeitige Nutzung der Flexibilität von KWK-Anlagen zur Vermeidung der Abregelung von EE-Anlagen

Derzeit kann keine systematisch durch die KWK verursachte technisch bedingte Inflexibilität im Stromsystem festgestellt werden. Vielmehr korrespondiert insbesondere das Erzeugungsprofil der KWK in der allgemeinen Versorgung sehr gut mit Einspeisung der erneubaren Energien. Bei der Ausnutzung der technischen Möglichkeiten der Flexibilisierung der KWK-Anlagen ist damit auch in

Zukunft nicht zurechnen. Heute noch nicht umfassend genutzte technische Möglichkeiten zur flexiblen Fahrweise von KWK-Anlagen liegen nahezu ausschließlich in der noch nicht gegebenen wirtschaftlichen Attraktivität begründet. Insbesondere Eigenerzeugungskonzepte, bei nicht-privilegierten Endkunden reagieren im Vergleich zu im Strommarkt vermarkteten Anlagen erst bei deutlich ausgeprägteren Strompreissignalen. Der Anteil dieser Anlagen im Bestand ist jedoch immer noch gering. Schätzungsweise betrifft dies ein Drittel der industrielle KWK-Stromerzeugung (10 TWh) und den größten Teil der Stromerzeugung der Anlagen unter 1 MW (5 TWh).

KWK im Wärmemarkt

Derzeit werden im Wärmemarkt rund 15% aus KWK-Anlagen erzeugt. Langfristig bietet die KWK insbesondere in verdichteten Räumen eine günstige Option die Wärmebereitstellung ressourcenschonend und CO₂-arm bereitzustellen. Langfristig sollte jedoch zur Ausschöpfung der wärmeseitigen Potenziale der EE-Anteil in der Fernwärmebereitstellung erhöht werden. Power-to-Heat-Konzepte können in diesem Zusammenhang auch die Integration hoher fluktuierender EE-Anteile im Strommarkt begünstigen

Langfristige Rolle der KWK im Gesamtsystem

Historisch betrachtet war die Nutzung der KWK-Technik zumeist durch die unzureichende Ausnutzung bestehender Wärmesenken begrenzt. Diese Beschränkung auf der Wärmeseite wird langfristig in Zukunft durch die wachsenden Anteile der fluktuierenden erneuerbaren Energieträger auf der Stromseite ergänzt. Mit der technischen Flexibilität leisten die KWK-Anlagen auch langfristig einen volkswirtschaftlich sinnvollen Beitrag zur effizienten und ressourcenschonenden Versorgung mit Strom und Wärme. Durch die Nutzung zusätzlicher Flexibilitätsoptionen im Stromsystem wie dem grenzüberschreitenden Stromhandel oder die Nutzung von Power-to-Heat-Anwendungen kann das bisher noch nicht genutzte Potenzial der KWK-Technik weiter ausgebaut werden. Das bisherige Zielsystem zur Förderung der KWK-Anlagen erweist sich aufgrund der Verschiebungen im Stromsystem als wenig passend. Eine Umstellung der Zielgröße auf die KWK-kompatible Stromerzeugung erscheint vor dem Hintergrund der wachsenden Anteile fluktuierender Stromerzeugung sinnvoll.

CO₂-Einsparungen durch KWK

Darüber hinaus trägt die KWK auch weiterhin deutlich zur CO₂-Einsparung bei. Selbst wenn langfristig im deutschen Strommarkt nur noch Gaskraftwerke im Strommix verdrängt werden besteht weiterhin gegenüber der ungekoppelten Erzeugung ein erheblicher Vorteil in der CO₂-Bilanz.

2.5 Evaluierung des KWKG

Im KWKG ist für das Jahr 2014 eine Zwischenüberprüfung vorgesehen. Dabei sollen insbesondere die Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung, die Rahmenbedingungen für den Betrieb von KWK-Anlagen sowie die jährlichen Zuschlagszahlungen untersucht werden.

Das folgende Kapitel enthält die Darstellung der Entwicklung der KWK-Stromerzeugung in den zurückliegenden 10 Jahren (Kapitel 7.1) sowie die Auswertung der nach dem KWKG geförderten KWK-Anlagen, Wärme- und Kältespeicher sowie Wärme- und Kältenetze seit dem Jahr 2003 bzw. 2009 (Kapitel 7.2 bis 7.4). Auf Basis dieser Informationen sowie den durchgeführten Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit (Kapitel 7.5) erfolgt eine Prognose der Stromerzeugung aus KWK und der Kosten der KWKG-Umlage bis zum Jahr 2020 (Kapitel 7.6). Abschließend werden Empfehlungen zur Weiterentwicklung des KWKG abgegeben (Kapitel 0).

Anteil der KWK an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland

Die KWK hatte im Jahr 2013 mit einer Nettostromerzeugung von 96,4 TWh (2003: 82,4 TWh) einen Anteil von etwa 16,2 % (2003: 14,2 %) an der Nettostromerzeugung in Deutschland. Dabei ist die KWK-Stromerzeugung der allgemeinen Versorgung in der letzten Dekade stagnierend bzw. leicht sinkend. Die industrielle KWK-Stromerzeugung, KWK-Anlagen unter 1 MW und Biogene KWK legen dagegen deutlich zu und tragen den insgesamt leichten Zuwachs der KWK. Die CO₂-Einsparung durch die gekoppelte Erzeugung der KWK-Anlagen lag gegenüber der ungekoppelten Referenzerzeugung im Jahr 2013 bei rund 56 Mio. Tonnen.

Nach dem KWKG geförderte KWK-Anlagen

Das KWKG kennt aktuell drei unterschiedliche Fördertatbestände für KWK-Anlagen. Dies sind der Neubau, die Modernisierung und die Nachrüstung von KWK-Anlagen.

Mit der KWKG-Novelle 2009 steigen der geförderte Zubau und die Modernisierung auf ein Niveau von zusammen über 500 MW pro Jahr. Nach der Novelle des KWKG im Jahr 2012 stieg dieser Wert im Jahr 2013 auf knapp 1.100 MW, was hauptsächlich aus einem steigenden Modernisierungsvolumen bei Anlagen ab 2 MW beruht.

Auf die Modernisierung von Anlagen mit mehr als 2 MW elektrischer Leistung entfallen 42 % der gesamten seit 2012 geförderten KWK-Leistung. Der Neubau in diesem Segment repräsentiert 27 % der geförderten KWK-Leistung. In den Bereichen unterhalb von 2 MW spielt die Modernisierung nur eine untergeordnete Rolle. Auf Neubuanlagen zwischen 50 kW und 2 MW entfallen etwa 23 %

der geförderten KWK-Leistung und auf das Segment unterhalb von 50 kW etwa 6 %. Die Nachrüstung spielt mit nur einem Förderfall keine Rolle.

Die Objekt- und Industrie-KWK haben sich in den letzten Jahren dynamisch entwickelt, wobei das Leistungssegment von 50 kW bis 2 MW die höchsten Zuwachsraten verzeichnet. Für diese Entwicklung dürften die Erhöhung des KWK-Zuschlags im Rahmen der KWKG-Novelle 2012 sowie die im Zeitraum von 2010 bis 2014 stark gestiegene EEG-Umlage verantwortlich sein, die die Eigenutzung des erzeugten Stroms wirtschaftlich interessanter gemacht haben.

Nach dem KWKG geförderte Wärme- und Kältenetze

Der Ausbau von Wärmenetzen ist ein wichtiger Grundpfeiler für den Erhalt und Ausbau der KWK, da er den Wärmeabsatz steigert bzw. ihn vor dem Hintergrund der Erfolge der Wärmedämmung von Gebäuden und Prozessen und der effizienten Wärmeanwendung stabilisiert. Mit der künftigen Integration von großen Solarthermieanlagen, Geothermie und power-to-heat können Wärmenetze neben der verstärkten Nutzung von Biomasse helfen, das KWK-System noch weiter zu dekarbonisieren.

Der Bau von Wärme- und Kältenetzen wird seit 2009 im KWKG gefördert. Mit der Novellierung des KWKG im Jahr 2012 wurde der maximal mögliche Investitionszuschuss von 20 % auf maximal 30 % bzw. 40 % für Netze mit einem Nenndurchmesser von unter 100 Millimetern erhöht. Gefördert werden Wärmenetze, in denen der KWK-Anteil der eingespeisten Wärme mindestens 60 % beträgt.

In den Jahren 2009 bis 2011 wurden im Mittel 400 Trassenkilometer in Betrieb genommen. Nach der Novelle des KWKG im Jahr 2012 stieg dieser Wert sprunghaft auf gut 800 Trassenkilometer pro Jahr. Gefördert werden der Neubau, der Ausbau, der Netzzusammenschluss und die Netzverstärkung wobei der Ausbau mit 54% und der Neubau mit 40% der Trassenkilometer das Geschehen dominieren. Während in Neubauvorhaben ein hoher Anteil erneuerbarer Energieträger festzustellen ist, werden Ausbauvorhaben eher fossil gespeist. Bislang wurden ausschließlich Wärmenetze gefördert.

Nach dem KWKG geförderte Wärme- und Kältespeicher

Die anlagentechnische Verbindung von thermischen Speichern mit strommarktgeführten KWK-Anlagen kann einen wichtigen Beitrag zur Flexibilisierung der Stromerzeugung der KWK-Anlagen leisten. Sie ermöglichen eine phasenweise Entkopplung der KWK-Stromproduktion vom Wärme- bzw. Kältebedarf.

Mit der Novellierung des KWKG im Jahr 2012 wurde erstmals die Förderung von Wärme- und Kältespeichern in Form eines Investitionszuschusses im KWKG von maximal 30% der ansatzfähigen Investitionskosten und maximal 5 Millionen Euro je Projekt verankert. Seit Beginn der Förderung wurden 89 Speicherprojekte mit einem Gesamtspeichervolumen von etwa 8.100 m³ fertiggestellt. Weitere 81 Wärmespeicher mit einem Volumen von etwa 53.000 m³ befinden sich derzeit noch im Zulassungsverfahren. Weiterhin gibt es bekannte Planungen zum Bau von vielen weiteren Speichern mit einem Volumen von etwa 230.000 m³. Bislang wurden ausschließlich Wärmespeicher gefördert.

Die bereits umgesetzten bzw. absehbaren Speicher mit einem Gesamtvolumen von knapp 300.000 m³ decken bereits etwa 7% des bis 2050 notwendigen Speichervolumens von geschätzten 4 Mio. m³ ab [Prognos 2013].

Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen

Ein kostendeckender Anlagenbetrieb ist für die öffentliche Fernwärmeversorgung unter den dargestellten Rahmenbedingungen in der kurzfristigen Perspektive bis 2020 nur für moderne Steinkohle-KWK-Anlagen möglich. Mit Gas befeuerte KWK-Anlagen sind ohne Förderung in keinem der betrachteten Fälle wirtschaftlich. Mit Förderung erzielen nur Anlagen mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad einige Jahre einen positiven Deckungsbeitrag. Ab 2017 ist dies aufgrund der sich immer weiter annähernden Gas- und Strompreise bei keiner Anlage mehr möglich. Ein Neubau von öffentlichen KWK-Anlagen für die Fernwärmeversorgung mit einer elektrischen KWK-Anlagenleistung von mehr als 10 MW ist momentan nicht refinanzierbar.

Größere Objekt- und Industrie-KWK-Anlagen können hingegen unter den heutigen Förderbedingungen in geeigneten Einsatzbereichen wirtschaftlich errichtet und betrieben werden. In vielen Anwendungsfällen ergeben sich auch ohne KWK-Förderung ausreichend hohe Projektrenditen. Die höchsten Projektrenditen werden erzielt, wenn die Anlagen eine hohe Auslastung erreichen und darüber hinaus ein großer Anteil des Stroms vom Betreiber selbst genutzt werden kann. Dies ist zumeist in Industriebetrieben mit einem hohen und möglichst konstanten Strom- und Wärmebedarf der Fall.

Verbraucher in der energieintensiven Industrie beziehen wegen der Befreiung von Umlagen ihren Strom zu geringen Kosten, so dass der Betrieb einer neuen KWK-Anlage zwar positive Projektrenditen erwarten ließe, diese aber meist deutlich unter der notwendigen Mindestrendite für eine Umsetzung des Projekts liegen. In diesem Segment könnte eine Anpassung der Förderung neue Impulse geben.

Kleinere Anlagen, vor allem in Wohnungsobjekten erreichen unter den heutigen Bedingungen keine positiven Projektrenditen. Bei negativen Projektrenditen werden Anlagen nur in Einzelfällen unter Einbeziehung nicht-monetärer Bewertungsmaßstäbe realisiert. Kleine bis mittelgroße Anlagen der Objektversorgung können zwar positive Projektrenditen erreichen, diese unterschreiten jedoch häufig die geforderte Mindestrendite, so dass eine Realisierung dieser Projekte in der Regel nicht zu erwarten ist. Insgesamt sind Anlagen in GHD und Wohngebäuden nur in ausgewählten Fällen wirtschaftlich. In der Objektversorgung hängt die Wirtschaftlichkeit sehr stark von der Stromeigennutzungsquote der Anlagen ab. In bestimmten Anwendungsbereichen wie Hotels oder Krankenhäusern können sehr gute Projektrenditen erreicht werden. In Bereichen wie z. B. der Wohnungswirtschaft lassen sich hingegen Projekte nur sehr schwierig realisieren.

Die Gründe hierfür liegen einerseits in den höheren spezifischen Kosten der kleineren Anlagen und andererseits in der niedrigeren Eigennutzungsquote des erzeugten Stroms.

Prognose der KWK-Stromerzeugung bis zum Jahr 2020

Die Prognose baut auf die heutige KWK-Stromerzeugung auf. Sie berücksichtigt die wesentlichen Entwicklungen in den KWK-Bereichen allgemeine Versorgung, industrielle KWK sowie biogene und kleine KWK. Die Prognose berücksichtigt die heute bekannten Neubauprojekte und die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sowie die im EEG 2014 beschlossenen Änderungen zum Eigenverbrauch. Das KWKG wird in seiner heutigen Form fortgeschrieben. Nicht berücksichtigt werden mögliche Effekte einer zukünftigen Einführung eines Kapazitätsmarktes.

Die KWK-Nettostromerzeugung bleibt bis zum Jahr 2020 in etwa auf dem aktuellen Niveau. Die KWK wird sich in den einzelnen Anwendungsfällen unterschiedlich entwickeln. Bei den KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung führt die wirtschaftliche Situation voraussichtlich zu einem Rückgang der KWK-Stromerzeugung während für den Bereich der industriellen KWK-Stromerzeugung bis zum Jahr 2020 noch ein leichter Anstieg gegenüber dem aktuellen Niveau erwartet wird. Attraktive Potenziale ergeben sich insbesondere bei Unternehmen und Branchen mit hohen Strombezugskosten bei gleichzeitig hohem Wärme- und Stromverbrauch.

3 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Die EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU²) sieht vor, dass die Mitgliedstaaten bis spätestens zum 31. Dezember 2015 eine umfassende Bewertung des Potenzials für den Einsatz der hocheffizienten KWK und der effizienten Fernwärme- und Fernkälteversorgung durchführen und diese der Europäischen Kommission mitteilen. Artikel 14 Absatz 3 sieht zudem vor, dass die Mitgliedstaaten eine Kosten-Nutzen-Analyse für ihr gesamtes Hoheitsgebiet durchführen, in der die ressourcen- und kosteneffizientesten Lösungen zur Deckung des Wärme- und Kälteversorgungsbedarfs unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen, der wirtschaftlichen Tragfähigkeit und der technischen Eignung ermittelt werden sollen.

Darüber hinaus soll das KWK-Gesetz nach § 12 des gültigen KWK-Gesetzes im Jahr 2014 evaluiert werden.

Das Ministerium für Wirtschaft und Energie hat vor diesem Hintergrund beschlossen, die Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse auf das Jahr 2014 vorzuziehen, hieraus Schlussfolgerungen zur möglichen Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem abzuleiten und diese mit der gesetzlich vorgesehenen Evaluierung des KWKG zu verbinden.

Ziel dieses Projektes ist die Erstellung einer umfassenden Studie als Grundlage für die Entscheidungen der Bundesregierung. Die Studie umfasst die folgenden Bausteine, die inhaltlich aufeinander aufbauen:

- Kosten-Nutzen-Analyse,
- Potenzialanalyse für die KWK,
- Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem und
- Zwischenevaluierung des KWKG.

Diese Studie verwendet für alle Berechnungen einheitliche Rahmenannahmen. Hierzu zählen neben den energiewirtschaftlichen Leitlinien der zukünftigen Entwicklung einerseits die darauf basierenden Annahmen zur Preisentwicklung von Brennstoffen, CO₂-Zertifikaten sowie, daraus abgeleitet, von Großhandels- und Verbraucherpreisen. Andererseits arbeitet die Studie mit einem einheitlichen typologischen Ansatz zu den technischen Parametern und Kosten der untersuchten KWK-Anlagen.

² Richtlinie zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG

Kosten-Nutzen-Analyse

Das Ziel der Kosten-Nutzen-Analyse in Kapitel 4 ist, Versorgungsoptionen zu vergleichen und die kosteneffizientesten Optionen zu ermitteln. Die Analyse erfolgt über eine Kapitalwertbetrachtung sowohl unter volkswirtschaftlichen als auch unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten, die sich wie folgt unterscheiden:

- Die **volkswirtschaftliche Betrachtung** hat als Bezugsrahmen den gesamten Wirtschaftsraum Deutschland. Dabei werden die Auswirkungen politisch bedingter Rahmenseetzungen (Steuern, Abgaben, Förderung) nicht berücksichtigt. Die Analysen dienen der Erfüllung der Berichtspflichten der EU-Kommission.
- Die **betriebswirtschaftliche Betrachtung** nimmt die jeweilige Entscheiderperspektive ein; der Bezugsrahmen ist das eigene Versorgungsgebiet, Unternehmen oder Gebäude. Diese Betrachtung bildet im Gegensatz zur volkswirtschaftlichen Sicht den aktuellen Rechtsrahmen (z. B. steuerliche Vorschriften) vollständig ab. Hinzu kommen abweichende Zinsansätze, welche die individuellen Renditeerwartungen der Akteure widerspiegeln.

Wegen der Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten der Kraft-Wärme-Kopplung können nur beispielhafte KWK-Anlagen in typischen Einsatzfällen betrachtet werden. Grundsätzlich wird dabei zwischen Anwendungen in **privaten Haushalten**, Anwendungen im **Bereich GHD** und **Industrieanwendungen** unterschieden.

Die Kosten-Nutzen-Analyse erfolgt ohne einen direkten Bezug zu Mengengerüsten – im Gegensatz zur sich anschließenden Potenzialanalyse, bei der es um die Auswirkungen der (aktuellen) Wirtschaftlichkeitsvergleiche geht.

Potenzialanalyse

Die in Kapitel 5 durchgeführte Potenzialanalyse basiert auf den Ergebnissen der Kosten-Nutzen-Analyse und zeigt auf, welche Mengenentwicklungen sich für Deutschland insgesamt daraus ergeben können. Die im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse ermittelten Kostenfunktionen schaffen wesentliche Grundlagen für die Potenzialabschätzung.

Die Ermittlung der Potenziale der **leitungsgebundenen KWK** in den Bereichen Private Haushalte und GHD beruhen auf dem methodischen Konzept der Detailanalyse von 41 repräsentativen Modellstädten und deren Ergebnisübertragung auf vergleichbare Städte. Die Fortschreibung des Wärmebedarfs berücksichtigt Sanierungs- und Neubaueffekte.

Die Potenziale der **Objekt-KWK** basieren auf einem Vollkostenvergleich mit einem Gaskessel für 8 typische Anwendungsfälle. Zur Vermeidung von Doppelzählungen mit den Fernwärme-KWK-Potenzialen kommen nur diejenigen Gebäude der Modellstädte in Betracht, die sich außerhalb der wirtschaftlichen Fernwärme-KWK-Clustern befinden.

Die Potenzialermittlung für die **Industrie** erfolgt mittels einer Analyse des Wärmebedarfs der einzelnen Industriebranchen im für KWK interessanten Temperaturbereich bis zu 300°C und seiner künftigen Entwicklung aufgrund der Produktionsentwicklung sowie struktureller und technischer Einflüsse. Mit auf den Wirtschaftlichkeitsberechnungen beruhenden Annahmen zu den eingesetzten Techniken – vorwiegend Blockheizkraftwerke und Gasturbinen – und deren spezifischen Verhältnissen von Strom- und Wärmeenergieerzeugung kann daraus die resultierende KWK-Stromerzeugung abgeleitet werden.

Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem

Aufbauend auf die Ergebnisse der Potenzialanalyse sowie der Kosten-Nutzen-Analyse wird in Kapitel 6 die mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem analysiert. Die Analyse konzentriert sich auf die KWK-Stromerzeugung, da diese in der Potenzialanalyse aus dem über KWK gedeckten Wärmebedarf abgeleitet wird.

Ausgangspunkte dieser Betrachtung sind für die KWK deshalb einerseits das ermittelte Stromerzeugungspotenzial und andererseits die sich ändernden Anforderungen an das Stromsystem insgesamt. Die fortschreitende Integration zunehmender Anteile erneuerbarer Energien erfordert für alle regelbaren Kraftwerke eine flexiblere Fahrweise. Zudem wird der Bedarf an Regelenergie und Systemdienstleistungen steigen.

Für die KWK wird deshalb zunächst untersucht, welche technischen Konzepte zur Flexibilisierung der KWK bestehen bzw. bereits umgesetzt wurden und in welchen Einsatzbereichen die Flexibilität der KWK heute bereits genutzt wird. Darüber hinaus wird anhand von typischen Erzeugungsprofilen der Fernwärme und der erneuerbaren Energien auf stündlicher Basis analysiert, inwieweit sich deren Erzeugungsmaxima überschneiden und dadurch behindern bzw. zeitlich versetzt auftreten und ergänzen.

Aufbauend auf diese Grundlagen wird analysiert, in welchem Umfang die ermittelten KWK-Potenziale in das zukünftige Stromsystem integrierbar sind und welche Rolle die KWK im zukünftigen Stromsystem, auch bei der Bereitstellung von System- und Versorgungssicherheit einnehmen kann. Hierfür wird auch auf die Ergebnisse aktueller Studien zurückgegriffen.

Ein wesentlicher Vorteil der KWK ist heute die mit der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung verbundene CO₂-Einsparung gegenüber ungekoppelten Systemen. Zukünftige Änderungen im Energieträgermix zur Strom- und Wärmeerzeugung werden die Emissionsbilanz der KWK und ihrer Referenzsysteme beeinflussen. Für die KWK wird deshalb untersucht, in welchem Maße aus dem KWK-Betrieb auch langfristige positive Effekte auf die CO₂-Emissionen hervorgehen.

Zwischenevaluierung des KWKG

In Kapitel 7 wird – aufbauend auf die Ergebnisse der Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse und unter Berücksichtigung der zukünftig möglichen Rolle der KWK in Deutschland – die wissenschaftliche Grundlage für die entsprechende Beurteilung der Bundesregierung erstellt. Für die Zwischenevaluierung wird der Fokus stärker auf die Vergangenheit und die nähere Zukunft gelegt. Einerseits ist die Entwicklung der KWK und der Abruf der KWK-Förderung der letzten Jahre von Bedeutung, da aus ihr die Wirkungen des KWKG abgelesen werden können, andererseits ist gerade die kurzfristige Perspektive bis zum Jahr 2020 entscheidend für die Weiterentwicklung der KWK. Insbesondere folgende Punkte werden analysiert:

- Anteil der Stromerzeugung in KWK-Anlagen an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland,
- Entwicklung des über das KWKG geförderten KWK-Anlagenbestands sowie der Netze und Speicher,
- Wirtschaftlichkeit des Betriebs von KWK-Anlagen, differenziert nach Anlagenklassen und Nutzungsart unter Berücksichtigung der Erlöse aus Strom und Wärmeerzeugung sowie ggf. der Förderung nach KWKG,
- Entwicklung des KWK-Anteils und der Kosten der KWKG-Umlage bis zum Jahr 2020.

Aufbauend auf diese Analyse werden Empfehlungen zur Weiterentwicklung des KWKG für die einzelnen Einsatzbereiche sowie zu Maßnahmen außerhalb des KWKG formuliert.

4 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analyse wird durchgeführt, weil sie durch die EU-Effizienzrichtlinie gefordert wird. Ziel ist, Versorgungsoptionen zu vergleichen und die kosteneffizientesten Optionen zu ermitteln. Die Analyse erfolgt sowohl unter volkswirtschaftlichen, als auch unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten über eine Kapitalwertbetrachtung.

Private Haushalte und GHD

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse von KWK-Anlagen in der **Objektversorgung** erfolgt ein Vergleich mit einem Gaskessel sowie mit einer Wärmedämmung des Gebäudes und einem entsprechend kleineren Gaskessel. Wärmepumpen sind nur im Neubau eine relevante Alternative. Für den Bereich Wohnen werden vier Ein- und acht Mehrfamilienhäuser betrachtet; im Bereich GHD sind es drei beispielhaften Anwendungsfälle.

Für die KWK in der Objektversorgung ist festzustellen, dass im Bereich privater Haushalte unter den zu Grunde gelegten Rahmenbedingungen ein wirtschaftlicher Einsatz eines **BHKW** nicht gegeben ist. Dies gilt sowohl für die volkswirtschaftliche als auch (weniger ausgeprägt) für die betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise. Durch die geringeren spezifischen Investitionskosten von größeren BHKW schneiden die größeren Mehrfamilienhäuser jeweils besser ab als kleinere Wohngebäude. Im Bereich GHD zeigt sich, dass eine Wirtschaftlichkeit von BHKW sehr von den Voraussetzungen des spezifischen Objektes und der Betrachtungsweise abhängt; verallgemeinernde Aussagen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen sind deshalb nicht möglich.

Für die ausgewählten Beispiele weist eine **Wärmedämmung** bei volkswirtschaftlicher Betrachtung ähnliche Kapitalwerte auf wie die Gaskessel-Option. Mit den zu Grunde gelegten Zinssätzen der betriebswirtschaftlichen Variante ist die Wärmedämmung in den Musterfällen wirtschaftlich keine Alternative. Diese Ergebnisse sind nicht pauschalierbar, weil die Vergleiche erheblich vom Gebäudezustand, den umgesetzten Maßnahmen und Annahmen wie z. B. den eigenen Zinserwartungen abhängen.

Die Kapitalwerte der **Wärmepumpen** liegen bei volkswirtschaftlicher Betrachtung wenig bis deutlich und bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung erheblich über denen der Gaskessel-Option.

Für **wärmeleitungsgebundene KWK-Anlagen** ist die Vielfalt der in der Realität vorkommenden Siedlungstypen und anzurechnenden Wärmeverteilungskosten sehr groß; die Kosten-Nutzen-Analyse erfolgt deshalb im Rahmen der Potenzialanalyse.

Industrielle KWK

Die mit industriellen KWK-Anlagen erreichbaren Stromgestehungskosten sind eine entscheidungsrelevante Größe aus Sicht der Investoren und Anlagenbetreiber. Ihre Ermittlung ist somit von essentieller Bedeutung für die Abschätzung von KWK-Potenzialen in der Industrie. Hierbei wird die entstehende Wärme mit den Kosten einer getrennt erzeugten Wärme bewertet.

Für sechs exemplarisch ausgewählte Anlagentypen - drei Blockheizkraftwerke unterschiedlicher elektrischer Leistung zwischen 50 kW_{el} und 2 MW_{el}, eine Dampf- und eine Gasturbine sowie ein GuD-Kraftwerk mit Nennleistungen zwischen 5 MW_{el} und 20 MW_{el} wurden die Stromgestehungskosten ermittelt und den Strombezugskosten gegenüber gestellt, die für industrielle Investoren / Anwender alternativ zur Stromeigenerzeugung gelten würden.

Die Ergebnisse verdeutlichen die Bedeutung der bestehenden KWK-Förderung für die Rentabilität der Anlagen, insbesondere der kleinsten BHKW-Anlage mit 50 kW_{el}. Bei größeren Anlagen wird die Rentabilität der Eigenerzeugung in KWK-Anlagen häufig durch die niedrigen Strombezugskosten beeinträchtigt, die für die großen und energieintensiven Unternehmen zutreffen. Hier machen sich die Vergünstigungen bei EEG-Umlage oder den Steuererleichterungen/ -befreiungen bei den Strom- und Energiesteuern bemerkbar. Die Ergebnisse der Kosten- und Rentabilitäts-Berechnungen führen zu dem Schluss, dass ein Wachstum der industriellen KWK künftig in erster Linie durch Blockheizkraftwerke und Gasturbinen mit Leistungen bis zu etwa 5 MW getragen werden dürfte.

Ergänzend zur Rentabilitätsberechnung aus Sicht eines Investors (betriebswirtschaftliche Betrachtung) wurde eine volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. Bei dieser wurde mit Energiepreisen gerechnet, die von jeglichen Steuern, Abgaben und Umlagen (EEG- und KWK-Umlage) befreit sind. Die hier vorgenommene volkswirtschaftliche Betrachtung hat allerdings den Nachteil, dass energie- und klimapolitisch gewünschte Veränderungen des Energiesystems und die Vermeidung von hohen Adaptationskosten und Schadenskosten in den Preisen nicht berücksichtigt werden.

Die Kosten-Nutzen-Analyse wird durchgeführt, weil sie durch die EU-Effizienzrichtlinie gefordert wird. Ziel ist, die unterschiedlichen KWK-Einsatzfälle hinsichtlich ihrer Gesamtkosten zu untersuchen und anderen Versorgungsoptionen vergleichend gegenüberzustellen, um die kosteneffizientesten Optionen zu ermitteln. Die Analyse erfolgt über eine Kapitalwertbetrachtung (Net Present Value) sowohl unter volkswirtschaftlichen, als auch unter

betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten, welche sich wie folgt unterscheiden:

- Die **volkswirtschaftliche Betrachtung** hat als Bezugsrahmen den gesamten Wirtschaftsraum Deutschland. Dabei werden die Auswirkungen politisch bedingter Rahmensetzungen (Steuern, Abgaben, Förderung) nicht berücksichtigt. Die Analysen dienen der Erfüllung der Berichtspflichten der EU-Kommission.
- Die **betriebswirtschaftliche Betrachtung** nimmt die jeweilige Entscheiderperspektive ein; der Bezugsrahmen ist das eigene Versorgungsgebiet, Unternehmen oder Gebäude. Diese Betrachtung bildet im Gegensatz zur volkswirtschaftlichen Sicht den aktuellen Rechtsrahmen (z. B. steuerliche Vorschriften) vollständig ab. Hinzu kommen abweichende Zinsansätze, welche die individuellen Renditeerwartungen der Akteure widerspiegeln.

Die berücksichtigten Kostenkomponenten, die für jedes Jahr berechnet und sodann in den Kapitalwert der gesamten Wärmeherstellungskosten einfließen, sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Berücksichtigte Kosten- bzw. Ausgabenkomponenten für die volks- und betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse

Kosten/Ausgaben	Volkswirtschaftliche Betrachtung	Betriebswirtschaftliche Betrachtung
Investitionskosten	Ja	Ja (mit MwSt. im Bereich privater Haushalte)
Betriebskosten	Ja	Ja (mit MwSt. im Bereich privater Haushalte)
Brennstoffkosten	Ohne Steuern	Mit allen relevanten Steuern
Rückerstattung Energiesteuer	Nicht relevant	Ja, wenn P_{el} kleiner 2 MW
CO ₂ -Abgabe	Nein	Ja
Kosteneinsparung Eigenverbrauch	Ja	Ja
Einnahmen Stromverkauf	Ja	Ja
Netzentgelte	Ja	Ja
EEG-Umlage	Nein	Ja
KWKG-Zuschlag	Nein	Ja

Quelle: IFAM

Sowohl für die volks- als auch für die betriebswirtschaftliche Betrachtung sind die getroffenen Annahmen zu den Zinssätzen der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Annahmen zur Verzinsung für die Kosten-Nutzen-Analyse

Reale Zinssätze (für die komplette Investition)	Volkswirtschaftliche Betrachtung	Betriebswirtschaftliche Betrachtung
Private Haushalte	3 %	6 %
GHD	3 %	8 %
IND	3 %	12 %
Energiewirtschaft/ Fernwärme	3 %	8 %

Quelle: IFAM

Volkswirtschaftlich positive Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich eine Umsetzung der ermittelten Potenziale gesamtwirtschaftlich lohnen würde. Der Vergleich zwischen betriebswirtschaftlicher Sicht und volkswirtschaftlicher Sicht liefert Informationen über Notwendigkeiten und Wirkungen möglicher politischer Eingriffe, um die eine oder andere Option zu befördern, d. h. die Rahmenbedingungen für die zu tätigen KWK- und Fernwärmeinvestitionen in einem Maße zu verbessern, dass die Diskrepanz vermindert oder sogar aufgehoben wird.

Wegen der Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten der Kraft-Wärme-Kopplung können nur beispielhafte KWK-Anlagen in typischen Einsatzfällen betrachtet werden. Die untersuchten Optionen ergeben sich aus den Anforderungen des Auftraggebers und den in den einzelnen Teilmärkten relevanten bzw. dominierenden Alternativen. Grundsätzlich wird dabei zwischen Anwendungen in **privaten Haushalten**, Anwendungen im **Bereich GHD** und **Industrieanwendungen** unterschieden.

Die Kosten-Nutzen-Analyse erfolgt ohne einen direkten Bezug zu Mengengerüsten – im Gegensatz zur sich anschließende Potenzialanalyse, bei der es um die Auswirkungen der (aktuellen) Wirtschaftlichkeitsvergleiche geht. Die im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse ermittelten Kostenfunktionen schaffen wesentliche Grundlagen für die Potenzialabschätzung.

4.1 Gemeinsame Rahmenbedingungen

Diese Studie verwendet für alle Berechnungen **einheitliche Rahmenannahmen**, die im Folgenden dargestellt werden. Hierzu zählen neben den energiewirtschaftlichen Leitlinien der zukünftigen Entwicklung einerseits die darauf basierenden Annahmen zur Preisentwicklung von Brennstoffen, CO₂-Zertifikaten sowie, daraus abgeleitet, von Großhandels- und Verbraucherpreisen. Andererseits arbeitet die Studie mit einem einheitlichen typologischen Ansatz zu den technischen Parametern und Kosten der untersuchten KWK-Anlagen.

Das **Energiekonzept der Bundesregierung 2010**, mit Ergänzungen aus dem Jahr 2011 zur Rücknahme der Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke und Maßnahmen zum Netzausbau und zum Ausbau der erneuerbaren Energien, enthält die langfristige Strategie eines Umbaus des Energiesystems hin zu einem klimaneutralen System. Ziel des Energiekonzepts ist deshalb neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Steigerung der Energieeffizienz auch die Erhöhung des Anteils der KWK-Stromerzeugung bis zum Jahr 2020 auf 25 %. In der aktuellen Energiepolitik wird dieses Ziel bekräftigt. Allerdings stellt die zunehmende Einspeisung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien (Windenergie und Photovoltaik) das Stromsystem insgesamt und somit auch die KWK vor neue Herausforderungen. Eine Erhöhung der Flexibilität der KWK-Anlagen ist zukünftig notwendig, um den gewünschten KWK-Ausbau noch besser an die Erfordernisse des sich wandelnden Stromsystems anzupassen. Sie ist aber auch für die KWK-Betreiber eine Chance, ihre Erlöse durch flexiblere Fahrweise ihrer Anlagen zu erhöhen und damit auch deren Rentabilität.

Vor dem langfristigen Hintergrund der beschlossenen Maßnahmen und Strategien des Energiekonzepts analysiert die aktuelle **Energieferenzprognose** [Prognos/EWI/GWS 2014] die aus heutiger Sicht wahrscheinliche energiewirtschaftliche Entwicklung bis zum Jahr 2030 und schreibt diese in einem bis zum Jahr 2050 reichendem Trendszenario fort. Die Referenzprognose berücksichtigt – anders als das ebenfalls in [Prognos/EWI/GWS 2014] dargestellte Zielszenario – die bestehenden Beharrungskräfte und Verzögerungen in der Umsetzung klimaschutzbezogener Maßnahmen.

Die Referenzprognose enthält auch in sich konsistente Aussagen zur Entwicklung der Energiepreise auf den internationalen Märkten und in Deutschland. Die folgende Tabelle 7 stellt die dort verwendeten Rahmenannahmen zur Entwicklung der **Energie- und CO₂-Zertifikate Preise** dar. Erwartet werden Preisanstiege auf den internationalen Märkten für Rohöl, Erdgas und Kesselkohle, ausgelöst durch eine steigende weltweite Energienachfrage insbesondere in den asiatischen Ländern. Die Preise in der folgenden Tabelle sind um Inflationseffekte bereinigt, also in realen Preisen auf der Basis des Jahres 2013 angegeben. Der Ölpreis steigt in dem Szenario zwischen 2014 und 2050 von real 116 USD/Barrel auf über 130 USD/Barrel. Der deutsche Grenzübergangspreis für Rohöl steigt im gleichen Zeitraum unter Berücksichtigung des sich ändernden Wechselkurses zwischen US-Dollar und Euro von 685 Euro/t auf 934 Euro/t. Auch die Grenzübergangspreise für Erdgas und Steinkohle legen zu, der Gaspreis steigt von 27 Euro/MWh auf 35 Euro/MWh, der Preis für Steinkohle von 65 Euro/t SKE auf 143 Euro/t SKE. Die dargestellten Annahmen zur Energiepreisentwicklung stellen ein aus heutiger Sicht wahrscheinliches Preisszenario dar. Einzelne Ergebnisse wie politische oder wirtschaftliche Krisen oder auch eine vom langjährigen Mittel

abweichende Witterung können bei einzelnen Energieträgern, zumindest kurzfristig, zu erheblichen Preisschwankungen führen. Die Entwicklung des CO₂-Preises hängt zudem sehr stark von politischen Entscheidungen ab. Insbesondere für den Zeitraum nach dem Jahr 2020 ist Einschätzung zum CO₂-Preis aus heutiger Sicht nur schwer möglich.

Tabelle 7: Energiepreisentwicklung nach der Energiereferenzprognose

		2014	2020	2030	2040	2050
Internationaler Ölpreis	USD ₂₀₁₃ /bbl	116	122	129	131	133
Grenzübergangspreis Rohöl	Euro ₂₀₁₃ /t	685	730	818	874	934
Grenzübergangspreis Erdgas (Ho)	Euro ₂₀₁₃ /MWh	2,7	3,1	3,2	3,5	3,5
Gaspreis frei Kraftwerk (Ho)	Euro ₂₀₁₃ /MWh	31	35	36	38	38
Grenzübergangspreis Kohle	Euro ₂₀₁₃ /t SKE	65	112	124	135	143
Steinkohlepreis frei Kraftwerk	Euro ₂₀₁₃ /MWh	9	14	16	17	18
CO ₂ -Zertifikatspreis	Euro ₂₀₁₃ /t	5	10	42	68	80
Großhandelsstrompreis (Baseload)	Euro ₂₀₁₃ /MWh	36	42	67	83	87

Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

In den dargestellten Brennstoffpreisen ist kein Aufschlag für die Emission von CO₂ berücksichtigt. Die Preise für CO₂-Zertifikate sind gesondert ausgewiesen. Sie verharren bis zum Jahr 2020 auf niedrigem Niveau und steigen nach 2020 in dem unterstellten Szenario bis 2050 auf 80 Euro/t.

Im Rahmen dieser Studie wird eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von KWK-Anlagen in allen Einsatzbereichen durchgeführt. Wesentliche Einflussfaktoren für die großen KWK-Anlagen der öffentlichen Versorgung sind die Strom- und Wärmeerlöse sowie die Kosten für Brennstoffe und CO₂-Zertifikate. Für die Betrachtung von KWK-Anlagen in Objekten und Industriebetrieben sind neben den jeweiligen Endkundenpreise für Strom und Erdgas weitere Faktoren wie die Jahresnutzungsstunden, das Temperatur-Niveau des Wärmeverbrauchers oder die Möglichkeit der simultanen Erzeugung von Absorptionskälte relevant.

Aufsatzpunkt für die in Tabelle 67 im Anhang (Abschnitt 9.1.1) dargestellten Erdgas-Endkundenpreise ist die heutige Preisstruktur in den von Eurostat ausgewiesenen Verbrauchsklassen. Die zukünftige Entwicklung dieser Endkundenpreise ist eng an die Entwicklung des Grenzübergangspreises aus der Energiereferenzprognose (vgl. Tabelle 7) gekoppelt, hinzu kommen Aufschläge für die Strukturierung, den Transport und die Margen des Gasvertriebs. Diese Komponenten unterscheiden sich nach Konsumentengruppe und Abnahmefall. Einheitlich werden die Endkunden-

preise ab dem Jahr 2020 mit den Kosten der CO₂-Emission aus Tabelle 7 beaufschlagt.

Die zukünftigen realen Gaspreise für verschiedene Endkunden ohne Mehrwertsteuer, Steuern und Abgaben werden im Anhang (Abschnitt 9.1.1) dargestellt. Diese Preise sind in den Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit der Objekt- und Industrie-KWK als Brennstoffpreis an zwei Stellen relevant: Einerseits als Brennstoffpreis für die KWK-Anlage selbst und andererseits als Eingangssparameter zur Berechnung der Wärmeerlöse über die Ermittlung der Wärmeerzeugungskosten eines alternativen Kessels.

Auch die Endkundenpreise für Strom unterscheiden sich nach Kundengruppen und Abnahmefällen. Gründe hierfür sind einerseits unterschiedliche Stromabnahmemengen, andererseits fallen aufgrund der bestehenden gesetzlichen Regelungen unterschiedlich hohe Umlagen, Steuern und Entgelte an. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Strompreise für die betrachteten Stromabnahmefälle findet sich im Anhang (Abschnitt 9.1.1) in Tabelle 64 bis Tabelle 66.

Die sich bei einer gleichbleibenden Gesetzeslage ergebenden realen Endkundenpreise für Strom bis zum Jahr 2050 sind dem Anhang (Abschnitt 9.1.1) zu entnehmen. Grundlage dieser Preise ist die Entwicklung des Großhandelsstrompreises aus Tabelle 7 sowie Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Abgaben und Umlagen. Die Mehrwertsteuer fällt ausschließlich bei privaten Haushalten und der öffentlichen Hand (z. B. Krankenhaus, Schule) an.

Insbesondere im Bereich der Industrie können die jeweiligen Energiepreise für einzelne Unternehmen von den hier dargestellten typischen Durchschnittspreisen abweichen.

Der Tabelle 8 sind die in den Berechnungen verwendeten Zuschlagsätze nach KWKG 2012 zu entnehmen.

Tabelle 8: Zuschlagssätze KWKG 2012

Zuschlagsberechtigte Anlagen	Leistungsanteilig	KWK-Zuschlag*	Vergütungszeitraum
Kleine KWK-Anlagen bis einschließlich 50 kW _{el}		5,41 Cent/kWh	10 Jahre <u>oder</u> 30.000 Vollbenutzungsstunden (Vbh); pauschalierte Auszahlung für Anlagen < 2 kW möglich
Kleine KWK-Anlagen größer als 50 kW _{el}	50 - 250 kW _{el}	4,00 Cent/kWh	30.000 Vbh
	> 250 kW _{el}	2,40 Cent/kWh	
Hocheffiziente Neuanlagen	< 50 kW _{el}	5,41 Cent/kWh	30.000 Vbh (für Anlagen im Emissionshandel erhöht sich der Zuschlag ab 1.1.2013 um 0,3 Cent/kWh)
	50 - 250 kW _{el}	4,00 Cent/kWh	
	250 kW _{el} - 2 MW _{el}	2,40 Cent/kWh	
	> 2 MW _{el}	1,80 Cent/kWh	
Modernisierte oder nachgerüstete hocheffiziente Anlagen (ab 2 MW _{el})	Wie hocheffiziente Neuanlagen	Wie hocheffiziente Neuanlagen	Max. 30.000 Vbh; (Anlagen < 50 kW _{el} : max. 10 Jahre <u>oder</u> 30.000 Vbh)

Quelle: KWKG 2012

Insgesamt wurden den Berechnungen 14 typische KWK-Anlagen mit ihren zugehörigen Leistungsparametern, Kosten und Erlösen zu Grunde gelegt. Die in Tabelle 9 dargestellten anlagenspezifischen Daten wurden u. a. auf Basis der BHKW-Kenndaten 2014 (ASUE/BHKW-Infozentrum 2014) erhoben und anhand von Expertengesprächen, Betreiber- und Herstellerangaben verifiziert. Die ausgewiesenen Daten berücksichtigen die Einsatzbereiche der Anlagen.

Tabelle 9: Betrachtete KWK-Anlagen

Anlage:		BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	BHKW 4	BHKW 5	DT 1	GT 1
Netzebene		Niederspannung			Mittelspannung			
Größe	kW _{el}	1	5	50	500	2.000	5.000	10.000
Investitionskosten inkl. Planungskosten*	Euro ₂₀₁₃ /kW	15.000	5.300	2.750	1.300	850	1.500	800
Wirkungsgrad elektrisch	%	26%	27%	34%	39%	42%	25%	30%
Wirkungsgrad thermisch	%	66%	66%	57%	51%	48%	60%	55%
Wirkungsgrad gesamt	%	92%	93%	91%	90%	90%	85%	85%
Kalkulationsdauer	a	10	10	10	15	15	15	15
Fixe Betriebskosten	Euro ₂₀₁₃ /kW _{el,a}	280	110	30	15	10	10	16
Variable Betriebskosten	Euro ₂₀₁₃ /MWh	60	40	25	13	9	8	6
Erlöse aus vermiedenen Netznutzungsentgelten	Euro ₂₀₁₃ /MWh	7	7	7	5	5	5	5
Anlage:		BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
Netzebene		MS	Hochspannung					
Größe	kW _{el}	10.000	20.000	100.000	200.000	450.000	400.000	800.000
Investitionskosten	Euro ₂₀₁₃ /kW	700	1.300	1.300	1.200	1.100	-*	1.500
Wirkungsgrad elektrisch	%	46%	35%	45%	50%	55%	38%	45%
Wirkungsgrad thermisch	%	42%	53%	43%	38%	33%	15%	15%
Wirkungsgrad gesamt	%	88%	88%	88%	88%	88%	53%	60%
Kalkulationsdauer	a	15	20	20	20	20	20	20
Fixe Betriebskosten	Euro ₂₀₁₃ /kW _{el,a}	9	20	16	16	16	24	22
Variable Betriebskosten	Euro ₂₀₁₃ /MWh	6	4	1,8	1,5	1,5	3	2,5
Erlöse aus vermiedenen Netznutzungsentgelten	Euro ₂₀₁₃ /MWh	5	2	2	2	2	2	2

* Hierbei handelt es sich um eine typische Steinkohle KWK-Anlage aus den 1980er Jahren; für diesen Typ wird kein Neubau betrachtet
Quelle: IFAM, BHKW-Consult, IREES, Prognos; MS= Mittelspannung

4.2 Private Haushalte und GHD

Allen Betrachtungen gemeinsam ist, dass für den ausgewählten KWK-Einsatzfall der Kapitalwert der Wärmekosten über einen ausgewählten Zeitraum dargestellt wird (Angabe als Realwerte in €₂₀₁₃ ohne MwSt.). Zum Vergleich ist der Kapitalwert der Wärmekosten einer alternativen Wärmeerzeugung angegeben.

Bei den Gebäuden der Sektoren Private Haushalte und GHD gibt es grundsätzliche Unterschiede zwischen KWK-Anlagen, die einzelne Objekte (Wohngebäude oder GHD-Betriebe) versorgen und den Wärmenetz gebundenen KWK-Systemen.

4.2.1 Fernwärme-KWK

Während es bei der Objekt-KWK gelingt, unterschiedliche Versorgungsoptionen für Musterfälle konkret zu dimensionieren und in einer Kosten-Nutzen-Analyse zu bewerten, ist es für Wärmenetz gebundene KWK-Anlagen kaum möglich, typische Wärmeabsatzsysteme zu definieren – zu groß ist die Bandbreite der in der Realität vorkommenden Siedlungstypen und anzurechnenden Wärmeverteilungskosten in unterschiedlichen Nah- und Fernwärmesystemen. Das bedeutet, dass eine Repräsentativität nicht gegeben wäre; die Ergebnisse wären nicht verallgemeinerbar bzw. übertragbar. Deshalb ist eine Kosten-Nutzen-Analyse, die von einer bestimmten KWK-Anlage ausgeht, wenig sinnvoll.

Stattdessen ist es angezeigt, die individuellen Versorgungsfälle über eine große Fallzahl zu analysieren, um summarisch zu den gewünschten Aussagen zu kommen. Dies erfolgt im Rahmen der Potenzialanalyse in Kapitel 5.1.1; die dabei erzielten Ergebnisse ergeben ein aussagekräftiges Bild der Kosten-Nutzen-Analyse. Sie beinhaltet dabei die Effekte der fortlaufend stattfindenden Gebäudesanierung (vgl. Abschnitt 5.1.1.5).

4.2.2 Objekt-KWK

Ziel der Betrachtung von einzelnen Objekten im Bereich privater Haushalte und GHD ist ein Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Wärmeversorgungsoptionen auf Basis der Barwerte für typische Anwendungsfälle. Im Bereich Wohnen werden die Optionen mit einem BHKW, mit einem Gaskessel sowie mit einem kleineren Gaskessel nach erfolgter Wärmedämmung des Gebäudes miteinander verglichen. Wärmepumpen eignen sich wegen der geringen Vorlauftemperaturen nur für Niedertemperatur-Heizsysteme, die im Wohnungsbestand nur selten vorhanden sind. Um dennoch eine Einschätzung über die Kostensituation von Wärmepumpen zu erhalten, werden für zwei Neubauten (typisches Ein- und Mehrfamilienhaus) verschiedene Wärmepumpentechnologien mit einem Gaskessel verglichen.

Da es im Sektor GHD einen je nach Anwendungsfall stark variierenden Prozesswärmebedarf gibt, der weder durch Wärmepumpen bedient noch durch Wärmedämmmaßnahmen verringert werden kann, wird im Bereich GHD die KWK-Wärmeversorgungsoption lediglich mit der alternativen Wärmebereitstellung durch einen Gaskessel verglichen. Für eine reine Gebäudewärmedämmung bieten die großen Mehrfamilienhäuser eine gute Orientierung hinsichtlich der Effekte gegenüber dem Gaskesselvergleich.

Im Folgenden werden zunächst die Vorgehensweisen für die einzelnen Wärmeversorgungsoptionen beschrieben und im Anschluss die Ergebnisse vergleichend dargestellt und bewertet.

4.2.2.1 Versorgungsoption BHKW

Im Rahmen dieses Projekts sind für sechs verschiedene typische BHKW-Größenklassen technische und wirtschaftliche Parameter festgelegt worden (siehe Tabelle 9). Da die zu versorgenden Beispielobjekte mit ihrem Wärmebedarf nicht exakt zu einem dieser BHKW passen, werden in einem ersten Schritt Ausgleichsfunktionen für die folgenden fünf Parameter gebildet:

- Stromkennzahl,
- elektrischer Wirkungsgrad,
- spezifische Investitionssumme,
- spezifische fixe Betriebskosten,
- spezifische variable Betriebskosten.

Die Verläufe dieser Ausgleichsfunktionen sind Abbildung 61 bis Abbildung 65 im Anhang (Abschnitt 9.1.2) zu entnehmen. Mit Hilfe dieser Kennlinien ist es möglich, für jede BHKW-Dimensionierung die Werte der erforderlichen Parameter zu bestimmen.

Für den Bereich Wohnen werden vier Ein- und acht Mehrfamilienhäuser ausgewählt, für die Kostenwerte für Wärmedämmmaßnahmen vorliegen (siehe Abschnitt 4.2.2.2). Für den Bereich GHD werden die drei folgenden typischen Anwendungsfälle gebildet:

- Krankenhaus mit einem Wärmebedarf von 2.000 MWh/a,
- Bürogebäude mit einem Wärmebedarf von 100 MWh/a,
- Gewerbebetrieb mit einem Wärmebedarf von 2.000 MWh/a.

Die zur Ermittlung der maximalen Wärmelast verwendeten typischen Volllaststunden für die einzelnen Anwendungsfälle sind der Abbildung 74 im Anhang (Abschnitt 9.1.2) zu entnehmen.

Die gewählte Anlagenleistung (relativ zur maximalen Gebäudewärmelast), die angesetzten Volllaststunden der BHKW und die Stromeigennutzungsquoten sind ebenfalls in dieser Abbildung aufgeführt. Die Gebäude- und Anlagenkennwerte der ausgewählten Beispielobjekte sind in Tabelle 68 bis Tabelle 71 im Anhang (Abschnitt 9.1.2) dargestellt.

Mit den so definierten Anlagendaten werden nun unter Berücksichtigung der in Tabelle 5 gezeigten Kosten- und Einnahmenpositionen die Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten über 30 Jahre für den volks- und für den betriebswirtschaftlichen Fall berechnet.

4.2.2.2 Versorgungsoption Gaskessel

Als Referenzvariante werden die Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten einer Versorgung mit einem Gaskessel berechnet. Ein Gaskessel dient als Referenz, weil diese Technik vor allem im Gebäudebestand die Wärmeversorgung für Objekte in Deutschland dominiert.

Analog der Versorgungsoption mit einem BHKW werden die Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten über 30 Jahre für den Betrieb eines Gaskessels berechnet, der den gesamten Wärmebedarf des jeweiligen Beispielobjekts bereitstellt. Der Kessel wird dabei auf 100 % der Spitzenlast des jeweiligen Versorgungsobjekts dimensioniert. Die Berechnung erfolgt ebenfalls sowohl für den betriebs- als auch für den volkswirtschaftlichen Fall.

4.2.2.3 Versorgungsoption mit Wärmedämmung und kleinerem Gaskessel

In (IWU, 2013) und (DENA, 2012) werden für die untersuchten Beispielobjekte im Bereich der Wohngebäude verschiedene Maßnahmen beschrieben, welche die Bestandsgebäude auf einen definierten energetischen Standard (z. B. Effizienzhaus 55) bringen. Diese Maßnahmen setzen sowohl im Bereich der Wärmedämmung (z. B. Fassadendämmung, 3-fach-Verglasung) als auch bei der Anlagentechnik (z. B. neue Heizung, Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung) an. Die Kosten dafür werden auch als energiebedingte Mehrkosten angegeben, also als der Anteil der Gesamtkosten, welcher allein durch die Verbesserung des energetischen Standards auftritt und nicht durch die Instandhaltung selbst³. Neben dem Gesamteffekt aller Sanierungsmaßnahmen wird auch das Sparpotential der Einzelmaßnahmen angegeben. Für den hier durchgeführten Vergleich werden nur die die Gebäudehülle betreffenden Einzelmaßnahmen herangezogen. Die Sanierungsmaßnahmen, deren energiebedingte Mehrkosten und die erzielbaren Energieeinsparungen sind in Tabelle 72 bis Tabelle 74 im Anhang (Abschnitt 9.1.2) zu finden.

Im Falle der Einfamilienhäuser wird mit den genannten Sanierungsmaßnahmen – zusammen mit den hier nicht aufgeführten Maßnahmen im Bereich der Anlagentechnik – ein Standard erreicht, der die Anforderungen der EnEV 2009 um 30% übertrifft. Bei den Mehrfamilienhäusern hingegen führen die getroffenen Maßnahmen zur Einhaltung des Standards *Effizienzhaus 55*. Die dabei erzielten Sanierungseffizienzen entsprechen im Mittel denjenigen des Trend-, also auch denen des Zielszenarios, die weitgehend übereinstimmen. Die Unterschiede der beiden Szenarien

³ Z. B. Neue Fenster, mit 3-fach, statt 2-fach Verglasung oder die energetisch bedingten Mehrkosten eines Wärmedämm-Verbundsystems im Vergleich zu einer einfachen Fassadensanierung.

resultieren vor allem aus einer unterschiedlichen Sanierungsquote; im Zielszenario wird eine höhere Durchdringung unterstellt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den gewählten Sanierungsmaßnahmen nur um Beispiele handeln kann. Ein so eindeutiger Vergleich wie bei der vergleichenden Betrachtung einer KWK-Anlage mit einem Gaskessel ist nicht möglich. In der Praxis sind etliche Kombinationen sowohl verschiedener Wärmedämmmaßnahmen als auch Optimierungsmaßnahmen auf Seiten der Anlagentechnik zur Reduzierung des Energiebedarfs denkbar (Lüftungsanlage, Heizwärmeerzeugung). Der hier gewählte Standard ist als verhältnismäßig hoch zu bewerten. Ein geringerer Standard oder auch die Auswahl einzelner, vergleichsweise sehr effektiver Maßnahmen führen zu geringeren Kapitalkosten. Generell ist bei dieser Thematik zu beachten, dass umgesetzte Maßnahmen den Energiebedarf eines Gebäudes über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren bestimmen und daher nicht zu niedrig angesetzt werden sollten.

Mit den aufgeführten energiebedingten Mehrkosten wird unter der Annahme einer mittleren technischen Lebensdauer der Komponenten von 30 Jahren⁴ die Annuität gebildet. Die Kosten der im Vergleich zum unsanierten Gebäude geringeren Wärmeerzeugung (kleiner Gaskessel und reduzierter Gasverbrauch) werden analog der Versorgungsoption Gaskessel berechnet und daraus der Kapitalwert der Wärmekosten über 30 Jahre ermittelt.

4.2.2.4 Versorgungsoption Wärmepumpe

Wie zu Beginn dieses Kapitels bereits erläutert, erfolgt für Wärmepumpen lediglich ein Vergleich mit Erdgasheizungen für Neubauten. Die dabei angesetzten Rahmenparameter sind für Einfamilienhäuser der Tabelle 75 und für Mehrfamilienhäuser der Tabelle 76 (beide im Anhang, Abschnitt 9.1.2) zu entnehmen. Da jeweils Neubauten untersucht werden, sind bei der erforderlichen Investition neben dem Wärmeerzeuger selbst beispielsweise auch diejenigen für Heizflächen und Schornstein berücksichtigt.

Beim Einfamilienhaus werden neben einer Luft-Wasser-Wärmepumpe auch Sole-Wasser-Wärmepumpen sowohl in Kombination mit einer Erdwärmesonde (Bohrung) als auch mit einem Kollektorfeld betrachtet. Beim Mehrfamilienhaus wird hingegen letzteres nicht untersucht, da die für einen Kollektor erforderliche Fläche in der Regel nicht zur Verfügung steht.

⁴ In der einschlägigen Literatur (BMVBW 2001), (IFB 2004), (VDI 2067) werden für die einzelnen Wärmedämmmaßnahmen Nutzungsdauern zwischen 25 und 50 Jahren genannt.

Für die beiden betrachteten Versorgungsobjekte errechnet sich der Kapitalwert der Wärmekosten für alle untersuchten Versorgungsoptionen über einen Zeitraum von 30 Jahren. Für den Strombezug der Wärmepumpe wird dabei ein um 20 % gegenüber dem Haushaltskundertarif verringerter Strompreis (NT) angesetzt.

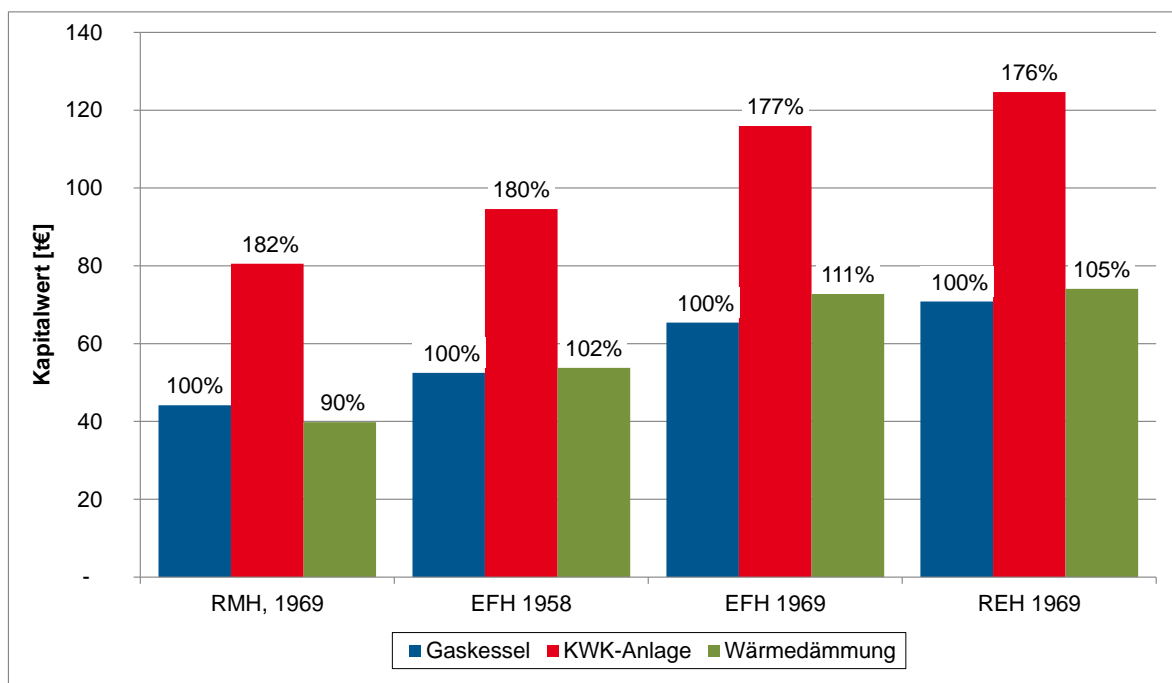
4.2.2.5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der untersuchten Versorgungsoptionen dargestellt. Dargestellt ist jeweils der Kapitalwert der Gesamtkosten, um das Gebäude über die 30 Jahre mit Wärme zu versorgen. Ein geringerer Kapitalwert stellt also die wirtschaftlichere Alternative dar.

Versorgungsoption BHKW im Vergleich zu Gaskessel und Wärmedämmung - Einfamilienhäuser

In Abbildung 2 werden die Wärmeerzeugungskosten der drei Versorgungsoptionen für die vier betrachteten Einfamilienhäuser aus **volkswirtschaftlicher Sicht**, also ohne Berücksichtigung der relevanten Steuern und Abgaben und mit einem Zinssatz von 3%, miteinander verglichen.

Abbildung 2: Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für Einfamilienhäuser bei volkswirtschaftlicher Betrachtung



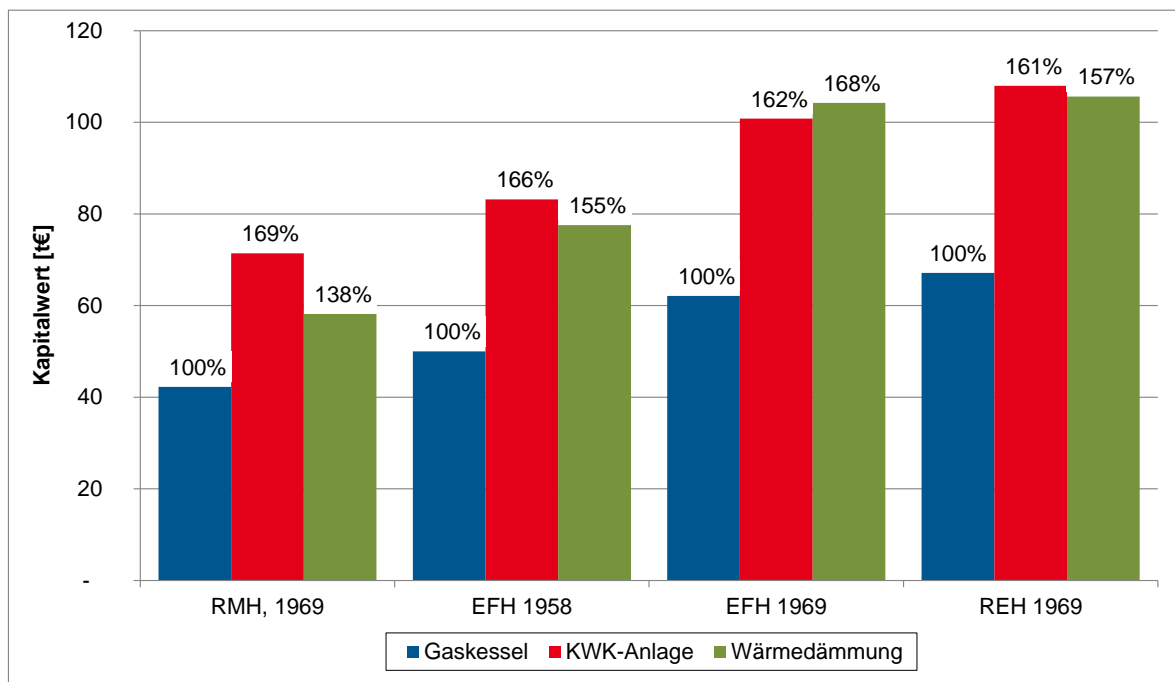
Quelle: IFAM 2014

Es zeigt sich, dass die Wärmeversorgung mit einem BHKW für alle untersuchten Beispielobjekte im Vergleich zu der Gaskessel-Option zu Mehrkosten zwischen rund 75% und rund 80% führt,

was in erster Linie durch die sehr hohen spezifischen Investitionen in diesem Leistungsbereich bedingt ist. Die Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für die Option Wärmedämmung liegen in etwa gleichauf mit denen eines Gaskessels (zwischen 90% und 105%). Hinsichtlich der hier und für die Mehrfamilienhäuser gezeigten Ergebnisse für die Wärmedämmmaßnahmen, ist anzumerken, dass diese sehr stark von einer Reihe von Faktoren abhängen. So würde eine Annahme mit stärker steigenden Energiepreisen zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit der Wärmedämmmaßnahmen führen und wegen der hohen Investitionskosten der Wärmedämmmaßnahmen würden niedrigere Zinsannahmen zu einem Angleichen der Kapitalwerte führen.

Die Ergebnisse der **betriebswirtschaftlichen Betrachtung** (Berücksichtigung aller für den Eigentümer relevanten Steuern und Abgaben und mit einem Zinssatz von 6%) sind in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für Einfamilienhäuser bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung



Quelle: IFAM 2014

Hier verringert sich der Unterschied zwischen den Optionen Gaskessel und BHKW geringfügig und liegt jetzt zwischen rund 60% und rund 70%, da die mit den BHKW erzielten Kosteneinsparungen durch den Eigenverbrauch des erzeugten Stroms steigen. Im Gegensatz zur volkswirtschaftlichen Betrachtung verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit der Option Wärmedämmung jedoch deutlich. Dies ist vor allem durch den erhöhten Zinssatz bedingt,

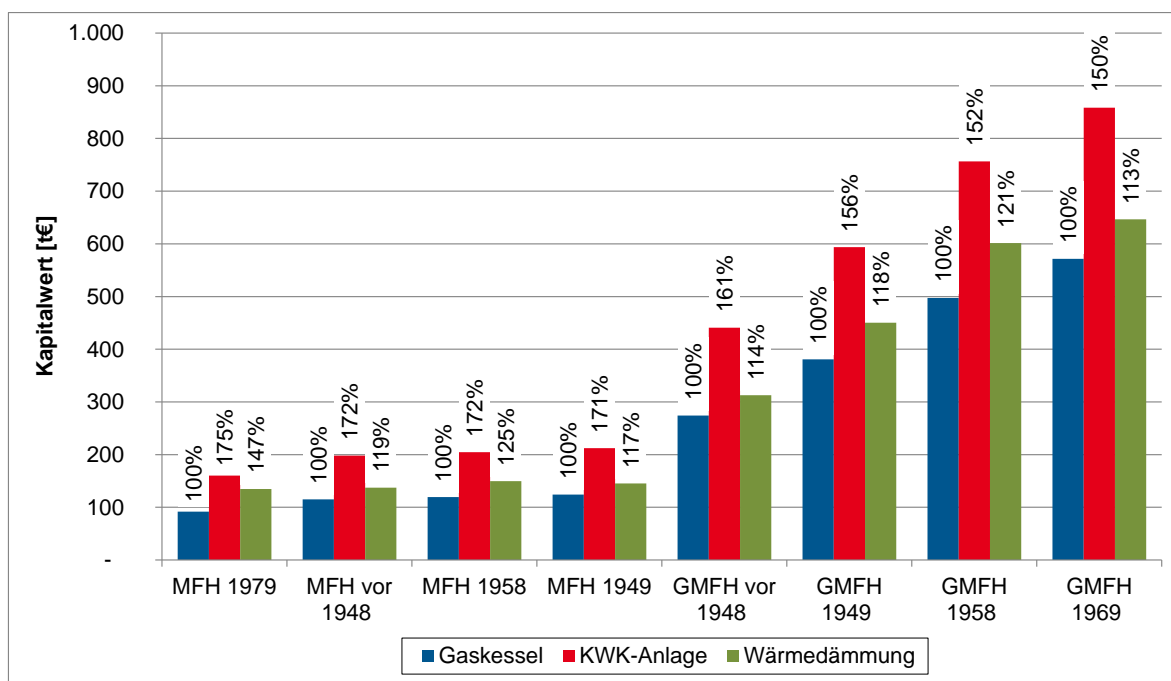
durch den die hohen Anfangsinvestitionen im Vergleich zu den erst im Zeitverlauf anfallenden Energiekosteneinsparungen deutlich mehr Gewicht einnehmen (s. o.). Wenn private Investoren geringere Zinserwartungen als die zu Grunde gelegten 6% haben, würden sich die Kapitalwerte der Wärmedämm-Optionen denen des Gaskessel-Szenarios angleichen oder sogar wirtschaftlicher werden.

Versorgungsoption BHKW im Vergleich zu Gaskessel und Wärmedämmung - Mehrfamilienhäuser

Die Resultate für die acht betrachteten Mehrfamilienhäuser sind für den **volkswirtschaftlichen Fall** der Abbildung 4 zu entnehmen.

Auch hier liegen die Kapitalwerte der BHKW-Optionen über denen der Referenz-Gaskessel (zwischen rund 50% und 75%). Im Vergleich zu den Einfamilienhäusern schneiden die BHKW hier tendenziell etwas besser ab, hauptsächlich bedingt durch die etwas geringeren spezifischen Investitionen Auch die Wärmedämmoptionen schneiden schlechter ab, wobei der Unterschied hier zwischen rund 13% und rund 50% liegt und damit geringer ist. Es ist zu beachten, dass die Wärmedämmmaßnahmen wegen unterschiedlicher Quellen und Annahmen nicht direkt mit denen der Einfamilienhäuser vergleichbar sind.

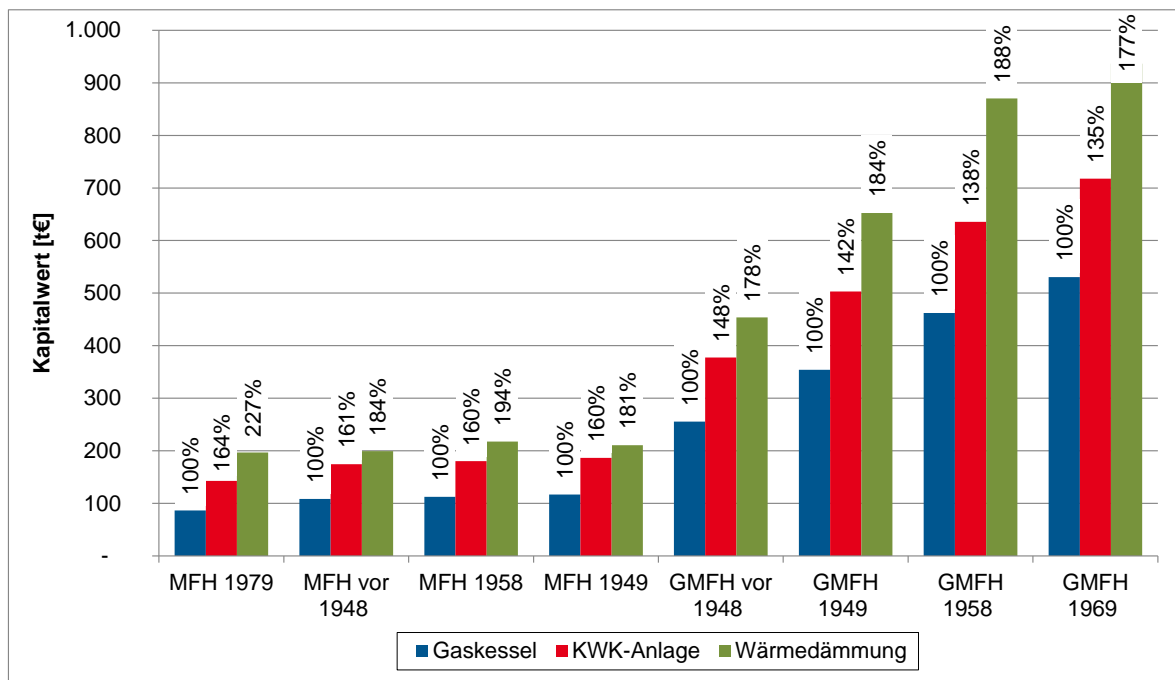
Abbildung 4: Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für Mehrfamilienhäuser bei volkswirtschaftlicher Betrachtung



Quelle: IFAM 2014

Die Ergebnisse der **betriebswirtschaftlichen Betrachtung** sind in Abbildung 5 dargestellt. Auch hier bleibt eine bessere Wirtschaftlichkeit der BHKW verwehrt, die Differenzen zur Gaskessel-Option sind aber auch hier mit zwischen rund 35% und 65% geringer als bei der volkswirtschaftlichen Betrachtung. Ein Grund dafür ist, dass die Stromeigennutzungsquoten mit 10% recht gering sind. Die Kapitalwerte der Optionen mit Wärmedämmung liegen bei der betriebswirtschaftlichen Betrachtung zwischen rund 15% und rund 45% über denen der Gaskessel-Optionen.

Abbildung 5: Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für Mehrfamilienhäuser bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung



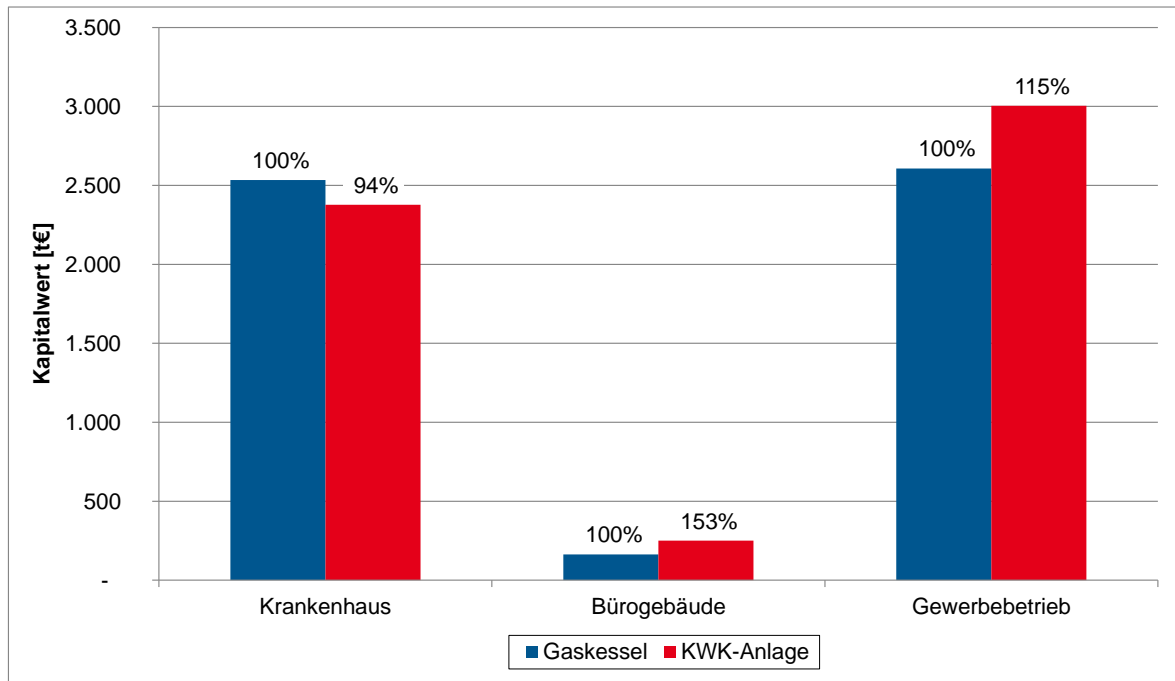
Quelle: IFAM 2014

Versorgungsoption BHKW im Vergleich zu Gaskessel - GHD

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse für die gewählten GHD-Objekte für den **volkswirtschaftlichen Fall**.

Es ist zu sehen, dass sich der BHKW-Einsatz am günstigsten im beispielhaften Krankenhaus darstellt, hier liegt der Kapitalwert rund 5% unter dem der alternativen Wärmeversorgung mit einem Gaskessel. Bei den anderen beispielhaften GHD-Objekten liegt der Kapitalwert der BHKW-Option mit rund 55% bzw. 15% über dem der Gaskessel-Option (Bürogebäude bzw. Gewerbebetrieb). Hier ist darauf hinzuweisen, dass der Wärmebedarf des Gebäudes, die Jahresdauerlinie dieses Bedarfes und die umsetzbare Eigennutzungsquote des vom BHKW erzeugten Stroms Faktoren sind, welche diese Kapitalwerte entscheidend beeinflussen (siehe Kapitel 5.1.2.4 und Abbildung 74 im Anhang in Abschnitt 9.1.2).

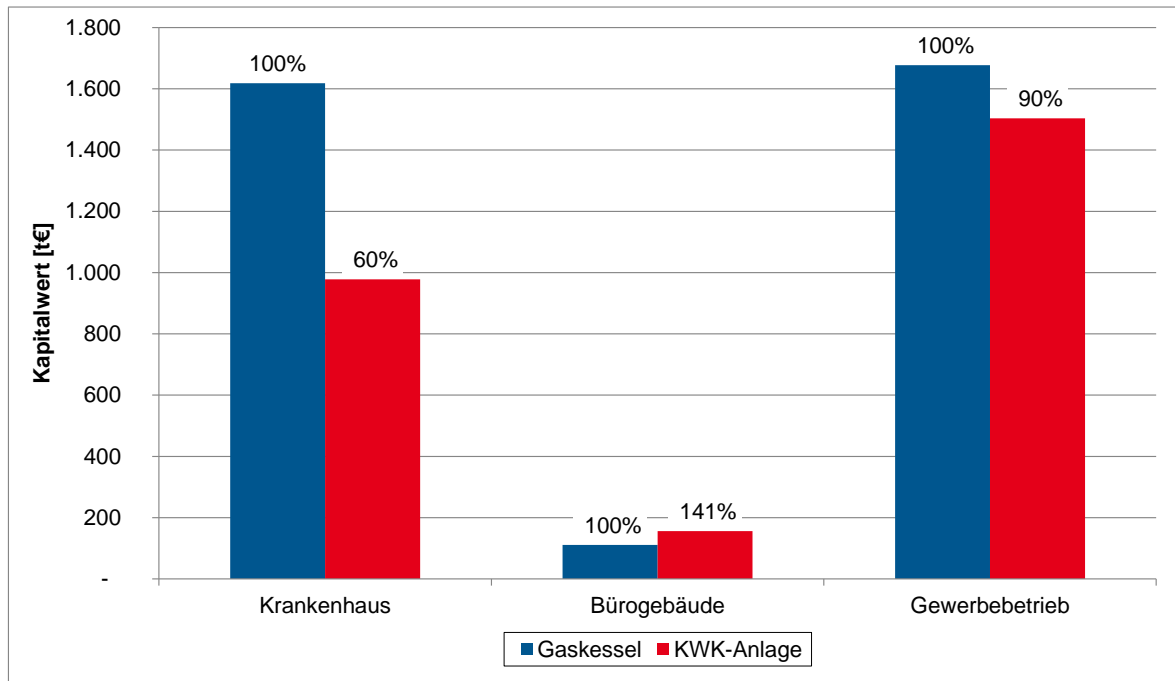
Abbildung 6: Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für GHD-Gebäude bei volkswirtschaftlicher Betrachtung



Quelle: IFAM 2014

Abbildung 7 zeigt die Resultate für die **betriebswirtschaftliche Betrachtung**. Mit Abstand am günstigsten im Vergleich zu einem Gaskessel stellt sich der Einsatz einer KWK-Anlage im untersuchten Krankenhaus dar (rund 40% besser als die Gaskessel-Option), die geringste Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu einem Gaskessel ergibt sich im betrachteten Bürogebäude (rund 40% schlechter). Im beispielhaften Gewerbebetrieb liegt der Kapitalwert der BHKW-Option rund 10% unter dem der Gaskessel-Option. Beim Krankenhaus wirkt sich insbesondere die hohe Stromeigennutzungsquote wie auch die hohe Volllaststundenzahl positiv auf die Wirtschaftlichkeit aus. Beim Bürogebäude sind für diese beiden Eingangsdaten deutlich geringere Werte angesetzt.

Abbildung 7: Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten für GHD-Gebäude bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung



Quelle: IFAM 2014

Versorgungsoption Wärmepumpe im Vergleich zu Gaskessel – Neubau-Wohngebäude

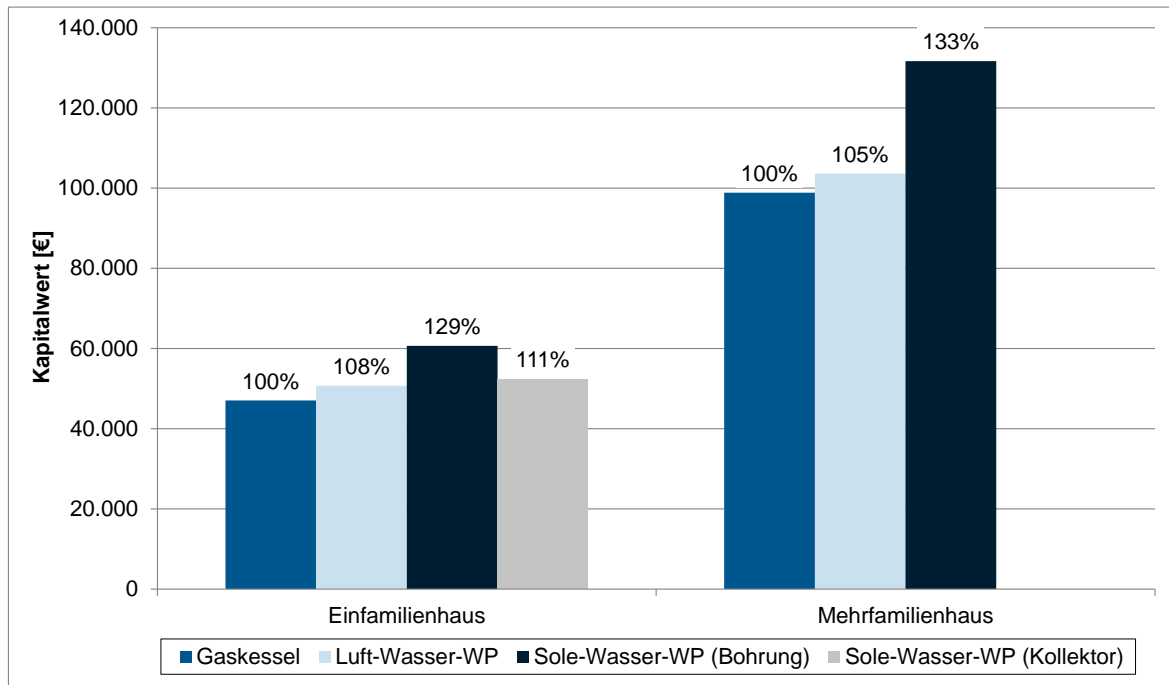
Die Abbildung 8 zeigt für die **volkswirtschaftliche Betrachtung** die Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten der verschiedenen Wärmepumpentechnologien im Vergleich zu einem Gaskessel und zwar links für ein typisches Einfamilienhaus und rechts für ein typisches Mehrfamilienhaus (jeweils Neubauten).

Sowohl beim Mehrfamilienhaus als auch beim Einfamilienhaus ergeben sich bei der Versorgung mit einem Gaskessel die besten Resultate. Die Kapitalwerte der Wärmepumpen-Optionen liegen zwischen rund 5 und 35% über denen der Erdgaskessel-Optionen.

Wie bei den vorhergehenden Betrachtungen hängt das Ergebnis allerdings auch hier im Besonderen von den gewählten Rahmen-daten zur Entwicklung der Energiepreise ab.

Es zeigt sich, dass die günstigste Wärmepumpe relativ geringe Mehrkosten gegenüber dem Gaskessel aufweist im Verhältnis zu den untersuchten BHKW-Vergleichen; umso mehr, je kleiner das Gebäude ist. Es ist zu beachten, dass dies nur für Neubauten gilt.

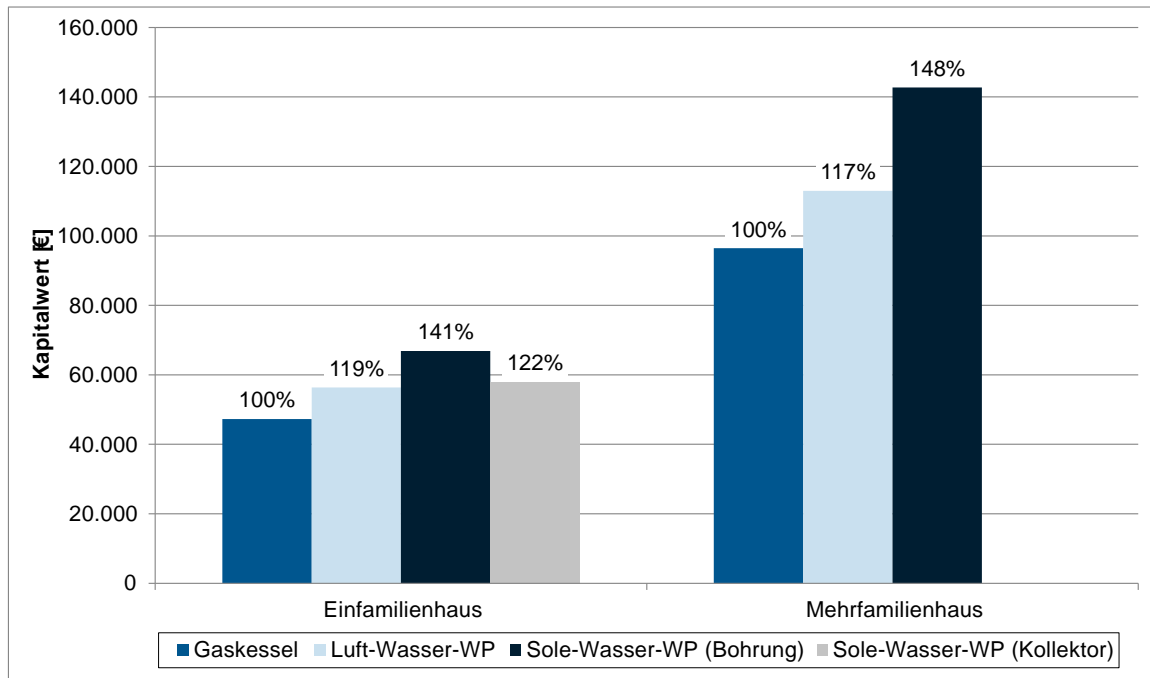
Abbildung 8: Vergleich der Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten von Wärmepumpen mit einem Gaskessel bei volkswirtschaftlicher Betrachtung



Quelle: IFAM 2014

Aus **betriebswirtschaftlicher Sicht** ergibt sich für die betrachteten Wärmepumpentechnologien eine verhältnismäßig noch schlechtere Wirtschaftlichkeit, da die Anfangsinvestitionen hier ein höheres Gewicht einnehmen (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9: Vergleich der Kapitalwerte der Wärmeerzeugungskosten von Wärmepumpen mit einem Gaskessel bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung



Quelle: IFAM 2014

4.2.3 Fazit der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse

Für die KWK im Bereich der Objektversorgung ist festzustellen, dass im Bereich privater Haushalte unter den zu Grunde gelegten Rahmenbedingungen ein wirtschaftlicher Einsatz von BHKW nicht gegeben ist. Dies gilt sowohl für die volkswirtschaftliche als auch (weniger ausgeprägt) für die betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise. Durch die geringeren spezifischen Investitionskosten von größeren BHKW schneiden die größeren Mehrfamilienhäuser jeweils besser ab als kleinere Wohngebäude.

Im Bereich GHD zeigt sich anhand der ausgewählten Beispiele, dass eine Wirtschaftlichkeit von BHKW sehr von den Voraussetzungen des spezifischen Objektes abhängt. Pauschale Aussagen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Nutzungsarten oder Wärmebedarfen sind nicht möglich. So ist das beispielhafte Krankenhaus sowohl volks- also auch betriebswirtschaftlich betrachtet günstiger mit einem BHKW zu versorgen als mit einem Gaskessel. Beim beispielhaften Gewerbebetrieb ist nur die betriebswirtschaftliche Variante günstiger als die Gaskessel-Option und im ausgewählten Bürogebäude ist bei beiden Betrachtungen ein wirtschaftlicher Betrieb eines BHKWs nicht darstellbar. Die Untersuchungen hinsichtlich der Kapitalwerte von Wärmedämmmaßnahmen zeigen, dass für die ausgewählten Beispielgebäude eine Wärmedämmung bei der volkswirtschaftlichen Betrachtung ähnliche Kapitalwerte auf-

weist wie die Gaskesseloption. Mit den zugrunde gelegten Zinssätzen der betriebswirtschaftlichen Variante liegen die Kapitalwerte der Wärmedämmung für alle Fälle deutlich über denen der Optionen mit Gaskessel-Versorgung. Auch hier sind pauschale Aussagen nicht möglich, da die Vergleiche sehr stark von den Gebäudezuständen vor der Sanierung, den umgesetzten Maßnahmen und anderen Annahmen abhängen.

Die Auswertungen der Wärmepumpen-Optionen für den Bereich Neubau (Wohngebäude) zeigen, dass die Kapitalwerte der verschiedenen Wärmepumpenoptionen bei volkswirtschaftlicher Betrachtung wenig bis deutlich und bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung deutlich über denen der Gaskessel-Referenzversorgung liegen.

4.3 Industrielle KWK

Ziel der hier für die industrielle KWK durchgeführten Kosten-Nutzen-Analyse war die Berechnung von Stromerzeugungskosten und Rentabilität typischer Anlagen, die für industrielle Investoren und Anlagenbetreiber entscheidungsrelevant und somit von essentieller Bedeutung für die in einem späteren Arbeitsschritt erfolgte Ermittlung von KWK-Potenzialen in der Industrie (vgl. Abschnitt 5.2) sind. Die Stromgestehungskosten hängen u. a. maßgeblich von den Volllaststunden ab. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Eigenerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung wurden die Stromgestehungskosten den Kosten für Fremdstrombezug gegenübergestellt werden, die abhängig von Bezugsmenge, Spannungsniveau und Energieintensität sowie dem Verhandlungsgeschick des jeweiligen individuellen Unternehmens innerhalb sehr großer Bandbreiten variieren können.

Im Gegensatz zu den Wirtschaftlichkeitsrechnungen in Abschnitt 7.5 wurden hier nur die dem Entscheider zur Verfügung stehenden Kosten- und Preis-Parameter angesetzt. So wurde von heutigen Energiepreisen ausgegangen und damit die typische Entscheidungssituation eines Investors simuliert, der die zukünftigen Energiepreise nicht kennt. Dies führt rechnerisch zu etwas geringeren Rentabilitäten als bei dynamischer Berechnung mit über den Berechnungszeitraum leicht steigenden Energiepreisen.

Ein weiterer Unterschied zu den Berechnungen in Abschnitt 7.5 besteht in einem etwas höheren zu Grunde gelegten Kalkulationszinsfuß von 12 %, der übliche Rentabilitätserwartungen industrieller Investoren widerspiegelt. Im Übrigen wurde mit den gleichen abgestimmten Leistungs- und Kostenparametern für die exemplarisch betrachteten Anlagentypen gerechnet und somit Konsistenz der Basisdaten gewahrt.

Ergänzend zu dieser betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise wurde in einer "volkswirtschaftlichen" Berechnungs-Variante definitionsgemäß ohne Energiesteuern und Umlagen bei den Energiepreisen gerechnet. Hierbei verschlechtern sich die Rentabilitäten in aller Regel wegen der fehlenden Preisanreize, insbesondere des alternativen Strombezugs, und der fehlenden KWK-Vergütung.

4.3.1 Typisierung und Kenndaten der industriellen KWK-Anlagen

Die Stromgestehungskosten und die Wirtschaftlichkeit industrieller KWK-Anlagen wurden exemplarisch für die folgenden sechs Anlagentypen unter der betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Perspektive ermittelt:

- BHKW 50 kW_{el}
- BHKW 500 kW_{el}
- BHKW 2 MW_{el}
- Dampfturbine 5 MW
- Gasturbine 10 MW
- Gas- und Dampfturbinenanlage 20 MW

Die in Tabelle 10 dargestellten für die Berechnungen verwendeten Kenndaten wurden mit der VIK abgestimmt und auf ihre Plausibilität geprüft. Sie sind Element des im Rahmen dieser Untersuchung einheitlich verwendeten Satzes von Anlagenkenndaten.

Tabelle 10: Kenndaten der analysierten KWK-Anlagentypen und -Leistungen in der Industrie

Bezeichnung / Anlagentyp	Einheit	Blockheizkraftwerk			Dampfturbine	Gasturbine	Gas- und Dampfturbine
		50 kW	500 kW	2 MW			
Anlagengröße (el.)	kW / MW	50 kW	500 kW	2 MW	5 MW	10 MW	20 MW
Netzebene	Spannung	NS	MS	MS	MS / HS	MS	HS
Einsatzbereich	-	Objekt-KWK	Objekt-KWK, FW, Industrie	FW, Industrie	Industrie	Industrie	Industrie, FW
Investitionskosten inkl. Planungskosten	Euro2013 / kW	2.750	1.300	850	1.500	800	1.300
Lebensdauer	Jahre	10	10	15	15	15	15
Wirkungsgrad elektrisch	%	34%	39%	42%	25%	30%	35%
Wirkungsgrad thermisch	%	57%	51%	48%	60%	55%	53%
Gesamt-Wirkungsgrad	%	91%	90%	90%	85%	85%	88%
Fixe Betriebskosten	Euro2013 / kW _{el} , a	30	15	10	10	16	20
Variable Betriebskosten	Euro2013 / MWh _{el}	20	13	9	8	6	4
Erlöse aus vermiedenen Netznutzungsentgelten	Euro2013 / MWh _{el}	7	5	5	5	5	2
KWK-Zuschlag gemäß KWKG	Cent / kWh	5,41	3,34	2,64	2,43	2,27	2,18

Quelle: IREES, eigene Annahmen; VIK 2014 pers. Mitteilungen;

4.3.2 Methodisches Vorgehen und Energiepreise

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die sechs betrachteten Anlagentypen erfolgten auf Basis der in Tabelle 10 angegebenen Anlagenkenndaten mit Hilfe der im Anhang ausführlich beschriebenen Methodik.

Betriebswirtschaftliche Rentabilität

Für die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage wesentlich sind nur die Differenzkosten zwischen den Kosten für die mittels KWK-Anlagen erzeugten Energiemengen (Strom, Wärme) gegenüber den Kosten für ungekoppelte bzw. bezogene Energiemengen.

Die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage wird als gegeben angesehen, wenn der Fremdstrombezug teurer ist als die Stromgestehungskosten aus der entsprechenden KWK-Anlage. Die Stromgestehungskosten zeigen auf, welche Ausgaben zur Erzeugung einer Kilowattstunde elektrischer Energie nötig sind. Diese müssen dann im Bezug zum Referenz-Strompreis bzw. im Zusammenhang mit dem Börsenstrompreis bewertet werden.

Die Stromgestehungskosten setzen sich in dieser Studie zusammen aus der Summe der durch den Betrieb der KWK-Anlage anfallenden Kosten und Erlöse. Zu diesen Kosten und Erlösen zählen:

- Die fixen Betriebskosten, die je nach KWK-Anlage variieren,
- die variablen Betriebskosten, die je nach KWK-Anlagentyp und -leistungsgröße variieren,
- die annuisierten Investitionen (Kapitalkosten) für die jeweilige KWK-Anlagentyp- und -leistungsgröße,
- die anfallenden jährlichen Brennstoffkosten,
- die für selbstgenutzten Strom anfallenden Umlagen; zu beachten ist, dass diese Kosten meist nicht als Bestandteil der Stromgestehungskosten betrachtet werden; ferner
- die zu erzielenden Erlöse. Bei den Erlösen mit berücksichtigt werden die effektive KWK-Förderung, die vermiedenen Netznutzungsentgelte sowie die entsprechenden Wärmegutschriften.

Generelle Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen in der Industrie anhand einer Typisierung mit unterschiedlichen Leistungen und unterschiedlichen Techniken machen zu wollen, ist jedoch nur beschränkt möglich. Denn die betrieblichen Situationen bzgl. der jeweiligen Produktionsstrukturen, den Unternehmensgrößen sowie Höhe und Struktur des Energieverbrauchs können in der gleichen Branche sehr unterschiedlich sein. Insbesondere können auch die jeweiligen Preise für den Strombezug, gegen die die Eigenproduktion in KWK-Anlagen konkurrieren muss, stark va-

riieren, weil sie Verhandlungsergebnis sind und der Strom zudem zum Teil über Konzerne oder Gemeinschafts-Gruppierungen eingekauft werden bzw. teilweise über die Strombörse gekauft wird.

Relativ belastbare Aussagen lassen sich für die technikspezifischen Stromgestehungskosten in Abhängigkeit von wesentlichen Parametern, wie den jährlichen Volllaststunden treffen. Die für Industriekunden anzusetzenden Preise für Strombezug, die den Gestehungskosten gegenüber zu stellen sind, wurden vereinfachend für sieben exemplarische Fälle festgelegt (IND1 bis IND7). Dabei wurden Klassen in Abhängigkeit von der jährlichen Bezugsmenge gebildet und Annahmen zur typischen Anschlussnetzebene der Entnahmestelle ("Netzebene") getroffen, die die Höhe des Netznutzungsentgeltes determiniert.

Als weiteres Unterscheidungsmerkmal wurde die eventuelle Inanspruchnahme der besonderen Ausgleichsregelung gemäß EEG für stromkostenintensive Unternehmen herangezogen. Vereinfachend wurde dieser Tatbestand nur für die beiden Fälle IND6 und IND7 mit einer jährlichen Bezugsmenge ab 100.000 MWh (Hochspannungsebene) angenommen.

Für die Industriekunden wurde grundsätzlich die Inanspruchnahme von Stromsteuerentlastungen sowie ab einer Abnahmemenge von 1.000 MWh/a die Inanspruchnahme des Spitzenausgleichs unterstellt (IND3 bis IND7). Damit ergeben sich die in Tabelle 11 dargestellten industriellen Strompreise. Für jede Kategorie wurde der für die betriebswirtschaftliche Rechnung geltende Wert (jeweils obere Zeile) sowie der um Steuern und Umlagen bereinigte Anteil für die volkswirtschaftliche Betrachtung (jeweils untere Zeile) ausgewiesen.

Kosten-Nutzen-Analyse aus volkswirtschaftlicher Sicht

Die volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse wird als solche mit verbleibenden Energiepreisen, die von jeglichen Steuern, Abgaben und Umlagen (EEG- und KWK-Umlage) befreit sind, definiert. Damit haben weder die eingesetzten Brennstoffe eine Energiesteuer oder die bezogenen Strommengen eine Stromsteuer, noch werden EEG- oder KWK-Umlagen berücksichtigt.

Diese Definition volkswirtschaftlicher Kosten-Nutzen-Analyse hat allerdings den Nachteil, dass energie- und klimapolitisch gewünschte Veränderungen des Energiesystems zu mehr erneuerbaren Energien und zur KWK – und dem dahinter liegenden Rational der Vermeidung von hohen Adaptationskosten und Schadenskosten in Zukunft – in den Preisen nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 11: Industrielle Strompreise nach Verbrauchsklassen inklusive / exklusive Umlagen und Steuern ("betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise" / „volkswirtschaftliche Betrachtungsweise“) bis 2050, jeweils ohne MwSt.

		Netzebene	Betrachtungs- weise ⁵	2013	2014	2020	2030	2040	2050
Industrie 1, (Kleingewerbe), 0,05 GWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	NS	BB	19,3	19,8	21,3	20,7	20,5	20,5
			VB	11,8	11,4	12,4	15,0	16,8	17,4
Industrie 2, (KMU), 0,2 GWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	NS	BB	18,7	19,1	20,7	20,1	19,9	19,8
			VB	11,6	11,2	12,2	14,8	16,6	17,2
Industrie 3, (KMU), 1 GWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	MS	BB	15,7	16,1	17,5	17,4	17,1	17,0
			VB	9,3	8,9	9,8	12,3	14,0	14,6
Industrie 4, 10 GWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	MS	BB	14,0	14,6	16,0	15,5	15,2	15,1
			VB	7,9	7,7	8,5	11,0	12,8	13,4
Industrie 5, 100 GWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	HS	BB	11,0	11,9	13,1	12,3	11,9	11,6
			VB	5,4	5,5	6,1	8,6	10,1	10,6
Industrie 6, 100 GWh pro Jahr, ermäßigte Netzent- gelte	Cent ₂₀₁₃ /kWh	HS	BB	4,5	4,5	4,9	7,3	8,8	9,2
			VB	4,1	4,2	4,6	7,0	8,5	8,9
Industrie 7, 1.000 GWh pro Jahr, ermäßigte Netzentgelte	Cent ₂₀₁₃ /kWh	HS	BB	4,1	4,1	4,5	6,9	8,4	8,8
			VB	3,9	3,9	4,3	6,7	8,2	8,6

Quelle: Prognos 2014

4.3.3 Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen

Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsrechnung aus der betriebswirtschaftlichen Perspektive für die sechs betrachteten industriellen KWK-Fälle wird in den typischen Verläufen sinkender Stromgestehungskosten in Abhängigkeit von den unterstellten Volllaststundenzahl (zwischen 2.000 h/a und 7.000 h/a) dargestellt (vgl. Abbildung 10 bis Abbildung 15). Die ermittelten Stromgestehungskosten sind durchschnittlichen Referenzstrompreisen gegenübergestellt, die als typisch für ein Unternehmen erachtet wurden, wel-

⁵ BB: betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise, VB: volkswirtschaftliche Betrachtungsweise

ches die jeweilige KWK-Technologie einsetzt. Als Vergleichsgrößen sind jeweils mehrere Referenzstrompreise dargestellt, welche die Variationsbreite für die Situation in den jeweiligen Unternehmen (z.B. Inanspruchnahme der besonderen Ausgleichsregelung gemäß EEG, Zweischicht- bis Vierschichtbetrieb, gut oder weniger gut verhandelte Strompreise, relativ gleichmäßiges oder ungleichmäßiges Stromabnahmeband, etc.) widerspiegeln. Liegt der Stromgestehungspreis über den angegebenen Referenzpreisen, deutet dies auf einen i.d.R. unrentablen Betrieb der jeweiligen Anlage unter den gegebenen Randbedingungen hin.

Es wird jeweils zwischen "betriebswirtschaftlicher" und "volkswirtschaftlicher" Betrachtungsweise unterschieden (vgl. Abschnitt 4)

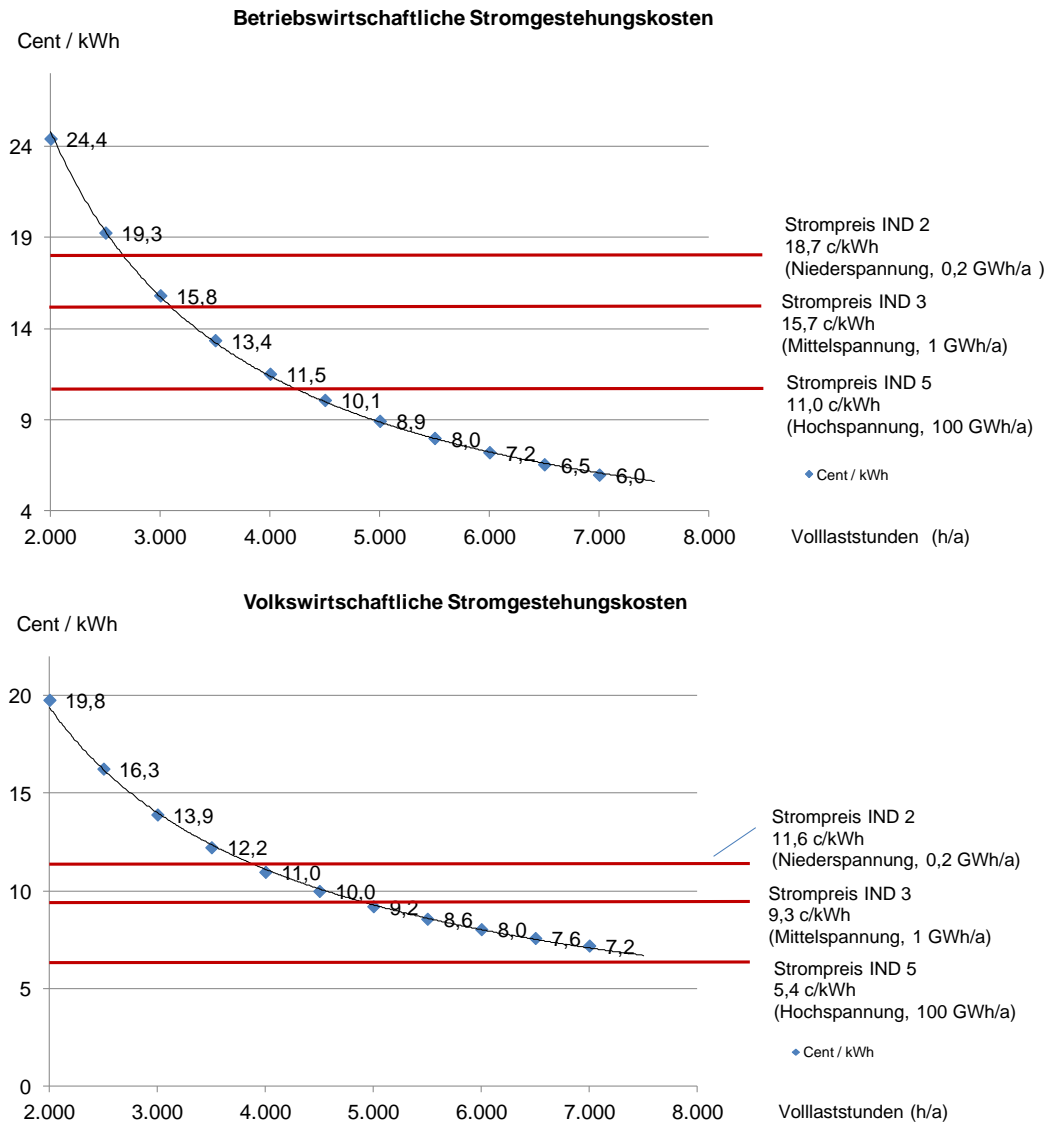
BHKW 50 kW_{el}

Es ist zu erkennen, dass BHKWs mit einer elektrischen Nennleistung von 50 kW_{el} für Niederspannungskunden mit über 2.500 (Volllast-)Stunden pro Jahr ausgelastet sein müssen, um rentabel betrieben werden zu können. Sie müssen mit deutlich höherer Auslastung betrieben werden, um unter den gegenwärtigen Randbedingungen gegen niedrige Strombezugspreise von industriellen Abnehmern im Mittelspannungsnetz konkurrenzfähig zu sein (vgl. Abbildung 10). Beim hohen spezifischen Invest und den resultierenden hohen Fixkosten bedarf es hierzu aber der für diese Anlagengröße geltenden höchsten KWK-Zuschläge. Für industrielle Großverbraucher mit sehr niedrigen Bezugspreisen für Strom dürfte dieser Anlagentyp eher selten in Betracht kommen. Auch für den Einsatzbereich Objektbeheizung und -kühlung und Warmwassererzeugung muss eine hohe Auslastung von mindestens 3.000 Stunden gewährleistet sein. Technische Optionen zu Steigerung der Auslastung bei wärmegeführter Fahrweise stellen u. a. die Einbindung in Wärmenetze, ggf. mit integrierten Wärmespeichern, oder die Nutzung von Überschusswärme zur Kälteerzeugung (Absorptionskälte) dar.

Mit im Zeitverlauf steigenden Preisen für bezogenen Strom ist eine verbesserte Wirtschaftlichkeit der KWK zu erwarten.

Bei volkswirtschaftlicher Betrachtung, die die KWK-Förderung außer Betracht lässt, verschlechtert sich das Ergebnis für die Eigenerzeugung in KWK. Erst bei deutlich höherer Auslastung ist dann die Eigenerzeugung dem Strombezug überlegen. Es ist jedoch deutlich darauf hinzuweisen, dass diese Betrachtung die Benefits der Primärenergieeinsparung und vermiedener externer Effekte, insbesondere der vermiedenen CO₂-Emissionen außer Acht lässt. Mit dieser Art der Darstellung wird aber deutlich, dass für den aus energie- und klimapolitischen Gründen wünschenswerten Ausbau der KWK eine wirksame Förderung auch dieser kleinen industriellen Anlagentypen erforderlich ist.

Abbildung 10: „Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 50 kW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



Quelle: IREES 2014

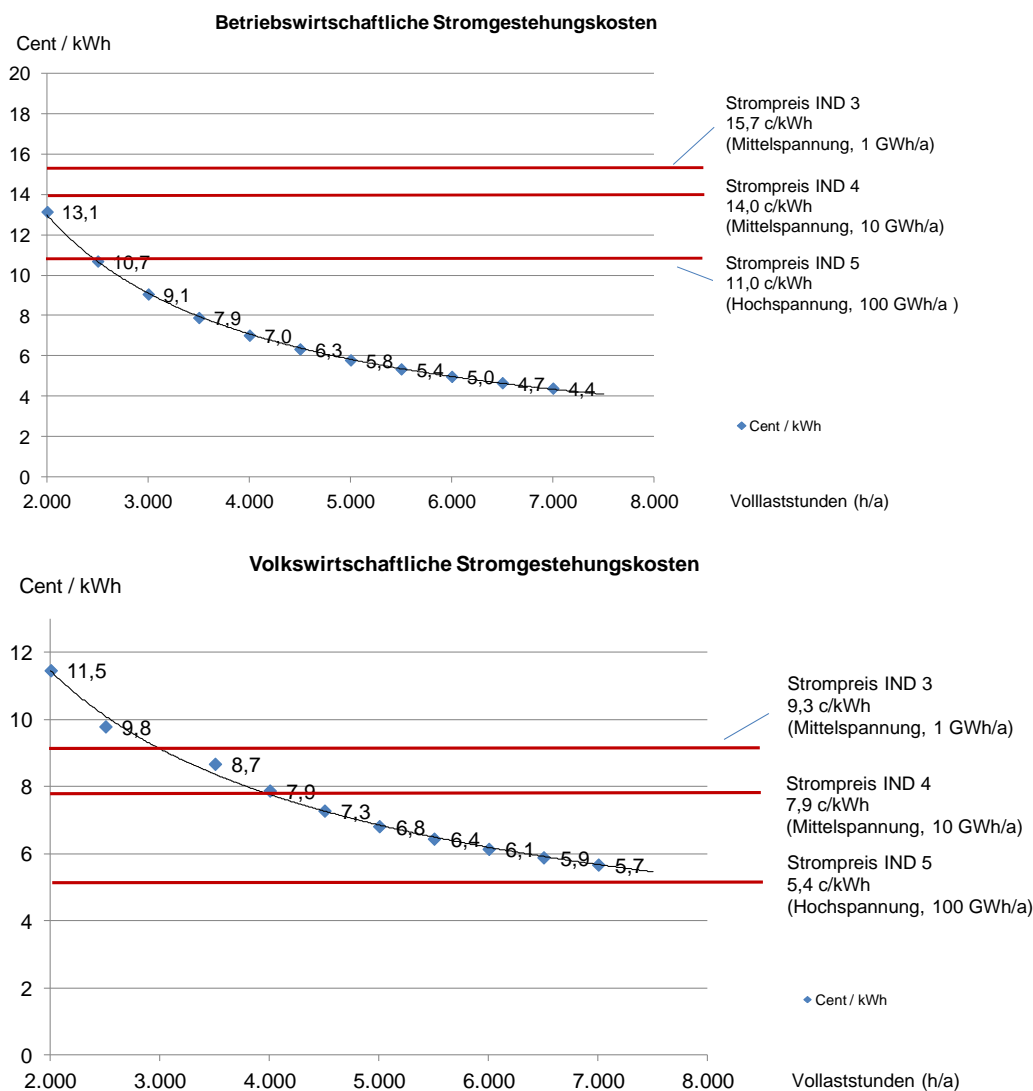
BHKW 500 kW_{el}

Aufgrund wesentlich geringerer spezifischer Investition eines BHKWs mit einer elektrischen Nennleistung von 500 kW_{el} stellt sich das Ergebnis im Vergleich zu den kleineren Anlagen deutlich günstiger dar, obwohl bei der Gegenrechnung zum Strombezug für die potenziellen Investoren - größere Unternehmen - mit eher niedrigeren Bezugspreisen zu rechnen ist (vgl. Abbildung 11). So könnte es auch für mittelständische Betriebe schon bei 2.500 Jahres-Volllaststunden attraktiv sein, eine derartige KWK-Anlage zu

betreiben. Aufgrund der unterstellten Betriebsgrößen ist auch mit höherer Wärmebedarfs-Grundlast zu rechnen, welche die Erzielung einer höheren Volllaststundenzahl ermöglicht.

Im Zeitverlauf steigende Preise für Strombezug lassen auch bei diesem Anlagentyp einen zunehmenden Kostenvorteil für den Betreiber erwarten

Abbildung 11: „Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 500 kW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



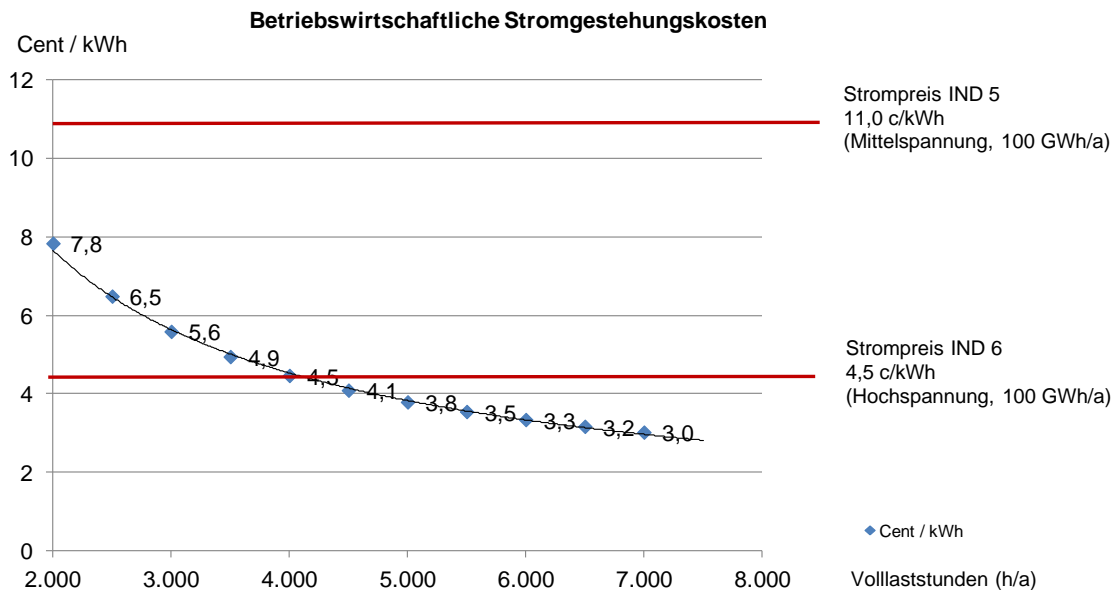
Quelle: IREES 2014

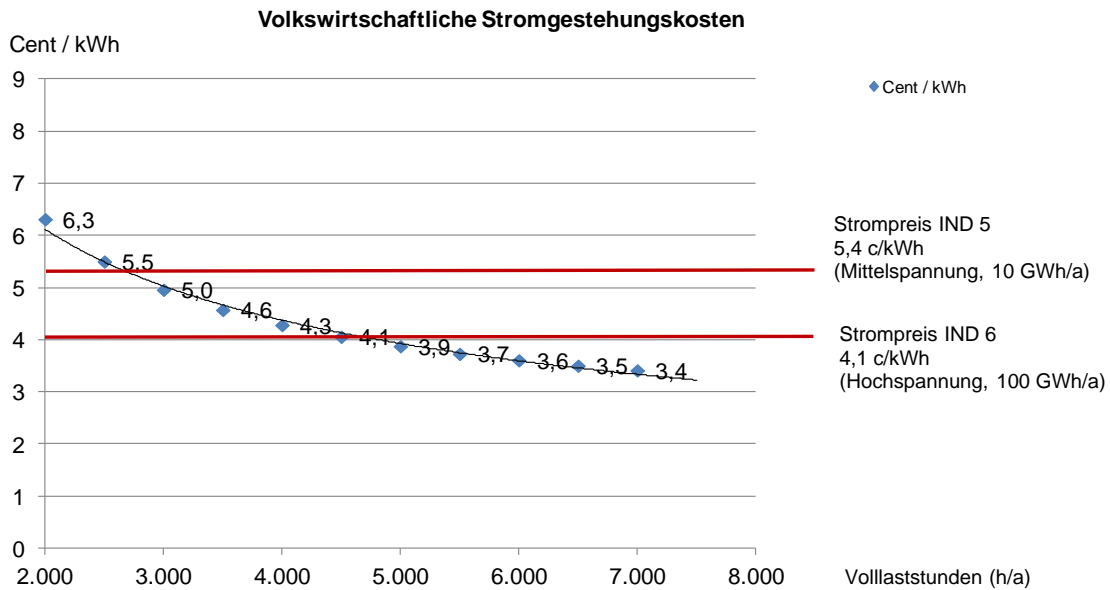
BHKW 2 MW_{el}

Trotz **niedrigerer** Stromgestehungskosten, unter anderem bedingt durch die Preisdegression beim spezifischen Invest, fällt der Vergleich mit den unterstellten Referenzstrompreisen für Blockheizkraftwerke mit einer elektrischen Nennleistung von 2 MW etwas ungünstiger aus als beim kleineren Anlagentyp (500 kW), da bei den potenziellen Investoren i. d. R. mit besseren Konditionen beim Strombezug zu rechnen ist (vgl. Abbildung 12). Dies insbesondere, falls das Unternehmen über einen Hochspannungsanschluss verfügt oder gar in den Genuss der besonderen Ausgleichsregelung gemäß EEG für stromkostenintensive Unternehmen kommt (IND6).

In der Regel dürfte diese Anlagengröße bei mehr als 3.000 Jahressvolllaststunden rentabel betrieben werden können.

Abbildung 12: „Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 2 MW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013





Quelle: IREES 2014

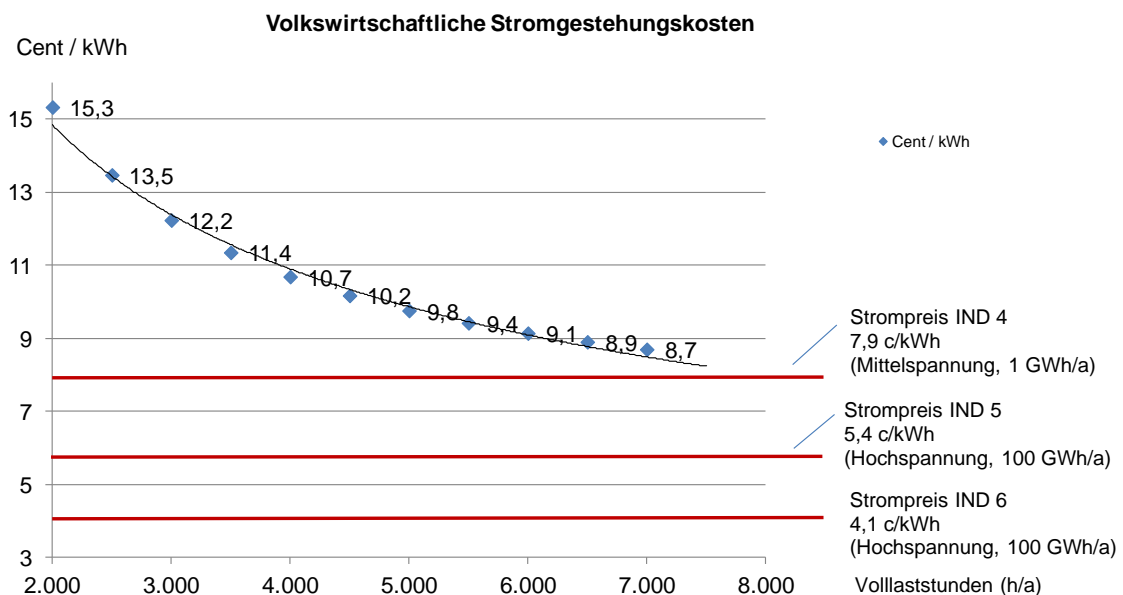
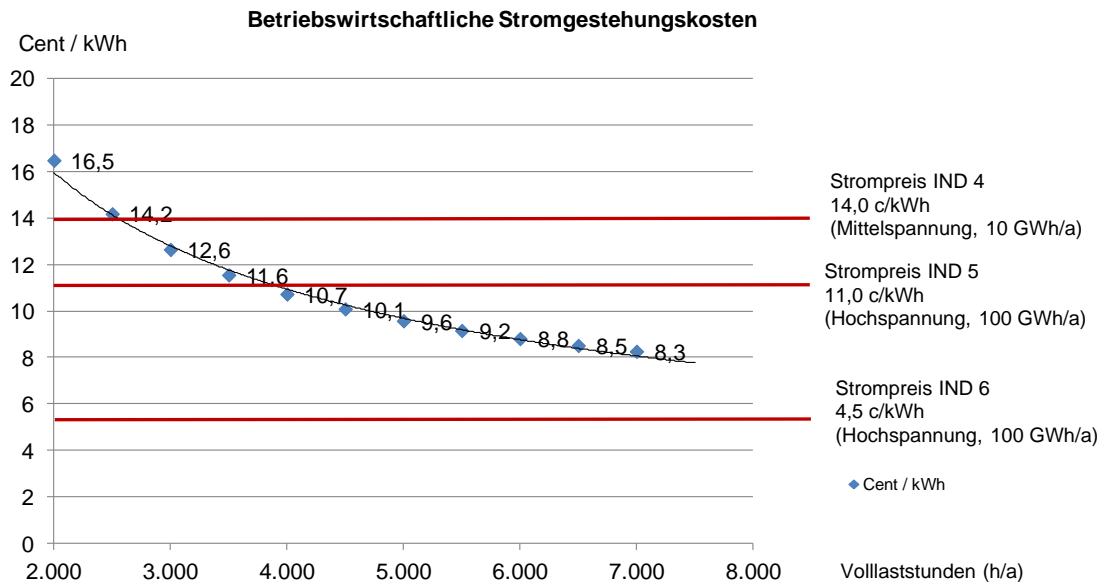
Dampfturbine 5 MW_{el}

Bei Dampfturbinen mit einer elektrischen Nennleistung von 5 MW handelt es sich um eine kapitalintensive Anlagentechnik. Die hohe spezifische Investition führt trotz langer angesetzter Abschreibungsdauer von 15 Jahren zu relativ hohen Fixkosten. Die Stromgestehungskosten sind damit häufig nicht konkurrenzfähig zum Bezug, wenn es sich um große Unternehmen mit Hochspannungsanschluss und günstigen Strombezugsbedingungen handelt. Bei einem Referenzstrompreis von 11 Cent/kWh (IND5), wie er häufig anzutreffen sein dürfte, ist eine solche Anlage erst oberhalb von 4.000 Volllaststunden pro Jahr rentabel zu betreiben. Bei noch niedrigeren Referenzpreisen wird dieser Anlagentyp nicht zum Einsatz kommen, wenn nicht produktionsbedingte bzw. standort-spezifische Besonderheiten dafür sprechen (vgl. Abbildung 13).

Da ausgehend von diesem Niveau der Referenzstrompreis in absoluten Werten nur vergleichsweise geringfügig steigt, ist die zu erwartende künftige Veränderung dieser Situation marginal.

Bei volkswirtschaftlicher Betrachtungsweise fällt der Vergleich mit dem Strombezug deutlich ungünstiger für die Eigenerzeugung aus, was ebenso wie bei den Blockheizkraftwerken auf bestehenden Förderbedarf hinweist, wenn dieser Anlagentyp eine breitere Diffusion erlangen soll.

Abbildung 13: „Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Dampfturbine mit 5 MW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



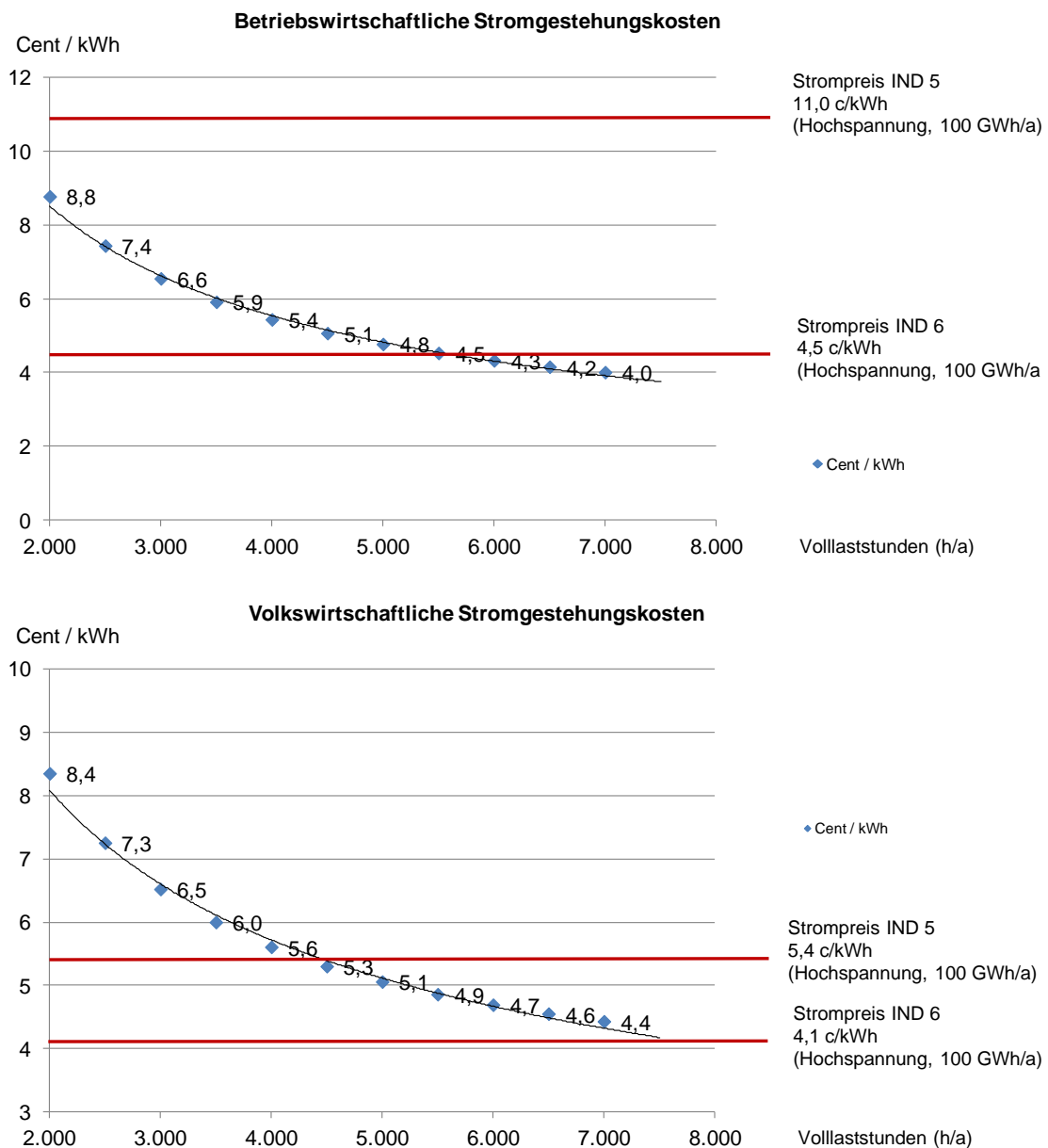
Quelle: IREES 2014

Gasturbine 10 MW_{el}

Für Gasturbinen mit einer elektrischen Nennleistung von 10 MW sind deutlich geringere spezifische Investitionen im Vergleich zur Dampfturbine anzusetzen. Sie führen zu Stromgestehungskosten, die in vielen Fällen zu einem positiven Ergebnis zu Gunsten der Eigenerzeugung führen (vgl. Abbildung 14).

Jedoch sind die Anteile von Umlagen am unterstellten Referenzstrompreis IND5 noch vergleichsweise hoch, so dass dieser Vergleich bei einer volkswirtschaftlichen Betrachtung in diesem Fall bis etwa 4.500 Volllaststunden zu Gunsten des Strombezugs ausfällt. Im Vergleich zu IND6 schneidet die hier betrachtete Gasturbine bei volkswirtschaftlicher Betrachtung immer schlechter ab.

Abbildung 14: „Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Gasturbine mit 10 MW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



Quelle: IREES 2014

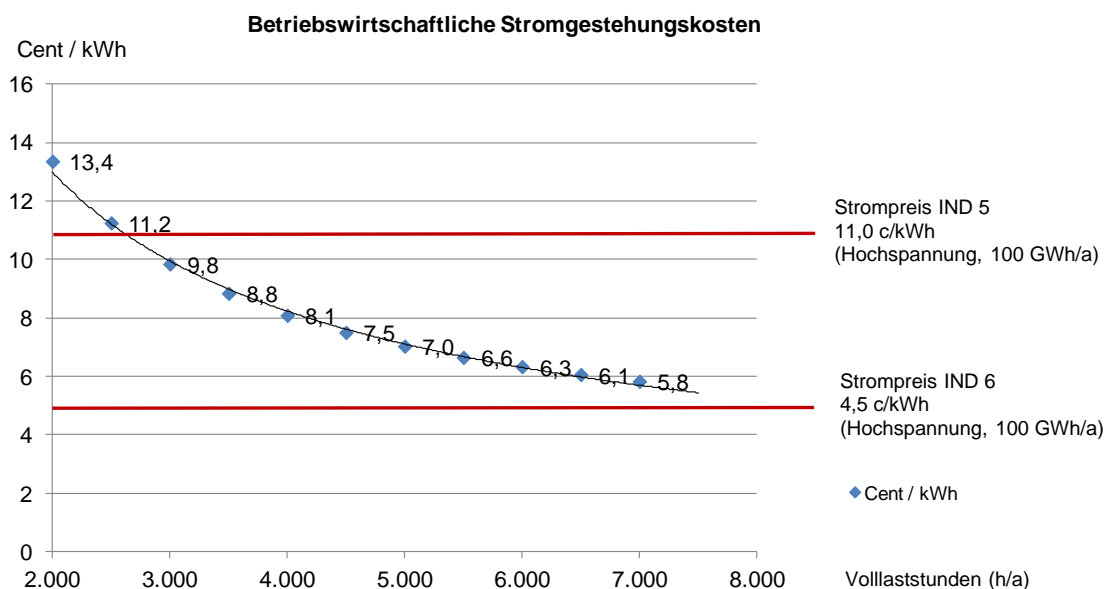
Gas- und Dampfturbine 20 MW_{el}

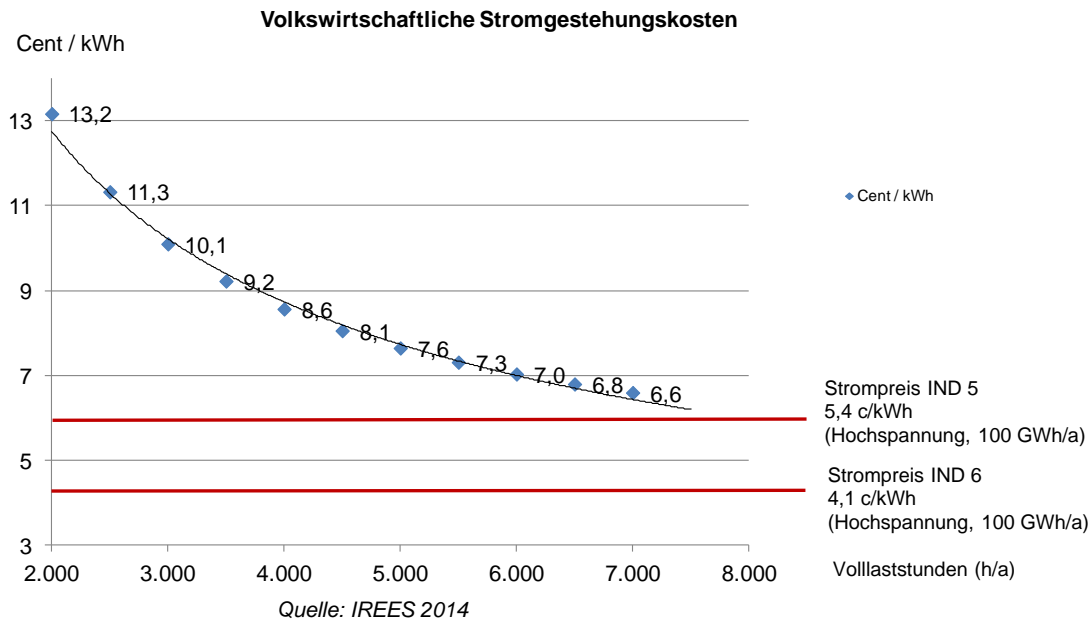
Gas- und **Dampfturbinenanlagen** mit einer elektrischen Gesamtnennleistung von 20 MW stellen einen ähnlich gelagerten Fall wie die Dampfturbinenanlage dar, nämlich eine kapitalintensive Anlagentechnik mit sehr hohen Fixkosten. Die Stromgestehungskosten werden in diesem Beispiel durch die gewährten effektiven KWK-Zuschläge um rund 1 Cent/kWh gesenkt, sind damit dennoch nicht konkurrenzfähig zum Bezug, wenn es sich um große Unternehmen mit Hochspannungsanschluss und, bedingt durch weitgehende EEG-Umlagebefreiung, sehr günstigen Strombezugskonditionen unter 5 Cent/kWh (IND6) handelt (vgl. Abbildung 15).

Da ausgehend von diesem Niveau der Referenzstrompreis in absoluten Werten nur vergleichsweise geringfügig steigt, ist die zu erwartende künftige Veränderung dieser Situation marginal.

Da sich die Gestehungskosten bei volkswirtschaftlicher Betrachtungsweise nur geringfügig ändern, wohl aber beim Referenzstrompreis IND5 noch erhebliche Umlageanteile entfallen, rutscht die 20-kW-GuD-Anlage auch in dieser Kategorie aus der Rentabilitätszone. Insofern ist auch für diese hocheffiziente Anlagenkombination ein Förderbedarf zu konstatieren.

Abbildung 15: „Betriebswirtschaftliche“ und „volkswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Gas- und Dampfturbine mit 20 MW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013





4.3.4 Zur Wirtschaftlichkeit der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Die thermische Kälteerzeugung stellt für die Industrie in Deutschland unter Energieeffizienz-Gesichtspunkten eine interessante Option dar, insbesondere wenn günstige Wärmequellen vorhanden sind. Für die Absorptionskälte-Erzeugung kommen verschiedene Systeme in Betracht (Henning et al., 2009; Henning et al., 2011; Safarik, Richter & Albring, 2010; Green Chillers, 2010; Schmid, 2011; Verband für Sorptionskälte e.V., 2014).

Durch den Einsatz von Absorptionskältemaschinen kann die stromintensive Kompressionskälteerzeugung teilweise oder gar vollständig substituiert werden. Genutzt werden kann neben der sehr häufig als Wärmequelle für diese Anlagen genannten solaren Wärme in industriellen Anwendungen insbesondere Abwärme aus Prozessen. Ferner kann KWK-Wärme genutzt werden (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung), womit die KWKK die Auslastung der KWK-Anlagen insbesondere in den Sommermonaten erhöht, wenn der Wärmebedarf für Heizen und Warmwasser sowieso geringer ausfällt. In günstigen Fällen kann dies den Effekt der derzeit noch höheren Investition für Absorptionskältemaschinen kompensieren. Wenn bei der industriellen Kälteerzeugung in den Branchen der Investitions-, Verbrauchs- und Verbrauchsgüter-Industrie vermehrt KWK eingesetzt wird, dürften durch die Absorptionskälte die Gesamtenergiekosten häufiger gesenkt werden können.

Für große Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskältemaschinen ist gegenüber der herkömmlichen Kompressionskälteerzeugung derzeit noch mit höheren spezifischen Kapitalkosten zu rechnen. Dementsprechend wurden derartige Anlagen bislang nur vereinzelt und meist in Kombination mit "herkömmlichen" Kompressionskältemaschinen eingesetzt, etwa zur Klimatisierung und zur Deckung von Prozesskältebedarf mit Mindestleistungen.

Beispiele hierfür sind Anlagen in der chemischen Industrie oder Nahrungsmittelindustrie oder zur Klimatisierung großer Verwaltungsgebäude, die zum Teil auch im Anlagencontracting betrieben werden. Derartige Anlagen werden vorwiegend aus KWK und ganzjährig verfügbarer industrieller Abwärme gespeist.

Zunehmender KWK-Einsatz und zunehmende industrielle Abwärmenutzung werden mit großer Wahrscheinlichkeit einen wachsenden Marktanteil der Absorptionskältetechnik bewirken. Es ist somit davon auszugehen, dass die Technologie eine zunehmende Markt-Signifikanz erlangen wird und technische Entwicklungs- sowie Kostensenkungspotenziale ausgeschöpft werden können. Diese lassen sich im Rahmen dieser Studie jedoch nur bedingt quantifizieren. Eine ökonomische Bewertung wird sich aber grundsätzlich nicht auf die reine Kälteerzeugungstechnik beschränken lassen (Absorptions- vs. Kompressionskälteerzeugung), sondern muss immer das Gesamtsystem der Stromerzeugung und der Wärmebereitstellung mit einbeziehen.

4.3.5 Zur Wirtschaftlichkeit von ORC-Anlagen

Der ORC-Prozess (Organic-Rankine-Cycle) ist ein thermodynamischer Kreisprozess, bei dem als Arbeitsmedium niedrig siedende organische Stoffe zum Einsatz kommen. Damit ist im Gegensatz etwa zum Dampfturbinenprozess bei thermischen Kraftwerken mit Wasser als Arbeitsmedium die Stromerzeugung aus Wärmequellen niedriger Temperatur möglich. Man kann zwischen Niedertemperatur-Anlagen, die Wärmequellen ab ca. 90 °C nutzen und Hochtemperaturanlagen zur Nutzung von Wärme auf einem Temperaturniveau oberhalb von 450 °C unterscheiden. Als Wärmequellen kommen beispielsweise Erdwärme, Abwärme der Biomassenutzung, aber auch industrielle Abwärme in Betracht.

Die ORC-Technik hat sich nach Angaben des ORC-Fachverbands e.V. im elektrischen Leistungsbereich von 500 bis 2.000 kW_{el} bewährt, so dass bisher ca. 150 ORC-Anlagen in Deutschland installiert wurden. Zur Stromerzeugung aus industrieller Abwärme existieren in Deutschland derzeit schätzungsweise 20 Anlagen. Dabei handelt es sich vielfach um Anlagen mit Pilotcharakter.

Als einer der Vorteile der Verstromung industrieller Abwärme kann die räumliche Nähe von Erzeugung und Verbrauch in industriellen Regionen gewertet werden, womit die Notwendigkeit des Transports über große Entfernungen entfällt.

Die Wirtschaftlichkeit einer Stromerzeugung aus Abwärme kann durch entfallende Kosten für die ansonsten notwendige Prozesskühlung verbessert werden. Generell gilt, dass die Rentabilität einer ORC-Anlage höher ist, je höher die Temperatur der zur Verfügung stehenden Wärmequelle ist. Für Temperaturen oberhalb von

400 °C werden Stromgestehungskosten von unter 10 Cent/kWh für realisierbar gehalten (ORC-Fachverband 2014 a, b).

4.3.6 Fazit der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die Wirtschaftlichkeitsrechnungen für die hier exemplarisch betrachteten sechs industriellen KWK-Anlagentypen verdeutlichen die Bedeutung der bestehenden KWK-Förderung für die betriebswirtschaftliche Rentabilität. Besonders deutlich wird dies beim kleinsten betrachteten Anlagentyp, der BHKW-Anlage mit 50 kW_{el}. (Im Anhang wurden zur Verdeutlichung des Beitrags der KWK-Förderung die Stromgestehungskosten mit und - in einem rechnerischen Fall - ohne den KWK-Zuschlag dargestellt.)

Bei den größeren Leistungsgrößen wird die betriebswirtschaftliche Rentabilität der Eigenerzeugung in KWK-Anlagen häufig durch die niedrigen Strombezugspreise beeinträchtigt, die für die größeren und energieintensiven Unternehmen anzunehmen sind, die solche Anlagen betreiben oder in solche Anlagen investieren würden. Dies gilt insbesondere für große, stromintensive Unternehmen, die in den Genuss von verminderten Stromsteuern (auch Spitzenausgleich) und einer weitgehenden EEG-Umlagebefreiung gelangen. Besonders deutlich wird dies in den betrachteten Fällen der Dampfturbine mit 5 MW_{el} und des GUD-Kraftwerks mit 20 MW_{el}, bei denen es sich um Anlagen handelt, die hohe Investitionssummen erfordern, was zu relativ hohen Kapitalkosten führt.

Der Vergleich der Wirtschaftlichkeit der exemplarisch ausgewählten Anlagentypen lässt vermuten, dass ein Wachstum der industriellen KWK künftig in erster Linie durch Blockheizkraftwerke und Gasturbinen getragen wird, eine wertvolle Erkenntnis für die darauf aufbauenden Potenzialschätzungen.

Bei der volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise wurden Steuern und Abgaben nicht berücksichtigt. Dadurch stellt sich in der Regel die Rentabilität der industriellen KWK-Anlagen noch geringer als aus der betriebswirtschaftlichen Perspektive dar. Hierbei werden allerdings die günstigen Effekte der Primärenergieeinsparung und der CO₂-Emissionsminderung ausgeklammert.

Die Rentabilität von KWK-Anlagen lässt sich bei gleichzeitiger Erzeugung von Kälte über die Absorptionstechnik erhöhen, stellt diese Nutzung von KWK-Wärme doch eine Möglichkeit zur Erhöhung der Auslastung der Anlage dar.

ORC-Anlagen zur Stromerzeugung aus Abwärme existieren in der Industrie derzeit nur vereinzelt. Bei Ausnutzung der bestehenden Entwicklungspotenziale sind jedoch künftig durchaus rentable Anwendungsmöglichkeiten gegeben, insbesondere bei höheren Temperaturen der Abwärme.

5 Potenzial-Analyse

Die Potenzialanalyse basiert auf den Ergebnissen der Kosten-Nutzen-Analyse und zeigt auf, welche Mengenentwicklungen sich für Deutschland insgesamt daraus ergeben können.

Private Haushalte und GHD

Die Arbeiten zur Ermittlung der **Potenziale der leitungsgebundenen KWK** beruhen auf dem methodischen Konzept der Detailanalyse von 41 repräsentativen Modellstädten und deren Ergebnisübertragung auf vergleichbare Städte. Die Fortschreibung des Wärmebedarfs berücksichtigt Sanierungs- und Neubaueffekte. Die Modellstädte werden anhand ihrer Siedlungsstruktur in insgesamt 1.403 Cluster unterteilt. Für alle wird die Wirtschaftlichkeit der KWK einzeln untersucht; einmal für volkswirtschaftliche, einmal für betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise. Es werden jeweils zwei Anschlussgrad (AG)-Szenarien untersucht (90 % und 45 %). Die Ergebnisse des erstgenannten Szenarios zeigt Tabelle 1.

Tabelle 12: Fernwärme-KWK-Potenziale (Szenario AG 90)

Betrachtungsweise	Fernwärme-KWK-Potenzial	TWh
betriebswirtschaftlich	Wärmenachfrage	154
	KWK-Wärmeerzeugung	128
	KWK-Stromerzeugung	113
volkswirtschaftlich	Wärmenachfrage	249
	KWK-Wärmeerzeugung	207
	KWK-Stromerzeugung	182

Quelle: IFAM 2014

Bei einem auf 45 % verringerten Anschlussgrad sinken die Potenziale auf rund ein Viertel. Die Ergebnisse weisen eine hohe Sensibilität auf; geringfügige Änderungen der Rahmenbedingungen führen zu einer deutlichen Veränderung der Resultate. Auf die Städte mit mehr als 150 Tsd. Einwohner in den ABL entfällt jeweils rund die Hälfte des Potenzials.

Die **Potenziale der Objekt-KWK** basieren auf einem Vollkostenvergleich mit einem Gaskessel für 8 typische Anwendungsfälle. Zur Vermeidung von Doppelzählungen mit den Fernwärme-KWK-Potenzialen kommen nur diejenigen Gebäude der Modellstädte in Betracht, die sich außerhalb der wirtschaftlichen Fernwärme-KWK-Clustern befinden. Es ergeben sich Ergebnisse gemäß Tabelle 2.

Die Werte bei volkswirtschaftlicher Betrachtungsweise liegen aus zwei Gründen deutlich niedriger: die „Erfolgsquote“ der untersuchten Teilmengen ist deutlich niedriger, zudem sind die zur Verfügung stehenden (Cluster-)Mengen wesentlich geringer. Von zentraler Bedeutung ist die Stromeigennutzungsquote. Je höher diese ist, desto eher sind KWK-Anlagen ökonomisch konkurrenzfähig.

Tabelle 13: Objekt-KWK-Potenziale (Szenario AG 90)

Betrachtungsweise	Fernwärme-KWK-Potenzial	TWh
betriebswirtschaftlich	Wärmenachfrage	33
	KWK-Wärmeerzeugung	21
	KWK-Stromerzeugung	14
volkswirtschaftlich	Wärmenachfrage	5
	KWK-Wärmeerzeugung	3
	KWK-Stromerzeugung	3

Quelle: IFAM 2014

Bei einem auf 45 % verringerten Fernwärme-Anschlussgrad erhöhen sich die zur Verfügung stehenden Mengen und damit näherungsweise auch die Potenziale auf das Doppelte.

Die Potenzialanalyse baut auf den Ergebnissen der Kosten-Nutzen-Analyse auf, bspw. auf den Wärmeerzeugungskosten von KWK-Anlagen und Gaskesseln. Während im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse typische Musterfälle berechnet werden, so erweitert die Potenzialanalyse diese Perspektive und zeigt auf, welche Mengen sich für Deutschland insgesamt daraus ergeben können. Die berechneten Potenziale lassen sich in den einzelnen Teilbereichen mit dem jeweiligen Status quo vergleichen und geben Hinweise darauf, wie sich der Markt entwickeln könnte bzw. welche Entwicklungen durch geeignete politische Flankierung motiviert werden könnten.

Es erfolgt eine Trennung nach der „**Siedlungs-“ und Objekt-KWK (Wohn- und GHD-Nichtwohngebäude**, Bearbeiter: IFAM) und der **industriellen KWK** (Bearbeiter: IREES). Durch die sektorale Trennung gibt es zwischen den beiden Untersuchungsbereichen wenige Schnittstellen. Der Fernwärmebezug von Industriebetrieben ist derzeit relativ gering, ebenso wie die Nutzung von industrieller Abwärme durch die Fernwärmewirtschaft.

5.1 Potenzial-Ermittlung für die Sektoren Private Haushalte und GHD

Bei der Potenzialermittlung ist zu unterscheiden zwischen

- Potenzialen der „Siedlungs-KWK“, also dem KWK-Einsatz im Rahmen von Fern- und Nahwärmesystemen (in Folgenden auch als Fernwärme-KWK bezeichnet) und
- Potenzialen der Objekt-KWK, also dem Einsatz im Rahmen der Einzelobjektversorgung bzw. Kleinstverbänden ohne Wärmenetz.

Diese Potenziale überlappen sich, weil es regelmäßig größere Objekte gibt, die als Objekt-KWK wirtschaftliche Lösungen darstellen und sich gleichzeitig in einem wirtschaftlichen Fernwärmegebiet befinden (und dort ggfs. eine wichtige Rolle für die Wirtschaftlichkeit des Gesamtgebietes spielen). Da im Regelfall die Einbindung in wärmeleitungsgebundene Systeme die wirtschaftlichere Option darstellt, ist dies die führende Betrachtungsweise. Sie ist aus dem Bestreben motiviert, die maximalen Potenziale zu ermitteln und stellt keine Wertung von „großer“ und „kleiner“ KWK dar. Die Vorgehensweise zur Trennung der beiden Potenzialanalysen findet sich in Abschnitt 5.1.2.2.

Aufgrund der höheren technischen Komplexität (im Vergleich zur Kälteerzeugung mittels strombetriebener Kompressionskältemaschinen) und oft auch höheren Kosten kommt die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung heute nur in wenigen Nischen vor - die Kälteversorgung ist für das Segment der Siedlungs-KWK derzeit praktisch vernachlässigbar.

Es gibt einzelne interessante Anwendungsfälle; die Bearbeitung erfordert aber einen zu großen Analyseaufwand. Zudem lassen sie sich nicht sinnvoll in die Bearbeitungsmethodik, welche eine räumliche Verortung erfordert, eingliedern. Ein Beispiel sind Rechenzentren, die durch einen ganzjährigen, sehr gleichmäßigen Kühlbedarf gekennzeichnet sind. Allerdings wiesen im Jahr 2013 nur etwa 350 der 50.000 Rechenzentren in Deutschland eine Fläche größer 500 m² auf (BI, 2014). Durch den vermehrten Einsatz der freien Kühlung können außerdem mehr als 50 % der entstehenden Abwärme ohne Einsatz einer Kältemaschine abgeführt werden. Die Volllaststundenzahl der Kältemaschine sinkt im Gegenzug ab und reduziert die Eignung der KWKK deutlich, weshalb das wirtschaftliche Potenzial der KWKK als nur sehr gering eingeschätzt wird (TUB 2012).

5.1.1 Potenziale der wärmeleitungsgebundenen KWK

Die Ermittlung der wärmeleitungsgebundenen Siedlungs-KWK-Potenziale erfolgt ohne Berücksichtigung der bestehenden Wärmeversorgungsstrukturen, weil diese im benötigten Detaillierungsgrad (konkreter Netzverlauf mit bestehenden Anschlüssen), der im Folgenden genauer beschrieben wird, nicht flächendeckend beschafft werden können. Eine Hochrechnung auf Basis einzelner Beispiele ist nicht zielführend, weil es eine zu große Vielfalt an Versorgungssituationen in den Städten gibt, die sich nicht verallgemeinern lassen - nicht zuletzt aufgrund der unbekannteren hydraulischen Freiheitsgrade, die bestehende Netze hinsichtlich Verdichtung und Erweiterung im Einzelfall noch bieten. Auch die für die Ermittlung von Verteilkosten noch anzurechnenden Kapitalkosten sind unbekannt.

Daraus ergibt sich eine konservative Abschätzung der KWK-Potenziale, da alle Netze als neu zu verlegend betrachtet werden.

5.1.1.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

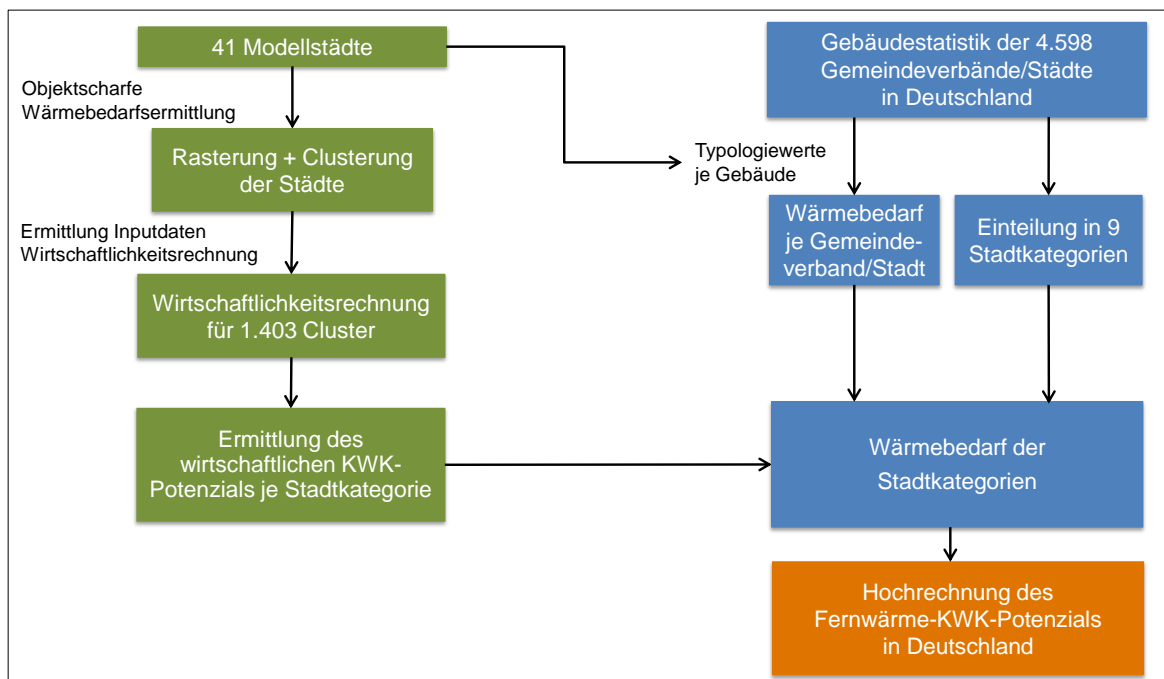
Die Potenzialanalyse für die wärmeleitungsgebundene KWK gliedert sich in mehrere Arbeitspakete:

- Ein Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Datenerhebung für alle Städte / Gemeindeverbände in Deutschland sowie deren Einteilung in **Stadtkategorien** in Hinsicht auf eine gute Übertragbarkeit von Detailkenntnissen. Dabei sind die Unterschiede zwischen Städten in den ABL und den NBL zu berücksichtigen.
- Für alle Städte / Gemeindeverbände in Deutschland muss die Abschätzung des jetzigen und die Hochrechnung des zukünftigen **Wärmebedarfs** erfolgen.
- Eine größere Anzahl an Städten (**Modellstädte**) wird detailliert untersucht. Dazu gehören vor allem Städte, zu denen dem IFAM Verbrauchsdaten vorliegen bzw. vergleichbare Daten in hoher Auflösung (z. B. Wärmebedarf nach Baublöcken) beschafft und aufbereitet werden können. Sie bilden die Basis für etliche Detailanalysen. Verwendung finden dabei zumeist 3-D Laserscanningdaten, aber auch Informationen aus Schrägluftaufnahmen.
- Darüber hinaus erfolgt eine **Clusterung** dieser Modellstädte, um unterschiedliche Siedlungsgegebenheiten berücksichtigen zu können. Ebenso kleinräumig werden Mengengerüste für Verteilungen und Hausanschlüsse erfasst.
- In einer **Wirtschaftlichkeitsrechnung** werden die Stadtcluster dann auf die Wirtschaftlichkeit von Fernwärme-KWK hin analysiert. Als Ergebnis liegt eine nach Clustern untergliederte KWK-Potenzialmenge in Abhängigkeit des jeweiligen Szenarios vor.

- Schließlich werden die gewonnenen Erkenntnisse aus den Clustern und Modellstädten genutzt und die **Hochrechnung** auf das Siedlungs-KWK-Potenzial insgesamt in Deutschland durchgeführt.

Das Bearbeitungsschema verdeutlicht Abbildung 16.

Abbildung 16: Bearbeitungsschema zur Ermittlung der Fernwärme-KWK-Potenziale



Quelle: IFAM 2014

5.1.1.2 Bildung von Stadtkategorien

In Deutschland gibt es 4.598 Städte / Gemeindeverbände. 780 Gemeindeverbände weisen mindestens 20.000 Einwohnern auf und bieten erhöhte Chancen auf eine Fernwärmewürdigkeit. Da sich die Gemeindeverbände strukturell stark voneinander unterscheiden, werden möglichst homogene Kategorien gebildet, die Städte aufgrund der Einwohnerzahl und der Zugehörigkeit zu den Alten bzw. Neuen Bundesländern (ABL / NBL) zusammenfassen. Strukturelle Grundlage bildet vor allem die Siedlungsdichte, die anhand der Wohnflächen (Stabu, 2014a) und Einwohner, jeweils pro km² Siedlungsfläche (BBSR, 2013), ermittelt wird. Eine Abweichung stellt Kategorie VI dar. Sie beinhaltet Städte in der Peripherie einer Großstadt, weil sich diese durch die Nähe zu einem Oberzentrum (benachbarte Großstadt) siedlungstypologisch von Städten vergleichbarer Größe (Kategorie IV und V) unterscheiden. Kategorie IX umfasst alle Gemeindeverbände mit weniger als 20.000 Einwohnern. Die Aufteilung auf die Kategorien zeigt Tabelle 14.

Tabelle 14: Definition der Stadtkategorien

Kategorie	Alte Bundesländer:	Anzahl
I	Gemeindeverbände mit mehr als 350.000 Einwohnern	14
II	Gemeindeverbände mit 150.001 bis 350.000 Einwohnern	30
III	Gemeindeverbände mit 80.001 bis 150.000 Einwohnern	48
IV	Gemeindeverbände mit 50.001 bis 80.000 Einwohnern	79
V	Gemeindeverbände mit 20.000 bis 50.000 Einwohnern	476
VI	Gemeindeverbände mit 20.000 bis 80.000 Einwohnern in der Peripherie einer Großstadt	22
	Summe Alte Bundesländer:	669
	Neue Bundesländer:	
VII	Gemeindeverbände mit mehr als 80.000 Einwohnern	14
VIII	Gemeindeverbände mit 20.000 bis 80.000 Einwohnern	97
	Summe Neue Bundesländer:	111
	Gesamt in Deutschland:	780
	Sonstiges:	
IX	Alle Gemeindeverbände mit weniger als 20.000 Einwohnern	3.818

Quelle: IFAM 2014

5.1.1.3 Wärmebedarf der Städte / Gemeindeverbände

Die Grundlage der Hochrechnung bilden die Tabellen *Wohnraum nach Baujahr und Zahl der Wohnungen im Gebäude* (Stabu, 2014a) und *Wohnungen nach Baujahr* (Stabu, 2014b). Die Baualtersklassen aus der amtlichen Statistik werden mit den Baualtersklassen, die dem IFAM aus den Modellstädten vorliegen, vereinheitlicht. Es schließt sich die Zusammenführung der Einzeldaten auf Ebene der Gemeindeverbände an. Für jeden Gemeindeverband wird dann die Anzahl der Wohnungen in Einfamilienhäusern, Zweifamilienhäusern sowie in Mehrfamilienhäusern ermittelt.

Aus (Stabu, 2012) ergibt sich die mittlere Größe einer Wohnung, getrennt nach Neuen und Alten Bundesländern, nach Gebäudegröße sowie nach Baualtersklassen. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Wohnungen lässt sich die Wohnfläche auf Ebene der Gemeindeverbände unterteilt für Einfamilienhäuser, Zweifamilienhäuser sowie Mehrfamilienhäuser und nach Baualtersklassen berechnen.

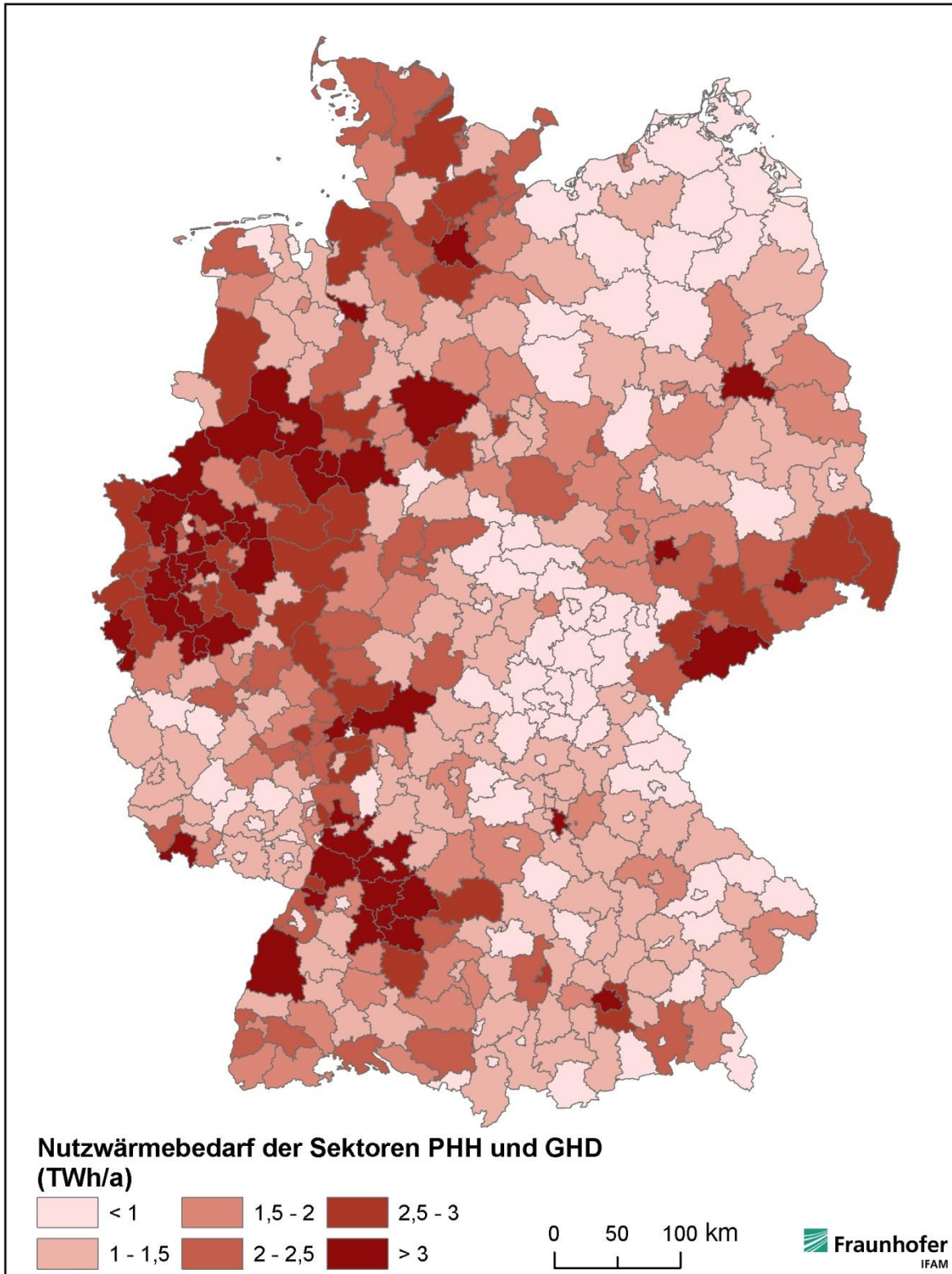
Für diese Struktur der statistischen Daten müssen aus den Modellstädten flächenspezifische Wärmebedarfswerte (Nutzenergie) abgeleitet werden. Die zu bestimmenden Typologiewerte beruhen auf einer Basis von mehr als einer Viertelmillion Einzelverbrauchsdaten, die dem IFAM im Rahmen von diversen Projekten zur Verfügung gestellt wurden. Zur Überprüfung des Verfahrens wird der anhand der statistischen Daten ermittelte Wert mit demjenigen der digitalen Wärmekarten abgeglichen; es ist nur eine geringfügige Korrektur der Ausgangstypologiewerte erforderlich.

In der Summe ergibt sich für Deutschland ein Bedarf in Höhe von 538 TWh/a. Dieser liegt in der Mitte zwischen zwei zur Plausibilitätsprüfung herangezogenen Vergleichswerten. In (AGFW, 2010) wird für das Jahr 2005/6 ein Wert von 576 TWh/a ausgewiesen; eine nur ungefähr mögliche Abschätzung anhand der Endenergiestatistik für Deutschland (BMW, 2014) führt zu einer Summe von 506 TWh/a.

Die Bestimmung des Wärmebedarfs der Nichtwohngebäude ist bekanntermaßen mit größeren Unsicherheiten verbunden, da es keine flächendeckenden, statistischen Daten wie bei Wohngebäuden gibt. Gründe sind vor allem die große Heterogenität sowie die schwierige Abgrenzung zur Industrie. In einem umfangreichen, laufenden Forschungsprojekt des IFAM (IFAM, 2014) wird dieser Umstand aktuell bestätigt. Die Modellstädte bieten jedoch eine relativ gute Grundlage aufgrund der Einzelgebäudeauflösung und der Integration vieler realer Verbrauchswerte. Die Anwendung unterschiedlicher methodischer Ansätze über Siedlungsflächenanteile und Beschäftigtenzahlen nach Branchen zeigte jeweils eine nicht befriedigende Korrelation mit den aus Verbrauchsdaten bekannten Bedarfswerten der Modellstädte. Als am besten geeignet hat sich eine Hochrechnung auf Basis der Nichtwohngebäude durch einen nach Stadtkategorien differenzierter Bezugsfaktor zum jeweiligen Wärmebedarf der Wohngebäude herausgestellt. So errechnet sich für den GHD-Sektor ein Gesamtbedarf von 224 TWh/a; was eine ausreichend gute Übereinstimmung zu der nur grob möglichen Abschätzung anhand der Endenergiestatistik für Deutschland (BMW, 2014), die 202 TWh/a ergibt, bedeutet.

Insgesamt wird damit ein Nutzwärmebedarf von 762 TWh/a für die Summe der Sektoren Private Haushalte und GHD in Deutschland ermittelt. Die räumliche Auflösung nach Kreisen ist in Abbildung 17 visualisiert.

Abbildung 17: Karte des Nutzwärmebedarfs der Sektoren Private Haushalte und GHD



Quelle: IFAM 2014

5.1.1.4 Auswahl und Datengrundlage der Modellstädte

Die Auswahl der Modellstädte ergibt sich zunächst aus der Verfügbarkeit, da sehr hochauflösende Daten (siehe Aufstellung in Tabelle 79 im Anhang in Abschnitt 9.2.1) benötigt werden. Diese lassen sich im Rahmen dieser Potenzialstudie nur in sehr beschränktem Maße neu erarbeiten. Die Basis bilden deshalb Daten aus Modellstädten, die dem IFAM aus vorherigen Projekten auf Ebene der Einzelgebäude vorliegen. Gleichzeitig ist es wichtig, eine ausreichende Zahl an Modellstädten in jeder Kategorie zu nutzen, um zu repräsentativen Durchschnittswerten zu kommen. Dies gilt umso mehr, je wichtiger eine Kategorie für die Potenzialerhebung ist; also je höher die Einwohnerzahl ist. Jedoch beschränkt der damit deutlich wachsende Aufwand den bearbeitbaren Umfang, also die Zahl der Modellstädte.

Um die Zahl der Modellstädte zu erhöhen, wurden zudem gezielt Wärmeatlanten anderer Städte, insbesondere aus den NBL, angefragt. Zusätzlich hat das IFAM Recherchen zu KWK-Betrachtungen und Potenzialanalysen für alle Bundesländer durchgeführt. Außerdem erfolgte in den meisten Fällen eine persönliche Ansprache der entsprechenden Stellen, meist der Ministerien. Es ergaben sich wenig einschlägige Datengrundlagen, häufig werden KWK-Optionen im Rahmen von Energiekonzepten o. ä. mit behandelt. Diese Erkenntnisse lassen sich aufgrund der Heterogenität der Vorgehensweise und der Rahmenannahmen jedoch in der Regel nur als Orientierung nutzen. Das Hauptaugenmerk bei der Ermittlung der Potenziale liegt somit auf den Modellstädten.

Aus den folgenden Bundesländern liegen für Modellstädte detaillierte Daten vor, wodurch eine ausreichende Bandbreite siedlungstypologischer Verhältnisse in Deutschland abgebildet wird:

- Nordrhein-Westfalen
- Niedersachsen
- Rheinland-Pfalz
- Brandenburg
- Mecklenburg-Vorpommern
- Thüringen

Insgesamt stehen 41 Städte als Modellstädte zur Verfügung. Tabelle 78 im Anhang (Abschnitt 9.2.1) zeigt die Zuordnung zu den Stadtkategorien.

Um eine möglichst homogene Datenbasis zu schaffen, müssen die Daten der einzelnen Modellstädte überarbeitet und vereinheitlicht werden. Als Ergebnis stehen auf Ebene der Einzelobjekte in den einzelnen Modellstädten zahlreiche Attribute zur Verfügung. Sie sind in Tabelle 79 im Anhang aufgelistet und näher erläutert.

Der Wärmebedarf der 41 Modellstädte basiert insgesamt auf über 1,1 Mio. Gebäuden mit den oben dargelegten Detaildaten. Da auch sämtliche realen Lageinformationen berücksichtigt werden können, zeigt dies zum einen die hohe Qualität der Datenbasis auf, zum anderen die Verbesserung gegenüber der letzten nationalen KWK-Potenzialstudie, in der mit repräsentativen Siedlungstypologien gearbeitet wurde.

5.1.1.5 Fortschreibung des Wärmebedarfs

Die Entwicklung des Wärmebedarfs der Wohngebäude wird bestimmt durch Sanierungseffekte sowie die Veränderung der Wohnflächensummen. Die Sanierung führt mit den von Prognos vorgegebenen Werten (diese entsprechen dem Trendszenario der Energiereferenzprognose) in der laufenden Dekade zu einer jährlichen Reduktion des Wärmebedarfs um - 0,50 %/a; in den folgenden Dekaden verringert sich der Effekt sukzessive auf - 0,41 %/a. Für Nichtwohngebäude wird eine um ein Viertel geringere Entwicklung unterstellt.

Im Zielszenario sind etwas höhere Sanierungseffekte als im Trendszenario hinterlegt. Um den Unterschied zu verdeutlichen, sind in Tabelle 15 die Summen aus Raumwärmebedarf und drei Viertel des Brauchwasserbedarfs (das letzte Viertel wird durch Strom oder erneuerbare Energien bereitgestellt und bei einem Anschluss an Fernwärme nicht substituiert) der beiden Szenarien vergleichend gegenübergestellt.

Tabelle 15: Wärmebedarfsprognose für private Haushalte im Trend- und Zielszenario

	2020	2030	2040
Trendszenario [PJ]	1.774	1.533	1.388
Zielszenario [PJ]	1.762	1.475	1.231
Differenz	0,7 %	3,8 %	7,9 %

Quelle: (Prognos/EWI/GWS 2014), S.261

Es zeigt sich, dass vor allem in den nächsten 10 -15 Jahren der Unterschied sehr gering ist; erst danach gehen die beiden Pfade stärker auseinander. Für die Kapitalwertrechnung maßgeblich sind allerdings die ersten Jahre; als DMV berechnet liegt die Differenz der beiden Szenarien bei lediglich 3,4 %). Dieser geringe Unterschied macht klar, dass die Potenzialergebnisse sich nur in sehr geringem Maße ändern würden. Zudem weisen alle Inputwerte Bandbreiten vertretbarer Annahmen auf, die sicher höher sind; d. h. geringfügig anders angesetzte Werte würden diesen Szenarienunterschied egalisieren.

Die Wohnflächenentwicklung für Gesamtdeutschland wird beschrieben durch die vorgegebenen Rahmenbedingungen (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Wohnflächenentwicklung in Deutschland

	2011	2020	2030	2040	2050
Wohnfläche in km ²	3.711	3.842	3.932	4.001	3.952
Entwicklung in %	-	3,5	2,4	1,8	-1,2

Quelle: Prognos 2014

Um regionale Effekte zu berücksichtigen, erfolgt eine Differenzierung auf Grundlage der Wohnflächen der Gemeindeverbände. Die Entwicklung der Zahl der Wohnungen von 2006 bis 2011 (BBSR, 2014a) stimmt mit der prognostizierten Entwicklung der Wohnflächennachfrage von 2010 bis 2025 (BBSR, 2011) gut überein und wird deshalb als Grundlage für die räumliche Differenzierung der Prognosen verwendet. Da sich die Daten auf Raumordnungsregionen beziehen, übernehmen alle Gemeindeverbände den als prozentuale Veränderung angegebenen Wert ihrer übergeordneten Region. So lässt sich jeweils die Wohnfläche pro Dekade bis 2050 ermitteln und zu einem Gesamtwert für Deutschland zusammenfassen. Diese Werte weisen eine geringe Abweichung zu den vorgegebenen Gesamtentwicklungen auf. Um diesen Korrekturfaktor werden die Dekaden bezogenen Flächenänderungsfaktoren der Raumordnungsregionen abschließend angepasst. Für Nichtwohngebäude wird ein konstanter Flächenwert angenommen.

Durch die Anwendung auch auf die Modellstädte basiert die Wirtschaftlichkeitsrechnung auf einer individuellen Berücksichtigung der Wohnflächenentwicklung in diesen Städten. Die Veränderungen werden als strukturelle Anpassungen des Bestandes modelliert (Lückenschluss / Abriss), und nicht als eigenständige Neubaugebiete, da sich deren Lage und Größe in einer Stadt nicht prognostizieren lässt.

5.1.1.6 Clusterung der Modellstädte

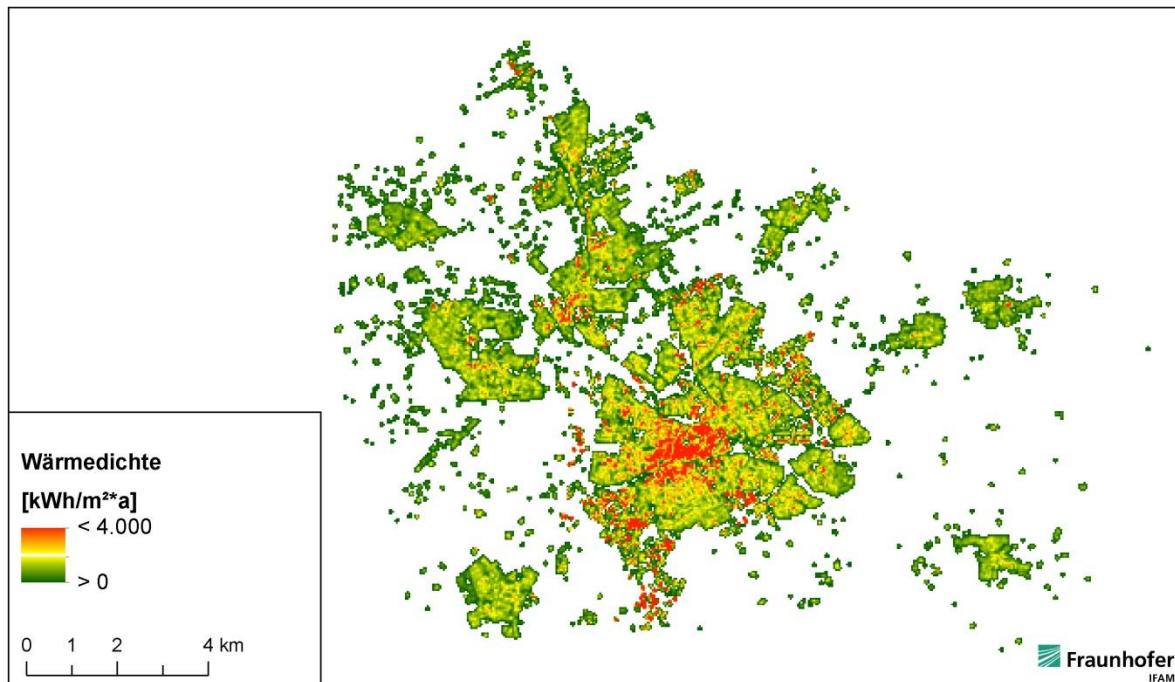
Die Hochrechnung des Potenzials der leitungsgebundenen KWK erfolgt anhand von Ergebnissen, die für die Modellstädte ermittelt werden. Ein entscheidender Punkt im Vorfeld der Berechnung der Wirtschaftlichkeit ist die Bestimmung von Clustern in den Modellstädten. Ein Cluster ist dabei die räumliche Einheit, in der die Wirtschaftlichkeit betrachtet wird.

Die Methodik zur Clusterung von Städten wurde erstmals im Rahmen von (BEI, 2011) angewandt. In darauf folgenden Projekten des IFAM wurde sie weiterentwickelt und verbessert.

Als Grundlage für die Clusterung dient eine Wärmebedarfskarte, die spezifische Wärmedichten darstellt (siehe Abbildung 18). Der Wärmebedarf der einzelnen Gebäude wird einer Zelle in einem Raster von 40 x 40 m zugeordnet. Diese Zellenwerte werden anschließend anteilig auf die Nachbarzellen verteilt, wobei der Übertragungsanteil mit abnehmender Entfernung abnimmt. Der Fokus

dieser Darstellung liegt damit nicht mehr auf dem einzelnen Gebäude, sondern auf dem räumlichen Zusammenhang der Gebäude und ihres Wärmebedarfs zueinander. Die Rasterkarten ermöglichen es, in hoher räumlicher Auflösung den Wärmebedarf einzelner Siedlungsgebiete zu visualisieren.

Abbildung 18: Beispiel einer Rasterkarte

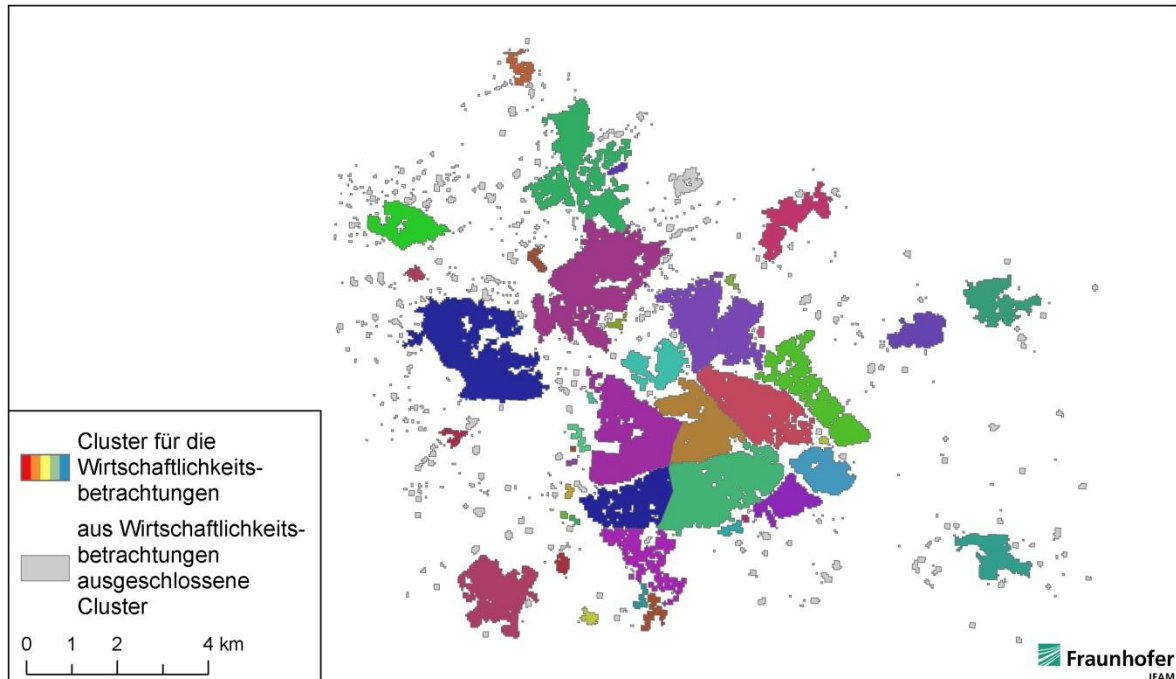


Quelle: IFAM 2014

Darauf aufbauend werden zusammenhängende Gebiete, deren Zellen über einem gewissen Schwellenwert liegen, zu einem Cluster zusammengeführt. Insbesondere im Stadtkern führt diese Methode zunächst dazu, dass ein sehr großes Cluster gebildet wird, in dem ein großer Teil des Wärmebedarfs der Stadt liegt.

Es schließt sich eine manuelle Zerteilung dieser Großcluster an, dabei werden wo möglich städtebauliche Barrieren, zum Beispiel Autobahnen oder Eisenbahnlinien bzw. siedlungstypologische Merkmale (Wechsel der Geschossigkeit) genutzt. Nach dieser manuellen Zerteilung enthält kein Cluster mehr als 15 % des Wärmebedarfs der Stadt; i.d.R. sind es weniger als 10 %. So wird sichergestellt, dass bei den späteren Wirtschaftlichkeitsanalysen kein Cluster einen zu hohen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. Gleichzeitig werden Cluster ausgeschlossen, deren Wärmebedarf unterhalb eines Schwellenwertes liegt, bzw. die nur sehr wenige Objekte enthalten (siehe Abbildung 19). Die Objekte dieser Cluster gehen in die Mengengerüste zur Ermittlung der Potenziale der Objekt-KWK ein.

Abbildung 19: Clusterung der Städte



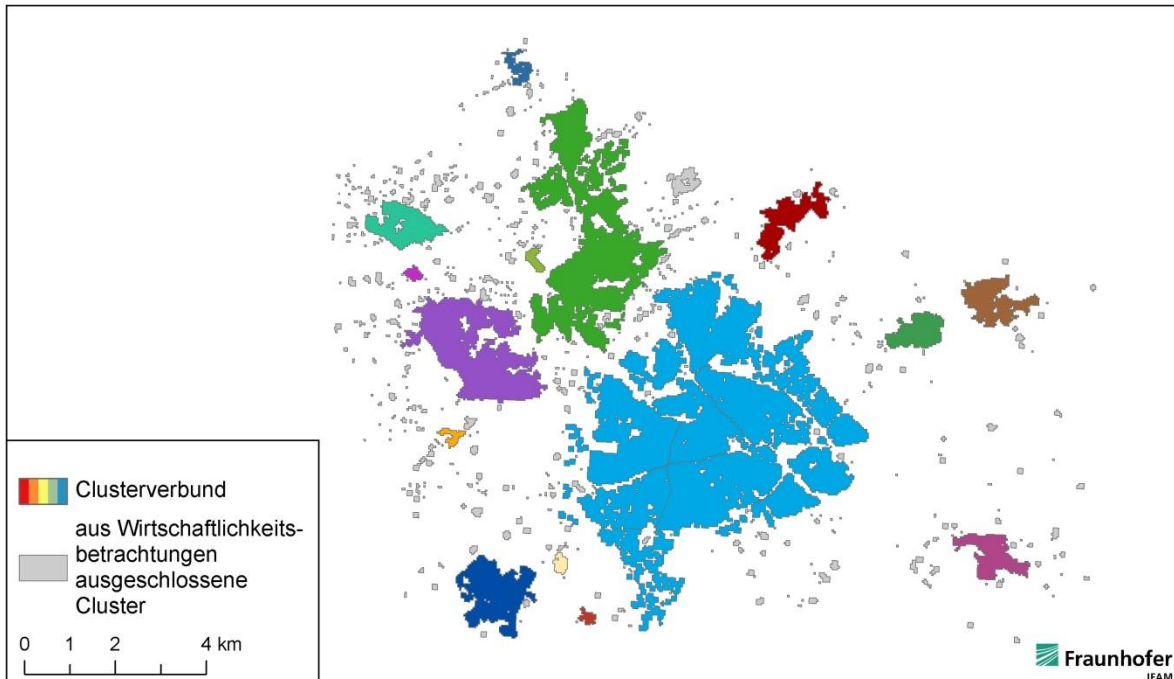
Quelle: IFAM 2014

Im Vergleich zu den bisherigen Studien des IFAM wird die Clusterung noch einmal weiterentwickelt, indem Clusterverbünde gebildet werden (siehe Abbildung 20). Diese Verbünde sind dadurch gekennzeichnet, dass aneinander angrenzende Einzelcluster eine Kennung für ihren Verbund erhalten. Im Gegensatz dazu gibt es „Insel-Cluster“. Diese sind durch den Umstand charakterisiert, dass eine Wärmeleitungsanbindung an ein benachbartes Cluster bzw. einen Verbund aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist. Daraus ergibt sich, dass sich die KWK-Anlage in diesem Cluster bzw. in direkter Nähe befinden müsste, um genau die Wärmenachfrage des Insel-Clusters zu bedienen.

Bei den Verbundclustern ist die Positionierung einer oder mehrerer KWK-Anlagen ein nicht zu bestimmender Freiheitsgrad, d. h. die Wärmenachfrage im Einzelcluster hat keinen unmittelbaren Bezug zur Dimensionierung der Erzeugungsanlage. Bei der Vorstellung der Methodik der Wirtschaftlichkeitsrechnungen im folgenden Abschnitt wird dies weiter vertieft. Die Wirtschaftlichkeit wird für jedes Cluster stets einzeln geprüft, unabhängig von der Zugehörigkeit zu einem Clusterverbund.

Für die Modellstädte ergeben sich 1.403 im Weiteren bearbeitete Cluster, was im Mittel rd. 34 Cluster je Stadt entspricht.

Abbildung 20: Bildung von Clusterverbänden



Quelle: IFAM, 2014

5.1.1.7 Untersuchte Szenarien

Die Wirtschaftlichkeit der Nah- und Fernwärme-KWK resultiert vor allem aus dem realisierbaren Anschlussgrad. Je höher dieser ausfällt, desto wirtschaftlicher ist die KWK-Lösung im Vergleich zu anderen Alternativen. Grund dafür sind die sinkenden spezifischen Wärmerzeugungs- und -verteilungskosten.

Die Potenzialanalyse hat das Ziel, sowohl bei betriebs- (B) als auch bei volkswirtschaftlicher (V) Betrachtung die maximalen wirtschaftlichen Potenziale zu ermitteln. Diese ergeben sich bei einer flächendeckenden KWK-Versorgung der Cluster. Da es in der Realität stets einen bestimmten Anteil an Gebäuden gibt, die sich aus technischen oder kundenspezifischen Gründen nicht an ein Fernwärmenetz anschließen lassen, werden diese Varianten mit einem Anschlussgrad (AG, bezogen auf den Wärmebedarf) in Höhe von 90 % statt 100 % gerechnet (Kurzbezeichnungen: AG 90 B / AG 90 V). Der Verteilnetzausbau erreicht 100 % des in einem Cluster maximal möglichen Ausbaus.

Der Anschlussgrad gibt die Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsanalysen der Cluster an; er bedeutet *nicht*, dass 90 % der gesamten Stadt auch als angeschlossenes Fernwärme-Potenzial gezählt werden. Für das Potenzial gezählt werden ausschließlich diejenigen Cluster, die sich als wirtschaftlich herausstellen (und dort dann jeweils 90 % oder 45 % entsprechend des Anschlussgrades).

Da sich in der Praxis so hohe Anschlussgrade nur in Ausnahmefällen finden, werden zum Vergleich zwei weitere Szenarien mit einem auf die Hälfte reduzierten Anschlussgrad in Höhe von 45 % gerechnet (Kurzbezeichnungen: AG 45 B / AG 45 V). Dies ermöglicht eine gewisse Optimierung durch Nichtversorgung unattraktiver Straßenabschnitte sowie den Anschluss etwas überdurchschnittlich großer Gebäude; der Effekt wird mit einer Höhe von 10 % sehr moderat angesetzt. Der Verteilnetzausbau ist somit nur bis zu 90 % (9/10) des in einem Cluster maximal möglichen Ausbaus erforderlich. Um 45 % des Wärmebedarfs in diesem Cluster anzuschließen, sind nur 40,5 % (9/10) aller Gebäude anzuschließen.

Daraus ergibt sich, dass der Verteilnetz-Investitionskostenbedarf, um vom Szenario AG 45 auf das Szenario AG 90 zu kommen, gerade nur diese angesetzten 10 % Optimierungseffekt beträgt. Bereits im Szenario AG 45 muss das Verteilnetz nahezu flächendeckend aufgebaut werden; der große Mengenunterschied ergibt sich nur bei den Hausanschlussleitungen. Als Orientierung zum benötigten Verteilnetzbedarf beim Vollausbau können die Größenordnungen 350 km / 600 km / 1.100 km für Städte der Kategorien III - I dienen.

Der durchschnittliche aktuelle Anschlussgrad in Deutschland lässt sich nicht belastbar angeben, da solche sensiblen Daten den Autoren nur für wenige Versorgungsgebiete bekannt sind und nicht veröffentlicht werden können. Zudem wird der Anschlussgrad in der Regel nur für das durch das Netz erreichbare Teilgebiet, nicht aber auf die Gesamtstadt bezogen angegeben.

5.1.1.8 Methodik der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die verwendete Methodik basiert auf den Arbeiten im Projekt zur KWK-Potenzialermittlung für das Land Nordrhein-Westfalen (BEI, 2011), bei dem sie intensiv mit Vertretern von Energieversorgungsunternehmen und relevanter Verbände diskutiert und abgestimmt wurde. Sie wird für dieses Projekt in einzelnen Details variiert und weiterentwickelt.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen erfolgen stets wärmeseitig.

Sie beruhen auf einem dynamischen Verfahren, welches einen Zeitraum von 30 Jahren (2014 - 2043) umfasst. Dies resultiert aus dem Bezug zur Kosten-Nutzen-Rechnung sowie dem ebenso langen Abschreibungszeitraum der Verteilnetzleitungen. Um die zahlreichen Cluster berechnen und gut miteinander vergleichen zu können, ist es erforderlich, den Kapitalwert (als Realwert in €₂₀₁₃ ohne MwSt.) auf die jeweiligen Energiemengen zu beziehen, woraus spezifische Werte (€/MWh) resultieren, stets angegeben als Discounted Mean Value (siehe Abschnitt 4.2). Da es sich um einen finanzmathematischen Gesamtwert für den Betrachtungszeitraum

handelt, sind die Ergebnisse mit heutigen Werten nicht direkt vergleichbar.

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfolgt für jedes der 1.403 Cluster nach folgender Bedingung (alle Angaben in €/MWh):

Anlegbarer Fernwärmepreis

- Wärmeerzeugungskosten

- Wärmeverteilungskosten

= x €/MWh

Die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Lösung ist immer dann gegeben, wenn die Summe der Kosten niedriger liegt als die Kundeneinnahmen ($x > 0$), also den marktfähigen (anlegbaren) Fernwärmepreis ermöglicht. In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Bestandteile näher erläutert.

Das Ergebnis dieser Clusterrechnungen ist zunächst die Summe des Wärmebedarfs in den wirtschaftlichen Clustern, ausgedrückt als wirtschaftlicher KWK-Anteil am Gesamtwärmebedarf einer Stadt bzw. Stadtkategorie. Wird dieser Bedarf mit dem im jeweiligen Szenario (siehe Abschnitt 4.1) angesetzten Anschlussgrad multipliziert, ergibt sich der tatsächlich mit Fernwärme-KWK versorgbare Wärmebedarf. Aus diesem Wert kann unter Berücksichtigung der Netzverluste, der Anteile des Spitzenkessels sowie der Stromkennzahl bei der Erzeugung die Höhe der KWK-Erzeugungsmengen (Wärme und Strom) berechnet werden.

Eine solche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist stets mit dem Nachteil verbunden, dass sich dabei eine „digitale“ Entscheidung wirtschaftlich vs. nicht wirtschaftlich ergibt. Cluster mit einem (ggfs. sehr knappen) Ergebnis $x > 0$ gehen in die als wirtschaftlich ausgewiesene Potenzialmenge ein (dann mit vollem Wärmebedarfswert); nur ganz knapp unwirtschaftliche Cluster hingegen gar nicht. Zwei Cluster mit einem ganz geringem Ergebnisunterschied im Bereich von $x = 0$ sind aus wirtschaftlicher Sicht allerdings als eher gleichwertig zu bewerten.

Aus diesen Gründen weist das IFAM seine Ergebnisse für die Siedlungs-KWK in 5 €/MWh-Schritten abgestuften „Wirtschaftlichkeitsstufen“ aus. Diese Darstellung zeigt einerseits, wie robust ein angegebenes KWK-Potenzial jeweils ist und welche Teilmengen davon die Wirtschaftlichkeitsgrenze deutlich oder nur knapp überschritten haben. Andererseits bietet diese Differenzierung noch einen weiteren Vorteil. Sie ermöglichen es, die Effekte von modifizierten Wirtschaftlichkeitsannahmen und Randbedingungen zu erkennen, und das unabhängig davon, in welchen Teil der Rechnung sie eingehen (ein um 5 €/MWh höherer anlegbarer Wärmepreis bewirkt den gleichen Effekt wie um denselben Betrag reduzierte Erzeugungskosten).

Verteilkosten

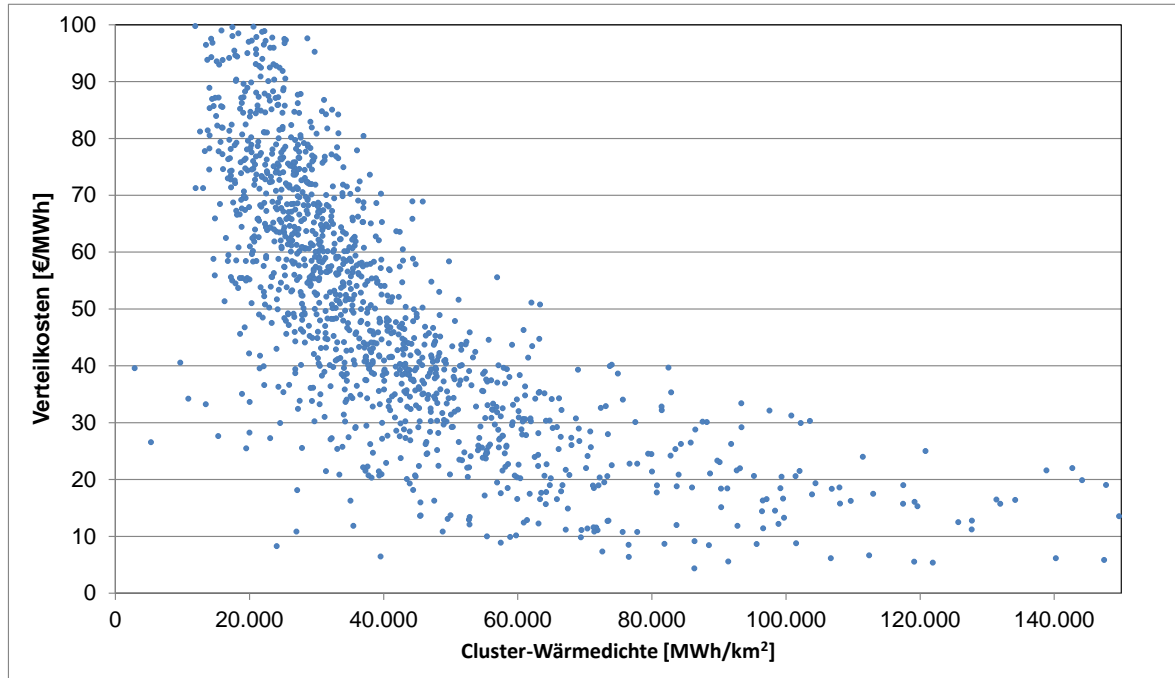
Die Verteilkosten werden in der Praxis zwischen dem Energieversorgungsunternehmen und dem Kunden aufgeteilt in der Weise, dass der Kunde zum Zeitpunkt seines Anschlusses einen Baukostenzuschuss bzw. Zahlungsanteil leistet, differenziert nach Hausübergabestation, Hausanschlussleitung und Verteilnetz. In der Praxis gibt es eine gewisse Bandbreite der Verfahrensweisen, geprägt durch die jeweiligen Preissysteme, Marktsituationen und nutzbaren Zuschüsse (z. B. von der Stadt). Die konkrete Aufteilung spielt für die Potenzialberechnungen keine Rolle, da jeder Kundenanteil zwar die durch den Versorger anzusetzenden Verteilkosten reduziert, jedoch auch den anlegbaren Wärmepreis entsprechend verringert.

Von den drei oben genannten Bestandteilen hängen die Kosten der Hausübergabestation lediglich vom Leistungswert des Gebäudes ab (sind also vom Wärmenetz unabhängig), die beiden anderen ergeben sich individuell aus den konkreten Netzlängen, d. h. sie lassen sich nicht einheitlich (repräsentativ) für eine Gebäudegröße angeben. Deshalb ist es zielführend, in den Rechnungen die Verteilkosten entsprechend aufzuteilen: der Kunde bezahlt 100 % der Kosten der Hausübergabestation (diese werden beim anlegbaren Wärmepreis angerechnet), aber leistet keine Einmalzahlungen auf die aus den Wärmeleitungen resultierenden Investkosten (diese sind somit in jedem Cluster den versorgten Gebäuden individuell zugewiesen).

In Tabelle 80 im Anhang (Abschnitt 9.2.1) finden sich die für die Berechnung der Verteilkosten relevanten Kostenansätze. Sie resultieren aus Angaben von Unternehmen und Wirtschaftlichkeitsanalysen, die das IFAM für konkrete Ausbauszenarien in unterschiedlichen Projekten angestellt hat.

In Abbildung 21 sind die Ergebnisse der Verteilkosten für den relevanten Ausschnitt aller Cluster visualisiert; dargestellt für die betriebswirtschaftliche Variante bei einem Anschlussgrad von 90 % (zur Szenariendefinition siehe Abschnitt 5.1.1.7). Es ist zu erkennen, dass ein großer Teil der Cluster niedrige Wärmedichten und deshalb hohe Verteilkosten aufweist, was bei der folgenden Wirtschaftlichkeitsrechnung der Grund dafür ist, dass die Fernwärme-KWK ökonomisch nicht konkurrenzfähig ist. In Tabelle 17 sind die Mittelwerte für bestimmte Wärmedichten-Klassen angegeben.

Abbildung 21: Wärmeverteilungskosten bei betriebswirtschaftlicher Betrachtungsweise im Szenario AG 90 B



Quelle: IFAM 2014

Tabelle 17: Mittlere Wärmeverteilungskosten bei betriebswirtschaftlicher Betrachtungsweise im Szenario AG 90 B

Wärmedichte [MWh/km ²]	Verteilungskosten [€/MWh]
< 40.000	70,1
40.000 - 60.000	36,0
60.000 - 80.000	25,0
80.000 - 100.000	20,3
> 100.000	16,3

Quelle: IFAM 2014

Anlegbarer Fernwärmepreis

Der anlegbare Fernwärmepreis wird für diese Untersuchung nicht regional differenziert, sondern er ergibt sich als ein einheitlicher Wert aus einer Vollkostenvergleichsrechnung im Vergleich zu einer alternativen, dezentralen Gasheizung; ermittelt für eine relevante Bandbreite von Gebäuden mit einem Jahreswärmebedarf von 20 - 400 GWh/a. Je kleiner das Gebäude ist, umso höher sind die spezifischen Investitionskosten für die Heizung, was zur Folge hat, dass die Kapitalkosten einen höheren Anteil haben als bei den größeren Gebäuden, bei denen zunehmend die Brennstoffkosten das Ergebnis dominieren. Deshalb liegen die spezifischen Erzeugungskosten bei den kleineren Gebäuden höher als bei den grö-

ßeren. Die Kosten der von den Kunden bezahlten HA-Stationen werden eingerechnet.

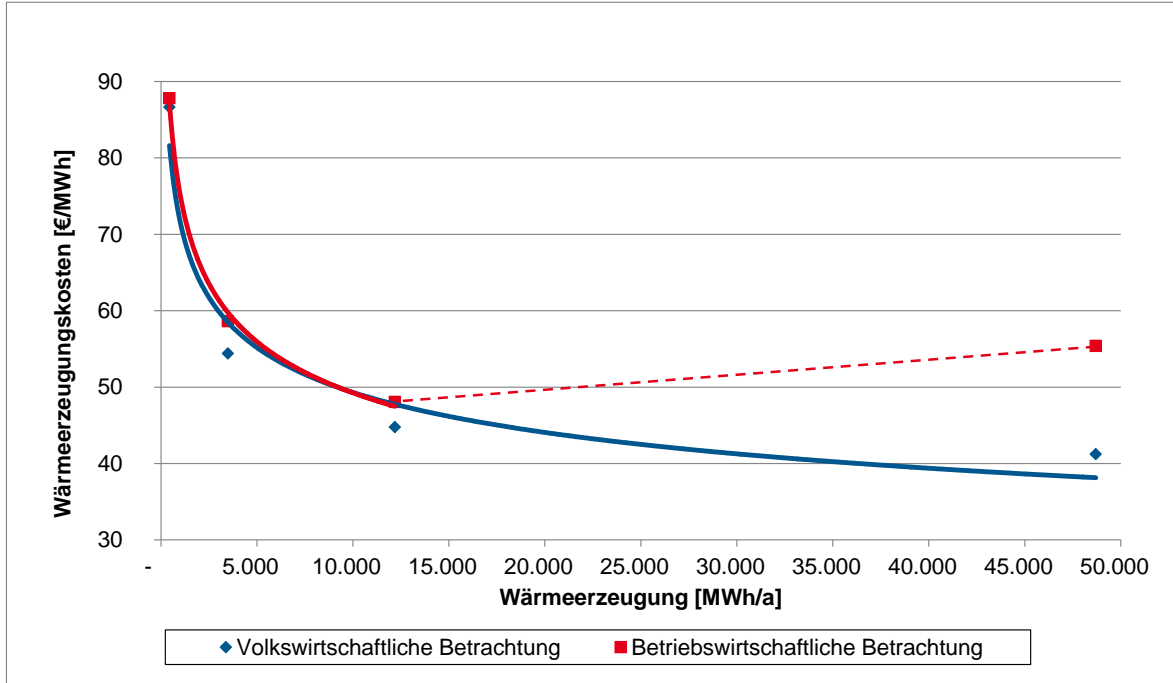
Aus der Gesamtheit der Clustern, für die sich jeweils ein mittlerer Gebäudewärmebedarf je Hausanschluss ermitteln lässt, kann die Verteilung der unterschiedlichen Anschlussfälle abgelesen werden. Über den gewichteten Mittelwert ergibt sich schließlich ein einheitlicher anlegbarer Wärmepreis, der die Kostenparität hinsichtlich der Gesamtheit aller Gebäude wiedergibt. Die berechneten Werte lauten **89,5 €/MWh** für die **betriebswirtschaftliche** und **79,4 €/MWh** für die **volkswirtschaftliche** Betrachtung. Der Unterschied resultiert in nur geringem Maße aus dem niedrigeren Zinssatz der Kapitalkosten, wesentlich relevanter ist der Einfluss der Energiesteuer.

Spezifische Wärmeerzeugungskosten

Die spezifischen Wärmeerzeugungskosten sind in erster Linie abhängig von der eingesetzten KWK-Anlage. Für die leitungsgebundene Wärmeerzeugung werden die folgenden Anlagen untersucht (siehe Tabelle 9 für Anlagenkennwerte): 50 kW_{el}, 500 kW_{el}, 2 MW_{el}, 10 MW_{el} BHKW-Anlagen sowie 20 MW_{el}, 100 MW_{el}, 200 MW_{el} und 450 MW_{el} GuD-Anlagen. Für alle Anlagen sind 4.000 Volllaststunden pro Jahr berücksichtigt und es wird angenommen, dass sie 75 % der Jahreswärme bereitstellen.

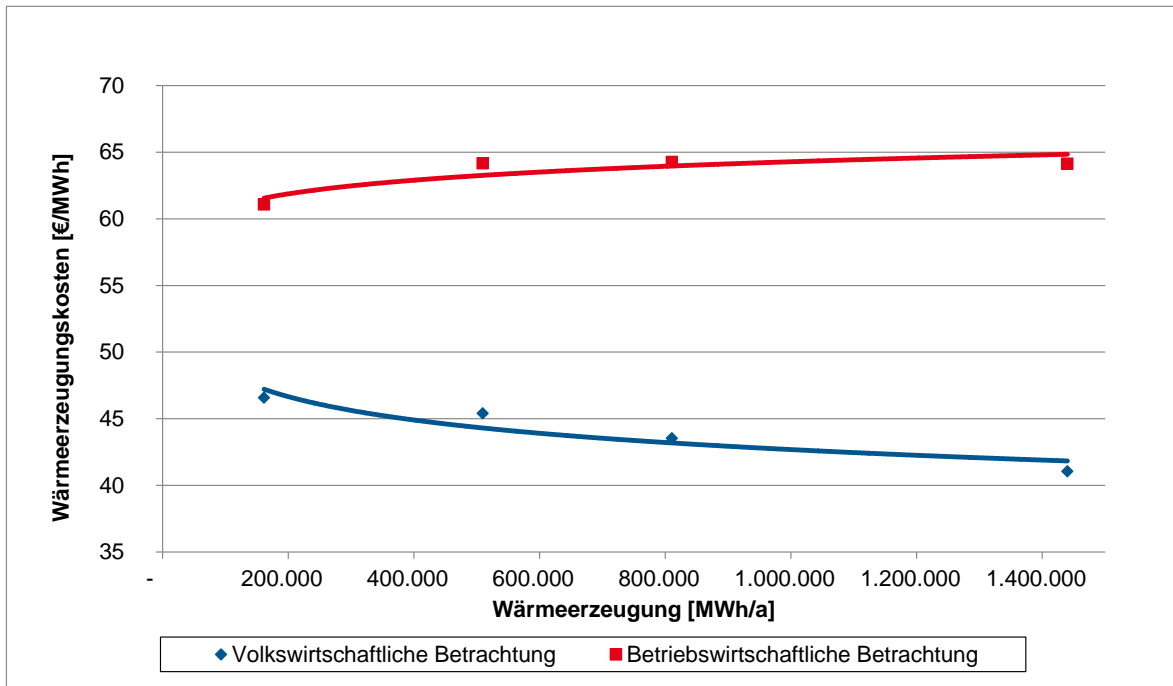
Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen die Wärmeerzeugungskosten (jeweils volks- und betriebswirtschaftlich) für die BHKW- und GuD-Anlagen.

Abbildung 22: Wärmereizungskosten der BHKW ab einer elektrischen Leistung von 50 kW



Quelle: IFAM 2014

Abbildung 23: Wärmereizungskosten der GuD-Anlagen



Quelle: IFAM 2014

Die Abbildungen zeigen folgende Effekte:

- Sowohl bei der volks- als auch bei der betriebswirtschaftlichen Betrachtung steigen die Wärmeerzeugungskosten der BHKW-Anlagen im unteren Leistungsbereich für die kleinsten Anlagen deutlich an. Im oberen Leistungsbereich verringern sie sich bei volkswirtschaftlicher Betrachtung mit steigender Leistung, bei betriebswirtschaftlicher Sicht ist allerdings ein Anstieg von der 2 MW-Anlage auf die 10 MW_{el}-Anlage zu erkennen. Dies kommt durch die Teilnahme am ETS zustande, an dem sich alle Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung oberhalb von 20 MW beteiligen müssen. Eine bis zur 10 MW Anlage reichende Korrelationsgerade ist deshalb nicht sinnvoll (durch die gestrichelte Linie verdeutlicht).
- Die Wärmeerzeugungskosten der GuD-Anlagen nehmen bei volkswirtschaftlicher Betrachtung mit steigender Anlagengröße ab, bei betriebswirtschaftlicher Sicht ist hingegen ein Anstieg zu verzeichnen. Letzteres ist begründet durch die Erhöhung der Stromkennzahl bei steigender Anlagengröße. Dadurch steigen die Kosten für den Brennstoff, die Wartung und das Kapital bezogen auf die MWh Wärme an, was nicht mehr – wie in der Vergangenheit üblich – durch Einnahmen aus dem Verkauf des Stroms überkompensiert wird.

Die Differenz zwischen den beiden Kurven resultiert u. a. aus dem bereits beim anlegbaren Wärmepreis beschriebenen Effekt; er wirkt hier prozentual jedoch deutlich stärker aufgrund des geringeren Erzeugungkostenniveaus. Außerdem ist der Kapitalkostenanteil bei KWK-Anlagen höher; hinzu kommt auch das wirksame Zinsdelta beim Stromverkauf, den es bei Gaskesseln nicht gibt. In der Summe ergeben sich größere Unterschiede zwischen betriebs- und volkswirtschaftlicher Betrachtung.

Eine alternative Interpretation der volkswirtschaftlichen Rechnung, bei der die Beträge der CO₂-Abgabe, der KWK- sowie der EEG-Umlage mit berücksichtigt würden⁶, ergäbe keine grundsätzliche Änderung der Verhältnisse. Die beiden erstgenannten Positionen wirken gegeneinander, die EEG-Umlage ist nicht relevant, da kein Eigenstromverbrauch vorliegt.

Die Ergebnisse werfen die Frage auf, welche Erzeugungskosten für die Rechnungen anzusetzen sind. Wie bereits bei der Clusterung der Modellstädte erläutert wurde (siehe Abschnitt

⁶ Motivation für diese Betrachtungsoption ist die Tatsache, dass der Klimawandel bzw. Klimaschutzkosten volkswirtschaftliche Kosten verursacht. Jedoch sind die derzeit gültigen Instrumente die Ergebnisse einer politischen Rahmensetzung, die auch anders erfolgen könnte. Deshalb ist es konsequent, diese nicht zu berücksichtigen, um einen „politikfreien“ (Technologie-) Vergleich anzustellen.

5.1.1.6), ergibt sich für „Insel-Cluster“ eine Dimensionierung anhand des Bedarfs dieses Clusters und die dazugehörigen Kosten aus den Korrelationsgleichungen.

Bei Verbundclustern gibt es Freiheitsgrade hinsichtlich des Anlagenparks. Aus den Ergebnissen lässt sich ablesen, dass bei **betriebswirtschaftlicher** Darstellung größere BHKW und kleinere GHD-Anlagen das wirtschaftliche Optimum darstellen; dies ist derzeit auch einen praxisgerechter Anlagenmix. Da die beiden Werte nah beieinander liegen (BHKW 55 €/MWh, GUD 61 €/MWh), wird der Mittelwert, also **58 €/MWh** angesetzt.

Bei der **volkswirtschaftlichen** Rechnung sinken die Erzeugungskosten mit größeren Anlagenleistungen zwar leicht, zur besseren Vergleichbarkeit der beiden Betrachtungsweisen wird jedoch ein identischer Anlagenmix angesetzt. Aus den Einzelwerten (BHKW 41 €/MWh, GUD 47 €/MWh) ergibt sich der verwendete Wert zu **44 €/MWh**.

Sonstige Annahmen und Eingangswerte

Die weiteren für die Wirtschaftlichkeitsrechnung benutzen Inputwerte sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

Tabelle 18: Eingangsdaten der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Berechnung der Fernwärme-KWK-Potenziale

Inputwert	Einheit	Wert
Versicherungs- und Verwaltungskosten	% von Invest	0,75
Verwaltungs- und Vertriebskosten	% von Absatz (in €)	5,00
Kosten für die Verdrängung von Erdgas (anteiliger Margenverlust)	€/MWh	2,00

Quelle: IFAM 2014

5.1.1.9 Ergebnisse in den Stadtkategorien

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung wird jedes Cluster, für das sich die Fernwärme-KWK als wirtschaftlich erweist, mit seinem Wärmebedarfsanteil am Gesamtwärmebedarf dieser Stadt erfasst. Die Summe ergibt denjenigen Anteil des Nutzwärmebedarfs, der in diesem Szenario durch KWK adressiert werden kann. Durch eine Mittelwertbildung der Ergebnisse der Städte einer Kategorie ergibt sich der Anteil für jede Stadtkategorie. Die Ergebnisse in den Wirtschaftlichkeitsstufen (Tabelle 81 bis Tabelle 84 im Anhang in Abschnitt 9.2.1) zeigen auf, in welchem Maße sich das Potenzial ändert in Abhängigkeit von modifizierten Eingangswerten. Um die Ergebnisse der einzelnen Szenarien besser vergleichen zu können, beziehen sich die Werte bei den Wirtschaftlichkeitsstufen einheitlich auf die Wärmenachfrage in den Clustern ohne Berücksichtigung des Anschlussgrades. In der rechten Spalte dieser Tabellen ist für den Referenzfall (> 0 €/MWh) jeweils angegeben, welcher Bedarfsanteil durch die Fernwärme-KWK in dem dargestellten

Szenario angeschlossen wird (geeigneter Bedarf * Anschlussgrad).

Es zeigt sich eine hohe Sensibilität der Ergebnisse. Geringfügige Änderungen der Eingangswerte führen zu einer deutlichen Veränderung der Werte: bei einer Verbesserung / Verschlechterung des spezifischen Wertes um lediglich 5 €/MWh ändern sich die Faktoren im Mittel bspw. im Szenario AG 90 B um rund +/- 30 %. Dies belegt, dass es zahlreiche Fälle gibt, die sich im Grenzbereich der Wirtschaftlichkeit bewegen – kleine Veränderungen der Markt- oder Fördersituation entfalten schnell eine erhebliche Wirkung. Bei volkswirtschaftlicher Rechnung fällt die relative Veränderung aufgrund des deutlich höheren Gesamtniveaus geringer aus.

Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse für die vier Szenarien im Überblick. In der linken Tabellenhälfte ist der in wirtschaftlichen Clustern adressierbare Nutzwärmebedarf angegeben *ohne* Berücksichtigung des Anschlussgrades, in der rechten Hälfte *mit* Berücksichtigung des Anschlussgrades. Die Umrechnung dieser Wärmemenge am Abnahmepunkt auf die KWK-Wärme- und KWK-Strom-Erzeugungsmengen erfolgt im Rahmen der Hochrechnung der Fernwärme-KWK-Potenziale auf Deutschland.

Tabelle 19: Ergebnisse der Szenarien zur Fernwärme-KWK

Szenario	AG 90 B	AG 90 V	AG 45 B	AG 45 B	AG 90 B	AG 90 V	AG 45 B	AG 45 B
Stadt-kategorie	Anteil des Wärmebedarfs in den KWK-geeigneten Clustern				KWK-Potenzial (Nutzwärmebedarf)			
I	55,1 %	71,0 %	29,4 %	50,8 %	49,6 %	63,9 %	13,2 %	22,9 %
II	37,2 %	68,3 %	18,1 %	28,6 %	33,5 %	61,5 %	8,1 %	12,9 %
III	31,8 %	44,0 %	18,4 %	23,0 %	28,6 %	39,6 %	8,3 %	10,4 %
IV	30,7 %	46,4 %	13,1 %	22,2 %	27,6 %	41,7 %	5,9 %	10,0 %
V	15,2 %	27,2 %	6,4 %	8,6 %	13,7 %	24,5 %	2,9 %	3,9 %
VI	15,8 %	23,6 %	9,1 %	15,0 %	14,2 %	21,2 %	4,1 %	6,7 %
VII	52,6 %	66,6 %	14,7 %	31,1 %	47,3 %	59,9 %	6,6 %	14,0 %
VIII	35,6 %	54,7 %	1,0 %	10,4 %	32,1 %	49,3 %	0,4 %	4,7 %
IX	3,6 %	13,2 %	1,3 %	1,3 %	3,2 %	11,8 %	0,6 %	0,6 %

AG: Anschlussgrad V: volkswirtschaftliche Rechnung B: betriebswirtschaftliche Rechnung
Quelle: IFAM 2014

Die Ergebnisse belegen die zu erwartende Abstufung zwischen den Stadtkategorien. Die größten Anteile finden sich in den Großstädten, weil es dort die meisten Cluster mit hohen Wärmedichten bzw. Wärmeliniedichten gibt, die zuerst in die Wirtschaftlichkeit kommen. Das Ergebnis von Kategorie VII (> 80.000 Einwohner, NBL) spiegelt die andere Bebauungssituation (mehr große Mehr-

familienhäuser) im Vergleich zu Städten gleicher Größe in den ABL wider.

Die Anteile des Szenarios AG 90 liegen geringfügig unter denjenigen der KWK-Potenzialanalyse für Nordrhein-Westfalen (BEI, 2011), bei der die Stadtkategorien allerdings etwas anders definiert wurden. Ein Grund dafür sind veränderte Inputwerte. Der deutlichen Verringerung des Börsenstrompreises, welche die Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen seit der damaligen Untersuchung erheblich belastet, wirkt die danach vollzogene Änderung im Energiesteuerrecht entgegen.

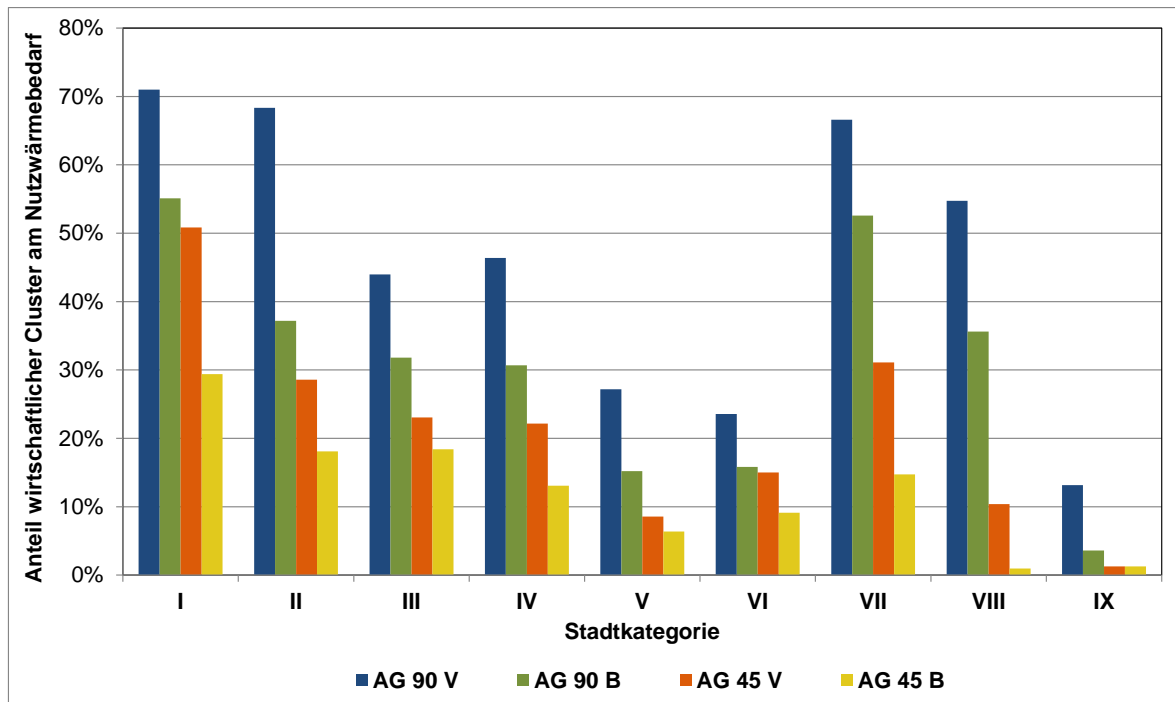
Bei volkswirtschaftlicher Rechnung (Szenario AG 90 V) verbessern sich die Ergebnisse deutlich; die Verhältnisse der Stadtkategorien zueinander bleiben im Wesentlichen erhalten. Der Grund dafür ist, dass im Vergleich zur betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise die Verbesserung bei den Erzeugungskosten (für die Verbundcluster 14 €/MWh) die Verschlechterung bei den anlegbaren Wärmepreisen (für die Verbundcluster - 10 €/MWh) deutlich überwiegt. Hinzu kommen verringerte Verteilkosten (im Mittel rund 6 €/MWh), weil sich die aus der Reduktion des Zinssatzes von 3 % auf 8 % resultierenden Effekte sehr viel stärker auswirken als der Wegfall der BAFA-Förderung. Die Verteilkosten werden durch die hohen Kapitalkostenanteile bestimmt. In der Summe ergibt sich eine Verbesserung der KWK um rund 10 €/MWh.

Bei den Szenarien mit einem Anschlussgrad von 45 % kommt es zu einer erheblichen Verschlechterung in Bezug auf die Anteile an der Wärmenachfrage in den KWK-geeigneten Clustern. Bei der betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise fällt die Anteilsreduktion mit im Mittel knapp über 50 % etwa genauso groß aus wie bei der volkswirtschaftlichen. Dies belegt die zentrale Bedeutung des Anschlussgrades für die Wirtschaftlichkeit leitungsgebundener KWK-Versorgungssysteme.

Unter Einbeziehung des halbierten Anschlussgrades sinken die tatsächlich angeschlossenen Wärmemengen auf rund ein Viertel im Vergleich zu einer flächenhaften Versorgung.

Abbildung 24 zeigt die Ergebnisse im vergleichenden Überblick. Dargestellt ist jeweils der Anteil des Wärmebedarfs in den wirtschaftlichen Clustern für den Referenzfall (> 0 €/MWh); also die Anteile vor Berücksichtigung des Anschlussgrades.

Abbildung 24: Ergebnisse der Szenarien im Vergleich



Quelle: IFAM 2014

5.1.1.10 Hochrechnung der Fernwärme-KWK-Potenziale auf Deutschland

Durch Multiplikation dieser Wärmemengen mit den jeweiligen wirtschaftlichen Anteilen in den einzelnen Stadtkategorien ergibt sich das wirtschaftliche KWK-Potenzial in Bezug auf den Nutzwärmebedarf (Abnahmestelle Verteilnetz). In Abbildung 72 im Anhang (im Abschnitt 9.2.1) ist die Verteilung des Nutzwärmebedarfs auf die einzelnen Stadtkategorien dargestellt. Gut 60 % entfällt auf Städte/ Gemeindeverbände mit mehr als 20.000 Einwohnern.

Die KWK-Potenziale belaufen sich **nachfrageseitig** auf die Werte gemäß Tabelle 20. Sie beziehen sich auf den derzeitigen Wärmebedarf.

Tabelle 20: Fernwärme-KWK-Potenziale (nachfrageseitig)

Betrachtungsweise	Szenario	Einheit	Wert
betriebswirtschaftlich	AG 90 B	TWh/a	154
betriebswirtschaftlich	AG 45 B	TWh/a	35
volkswirtschaftlich	AG 90 V	TWh/a	249
volkswirtschaftlich	AG 45 V	TWh/a	56

Quelle: IFAM 2014

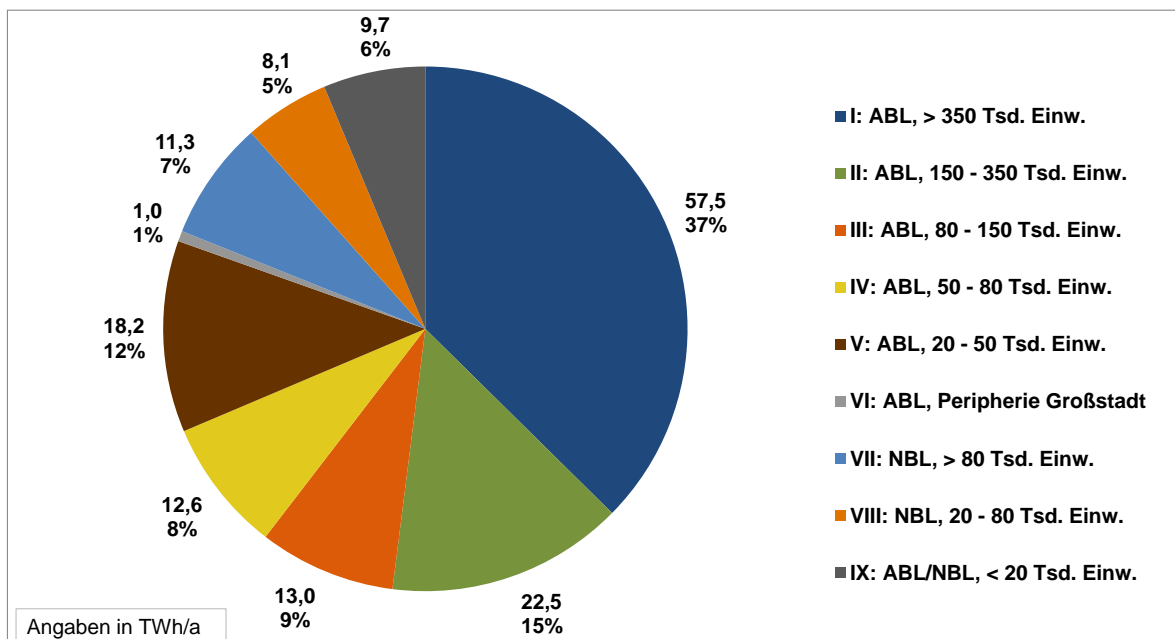
Die daraus ableitbaren **erzeugungsseitigen** Potenziale finden sich in Tabelle 21 und Tabelle 22.

Die Werte der Szenarien AG 45 betragen jeweils knapp ein Viertel derjenigen der Szenarien AG 90. Grund dafür ist ein im Mittel etwa halbiertes Anteil der wirtschaftlichen Cluster und in den Clustern wird beim AG 45 nur genau die Hälfte der Wärmenachfrage an das Netz angeschlossen wie im Szenario AG 90.

Abbildung 25 zeigt die Verteilung auf die Stadtkategorien für die betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise, Abbildung 26 diejenigen für die volkswirtschaftliche Betrachtungsweise. In beiden Fällen sind die Varianten mit dem Anschlussgrad von 90 % dargestellt; angegeben ist die tatsächliche angeschlossene Wärmemenge. Eine direkte Gegenüberstellung der Verteilungen ist nicht sinnvoll, weil sich die Gesamtmengen voneinander unterscheiden.

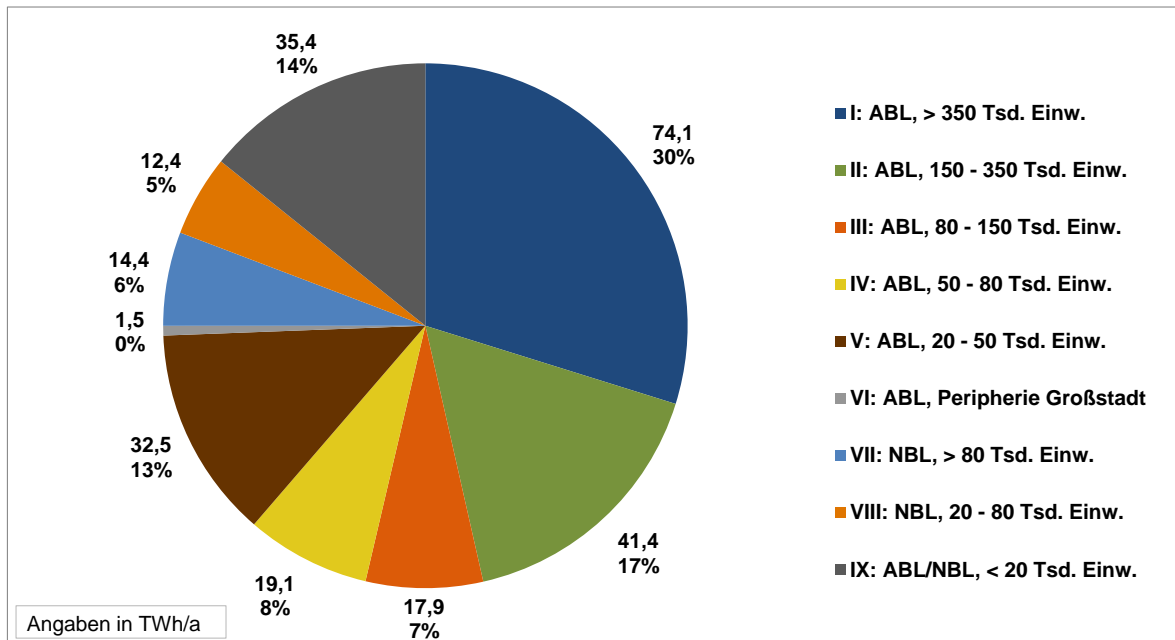
Die Anteile der einzelnen Kategorien weichen nur geringfügig voneinander ab. Auf die Städte der ABL mit mehr als 150 Tsd. Einwohnern entfällt jeweils etwa die Hälfte des Potenzials (der Anteil am Nutzwärmebedarf liegt nur bei 24 %), was deren große Bedeutung für die KWK-Potenziale bzw. den Ausbau von Fernwärme-KWK unterstreicht.

Abbildung 25: Anteil der Stadtkategorien am wirtschaftlichen KWK-Potenzial im Szenario AG 90 B bezogen auf den versorgten Nutzwärmebedarf



Quelle: IFAM 2014

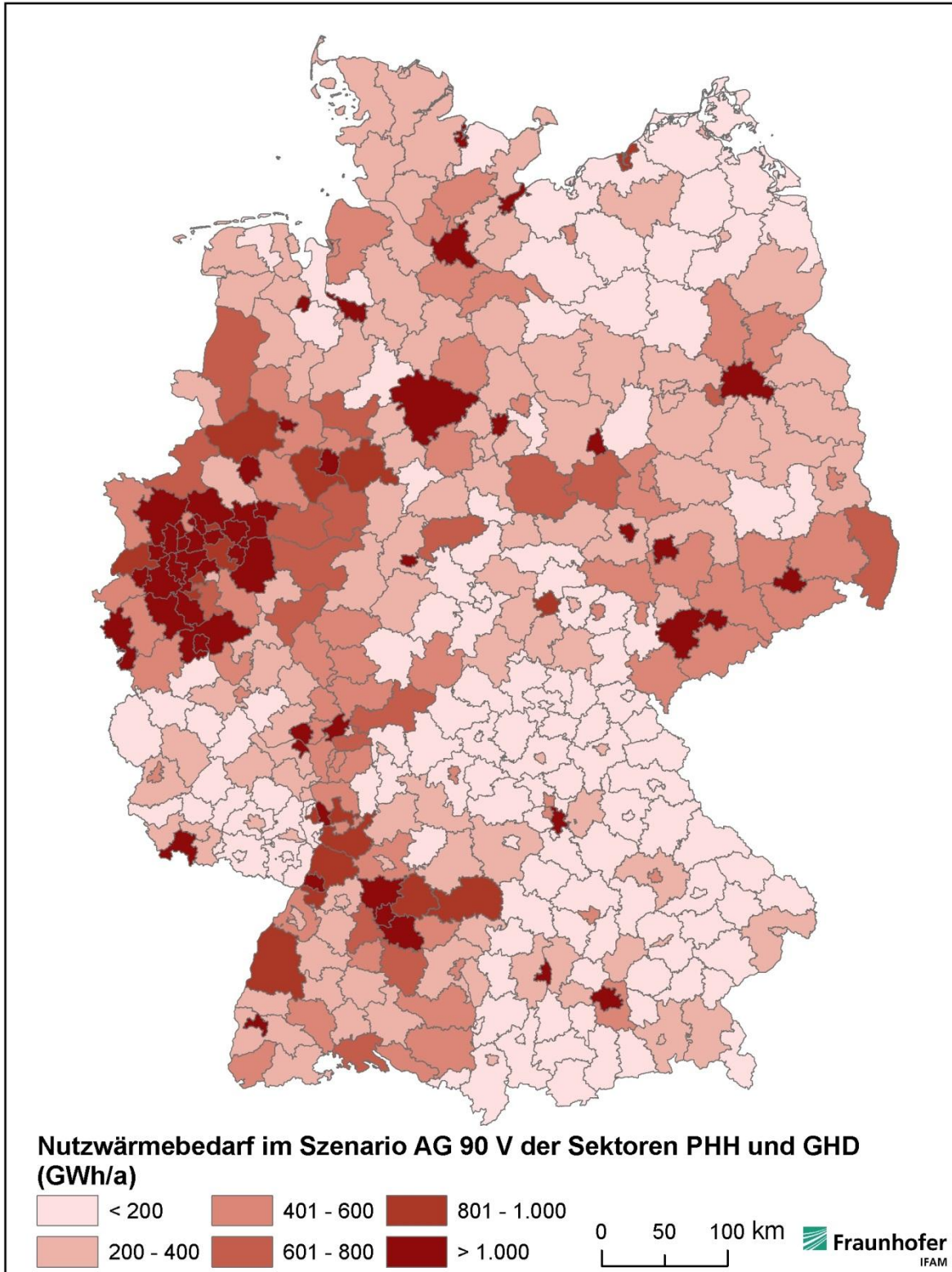
Abbildung 26: Anteil der Stadtkategorien am wirtschaftlichen KWK-Potenzial im Szenario AG 90 V bezogen auf den versorgten Nutzwärmebedarf



Quelle: IFAM 2014

Für die volkswirtschaftliche Variante zeigt Abbildung 27 die räumliche Verteilung der Potenziale. Wenig überraschend gibt es hohe strukturelle Ähnlichkeiten mit der Karte des Nutzwärmebedarfs der untersuchten Sektoren (vgl. Abbildung 17). Auf die Darstellung der betriebswirtschaftlichen Variante kann verzichtet werden, weil sich beide Karten strukturell sehr ähneln – nach der erforderlichen Anpassung der Klassengrenzen.

Abbildung 27: Karte der wirtschaftlichen Fernwärme-KWK-Potenziale bei volkswirtschaftlicher Sicht und einem Anschlussgrad von 90 %



Quelle: IFAM 2014

Unter Berücksichtigung der Netzverluste (10 %), des Spitzenkesselanteils an der ins Netz eingespeisten Wärmemenge (25 %) sowie einer mittleren Stromkennzahl (0,88) lassen sich die KWK-Erzeugungsmengen dieser Potenziale abschätzen (Tabelle 21). Die Potenziale bei volkswirtschaftlicher Betrachtung betragen rund das 1,6-fache derjenigen bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung.

Die Ergebnisse bezeichnen jeweils die in einem Szenario maximal erreichbaren Mengen. In der Modellrechnung wird dieser Endausbau erreicht, nachdem ein Erneuerungszyklus der dezentralen, ersetzten Bestandsheizungen abgeschlossen ist, dies ist kurz vor dem Jahr 2030 der Fall. Vom Markt verdrängt würden vor allem Öl- und Gaskessel.

Tabelle 21: Fernwärme-KWK-Potenziale in Deutschland bei einem Anschlussgrad von 90 %

Betrachtungsweise	Fernwärme-KWK-Potenzial	Einheit	Wert
betriebswirtschaftlich	KWK-Wärmeerzeugung	TWh/a	128
betriebswirtschaftlich	KWK-Stromerzeugung	TWh/a	113
volkswirtschaftlich	KWK-Wärmeerzeugung	TWh/a	207
volkswirtschaftlich	KWK-Stromerzeugung	TWh/a	182

Quelle: IFAM 2014

Die entsprechenden Zahlen für die Szenarien mit einem Anschlussgrad von 45 % liefert Tabelle 22.

Tabelle 22: Fernwärme-KWK-Potenziale in Deutschland bei einem Anschlussgrad von 45 %

Betrachtungsweise	Fernwärme-KWK-Potenzial	Einheit	Wert
betriebswirtschaftlich	KWK-Wärmeerzeugung	TWh/a	29
betriebswirtschaftlich	KWK-Stromerzeugung	TWh/a	25
volkswirtschaftlich	KWK-Wärmeerzeugung	TWh/a	47
volkswirtschaftlich	KWK-Stromerzeugung	TWh/a	41

Quelle: IFAM 2014

5.1.1.11 Bewertung der Ergebnisse zur Fernwärme-KWK

Betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise

Das betriebswirtschaftliche Potenzial der KWK-Stromerzeugung bei AG 90 (113 TWh/a) entspricht etwa gut dem Doppelten des derzeitigen Standes der Stromerzeugung der allgemeinen Versorgung (50 TWh/a, siehe Tabelle 47); die Wärmeerzeugungsmenge (128 TWh/a) ist doppelt so hoch wie die für KWK-Anlagen dem AGFW-Hauptbericht (umfasst den Markt nicht vollständig) entnehmbaren Wärmeeinspeisemenge (64 TWh/a).

Bei einem praxisnahen Anschlussgrad von 45 % wird nur rund die Hälfte des heutigen Niveaus erreicht. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Potenzialberechnungen die notwendigen Netze mit den Vollkosten beinhalten und nicht von ganz oder teilweise abgedeckten Verteilnetzen ausgehen. Grob vereinfacht besagt das Ergebnis, dass ohne bestehende Fernwärmestrukturen diese wirtschaftlich in der heute existierenden Größenordnung nur bei recht hohen Anschlussquoten aufgebaut werden könnten; bei einem Anschlussgrad in der Größenordnung vieler bestehender Fernwärmesysteme gelänge dies nicht.

Volkswirtschaftliche Betrachtungsweise

Ein Vergleich mit der letzten, für diesen Teilbereich vom Bremer Energie Institut durchgeführten, nationalen KWK-Potenzialstudie (BEI, 2005) ist nur mit Einschränkungen möglich. Etliche Rahmenbedingungen bzw. Eingangsdaten haben sich geändert; es wurden zudem andere Szenarien betrachtet. Auch die Methodik weist erhebliche Unterschiede auf; damals war bspw. die Berücksichtigung der räumlichen Lage von Clustern ebenso wenig erfassbar wie die exakte Gebäudezusammensetzung in den Siedlungszusammenhängen. Bei der Ergebnisdarstellung wurde in 2005 der FW-Bestand mitgezählt, was bei den Werten in den obigen Tabellen nicht der Fall ist.

In 2005 belief sich das errechnete Potenzial der KWK-Wärmeerzeugung für die Fernwärme-KWK bei volkswirtschaftlicher Betrachtung auf 199 - 233 TWh/a. Diese Größenordnung wird durch den jetzt errechneten Wert in Höhe von 207 TWh/a bestätigt.

Eine weitere Bewertung der Potenziale erfolgt zusammen mit den Potenzialen der Objekt-KWK in Abschnitt 5.1.3.

5.1.2 Potenziale der Objekt-KWK

Die Ermittlung der Potenziale zur wirtschaftlichen Nutzung von Objekt-KWK greift auf Ergebnisse der modellhaften Kosten-Nutzen-Analyse sowie der Siedlungs-KWK-Potenzialermittlung zurück. Die Datengrundlage der Mengengerüste bilden wie bei der Ermittlung der leitungsgebundenen KWK-Potenziale die Daten der 41 Modellstädte, zu denen dem IFAM gebäudescharfe Angaben vorliegen, sowie Daten aus der bundesweiten Statistik.

5.1.2.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Das Potenzial der Objekt-KWK wird, ebenso wie das Potenzial der leitungsgebundenen KWK, zunächst anhand der Modellstädte für die bereits beschriebenen Stadtkategorien ermittelt und schließlich auf Ebene der Gemeindeverbände / Städte hochgerechnet (vergleiche das Schemabild in Abbildung 16). Zur Berechnung der deutschlandweiten Potenziale werden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Aus der Stadtclustering sowie den Ergebnissen der Fernwärme-KWK-Potenziale werden die **Mengengerüste** für die Wirtschaftlichkeitsprüfung einer Objekt-KWK-Lösung gebildet und aufbereitet.
- Es werden acht **Gebäudetypen /Anwendungsfälle definiert**. Die Gebäudetypen sind durch typische Kennwerte in Bezug auf ihren Wärmebedarf gekennzeichnet. Die Bildung dieser Typen geschieht mit Blick auf die verfügbare Differenzierung der Datenbasis in den Mengengerüsten.
- Im Rahmen eines **Vollkostenvergleichs**, der auf den Erkenntnissen der Kosten-Nutzen-Analyse aufbaut, wird für jeden Gebäudetyp der **Mindestwärmebedarf** ermittelt, den ein Gebäude aufweisen muss, damit eine Versorgung über Objekt-KWK günstiger ist als die Versorgung mit einem Gaskessel. Die Berechnungen werden sowohl aus volks- als auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht durchgeführt.
- Für jedes Gebäude aus den Mengengerüsten erfolgt die **Prüfung auf Wirtschaftlichkeit** aus volks- sowie betriebswirtschaftlicher Sicht durch einen Vergleich des Wärmebedarfs mit dem je nach Gebäudetyp unterschiedlichen Mindestwärmebedarf.
- Für die wirtschaftlichen Fälle wird die KWK-Anlagengröße berechnet, was zur jeweiligen Stromkennzahl führt. So lassen sich die **KWK-Erzeugungsmengen Wärme und Strom** für jedes Objekt ermitteln und anschließend aufaddieren.
- Diese Ergebnisse werden genutzt, um für die 9 **Stadtkategorien** Potenziale zu ermitteln und daraus schließlich das Potenzial für Objekt-KWK auf Ebene der Gemeindeverbände und Städte für ganz **Deutschland** hochzurechnen.

5.1.2.2 Mengengerüstbildung und Abgrenzung zu den Fernwärme-KWK-Potenzialen

Bei der Erstellung der Mengengerüste sowie den darauf aufbauenden Arbeitsschritten der Ermittlung des Potenzials auf Ebene der Stadtkategorien und der Hochrechnung auf Deutschland muss sichergestellt sein, dass Doppelzählungen in den Mengengerüsten zwischen der leitungsgebundenen KWK und der Objekt-KWK vermieden werden. Nach der Clusterung der Städte verbleibt eine hinsichtlich des Gesamtwärmebedarfs einer Stadt geringe Restmenge an Gebäuden, die sich außerhalb derjenigen Cluster befindet, für die anschließend eine Fernwärme-KWK-Anlage analysiert wird. Diese steht uneingeschränkt für die Option einer Objekt-KWK zur Verfügung.

Als Ergebnis der Fernwärme-KWK-Analysen ergibt sich in Abhängigkeit des jeweiligen Szenarios für jedes der 1.403 Cluster, ob sich eine wirtschaftliche Lösung darstellen lässt oder nicht. Für die beiden wichtigeren Szenarien mit einem Anschlussgrad von 90 %

werden diejenigen Cluster ermittelt, in denen dies nicht gegeben ist (952 bei volkswirtschaftlicher und 1.138 bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung). Es handelt sich dabei vor allem um sehr kleine Cluster in Bereichen von weniger dichten Bebauungssituationen, was die vergleichsweise hohe Anzahl erklärt. Aus dieser Datenbasis werden dann die sehr großen Mengen aller Gebäude herausgefiltert, die sich in einem dieser Cluster befinden. Im Ergebnis liegen anschließend für jede Modellstadt zwei Listen mit allen Gebäuden vor, die ebenfalls auf die Wirtschaftlichkeit einer Objekt-KWK zu prüfen sind.

Durch dieses Verfahren ist sichergestellt, dass sich die Teilpotenziale der Fernwärme-KWK und der Objekt-KWK nicht überlappen und bei der späteren Zusammenführung Mehrfachzählungen ausgeschlossen sind.

Bevor die Daten, die auf Ebene der Einzelgebäude für die Modellstädte vorliegen, für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nutzbar sind, muss eine Aufbereitung durchgeführt werden. Die Betrachtung auf Einzelobjektebene wird zugunsten von adressweiser Addition einzelner Attribute aufgelöst. Aus den Geobasisdaten gehen die Daten auf Ebene von Einzelobjekten hervor. Ein Objekt entspricht jedoch nicht immer einem Gebäude und insbesondere nicht einem Wärmeversorgungsverbund. Der Gesamtkomplex aller Einzelgebäude unter einer Adresse entspricht der Einheit, für die eine Wärmeversorgung vergleichend betrachtet wird. Ein Beispiel ist in Abbildung 73 im Anhang (Abschnitt 9.2.1) dargestellt. Die gelb hinterlegten Gebäude haben alle dieselbe Adresse. Ohne weitere Aufbereitung der Daten würde die Wirtschaftlichkeit für 6 Einzelobjekte betrachtet. In der Realität handelt es sich zwar um 6 einzelne Objekte bzw. Gebäudeteile, allerdings würden sehr wahrscheinlich alle Objekte mit einer gemeinsamen KWK-Anlage versorgt werden.

Neben dem Wärmebedarf wird insbesondere die Nutzungsart bzw. die Zuordnung zu einem der acht Gebäudetypen auf Ebene der Adressverbände angepasst. Zunächst wird jedes Einzelobjekt anhand der Nutzungsart, die aus den Geobasisdaten hervorgeht, einem der acht Gebäudetypen zugeordnet. Innerhalb einer Adresse kann es Objekte mit unterschiedlichen Nutzungsarten geben. Auf Ebene des Adressverbandes verbleibt der Gebäudetyp, auf den der größte Anteil der Wärmemenge entfällt.

Der Anteil, der in den einzelnen Stadtkategorien für die Versorgung mit Objekt-KWK in Frage kommt, steigt mit sinkender Stadtgröße an. Das betrifft sowohl den Grundstock der Gebäude, die außerhalb der potenziell für Fernwärme in Frage kommenden Cluster liegen, als auch die additiven Mengen aus den nicht wirtschaftlichen Clustern. Die Bebauungsstruktur in den größeren Städten ist tendenziell kompakter, so dass die leitungsgebundene

KWK einen höheren wirtschaftlichen Anteil erreicht und damit die Mengen, die in dieser Betrachtungsweise für eine Versorgung mit Objekt-KWK zur Verfügung stehen, entsprechend sinken.

5.1.2.3 Festlegung von Gebäudetypen / Anwendungsfällen

Im Rahmen dieser Untersuchung ist eine Überprüfung der Wirtschaftlichkeit einer Objekt-KWK-Lösung auf Ebene der Einzelobjekte mit der enormen Bandbreite an spezifischen Nutzungsarten, die zu individuellen Dauerlinien des Wärmebedarfs führen, nicht möglich. Daher werden Gebäudenutzungen anhand von typischen Kennwerten zu acht typischen Anwendungsfällen zusammengefasst.

Bei der Bildung der Gebäudetypen spielen vor allem zwei Überlegungen eine Rolle: Zum einen muss gewährleistet sein, dass die Nutzungsarten, die zu einem Gebäudetyp zusammengefasst werden, sich durch einen ähnlichen Verlauf der Dauerlinien des Wärmebedarfs auszeichnen. Zum anderen muss die Einteilung in die Gebäudetypen über die Mengengerüste der Modellstädte auch möglich sein. Aus den Modellstädten liegen Daten auf Ebene der Einzelgebäude aus Geobasisdaten (LoD1, ALK, ALKIS) vor. Die Nutzungsarten, die in den Geobasisdaten angegeben werden, sind zwar innerhalb der Städte vergleichbar, jedoch sind die verwendeten Objektschlüssel zwischen den Städten zum Teil unterschiedlich. Die Abgrenzung zwischen Wohngebäuden und Gebäuden für GHD ist aus den Daten zumeist sehr gut ablesbar. Schwieriger ist die Differenzierung der Nutzung der Nichtwohngebäude. Für bestimmte Nutzungsarten, wie beispielsweise Schulen oder öffentliche Gebäude ist eine Differenzierung gut möglich; ca. 80 % aller Nichtwohngebäude sind jedoch großen Sammelkategorien wie etwa „Gebäude für Gewerbe und Industrie allgemein“ zugeordnet (vgl. IFAM, 2014).

Es werden die folgenden sieben Gebäudetypen sowie eine achte Sammelkategorie für alle sonstigen Gebäude gebildet:

- Ein- und Zweifamilienhäuser,
- Mehrfamilienhäuser,
- Bildungs- und Forschungseinrichtungen,
- Gesundheitseinrichtungen und Wohnheime,
- büroähnliche Einrichtungen,
- Hallenbäder,
- Gewerbe,
- sonstige Gebäude.

Die Gruppe der sonstigen Gebäude ist so inhomogen, dass es keine repräsentative Jahresdauerlinien und Auslegungswerte gibt.

Deshalb wird näherungsweise mit den Ansätzen des Gewerbes gerechnet.

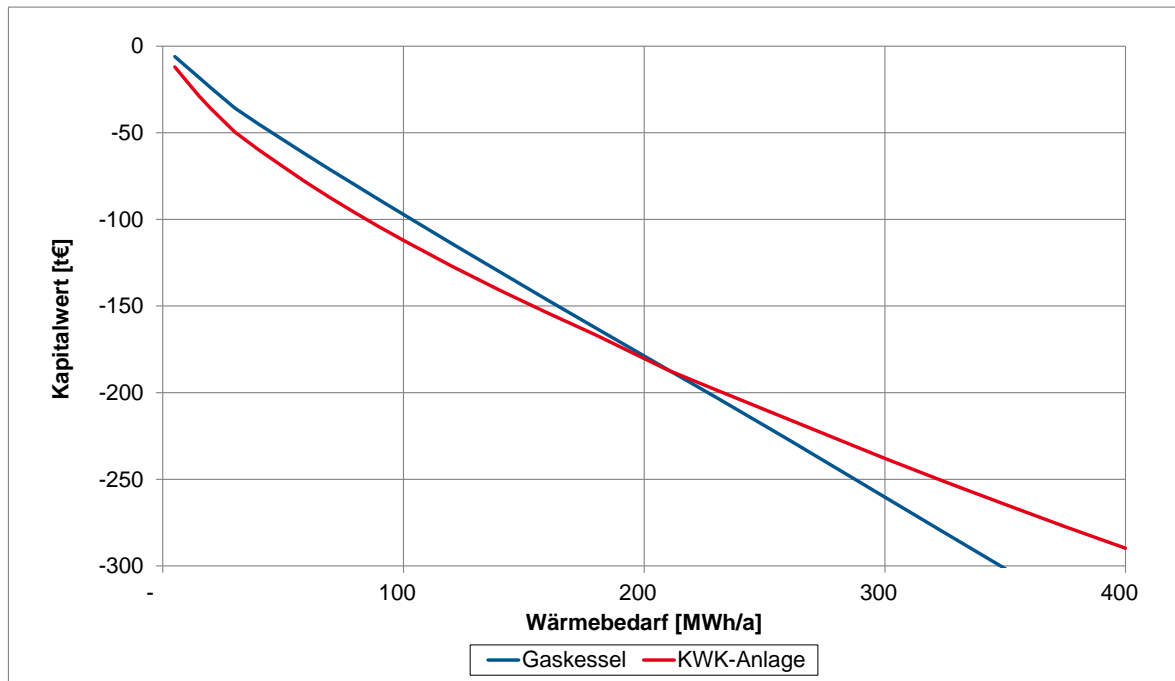
5.1.2.4 Ermittlung des erforderlichen Wärmebedarfs der Gebäudetypen

Für die sieben definierten Gebäudetypen werden repräsentative Ganglinien des Wärmebedarfs aus dem Auslegungs-Programm BHKW-Plan (BHKW, 2011) entnommen. Die sich daraus ergebenden Dauerlinien sowie typische Kennwerte für die Auslegung der KWK-Anlagen sind den Steckbriefen in Abbildung 74 im Anhang (Abschnitt 9.2.1) zu entnehmen.

Bei der Bestimmung der thermischen Leistung der KWK-Anlage wird einerseits eine möglichst hohe Zahl an Volllaststunden angestrebt, um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen; andererseits sollte aber der Anteil der KWK-Anlage an der Deckung des Jahreswärmebedarfs nicht zu gering sein, damit der Erzeugungsanteil des Gaskessels nicht zu hoch ausfällt. Bei der Stromeigennutzungsquote wurden eigene Erfahrungswerte sowie die der beteiligten Projektpartner genutzt. Für den Gebäudetyp *Gewerbe* wird pauschal ein Prozesswärmeanteil von 25 % am Jahreswärmebedarf berücksichtigt. Zu betonen ist, dass es sich bei den verwendeten Kennzahlen um Kompromisse handelt, die typische bzw. mittlere Werte für alle Versorgungsobjekte eines Gebäudetyps darstellen.

Zur Ermittlung der jeweils erforderlichen Wärmebedarfsmenge eines Gebäudes wird wie auch bei der Kosten-Nutzen-Analyse eine Vollkostenbetrachtung durchgeführt. Die Höhe der einzelnen Kostenpositionen, wie z. B. die erforderliche Investition der KWK-Anlage werden unter anderem mithilfe der in Abschnitt 4.2.2 gebildeten Ausgleichsfunktionen bestimmt. Sowohl für die Versorgungsoption mit einem Gaskessel als auch mit einer KWK-Anlage wird in Abhängigkeit des Wärmebedarfs der Kapitalwert über einen Zeitraum von 30 Jahren errechnet. Dies ist in Abbildung 28 beispielhaft für den Gebäudetyp 4 *Gesundheitseinrichtungen und Wohnheime* für die betriebswirtschaftliche Betrachtung dargestellt. Der Schnittpunkt der beiden Linien gibt die Wärmemenge an, ab der eine Versorgung mit einer KWK-Anlage wirtschaftlicher ist als mit einem Gaskessel. Die resultierenden Wärmemengen sowohl für die volkswirtschaftliche als auch für die betriebswirtschaftliche Betrachtung sind ebenfalls den Steckbriefen (Abbildung 74 in Abschnitt 9.2.1) zu entnehmen.

Abbildung 28: Ermittlung des erforderlichen Wärmebedarfs für den Gebäudetyp 4 Gesundheitseinrichtungen und Wohnheime



Quelle: IFAM, 2014

Für die Wohngebäude ergeben sich bei beiden Gebäudetypen Schnittpunkte, die deutlich oberhalb des realistischen Wärmebedarfs von Gebäuden dieses Typs liegen. Daher sind die erforderlichen Wärmemengen in diesen Fällen nicht in den Steckbriefen aufgeführt; d. h. es gibt kein wirtschaftliches Potenzial.

Bei allen GHD-Gebäudetypen liegt der erforderliche Wärmebedarf (also die Objektgröße) im volkswirtschaftlichen Fall über dem der betriebswirtschaftlichen Betrachtung. In erster Linie ist dies in der unterschiedlich hohen Einsparung durch den Eigenverbrauch des erzeugten Stroms begründet. Während bei der betriebswirtschaftlichen Betrachtung auch Strompreiskomponenten wie die Stromsteuer eingespart werden können, ist dies bei der volkswirtschaftlichen Betrachtung nicht der Fall. Auch bei einem Vergleich der Grenzwerte der verschiedenen Gebäudetypen untereinander wird deutlich, dass die Stromeigennutzungsquote von zentraler Bedeutung auf die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage ist; je höher der Eigennutzungsanteil ausfällt, umso kleiner ist der erforderliche Mindestwärmebedarf des Gebäudes. So zeigt sich auch später bei den Berechnungen, dass die „Erfolgsquote“ bei der Kategorie 4 *Gesundheitseinrichtungen und Wohnheime* am höchsten ist. Bei den Mehrfamilienhäusern führt die niedrige Quote von 10 % umgekehrt dazu, dass sich zu hohe Mindestbedarfswerte ergeben.

5.1.2.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Potenziale in den Stadtkategorien

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beruhen auf der Wärmemenge, die ein Adressverbund mindestens aufweisen muss, damit eine Versorgung mit einer KWK-Anlage wirtschaftlich ist, und die für jeden Gebäudetyp ermittelt wurden. Für jeden Adressverbund wird individuell nach der Wärmemenge und der Zuordnung zum Gebäudetyp überprüft, ob diese Bedingung gegeben ist. Die Betrachtung erfolgt für die folgenden Szenarien und Mengengerüste:

- Adressverbände, die außerhalb der für die leitungsgebundene KWK in Frage kommenden Cluster liegen (betriebs- und volkswirtschaftliche Sicht), bilden den „Sockel“,
- Adressverbände, die in Clustern liegen, die für eine leitungsgebundene Versorgung im betriebswirtschaftlichen Szenario bei einem Anschlussgrad von 90 % nicht wirtschaftlich sind (betriebswirtschaftliche Sicht),
- Adressverbände, die in Clustern liegen, die für eine leitungsgebundene Versorgung im volkswirtschaftlichen Szenario bei einem Anschlussgrad von 90 % nicht wirtschaftlich sind (volkswirtschaftliche Sicht).

Anschließend sind die wirtschaftlichen Mengen aus dem Sockel und die Szenarien abhängigen Clustermengen aufzuaddieren. So wird für jede Stadtkategorie in den entsprechenden Szenarien die Höhe des Anteils der Wärmemenge ermittelt, für die eine Versorgung mit Objekt-KWK wirtschaftlich ist; gemessen an der Wärmemenge, die im entsprechenden Mengengerüst für eine Versorgung mit Objekt-KWK in Frage kommt (Tabelle 85 im Anhang in Abschnitt 9.2.1). In der Kategorie VIII liegt nur eine Modellstadt, bei der die für diesen Arbeitsschritt benötigten Daten nicht die erforderliche Auflösung haben. Das ermittelte Potenzial lässt sich daher nicht ermitteln. Für die Hochrechnung auf das Potenzial Deutschlands werden deshalb die Werte der Kategorie V angesetzt, die in Bezug auf die Zahl der Einwohner mit den Städten der Kategorie VIII gut vergleichbar sind.

Für beide Betrachtungsweisen wird dann für die Stadtkategorien jeweils der Anteil der Wärme, der wirtschaftlich mit Objekt-KWK versorgt werden kann, am Gesamtwärmebedarf der Stadtkategorie ermittelt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 23. Die Anteile bei volkswirtschaftlicher Betrachtungsweise liegen aus zwei Gründen deutlich niedriger: die „Erfolgsquote“ der untersuchten Teilmengen (siehe Tabelle 85) ist deutlich niedriger, weil die Grenzwerte der erforderlichen Gebäudewärmemengen merklich ansteigen; zudem sind die zur Verfügung stehenden (Cluster-)Mengen wesentlich geringer (vergleiche Abbildung 24).

Tabelle 23: Anteil mit wirtschaftlicher Objekt-KWK erschließbarer Wärmemengen je Stadtkategorie am Gesamtwärmebedarf einer Stadt in den Szenarien AG 90 B und AG 90 V

Stadtkategorie	Betriebswirtschaftlich	Volkswirtschaftlich
I	3,4 %	0,8 %
II	3,3 %	0,7 %
III	5,2 %	0,6 %
IV	4,3 %	0,8 %
V	4,8 %	1,2 %
VI	5,6 %	0,8 %
VII	4,7 %	1,3 %
VIII	4,8 %	1,2 %
IX	4,4 %	0,0 %

Quelle: IFAM 2014

5.1.2.6 Hochrechnung auf Deutschland

Die auf Ebene der Stadtkategorien ermittelten Potenziale werden schließlich auf Deutschland für die AG 90 Szenarien⁷ hochgerechnet. Als Grundlage dienen die für die leitungsgebundene KWK ermittelten Wärmebedarfswerte auf Ebene der Gemeindeverbände und Städte. Durch eine Multiplikation mit den Potenzialanteilen des wirtschaftlichen Potenzials gemäß Tabelle 23 ergibt sich für jeden Gemeindeverbund ein wirtschaftlich realisierbares Potenzial für eine Versorgung mit Objekt-KWK. Es ist in Tabelle 24 dargestellt.

Das wirtschaftliche Potenzial für Objekt-KWK in Deutschland liegt bezogen auf den adressierten Nutzwärmebedarf bei:

- 32,6 TWh/a bei betriebswirtschaftlicher Betrachtungsweise,
- 4,3 TWh/a bei volkswirtschaftlicher Betrachtungsweise.

Die Gründe, warum die Potenziale bei betriebswirtschaftlicher Rechnung höher liegen als bei volkswirtschaftlicher, wurden bereits im Abschnitt vor Tabelle 23 dargelegt.

⁷ Hinweis: Ein Fernwärme-Anschlussgrad von 90 % bezieht sich nur für die wirtschaftlichen Cluster, nicht auf die Stadt insgesamt (vergleiche Abschnitt 5.1.1.7).

Tabelle 24: Wirtschaftlich erschließbares Objekt-KWK-Potenzial (Nutzwärmebedarf) in Deutschland in den Szenarien AG 90 B und AG 90 V

Stadtkategorie	Betriebswirtschaftlich	Volkswirtschaftlich
	TWh/a	TWh/a
I	4,0	0,9
II	2,2	0,5
III	2,4	0,3
IV	1,9	0,3
V	6,4	1,6
VI	0,4	0,1
VII	1,1	0,3
VIII	1,2	0,3
IX	13,0	0,0

Quelle: IFAM 2014

Aus der Einzelbetrachtung der wirtschaftlichen Fälle ergeben sich über die KWK-Anlagengröße und die zugehörige Stromkennzahl die KWK-Erzeugungsmengen Wärme und Strom auf Einzelgebäudeebene. Diese lassen sich nach Kategorien zusammenführen zu mengengewichteten Mittelwerten in Bezug auf die Wärmenachfrage. Nach Anwendung auf die in Tabelle 24 angegebenen Werte resultieren KWK-Strom- und Wärmeerzeugungsmengen gemäß Tabelle 25. Im Mittel ergeben sich Stromkennzahlen in Höhe von 0,67 bei betriebswirtschaftlicher und 0,80 bei volkswirtschaftlicher Betrachtungsweise.

Tabelle 25: Objekt-KWK-Potenziale in Deutschland in den Szenarien AG 90 B und AG 90 V

Betrachtungsweise	Objekt-KWK-Potenzial	Einheit	Wert
betriebswirtschaftlich	KWK-Wärmeerzeugung	TWh/a	20,9
betriebswirtschaftlich	KWK-Stromerzeugung	TWh/a	14,1
volkswirtschaftlich	KWK-Wärmeerzeugung	TWh/a	3,3
volkswirtschaftlich	KWK-Stromerzeugung	TWh/a	2,7

Quelle: IFAM 2014

Da die Berechnung dieser Potenziale sehr aufwändig ist, unterbleibt sie für die zur Ermittlung der maximalen KWK-Potenziale in den Sektoren Private Haushalte und GHD nicht relevanten AG 45 Szenarien. Wie aus Tabelle 19 ersichtlich ist, reduzieren sich die Anteile der wirtschaftlichen Fernwärme-KWK-Potenziale in den AG 45 Szenarien auf rund die Hälfte. Somit stehen etwa doppelt so hohe Wärmemengenanteile für die Objekt-KWK zur Verfügung. Unter der Annahme, dass diese eine ähnliche Gebäudezusam-

mensetzung aufweisen wie die für Tabelle 25 untersuchten Cluster, würden sich die hier angegebenen Potenziale entsprechend in etwa verdoppeln.

5.1.2.7 Bewertung der Ergebnisse zur Objekt-KWK

Bei der Objekt-KWK sind die Potenziale bei volkswirtschaftlicher Sicht sehr klein, was u. a. aus den hohen Potenzialen bei der Fernwärme-KWK resultiert. Betriebswirtschaftlich liegen sie deutlich höher. In beiden Fällen beschränken sie sich auf den Nichtwohngebäudebereich.

In Tabelle 62 wird für KWK unter 1 MW_{el} für 2014 ein Wert für die KWK-Nettostromerzeugung in Höhe von 6 TWh genannt (wobei berücksichtigt werden muss, dass die für die *Allgemeine Versorgung* genannte Menge noch weitere kleine Mengen von BHKW-Anlagen enthält). Ein Vergleich mit den Potenzialen belegt, dass sich bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung Zubaumengen ergeben.

Bei den ausgewiesenen KWK-Potenzialen handelt es sich um wirtschaftliche Potenziale. Allerdings gibt es im Bereich der Objektversorgung und dort vor allem im Sektor der privaten Haushalte viele Entscheider, die aus verschiedenen Gründen KWK-Anlagen einbauen lassen, auch wenn sie nach den hier angelegten Kriterien (betriebswirtschaftlicher Zinssatz 8 %) nicht wirtschaftlich sind. In etlichen Fällen genügt der Nachweis, keinen Verlust zu machen (Zinssatz 0 %), für eine Kaufentscheidung aus; ggfs. sind auch moderate Mehrkosten akzeptabel. Daraus ergibt sich, dass in der Praxis KWK-Anlagen außerhalb des hier als wirtschaftlich ausgewiesenen Potenzials errichtet werden.

In Deutschland wurden im Mittel der letzten 10 Jahre (2003 bis 2013) durchschnittlich 675.000 Wärmeerzeuger pro Jahr erneuert (BDH, 2014); laut Jahresbilanz der deutschen Heizungsindustrie sind im Jahr 2013 insgesamt 686.500 Wärmeerzeuger abgesetzt worden. Bei dieser sehr hohen Zahl an Heizungserneuerungen würde ein KWK-Anteil im kleinen einstelligen Bereich bereits zu einer fünfstelligen Zahl an KWK-Anlagen führen. Dies verdeutlicht, dass hier ein zusätzliches Potenzial in relevanter Größenordnung und mit enormen Wachstumschancen liegt. Jedoch muss stets berücksichtigt werden, dass eine große Zahl an solchen Kleinanlagen im kW-Leistungsbereich erforderlich ist, um den gleichen KWK-Strom-/Wärme-Mengeneffekt zu erzielen wie eine Anlage in einem größeren Nah-/Fernwärmesystem im MW-Leistungsbereich.

5.1.3 Fazit: Potenziale in den Sektoren Private Haushalte und GHD

Durch Addition der beiden Teilpotenziale Fernwärme- und Objekt-KWK ergeben sich die Gesamtpotenziale in den Sektoren Private Haushalte und GHD. Die Ergebnisse für die Szenarien mit 90 % Anschlussgrad sind in Tabelle 25 zusammengestellt, gerundet auf volle TWh/a. Die Ergebnisse für die AG 45 Szenarien werden an dieser Stelle nicht angeführt, da diese für die Objekt-KWK nur grob geschätzt wurden. Die Teilmengenergebnisse finden sich in den entsprechenden Abschnitten.

Tabelle 26: KWK-Potenziale in Deutschland in den Szenarien AG 90 B und AG 90 V

Erzeugungspotenzial	betriebswirtschaftlich	Anteil	volkswirtschaftlich	Anteil
	TWh/a	%	TWh/a	%
KWK-Wärme Fernwärme-KWK	128	86	207	99
KWK-Wärme Objekt KWK	21	14	3	1
Summe KWK-Wärme	149		210	
KWK-Strom Fernwärme-KWK	113	89	182	98
KWK-Strom Objekt KWK	14	11	3	2
Summe KWK-Strom	127		185	

Quelle: IFAM 2014

Es zeigt sich, dass bei volkswirtschaftlicher Betrachtungsweise die Objekt-KWK-Potenziale keine Rolle spielen. Grund dafür ist vor allem der hohe Anteil wirtschaftlicher Fernwärme-KWK-Cluster bei dem Anschlussgrad 90%, wodurch nur noch relativ geringe Gebäudemengen für die dezentrale KWK-Versorgung verbleiben – ein Ergebnis der hier gewählten Priorisierung der leitungsgebundenen KWK-Versorgung, die auch anders getroffen werden könnte.

Bei der betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise entfallen auf die Objekt-KWK rund 14 % der Gesamtpotenzialmenge (bezogen auf KWK-Wärmeerzeugung) bzw. 11 % bezogen auf die KWK-Stromerzeugung. Eine im Vergleich zur volkswirtschaftlichen Rechnung deutlich schlechtere Wirtschaftlichkeit bei der Fernwärme-KWK einerseits und eine deutlich bessere Wirtschaftlichkeit bei der Objekt-KWK andererseits führen in der Summe zu dieser Verteilung.

Im Rahmen der Bewertung der beiden Teilpotenzialmengen (Fernwärme-KWK in Abschnitt 5.1.1.11, Objekt-KWK in Abschnitt 5.1.2.7) erfolgte bereits der Bezug zu dem jetzigen Ausbauzustand.

Die dargestellten Potenziale entwickeln sich natürlich nicht automatisch, nur weil sie unter den hier vorgegebenen Rahmendaten wirtschaftlich sind. Andere eigene Annahmen der umsetzenden Akteure können zu ggfs. deutlich anderen Ergebnissen führen. Hinzu kommen viele weitere nicht monetäre Hindernisse.

Bei der Objekt-KWK sind die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen noch relativ transparent, da sie sich auf der Basis eines bekannten Bedarfsprofils eines Einzelobjektes, einer dazu dimensionierbaren KWK-Anlage und einen fixen Investitionszeitpunkt ergeben.

Deutlich anders ist die Situation bei der Fernwärme-KWK-Potenzialen. Sie müssen unter Unbundling-Bedingungen über viele Jahre entwickelt werden für Bedarfs- und Kundenmengen, die stets nur geschätzt werden können und ein ganz erhebliches wirtschaftliches Risiko bei einer Nichterreicherung darstellen; was regelmäßig dazu führt, dass eigentlich vorhandene Potenziale nicht realisiert werden. Die Ablösung von Gaskunden muss aus unternehmerischer Sicht bewertet werden; dabei spielt der Aspekte der Kundenbindung eine wichtige Rolle.

Grundsätzlich ist eine flächendeckende Versorgung mit nur einer Wärmeversorgungsart anzustreben, weil sich hierüber Kostenoptima bilden. Aktuell sind Städte allerdings noch in hohem Maße durch parallele Gas- und Fernwärmeinfrastrukturen gekennzeichnet. Dies führt zu Wahlmöglichkeiten auf der Kundenseite, für beide Netzsysteme jedoch zu verteuern den Minderauslastungen. Anschlussgrade von 90 % setzen in aller Regel eine entsprechende politische Flankierung bei den Rahmenbedingungen voraus.

5.2 Potenziale der industriellen KWK inklusive Abwärmenutzung

Die Potenziale der industriellen KWK wurden für zwei Fälle ermittelt. Zunächst wurde eine mögliche Referenz-Entwicklung (Basis-Szenario) skizziert und danach eine Politik-treibende Variante angenommen (vgl. Abschnitt 5.2.4).

Das Basis-Szenario geht im Wesentlichen von einem Fortbestand der heute gültigen wesentlichen Randbedingungen aus. Es unterstellt den Fortbestand politischen Willens zur Realisierung der mittels KWK erzielbaren Effizienz- und Klimaschutz-Zugewinne und beschreibt eine mögliche Entwicklung der industriellen KWK bei wahrscheinlicher Wirtschaftsentwicklung unter Berücksichtigung absehbarer technologischer und struktureller Veränderungen in der deutschen Industrie.

Man könnte die industrielle KWK-Entwicklung zusätzlich zur Basis-Variante beschleunigen, wenn die Politik und die Wirtschaft aus verschiedenen energie- und klimapolitischen Gründen dies wollte.

Deshalb wird zusätzlich eine weitere Szenarien-Variante der KWK-Entwicklung skizziert. Diese setzt die gleiche wirtschaftliche Entwicklung der Industrie voraus, auch die gleiche Energieeffizienz- und andere angesprochenen technischen Entwicklungen. Sie unterscheidet sich im Wesentlichen durch die schnellere Diffusion der KWK-Anlagen in jenen Industriezweigen, die noch deutlich in KWK-Anlagen investieren könnten, gemessen an dem Verhältnis von KWK-Wärme und Wärmebedarf <math><300^{\circ}\text{C}</math>. Es wird aber zusätzlicher Förder-, Informations- und Fortbildungsprogramme bedürfen, um diese Politik-Variante zu realisieren.

Das methodische Vorgehen zur Bestimmung der KWK-Potenziale wird im Anhang zu diesem Bericht ausführlich erläutert. Grundlage der Potenzialermittlung ist die

- Analyse des Wärmebedarf bis zu 300°C der einzelnen Branchen im Jahre 2012, der theoretisch durch KWK-Wärme befriedigt werden könnte (vgl. Abschnitte 5.2.1 und 5.2.2)
- sowie die Abschätzung von dessen Entwicklung in den kommenden Dekaden (vgl. Abschnitt 5.2.3).

Darauf aufbauend wurden

- zunächst die möglichen Potenziale der gekoppelten Wärmeerzeugung in den kommenden Jahrzehnten
- und mit Annahmen zu den eingesetzten Techniken und deren spezifischen Verhältnissen von Strom- und Wärmeerzeugung (Stromkennziffer) die resultierende KWK-Stromerzeugung ermittelt.

5.2.1 Wärmebedarf 2012 und dessen künftige Entwicklung

Für das Basisjahr 2012 sind hohe Anteile des KWK-Wärmeanteils im Temperaturbereich bis 300°C in folgenden Branchen zu verzeichnen (vgl. Tabelle 27 und Tabelle 28):

- Grundstoffchemie mit 109 %; hier wird ein Teil der von KWK-Anlagen erzeugten Wärme externen Nutzungen zugeführt, z. B. an benachbarte Betriebe anderer Branchen abgegeben,
- Zellstoff- und Papierindustrie mit 63 % sowie
- Nahrungsmittelindustrie mit 37 %, was insbesondere auf die KWK-Nutzung in der Zuckerindustrie zurückzuführen ist.

Insgesamt wurden im Jahr 2012 etwa 40 % des in Frage kommenden Wärmebedarfs bis 300°C in der Industrie mit KWK-Wärme bedient. Eine genaue Angabe ist auch deshalb nicht möglich, weil die BHKW-Anlagen unter 1 MW statistisch nicht erfasst sind und es offen bleiben muss, wie viele von den etwa 55.000

kleinen BHKW-Anlagen zu welchem Anteil schon 2012 industriellen Wärmebedarf bedienen.

Tabelle 27: Aufteilung des Wärmebedarfs im Jahr 2012 nach Industriebranchen und in Raumwärme bzw. Warmwasser mit unterschiedlichen Temperaturniveaus der benötigten Prozesswärme

Industriesektoren	Raumwärme + Warmwasser	Prozesswärme				
		< 100 °C	100-200 °C	200-300 °C	300-500 °C	> 500 °C
Ernährung und Tabak	20%	37%	41%	2%	0%	0%
Fahrzeugbau	33%	26%	23%	0%	0%	18%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	4%	84%	5%	5%	1%	0%
Glas u. Keramik	4%	3%	0%	0%	4%	89%
Grundstoffchemie	7%	16%	11%	6%	4%	55%
Gummi- und Kunststoffwaren	22%	16%	12%	50%	0%	0%
Maschinenbau	33%	20%	16%	0%	0%	31%
Metallbearbeitung	17%	0%	1%	1%	0%	81%
Metallerzeugung	3%	3%	19%	5%	0%	70%
NE-Metalle. -gießereien	20%	4%	4%	4%	11%	57%
Papiergewerbe	15%	20%	65%	0%	0%	0%
Sonstige chemische Industrie	7%	42%	25%	15%	10%	0%
Sonstige Wirtschaftszweige	33%	19%	12%	17%	0%	19%
Verarbeitung v. Steine u. Erden	4%	0%	5%	1%	0%	90%

Quelle: IREES 2014; verändert nach Wagner 2002 & FfE 2002

Tabelle 28: Energieverbrauch, Brennstoffbedarf für die Wärmeerzeugung bis 300°C und Anteile der KWK-Strom- und Wärmeerzeugung am Strombedarf bzw. der Wärme bis 300°C nach Industriebranchen im Jahr 2012

Industrie-sektoren	Energie-träger	Wärme/Strom-bedarf gesamt im Jahr 2012 in TWh ¹	Wärmebedarf im Jahr 2012 in TWh				Anteil im Jahr 2012 in % der	
			Temperatur-bereich bis 100°C	Temperatur-bereich 100-200°C	Temperatur-bereich 200-300°C	Summe bis 300 °C	KWK-Strom-erzeugung am Stromverbrauch	Wärmeerzeugung am Brennstoff-verbrauch bis 300 °C
Ernährung und Tabak	Strom	18,0	-				14%	
	Brennstoffe	35,9	13,1	14,8	0,8	28,7		37%
Fahrzeugbau	Strom	17,9	-				2%	
	Brennstoffe	15,2	4,0	3,5	-	7,4		1%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	Strom	1,8	-				14%	
	Brennstoffe	2,0	1,7	0,1	0,1	1,9		44%
Glas u. Keramik	Strom	4,9	-				1%	
	Brennstoffe	14,4	0,5	-	-	0,5		3%
Grundstoffchemie	Strom	45,0	-				31%	
	Brennstoffe	84,7	13,7	9,1	5,4	28,1		109%
Gummi- und Kunststoffwaren	Strom	4,9	-				5%	
	Brennstoffe	16,0	2,5	2,0	7,9	12,4		3%
Maschinenbau	Strom	11,3	-				1%	
	Brennstoffe	9,9	2,0	1,6	-	3,6		4%
Metallbearbeitung	Strom	15,8	-				n.A. *	
	Brennstoffe	14,4	0,4	1,5	1,5	3,4		n.A. *
Metallerzeugung	Strom	20,9	-				3%	
	Brennstoffe	120,9	0,6	1,6	0,4	2,6		7%
NE-Metalle. -gießereien	Strom	16,8	-				0%	
	Brennstoffe	13,7	0	0	0	0		0%
Papiergewerbe	Strom	20,4	-				27%	
	Brennstoffe	37,8	7,4	24,6	-	32,0		63%
Sonstige chemische Industrie	Strom	7,2	-				n.A. *	
	Brennstoffe	15,0	7,1	4,2	2,5	13,8		n.A. *
Sonstige Wirtschaftszweige	Strom	24,9	-				5%	
	Brennstoffe	26,5	4,9	3,1	4,6	12,5		38%
Verarbeitung v. Steine u. Erden	Strom	7,4	-				n.A. *	
	Brennstoffe	41,9	-	2,2	0,5	2,7		n.A. *
Summe Industrie	Strom	217	-				11%	
	Brennstoffe	452	58	68	24	150		40%

*: Die Angaben zu diesen Sektoren unterliegen der Geheimhaltung 1: verändert nach AGE B

Zu beachten: Die Angaben zur KWK-Strom- bzw. Wärmeerzeugung beziehen nur Anlagen einer Leistung ≥ 1 MW ein.

Quelle: AGE B 2012; DESTATIS 2013 und 2014 a,b; VIK 2013; IREES 2014

Der durch KWK erzeugte Stromanteil am Gesamtstrombedarf ist verständlicherweise mit 11 % im Industriedurchschnitt relativ gering. Die höchsten Anteile erreicht er – wie zu erwarten – in der Grundstoffchemie und der Papierindustrie mit rund 30 %.

Projektion des Wärmebedarfs der Industrie

Das Zwischenergebnis für das Jahr 2012 zeigt bereits, dass selbst das technische Potenzial der KWK allenfalls bei einer Verdopplung des KWK-Einsatzes liegen könnte, weil sich der industrielle Wärmebedarf unter 300°C in Zukunft bei hohen Effizienzfortschritten

und geringem Wachstum der Industrie vermindern bzw. stagnieren könnte, zumal noch erhebliche Potenziale zur Abwärmenutzung vorhanden sind.

Wie im Abschnitt 4.3.4 bereits erläutert, kann allerdings die wärmebetriebene Absorptionskälte-Erzeugung (mit entsprechendem Zusatz-Wärmebedarf) die Auslastung einer KWK erhöhen und damit zur Rentabilität des Gesamtbetriebes der betroffenen Anlagen beitragen. Ein besonders hoher Kältebedarf zwischen -15°C und $+15^{\circ}\text{C}$ wird insbesondere in den Industriezweigen der Nahrungsmittel-Herstellung, der chemischen Industrie inkl. der pharmazeutischen Industrie, der Kunststoffverarbeitung und der sonstigen Industriezweige beobachtet (Details vgl. Anhang). Eine Zunahme der Klimatisierungskälte ist durch die Reinraumtechnik zu erwarten, die auch in der Investitionsgüter-Industrie wegen der hohen Qualitätsanforderungen zunehmend Einzug hält.

Der derzeitige Strombedarf zur Erzeugung von Industriekälte zwischen -15°C und $+15^{\circ}\text{C}$ entspricht rechnerisch rund 6 % des industriellen Wärmebedarfs unter 300°C . Durch dieses Verhältnis wird deutlich, dass die Industriekälte jedoch eher ein „Rentabilitäts-Verbesserer“ als ein eigenständiger Treiber der KWK ist.

Zur Projektion des Wärmebedarfs bis 300°C sind sowohl Effizienzgewinne als auch strukturelle Entwicklungen der Industrie sowie technologische Veränderungen zu beachten.

Zunächst wurde die Entwicklung der Bruttowertschöpfung der Industrie und ihrer Branchen von 2012 bis 2050 von einer bestehenden Projektion der Wirtschaftsentwicklung Deutschlands von Prognos (2014) übernommen. Hierbei ist der inter-industrielle Strukturwandel zugunsten weniger energieintensiver Industriezweige - der Investitionsgüter- und Gebrauchsgüter-Industrie deutlich zu erkennen, die überdurchschnittlich in beiden Projektionszeiträumen zunehmen (vgl. Tabelle 29).

Tabelle 29: Entwicklung der industriellen Bruttowertschöpfung in Deutschland 2012 bis 2050 (Einheit: Mrd. €₂₀₁₁)

Branche	2012	2020	2030	2040	2050	Jährliche Wachstumsrate	
						2012-2030	2012-2050
Gewinnung von Steinen, Erden u. Bergbau	1,6	1,3	1,3	1,3	1,4	-1,0%	-0,3%
Ernährung u. Tabak	31,2	31,8	33,9	36,1	38,4	0,5%	0,5%
Papier	9,7	9,8	10,1	10,3	10,4	0,2%	0,2%
Chemie	48,7	56,8	66,5	74,6	82,8	1,7%	1,4%
Grundstoffchemie	18,9	20,2	21,2	21,3	21,2	0,6%	0,3%
Sonstige chemische Industrie	29,8	36,6	45,3	53,3	61,7	2,4%	1,9%
Gummi- u. Kunststoffwaren	21,3	24,0	27,3	30,3	33,6	1,4%	1,2%
Glas, Keramik u. Ziegel	5,4	5,2	5,2	5,4	5,7	-0,2%	0,1%
Zement, Beton, Steine u. Mineralien	6,1	5,9	6,2	6,7	7,2	0,1%	0,5%
Metallerzeugung u. -bearbeitung	20,6	20,9	21,7	22,5	23,4	0,3%	0,3%
Roheisen, Stahl u. Ferrolegierungen	8,0	7,7	7,4	7,2	7,1	-0,5%	-0,3%
Bearbeitung von Eisen u. Stahl, Rohre	3,3	3,0	2,9	2,8	2,7	-0,7%	-0,5%
NE-Metalle u. -gießereien	9,3	10,2	11,5	12,6	13,7	1,2%	1,0%
Metallerzeugnisse	36,9	39,2	42,1	44,5	47,2	0,7%	0,7%
Elektrotechnik	78,8	88,8	101,4	112,8	124,9	1,4%	1,2%
Elektrogeräte	41,3	49,2	58,0	65,4	73,0	1,9%	1,5%
Elektrische Ausrüstungen	37,5	39,6	43,4	47,4	52,0	0,8%	0,9%
Maschinenbau	64,7	74,9	87,1	97,7	108,7	1,7%	1,4%
Fahrzeugbau	86,4	101,9	119,8	135,0	150,5	1,8%	1,5%
Kraftwagen u. Kraftwagenteile	72,3	82,8	96,1	107,8	120,0	1,6%	1,3%
Sonstiger Fahrzeugbau	14,1	19,0	23,7	27,2	30,5	2,9%	2,1%
Sonstige Wirtschaftszweige	25,9	26,9	29,0	30,8	32,9	0,6%	0,6%
Insgesamt	437	487	552	608	667	1,3%	1,1%

Quelle: Prognos 2014

Bei den sehr energieintensiven Branchen konnte außerdem auf die Entwicklung der physischen Produktion wichtiger Grundstoffe (z.B. Oxygen- und Elektrostahl, Primär- und Sekundär-Aluminium, Zement, Papier etc.) zurückgegriffen werden. Diese Produktionsentwicklungen wurden mit den jeweils projizierten Brennstoff- und Stromintensitäten multipliziert. Hierbei wurden neben technischen Entwicklungen wie fortschreitender Mechanisierung und Automation der industriellen Produktion (mit allmählich nachlassendem Einfluss) oder Zunahme von Reinraumtechnik etc. auch die intrasektoralen Struktureffekte zu weniger energieintensiven Produktionsstrukturen infolge von höheren Qualitäten, produktbegleitenden Dienstleistungen im Bereich der Investitions- und Gebrauchsgütererzeugung und anderen zusätzlichen Wertschöpfungseffekten berücksichtigt.

Im Folgenden werden die wichtigsten Einflüsse für einzelne Branchen festgehalten, um die projizierte Entwicklung des Brennstoff- und Wärmebedarfs verständlich zu machen.

- Bei der *Nahrungs- und Genussmittelindustrie* wird einerseits eine Stagnation bei den Brauereien sowie ein Produktionsrückgang bei der energieintensiven Zuckerproduktion (wegen des Endes EU-Zuckerordnung ab 2017) erwartet. Die

Fertiggerichte mit Kühlketten werden weiter steigen. Diese intra-industriellen Strukturveränderungen vermindern den spezifischen Energiebedarf zusätzlich zu den Effizienzgewinnen.

- Im *Fahrzeugbau* nimmt zwar die Bruttowertschöpfung überproportional zu, aber die Zahl der produzierten Fahrzeuge nicht mehr. Hinzu kommen auch hier Energieeffizienzgewinne.
- Bei den *Glaswaren, Keramik und Ziegel* geht die Hohlglas und Gebrauchskeramik-Produktion leicht zurück, während das wertschöpfungsintensivere Flachglas (Dreifachverglasung, PV-Module) sowie Spezialglas und -keramik sowie Glasfasern noch leicht zunehmen. Neben diesem Struktureffekt werden auch weitere Effizienzpotenziale realisiert. Insgesamt bleibt die Wertschöpfung des Sektors konstant.
- In der *Grundstoffchemie* gehen die stromintensiven Elektrolysen (z.B. von Chlor und Fluor) mengenmäßig zurück und auch die Produktion der Kunststoff-Vorprodukte stagniert; dies ist auch reflektiert in der ab 2025 stagnierenden Bruttowertschöpfung, die ab 2012 bis dahin lediglich um 10 % zulegen. Im geringen Umfang werden weitere Effizienz-Gewinne realisiert.
- Bei den *Gummi- und Kunststoffwaren* trägt die Kunststoffverarbeitung das Wachstum, während die Gummiwaren-Herstellung stagniert. In der Kunststoffverarbeitung werden erhebliche Effizienzgewinne realisiert (insbesondere im Spritzgießen bis zu 50 %).
- Im *Maschinenbau und in der Metallverarbeitung* nehmen die produktbegleitenden Dienstleistungen und der Trend zu erhöhter Wertschöpfung je Maschine und Anlage deutlich zu. Technologisch gilt zu beachten, dass die Automatisierung weiter fortschreitet und die Reinraumtechnik sowie die Trockenfertigung sich ausbreiten. Dadurch werden stromseitige Effizienz-Gewinne verdeckt, während sie umso deutlicher bei den Brennstoffen sichtbar werden (hohe Effizienz-Potenziale z.B. in der Pulverlackierung, Abwärmenutzung für die Warmbäder).
- Die *Metallerzeugung* ist durch die Primär- und Sekundär-Routen für Stahl, Aluminium und Kupfer sehr komplex und somit die Entwicklung des spezifischen Strom- und Brennstoffbedarfs für diese aggregierte Branche nur mit einem eigenen Modell mit einer Reihe von Annahmen zu den physischen Produktionen plausibel nachvollziehbar. So wird davon ausgegangen, dass die Stahlproduktion bis 2020 auf 40 Mio. t zurückgeht und bis 2050 auf 33 Mio. t. Dabei nimmt der Anteil des Elektrostahls bis auf 40 % im Jahre 2050 kontinuierlich zu. Bei Primär-Aluminium wird eine 20%ige Pro-

duktionsverminderung bis 2050 unterstellt und eine 25%ige Steigerung der Sekundär-Produktion gegenüber 2012.

- Diese strukturellen Veränderungen führen zu einem erheblichen Rückgang von Brennstoffen und Strom, während die leicht steigende Bruttowertschöpfung dieses Sektors im Wesentlichen durch höherwertige Stähle und NE-Metall-Legierungen erreicht werden. Die Energieeffizienz-Gewinne sind eher gering in diesem Sektor. Allerdings sind dabei die Möglichkeiten der Abwärmenutzung noch nicht mit betrachtet.
- Die *Verarbeitung von NE-Metallen und NE-Gießereien* durchläuft ebenfalls einen Trend zu höherwertigen Produkten (bis hin zu geschäumten Metallwerkstücken), während die physische Produktion nur wenig zunimmt. Diese strukturellen Effekte addieren sich zu den Effizienzgewinnen.
- Während bei der *Papier- und Kartonherstellung* die Bruttowertschöpfung noch leicht ansteigt, geht die Produktion um gut 10 % bis 2050 zurück (vorsichtige Schätzung). Dieser strukturelle Effekt addiert sich mit den Effizienzgewinnen.
- Die sehr dynamische *sonstige Chemie* – insbesondere im Bereich der Pharmazeutika und Spezial-Chemikalien - erhöht durchschnittlich ihre Bruttowertschöpfung doppelt so schnell wieder durchschnitt der Industrie. Die Wertschöpfungseffekte werden hier als besonders hoch unterstellt. Zudem sind die Energieeffizienz-Potenziale beträchtlich.
- Bei den *sonstigen Industriezweigen* (meist Verbrauchsgüter-Branchen) ist ebenfalls der Trend zu höherer Wertschöpfung gegeben, der sich ebenfalls mit den bestehenden Effizienz-Potenzialen überlagert.
- Die *Steine- und Erden-Industrie* nimmt zwar wertschöpfungsmäßig noch um 20 % bis 2050 zu, was aber im Wesentlichen produktbegleitende Dienstleistungen (z.B. Transportbeton) oder Spezialprodukte sind. Mengenmäßig wird ein Rückgang der energieintensiven Zementherstellung unterstellt. Effizienz-Gewinne kommen hinzu.

Für die gesamte Industrie erreichen die jährlichen Veränderungen der Energieintensitäten mit -0,9 %/a (Strom) und 1,3 %/a (Brennstoffe) für die Periode 2030 die höchsten Werte

5.2.2 Brennstoff- und Stromverbrauch nach Branchen und Unternehmensgrößenklassen, 2012

Um die Häufigkeit der Leistungen der verschiedenen KWK-Anlagen zuordnen zu können, war eine Zuordnung des Endeenergiebedarfs zu Unternehmensgrößenklassen erforderlich. Der Strom- und Brennstoffbedarf der einzelnen Industriezweige verteilt sich sehr unterschiedlich auf die Unternehmensgrößenklassen:

- In der Grundstoff-Industrie und der Fahrzeugindustrie haben die großen Unternehmen einen erheblichen Anteil der Endenergieverbräuche des jeweiligen Industriezweiges – meist mehr als drei Viertel des Endenergiebedarfs des betroffenen Industriezweiges (vgl. Tabelle 30).
- In den übrigen Industriezweigen haben die kleinen und mittleren Unternehmen einen deutlich höheren Anteil an den Endenergieverbräuchen des jeweiligen Industriezweiges (z.B. kleine Unternehmen von Gewinnung Steine u. Erden: 51 % und Metallbearbeitung: 30 %).

Tabelle 30: Strom- und Brennstoffbedarf der Industrie im Jahr 2012, unterteilt nach Industriezweigen und drei Unternehmensgrößenklassen

Industriesektoren	Energieträger	Energiebedarf (in TWh) in 2012 für Unternehmen der Größenklasse:		
		klein	mittel	groß
Ernährung und Tabak	Strom	2,9	6,2	8,9
	Brennstoffe	4,4	16,7	18,8
Fahrzeugbau	Strom	0,3	1,7	15,9
	Brennstoffe	0,3	1,6	14,9
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	Strom	0,9	0,2	0,7
	Brennstoffe	1,1	0,5	0,5
Glas u. Keramik	Strom	0,4	1,9	2,5
	Brennstoffe	0,9	6,0	10,9
Grundstoffchemie	Strom	1,2	7,5	36,3
	Brennstoffe	3,3	20,6	70,3
Gummi- und Kunststoffwaren	Strom	0,8	1,9	2,2
	Brennstoffe	2,4	7,1	8,3
Maschinenbau	Strom	1,5	3,8	6,0
	Brennstoffe	1,2	3,1	6,8
Metallbearbeitung	Strom	4,7	6,4	4,7
	Brennstoffe	4,7	6,3	5,0
Metallerzeugung	Strom	0,3	1,2	19,4
	Brennstoffe	0,5	3,7	130,1
NE-Metalle. -gießereien	Strom	0,8	5,1	10,9
	Brennstoffe	0,7	3,7	10,8
Papiergewerbe	Strom	0,8	9,1	10,5
	Brennstoffe	1,6	18,8	21,5
Sonstige chemische Industrie	Strom	3,5	2,0	1,7
	Brennstoffe	5,5	5,5	7,6
Sonstige Wirtschaftszweige	Strom	3,7	9,9	11,3
	Brennstoffe	3,6	11,5	14,3
Verarbeitung v. Steine u. Erden	Strom	2,1	2,6	2,7
	Brennstoffe	6,6	17,2	22,7
Summe Industrie	Strom	24	60	134
	Brennstoffe	37	122	342

Quelle: AGE B 2012; IREES 2014

An diesem Ergebnis sieht man bereits, dass das zukünftige Potenzial der KWK in der Tendenz bei den Investitions- und Güterbranchen – und dort bei den mittleren und kleineren Unternehmen liegen dürfte. Dies bedeutet in der Tendenz den Einsatz von mittleren und größeren BHKW-Anlagen und kleineren Gasturbinen-Anlagen

Im Industriedurchschnitt wurden mit 476 TWh Endenergie 66 % den großen Unternehmen zugeordnet, mit 182 TWh oder 25 % waren die mittleren Unternehmen beteiligt und mit dem Rest von 61 TWh (oder 8,5 %) des Endenergieverbrauchs die kleinen Unternehmen.

5.2.3 Wärme- (bis 300°C) und Kältebedarf in der Industrie bis 2020 und Ausblick bis 2030 und 2050

Durch Verknüpfung der Annahmen zur Bruttowertschöpfung und zur Entwicklung der Energieintensitäten der Industriebranchen ergibt sich ein differenziertes Bild (vgl. Tabelle 31):

- Der Wärmebedarf bis 300°C der gesamten Industrie nimmt von 2012 bis 2030 noch jährlich um 0,9 % pro Jahr zu. Nach 2035 sinkt er um etwa 1,5 % pro Jahr ab, so dass sich für die Periode 2012 bis 2050 nur noch eine durchschnittliche Zunahme um 0,3 % pro Jahr ergibt. Die Nachfrage-Elastizität sinkt also von 0,69 in der ersten Periode auf unter null nach 2030.
- Überproportionale Zuwächse des Wärmebedarfs bis 300°C sind bei der sonstigen Chemie (insbesondere Pharmazie und Feinchemikalien) mit 2,2 % bzw. 1,3 % pro Jahr, dem Fahrzeug- und Maschinenbau und der Nahrungsmittel-Industrie mit 1,1 % bzw. 0,4 % pro Jahr zu erwarten.
- Bei einigen Industriezweigen nimmt der Wärmebedarf bis zu 300°C sogar ab, darunter die Gewinnung von Steinen und Erden ab sofort. Der Wärmebedarf in diesem Temperaturbereich der Industriezweige Glas und Keramik, sowie Metallbearbeitung, der Metallerzeugung und des Papiergewerbes sinkt ab 2020, derjenige der Grundstoffchemie und der „sonstigen Industriezweige“ ab 2030.

Dieses Ergebnis bedeutet, dass in den Branchen mit stagnierendem oder in den kommenden Jahrzehnten absehbarem Minderbedarf von Wärme <300°C bei bereits hohem KWK-Anteil (z. B. Grundstoffchemie und Papier) lediglich Re-Investitionen in KWK-Anlagen zu erwarten sind. Ein großes Ausbau-Potenzial der KWK ist am ehesten in denjenigen Industriezweigen zu erwarten, in denen der Wärmebedarf <300°C hoch ist, dieser zunimmt und der bisher erreichte KWK-Anteil gering.

Tabelle 31: Entwicklung des Wärmebedarfs < 300°C für die Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, 2012-2050 in GWh/a

Industriesektoren	Wärmebedarf in TWh < 300 °C in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
	2012	2020	2030	2040	2050	2012-2030	2012-2050
Ernährung und Tabak	25.862	31.200	31.300	31.200	30.100	1,1%	0,4%
Fahrzeugbau	7.433	9.400	10.300	10.700	10.900	1,8%	1,0%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	1.862	1.700	1.600	1.500	1.500	-0,8%	-0,6%
Glas u. Keramik	464	500	450	400	400	-0,2%	-0,4%
Grundstoffchemie	28.149	32.900	33.400	32.300	30.400	1,0%	0,2%
Gummi- und Kunststoffwaren	12.414	15.000	16.300	16.900	17.100	1,5%	0,8%
Maschinenbau	3.562	4.400	4.700	4.900	4.900	1,6%	0,8%
Metallbearbeitung	270	300	200	200	200	-1,7%	-0,8%
Metallerzeugung	32.866	34.600	32.200	30.300	29.000	-0,1%	-0,3%
NE-Metalle. -gießereien	1.645	2.000	2.100	2.200	2.200	1,4%	0,8%
Papiergewerbe	32.017	35.100	34.900	34.300	33.000	0,5%	0,1%
Sonstige chemische Industrie	13.778	17.800	20.300	21.600	22.100	2,2%	1,3%
Sonstige Wirtschaftszweige	12.543	14.300	14.600	14.500	14.100	0,8%	0,3%
Verarbeitung v. Steine u. Erden	2.705	2.900	2.900	3.000	3.000	0,4%	0,3%
Summe Industrie	175.568	202.100	205.250	204.000	198.900	0,9%	0,3%

Quelle: AGE B 2012; IREES 2014

Qualitativ kann schon hier festgehalten werden, dass die Nahrungsmittelindustrie, die Gummi- und Kunststoffherstellung und die sonstige chemische Industrie die höchsten KWK-Potenziale haben dürften. Alle dieser drei größeren Branchen haben auch einen zunehmenden Kältebedarf, der in Analogie zum Wärmebedarf über die Entwicklung der Bruttowertschöpfung und der Kälte-Intensität, dem Verhältnis von Energiebedarf für Kälte zur Bruttowertschöpfung ermittelt wurde (vgl. Tabelle 32).

Tabelle 32: Entwicklung des Endenergiebedarfes zur Kälteerzeugung für die Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, 2012-2050

Industriesektoren	Energiebedarf zur Kälteerzeugung in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
	2012	2020	2030	2040	2050	2012-2030	2012-2050
Ernährung und Tabak	5.528	5.900	6.500	7.000	7.500	0,9%	0,8%
Fahrzeugbau	407	500	700	800	1.000	3,0%	2,3%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	-	-	-	-	-	-	-
Glas u. Keramik	392	400	390	390	400	-0,1%	0,1%
Grundstoffchemie	8.898	9.500	10.200	9.900	9.200	0,7%	0,1%
Gummi- und Kunststoffwaren	726	800	1.000	1.200	1.300	1,8%	1,6%
Maschinenbau	152	290	360	430	500	5,0%	3,2%
Metallbearbeitung	-	-	-	-	-	-	-
Metallerzeugung	-	-	-	-	-	-	-
NE-Metalle. -gießereien	-	-	-	-	-	-	-
Papiergewerbe	55	60	60	60	60	0,7%	0,3%
Sonstige chemische Industrie	465	600	800	1.100	1.300	3,4%	2,7%
Sonstige Wirtschaftszweige	1.008	1.200	1.400	1.500	1.600	1,6%	1,2%
Verarbeitung v. Steine u. Erden	-	-	-	-	-	-	-
Summe Industrie	17.630	19.250	21.410	22.380	22.860	1,1%	0,7%

Quelle: eigene Berechnungen IREES 2014

Insgesamt erhöht sich der Kältebedarf der Industrie nur unterproportional zum Wachstum der industriellen Bruttowertschöpfung, weil der große Kältebedarf der Grundstoffchemie im Projektionszeitraum abnimmt.

5.2.4 Potenziale der KWK in der Industrie bis 2020 und Ausblick bis 2030 und 2050 nach Branchen und Anlagengrößen

Die Potenziale des weiteren Ausbaus von KWK in der Industrie werden zunächst in einem orientierenden Szenario, dem Basis-Szenario beschrieben. Ausdrücklich geht es hier nicht um eine Zielsetzung des KWK-Ausbaus, sondern um eine Zusammenschau der Rentabilitätsrechnungen von KWK-Anlagen in der Industrie (vgl. Abschnitt 4.3) und der erwarteten Entwicklung des Wärmebedarfs <300°C in den einzelnen Industriezweigen (vgl. Abschnitt 4.3) unter Berücksichtigung von bereits heute durch KWK

erzeugten Wärmemengen (vgl. Tabelle 28). Das Basis-Szenario geht im Wesentlichen von einem Fortbestand der heute gültigen wesentlichen Randbedingungen aus. Es unterstellt den Fortbestand politischen Willens zur Realisierung der mittels KWK erzielbaren Effizienz- und Klimaschutz-Zugewinne und beschreibt eine mögliche Entwicklung der industriellen KWK bei anzunehmender Wirtschaftsentwicklung unter Berücksichtigung absehbarer technologischer und struktureller Veränderungen in der deutschen Industrie.

Man könnte die industrielle KWK-Entwicklung zusätzlich zur Basis-Variante beschleunigen, wenn die Politik und die Wirtschaft aus verschiedenen energie- und klimapolitischen Gründen dies wollte. Deshalb wird zusätzlich eine weitere Szenarien-Variante der KWK-Entwicklung skizziert. Diese setzt die gleiche wirtschaftliche Entwicklung der Industrie voraus, auch die gleiche Energieeffizienz- und andere angesprochenen technischen Entwicklungen. Sie unterscheidet sich im Wesentlichen durch die schnellere Diffusion der KWK-Anlagen in jenen Industriezweigen, die noch deutlich in KWK-Anlagen investieren könnten, gemessen an dem Verhältnis von KWK-Wärme und Wärmebedarf $<300^{\circ}\text{C}$. Es wird aber zusätzlicher Förder-, Informations- und Fortbildungsprogramme bedürfen, um diese Szenario-Variante zu realisieren.

Basis-Szenario der Entwicklung der industriellen KWK

Für das Basis-Szenario mussten für einzelne Industriezweige Annahmen getroffen werden, die auch zum Teil für die Politik-Variante zutreffen. Diese sind (vgl. Tabelle 33):

- Für die Grundstoffchemie, die Papierherstellung und die Gewinnung von Steinen und Erden wird keine weitere Steigerung des Anteils der KWK-Wärme zu erwarten sein (zum Teil Reduktion), da diese Werte heute schon sehr hoch liegen. In diesen Industriezweigen sind in der Zukunft im Wesentlichen Re-Investitionen zu erwarten.
- Für diejenigen Industriezweige, für die in der KWK-Statistik für das Jahr 2012 keine Wärmeerzeugung aus KWK ausgewiesen wurde, wurden kleine Werte aus Anlagen $<1\text{MW}$ angenommen. Diese Werte mögen zu gering sein, was im Ergebnis zu hohen Wachstumsraten zwischen 2012 und 2030 führt.

Der Differenzbetrag in 2012 zu offiziellen KWK-Statistiken beruht auf entsprechenden Geheimhaltungsverpflichtungen der statistischen Ämter. Daher konnte nicht die gesamte KWK-Erzeugung den betrachteten Industriesektoren tatsächlich zugewiesen werden. Der Differenzbetrag wird jedoch der Vollständigkeit wegen nachrichtlich ausgewiesen und mit der durchschnittlichen Wachstumsrate der gesamten Industrie (+1,3 % pro Jahr (2030) bzw. +0,7 % pro Jahr (2050)) bis 2050 fortgeführt.

Tabelle 33: Potenziale der Wärmeerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, Basis-Szenario

Industriesektoren	KWK-Wärmeerzeugungspotenzial in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
	2012	2020	2030	2040	2050	2012-2030	2012-2050
Ernährung und Tabak	9.654	12.800	14.100	15.300	16.100	2,1%	1,4%
Fahrzeugbau	78	470	1.000	1.400	1.600	15,1%	8,3%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	815	800	800	800	800	-0,2%	-0,1%
Glas u. Keramik	15	30	50	60	70	7,4%	4,2%
Grundstoffchemie	30.746	33.900	34.100	32.600	30.400	0,6%	0,0%
Gummi- und Kunststoffwaren	403	1.100	2.100	3.000	3.400	9,7%	5,8%
Maschinenbau	136	370	600	800	900	8,3%	5,2%
Metallbearbeitung ¹⁾	1	10	10	20	20	14,7%	8,7%
Metallerzeugung	2.139	3.100	3.400	3.600	3.900	2,6%	1,6%
NE-Metalle. -gießereien	242	330	430	490	500	3,2%	2,0%
Papiergewerbe	20.177	22.500	22.700	22.700	21.800	0,7%	0,2%
Sonstige chemische Industrie ¹⁾	30	900	1.800	2.800	3.800	25,6%	13,6%
Sonstige Wirtschaftszweige	4.751	6.000	6.700	7.300	7.400	2,0%	1,2%
Verarbeitung v. Steine u. Erden ¹⁾	4	90	140	270	360	22,06%	12,61%
Summe Industrie insgesamt ²⁾	69.190	82.400	87.930	91.140	91.050	1,3%	0,7%
Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ³⁾	14.935	16.614	18.980	19.673	19.653	1,3%	0,7%

1) Werte für Basisjahr 2012 geschätzt, da statistisch nicht ausgewiesen.

2) Summe der detailliert betrachteten Industriesektoren

3) Differenz ergibt sich aufgrund von Geheimhaltungsfällen in den offiziellen Statistiken

Quelle: DESTATIS 2013 und 2014 a, b; VIK 2013 ; eigene Berechnungen IREES

Im Ergebnis für das Basis-Szenario steigt die Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen in der Zeit von 2012 bis 2030 von 84,1 TWh auf 107 TWh (oder 27 % bzw. 1,3 % pro Jahr). Nach 2030 ist das Wachstum deutlich langsamer und ab 2040 stagniert die Wärmeerzeugung. Die Entwicklung in einzelnen Branchen ist aufgrund ihres Wachstums und ihrer aktuellen KWK-Nutzung sehr unterschiedlich.

- Selbst bei Begrenzung/Rückgang des Anteiles der KWK-Wärmeerzeugung nimmt ihr Wert in der Grundstoffchemie dennoch bis 2030 um knapp 3,4 TWh zu, ebenso in der Papier-Industrie um 2,5 TWh. Diese Entwicklung ist dem weite-

ren Produktionszuwachs der beiden Branchen geschuldet und ist möglicherweise zu optimistisch als Ergebnis in einer Referenz-Entwicklung.

- Überproportional und mit großen Potenzialen nimmt der KWK-Einsatz im Bereich der Nahrungsmittel-Industrie bis 2030 (+4,4 TWh), sonstige Wirtschaftszweige (+2,0 TWh), sonstige chemische Industrie (+1,8 TWh), Gummi- und Kunststoffwaren (+1,7 TWh) und der Metallherzeugung (+1,2 TWh) zu.
- Überproportional schnell entwickelt sich die KWK-Anwendung bis 2030 auch beim Fahrzeugbau (+0,9 TWh), im Maschinenbau (+0,5 TWh) und einigen weiteren Branchen mit kleineren Potenzialen.

Als Ergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse ist zu erwarten, dass ein Zuwachs an KWK Anlagen im Wesentlichen durch Blockheizkraftwerke unterschiedlicher Leistungen und Gasturbinenanlagen getragen wird (vgl. Abschnitt 4.3). Mit einem durchschnittlichen Verhältnis von Strom-/Wärmeerzeugung von 0,7 für diese neu gebauten KWK-Anlagen nimmt die Stromerzeugung um 2,4 % pro Jahr bis 2030 auf 43,2 TWh zu (vgl. Tabelle 34).

Analog zur Vorgehensweise bei der Potenzialermittlung der KWK-Wärmeerzeugung wurde für die Stromerzeugungspotenziale der Differenzbetrag zu den statistischen Gesamtangaben mit der durchschnittlichen Wachstumsrate der Industrie (+2,4 % pro Jahr (2030) bzw. +1,3 % pro Jahr (2050) fortgeführt.

Ein deutlicher Anstieg ist zwischen 2020 und 2030 zu beobachten, da infolge des (leichten) Wachstums der Grundstoffchemie und der Papier-Industrie dort noch ein Kapazitätsaufbau gesehen wird, zugleich aber die übrigen Branchen merklich ihre Kapazitäten erweitern können, da sie relativ zu ihrem Wärmebedarf <300°C derzeit noch einen geringen KWK-Anteil haben. Dies führt auch zu einer höheren Stromerzeugung.

Nach 2030 verlangsamt sich der Anstieg der Stromerzeugung deutlich und stagniert in der Periode 2040 bis 2050.

Tabelle 34: Potenziale der Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, Basis-Szenario

Industriesektoren	KWK-Stromerzeugungspotenzial in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
	2012	2020	2030	2040	2050	2012-2030	2012-2050
Ernährung und Tabak	2.534	4.700	5.600	6.500	7.000	4,5%	2,7%
Fahrzeugbau	403	700	1.000	1.300	1.500	5,4%	3,5%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	254	250	230	230	220	-0,6%	-0,3%
Glas u. Keramik	36	50	60	70	80	3,2%	2,0%
Grundstoffchemie	14.012	16.200	16.400	15.300	13.800	0,9%	0,0%
Gummi- und Kunststoffwaren	225	700	1.400	2.100	2.300	10,8%	6,4%
Maschinenbau	75	240	380	500	600	9,4%	5,8%
Metallbearbeitung ¹⁾	0	10	10	10	20	18,8%	10,6%
Metallerzeugung	593	1.300	1.500	1.600	1.800	5,1%	3,0%
NE-Metalle. -gießereien	25	90	150	190	220	10,7%	5,9%
Papiergewerbe	5.424	7.000	7.200	7.200	6.500	1,6%	0,5%
Sonstige chemische Industrie ¹⁾	11	600	1.300	2.000	2.600	6,5%	15,6%
Sonstige Wirtschaftszweige	1.255	2.100	2.600	3.000	3.100	4,2%	2,4%
Verarbeitung v. Steine u. Erden ¹⁾	1	60	100	180	250	26,55%	14,58%
Summe Industrie insgesamt ²⁾	24.848	34.000	37.930	40.180	39.990	2,4%	1,3%
Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ³⁾	3.432	4.142	5.239	5.550	5.523	2,4%	1,3%

1) Werte für Basisjahr 2012 geschätzt, da statistisch nicht ausgewiesen.

2) Summe der detailliert betrachteten Industriesektoren

3) Differenz ergibt sich aufgrund von Geheimhaltungsfällen in den offiziellen Statistiken

Quelle: DESTATIS 2013 und 2014 a, b; VIK 2013; eigene Berechnungen IREES 2014

Politik-Variante der industriellen KWK

Mit Ausnahme weniger Branchen wäre die KWK-Entwicklung noch weiter gegenüber der skizzierten Referenz-Entwicklung zu beschleunigen, wenn weiterhin bestehende Hemmnisse in der Industrie reduziert würden. Dieses erfordert sowohl weitere Maßnahmen von Bund und Ländern als auch der Wirtschaftsverbände mit den Schwerpunkten Information, Fortbildung, Finanzierung, Contracting und Risiko-Absicherung.

Erhöht man in diesem Sinne die Diffusionsraten der KWK-Anwendung bis zum Jahr 2050, erhöht sich gegenüber der Referenzentwicklung die durch KWK erzeugte Wärme um 19% und der erzeugte Strom um etwa 31% in den jeweiligen Jahren (vgl. Tabelle 35 und Tabelle 36). Dies ist zwar kein sehr großer zusätzlicher Beitrag zur KWK-erzeugten Strommenge, aber jede zusätzliche KWK-Anlage eröffnet auch eine zusätzliche Kapazität der Flexibilisierung der Stromerzeugung.

- Besonders große absolute Zuwachspotenziale der KWK-Wärmeerzeugung bis 2030 gegenüber dem Basis-Szenario werden gesehen bei der Nahrungsmittelindustrie (+2,8 TWh), der sonstigen chemischen Industrie (+1,9 TWh) und den „sonstigen Industriezweigen (+1,4 TWh) (vgl. Tabelle 35).
- Große Zuwachsraten über jährlich 10 % bis 2030 ergeben sich eher bei Industriezweigen mit geringerer energiewirtschaftlicher Bedeutung: Fahrzeugbau, Maschinenbau, Glas und Keramik, Gummi- und Kunststoffwaren sowie mit Zuwachsraten um die 6 % pro Jahr bei Metallherzeugung und der NE-Metallindustrie.

Im Unterschied zur Windenergie, die von den Erzeugungsschwerpunkten im Norden der Republik in die Verbrauchszentren zu transportieren ist, hat die industrielle KWK den Charme der räumlichen Nähe von Erzeugung und Verbrauch. Insofern würde der verstärkte Ausbau der KWK in denjenigen Industriezweigen, in denen noch Anwendungspotenziale sind, mit dazu beitragen, dass weiträumige Stromtransport-Kapazitäten geringer ausgelegt werden könnten,

Tabelle 35: Potenziale der Wärmeerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, im Fall der ambitionierten Politik-Variante mit erhöhtem KWK-Wärmeanteil

Industriesektoren	KWK-Wärmeerzeugungspotenzial in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
	2012	2020	2030	2040	2050	2012-2030	2012-2050
Ernährung und Tabak	9.654	15.300	16.900	18.400	19.300	3,2%	1,8%
Fahrzeugbau	78	900	1.900	2.800	3.300	19,6%	10,3%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	815	900	900	900	900	0,5%	0,2%
Glas u. Keramik	15	50	90	100	120	10,2%	5,5%
Grundstoffchemie	30.746	33.900	34.100	32.600	30.400	0,6%	0,0%
Gummi- und Kunststoffwaren	403	1.800	3.600	5.200	5.800	12,9%	7,3%
Maschinenbau	136	700	1.100	1.600	1.900	12,5%	7,1%
Metallbearbeitung ¹⁾	1	20	20	40	50	19,2%	10,7%
Metallerzeugung	2.139	5.600	6.100	6.500	7.000	6,0%	3,2%
NE-Metalle. -gießereien	242	500	600	700	800	5,6%	3,1%
Papiergewerbe	20.177	22.500	22.700	22.700	21.800	0,7%	0,2%
Sonstige chemische Industrie ¹⁾	30	1.800	3.700	5.600	7.500	6,7%	15,6%
Sonstige Wirtschaftszweige	4.751	7.200	8.100	8.700	8.800	3,0%	1,6%
Verarbeitung v. Steine u. Erden ¹⁾	4	150	260	480	700	26,11%	14,37%
Summe Industrie insgesamt²⁾	69.190	91.320	100.070	106.320	108.370	2,1%	1,2%
Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ³⁾	14.935	17.597	21.600	22.949	23.392	2,1%	1,2%

1) Werte für Basisjahr 2012 geschätzt, da statistisch nicht ausgewiesen.

2) Summe der detailliert betrachteten Industriesektoren

3) Differenz ergibt sich aufgrund von Geheimhaltungsfällen in den offiziellen Statistiken

Quelle: DESTATIS 2013 und 2014 a, b; VIK 2013; eigene Berechnungen IREES 2014

Tabelle 36: Potenziale der Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, im Fall der ambitionierten Politik-Variante mit erhöhtem KWK-Wärmeanteil

Industriesektoren	KWK-Stromerzeugungspotenzial in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
	2012	2020	2030	2040	2050	2012-2030	2012-2050
Ernährung und Tabak	2.534	6.500	7.600	8.600	9.300	6,3%	3,5%
Fahrzeugbau	403	1.000	1.700	2.300	2.600	8,4%	5,1%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	254	340	310	310	310	1,1%	0,5%
Glas u. Keramik	36	60	90	90	110	5,0%	2,9%
Grundstoffchemie	14.012	16.200	16.400	15.300	13.800	0,9%	0,0%
Gummi- und Kunststoffwaren	225	1.200	2.500	3.600	4.000	14,2%	7,9%
Maschinenbau	75	500	800	1.100	1.300	13,8%	7,8%
Metallbearbeitung ¹⁾	0	10	20	30	30	23,6%	12,7%
Metallerzeugung	593	3.000	3.300	3.700	4.000	10,1%	5,2%
NE-Metalle. -gießereien	25	200	300	360	400	14,9%	7,6%
Papiergewerbe	5.424	7.000	7.200	7.200	6.500	1,6%	0,5%
Sonstige chemische Industrie ¹⁾	11	1.200	2.500	3.900	5.300	-	17,7%
Sonstige Wirtschaftszweige	1.255	3.000	3.600	4.000	4.100	6,0%	3,2%
Verarbeitung v. Steine u. Erden ¹⁾	1	110	180	330	460	-	16,38%
Summe Industrie insgesamt ²⁾	24.848	40.320	46.500	50.820	52.210	3,5%	2,0%
Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ³⁾	3.432	4.534	6.422	7.019	7.211	3,5%	2,0%

1) Werte für Basisjahr 2012 geschätzt, da statistisch nicht ausgewiesen.

2) Summe der detailliert betrachteten Industriesektoren

3) Differenz ergibt sich aufgrund von Geheimhaltungsfällen in den offiziellen Statistiken

Quelle: DESTATIS 2013 und 2014 a, b; VIK 2013; eigene Berechnungen IREES 2014

Insgesamt wird an diesen Ergebniswerten der Politik-Variante deutlich, dass es durchaus noch unerschlossene Potenziale der KWK-Nutzung gibt, die zusätzlichen Maßnahmen seitens Verwaltung und den Selbstorganisationen der Wirtschaft zugänglich wären.

Inwieweit diese Potenziale bei der Stromerzeugung aus KWK-Anlagen durch Abwärmenutzung mittels ORC-Anlagen noch erweitert werden könnten, bleibt wegen der zurzeit noch hohen Kapitalkosten der ORC-Anlagen eine offene Frage. Andererseits könnten Abwärmen über 300°C innerbetrieblich und in Nachbarbetrieben

genutzt werden, um Wärme $<300^{\circ}\text{C}$ zu erzeugen und damit das Potenzial der KWK-Anwendung schmälern. Dies gilt insbesondere für die Metallerzeugung und die erste Verarbeitungsstufen von Stahl, Eisen und NE-Metallen.

Aus diesem Grund wird im folgenden Abschnitt 5.2.5 kurz auf das Thema der Wärmerückgewinnung und der Abwärmenutzung eingegangen.

5.2.5 Potenziale industrieller Stromerzeugung durch Abwärmenutzung

Der Aspekt der Abwärmenutzung von industriellen Prozessen zur Stromerzeugung wird hier aufgegriffen, weil es ein weiterer Ansatz für eine effiziente Energieanwendung ist, der – ähnlich wie die KWK-Technik – bei weitem nicht hinreichend genutzt wird. Auf die wesentlichen Gründe wird in Abschnitt 5.2.7 hingewiesen.

Andererseits muss hier betont werden, dass eine intensivere Wärmerückgewinnung von Abwärmern höherer Temperaturen für Wärmebedarf niedrigerer Arbeitstemperaturen im gleichen Betrieb oder einem benachbarten Betrieb (nach der Pinch-Methode) in vielen Branchen nicht ausreichend genutzt wird, obwohl dies rentabel wäre. Würden diese Wärmenutzungs-Potenziale mehr genutzt, würden sich die KWK-Anwendungspotenziale vermindern. Um hier eine Einschätzung zu gewinnen, werden auch die folgenden Überlegungen durchgeführt.

5.2.6 Technisch geeignete Abwärmepotenziale der Industrie zur Stromerzeugung 2020 und Ausblick auf 2030 und 2050

Obwohl seit Jahrzehnten immer wieder auf die zur Stromerzeugung nutzbaren Abwärmepotenziale hingewiesen wird, gibt es keine verlässliche Aussage über deren Höhe, die auf empirischen Erhebungen in Deutschland beruht. Realisiert sind in der deutschen Industrie nur wenige Projekte mit ORC-Technik oder mit Spilling-Motoren (für kleine Abwärmemengen).

Das IREES (2010) machte aufgrund einer Befragung der norwegischen Industrie eine vorsichtige Schätzung für Deutschland. Im Rahmen der Studie von ENOVA (2009) wurde das nutzbare Abwärmepotenzial der norwegischen Industrie durch Fragebögen ermittelt, die an die Unternehmen energieintensiver Branchen geschickt wurden. Die bisher ungenutzten Abwärmemengen wurden in Relation zum Endenergiebedarf dieser Unternehmen gesetzt und auf die entsprechenden Industriebranchen in Deutschland übertragen (vgl. Tabelle 37).

Tabelle 37: Abwärmemengen über 140°C mit möglicher Verwendung zur Stromerzeugung mittels ORC-Anlagen und anderen Technologien im Verarbeitenden Gewerbe

Bezeichnung	Endenergie	Anteil an Abwärme über 140 °C am Endenergiebedarf	Abwärme über 140 °C Endenergiebedarf
	TJ		TJ
Metallerzeugung	561.846	30 %	168.554
Grundstoffchemie	460.104	8 %	36.808
Papiergewerbe	242.634		
Verarbeitung v. Steine u. Erden	221.802	40 %	88.721
Ernährung und Tabak	204.328		
Sonstige Wirtschaftszweige	215.970		
Glas u. Keramik	92.501	3 %	2.775
Metallbearbeitung	114.476	3 %	3.434
NE-Metalle, -gießereien	133.674	3 %	4.010
Fahrzeugbau	131.117	3 %	3.993
Sonstige chemische Industrie	91.138	3 %	2.734
Maschinenbau	84.435	3 %	2.533
Gummi- u. Kunststoffwaren	81.298	3 %	2.439
Gewinnung von Steinen und Erden, sonst. Bergbau	17.777		
	2.653.101		316.001

Quellen: AGEB 2008, FH-ISI, ENOVA Spillvarme 2009

Für die Metallerzeugung, Grundstoffchemie und Verarbeitung von Steinen und Erden wurden die Faktoren aus der norwegischen Studie übernommen. Hier sind auch die höchsten Potenziale zu erwarten, da hier die Abwärmemengen über 140°C etwa 295 PJ (ca. 82 TWh) betragen. Für weitere Branchen, bei denen ein relevantes Abwärmepotenzial vermutet wird, wurde pauschal ein Abwärmeanteil über 140°C von 3 % des Endenergiebedarfs angenommen. Dies führt zu weiteren 20 PJ Abwärme über 140°C, was möglicherweise eine Unterschätzung ist. Technologisch handelt es sich bei diesen Abwärmequellen meist um metallurgische Prozesse oder andere Hochtemperaturprozesse wie z.B. Härten, Gießen, Brennen oder Schmelzen.

Darüber, wie viel von den insgesamt 316 PJ (87 TWh) für eine Stromnutzung rentabel realisierbar wäre, liegen keine Informationen vor. Diese Abschätzung ist auch deshalb schwer, weil in vielen Branchen die anfallende Abwärme >140°C auch für Prozesswärme-Bedarf <140°C genutzt werden könnte – und zwar im Zweifel mit höheren Rentabilitäten als zur Stromerzeugung. Hierauf weisen Auswertungen von Initialberatungsberichten von 366 Standorten mittelständischer Unternehmens hin, wo rentable Abwärmennutzungs-Projekte mit einer betriebsinternen Energieeinsparung von 110 GWh (oder 4 Mio. € Energiekosteneinsparung) identifiziert wurden.

Unterstellt man angesichts der konkurrierenden Situation zur Abwärmenutzung ein Potenzial von 5 bis 10 % des Abwärmepotenzials $>140^{\circ}\text{C}$ als rentabel bis 2030 möglich, dann wären dies 4,5 bis 9 TWh Abwärme pro Jahr und bei einem mittleren Wirkungsgrad der ORC-Anlagen von 15 % ein Stromerzeugungspotenzial von 0,7 bis 1,5 TWh pro Jahr. Gemessen an dem Aufwuchspotenzial, den die KWK bis 2030 hat, sind dies nur 5 bis 10 %, allerdings ist dieser Strom ohne CO_2 -Emissionen aus Klimaschutzgesichtspunkten eine weitere Betrachtung wert.

5.2.7 Hemmnisse der Nutzung von Abwärme in der Industrie

Die Nutzung von Abwärme aus industriellen Prozessen ist sowohl durch eine Reihe betriebsinterner als auch energiewirtschaftlicher Gegebenheiten bedingt.

Betriebsinterne Gegebenheiten

- Betriebsintern liegen in aller Regel keine für eine Abwärmenutzung relevanten Daten über Energieströme (Temperaturniveau und Mengenströme) vor. Damit sind sie in der Regel auch nicht Gegenstand einer Investitionsüberlegung.
- Meist fällt die Abwärme zeitgleich mit dem Wärmebedarf an; aber lange, zusätzliche Leitungen für den Wärmetransport in gewachsenen Betrieben und Ballaststoffe in den Abwärmemedien führen meist dazu, die Investitionsmöglichkeit nicht weiter zu betrachten.
- Schließlich entstehen auch Unsicherheiten durch die Frage der Beständigkeit der Abwärmesenke über den Abschreibungszeitraum von 10 Jahren. Dies gilt insbesondere bei Abwärmeabgabe an Dritte mit unklarer Investitionssicherheit, wenn der Abnehmer in Insolvenz ginge oder seinen Prozess umstellt. Praktikable Vertrags-Lösungen sind für derartige Fälle erforderlich.
- Hohe Such- und Informationskosten (auch hohe Planungskosten), die infolge des fehlenden Wissens bestehen, führen zu Zurückhaltung der Unternehmen, zumal derartige Investitionen nicht ihr Kerngeschäft wären. Die Rentabilitätsrechnungen allein anhand der Investitionssummen sind daher häufig zu optimistisch.
- Hinzu kommt die übliche Orientierung der Investitionsentscheidung allein an Amortisationszeiten mit kurzen Refinanzierungszeiten, die angesichts der kapitalkosten-intensiven Lösungen illusorisch sind.
- Zuweilen werden auch Befürchtungen über Prozesssicherheit bei der Abwärmeauskopplung oder der Produktqualität bei Abwärmenutzung genannt. Diese Befürchtungen werden

auch besonders für die Dauer der technischen Installations-/Umrüstungsphase geäußert.

Energiewirtschaftliche Gegebenheiten und Rahmenbedingungen

Auch von außerhalb des Betriebes hat der Standortbetreiber häufig ein wenig förderndes Umfeld:

- Es fehlt ein branchenspezifischer Überblick über die rentablen Möglichkeiten der Abwärmenutzung (einschließlich der ORC-Anwendungen) und über mögliche Abwärmeabnehmer in der betrieblichen Nachbarschaft.
- Erfahrene beratende Ingenieure gibt es wegen der geringen Häufigkeit derartiger Investitionsfälle zu wenig; hohe Beratungs- und Planungs-Kosten sind wegen der individuellen Lösungen die Regel.
- Die Hersteller von ORC-Anlagen oder anderen Abwärmenutzungs-Lösungen haben aufgrund dieser mangelnden Kenntnisse bei den Unternehmen und beratenden Ingenieuren einen hohen Akquisitions- und Beratungsaufwand, der bei Kostendeckung ihre Anlagen zu teuer macht.

5.2.8 Fazit: Potenzial in der Industrie

Beide betrachteten Szenarien (Basis-Szenario und Politik-Variante) ergeben

- eine Stagnation der KWK-Anwendung bei den drei Industriesektoren Grundstoffchemie, Gewinnung von Steinen und Erden/sonstiger Bergbau und Papiergewerbe (zum Teil noch mit einem Maximum um 2020 bis 2030) sowie
- eine merklich ansteigende KWK-Anwendung bei den übrigen Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes (Nahrungsmittel-, Investitionsgüter-, Konsum- und Gebrauchsgüterindustrieweige).

Zu beachten ist, dass mit den hier durchgeführten Analysen aufgrund nicht verfügbarer statistischer Angaben nur gut 82 % der KWK-Wärmeerzeugung und knapp 88 % der KWK-Stromerzeugung der Industrie im Basisjahr 2012 erfasst wurde. Um dem Leser die Möglichkeit einer Einschätzung zu geben, wurde in Tabelle 38 und Tabelle 39 die hier ermittelte Entwicklung auf die nicht erfassten Rest-Anteile übertragen.

Bei der Gruppe der Industriesektoren mit stagnierender KWK-Erzeugung steigt das Wärmeerzeugungspotenzial im Basis-Szenario bis zum Jahr 2030 zunächst um gut 11% (+0,6 % pro Jahr) an und sinkt anschließend bis 2050 um etwa 8 % gegenüber dem Potenzial im Jahr 2030 ab (vgl. Tabelle 38). Dadurch ergibt sich bis zum Ende der Betrachtungsperiode insgesamt ein leichter

Zuwachs des KWK-Potenzials von 1,3 TWh Wärme (ca. 2 %) und 0,9 TWh Strom.

Im Gegensatz dazu weisen die Sektoren mit ansteigendem KWK-Erzeugungspotenzial insgesamt betrachtet einen Anstieg von 13 TWh Wärme (5,7 % pro Jahr) bis 2030 bzw. gut 20 TWh (3,6 % pro Jahr) bis 2050 auf (vgl. Tabelle 38).

Tabelle 38: Potenziale der Wärme- und Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, Basis-Szenario

Industriesektoren		KWK-Erzeugungspotenziale in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
		2012	2020	2030	2040	2050	2012 - 2030	2012 - 2050
Wärme	Industriesektoren mit stagnierender KWK-Erzeugung ¹⁾	51.738	57.200	57.600	56.100	53.000	0,6%	0,1%
	Industriesektoren mit ansteigender KWK-Erzeugung ²⁾	17.452	25.200	30.330	35.040	38.050	3,1%	2,1%
	Industrie insgesamt ³⁾	69.190	82.400	87.930	91.140	91.050		
	Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ⁴⁾	14.935	16.614	18.980	19.673	19.653	1,3%	0,7%
	Gesamtpotenzial Industrie ⁵⁾	84.125	99.014	106.910	110.813	110.703		
Strom	Industriesektoren mit stagnierender KWK-Erzeugung ¹⁾	19.690	23.450	23.830	22.730	20.520	1,1%	0,1%
	Industriesektoren mit ansteigender KWK-Erzeugung ²⁾	5.158	10.550	14.100	17.450	19.470	5,7%	3,6%
	Industrie insgesamt ³⁾	24.848	34.000	37.930	40.180	39.990		
	Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ⁴⁾	3.432	4.142	5.239	5.550	5.523	2,4%	1,3%
	Gesamtpotenzial Industrie ⁵⁾	28.280	38.142	43.169	45.730	45.513		

1) Grundstoffchemie, Gewinnung von Steinen und Erden/sonstiger Bergbau und Papiergewerbe

2) Ernährung und Tabak, Fahrzeugbau, Glas und Keramik, Gummi- und Kunststoffwaren, Maschinenbau, Metallbearbeitung, Metallherzeugung, NE-Metalle und -gießereien, sonstige chemische Industrie, Sonstige Wirtschaftszweige sowie Verarbeitung von Steinen und Erden

3) Summe der detailliert betrachteten Industriesektoren, ohne nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken

4) Differenz ergibt sich aufgrund von Geheimhaltungsfällen in den offiziellen Statistiken

5) Summe von Industrie gesamt und nicht ausgewiesener Differenz zu Statistiken

Quelle: DESTATIS 2013 und 2014 a, b; VIK 2014, eigene Berechnungen IREES 2014

Insgesamt ergibt sich für die Industrie (einschließlich der nicht Branchen zugeordneten Leistung) im Jahr 2050 (vgl. Tabelle 38 und Tabelle 39)

- ein Wärmepotenzial, das durch KWK-Anlagen erzeugt werden könnte, von ca. 110 TWh (+30 % gegenüber 2012) im Basis-Fall,
- ein etwas höheres Wärmepotential in der Politik-Variante von 131 TWh (+56 % gegenüber 2012). Dies bedeutet, dass zur Realisierung deutlich verstärkte Anstrengungen der Politik notwendig wären.

Stromseitig ist der Aufwuchs der KWK wegen der günstigen Stromkennzahl der zugebauten Anlagen noch merklich höher. Insgesamt bleibt zu beachten, dass

- der Zuwachs der KWK-Anlagen in der Industrie zwischen 2030 und 2040 deutlich abnimmt und
- nach 2040 stagniert, d. h. der Rückbau der KWK-Anlagen in den Branchen mit hohen gegenwärtigen KWK-Anteilen gerade kompensiert wird durch die auch im Jahrzehnt 2040 bis 2050 zuwachsenden KWK-Anlagen in den Branchen mit höheren Wachstumspotenzialen.

Tabelle 39: Potenziale der Wärme- und Stromerzeugung mittels KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland für die Jahre 2012 – 2050, ambitionierte Politik-Variante

Industriesektoren		KWK-Erzeugungspotenziale in GWh/a					Jährliche Wachstumsraten	
		2012	2020	2030	2040	2050	2012-2030	2012-2050
Wärme	Industriesektoren mit stagnierender KWK-Erzeugung ¹⁾	51.738	57.300	57.700	56.200	53.100	0,6%	0,1%
	Industriesektoren mit ansteigender KWK-Erzeugung ²⁾	17.452	34.020	42.370	50.120	55.270	5,1%	3,1%
	Industrie insgesamt ³⁾	69.190	91.320	100.070	106.320	108.370		
	Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ⁴⁾	14.935	17.597	21.600	22.949	23.392	2,1%	1,2%
	Gesamtpotenzial Industrie ⁵⁾	84.125	108.917	121.670	129.269	131.762		
Strom	Industriesektoren mit stagnierender KWK-Erzeugung ¹⁾	19.690	23.540	23.910	22.810	20.610	1,1%	0,1%
	Industriesektoren mit ansteigender KWK-Erzeugung ²⁾	5.158	16.780	22.590	28.010	31.600	8,6%	4,9%
	Industrie insgesamt ³⁾	24.848	40.320	46.500	50.820	52.210		
	Nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken ⁴⁾	3.432	4.534	6.422	7.019	7.211	3,5%	2,0%
	Gesamtpotenzial Industrie ⁵⁾	28.280	44.854	52.922	57.839	59.421		

1) Grundstoffchemie, Gewinnung von Steinen und Erden/sonstiger Bergbau und Papiergewerbe

2) Ernährung und Tabak, Fahrzeugbau, Glas und Keramik, Gummi- und Kunststoffwaren, Maschinenbau, Metallbearbeitung, Metallherzeugung, NE-Metalle und -gießereien, sonstige chemische Industrie, Sonstige Wirtschaftszweige sowie Verarbeitung von Steine und Erden

3) Summe der detailliert betrachteten Industriesektoren, ohne nicht ausgewiesene Differenz zu Statistiken

4) Differenz ergibt sich aufgrund von Geheimhaltungsfällen in den offiziellen Statistiken

5) Summe von Industrie gesamt und nicht ausgewiesener Differenz zu Statistiken

Quelle: DESTATIS 2013 und 2014 a, b; VIK 2014, eigene Berechnungen IREES 2014

6 Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmeversorgungssystem

Anforderungen an das Stromsystem der Zukunft

Durch den wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien im Strommarkt ergeben sich für das Stromsystem drei zentrale Herausforderungen: Neben der Vermeidung von volkswirtschaftlich ineffizienten systematischen Strom-Überschüssen und der Refinanzierung der Leistungsabsicherung im Strommarkt stellt die Bereitstellung von Systemdienstleistungen eine zentrale Herausforderung dar. Hieraus ergeben sich auch an die KWK-Stromerzeugung entsprechende Flexibilitätsanforderungen, die zur effizienten Einbindung in das Stromsystem der Zukunft notwendig sind.

Technische Konzepte zur Flexibilisierung der KWK-Anlagen

Die KWK-Stromerzeugung bietet als Teil von zumeist großen Wärmeversorgungssystemen in der Industrie und in der allgemeinen Versorgung über Anlagenkonzepte, Wärmespeicher und Spitzenkessel ausreichend technische Flexibilität um langfristig auch in einem System mit hohen Anteilen fluktuierender erneuerbarer Energien bestehen zu können. Die Anwendungen in der Objektversorgung verfügen über die gleichen technischen Flexibilitätsoptionen.

Derzeitige Nutzung der Flexibilität von KWK-Anlagen zur Vermeidung der Abregelung von EE-Anlagen

Derzeit kann keine systematisch durch die KWK verursachte technisch bedingte Inflexibilität im Stromsystem festgestellt werden. Vielmehr korrespondiert insbesondere das Erzeugungsprofil der KWK in der allgemeinen Versorgung sehr gut mit Einspeisung der erneuerbaren Energien. Bei der Ausnutzung der technischen Möglichkeiten der Flexibilisierung der KWK-Anlagen ist damit auch in Zukunft nicht zurechnen. Heute noch nicht umfassend genutzte technische Möglichkeiten zur flexiblen Fahrweise von KWK-Anlagen liegen nahezu ausschließlich in der noch nicht gegebenen wirtschaftlichen Attraktivität begründet. Insbesondere Eigenerzeugungskonzepte, bei nicht-privilegierten Endkunden reagieren im Vergleich zu im Strommarkt vermarkteten Anlagen erst bei deutlich ausgeprägteren Strompreissignalen. Der Anteil dieser Anlagen im Bestand ist jedoch immer noch eher gering (schätzungsweise etwa 15 TWh).

KWK im Wärmemarkt

Derzeit werden im Wärmemarkt rund 15% aus KWK-Anlagen erzeugt. Langfristig bietet die KWK insbesondere in verdichteten Räumen eine günstige Option die Wärmebereitstellung ressourcenschonend und CO₂-arm bereitzustellen.

Langfristig sollte jedoch zur Ausschöpfung der wärmeseitigen Potenziale der EE-Anteil in der Fernwärmebereitstellung erhöht werden. Power-to-Heat-Konzepte können in diesem Zusammenhang auch die Integration hoher fluktuierender EE-Anteile im Strommarkt begünstigen

Langfristige Rolle der KWK im Gesamtsystem

Historisch betrachtet war die Nutzung der KWK-Technik zumeist durch die unzureichende Ausnutzung bestehender Wärmesenken begrenzt. Diese Beschränkung auf der Wärmeseite wird langfristig in Zukunft durch die wachsenden Anteile der fluktuierenden erneuerbaren Energieträger auf der Stromseite ergänzt. Mit der technischen Flexibilität leisten die KWK-Anlagen Energien auch langfristig einen volkswirtschaftlich sinnvollen Beitrag zur effizienten und ressourcenschonenden Versorgung mit Strom und Wärme. Durch die Nutzung zusätzlicher Flexibilitätsoptionen im Stromsystem wie dem grenzüberschreitenden Stromhandel oder die Nutzung von Power-to-Heat-Anwendungen kann das bisher noch nicht genutzte Potenzial der KWK-Technik weiter ausgebaut werden. Das bisherige Zielsystem zur Förderung der KWK-Anlagen erweist sich langfristig aufgrund des zunehmenden Anteils von nicht KWK-fähigen Stromerzeugungstechnologien (Wind und PV) als wenig passend. Eine Umstellung der Zielgröße auf die KWK-kompatible Stromerzeugung erscheint vor dem Hintergrund der wachsenden Anteile fluktuierender Stromerzeugung sinnvoll.

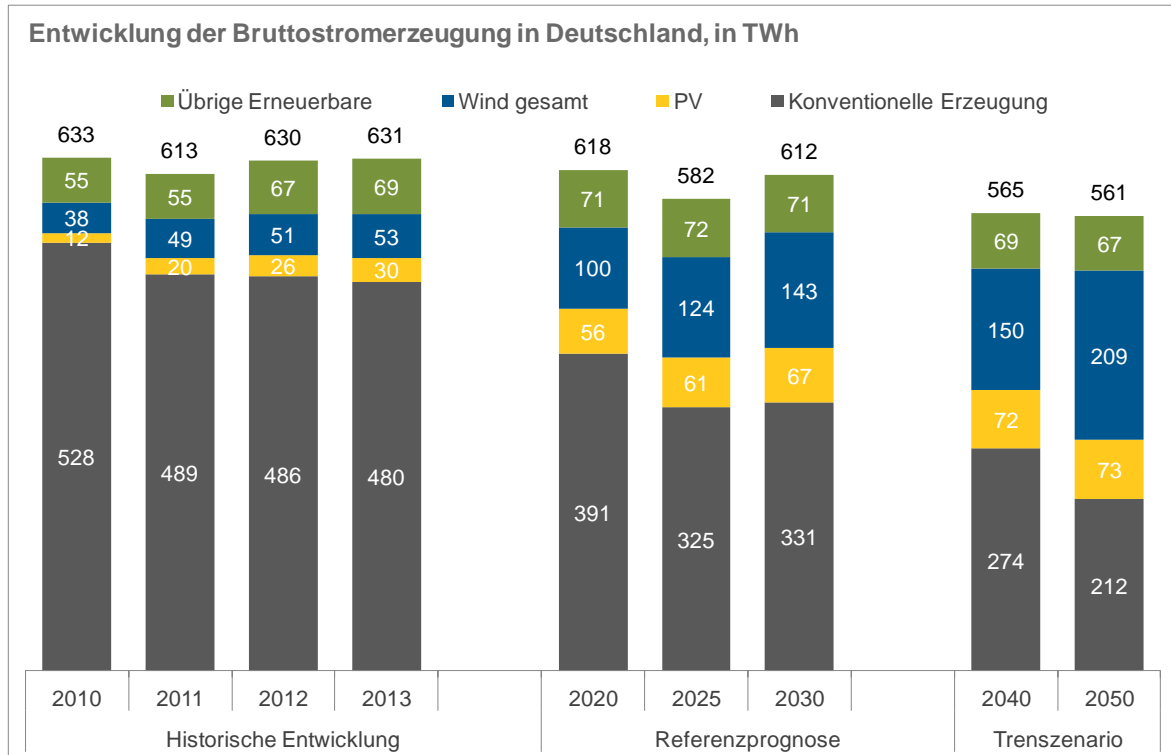
CO₂-Einsparungen durch KWK

Darüber hinaus trägt die KWK auch weiterhin deutlich zur CO₂-Einsparung bei. Selbst wenn langfristig im deutschen Strommarkt nur noch Gaskraftwerke im Strommix verdrängt werden besteht weiterhin gegenüber der ungekoppelten Erzeugung ein erheblicher Vorteil in der CO₂-Bilanz.

6.1 Anforderungen an das Stromsystem der Zukunft

Das deutsche Stromsystem hat sich in den vergangenen Jahren stark verändert. Durch den Ausbau von erneuerbaren Energien ist der Anteil der variablen Stromerzeugung stark gestiegen. 2010 wurden noch knapp acht Prozent des in Deutschland erzeugten Stroms (brutto) aus Wind oder Photovoltaik gewonnen. Im Jahr 2013 waren es bereits mehr als 13 Prozent. Nach den Berechnungen der Energierferenzprognose, die im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums erstellt worden ist, kann der Anteil der PV- und Windstromerzeugung bis zum Jahr 2050 entsprechend dem Referenzszenario und der Trendfortschreibung auf mehr als 50 % steigen. Im Zielszenario liegen die Anteile noch weitaus höher.

Abbildung 29: Struktur der Stromerzeugung in Deutschland 2010 bis 2050



Quelle: Prognos 2014 nach Energierferenzprognose

Aus der Zunahme der fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeugung ergeben sich drei wesentliche Herausforderungen für das zukünftige Stromsystem, denen auch KWK-Anlagen ausgesetzt sein werden.

Vermeidung von volkswirtschaftlich ineffizienten systematischen Strom-Überschüssen:

Die Ausweitung der erneuerbaren fluktuierenden Stromerzeugung führt dazu, dass sich die regelbaren Stromerzeugungskapazitäten immer stärker an die Residuallast anpassen müssen (Flexibilisierung). Bei hohen EE-Einspeisungen von Anlagen ohne kurzfristige Grenzkosten ist es sinnvoll, Anlagen, die Grenzkosten aufweisen weniger stark zu nutzen. Für KWK-Anlagen bedeutet dies, dass in Situationen mit hoher EE-Einspeisung und geringer Residuallast die in den KWK-Anlagen anfallende Stromerzeugung möglichst gering sein sollte. KWK-Anlagen, insbesondere Anlagen mit festem Strom- zu Wärmeverhältnis, waren in der Vergangenheit in ihrer technischen Konzeption nicht auf eine möglichst flexible Stromerzeugung ausgelegt.

Refinanzierung der Leistungsabsicherung (Back-up) im Strommarkt:

Bedingt durch die steigende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist die Auslastung der konventionellen Anlagen im Strommarkt deutlich gesunken. Bei gleichzeitig sinkenden CO₂-Preisen und leicht sinkender Gesamtstromnachfrage sind die Strompreise auf dem Großhandelsmarkt aufgrund von einem Überangebot an Arbeit stark gesunken. Die daraus resultierende Verschlechterung der Ertragslage für konventionelle Kraftwerke – insbesondere von Altanlagen mit hohen variablen Kosten – könnte in den kommenden Jahren zu einem wirtschaftlich bedingten Rückbau von Kraftwerksleistung führen. Dem entgegen steht jedoch ein weiterhin hoher Bedarf an gesicherter Leistung im Strommarkt für den Fall, dass zu Zeiten hohen Strombedarfs wenig fluktuierende erneuerbare Einspeisung zur Verfügung steht. Naturgemäß tragen Wind und Photovoltaik nur zu einem geringen Maße zur Absicherung der Erzeugungsleistung bei. Diese Entwicklung hat in Deutschland dazu geführt, dass gegenwärtig die Frage diskutiert wird, ob langfristig zur Absicherung der Versorgungssicherheit Kapazitätsmechanismen notwendig sind oder ob der Energy-only-Markt langfristig ausreichend Leistungsabsicherung auf der Angebots- und Nachfrageseite bereitstellen kann. Für KWK-Anlagen ergibt sich hieraus die Anforderung, in Zeiten hoher Residuallast möglichst viel Stromerzeugung parallel zur Wärmeerzeugung bereit zu stellen. Auch hierfür ist eine Steigerung der Flexibilität der KWK-Anlagen hilfreich, die historisch nicht bei allen Anlagenkonzepten im Fokus stand.

Bedarf an Systemdienstleistungen steigt:

Die Stromerzeugung aus variablen erneuerbaren Energien, wie Wind und Photovoltaik, ist deutlich schwieriger zu prognostizieren als die Stromerzeugung aus regelbaren Anlagen. Zum Ausgleich der Prognosefehler wird Regelleistung benötigt. Es ist zu erwarten, dass mit zunehmendem Ausbau der regenerativen Stromerzeugung mehr Regelleistung vorgehalten werden muss, die wiederum aus dem Stromsystem heraus gedeckt werden muss. Bisher werden hierzu nahezu ausschließlich konventionelle Kraftwerke und vereinzelt große Stromnachfrager genutzt. Zukünftig werden hierzu aber auch verstärkt erneuerbare Energien und auch KWK-Anlagen genutzt werden müssen, was wiederum die Anforderungen an die Flexibilität des KWK-Systems erhöht.

Langfristig kommt somit der Erhöhung der Flexibilität der KWK-Systeme eine gewisse Bedeutung zu, um die Integration hoher Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien zu begünstigen. Für die Erhöhung der Flexibilität der KWK-Anlagen sind verschiedene Technologien und Lösungen denkbar. Die technische Ausgestaltung und Nutzung dieser Konzepte wird im folgenden Kapitel diskutiert.

6.2 Technische Konzepte zur Flexibilisierung der KWK-Anlagen

Grundsätzlich werden bei KWK-Anlagen technische Konzepte unterschieden, die entweder ein flexibles oder ein starres **Strom-zu-Wärme-Verhältnis** aufweisen. Zu den KWK-Anlagen mit flexiblem Strom-zu-Wärme-Verhältnis zählen Entnahmekondensationsdampfturbinen. Sie können bei einer bestimmten Wärmeanforderung aus dem Fernwärmesystem in gewissen Bandbreiten variabel Strom hierzu erzeugen. In diesen Anlagen ist es folglich grundsätzlich möglich, die Stromerzeugung an die Marktsituation anzupassen. Diese Anlagenkonzepte werden auch überwiegend stromgeführt betrieben.

Anlagen mit **Gegendruckmaschinen, BHKW oder Gasturbinen mit Abhitzeessel** zählen zu den KWK-Konzepten mit geringerer Flexibilität und festem Strom-zu-Wärme-Verhältnis. Das technische Konzept dieser Anlagen wird häufiger auf den Wärmebedarf ausgelegt und diese Anlagentypen werden vorrangig wärmegeführt betrieben. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Anlagen nicht auf Signale des Strommarkts reagieren.

Der AGFW-Jahresbericht veröffentlicht für die KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung (siehe Tabelle 40) die installierte elektrische Anlagenleistung und die Stromerzeugung nach Anlagentypen. Aus dieser Statistik wird deutlich, dass in der allgemeinen Versorgung im Grundsatz mehrheitlich Anlagentypen mit flexiblem Strom-zu-Wärme-Verhältnis zum Einsatz kommen. Das heißt, eine technische Optimierungsmöglichkeit auch gegenüber dem Strommarkt ist gegeben.

Tabelle 40: Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (eigene Anlagen nach AGFW) nach Turbinenart im Jahr 2012

	Flexibles Verhältnis zwischen Strom- und Wärmeproduktion	Stromerzeugung in TWh		Engpassleistung in GW	
		Gesamt	in KWK	Gesamt	in KWK
Dampfturbinen-Entnahme-Kondensation	Ja	84	9	13,7	3,9
GuD-Entnahme-Kondensation	Ja	9	4	3,0	2,2
Gasturbine mit Abhitzeessel	Ja*	1	1	0,9	0,9
Dampfturbinen-Gegendruckturbine	Nein	9	4	1,4	1,4
GuD-Gegendruckturbine	Nein	9	8	2,0	2,0
BHKW	Nein	2	2	0,5	0,5
Gesamt		114	28	21,5	10,9
mit flexiblem Verhältnis		94	14	17,6	7,0
ohne flexibles Verhältnis		20	14	3,9	3,9

*Annahme: Gasturbinen sind mit Hilfskühlern ausgestattet bzw. dürfen Wärme über Schornstein abgeben.

Quelle: AGFW 2012

Verbessert werden kann die Flexibilität von beiden Anlagenkonzepten durch die **Nutzung von Hilfskühlern und Wärmespeichern**. Vordergründig eingesetzt werden solche Systeme naturgemäß bisher eher bei den weniger flexiblen KWK-Anlagen mit festem Strom-zu-Wärme-Verhältnis, was es diesen sonst wenig flexiblen Anlagenkonzepte ermöglicht, ihren Einsatz am Strommarkt zu optimieren.

Der in Kapitel 7.4 beschriebene bereits erfolgte oder geplante Zubau von Wärmespeichern wird die technischen Möglichkeiten zur Flexibilisierung der KWK-Stromerzeugung in Deutschland weiter erhöhen. Bei Kleinanlagen im Bereich der Areal- oder Blockversorgung gehören Wärme- und Pufferspeicher zur technischen Standardausrüstung. Auch bei diesen Anlagen ist somit die technische Möglichkeit der Flexibilisierung und Einsatzoptimierung gegenüber dem Strommarkt grundsätzlich gegeben.

Einzig im Bereich der Industrie sind bisher Wärmespeicher aufgrund der mangelnden Wirtschaftlichkeit bei hohen Temperaturniveaus eher die Ausnahme. Allerdings verfügen Industrieanlagen wie alle anderen KWK-Anlagen auch über eine weitestgehende Absicherung der KWK-Wärmeleistung und der möglichen Spitzenlast durch Kessel. Dies ermöglicht grundsätzlich, die Bereitstellung von Strom und Wärme kostenseitig zu optimieren. Bei sehr niedri-

gen oder negativen Strompreisen im Großhandel, die zumeist ein Zeichen von hoher EE-Erzeugung im Vergleich zur Nachfrage sind, besteht die Möglichkeit, auch wenig flexible KWK-Anlagen herunterzufahren und die Wärme über Kesselanlagen zu erzeugen und den Strom aus dem Netz zu beziehen. Bei KWK-Anlagen, die Strom zur eigenen Nutzung erzeugen, tritt diese Opportunität ökonomisch jedoch erst recht spät auf. Die vermiedenen Netznutzungsentgelte oder die zumindest teilweise vermiedene Zahlung von Umlagen und Steuern sorgen dafür, dass es erst bei sehr hohen negativen Preisen eine solche Opportunität entsteht. Treten solche Situationen jedoch häufiger auf, werden insbesondere auf ökonomische Optimierung bedachte Industrieunternehmen diese Optionen sehr schnell realisieren.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass die technischen Möglichkeiten, die KWK flexibel zu betreiben und damit die Abregelung von erneuerbaren Energien zu vermeiden, sehr weit ausgeschöpft werden. Mit der Förderung der Wärmespeicher, die in der letzten KWK-Novelle eingeführt wurde, ist hier zusätzliches Potenzial geschaffen worden. Die Abregelung von erneuerbarer Stromerzeugung aufgrund von technischer Inflexibilität spielt daher unserer Einschätzung nach nur eine untergeordnete Rolle.

6.3 Derzeitige Nutzung der Flexibilität von KWK-Anlagen zur Vermeidung der Abregelung von EE-Anlagen

In Stromsystemen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien kann es temporär zu **Überschüssen** an Erzeugung kommen. Das heißt, dass die fluktuierende Stromerzeugung und die sogenannte Must-Run-Erzeugung (Erzeugung zur Erbringung von Systemdienstleistungen) den aktuellen Strombedarf übersteigen und der Strom daher nicht in das System integriert werden kann und damit abgeregelt werden muss. Die Abregelung der fluktuierenden erneuerbaren Energien Wind und PV sollte aber aufgrund ihrer entfallenden Grenzkosten die letzte mögliche Option sein. Eine flexiblere Fahrweise von (KWK-)Anlagen kann das Auftreten von Erzeugungsüberschüssen reduzieren.

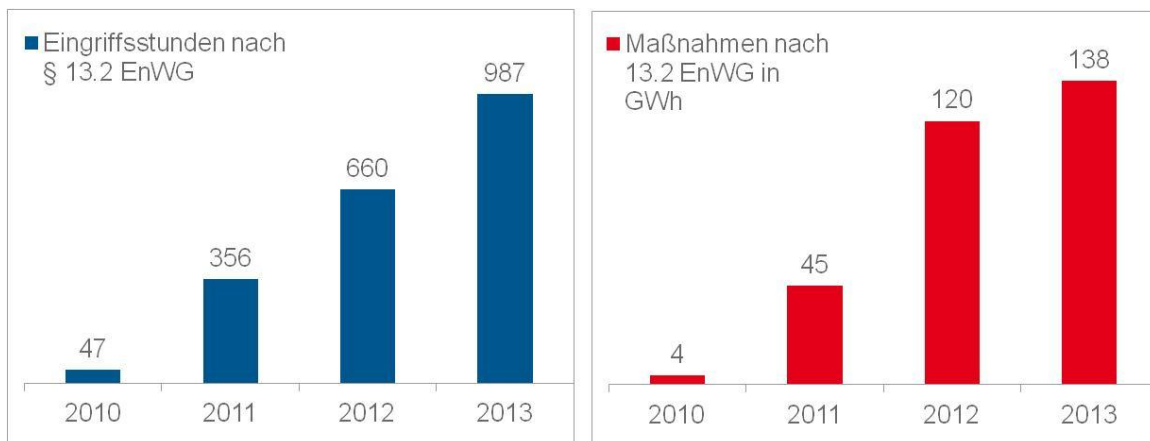
Solche Situationen treten jedoch erst bei einem sehr hohen Anteil von fluktuierender Erzeugungsleistung auf und waren bislang nur selten relevant in Deutschland. Auch in Stunden mit hoher Wind- und PV-Einspeisung wurden bislang nie mehr als 65 Prozent des Strombedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt.

Ein weiterer Grund für die Abregelung von fluktuierender Erzeugung sind **lokale Netzengpässe**. Da die Standortwahl von Windkraftanlagen und Photovoltaiksystemen nach meteorologischen Gesichtspunkten erfolgt, muss der Strom teilweise über weitere Strecken in die Versorgungszentren transportiert werden. Netz-

engpässe können dazu führen, dass der erneuerbare Strom aus Gründen der Netzstabilität abgeregelt werden muss (§ 13.2 EnWG).

Wie in Abbildung 30 deutlich wird, haben in den vergangenen vier Jahren sowohl die Anzahl der Eingriffe als auch die absolute Eingriffsdauer deutlich zugenommen: Im Jahr 2013 wurden in rund 1.000 Stunden insgesamt 138 GWh erneuerbare Energien abgeregelt. Im Jahr 2010 waren es lediglich 4 GWh in 47 Stunden. Mittelfristig ist zu erwarten, dass die netzbedingte Abregelung von fluktuierender Stromerzeugung weiter zunehmen wird – sofern das Netz noch nicht in ausreichendem Maße ausgebaut ist. Da diese Abregelung ausschließlich aufgrund von technischen Netzrestriktionen erfolgt, kann auch eine stärkere Flexibilisierung der KWK die Systemintegration der erneuerbaren Energien hier nicht verbessern.

Abbildung 30: Netzbedingte Abregelung von Erneuerbaren Energien im Übertragungsnetz nach § 13.2 EnWG



Quelle: Prognos AG, eigene Darstellung basierend auf Daten von 50Hertz und TenneT

Ein zusätzlicher möglicher Grund für die Abregelung von erneuerbaren Energien ist die **strompreisbedingte Abregelung** im Rahmen **der Direktvermarktung**. Nach §§ 34 ff des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG 2014) setzen sich die Erlöse für die in der Direktvermarktung erzeugte Strommenge zusammen aus dem auf dem Day-Ahead-Markt erzielten Börsenpreis und der Marktprämie. Die monatlich ermittelte Marktprämie ergibt sich aus dem anzulegenden Wert (entspricht der EEG-Vergütung) abzüglich den durchschnittlichen Erlösen des jeweiligen Anlagentyps.

In der Regel sind die Verträge zwischen Direktvermarkter und Anlagenbetreiber so ausgestaltet, dass der Anlagenbetreiber in jeder Stunde, in der die Anlage einspeisen kann, mindestens EEG-Vergütung erhält. Daraus folgt, dass das Vermarktungsrisiko beim Direktvermarkter liegt. Bei Stunden mit sehr negativen Preisen kann es für den Direktvermarkter günstiger sein, die Anlage

strompreisbedingt abzuschalten. In diesem Fall muss er zwar dem Anlagenbetreiber die EEG-Vergütung auszahlen und erhält vom Netzbetreiber keine Marktprämie. Gleichzeitig muss er aber auch nicht die Kosten der negativen Strompreise tragen. Der Schwellwert der Abschaltung ist für jede Anlage individuell, da sie abhängig ist vom anzulegenden Wert. Bislang sind derartige Situationen selten aufgetreten.

In der aktuellen EEG-Novelle von 2014 wurde zudem verankert, dass für Neuanlagen bei sechs aufeinander folgenden Stunden mit negativen Börsenstrompreisen der anzulegende Wert auf null gesenkt wird. Damit soll in Stunden mit negativen Preisen ein Anreiz geschaffen werden, die EEG-Stromerzeugung zu reduzieren. Eine flexible Fahrweise von KWK-Anlagen würde hier indirekt über die Angebotsreduzierung im Markt zu einer Verbesserung der EEG-Integration führen.

Zusammenfassend lässt sich daraus ableiten, dass bislang eine flexible Fahrweise von KWK-Anlagen keinen bzw. nur einen sehr kleinen Einfluss auf die Abregelung erneuerbarer Energien hat, da diese fast ausschließlich durch lokale Netzengpässe verursacht wurden. Erst beim Auftreten von Überschüssen im Gesamtsystem kann eine flexiblere KWK-Fahrweise die Integration erneuerbarer Energien verbessern.

Ein Indikator für den Bedarf und die Verfügbarkeit an flexibler Leistung im Stromsystem ist die Entwicklung der Großhandelsstrompreise. Strompreise von deutlich über 100 Euro/MWh sind ein erstes Anzeichen dafür, dass grundsätzlich nur wenig Kapazität zur Leistungsdeckung im System zur Verfügung steht, bzw. dass die vorhandene Kapazität nicht ausreichend flexibel auf das Strompreissignal reagiert. Negative Preise hingegen sind nicht ausschließlich ein Indikator für fehlende technische Flexibilität. Sie können zwar durch preisunabhängige Gebote von Must-Run-Kraftwerken – Kraftwerke zur Bereitstellung von Regelleistung oder KWK-Anlagen – verursacht werden, sie sind aber auch ein Anzeichen für noch nicht erfolgte Opportunität. Kern- und Braunkohlekraftwerke mit geringen variablen Kosten und vergleichsweise hohen An- und Abfahrtskosten können in Zeiträumen mit stark volatilen Preisen wirtschaftlich optimal betrieben werden, wenn sie wenige Stunden mit negativen Strompreisen akzeptieren und damit Kosten für An- und Abfahrsvorgänge einsparen.

Tabelle 41 zeigt die Verteilung der Strompreise am Day-Ahead-Markt der Strombörse Epex Spot. Trotz steigendem Anteil an erneuerbaren Energien waren in den vergangenen Jahren in vergleichsweise wenigen Stunden Strompreise unter 0 EUR/MWh

bzw. höher als 100 EUR/MWh zu beobachten. Die höchste Anzahl negativer Strompreise war in den Jahren 2009, 2012 und 2013 zu verzeichnen⁸ – wobei 2013 der Mittelwert der Preise kleiner gleich 0 EUR/MWh wieder deutlich kleiner ist. Zurück gegangen sind in der Vergangenheit auch die Stunden mit Strompreisen über 100 EUR/MWh.

Aus dieser Analyse lässt sich ableiten, dass der momentane Kraftwerkspark ausreichend Kraftwerkskapazitäten zur Nachfragedeckung aufweist und flexibel auf die Residuallast im System reagiert – bzw. dass eine weitere Flexibilisierung der Erzeugungsleistung derzeit noch nicht zwingend erforderlich ist.

Tabelle 41: Absolute Häufigkeit von Day-Ahead-Preisen an der Epex Spot zwischen 2004 und 2013

Klassen	2004	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Mittelwert der Preise <=0 EUR/MWh	0	0	-12	-43	-5	-9	-58	-14
Stunden <=0 EUR/MWh	0	10	35	73	12	16	58	65
Stunden zwischen 0 und 10 EUR/MWh	469	172	109	289	129	47	66	265
Stunden zwischen 10 und 20 EUR/MWh	1.324	431	123	485	284	219	492	747
Stunden zwischen 20 und 30 EUR/MWh	3.099	1.147	340	1.374	693	291	813	1.355
Stunden zwischen 30 und 40 EUR/MWh	2.719	1.858	751	2.714	1.827	809	2.445	3.006
Stunden zwischen 40 und 50 EUR/MWh	965	1.539	1.180	2.150	3.101	2.548	2.191	1.445
Stunden zwischen 50 und 60 EUR/MWh	121	1.086	1.402	807	1.729	2.539	1.729	1.079
Stunden zwischen 60 und 70 EUR/MWh	37	995	1.335	399	687	1.872	726	576
Stunden zwischen 70 und 80 EUR/MWh	17	593	1.226	251	224	362	115	140
Stunden zwischen 80 und 90 EUR/MWh	3	398	848	125	50	36	45	43
Stunden zwischen 90 und 100 EUR/MWh	3	265	523	48	17	10	20	22
Stunden über 100 EUR/MWh	3	266	888	45	7	11	60	17

Quelle: Prognos AG, eigene Darstellung basierend auf Daten von Energinet.DK

6.3.1 Charakteristik der heutigen KWK-Stromerzeugung

Um das heutige Flexibilitätspotenzial von KWK-Anlagen im Strommarkt zu bewerten, muss zwischen technischen und wirtschaftlichen Aspekten unterschieden werden.

Zum einen müssen die Anlagen technisch so ausgestattet sein, dass die Wärmebereitstellung von der Stromerzeugung entkoppelt werden kann. Diese Entkoppelung kann, wie oben dargestellt, so-

⁸ Vor dem 1. September 2008 betrug die preisliche Untergrenze an der Leipziger Strompreise 0 EUR/MWh. Negative Preise waren damit technisch nicht möglich.

wohl über Spitzenkessel als auch über Wärmespeicher erfolgen. Zum anderen müssen ausreichende wirtschaftliche Anreize bestehen, damit sich die Anlagen in ihrer Fahrweise der Residuallast auf dem Strommarkt anpassen.

Das heißt, in Zeiten hoher Residuallast müssen die Strompreissignale ausreichend hoch sein, um eine Netzeinspeisung des Stroms anzureizen. Im Gegenzug sollte bei hoher Einspeisung aus erneuerbaren Energien und geringer Stromnachfrage der Strompreis niedrig genug sein, so dass die KWK-Stromerzeugung reduziert wird und der benötigte Strom aus dem Netz bezogen wird. In wie weit auf die Situation im Strommarkt reagiert wird, ist abhängig von den Strombezugskosten (Netz) bzw. der Höhe des zu erzielenden Strompreises auf dem Großhandelsmarkt und den Kosten der alternativen Wärmebereitstellung (Spitzenkessel, Speicher).

Um die Rolle der KWK im sich verändernden Stromsystem zu skizzieren, wird im Folgenden das gegenwärtige Flexibilisierungspotenzial der verschiedenen KWK-Klassen betrachtet. Besonderer Fokus wird dabei auf die KWK der allgemeinen Versorgung und die Industrie-KWK gelegt. Sie steuerten 2012 mit 51,0 TWh bzw. 28,3 TWh die größten Beiträge zur Stromerzeugung aus KWK bei. Eine vergleichsweise untergeordnete Rolle spielen kleine KWK-Anlagen unter 1 MW_{el} sowie die biogenen KWK-Anlagen. Sie erzeugten 2012 zusammen 15,7 TWh gekoppelten Strom.

Tabelle 42: Klassifizierung von KWK-Anlagen

	Stromerzeugung 2012 [TWh]	Typische Betriebsweise
KWK der allgemeinen Versorgung	51,0	Gesamtoptimierung entsprechend (Börsen)-Strompreisen und der Fernwärmennachfrage
Industrie-KWK	28,3	Wärme- bzw. stromgeführt entsprechend dem Eigenbedarf
Kleine KWK > 1 MW _{el}	4,5	Wärme- bzw. stromgeführt entsprechend dem Eigenbedarf
Biogene KWK	11,2	Direktvermarktung bzw. Grundlast

Quelle: Prognos AG

Die verschiedenen KWK-Klassen unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrem Verhältnis von Strom- zu Wärmbedarf und damit in der Betriebsführung. Bei wärmegeführter Betriebsweise steht die Deckung des Wärmeprofiles im Vordergrund. Das Kuppelprodukt Strom wird entweder direkt vor Ort genutzt oder ins Netz eingespeist. Übersteigt der Bedarf an elektrischer Energie die jeweilige Erzeugung, so wird zusätzlich Strom aus dem Netz bezogen. Bei stromgeführter Betriebsweise wird die Anlage auf das elektrische Lastprofil bzw. auf die Börsenpreise hin optimiert. Die Wärme wird vor Ort genutzt und bei Bedarf kann zusätzlich Wärme durch einen Spitzenkessel bereit gestellt werden.

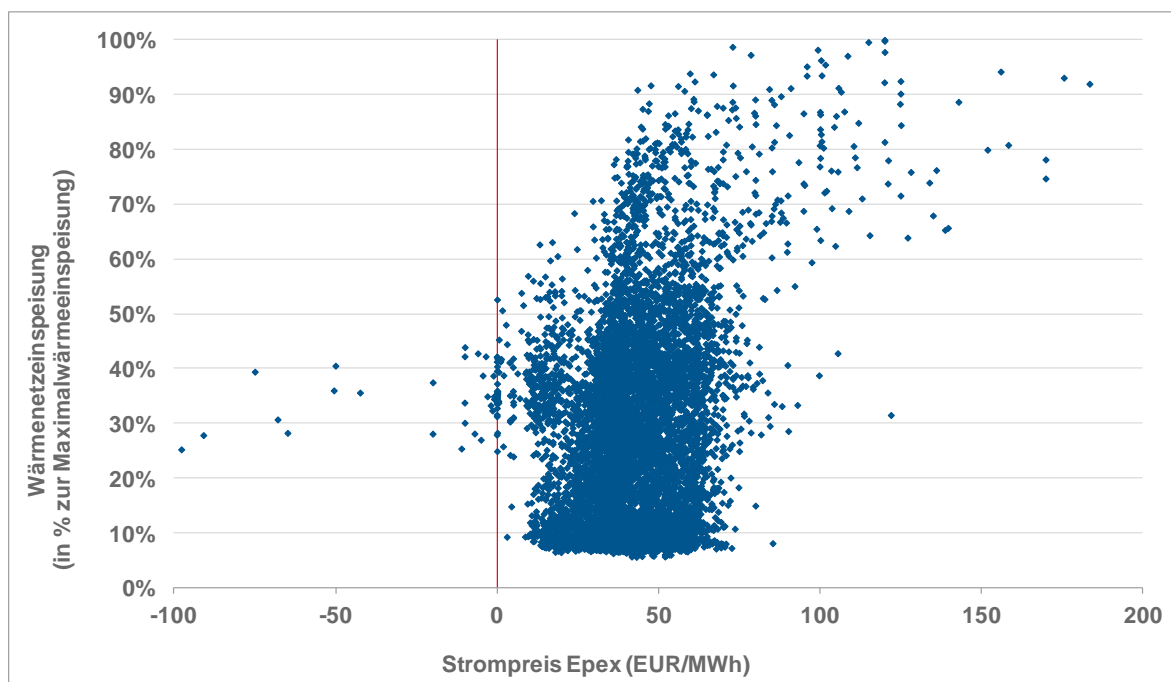
6.3.2 KWK der allgemeinen Versorgung

Betreiber von KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung zeichnen sich dadurch aus, dass sie den Wärmebedarf eines spezifischen Fern- oder Nahwärmenetzes zu decken haben. Die erforderliche Wärme kann entweder durch die KWK-Anlage bereitgestellt werden oder durch einen Spitzenkessel. Der gekoppelt erzeugte Strom wird in der Regel direkt über den Großhandelsmarkt (Börse oder bilateraler Handel) veräußert.

Ob sich die jeweilige KWK-Anlage von ihrer Betriebsweise her gut in das aktuelle Stromsystem integriert, hängt grundsätzlich davon ab, in wie weit der spezifische Wärmebedarf mit Strompreisen korreliert. Ein zeitliches Zusammenfallen von hohen Strompreisen und hohem Wärmebedarf unterstützt die Stromsystem stabilisierende Fahrweise der KWK-Anlage.

Abbildung 31 zeigt für die Jahre 2011 und 2012 den zeitlichen Zusammenhang zwischen dem Wärmebedarf des Fernwärmenetzes Hannovers und den vortäglichen Großhandelspreisen an der Leipziger Strombörse. Auffällig ist, dass in Zeiten hoher Wärmenachfrage die Strompreise tendenziell über 30 EUR/MWh lagen. Nur vereinzelt treten negative Strompreise auf, diese lagen jedoch alle im Bereich von maximal 50% des maximalen Wärmebedarfs.

Abbildung 31: Wärmebedarf eines realen Fernwärmenetzes in Abhängigkeit der Börsenstrompreise (Day-Ahead) der Epex Spot im Jahr 2012

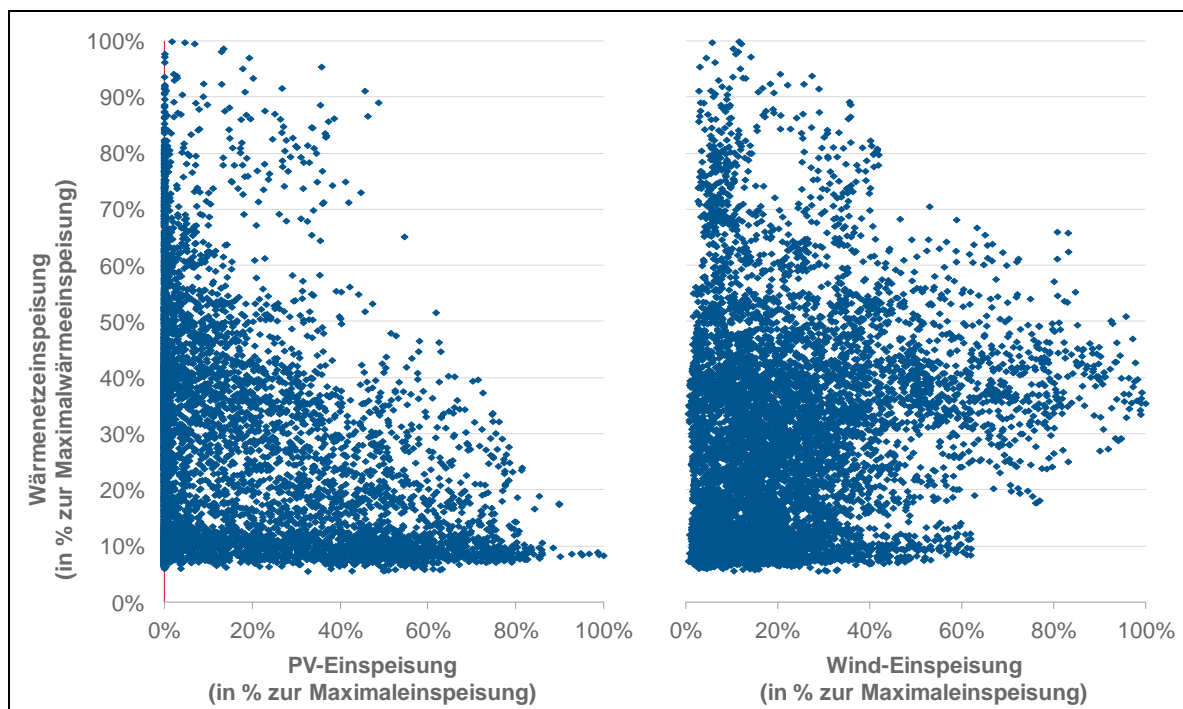


Quelle: Prognos AG, basierend auf Energinet.DK und Angaben eines Stadtwerks

Die hier dargestellte Verteilung hat ihre Ursache in den meteorologischen Bedingungen, die zu einem hohen Wärmebedarf führen. Zumeist tritt der hohe Wärmebedarf im Winter bei Hochdruckwetterlagen in den Abendstunden oder am frühen Morgen auf. Naturgemäß ist dann die PV-Einspeisung sehr niedrig und auch die Windeinspeisung ist meist nicht stark ausgeprägt. Daraus lässt sich grundsätzlich bereits ableiten, dass die KWK-Anlagen der öffentlichen Versorgung gut zum heutigen Stromsystem passen.

Die folgende Abbildung, in der der Wärmebedarf eines Fernwärmesystems im Vergleich zu historischen EE-Einspeisung aus Wind und Sonne abgebildet ist, verdeutlicht nochmals die gute Kompatibilität der KWK-Erzeugung in der allgemeinen Versorgung mit der fluktuierenden Stromerzeugung aus Wind und Sonne, denn diese speisen die höchsten Lasten eher zu Zeiten einer niedrigeren Wärmelast ein, d. h. es bestehen Spielräume für wärmegeführte KWK-Anlagen.

Abbildung 32: Wärmebedarf eines realen Fernwärmenetzes im Vergleich zur EE-Einspeisung aus Windkraft- und Solaranlagen im Jahr 2012



Quelle: Prognos AG, basierend auf EEX-Transparency und Angaben eines Stadtwerks

Im Speziellen erfolgt die Entscheidung über die Betriebsweise von KWK-Anlagen der öffentlichen Versorgung auf Basis einer Gesamtoptimierung von Stromerlös- und Wärmeerzeugungskosten. Das heißt, dass bei der Entscheidung über die Betriebsweise sowohl die Kosten der Strom-Wärmeerzeugung und die Stromerlöse auf dem Großhandelsmarkt als auch die Kosten der alternativen

Wärmeerzeugung im Spitzenkessel oder die Nutzung des Wärmespeichers berücksichtigt werden. Die Strompreissignale am Großhandel gehen somit direkt in die Kalkulation ein.

6.3.3 Industrielle KWK

Betreiber von industriellen KWK-Anlagen haben in der Regel einen hohen Bedarf an Prozessdampf und Strom. Vor allem in der Grundstoffchemie, Mineralölverarbeitung, Ernährungswirtschaft und im Papiergewerbe werden KWK-Anlagen eingesetzt. Ob der Wärme- und Strombedarf stark strukturiert oder eher gleichmäßig ist, ist prozessabhängig und auch innerhalb der jeweiligen Branchen unterschiedlich.

Zur Absicherung des Wärme- bzw. Prozessdampfbedarfs haben industrielle KWK-Anlagen in der Regel einen (oder mehrere) Reservekessel, der die gesamte Wärmeleistung der KWK-Anlage absichert. Die Betriebsweise der KWK-Anlagen erfolgt ähnlich wie bei der KWK der öffentlichen Versorgung anhand einer Gesamtoptimierung zwischen Strombezugskosten (Netz), Eigenerzeugungskosten von Wärme und Strom, Kosten der alternativen Wärmeerzeugung und Stromerlösen auf dem Großhandelsmarkt.

Die meisten industriellen Unternehmen mit einer eigenen KWK-Stromerzeugung optimieren ihre Energieversorgung unter Berücksichtigung von Strombezugskosten aus dem Netz, Eigenerzeugungskosten von Wärme und Strom, den Kosten der alternativen Wärmeerzeugung und Stromerlösen auf dem Großhandelsmarkt.

Die Optimierung erfolgt bei sehr großen Unternehmen in der Regel durch eine eigene Handelsabteilung (z. B.: Trimet, VW Kraftwerke, Currenta, DB Energie) mit eigenem Handelszugang oder über einen Broker oder sie wird an Dritte ausgelagert. Bei mittelgroßen oder kleinen Unternehmen mit eigenen KWK-Anlagen erfolgt in der Regel ebenfalls eine Optimierung der Gesamtkosten unter Berücksichtigung der stündlichen Großhandelspreise. Dieses geschieht zumeist über Dritte.

Die Kosten der alternativen Wärmeerzeugung sowie die Kosten der Strom- und Wärmeerzeugung aus der KWK-Anlage sind vergleichbar mit den Kosten bei der KWK der öffentlichen Versorgung. Die Strombezugskosten für industrielle Abnehmer setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen,

- Energiebeschaffung Großhandel und Vertriebsmarge
- Netzentgelt
- Entgelt für Abrechnung, Messung und Messstellenbetrieb
- Konzessionsabgabe
- Umlage nach EEG

- Umlage nach KWK-G, Offshore-Haftung
- Steuern (Strom- und Umsatzsteuer)

Je nach Abnahmemenge und Verbrauchsstruktur können die Strombezugskosten zwischen den Unternehmen stark variieren. Stärkster Hebel ist jedoch die EEG-Umlage, die entweder nach teilweiser Befreiung anteilig oder voll zu bezahlen ist und derzeit bei über 6 Cent/kWh liegt. Darüber hinaus können auch die Netzentgelte abweichen – je nachdem, an welche Spannungsebene der jeweilige Betrieb angeschlossen ist. Damit ergeben sich für die Strombezugskosten je nach Abnahmenetzebene Aufschläge von ca. 1,0 bis 3,5 Cent/kWh auf die Kosten der Energiebeschaffung für große Industrieunternehmen.

In wie weit eine Anlage flexibel auf den Strompreis reagiert, ist bei den niedrigen Strompreisen von den unternehmensspezifischen Strombezugskosten abhängig. Bei energieintensiven Unternehmen, die unter den Tatbestand der Privilegierung im EEG und bei den Netzentgelten fallen, wirkt der Börsenstrompreis deutlich direkter als bei nicht-privilegierten Unternehmen. Bei hohen Strompreisen, die eine Netzeinspeisung des nichterforderlichen Stroms anreizen sollen, wirkt der Börsenstrompreis hingegen bei allen Unternehmen gleichsam direkt auf die Entscheidung der Betriebsweise.

Im Jahr 2012 betrug die KWK-Nettostromerzeugung 28,3 TWh. Davon entfielen 13,8 TWh auf den Bereich Herstellung von chemischen Erzeugnissen, 5,1 TWh auf die Papierindustrie und 3,3 TWh Kokereien und Mineralölverarbeitung. Die KWK-Anlagen in diesen Branchen produzieren damit knapp 80 % des industriellen KWK-Stroms.

Die Unternehmen der genannten Branchen haben im Mittel einen sehr hohen Stromverbrauch. Im Bereich der Chemie und der Mineralölverarbeitung bzw. Kokereien lag die jährliche KWK-Nettostromerzeugung pro Betrieb im Mittel bei etwa 250 GWh, in der Papierindustrie lag die entsprechende Erzeugung bei 80 GWh pro Jahr [Destatis; Fachserie 4, Reihe 6.4].

In den Branchen Chemie und Papier fielen knapp 28 TWh bzw. 13 TWh unter die besondere Ausgleichregelung des EEG [BMWi, Bafa 2014]. Bezogen auf den Netzbezug der Unternehmen dieser Branchen waren dies 70 % bzw. 85 %. Da KWK-Anlagen historisch gesehen hauptsächlich in größeren und energieintensiven Betrieben der Branchen errichtet wurden, kann man davon ausgehen, dass der überwiegende Teil der KWK-Anlagen in den drei Branchen auf Betriebe entfällt, die unter die besondere Ausgleichsregelung fallen.

Die Strombezugskosten dieser Unternehmen korrelieren aufgrund der geringeren Netzentgelte (Bezug auf Hoch- und Mittelspannungsebene) und der Befreiung bzw. Ermäßigung von den Umlagen und Abgaben direkt mit den Großhandelspreisen. Wir gehen davon aus, dass bei mindestens zwei Drittel der industriellen KWK-Stromerzeugung die Großhandelspreise einen Einfluss auf die Optimierung und die Einsatzplanung der KWK-Anlagen haben.

Daraus folgt, dass sowohl bei der KWK der öffentlichen Versorgung als auch bei einem Großteil der KWK-Erzeugung im Industriebereich grundsätzlich bereits heute ausreichend flexibel auf Strompreissignale reagiert wird.

Biogene und kleine KWK-Anlagen in der Areal- und Objektversorgung, die grundsätzlich auch über die technischen Möglichkeiten wie Speicher oder Spitzenkessel verfügen, werden zunehmend über intelligente Netze und virtuelle Kraftwerke auch in die Optimierung des Gesamtsystems einbezogen. Aufgrund der aber immer noch geringeren Bedeutung im Gesamtsystem (17 TWh Nettostromerzeugung bzw. knapp 3 % der gesamten Nettoerzeugung in Deutschland) können diese Anlagen aber heute noch vernachlässigt werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Erhöhung der Flexibilität von KWK-Systemen technisch machbar ist. Zudem wird diese Flexibilität – soweit ökonomisch sinnvoll – auch heute schon genutzt. Die Preissignale im Strommarkt sind transparent und werden in die Kalkulation der Unternehmen für die Einsatzplanung der KWK-Anlagen einbezogen. Eine systematische Abregelung von EE-Anlagen aufgrund der KWK-Einspeisung ist nicht zu erwarten. Die bisherig geringe Ausnutzung der möglichen Flexibilität von KWK-Systemen ist vordergründig durch die noch nicht bestehende ökonomische Notwendigkeit begründet. Grundsätzliche administrative Hemmnisse bestehen nach derzeitigem Kenntnisstand nicht.

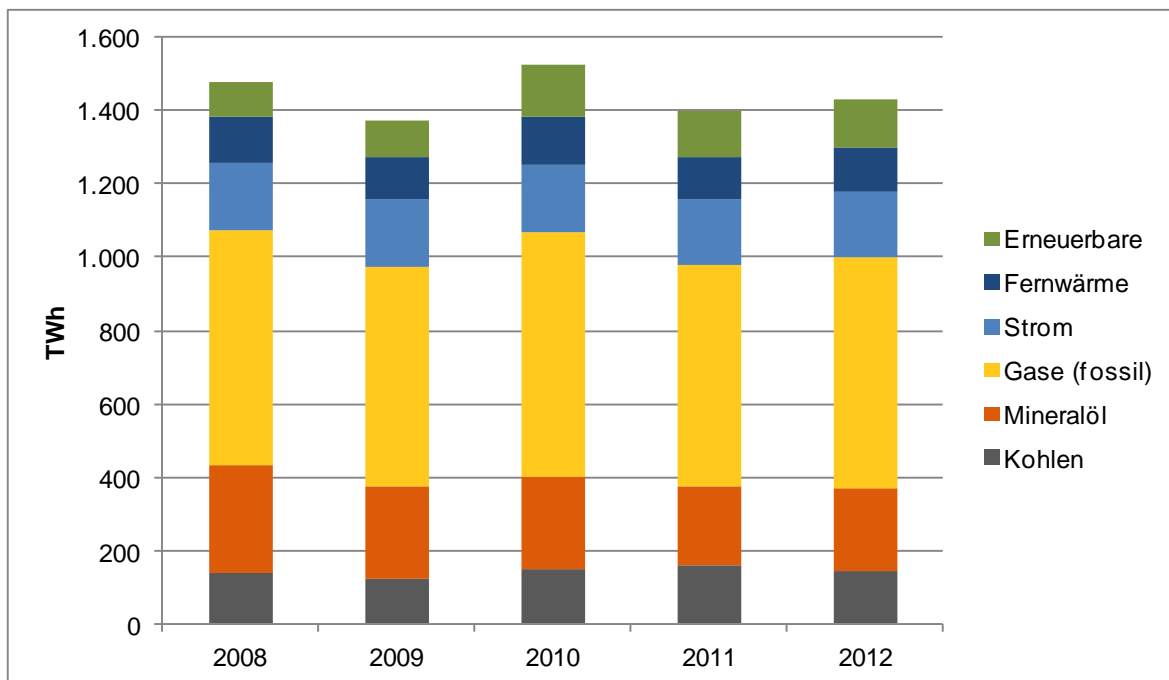
Durch die gegebene Flexibilität kann die KWK bereits heute und auch in Zukunft signifikant zur Bereitstellung gesicherter Leistung und zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen beitragen. Gleichzeitig ist zu beachten, dass die Nutzung verschiedener Flexibilitätsoptionen im Stromsystem die Wirtschaftlichkeit von einzelnen Maßnahmen verschlechtern kann. Beispielsweise wird die zukünftige stärkere Vernetzung der Strommärkte in Europa die Volatilität der Preise im Markt im Vergleich zu einem weniger vernetzten System deutlich verringern. Somit werden die Investitionen in Wärmespeicher zur Nutzung der Volatilität der Preise deutlich weniger attraktiv. Eine Koordinierung der Förderung von Flexibilitätsoptionen im Stromsystem sollte daher angestrebt werden. Hierzu zählt neben der Koordinierung der Förderung von Wärme- und Stromspeichertechnologien auch eine umfassende Bedarfsanalyse für Speichertechniken vor dem Hintergrund der Verstärkung der

europäischen Marktintegration, die gemeinsam mit einem entsprechenden Netzausbau erhebliche Flexibilitätspotenziale bietet.

6.4 KWK im Wärmemarkt

Die Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen betrug im Jahr 2012 nach Schätzungen des Öko-Instituts 205 TWh [Öko-Institut 2014]. Gemäß den von der AG Energiebilanzen veröffentlichten Anwendungsbilanzen lag der Endenergieverbrauch für Wärme 2012 bei etwa 1.430 TWh. Der Anteil der KWK-Wärmeerzeugung am gesamten Wärmemarkt entsprach folglich rund 14 %. Betrachtet man ausschließlich die den Wärmebedarf < 300°C, beträgt der Anteil rund 20 %.

Abbildung 33: Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, Klimatisierung und Prozesskälte nach Energieträgern



Quelle: AGEB 2013

Die Kraft-Wärmekopplungs-Anlagen sind in der Wärmeversorgung zumeist ein wesentlicher Teil größerer Wärmeverbundsysteme. So sind KWK-Anlagen für einen Großteil der Fernwärmeerzeugung verantwortlich. Laut AGFW lag der KWK-Anteil an der Wärmenetzeinspeisung 2012 bei 82 %. Außerdem werden KWK-Anlagen zur Erzeugung von Prozesswärme in der Industrie eingesetzt. Kleine, zumeist wärmegeführte KWK-Anlagen werden zur Deckung des Wärmebedarfs größerer Gebäude oder Liegenschaften genutzt. Häufig werden auch Nahwärmekonzepte verfolgt. Biomasse-KWK-Anlagen werden aufgrund der EEG-Vergütung der-

zeit überwiegend stromgeführt betrieben, verfügen aber zunehmend über Wärmenutzungskonzepte.

Nach wie vor beherrschen die fossilen Energieträger den Wärmemarkt. Gemäß den Anwendungsbilanzen der AG Energiebilanzen betrug der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme 9,2 % im Jahr 2012. Der Anteil der Fernwärme am Wärmemarkt lag im selben Jahr bei 8,2 %.

Um die langfristigen Klimaschutzziele Deutschlands zu erreichen, müssen die CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung bis 2050 deutlich gesenkt werden. Vor diesem Hintergrund stellen erneuerbare Energien und Fernwärme durch KWK-Anlagen derzeit die vorteilhaftesten Wärmeherzeugungstechnologien dar. Neben der Verbesserung der Gebäudeeffizienz und dem zunehmenden Einsatz erneuerbarer Energien kann die gekoppelte Fernwärmeerzeugung daher einen maßgeblichen Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen im Wärmemarkt liefern.

Insbesondere in Städten ist das Potenzial dezentraler erneuerbarer Energien zur Wärmeherzeugung eingeschränkt. Die Fernwärme bietet in diesen verdichteten Räumen die größten Potenziale für Effizienzsteigerungen und Emissionssenkungen bei der Wärmeherzeugung. Langfristig ist es erforderlich, dass auch die Fernwärme stärker durch erneuerbare Energien bereitgestellt wird. Aktuell beträgt der Anteil erneuerbarer Energien an der Fernwärme 9 % (AGEB Anwendungsbilanzen). Eine exakte Aufschlüsselung der Anteile der jeweiligen erneuerbaren Energien ist statistisch nicht verfügbar. Der größte Anteil entfällt aber heute auf Müll und Biomasse sowie auf Geothermie. Gemäß dem AGFW Hauptbericht 2012 entfallen etwa zwei Drittel des erneuerbaren Brennstoffeinsatzes in Heizwerken und Heizkraftwerken auf die Müllverbrennung und ein Drittel auf Biomasse-Anlagen.

Aufgrund der Regelungen des EEG 2014 ist in den nächsten Jahren kein nennenswerter Zubau von Biomasse-KWK-Anlagen zu erwarten. Auch der Bereich der Müllverbrennung wird wenig zum Ausbau beitragen, da dort bereits heute Überkapazitäten bestehen.

Die von IFEU, GEF-Ingenieurbüro und AGFW durchgeführte Studie „Transformationsstrategien Fernwärme“ zeigt, dass es aktuell bereits technisch und wirtschaftlich möglich ist, auch Solarthermie-Anlagen und Geothermie-Anlagen in das KWK-/Fernwärmesystem zu integrieren. Bislang gibt es in Deutschland allerdings nur wenige solcher Anlagen:

- Im Jahr 2013 waren insgesamt 27 Geothermie-Heizwerke und Heizkraftwerke mit einer installierten Wärmeleistung von

knapp 250 MW in Betrieb. Derzeit befinden sich weitere zehn Projekte im Bau und 37 in Planung. Die Potenziale für große Geothermie-Anlagen sind allerdings räumlich stark begrenzt.

- In Deutschland gibt es derzeit 18 Anlagen zur Erzeugung von solarer Fernwärme mit Kollektorflächen von jeweils mindestens 500 m². Die größten Anlagen weisen eine Leistung von bis zu 5 MW_{th} auf. Die Mehrheit dieser Anlagen wurde zwischen 1996 und 2000 im Rahmen der Förderkonzepte Solarthermie 2000 und Solarthermie 2000plus errichtet. Nach Auslaufen dieser Förderung gab es nur einen vereinzelten Anlagenzubau.

Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt werden derzeit im Rahmen des Marktanzreizprogramms (MAP) zur Förderung von erneuerbaren Energien im Wärmemarkt gefördert. Im KfW-Teil des MAP werden unter anderem Biomasseanlagen und Wärmepumpen mit mehr als 100 kW_{th}, Anlagen zur Nutzung von Tiefengeothermie und Solarthermieanlagen ab 40 m² Kollektorfläche durch Tilgungszuschüsse und zinsverbilligte Darlehen gefördert. Im Jahr 2013 wurden laut BMWi im KfW-Teil des MAP insgesamt 1.677 Darlehen zugesagt. Davon entfielen etwa zwei Drittel auf Wärmenetze. Insgesamt 705 Darlehen entfielen auf große Biomasseanlagen, 59 auf große Solarthermieanlagen.

Unter den aktuellen Rahmenbedingungen ist in den kommenden Jahren nur von einer geringen Zunahme der erneuerbaren Energien in der Fernwärme auszugehen.

Daher können der Primärenergiefaktor und die CO₂-Intensität der Fernwärme nur weiter gesenkt werden, wenn es gelingt, den Anteil gekoppelter und hocheffizienter KWK in den Fernwärmenetzen weiter zu erhöhen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, damit Fernwärme im Wärmemarkt vor dem Hintergrund der Anforderungen der EnEV und des EEWärmeG gegenüber anderen Energieträgern konkurrenzfähig bleibt.

Langfristig ist es notwendig und sinnvoll, den Anteil der erneuerbaren Energien in der Fernwärme zu erhöhen. Dazu beitragen können auch Power-to-Heat-Konzepte, die durch die Nutzung von Überschussstrom bei sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien auch die Integration hoher EE-Anteile in der Stromerzeugung begünstigen. Erste Power-to-Heat-Anlagen im großen Maßstab werden derzeit in Kombination mit der Nutzung von Wärmespeichern installiert und erprobt. Um für die Nutzung der langfristigen Flexibilitätspotenziale die Voraussetzungen zu schaffen, sollte ein kontinuierlicher Ausbau von Fernwärmesystemen in Verbindung mit flexiblen KWK-Anlagen-Technologien angestrebt werden.

6.5 Langfristige Rolle der KWK im Gesamtsystem

Das in Kapitel 5 ermittelte Potenzial der KWK-Wärme- und Stromerzeugung wurde in einer betriebswirtschaftlichen und einer volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise ausgehend von der Wärmenachfrage hergeleitet.

Für die dort ermittelten **Potenziale** der KWK-Stromerzeugung wird in diesem Kapitel **überprüft**, ob diese mit dem zukünftigen **Strombedarf und Stromsystem insgesamt kompatibel** sind oder ob auf der Stromseite Beschränkungen bestehen, die eine Ausschöpfung des ermittelten Potenzials verhindern. Dies geschieht zunächst anhand einer Einordnung der ermittelten Potenziale in das Gesamtstromsystem. In einem zweiten Schritt wird das Ergebnis anhand der Ergebnisse einer aktuellen Untersuchung zu den KWK-Potenzialen validiert.

Durch den Ausbau fluktuierend einspeisender erneuerbarer Energien bei sinkender Stromnachfrage ist der Umfang der KWK-Stromerzeugung langfristig begrenzt. Zur Einordnung des Potenzials wird ermittelt, welche Strommenge in Deutschland heute und in Zukunft maximal mit KWK-Anlagen erzeugt werden könnte. Die Grundlage zur Entwicklung der Stromerzeugung in Deutschland bilden die Stromszenarien aus der aktuellen Energiereferenzprognose.

Hierzu wird die zukünftige Stromerzeugung in Deutschland in die Klassen „KWK-kompatibel“ und „nicht KWK-kompatibel“ aufgeteilt. Als „KWK-kompatibel“ werden hier alle Energieträger bzw. Erzeugungstechniken eingestuft, mit denen gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt werden könnte. Hierzu zählen mit fossilen Brennstoffen befeuerte Kraftwerke, Kernenergie, Biomasse, Geothermie und sonstige Brennstoffe. Bei der Stromerzeugung aus Windenergie, Photovoltaik, Stromspeichern und Wasserkraft entsteht hingegen keine Abwärme, so dass ein Ersatz durch KWK nicht möglich ist. Diese Stromerzeugung ist für die Bewertung des KWK-Stromerzeugungspotenzials als „nicht KWK-kompatibel“ einzustufen.

Die folgende Tabelle 43 stellt die jeweilige Gesamtstromerzeugung in Deutschland für das Trendszenario und das Zielszenario aus der aktuellen Energiereferenzprognose bis zum Jahr 2050 mit der Unterteilung in „KWK-kompatibel“ und „nicht KWK-kompatibel“ dar. In beiden Szenarien sinkt durch den Ausbau der erneuerbaren Energien langfristig der Anteil der „KWK-kompatiblen“ Stromerzeugung. Ausgehend von 521 TWh im Jahr 2013 sinkt sie bis zum Jahr 2050 im Trendszenario auf 253 TWh, im Zielszenario geht sie noch deutlich stärker bis auf 147 TWh zurück.

Tabelle 43: *Bruttostromerzeugung nach der Energierferenzprognose im Trend- und Zielszenario bis 2050, in TWh*

	2013	2020	2030	2040	2050
Stromerzeugung Trendszenario	631	618	612	565	561
„KWK-kompatibel“	521	439	381	325	253
Kernenergie & fossile Brennstoffe	454	373	314	260	191
Biomasse & sonstige Brennstoffe	68	66	67	65	62
„nicht KWK-kompatibel“	110	180	230	241	308
Windkraft & PV	83	156	210	222	282
Wasserkraft und Speicher	27	24	20	19	26
Stromerzeugung Zielszenario	631	576	516	466	459
„KWK-kompatibel“	521	378	271	210	147
Kernenergie & fossile Brennstoffe	454	310	193	136	73
Biomasse & sonstige Brennstoffe	68	68	78	74	74
„nicht KWK-kompatibel“	110	198	245	257	313
Windkraft & PV	83	173	225	237	289
Wasserkraft und Speicher	27	25	20	20	24

Quelle: Prognos, EWI, GWS 2014

Dieser Entwicklung wird das in Kapitel 5 ermittelte volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche KWK-Potenzial bzw. der Basis und der ambitionierten Variante für das industrielle KWK-Potenzial gegenübergestellt (vgl. Tabelle 44). Mit diesem Vergleich lässt sich abschätzen, wie viel KWK-Stromerzeugung sich – in einer vereinfachten jährlichen Bilanz – in das Stromsystem integrieren ließe, wenn alle KWK-Anlagen vollständig flexibel agieren könnten.

Sowohl im Referenz- als auch im Zielszenario der Energierferenzprognose unterschreitet das betriebswirtschaftliche Potenzial der KWK-Stromerzeugung in Höhe von 165 bis 173 TWh bis zum Jahr 2040 die „KWK-kompatible“ Stromerzeugung. Im Jahr 2050 liegt das ermittelte KWK-Potenzial unter der „KWK-kompatiblen“ Stromerzeugung des Referenzszenarios aber über der entsprechenden Erzeugung des Zielszenarios.

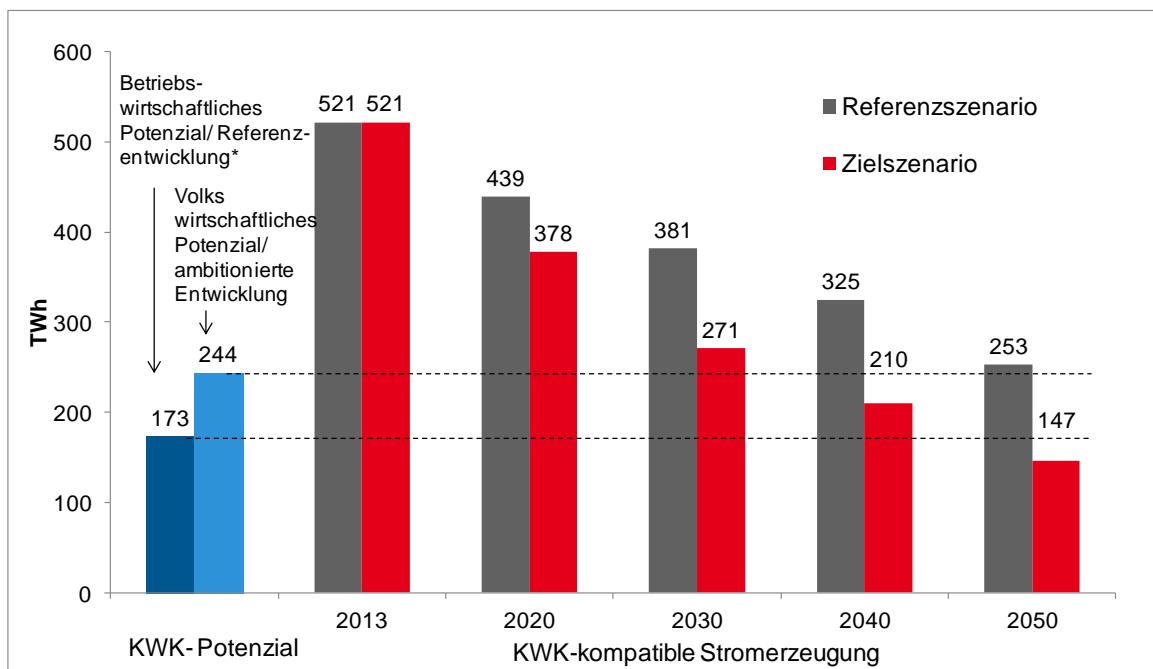
Für das volkswirtschaftliche Potenzial der KWK-Stromerzeugung ergibt sich je nach Szenario ein unterschiedliches Bild: Im Referenzszenario unterschreitet das Potenzial in Höhe von 230 bis 244 TWh in allen Jahren die „KWK-kompatible“ Stromerzeugung. Im Zielszenario hingegen geht die „KWK-kompatible“ Stromerzeugung durch die geringere Stromnachfrage und einen schnelleren Ausbau fluktuierender erneuerbarer Erzeugung in diesem Szenario schneller zurück, so dass sie nach 2030 niedriger sein wird als das volkswirtschaftliche Potenzial. Eine Hebung des gesamten Potenzials wäre damit in diesem Szenario nicht sinnvoll.

Tabelle 44: KWK-Stromerzeugungspotenzial, in TWh

		2020	2030	2040	2050
Gesamt	betriebswirtschaftlich bzw. Basisvariante	k. A. ¹	170	173	173
Fernwärme-KWK	betriebswirtschaftlich	k. A. ¹	113	113	113
Objekt KWK	betriebswirtschaftlich	14	14	14	14
Industrie KWK	Basisvariante	38	43	46	46
Gesamt	volkswirtschaftlich bzw. ambitionierte Variante	k. A. ¹	238	243	244
Fernwärme-KWK	volkswirtschaftlich	k. A. ¹	182	182	182
Objekt KWK	volkswirtschaftlich	3	3	3	3
Industrie KWK	Ambitionierte Variante	45	53	58	59

¹ Die Fernwärme-KWK-Potenziale können frühestens nach dem Ersatz aller Bestandsheizungen in vollem Umfang realisiert werden
Quelle: Prognos, IFAM, IREES

Abbildung 34: Gegenüberstellung KWK-Potenzial und Entwicklung der KWK-kompatiblen Stromerzeugung



* Volkswirtschaftliche bzw. betriebswirtschaftliche Betrachtung für Objekt und Fernwärme KWK, Referenz bzw. ambitionierte Entw. für Industrie-KWK
Quelle: IFAM, IREES 2014, Prognos, EWI, GWS 2014

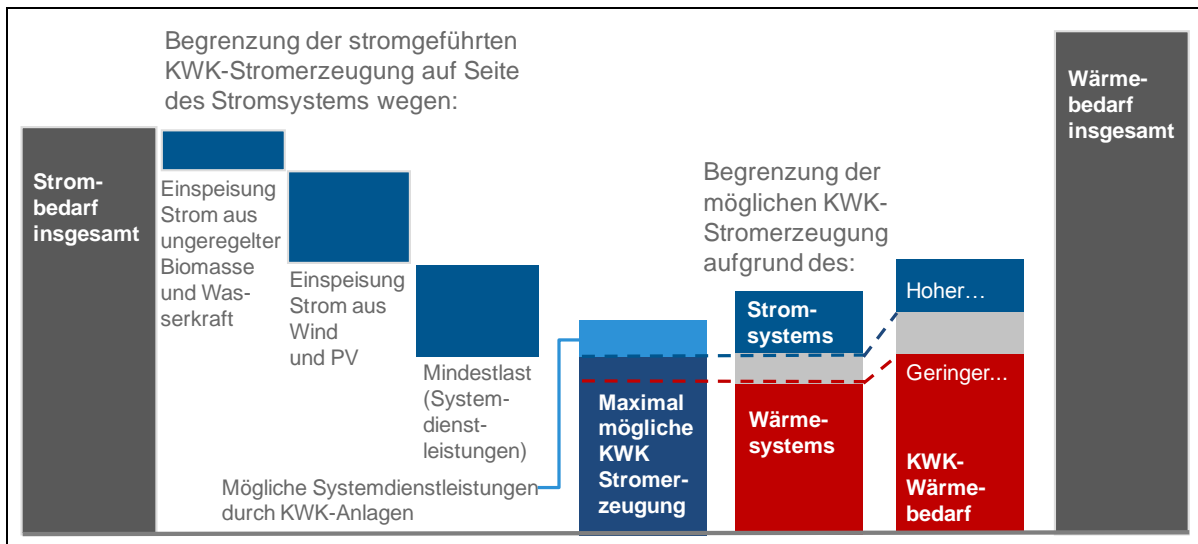
Die jährliche „KWK-kompatible“ Stromerzeugung bildet die Obergrenze für eine mögliche KWK-Erzeugung. Ein Maß für den Erfolg der KWK-Stromerzeugung sollte entsprechend an dieser Stromerzeugung und nicht an der gesamten Stromerzeugung ausgerichtet werden. Folglich wäre es denkbar, das heute in der Politik formu-

lierte 25 %-Ziel entsprechend langfristig auf die KWK-kompatible Stromerzeugung zu definieren.

Neben der Höhe der jährlichen Gesamtstromerzeugung begrenzen jedoch auch die stündliche Wärmenachfrage sowie die stündliche residuale Stromnachfrage das Einsatzpotential von KWK-Anlagen. In der Studie „Maßnahmen zur nachhaltigen Integration von Systemen zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung in das neue Energieversorgungssystem“, für den BDEW [Prognos 2013] wurde das nutzbare Potenzial für die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 untersucht.

Eine wesentliche Prämisse der Berechnungen war, die Verdrängung der Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien durch den KWK-Einsatz auszuschließen und den Wärmebedarf der an KWK-Systeme angeschlossenen Nutzer zu jeder Zeit bedarfsgerecht zu decken. Die Modellierung des KWK-Einsatzes erfolgte für den Zeitraum auf stündlicher Basis. Sie liefert somit das KWK-Potenzial, das sich als quasi kleinster gemeinsamer Nenner aus dem Strom- und Wärmemarkt ergibt (vgl. Abbildung 35).

Abbildung 35: Strom- und wärmeseitige Begrenzung der KWK-Stromproduktion



Quelle: Prognos 2013

Die dabei untersuchten Szenarien gingen von einem steigenden Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung aus. Im Jahr 2050 lag der Anteil der erneuerbaren Energien bei etwa 80 %.

Je nach Höhe des unterstellten Ausbaus der Fernwärmenetze wurde in der Studie ein maximal nutzbares KWK-Stromerzeugungspotenzial von 140 TWh im Jahr 2030 und von 107 TWh im

Jahr 2050 ermittelt. Dabei wurde gegenüber der heutigen Situation eine Steigerung der Flexibilität der KWK-Anlagen und des Stromsystems unterstellt.

Im Vergleich zur Potenzialerhebung in dieser Studie ergibt sich damit folgendes Bild:

Von dem ermittelten betriebswirtschaftlichen Potenzial könnten überschlägig etwa 62 % in das zukünftige Strom- und Wärmesystem integrierbar werden, von dem volkswirtschaftlichen Potenzial etwa 44 %.

Die in dieser Studie ermittelten Potenziale können entsprechend dieser Betrachtung nicht vollständig ausgeschöpft werden. Durch folgende Maßnahmen und Entwicklungen könnte jedoch die Ausnutzung des KWK-Potenzials voraussichtlich noch stark gesteigert werden:

- Ein höherer Anteil von „KWK-kompatiblen“ Technologien beim Ausbau der erneuerbaren Energien (Geothermie, Biomasse) ersetzt fluktuierende EE-Erzeugung und erhöht die KWK-Stromerzeugung.
- Ein wachsender Stromaustausch durch eine verstärkte europäische Vernetzung verringert die Gleichzeitigkeit der fluktuierenden EE-Stromerzeugung und erhöht somit das Potenzial für die KWK-Stromerzeugung.
- Ein steigender Stromverbrauch in Deutschland und den benachbarten Märkten beispielsweise durch den Ausbau von Elektromobilität, Wärmepumpen und die Nutzung Power-to-Heat-Anwendungen in Fernwärmesystemen oder bei industriellen Prozessen begünstigen die Ausnutzung des KWK-Potenzials.

Eine Einordnung der Ergebnisse der Potenzialabschätzung dieser Studie sollte durch eine detaillierte Szenarienbetrachtung des kompletten Energiesystems erfolgen. Bisherige Studien (z. B. die Referenzprognose) untersuchen nur Welten mit einer im Vergleich zu den ermittelten Potenzialen wesentlich geringeren KWK-Durchdringung.

6.6 CO₂-Einsparungen durch KWK

Durch die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme werden in KWK-Systemen gegenüber einer ungekoppelten Erzeugung Brennstoffe und CO₂-Emissionen eingespart. Die Höhe der Einsparung hängt von den jeweiligen Referenzsystemen ab. Im Folgenden wird die Spannbreite des eingesparten CO₂- durch KWK-Systeme im Jahr 2012 in aktuellen Studien dargelegt.

In [Öko-Institut 2014] werden die CO₂-Einsparungen berechnet, indem die Emissionen der gekoppelten Erzeugung denen einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung gegenübergestellt werden. Die Emissionen der CO₂ Stromerzeugung werden über die spezifischen Emissionsfaktoren der einzelnen Brennstoffe berechnet. Die Referenz Wärmeerzeugung entspricht dem Mix einer alternativen Wärmeerzeugung. Für die Referenz Stromerzeugung wird die KWK-Stromerzeugung in einen flexiblen und einen unflexiblen Anteil unterteilt. Es ergibt sich in Summe eine Einsparung von CO₂-Emissionen in Höhe von knapp 40 Mio. t CO₂. In [Prognos 2013] wird für alle Verbrauchsgruppen unterstellt, dass durch den Betrieb der KWK-Anlagen kein Strom aus erneuerbaren Energien, sondern aus konventioneller Erzeugung verdrängt wird. Durch den damit höheren spezifischen Strom-Referenz-Emissionsfaktor ergibt sich eine CO₂-Einsparung in Höhe von 56 Mio. t CO₂ für das Jahr 2012.

Neben CO₂-Emissionen können durch die gekoppelte Erzeugung weitere Emissionen wie Schwefeldioxid, Staub und NO_x, eingespart werden. Die Emissionen liegen im Allgemeinen durch den geringeren Brennstoffeinsatz gegenüber einer ungekoppelten Erzeugung niedriger. Gerade im städtischen Bereich wirken sich die geringeren Emissionsgrenzwerte und die bessere Rauchgasbehandlung der KWK-Anlagen gegenüber von Einzelheizungen positiv auf die Luftqualität aus.

Bereits heute wird die KWK vom umweltfreundlichen Brennstoff Erdgas dominiert. Für die nächsten Jahrzehnte gehen wir von einem weiteren Ausbau des Erdgasanteils aus. Für die Berechnungen unterstellen wir für die gesamte KWK (Fernwärme, Objekt- und industrielle KWK) folgende Brennstoffanteile in der Strom- und Wärmeerzeugung:

Tabelle 45: Brennstoffmix der KWK-Anlagen

Brennstoff	2012	2020	2030	2040	2050
Erdgas	53%	59%	63%	67%	71%
Steinkohle	22%	17%	13%	10%	6%
Braunkohle	6%	6%	5%	4%	4%
Biomasse	2%	4%	5%	6%	7%
Abfall	7%	8%	7%	7%	7%
Erdöl	1%	1%	1%	1%	1%
Sonstige	9%	6%	6%	5%	5%

Quelle: Prognos 2014

Zur Berechnung der **CO₂-Emissionen der KWK** werden für jeden Brennstoff die in der Potenzialabschätzung ermittelten Strom- und Wärmemengen mit dem jeweiligen mittleren Energienutzungsgrad

der KWK multipliziert. Hieraus ergibt sich der Brennstoffeinsatz, der mit seinem brennstoffspezifischen Emissionsfaktor multipliziert wird. Aus der Summe über alle eingesetzten Brennstoffe ergibt sich die KWK-CO₂-Emission.

Für die **Berechnung der CO₂-Emission der ungekoppelten Erzeugung** wird eine faktische Verdrängung der mittleren Emissionen der Strom- und Wärmeerzeugung durch die KWK angenommen.

In der Modellierung wird für alle Verbrauchsgruppen unterstellt, dass durch den Betrieb der KWK-Anlagen kein Strom aus erneuerbaren Energien, sondern aus konventioneller Erzeugung verdrängt wird. Allerdings liegen die Grenzkosten der KWK grundsätzlich höher als die der Kernkraftwerke, so dass eine Verdrängung von Kernenergie durch die KWK unrealistisch ist und deshalb im verdrängten Strommix nicht berücksichtigt wird. Aus diesen Vorüberlegungen ergibt sich ein **Strom-Referenz-Emissionsfaktor (Nettostromerzeugung)** von heute 912 g CO₂/kWh, der im Laufe der Jahre bis 2050 durch eine Änderung des Erzeugungsmix abnimmt. Zusätzlich dazu wurde als untere Abschätzung für die mögliche CO₂-Einsparung ein neues Gaskraftwerk mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 50 % als Referenz für die Stromerzeugung betrachtet.

Bei der **Referenz-Wärmeerzeugung** wird die industrielle Wärmeerzeugung von der Wärmeerzeugung in den Sektoren private Haushalte (PHH) und Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) unterschieden.

In **privaten Haushalten und GHD-Gebäuden** beträgt der aus dem durchschnittlichen Brennstoffeinsatz sowie den Brennstoffnutzungsgraden der Heizungssysteme abgeleitete gemittelte Emissionsfaktor heute 261 g CO₂/kWh. Dabei wird unterstellt, dass die Alternative zur Fernwärme in diesen Gebäuden hauptsächlich fossile Brennstoffe sind. Wärmepumpen und Einzelheizungen in Einfamilienhäusern werden meist nicht durch Fernwärme verdrängt und fließen daher nicht in den Verdrängungsmix aus GHD und Mehrfamilienhäusern GHD/MFH ein. Tabelle 46 zeigt die Entwicklung bis 2050, die ebenfalls durch eine Entwicklung hin zu einem höheren Anteil an Gasheizungen geprägt ist.

Für die **industrielle KWK** wird der Referenz-Wärmemix aus Kohle, Öl und Gas zur Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme mit einem Umwandlungswirkungsgrad von 90 % gebildet. Die spezifischen Emissionen sind mit 275 g CO₂/kWh heute etwas höher als im Gebäudebereich und sinken langsamer (vgl. Tabelle 46).

Tabelle 46: Emissionsfaktoren der ungekoppelten Referenz-Strom- und Wärme-Erzeugung

Emissionsfaktor		2012	2020	2030	2040	2050
KWK-Strom-Verdrängungsmix	g CO ₂ /kWh	912	810	737	714	661
KWK-Strom-Gaskraftwerk	g CO ₂ /kWh	400	400	400	400	400
Wärme Fernwärme/ Objektversorgung	g CO ₂ /kWh	261	236	221	217	215
Wärme Industrie	g CO ₂ /kWh	275	270	263	258	253

Quelle: Prognos 2014

Mögliche zusätzliche CO₂-Einsparungen im KWK-System durch den Einsatz von Überschussstrom (Power-to-Heat) wurden hier nicht betrachtet, da eine Abschätzung der zur Verfügung stehenden Überschussmengen im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen wurde.

Im **Ausgangsjahr** 2012 betrug die CO₂ -Einsparung durch die gekoppelte Erzeugung der KWK-Anlagen gegenüber der ungekoppelten Referenzerzeugung rund **56 Mio. Tonnen**. Die Abbildung 36 stellt die Potenziale zur Emissionsvermeidung für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 dar.

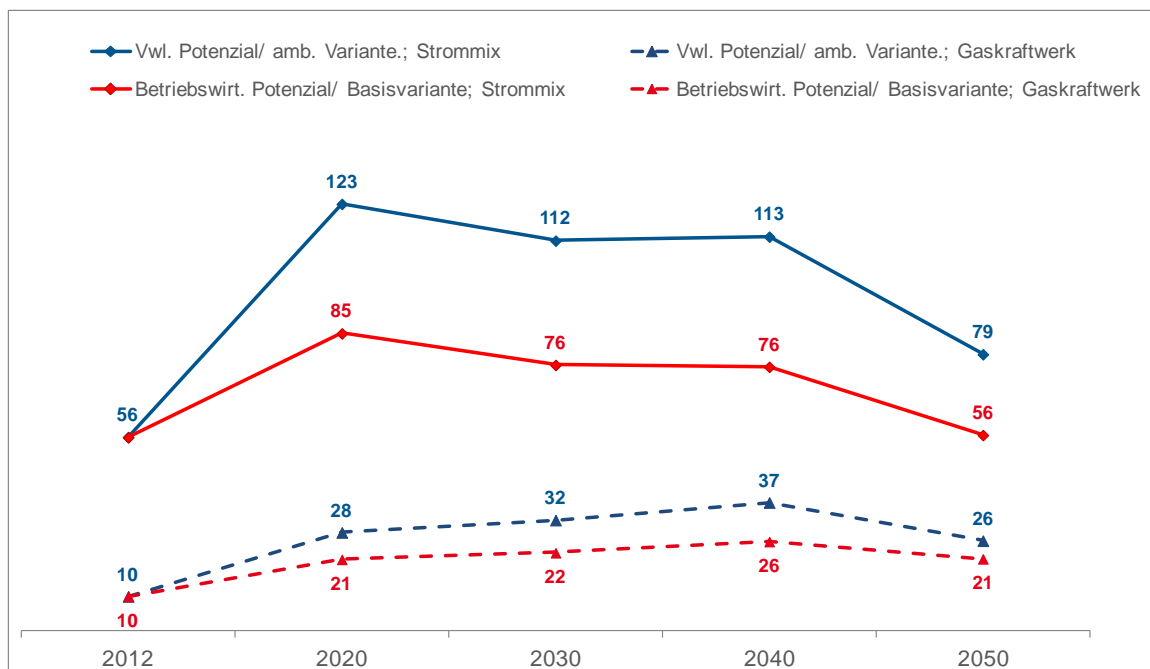
Bei einer Realisierung des betriebswirtschaftlich sinnvollen KWK-Potenzials (bzw. der Basisvariante der industriellen KWK) und der Anwendung des Stromverdrängungsmix kann das KWK-System bis zu 85 Mio. Tonnen CO₂ im Jahr einsparen. Bis zum Jahr 2050 sinkt die absolute Einsparung aufgrund der effizienteren und CO₂-ärmeren Referenzsysteme wieder auf den Wert von heute. Bezogen auf das Gesamtemissionsbudget, das Deutschland ausstoßen kann, ist die absolute Einsparung im Jahr 2050 allerdings höher als die heutige Einsparung zu bewerten.

Wenn es gelingt, das volkswirtschaftlich sinnvolle KWK-Potenzial (bzw. das ambitionierte Szenario der industriellen KWK) zu erschließen, ist eine noch höhere CO₂-Einsparung möglich. Die Einsparung liegt dann zwischen 123 Mio. Tonnen im Jahr 2020 und 79 Mio. Tonnen im Jahr 2050.

Sollte die KWK-Erzeugung nicht den hier unterstellten Strommix verdrängen, ergeben sich anderen CO₂-Einsparungen durch das KWK-System. Als untere Abschätzung der Einsparungen wurde deshalb ein neues Gaskraftwerk mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 50 % als Referenzsystem für die gesamte Stromerzeugung unterstellt. Auch unter diesem aus heutiger Sicht sehr CO₂-armen fossilen Stromerzeugungssystem spart KWK CO₂ ein. Die Einsparung läge im Zeitraum 2020 bis 2050 zwischen 21 und 37 Mio. Tonnen pro Jahr.

Zusätzliche CO₂-Einsparungen durch das KWK-System wären bei einer verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien in den KWK-Anlagen bzw. dem Fernwärmesystem möglich. Insbesondere große Solarthermieranlagen, Geothermie und Power-to-Heat könnten neben der verstärkten Nutzung von Biomasse helfen, das KWK-System noch weiter zu dekarbonisieren. Die verstärkte Nutzung dieser Optionen stand allerdings nicht im Mittelpunkt dieser Studie. Mögliche zusätzliche CO₂-Einsparungen werden daher hier nicht berücksichtigt.

Abbildung 36: Vermiedene CO₂-Emissionen durch die KWK bei Erschließung der berechneten Potenziale bei Ansatz des KWK-Stromverdrängungsmix und alternativ eines neuen Gaskraftwerks, in Mio. Tonnen CO₂



Quelle: Prognos 2014

7 Evaluierung des KWKG

Anteil der KWK an der Gesamtstromerzeugung

Die KWK hatte im Jahr 2013 mit einer Nettostromerzeugung von 96,4 TWh (2003: 82,4 TWh) einen Anteil von etwa 16,2 % (2003: 14,2 %) an der Nettostromerzeugung in Deutschland. Die CO₂-Einsparung durch die gekoppelte Erzeugung der KWK-Anlagen lag gegenüber der ungekoppelten Referenzerzeugung im Jahr 2013 bei rund 56 Mio. Tonnen.

Nach dem KWKG geförderte KWK-Anlagen

Mit der KWKG-Novelle 2009 stiegen der geförderte Zubau und die Modernisierung auf ein Niveau von zusammen über 500 MW pro Jahr. Nach der Novelle des KWKG im Jahr 2012 stieg dieser Wert im Jahr 2013 auf knapp 1.100 MW, was hauptsächlich aus einem steigenden Modernisierungsvolumen bei Anlagen ab 2 MW beruht.

Die Objekt- und Industrie-KWK haben sich in den letzten Jahren dynamisch entwickelt, wobei das Leistungssegment von 50 kW bis 2 MW die höchsten Zuwachsraten verzeichnet. Für diese Entwicklung dürften die Erhöhung des KWK-Zuschlags im Rahmen der KWKG-Novelle 2012 sowie die im Zeitraum von 2010 bis 2014 stark gestiegene EEG-Umlage verantwortlich sein, die die Eigenutzung des erzeugten Stroms wirtschaftlich interessanter gemacht haben.

Nach dem KWKG geförderte Wärme- und Kältenetze

In den Jahren 2009 bis 2011 wurden im Mittel 400 Trassenkilometer in Betrieb genommen. Nach der Novelle des KWKG im Jahr 2012 stieg dieser Wert sprunghaft auf gut 800 Trassenkilometer pro Jahr.

Gefördert werden der Neubau, der Ausbau, der Netzzusammenschluss und die Netzverstärkung wobei der Ausbau mit 54% und der Neubau mit 40% der Trassenkilometer das Geschehen dominieren. Bislang wurden keine Kältenetze gefördert.

Nach dem KWKG geförderte Wärme- und Kältespeicher

Seit Beginn der Förderung wurden 89 Speicherprojekte mit einem Gesamtspeichervolumen von etwa 8.100 m³ fertiggestellt. Weitere 81 Wärmespeicher mit einem Volumen von etwa 53.000 m³ befinden sich derzeit noch im Zulassungsverfahren. Weiterhin gibt es bekannte Planungen zum Bau von vielen weiteren Speichern mit einem Volumen von etwa 230.000 m³. Bislang wurden ausschließlich Wärmespeicher gefördert.

Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen

Ein kostendeckender Anlagenbetrieb ist für die öffentliche Fernwärmeversorgung unter den dargestellten Rahmenbedingungen in der kurzfristigen Perspektive bis 2020 nur für moderne Steinkohle-KWK-Anlagen möglich. Mit Gas befeuerte KWK-Anlagen sind ohne Förderung in keinem der betrachteten Fälle wirtschaftlich. Mit Förderung erzielen nur Anlagen mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad einige Jahre einen positiven Deckungsbeitrag. Ab 2017 ist dies aufgrund der sich immer weiter annähernden Gas- und Strompreise bei keiner Anlage mehr möglich. Ein Neubau von öffentlichen KWK-Anlagen für die Fernwärmeversorgung ist momentan nicht refinanzierbar.

Größere Objekt- und Industrie-KWK-Anlagen können hingegen unter den heutigen Förderbedingungen in geeigneten Einsatzbereichen wirtschaftlich errichtet und betrieben werden. In vielen Anwendungsfällen ergeben sich auch ohne KWK-Förderung ausreichend hohe Projektrenditen.

Verbraucher in der energieintensiven Industrie beziehen wegen der Befreiung von Umlagen ihren Strom zu geringen Kosten, so dass der Betrieb einer neuen KWK-Anlage zwar positive Projektrenditen erwarten ließe, diese aber meist deutlich unter der notwendigen Mindestrendite für eine Umsetzung des Projekts liegen. In diesem Segment könnte eine Anpassung der Förderung neue Impulse geben.

Kleinere Anlagen, vor allem in Wohnungsobjekten erreichen unter den heutigen Bedingungen keine positiven Projektrenditen. Bei negativen Projektrenditen werden Anlagen nur in Einzelfällen unter Einbeziehung nicht-monetärer Bewertungsmaßstäbe realisiert.

Bei kleinen bis mittelgroßen Anlagen der Objektversorgung hängt die Wirtschaftlichkeit sehr stark von der Stromeigennutzungsquote der Anlagen ab. In bestimmten Anwendungsbereichen wie Hotels oder Krankenhäusern können sehr gute Projektrenditen erreicht werden. In Bereichen wie z. B. der Wohnungswirtschaft lassen sich hingegen Projekte nur sehr schwierig realisieren.

Prognose der KWK-Stromerzeugung bis zum Jahr 2020

Die KWK-Nettostromerzeugung bleibt bis zum Jahr 2020 in etwa auf dem aktuellen Niveau. Bei den KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung führt die wirtschaftliche Situation voraussichtlich zu einem Rückgang der KWK-Stromerzeugung während für den Bereich der industriellen und Objekt-KWK-Stromerzeugung bis zum Jahr 2020 noch ein leichter Anstieg gegenüber dem aktuellen Niveau erwartet wird. Aufgrund der Anpassungen im EEG 2014 ist in den nächsten Jahren nur noch ein geringer Zubau von biogenen KWK-Anlagen zu erwarten.

Im KWKG ist für das Jahr 2014 eine Zwischenüberprüfung vorgesehen. Dabei sollen insbesondere die Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung, die Rahmenbedingungen für den Betrieb von KWK-Anlagen sowie die jährlichen Zuschlagszahlungen untersucht werden.

Auch in den vergangenen Jahren ist die technologische Weiterentwicklung der KWK-Anlagen weiter vorangeschritten. Über nahezu alle Leistungsbereiche hinweg hat sich die elektrische Effizienz von neuen KWK-Anlagen erhöht. Im kleinen Leistungsbereich werden immer mehr KWK-Anlagen serienmäßig mit Brenntechnik ausgestattet. Die Anzahl der angebotenen Module im Leistungsbereich bis 50 kW hat sich innerhalb von fünf Jahren nahezu verdoppelt. Aufgrund der Weiterentwicklung im kleinen Leistungsbereich durch den Markteintritt von Verbrennungs- und Stirlingmotoren mit einer Leistung bis 2 kW können auch Einfamilienhäuser mit einem geringen Heizenergiebedarf durch solche Mikro-KWK-Anlagen mit Strom und Wärme versorgt werden.

Eine Implementierung von fossil befeuerten KWK-Anlagen in der Objekt- sowie der Fernwärmeversorgung innerhalb den nächsten Jahre ermöglicht einerseits eine zeitnahe erhebliche CO₂-Minderung durch den Ausbau einer hocheffizienten dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung. Andererseits werden dadurch bereits heute Strukturen geschaffen, um mittelfristig relativ einfach auf technische Neuentwicklungen im KWK-Anlagenbau wie ggf. die Brennstoffzelle zurückgreifen zu können. Außerdem erscheint es einerseits technisch heute bereits möglich und andererseits im Rahmen der Energiewende mittelfristig wahrscheinlich, dass zukünftig KWK-Anlagen verstärkt Biomethan verwenden, das aus Biomasse, Windkraft oder PV-Strom (Power-to-Gas) hergestellt und über das vorhandene Erdgasnetz verteilt wird.

Das folgende Kapitel enthält die Darstellung der Entwicklung der KWK-Stromerzeugung in den zurückliegenden 10 Jahren (Kapitel 7.1) sowie die Auswertung der nach dem KWKG geförderten KWK-Anlagen, Wärme- und Kältespeicher sowie Wärme- und Kältenetze seit dem Jahr 2003 bzw. 2009 (Kapitel 7.2 bis 7.4). Auf Basis dieser Informationen sowie den durchgeführten Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit (Kapitel 7.5) erfolgt eine Prognose der Stromerzeugung aus KWK und der Kosten der KWKG-Umlage bis zum Jahr 2020 (Kapitel 7.6). Abschließend werden Empfehlungen zur Weiterentwicklung des KWKG abgegeben (Kapitel 0).

7.1 Anteil der Stromerzeugung in KWK-Anlagen an der Gesamtstromerzeugung

Die Entwicklung der KWK-Stromerzeugung ist ein wichtiger Indikator für die Situation der KWK insgesamt und in den einzelnen Größenklassen und Einsatzbereichen. Sie kann erste Hinweise auf die wirtschaftliche Situation der KWK und die Wirksamkeit der KWK-Förderung für den Ausbau des KWK-Systems geben. Darüber hinaus ist der Anteil der KWK-Stromerzeugung an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland die entscheidende Messgröße zur Überprüfung des KWK-Ausbauziels (25 % im Jahr 2020).

Die folgende Tabelle 47 stellt die KWK-Stromerzeugung von 2005 bis 2013 dar. Die Daten basieren auf den Monatsberichten der Elektrizitätsversorgung, auf der Fachserie 4, Reihe 6.4 des statistischen Bundesamts und Berechnungen des Öko-Instituts. Die Anlagen sind nach Betreiber, Größenklasse und eingesetztem Brennstoff in die Gruppen Kraftwerke der allgemeinen Versorgung größer und kleiner 1 MW_{el}, industrielle KWK und biogene KWK unterteilt. Die biogene KWK-Stromerzeugung, die nicht in der öffentlichen Statistik der Industrie und der allgemeinen Versorgung erfasst ist, wurde vom Öko-Institut für den Zeitraum von 2005 bis 2012 ermittelt. Bis zur Veröffentlichung einer einheitlichen KWK-Statistik wurden die noch fehlenden Werte für das Jahr 2013 hier jedoch anhand des zu erwartenden Anlagenzubaus fortgeschrieben. Bei den Anlagen der allgemeinen Versorgung unter 1 MW Leistung sind dies die Angaben des Bafa auf Basis des entsprechenden Anlagenzubaus und bei der industriellen KWK entsprechend der Entwicklung der gesamten Stromerzeugung in Deutschland. Bei den biogenen KWK-Anlagen wurde ein konstanter KWK-Anteil angenommen und die KWK-Stromerzeugung über die Entwicklung der gesamten biogenen Stromerzeugung in diesen Jahren berechnet.

Unter diesen Annahmen stieg die gesamte KWK-Nettostromerzeugung im Zeitraum 2005 bis 2013 um 15 TWh, von 82,4 TWh auf 96,4 TWh. Die KWK-Quote stieg im gleichen Zeitraum auf 16,2 %. Der dynamischste Zuwachs erfolgte bei der biogenen KWK, die von der EEG-Vergütung profitiert. Sie stieg von 3,2 TWh im Jahr 2005 dynamisch bis zum Jahr 2013 auf 12 TWh. Die Erzeugung in kleinen fossilen KWK-Anlagen verdoppelte sich im betrachteten Zeitraum auf 4,9 TWh. Die KWK-Erzeugung der allgemeinen Versorgung ging seit 2011 leicht zurück und sank im Jahr 2013 auf 49,7 TWh, den niedrigsten Wert seit 2005. Die Stromerzeugung der industriellen KWK stieg kontinuierlich von 25,6 TWh auf 29,7 TWh.

Tabelle 47: Entwicklung der KWK-Nettostromerzeugung im Zeitraum 2005 bis 2013

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Nettostromerzeugung	582	597	599	599	558	591	574	591	595
KWK-Nettostromerzeugung	82,4	86,9	86,5	89,2	89,2	97,0	94,1	95,1	96,4
Allgemeine Versorgung	51,5	54,0	51,9	53,8	50,5	53,3	50,9	51,1	49,7
Steinkohlen	13,7	12,4	11,1	11,2	11,6	13,3	12,1	12,8	13,7
Braunkohlen	3,8	3,7	3,7	3,8	3,7	4,2	4	4,2	4,5
Mineralöl	0,7	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1
Gas	31,4	35,1	34,1	35,3	31,2	31,5	30	28,9	25,8
Erneuerbare	0,4	0,5	0,6	0,9	1,2	1,3	1,5	1,7	2,2
Sonstige	1,6	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,3	3,4
Industrielle KWK-Erzeugung	25,6	25,8	25,8	25,7	26,6	29,8	28,4	28,3	29,7
KWK-Anlagen unter 1 MWel	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9	3,3	3,8	4,5	4,9
Biogene KWK*	3,2	4,9	6,4	7,0	9,2	10,6	10,9	11,2	12,0
Anteil KWK in % (bezogen auf die Nettoerzeugung)	14,2%	14,5%	14,4%	14,9%	16,0%	16,4%	16,4%	16,1%	16,2%

*Biogene Anlagen, die nicht in der Statistik der Allgemeinen Versorgung oder Industrie enthalten sind

Quelle: Stabu 2014, Monatsberichte E-Versorgung 2014, Öko-Institut 2014

Die KWK-Stromerzeugung der allgemeinen Versorgung ist in Tabelle 47 nach Energieträgern differenziert dargestellt. Die Erzeugung aus Steinkohlen blieb mit 13,7 TWh im Jahr 2013 gegenüber 2005 nahezu konstant, in den Zwischenjahren lag sie jedoch etwas darunter. Die Erzeugung aus Braunkohle stieg in den letzten Jahren leicht auf 4,5 TWh (2013).

Auffällig ist der starke Rückgang der Erzeugung von KWK-Anlagen auf Erdgasbasis von 35,3 TWh im Jahr 2008 auf 25,8 TWh im Jahr 2013. Mögliche Gründe hierfür sind sinkende Erlöse aus dem Stromverkauf bei gleichbleibenden bis leicht steigenden Gaspreisen. Die in der Statistik der Elektrizitätsversorgung erfasste KWK-Stromerzeugung aus erneuerbaren und sonstigen Energieträgern stieg hingegen im gleichen Zeitraum kontinuierlich von 0,4 bzw. 1,6 TWh auf 2,2 bzw. 3,4 TWh in 2013.

7.2 Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderten KWK-Anlagen

Das KWKG in seiner aktuellen Form unterscheidet mehrere Fördertatbestände, die wie folgt differenziert werden können:

- **Neubau:** Nach § 5 Absätze 1 und 2 besteht Anspruch auf die Zahlung des Zuschlags für KWK-Strom aus hocheffizien-

ten Anlagen, die nach dem 1. Januar 2009 und bis zum 31. Dezember 2020 in Dauerbetrieb genommen sind.

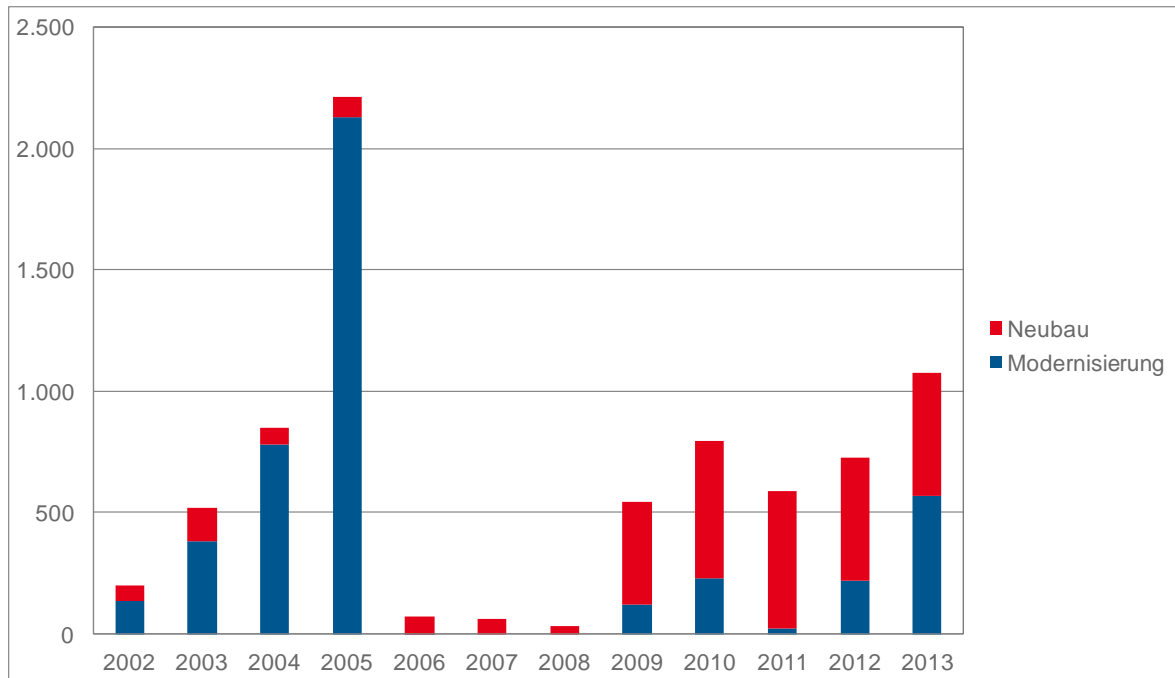
- **Modernisierung:** Das KWK-Gesetz bietet in § 5 Absatz 3 die Möglichkeit, eine KWK-Anlage nach einer Modernisierung der effizienzbestimmenden Teile der KWK-Anlage als „modernisierte“ Anlage fördern zu lassen. Je nach Höhe der Modernisierungsaufwendungen wird die Förderung unterschiedlich lange gewährt. Unterschieden werden in Bezug auf die Modernisierungskosten die beiden Abstufungen „mindestens 50 % der Neuerrichtungskosten“ und „mindestens 25 % der Neuerrichtungskosten“.
- **Nachrüstung:** Gemäß § 5 Absatz 4 KWKG 2012 besteht ein Anspruch auf Zahlung des Zuschlags für KWK-Strom aus Anlagen der ungekoppelten Strom- oder Wärmeerzeugung, bei denen Komponenten zur Strom- oder Wärmeauskoppelung nachgerüstet werden, wenn die nachgerüstete Anlage eine elektrische Leistung von mehr als 2 Megawatt hat. Durch diese Regelung sollte u. a. die Möglichkeit einer Förderung geschaffen werden, wenn eine Dampfturbine bei einem bestehenden Dampfkessel nachgerüstet wird.

Die folgenden Abbildungen stellen den nach dem KWKG geförderten Zubau, die Modernisierung und die Nachrüstung von KWK-Anlagen dar. Dazu wurden die vom Bafa bereitgestellten Daten ausgewertet. Der Datensatz zu den geförderten bzw. beantragten KWK-Anlagen stammt vom 16. April 2014. Die Datensätze zu Netzen und Speichern stammen vom 30. Juli 2014 und beinhalten alle zum 1. Juli 2014 vorliegenden Informationen.

Diese Daten umfassen alle geförderten KWK-Anlagen, die auf Basis konventioneller Energieträger betrieben werden. Nicht erfasst sind die nach dem EEG-geförderten KWK-Anlagen sowie KWK-Anlagen, für die die Betreiber keine Förderung nach dem KWKG beantragt haben. Letzteres dies betrifft mit hoher Wahrscheinlichkeit nur sehr wenige Anlagen.

Mit der KWKG-Novelle aus dem Jahr 2009 sind der geförderte Zubau und die Modernisierung auf ein Niveau von zusammen über 500 MW pro Jahr gestiegen (vgl. Abbildung 37). Nach der Novelle im Jahr 2012 stieg die Leistung der geförderten modernisierten und neu gebauten KWK-Anlagen im Jahr 2013 auf knapp 1.100 MW. Der Anstieg resultiert hauptsächlich aus einem steigenden Modernisierungsvolumen bei Anlagen ab 2 Megawatt. Die Nachrüstung wurde bislang nur ein einziges Mal bei einer 6 Megawatt Dampfturbine gefördert – der Fördertatbestand der „Nachrüstung“ spielt in ihrer derzeitigen Ausführung keine Rolle innerhalb des Förderregime des KWK-Gesetzes.

Abbildung 37: *Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderten KWK-Anlagen in MW in den Jahren 2003 bis 2013 (Berücksichtigung der bereits zugelassenen Anlagen und von noch nicht abschließend bearbeiteten Zulassungsanträge)*



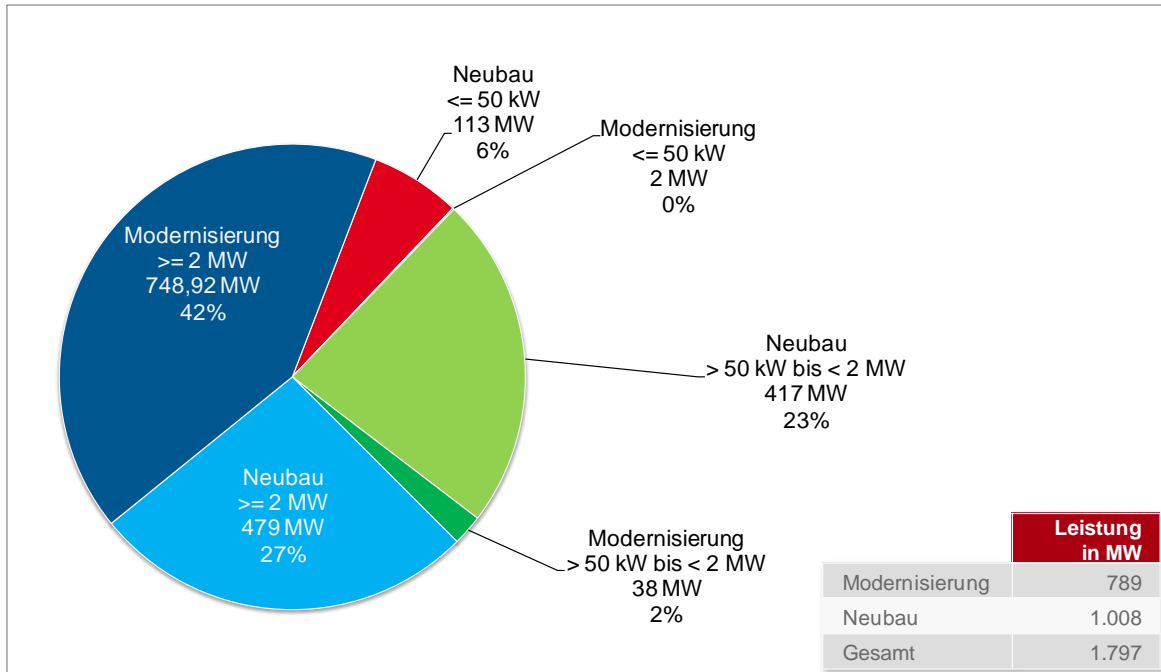
Quelle: Prognos 2014

Abbildung 38 verdeutlicht die Anteile von Neubau und Modernisierung der drei Größenklassen „kleiner gleich 50 kW“, „größer 50 kW bis kleiner 2 MW“ und „größer gleich 2 MW“ in den Jahren 2012 und 2013, also nach der Novelle des KWKG 2012.

Auf die Modernisierung von Anlagen mit mehr als 2 MW elektrischer Leistung entfallen 42 % der gesamten geförderten KWK-Leistung dieses Zeitraums. Der Neubau in diesem Größensegment repräsentiert 27,5 % der geförderten KWK-Leistung. In den Bereichen unterhalb von 2 MW spielt die Modernisierung nur eine untergeordnete Rolle. Auf den Neubau der mittleren Größenklasse entfallen etwa 23 % der geförderten KWK-Leistung und auf das kleine Segment 6 %.

Eine Anlage wurde seit 2012 im Bereich der „Nachrüstung“ zugelassen. Dabei handelt es sich um eine 6 MW-Dampfturbine.

Abbildung 38: Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderten KWK-Anlagen in MW im Zeitraum 2012 und 2013 (Berücksichtigung der bereits zugelassenen Anlagen und von noch nicht abschließend bearbeiteten Zulassungsanträgen)



Quelle: Prognos 2014

Im Leistungssegment bis 50 kW (vgl. Abbildung 39) betrug das geförderte Marktvolumen in den Jahren 2012 und 2013 bei 53 MW bzw. 61 MW. Kleinanlagen mit einer Leistung von bis zu zwei kW sind ab 2010 im Markt sichtbar geworden und stellten im Jahr 2013 mit knapp 1.900 Anlagen etwa ein Viertel der geförderten Anlagen, wobei sie etwa 0,1 % der im Jahr 2013 neu geförderten Anlagenleistung ausmachen. In dieser Leistungsklasse findet sich ein breites technologisches Spektrum, das vom Otto-Motor über Stirling-Maschinen bis hin zu Brennstoffzellen reicht. Diese befinden sich in der Phase des Markteintritts bzw. kurz davor und sollten – mit Blick auf dezentrale Versorgungslösungen in dünner besiedelten Gebieten – in den kommenden Jahren besonders beachtet werden.

Im Jahr 2009 verzeichnete der Zubau im Leistungssegment bis 50 kW einen kräftigen Sprung im und lag mit knapp über 55 MW mehr als doppelt so hoch wie im Schnitt der Vorjahre. Im Folgejahr ging der Zubau deutlich auf etwa 40 MW zurück, stieg dann aber wieder und erreichte bereits im Jahr 2011 mit 52 MW wieder annähernd das Niveau des Jahres 2009. Im Jahr 2013 konnte mit 61 MW der größte Zubau seit 2002 verzeichnet werden. Der Peak im Jahr 2009 ist auf das Zusammenfallen der KWKG-Novelle 2009 und den Start des Mini-KWK-Impulsprogramms (Klimaschutzinitia-

tive) zurückzuführen. Das Impulsprogramm wurde jedoch Ende 2009 wieder eingestellt, was zu dem starken Rückgang im Jahr 2010 führte. Die im Zeitraum von 2010 bis 2014 stark gestiegene EEG-Umlage sowie die Erhöhung des KWK-Zuschlags im Rahmen der KWKG-Novelle 2012 dürften für den erneuten Anstieg maßgeblich verantwortlich sein, da sie insbesondere die Eigennutzung des erzeugten Stroms wirtschaftlich interessanter gemacht hat.

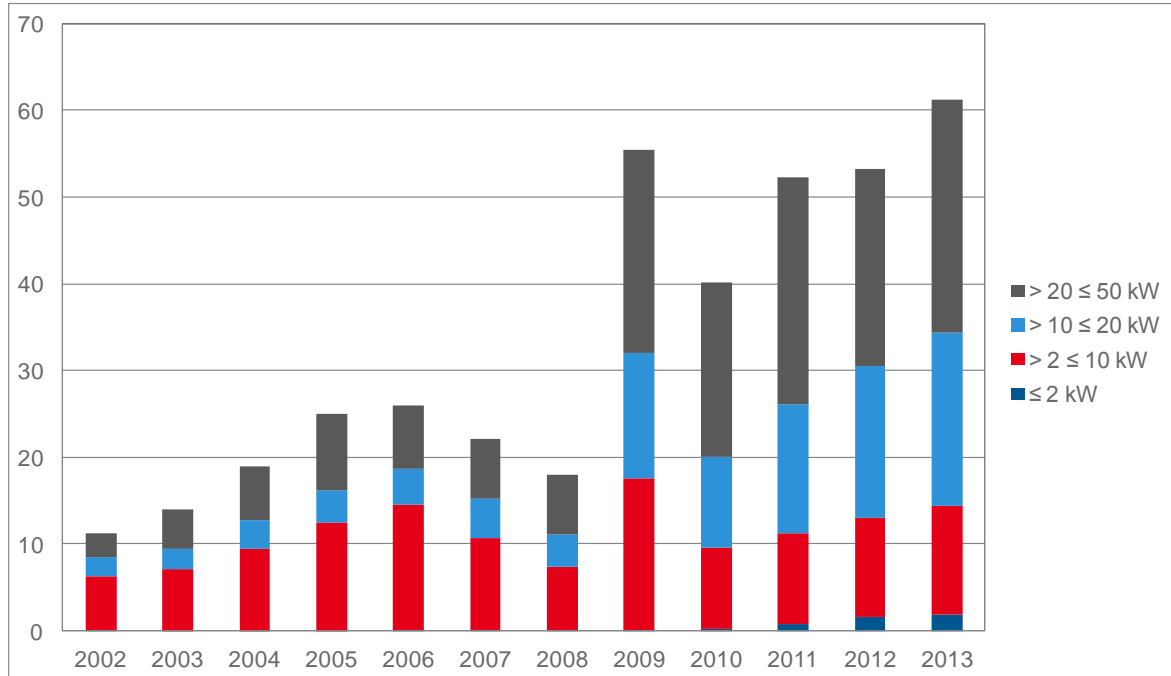
Das derzeitige KWK-Gesetz ermöglicht in §7 Abs. 3 den Betreibern von Mikro-KWK-Anlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 2 kW, sich auf Antrag vom Netzbetreiber vorab eine pauschalierte Zahlung der Zuschläge für die Erzeugung von KWK-Strom für die Dauer von 30.000 Vollbenutzungsstunden auszahlen zu lassen.

Von den bis zum 8.9.2014 vorliegenden 3.435 elektronischen Anzeigen gemäß Allgemeinverfügung für Anlagen bis 2 kW und Inbetriebnahme ab dem 19.07.2012 haben sich laut BAFA-Statistik 2.246 Betreiber für eine Vergütung über 10 Jahre und 1.189 Betreiber für eine Einmalzahlung entschieden. Demnach nimmt rund jeder Dritte Anlagenbetreiber im Leistungssegment bis 2 kW die pauschalierte und mit deutlich weniger administrativem Aufwand verbundene Einmalauszahlung in Anspruch.

Außerdem ermöglicht das KWK-Gesetz 2012 gemäß §7 Abs. 1 den Betreibern von kleinen KWK-Anlagen bis 50 kW die Zuschlagszahlungen wahlweise für einen Zeitraum von zehn Jahren oder für die Dauer von 30.000 Vollbenutzungsstunden zu erhalten. Im Zeitraum zwischen dem Inkrafttreten des KWK-Gesetzes am 18.07.2012 und dem 8.9.2014 wurden 8.537 KWK-Anlagen im Leistungsbereich größer 2 kW bis 50 kW kategorisiert. Davon erhalten 643 Anlagen, also rund 7,5% der KWK-Anlagen in diesem Leistungssegment, die Vergütung über 30.000 Vollbenutzungsstunden und nicht über 10 Jahre.

Seit Juli 2012 wurden 162 KWK-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 1,77 MW modernisiert. Die Modernisierung von KWK-Anlagen spielte mit einem Anteil von 1,54 % an der gesamten geförderten Leistung keine Rolle für das Leistungssegment bis 50 kW.

Abbildung 39: Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderte KWK-Anlagen bis 50 kW in MW



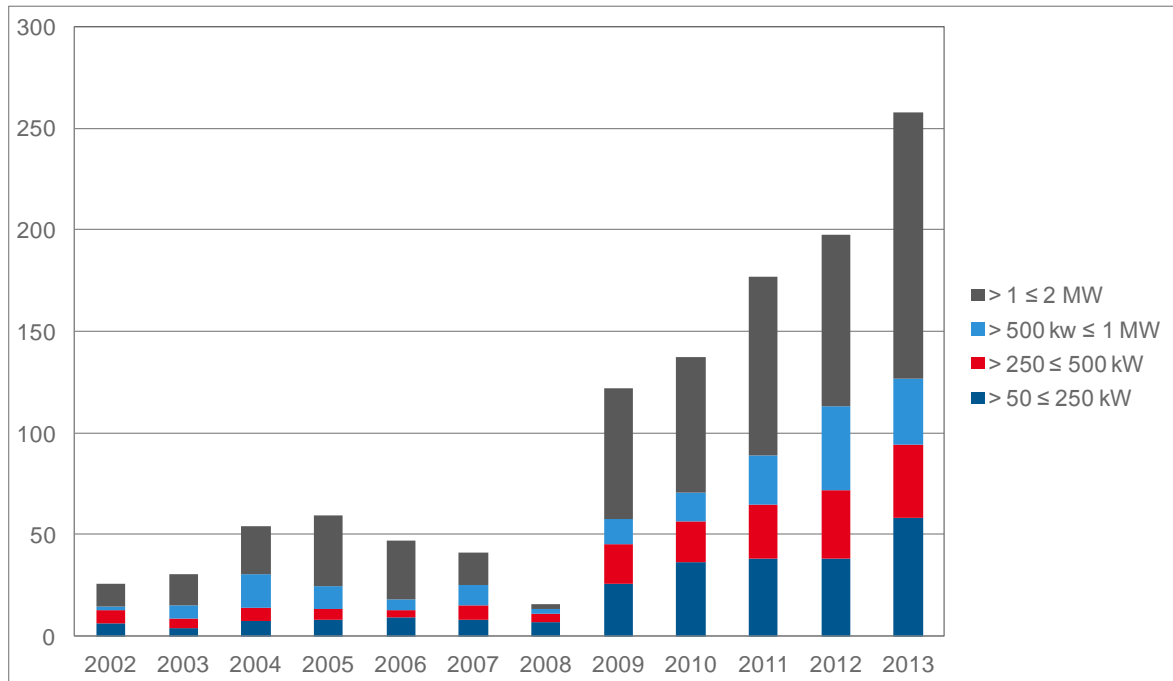
Quelle: Prognos 2014

Im Leistungssegment zwischen 50 kW und 2 MW (vgl. Abbildung 40) betragen der geförderte Zubau und die Modernisierungen seit 2009 bei stetigem Anstieg in Summe zwischen 130 MW und 260 MW pro Jahr. Auch dieses Segment hat deutlich von der Novelle des KWKG im Jahr 2009 und der in den folgenden Jahren steigenden EEG-Umlage profitiert. Im Jahr 2013 wurde mit 260 MW der Spitzenwert erreicht. Das Leistungssegment zwischen 50 kW und 2 MW weist im Vergleich zum Zeitraum vor 2009 die mit Abstand größte Dynamik auf.

Das obere Leistungssegment zwischen einem und zwei MW ist mit knapp 49 % der im Zeitraum 2009 bis 2013 geförderten Leistung am stärksten vertreten. Es folgt das kleinste Segment von 50 kW bis 250 kW mit 22 % der geförderten Leistung. Die Leistungsklassen zwischen 250 kW und 1 MW liegen bei 15 % bzw. 14 %.

Auch im Segment zwischen 50 kW und 2 MW spielt die Modernisierung eine stark untergeordnete Rolle. Insgesamt 98 Anlagen mit einer elektrischen Leistung von gut 68 MW fielen seit 2009 in diese Kategorie. Ihr Anteil an den gesamten geförderten Anlagen zwischen 50 kW und 2 MW lag bei etwa 5 %.

Abbildung 40: Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderte KWK-Anlagen zwischen 50 kW und 2 MW in MW

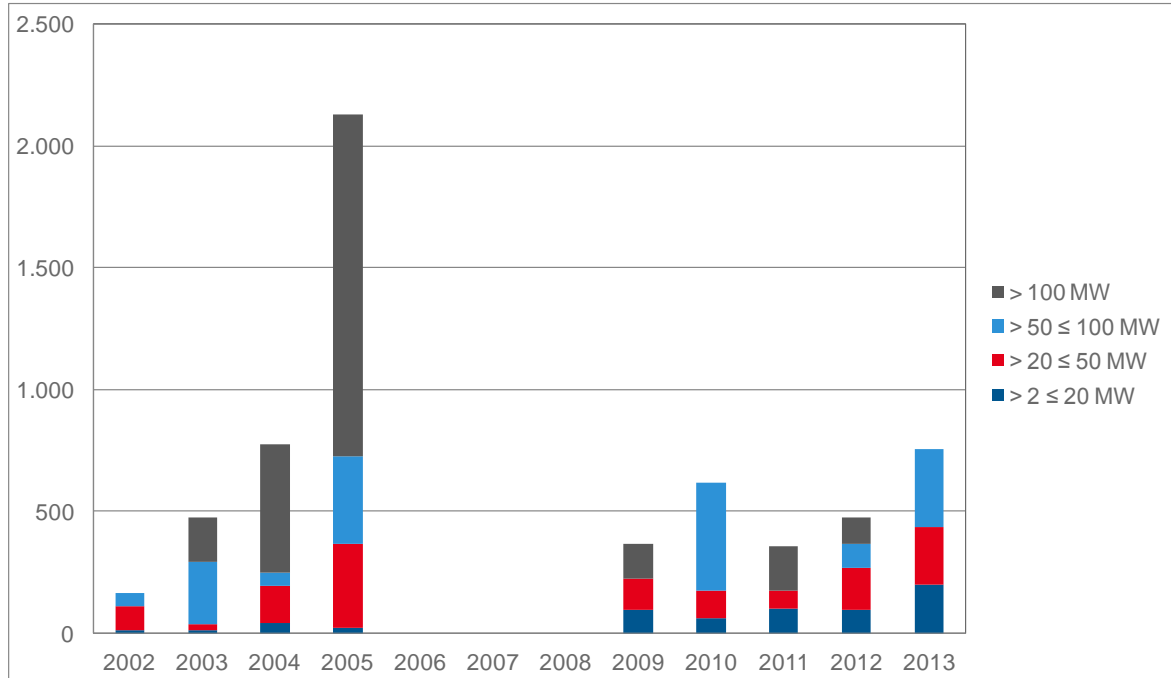


Quelle: Prognos 2014

Auf das Segment über zwei MW entfielen 69 % der seit 2009 modernisierten oder neu gebauten Anlagenleistung. Die Ausbauraten schwanken zwischen 360 MW und 750 MW. Die Modernisierung hatte im Jahr 2013 einen Anteil von 72 % bzw. 542 MW; dieses ist der höchste Wert seit der Novell 2009. Seit 2009 wurden 56 KWK-Anlagen mit einer Leistung von gut 1.092 MW modernisiert – etwa 70 % bzw. 750 MW entfielen auf den Zeitraum nach der KWKG-Novelle 2012. Der jährliche Neubau lag in den Jahren 2012 und 2013 mit 267 MW bzw. 212 MW pro Jahr niedriger als vor der Novelle 2012 (gut 330 MW). Im gesamten Zeitraum seit 2009 wurden 109 Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 1.474 MW neu errichtet.

Der hohe Wert des Jahres 2005 resultierte aus der Förderung von Modernisierungsmaßnahmen, die für Anlagen galt, die bis zum 31.12.2005 wieder in den Dauerbetrieb genommen wurden. In den Jahren 2006 bis 2008 gab es keine Förderung für Neubauten oder neue Modernisierungsmaßnahmen für Anlagen ab zwei MW.

Abbildung 41: Neubau und Modernisierung der nach dem KWKG geförderte KWK-Anlagen ab 2 MW in MW



Quelle: Prognos 2014

7.3 Zubau von Wärme- und Kältenetzen

Eine wichtige Voraussetzung für den Erhalt und Ausbau der KWK ist, den Wärmeabsatz zu steigern bzw. vor dem Hintergrund der Erfolge der Wärmedämmung von Gebäuden und Prozessen und der effizienten Wärmeanwendung zu stabilisieren. Weiterhin bieten Wärmenetze die Möglichkeit der CO₂-armen Wärmeversorgung von Ballungsräumen, in denen aufgrund räumlicher Restriktionen (Solarthermie, Wärmepumpe) und Aspekten der Luftqualität (biogene Festbrennstoffe) nur ein begrenztes Technologiespektrum zur CO₂-armen Wärmeversorgung besteht. Chancen bietet auch der Aufbau von Kältenetzen, mit denen die KWK-Wärme in entsprechenden Kältemaschinen insbesondere im Sommer sinnvoll genutzt werden kann.

Zur Stabilisierung des Absatzes ist der Aufbau neuer und der Ausbau bestehender Wärme- und Kältenetze notwendig, da die Abnahmemengen der bisher an die bestehenden Wärmenetze angeschlossenen Abnehmer kontinuierlich zurückgehen werden. Seit 2009 wird im KWKG der Bau von Wärme- und Kältenetzen gefördert. Bis zum Jahr 2012 betrug der maximale Zuschuss 20 % der Investitionssumme.

Mit der Novellierung des KWKG im Jahr 2012 wurde der maximal mögliche Investitionszuschuss, der rückwirkend zum 1.1.2012 sei-

ne Geltung entfaltet, für den Ausbau von Netzen auf maximal 30 % bzw. 40 % für Netze mit einem Nenndurchmesser von unter 100 Millimetern erhöht. Gefördert werden nur Wärmenetze, in denen der KWK-Anteil der eingespeisten Wärme mindestens 60 % beträgt bzw. im Endausbau des Netzbereichs betragen wird.

Gemäß § 5a Abs. 3 Satz 2 KWKG sind Netzverstärkungsmaßnahmen förderfähig, die zu einer Erhöhung des transportierbaren Wärmeevolumenstroms von mindestens 50 Prozent im betreffenden Tassenabschnitt führen.

Sofern im Rahmen einer Netzverstärkungsmaßnahme ein Dampfnetz auf ein Heißwassernetz umgestellt und hierbei nur die Rücklaufleitung verstärkt wird, ist diese Maßnahme nach dem KWKG förderfähig. Maßgeblich für die Zuschlagsberechnung sind dann die Trassenlänge und der Nenndurchmesser der Rücklaufleitung; dahingehend ist auch der Nachweis der ansatzfähigen Investitionskosten zu erbringen. Im Übrigen gelten die oben dargestellten gesetzlichen Voraussetzungen für die Förderung von Netzverstärkungsmaßnahmen.

Gemäß dem AGFW-Hauptbericht 2012 betrug die Anschlussleistung von Heißwassernetzen zum 31.12.2012 etwa 47,5 GW, die der Dampfnetze etwa 4,2 GW. Dampfnetze stellten damit rund 8 % der Gesamtanschlussleistung. Die Netzverluste der Dampfnetze lagen gemäß den Angaben des AGFW mit 13 % nur leicht über den Verlusten der Heißwassernetze (12 %).

Der geringe Unterschied liegt wahrscheinlich in der unterschiedlichen Verbraucherstruktur der beiden Netzarten zusammen. Die bestehenden Dampfnetze sind vorrangig geprägt von einer hohen Abnahmemenge je Trassenmeter, während bei den Heißwassernetzen auch Netze mit geringer Abnahmestruktur vorhanden sind.

Aufgrund der höheren Temperatur in den Dampfnetzen muss der Dampf in den KWK-Kraftwerken bei einer höheren Temperatur ausgekoppelt werden. Damit ist der elektrische Wirkungsgrad in diesen Anlagen im Vergleich zu KWK-Anlagen mit Heißwassernetzen geringer. Eine langfristige Umstellung der Dampfnetze auf einen Heißwasserbetrieb würde die Gesamteffizienz der KWK in der Fernwärme erhöhen.

Für den Zeitraum von 2009 bis 2013 kann auf Grundlage der vorliegenden Daten die Entwicklung der geförderten Wärme- und Kältenetze explizit dargestellt werden. Für das laufende Jahr 2014 liegt beim Bafa erwartungsgemäß nur eine eher geringe Anzahl an Anträgen vor, da die Antragsfrist für im Jahre 2014 realisierte Wärme- und Kältenetze erst am 1. Juli 2015 endet. Deshalb sind für 2014 noch keine Aussagen möglich. Dargestellt wird der Stand der Auswertung zum Juli 2014.

Bislang liegen keine Anträge zur Förderung von Kältenetzen vor, weshalb sich die folgenden Auswertungen ausschließlich auf Wärmenetze beziehen.

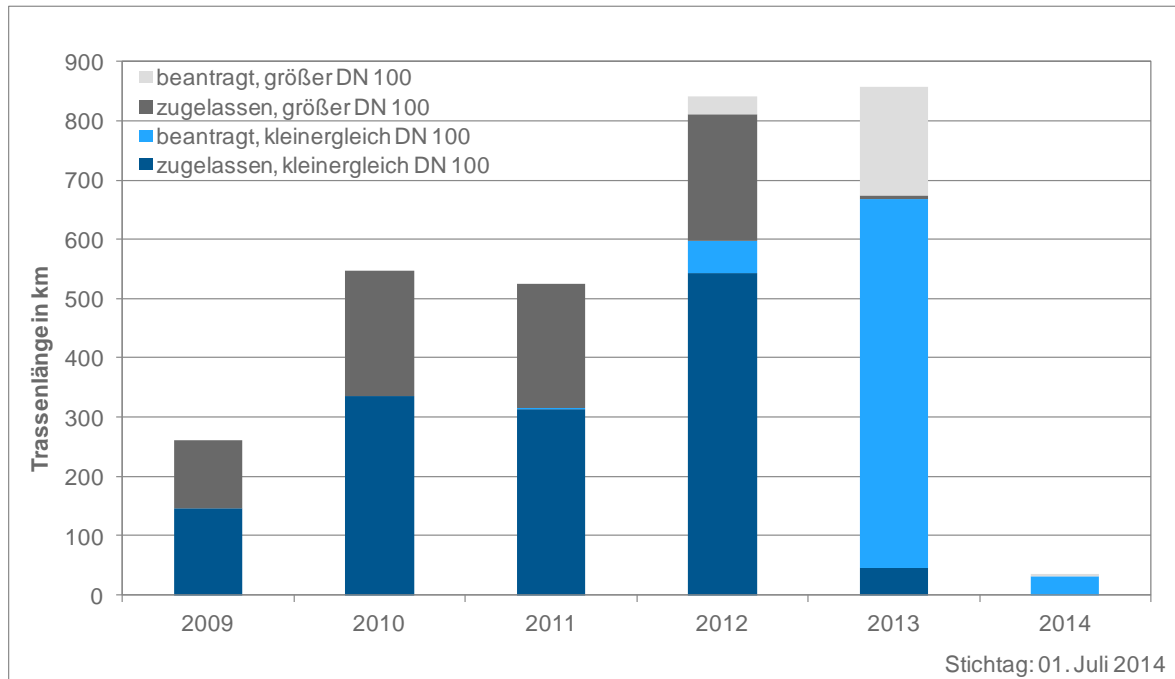
In den Jahren 2010 und 2011 betrug der geförderte Ausbau der Netze 548 bzw. 525 km. In den Jahren 2012 und 2013 stieg das Niveau mit 841 km bzw. 857 km deutlich. Hierbei ist zu beachten, dass der weit überwiegende Teil der zur Förderung beantragten Netze sich noch im Zulassungsverfahren befindet (Abbildung 42). Wie Abbildung 42 ebenfalls entnommen werden kann, hat knapp ein Drittel der seit 2009 bewilligten oder zur Förderung beantragten Trassenkilometer durchschnittlichen Durchmesser von mehr als 100 mm je Fernwärmeprojekt; gut zwei Drittel sind kleiner als 100 mm.

Die ab 2012 sprunghaft gestiegene beantragte und zugelassene Trassenlänge für Wärmenetze mit Nenndurchmessern von bis zu 100 mm Durchmesser deutet darauf hin, dass durch die verbesserte Förderung des KWKG 2012 verstärkt in die Netzverdichtung und den Aufbau von kleinen Wärmenetzen investiert wurde.

Die steigende Zahl geförderter Fernwärmenetze mit biogasbetriebenen KWK-Anlagen muss aber nicht zwingend seine Ursache in einem stärkeren Ausbau der Wärmenutzung von Biogas-KWK-Anlagen haben. Ggf. liegt die Ursache hierfür auch darin begründet, dass das im Monitoring zum KWKG-Gesetz 2009 festgestellte Bestreben, Fernwärmenetze im biogenen Bereich eher ausschließlich nach dem KfW-Programm Erneuerbare Energien "Premium" fördern zu lassen, durch die Anpassung der beiden Fördersysteme in diesem Maß nicht mehr besteht.

Bei der Umstellung von Heißdampf- auf Heißwassernetze wurden seit 2014 insgesamt 2 Zulassungen durch das Bafa erteilt.

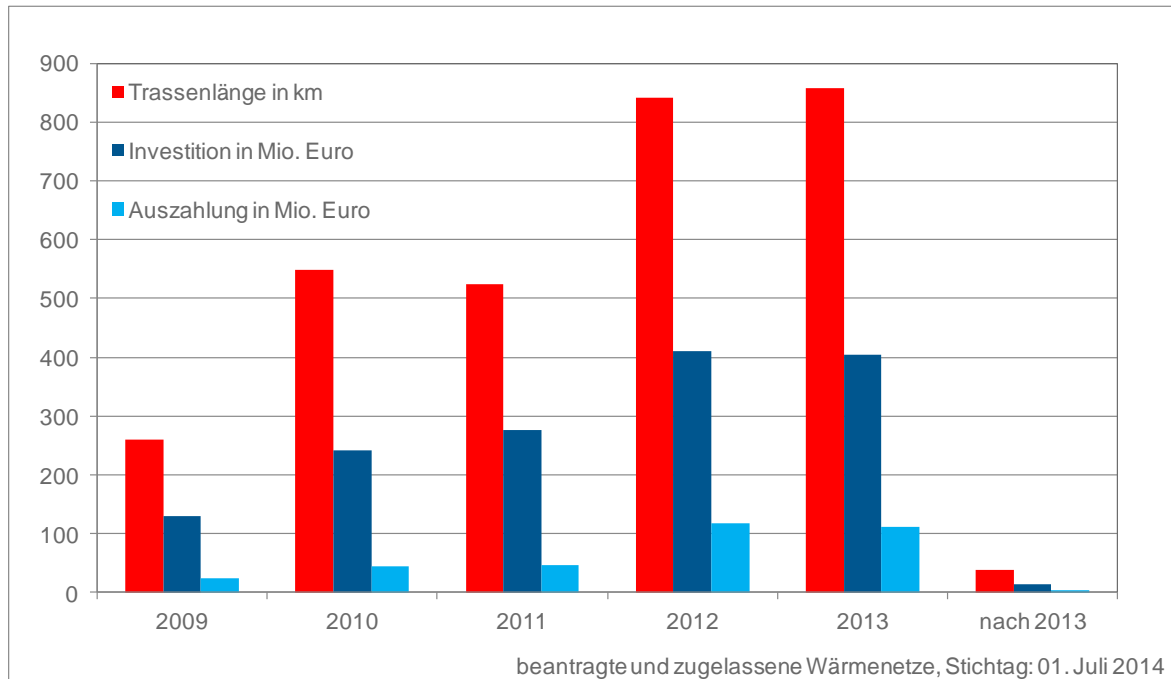
Abbildung 42: Trassenlänge bereits bewilligter Wärmenetze und zur Förderung beantragter Netze nach Jahr der Inbetriebnahme und Nenndurchmesser in km



Quelle: Prognos 2014

Die mittlere Förderquote lag in den Jahren 2009 bis 2011 recht stabil bei rund 18 %. Durch die Erhöhung der Zuschläge für Wärmenetze mit der KWKG-Novelle im Jahr 2012 stieg sie auf knapp 29 % (vgl. Abbildung 43).

Abbildung 43: Nach dem KWKG geförderte Wärmenetze, Investitionskosten und KWKG-Auszahlungsbetrag in Millionen Euro



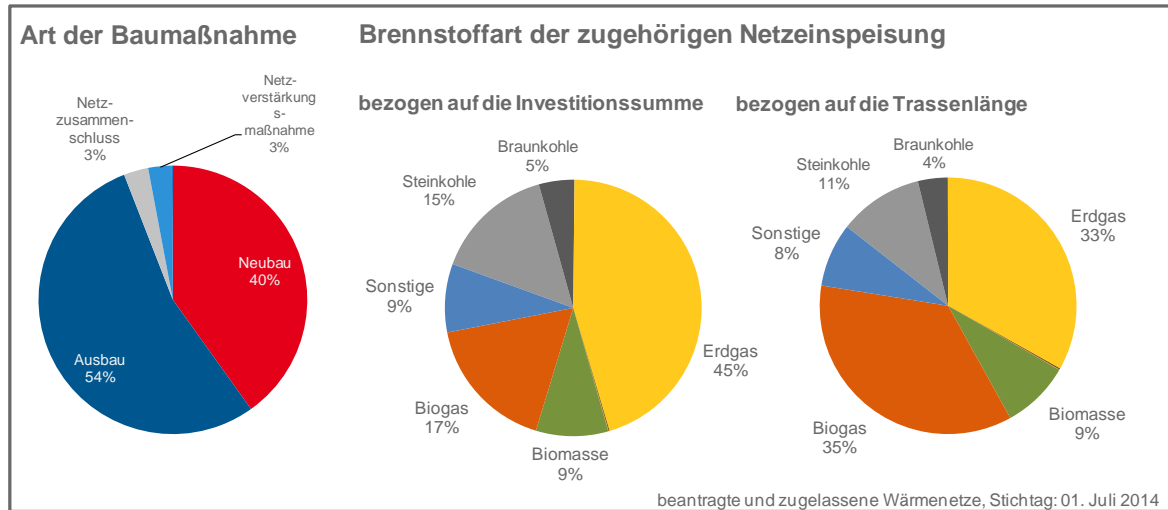
Quelle: Prognos 2014

Im Zeitraum 2009 bis 2013 wurde der größte Teil der Investitionen (54 %) in den Ausbau von bestehenden Netzen bzw. Netzteilen getätigt, 40 % der Netzinvestitionen gingen in den Ausbau von neuen Netzen. Netzverstärkungsmaßnahmen und Maßnahmen zum Zusammenschluss bestehender Netze machten jeweils 3 % der Kosten aus. Der größte Teil der Netzinvestitionen (45 %) entfiel auf Netze, die ausschließlich oder überwiegend durch Erdgasanlagen gespeist werden, auf Biogas und Steinkohle entfallen 17 % bzw. 15 % (vgl. Abbildung 44). Bezogen auf die errichtete Trassenlänge zeigt sich ein anders Bild: der Anteil der mit Biogas-Anlagen versorgten Netze liegt mit 32 % über doppelt so hoch. Dies ist auf die in diesem Segment im Mittel geringeren Leitungsdurchmesser bzw. geringere spezifische Leitungskosten zurückzuführen, was wiederum mit der geringeren Anzahl der angeschlossenen Wärmeabnehmer und der im ländlichen Raum häufig kostengünstigeren Verlegungsmöglichkeiten beim Tiefbau zusammen hängt.

Die Auswertung der mittleren Durchmesser der Trassen in Abhängigkeit vom Energieträger der Einspeisung (Abbildung 45) bestätigt dieses Bild. Geförderte und beantragte Wärmenetze, die aus Biogasanlagen gespeist werden, haben mit durchschnittlich gut 60 mm den mit Abstand geringsten Nenndurchmesser. Einen fast doppelt so großen mittleren Durchmesser (120 mm) weisen Wärmenetze auf, die über Erdgas- oder Steinkohleanlagen gespeist

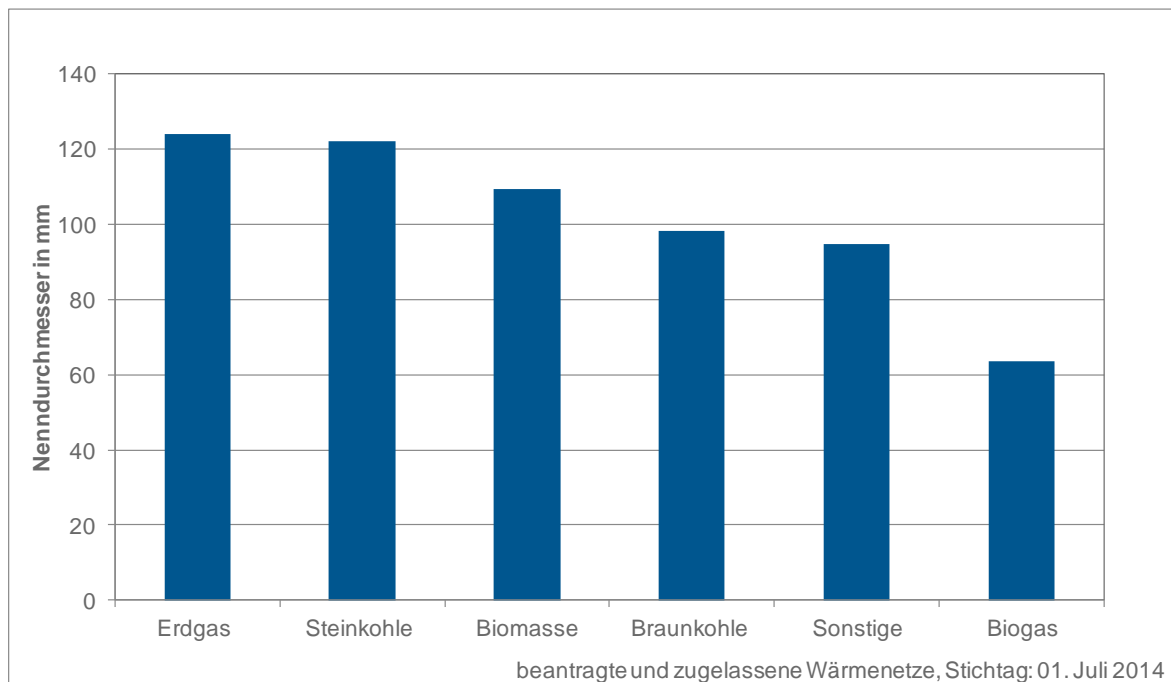
werden. Die Förderdaten des Bafa zeigen darüber hinaus, dass Netze mit einem Durchmesser von mehr als 200 mm fast ausschließlich aus fossil betriebenen Anlagen gespeist werden.

Abbildung 44: Art der Baumaßnahmen und Netzeinspeisung nach Energieträgern der geförderte und beantragten Wärmenetze im Zeitraum 2009 bis 2013



Quelle: Prognos 2014

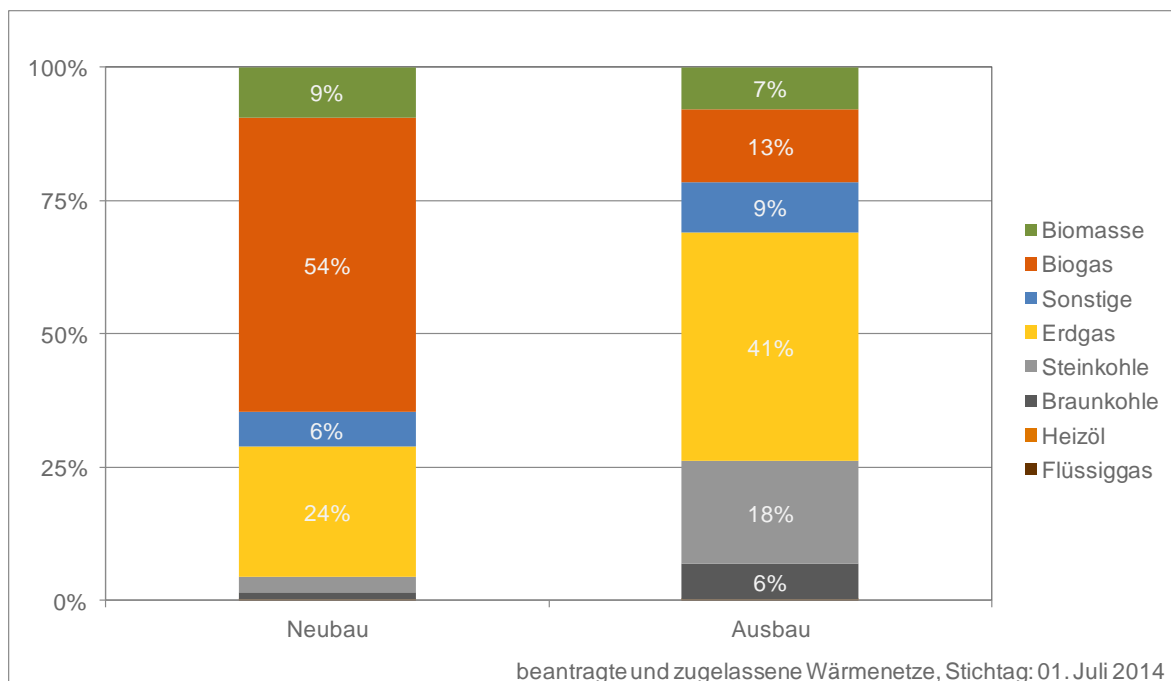
Abbildung 45: Mittlerer Durchmesser von Wärmenetzen in Abhängigkeit vom Energieträger der Netzeinspeisung in mm



Quelle: Prognos 2014

Ebenfalls deutliche Unterschiede sind bei der Verteilung der Wärmeeinspeisung für Neubau- und Ausbauvorhaben festzustellen (Abbildung 46). Während bei Neubauvorhaben 63 % der Trassenlänge aus Anlagen mit biogenen Brennstoffen (feste Biomasse und Biogas) gespeist werden, liegt dieser Anteil beim Ausbau bestehender Netze mit 20 % deutlich niedriger. Hier dominiert Erdgas mit 41 %, gefolgt von Steinkohle mit 18 %. Aus den Bafa-Daten geht zusätzlich hervor, dass Neubaunetze mit 87 mm im Mittel einen deutlich geringeren Durchmesser haben als ausgebaute Netze mit 104 mm.

Abbildung 46: Verteilung der Energieträger der Wärmeeinspeisung für Neubau- und Ausbauvorhaben in Prozent bezogen auf die Trassenlänge



Quelle: Prognos 2014

7.4 Zubau von Wärme-/ Kältespeichern

Der Vorteil von KWK-Anlagen liegt in ihrer effizienten Kopplung der Strom- und Wärmeerzeugung, mit der Brennstoffe und CO₂-Emissionen gegenüber der ungekoppelten Erzeugung eingespart werden. Allerdings ist die Flexibilität dieser Anlagen in der Stromerzeugung begrenzt, da sie ihren vorteilhaften KWK-Betrieb stark nach dem jeweiligen angeschlossenen Wärmebedarf ausrichten müssen. Mit der in KWK erzeugten Wärme können auch zentrale oder dezentrale Kälteanlagen bzw. Kältenetze betrieben werden. Insofern sind die im Folgenden beschriebenen Effekte der Errichtung von thermischen Speichern grundsätzlich auf Wärme- und Kältespeicher übertragbar.

Die anlagentechnische Verbindung von thermischen Speichern mit strommarktgeführten KWK-Anlagen kann einen wichtigen Beitrag zur Flexibilisierung der Stromerzeugung der KWK-Anlagen leisten. Sie ermöglichen eine phasenweise Entkopplung der KWK-Stromproduktion vom Wärme- bzw. Kältebedarf. Thermische Speicher können die KWK-Wärme in Zeiten geringen Wärme/Kälte- und hohen Strombedarfs für einige Stunden oder Tage zwischenspeichern und in Zeiten geringen Strom- und hohen Wärme/Kältebedarfs wieder abgeben. Mit dem steigenden Ausbau der erneuerbaren Energien und damit verbundenen Zeiten geringer Residuallast kann darüber hinaus verhindert werden, dass die an sich sinnvolle KWK-Stromerzeugung zur Reduzierung bzw. Abregelung der fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeugung aus Photovoltaik oder Windkraft führt.

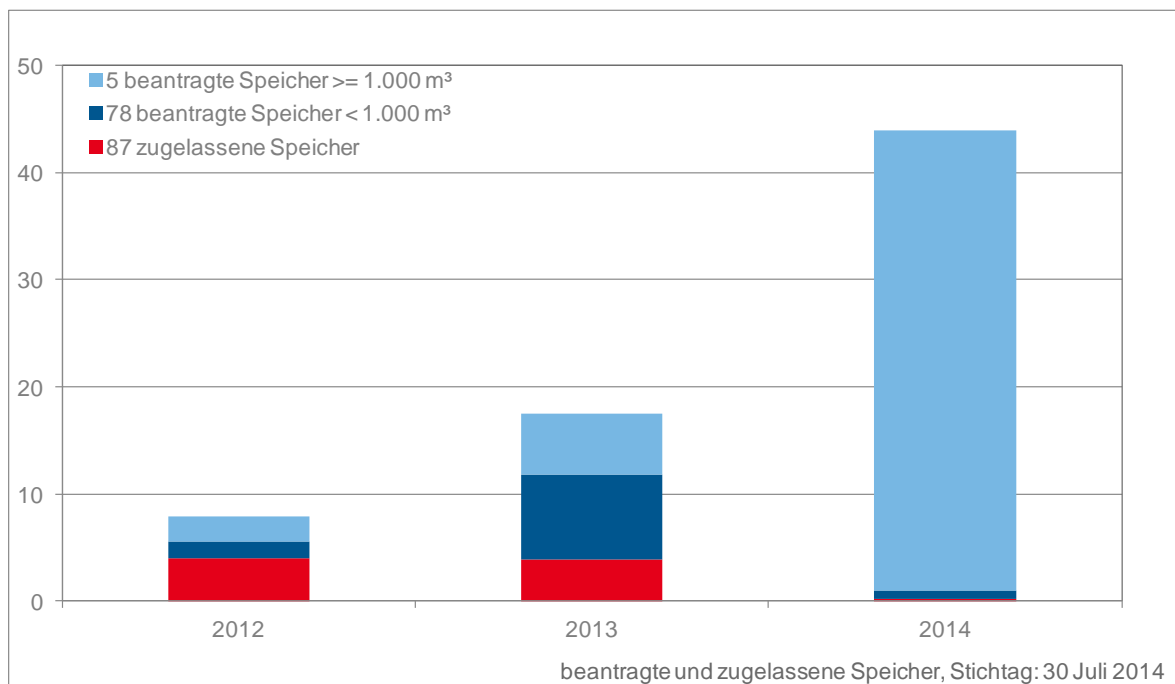
Bereits kurzfristig, zunehmend aber mittel- bis langfristig könnten Wärmespeicher darüber hinaus dazu beitragen, überschüssig produzierten Strom aus erneuerbaren Energien sinnvoll zu nutzen: Die Installation von Elektroheizern in den Wärmespeichern ermöglicht technisch bereits kurzfristig die Bereitstellung negativer Regenergie und kann so dazu beitragen, das Stromsystem insbesondere in Versorgungsgebieten mit Netzüberlastungen zu stabilisieren. Mittel- bis langfristig können diese Elektroheizern darüber hinaus die dezentrale Nutzung überschüssigen Stroms ermöglichen und so den Netzausbau oder die Installation wesentlich teurer Speichersysteme begrenzen. Wirtschaftliche Voraussetzung hierfür wäre jedoch eine deutliche Reduzierung der Abgaben, Steuern und Entgelte für diesen Strombezug der Wärmespeicher. Die positiven Auswirkungen der Kombination von Wärmespeichern und Elektroheizern auf das Stromsystem konnte zuletzt in der Studie „Maßnahmen zur nachhaltigen Integration von Systemen zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung in das neue Energieversorgungssystem“ nachgewiesen werden.

Mit der Novellierung des KWKG im Jahr 2012 wurde erstmals die Förderung von Wärme- und Kältespeichern in Form eines Investitionszuschusses im KWKG verankert. Dieser Zuschuss beträgt aktuell bei kleineren Speichern bis maximal 50 Kubikmeter einmalig 250 Euro pro Kubikmeter Wasseräquivalent des Speichervolumens. Bei größeren Speichern ist die Förderung zusätzlich auf 30 Prozent der ansatzfähigen Investitionskosten sowie auf 5 Millionen Euro je Projekt begrenzt.

Seit Beginn der Förderung im Jahr 2012 wurden entsprechend der Statistik der Bafa insgesamt 89 Speicherprojekte mit einem Gesamtspeichervolumen von etwa 8.100 m³ fertiggestellt und erhielten einen Investitionskostenzuschuss. Das Größenspektrum dieser geförderten Wärmespeicher reichte von 1 m³ bis maximal 2.350 m³. Kältespeicher waren bisher von geringer Relevanz.

Weitere 81 Wärmespeicher mit einem Volumen von etwa 53.000 m³ befinden sich derzeit noch im Zulassungsverfahren. Das Investitionsvolumen dieser Speicher liegt bei 27,6 Mio. Euro. Mit 43.000 m³ entfällt der Großteil des beantragten Speichervolumens den Wärmespeicher von GKM in Mannheim (Abbildung 47).

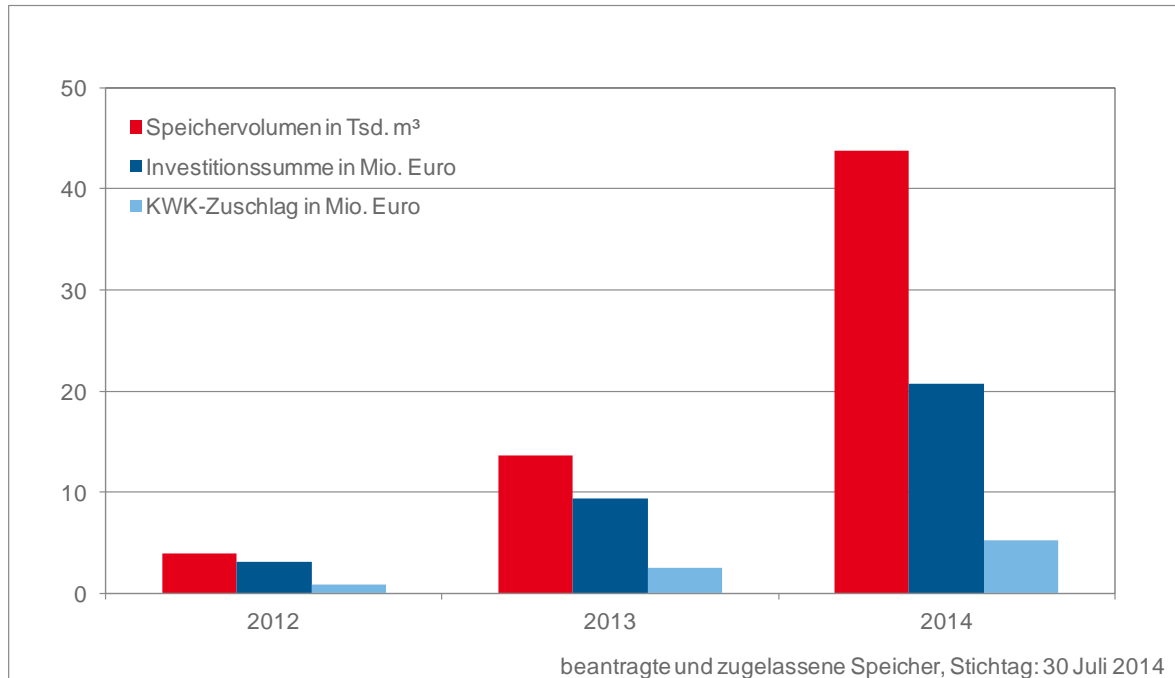
Abbildung 47: Volumen bereits bewilligter und zur Förderung beantragter Wärmespeicher nach Jahr der Inbetriebnahme in Tsd. m³ Speichervolumen



Quelle: Prognos 2014

Die Investitionskosten für die bereits zugelassenen Speicher betragen insgesamt rund 5,5 Millionen Euro, hiervon entfielen rund 1,5 Millionen Euro auf die gezahlten Zuschüsse, die durchschnittliche Förderquote dieser Projekte betrug demnach rund 27,5 % (vgl. Abbildung 48)

Abbildung 48: Nach dem KWKG geförderte Wärmespeicher, Investitionskosten und KWKG-Auszahlungsbetrag



Quelle: Prognos 2014

Darüber hinaus befinden sich aktuell noch viele weitere Wärmespeicher in der Planung oder im Bau. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über größere Wärmespeicherprojekte, die sich zurzeit in der Umsetzung befinden. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zeigt aber, dass sich mittlerweile auch deutlich größere Projekte in der Realisierung befinden. Allein diese 15 Wärmespeicher bzw. Wärmespeicherprojekte haben ohne den Speicher in Mannheim ein Speichervolumen von in Summe 230.000 m³.

Zur Einordnung dieser Projekte: In der Studie „Maßnahmen zur nachhaltigen Integration von Systemen zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung in das neue Energieversorgungssystem“ [Prognos 2013] hatte Prognos die langfristig bis 2050 benötigte Wärmespeicherkapazität auf 200 GWh abgeschätzt. Zur Bereitstellung dieser Speicherkapazität sind bei drucklosen Wärmespeichern etwa 4 Millionen m³ Speichervolumen notwendig. Die hier aufgelisteten Speicherprojekte stellen also bereits einen beachtlichen Anteil an den langfristig für eine flexible KWK-Erzeugung notwendigen Wärmespeichern dar.

*Tabelle 48: Weitere Wärmespeicherprojekte in Deutschland
(die Liste hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*

Unternehmen	Stadt	Volumen in m ³	Elektroheizer	Inbetriebnahme	Status
Stadtwerke Duisburg	Duisburg	46.000			In Planung
Potsdam Energie und Wasser	Potsdam	45.800	Ja	2015	In Planung
MVV Energie, Großkraftwerk Mannheim AG	Mannheim	43.000		2013	In Betrieb
N-ERGIE AG	Nürnberg	33.000	Ja	2015	Im Bau
Stadtwerke Kiel	Kiel	30.000	Ja		Auftrag ausgeschrieben
Stadtwerke Flensburg	Flensburg	29.000	Ja		In Betrieb
DVV Dessau GmbH	Dessau	20.000	Ja	2015	In Planung
Fernheizwerk Neukölln AG	Berlin	10.000	Ja	2014	In Planung
Stadtwerke Erfurt	Erfurt	7.000		2014	Im Bau
Stadtwerke Leipzig	Leipzig	3.000		2014	Im Bau
Heizkraftwerk GmbH Mainz	Mainz	3.000	Ja		
Gemeindewerke Großkrotzenburg	Großkrotzenburg	2.500		2015	Genehmigt
Stadtwerke Hennigsdorf, BombardierTransportation	Hennigsdorf	250		2014	In Betrieb
Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim	Ludwigsburg	250		2014	In Betrieb
Stadtwerke Lübeck	Lübeck	150		2014	Im Bau

Quelle: eigene Recherche, Prognos 2014

Darüber hinaus gab es auch Planungen und Ankündigungen für den Bau von drei sehr großen Wärmespeichern in Hamburg in Berlin. Diese Projekte wurden allerdings aus wirtschaftlichen Gründen vorerst gestoppt.

7.5 Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen

In diesem Kapitel werden das methodische Vorgehen, die zugrunde liegenden Annahmen und die Ergebnisse der Berechnungen zur **Wirtschaftlichkeit** von KWK-Anlagen dargestellt.

Für den **Anlagenbestand** erfolgt die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit anhand einer **Deckungsbeitragsrechnung**. Hierfür werden die jährlichen Erlöse der Anlagen ermittelt und ihre jährlichen Kosten davon abgezogen. Ergeben sich aus dem Betrieb über das Jahr betrachtet positive Deckungsbeiträge (DB 2), ist die Bestandsanlage wirtschaftlich.

Für **Neubauanlagen** ist ein wirtschaftlicher Betrieb Grundvoraussetzung, aber als alleiniges Kriterium nicht ausreichend. Die Investition in die Neuanlage wird darüber hinaus mit einer alternativen Investition verglichen. Es sind also die **Projektrendite** und **Amortisationszeit** eines Neubaus entscheidend.

Die Anlagen werden für die Untersuchung unterteilt in Anlagen der öffentlichen Versorgung (Fernwärme KWK) und in Anlagen der Objekt- und Industrie-KWK. Das Kriterium hierfür ist die Größe (installierte Leistung) der Anlage. Für beide Bereiche werden jeweils Bestandsanlagen für den Zeitraum von 2008 bis 2013 sowie Neubauprojekte (Inbetriebnahme 2014) betrachtet.

7.5.1 Öffentliche KWK

Kraftwerke, die in die öffentliche Fernwärmeversorgung einspeisen, vermarkten ihren Strom an der Börse. Für die Untersuchung wird unterstellt, dass sie den gesamten produzierten Strom ins Netz einspeisen. Der Einsatz der Kraftwerke erfolgt über das Preissignal am Strommarkt: Wenn der stündliche Strompreis über den Grenzkosten der Anlage liegt, wird die Anlage betrieben. Liegt in der Stunde ein gleichzeitiger Wärmebedarf vor, wird auch Wärme im KWK-Betrieb ausgekoppelt. In diesem Fall generiert die Anlage neben den Stromerlösen zusätzliche Wärmeerlöse, die in die Deckungsbeitragsrechnung einfließen.

Aus dem stündlichen Vergleich der Einsatzkosten und möglichen Erlöse werden die wirtschaftlichen Betriebsstunden für die einzelnen Fernwärme-KWK-Anlagen ermittelt. Dies sind die Stunden, in denen die Erlöse (ggf. mit Förderung) einer Anlage über ihren Grenzkosten (bestehend aus Brennstoff-, CO₂- und variablen Kosten) liegen. Diese auf der Basis der Einsatzstunden ermittelten Erlösüberschüsse werden über das Jahr zum **Deckungsbeitrag 1** (DB 1) aufsummiert. Zur besseren Vergleichbarkeit der unterschiedlich großen Anlagen untereinander wird der DB 1 der einzelnen Anlagen im nächsten Schritt über deren installierte Leistung normiert und als spezifischer Deckungsbeitrag pro Kilowatt installierter Leistung dargestellt.

Nicht abgebildet werden in der Deckungsbeitragsrechnung mögliche **negative Deckungsbeiträge**, die bei einem „**Zwangsbetrieb**“ (Must-Run) der KWK-Anlagen entstehen können. Dieser „Zwangsbetrieb“ der KWK-Anlage kann in der Praxis auftreten, wenn die Strom- und Wärmeerlöse aus dem Betrieb der KWK-Anlage zu gering sind, um die Kosten des Einsatzes zu decken, der Einsatz der KWK zur Deckung der Wärmenachfrage jedoch unumgänglich ist. Dies kann in Fernwärmesystemen mit mehreren KWK-Anlagen auftreten, wenn die ungekoppelten Spitzenlastkessel nicht ausreichend dimensioniert sind, allein die gesamte Wärmenachfrage zu decken. Für solche Systeme, in denen mehrere KWK-Anlagen ihre

Wärmeerzeugung gegenseitig besichern, können sich in der Realität niedrigere Deckungsbeiträge als Jahressummen ergeben als aus den im Folgenden dargestellten Berechnungen hervorgeht.

Aufbauend auf den DB 1 wird der **Deckungsbeitrag 2 (DB 2)** berechnet. Hierfür werden die fixen Betriebskosten (Personal, Wartung etc.) vom DB 1 abgezogen. Ergeben sich aus den Berechnungen positive Werte für den DB 2, zeigt dies, dass abgeschriebene Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können, da sämtliche Kosten gedeckt werden. Der DB 2 bildet also die Entscheidungsgrundlage, ob eine Anlage wirtschaftlich betrieben werden kann oder nicht und dann gegebenenfalls abgeschaltet wird. Die Betreiber abgeschriebener Anlagen erzielen bei positiven DB 2 Überschüsse aus dem Anlagenbetrieb, feste Gewinnerwartungen sind in dieser Betrachtung jedoch nicht berücksichtigt. Der Deckungsbeitrag 2 wird wie der DB 1 über die installierte elektrische Leistung der Anlage normiert und als spezifischer Jahreswert ausgewiesen.

Für **Neubauanlagen** sind die **Projektrendite** und die **Amortisationszeit** der Investition entscheidend. In die Berechnungen fließen über die Differenz der jährlichen Kosten und Erlöse (Cashflow) hinaus die Kosten der Anfangsinvestition ein. Der jährliche Cashflow entspricht dabei dem DB 2.

Die **Projektrendite** wird mit der internen Zinsfußmethode berechnet. Dabei wird aus der Summe der jährlichen abgezinsten Kapitalflüsse (inklusive Anfangsinvestition) der kalkulatorische Zinssatz berechnet, bei dem diese Summe, also der Kapitalwert, Null wird. Eine negative Projektrendite spricht gegen eine Investition, bei einer positiven erfolgt der Vergleich mit der erwarteten Rendite einer Vergleichsinvestition. In der Vergangenheit wurden Neuanlagen in der Regel errichtet, wenn die Projektrendite, die als Gesamrendite zu verstehen ist, einen nominalen Wert von rund 10 % (entspricht ca. 8 % real) erreichte. Die Eigenkapitalrendite der Betreiber konnte dabei durchaus höhere Werte aufweisen, wenn Fremdkapital zu günstigeren Konditionen, also niedrigeren Zinssätzen als 10 %, in die Projektfinanzierung eingebunden werden konnte.

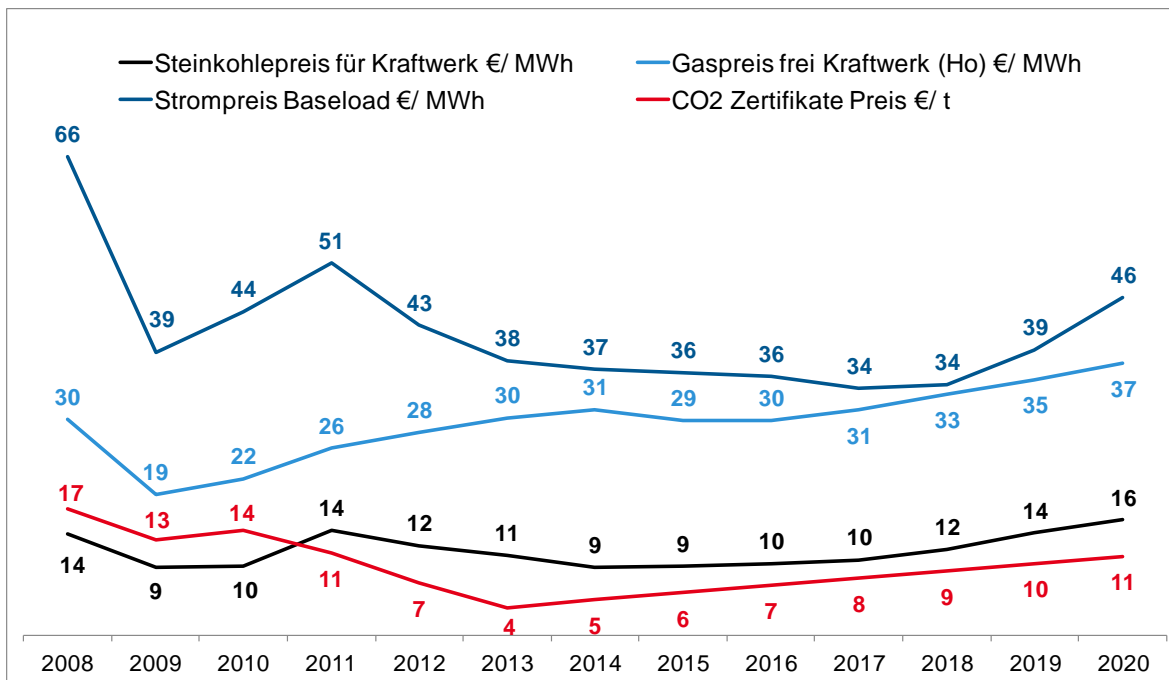
Die **statische Amortisationszeit** gibt die Dauer an, in der sich eine Investition ohne Verzinsungsanforderungen zurückgezahlt hat. Sie wird berechnet indem die Anfangsinvestition durch den mittleren jährlichen Cashflow geteilt wird. Angewendet wird diese Kennzahl vor allem für sich kurzfristig refinanzierende Investitionen im Bereich weniger Jahre, bei denen die Kapitalverzinsung eine untergeordnete Rolle spielt.

Im Folgenden werden die Rahmendaten und Annahmen zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von öffentlichen KWK-Anlagen erläutert.

Brennstoff- und CO₂-Preise

Die Brennstoff- und CO₂-Kosten machen einen großen Teil der variablen Einsatzkosten (Grenzkosten) aus und haben damit einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen. Die Entwicklung seit 2008 und Erwartungen zur nahen Zukunft ist in Abbildung 49 in nominalen Preisen dargestellt. Die Annahmen zur längerfristigen Entwicklung basieren auf der Energierferenzprognose (siehe Tabelle 7) und sind als Trendfortschreibung bis 2035 in Tabelle 49 dargestellt.

Abbildung 49: Entwicklung der Brennstoff- und Energiepreise 2008-2020, nominal



Quelle: EEX 2014, Prognos 2014

Die Entwicklung der nächsten Jahre ist an den heute schon handelbaren Futures absehbar, die in die Prognose der kurzfristigen Energiepreise bis 2020 eingehen. Sie spiegeln die Erwartung von Strompreisen wider, die durch eine stagnierende Energienachfrage und einen Kraftwerkspark mit Überkapazitäten geprägt werden. Die Preise aller Energieträger brachen in der Wirtschaftskrise 2009 stark ein und erholten in den Folgejahren bis 2011. Nach 2011 gingen die Preise für Strom und Kohle wieder zurück, nur der Preis von Kraftwerksgas setzte seinen Aufwärtstrend fort. Der Preis für CO₂-Zertifikate verfiel bis 2013 auf vier Euro pro Tonne und entfaltet kaum noch eine Lenkungswirkung hin zu emissionsarmen Energieträgern bzw. Technologien. Für die nächsten Jahre bis 2020 wird nur eine allmähliche Steigerung auf 11 Euro pro Tonne nominal erwartet. Für die Strom- und Gaspreise wird bis 2018 eine starke Annäherung erwartet, die die wirtschaftliche Situation der

Gaskraftwerke verschärft wird. Im Einzelnen setzen sich die in Abbildung 49 dargestellten Energiepreise wie folgt zusammen:

Der „**Gaspreis frei Kraftwerk**“ beinhaltet den Bezugspreis, also den reinen Gaspreis, den Kraftwerksbetreiber für das Gas bezahlen sowie die Transportentgelte und die Entgelte für die Strukturierung der Gaslieferung. Für den Bezugspreis werden in den folgenden Berechnungen für den Zeitraum bis 2011 langfristige Lieferverträge unterstellt, deren mittleres Preisniveau sich im Grenzübergangspreis für Erdgas widerspiegelt. Diese Langfristverträge laufen langsam aus und das Gas wird zunehmend zu tagesaktuellen Börsenpreisen gehandelt und bezogen. Daher wird ab 2011 dem Gaspreis frei Kraftwerk ein Bezug am Spotmarkt zu Spotmarktpreisen zugrunde gelegt. Als Entgelte für Transport und Strukturierung werden dann 5 Euro₂₀₁₃/MWh angesetzt.

Von 2009 bis 2011 waren die Gaspreise am **Spotmarkt** durch die Nachwirkungen der Wirtschaftskrise und ein Überangebot an Gas in Deutschland geprägt und lagen mit 19 bis 26 Euro₂₀₁₃/MWh relativ niedrig. 2013 erreichten sie ein Niveau von 30 Euro₂₀₁₃/MWh, das in den nächsten Jahren als konstant eingeschätzt wird. Erst für den Zeitraum ab 2018 werden weitere moderate Steigerungen erwartet.

Diese Gaspreise beinhalten **keine Erdgassteuer**, da **KWK-Anlagen** von der Erdgassteuer befreit sind. Es wird unterstellt, dass die Befreiung für den Betrachtungszeitraum beibehalten wird.

Zur Berechnung der Wärmeerlöse, die auf einer alternativen **Erzeugung in einem Spitzenkessel** beruhen, wird die Erdgassteuer in Höhe von 5,5 Euro₂₀₁₃/MWh berücksichtigt. Dieser „Gaspreis für Spitzenkessel“ entwickelt sich analog zum Gaspreis frei Kraftwerk und ist ebenfalls in Tabelle 49 dargestellt.

Der „**Steinkohlepreis frei Kraftwerk**“ folgt der Entwicklung der internationalen Kohlepreise und wird für Deutschland nur über die Veränderung des Wechselkurses Euro/US-Dollar beeinflusst. Den Versorgungspreisen der Kraftwerke liegen die Grenzübergangspreise für Steinkohle in Deutschland und Transportentgelte zu Grunde. Aufgrund eines großen Kohleangebots auf dem Weltmarkt sind die Preise seit 2008 gesunken und werden nach Durchlaufen einer Talsohle bis 2020 als langfristig stabil gesehen.

Tabelle 49: Brennstoff- und CO₂-Zertifikate-Preise, Prognose

		2014	2015	2020	2025	2030	2035
Gaspreis frei Kraftwerk (Ho)	€ ₂₀₁₃ /MWh	31	29	35	35	36	37
Gaspreis für Spitzenkessel (Ho)	€ ₂₀₁₃ /MWh	36	34	40	41	41	42
Steinkohlepreis frei Kraftwerk	€ ₂₀₁₃ /MWh	9	9	14	15	16	16
CO ₂ -Zertifikate-Preis	€ ₂₀₁₃ /t	5	7	10	26	42	55
Phelix Baseload	€ ₂₀₁₃ /MWh	36	35	42	55	67	75

Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014, Prognos

Die **CO₂-Zertifikate-Preise** sind seit 2008 stark gesunken und liegen 2014 bei 5 Euro₂₀₁₃/t CO₂. Bis 2020 ist keine Verknappung und damit einhergehende Erhöhung der Zertifikate-Preise erwartet. Erst mittelfristig werden in diesem Szenario die Klimaschutzmaßnahmen verstärkt und es kommt durch eine Verschärfung des Emissionshandels zu einer Steigerung auf 55 Euro₂₀₁₃/t CO₂ bis 2035.

Stromerlöse

Die zentrale Größe auf der Erlösseite ist der **Strompreis**, der einerseits durch die Brennstoff- und CO₂-Zertifikate-Preise und andererseits durch den Ausbau der erneuerbaren Energien beeinflusst wird. Die Höhe des stündlichen Strompreises liefert zusätzlich das Signal für den Einsatz der KWK-Kraftwerke. Die durchschnittlichen Großhandelsstrompreise (Phelix Baseload) der Vergangenheit sind in Abbildung 49 dargestellt. Aufgrund der Wirtschaftskrise mit sinkenden Brennstoffkosten und geringerer Stromnachfrage kam es zu einem Verfall der Großhandelsstrompreise. Mit der wirtschaftlichen Erholung ab 2010 zogen die Preise langsam wieder an. Aufgrund niedriger CO₂-Zertifikate-Preise und des Merit-Order-Effekts der erneuerbaren Energien gingen sie 2013 wieder zurück. Die Erwartung zur zukünftigen Entwicklung der Strompreise folgt bis 2030 der Energierferenzprognose und im weiteren Verlauf dem Trendszenario (Prognos 2014). In den Jahren bis 2020 ergeben sich aufgrund von Überkapazitäten, niedrigen CO₂-Preisen und einem weiteren Ausbau erneuerbarer Energien weiter sinkende Strompreise. Nach 2020 führen steigende CO₂-Zertifikate-Preise und eine Verknappung der Erzeugungskapazitäten zu höheren Strompreisen, die bis 2030 auf 67 Euro₂₀₁₃/MWh und bis 2035 auf 75 Euro₂₀₁₃/MWh steigen.

Ausgehend von diesen jährlichen Durchschnittswerten erfolgt die Berechnung der stündlichen Strompreise, die in die Wirtschaftlichkeitsrechnung eingehen. Für diese Berechnung wird das Prognos Kraftwerksmodell verwendet.

Wärmeerlöse

Für die Wärmeerlöse wird eine Mischkalkulation aus einem oberen und einem unteren Wärmeerlös angesetzt. Den oberen Erlös bilden die Kosten einer alternativen Wärmebereitstellung in einem mit Erdgas befeuerten Spitzenkessel. Dies entspricht dem Fall, dass die KWK-Anlage die Wärmeerzeugung aus einem Gas-Spitzenkessel verdrängt. Für den Spitzenkessel werden ein Wirkungsgrad von 90 % und der Erdgaspreis des jeweiligen Jahres inklusive der Erdgassteuer in Höhe von 5,50 Euro₂₀₁₃/MWh angenommen. Als untere Erlösgrenze werden die Opportunitätskosten der Wärmeerzeugung in einer KWK-Anlage angesetzt. Diese bestehen aus den durch die Wärmeauskopplung stromseitig entgangenen Erlösen. Durch die Wärmeauskopplung reduziert sich die Stromproduktion und damit verbunden der Stromverkauf. Für die Berechnungen werden eine Stromverlustkennziffer von 15 % und ein entgangener Stromerlös in Höhe des jeweiligen Jahresmittelwerts für Baseload angesetzt.

In den meisten Fernwärmesystemen in Deutschland speisen mehrere KWK-Anlagen und Spitzenkessel in das angeschlossene Wärmenetz ein. Dies gilt insbesondere für die großen Wärmenetze (z. B. Berlin, Hamburg, Ruhrschiene, Saarschiene, Hannover, Frankfurt, Leipzig usw.). Der Neubau oder die Stilllegung einer KWK-Anlage ersetzt bzw. erfordert in der stündlichen Wärmeerzeugung entweder KWK- oder Spitzenwärme. Die Anteile können hierbei je nach Netz- und Erzeugungsstruktur im Einzelfall stark variieren. In dieser Studie wird im Jahresmittel ein jeweils hälftiger Anteil unterstellt.

Aus den unteren und oberen Wärmeerlösen ergeben sich die in Tabelle 50 und Tabelle 51 aufgeführten Mittelwerte. Sie liegen 2014 bei 23 Euro₂₀₁₃/MWh und steigen bis zum Jahr 2035 auf 29 Euro₂₀₁₃/MWh. Auslöser dieser Erhöhung sind die in diesem Zeitraum ebenfalls steigenden Gas- und Strompreise.

Tabelle 50: Wärmeerlöse zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Fernwärme KWK-Anlagen 2008-2013

		2008	2009	2010	2011	2012	2013
Anlegbarer Wärmeerlös	€ ₂₀₁₃ /MWh	26	18	19	22	23	23

Quelle: Prognos 2014

Tabelle 51: Wärmeerlöse zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Fernwärme KWK-Anlagen, Prognose

		2014	2015	2020	2025	2030	2035
Anlegbarer Wärmeerlös	€ ₂₀₁₃ /MWh	23	22	26	27	28	29

Quelle: Prognos 2014

KWK-Anlagen im Emissionshandel

In dem betrachteten Zeitraum ab 2008 sind Betreiber von KWK-Anlagen, die in einem Versorgungsobjekt mit einer installierten Feuerungswärmeleistung von über 20 MW installiert werden, zur Teilnahme am Emissionshandel verpflichtet. Von 2008 bis 2012, der zweiten Handelsperiode des Emissionshandels, erhielten KWK-Anlagen eine kostenlose Zuteilung von Zertifikaten für den erzeugten Strom und die erzeugte Wärme. Diese war abhängig von dem eingesetzten Brennstoff. Für Strom betrug der Benchmark 750 g CO₂/kWh bei Einsatz von Kohle und 365 g CO₂/kWh beim Einsatz von Gas. Der Wärmebenchmark lag bei 345 g CO₂/kWh für Kohle bzw. 225 g CO₂/kWh für Gas als Brennstoff. Damit erhielten Anlagenbetreiber teilweise eine Überausstattung mit Zertifikaten.

Ab 2013, der 3. Handelsperiode, werden die Emissionen für die Stromerzeugung komplett versteigert, für die Wärmeerzeugung werden noch kostenlos Zertifikate zugeteilt. Der Wärmebenchmark für die Zuteilung sinkt aber bis 2027 auf null g CO₂/kWh, wie in Tabelle 52 dargestellt. Ab 2027 unterliegt auch die KWK-Wärmeerzeugung komplett dem Emissionshandel. Die kostenlos zugeteilten Zertifikate werden ebenfalls in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt.

Tabelle 52: Entwicklung des Wärmebenchmarks zur Zuteilung kostenloser CO₂-Zertifikate

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Wärmebenchmark (g CO ₂ /kWh)	176	158	140	122	105	89	73	58	49	40	31	23	15	7	0

Quelle: Öko-Institut, IZES, Ziesing 2014 nach EU ETS Richtlinie 2009/29/EC

KWK-Vergütung

Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen wird mit und ohne Förderung betrachtet. Im Fall einer Förderung wird pro eingespeiste Kilowattstunde Strom im KWK-Betrieb der KWK-Zuschlag gezahlt. Damit verringern sich die Grenzkosten der Anlage in jeder Stunde, in der die Anlage im KWK-Betrieb läuft und es erhöht sich die Anzahl der Stunden, in denen die Anlage zum Einsatz kommen kann. Die Berechnung erfolgt für die Vergangenheit (2008 bis 2013) mit den im jeweiligen Jahr gültigen Vergütungssätzen (siehe Tabelle 53), für die Prognose werden die aktuellen Zuschlagssätze des KWKG 2012 fortgeschrieben (siehe auch Tabelle 8). Für KWK-Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung über 2 MW, die am Emissionshandel teilnehmen und ab dem 1. Januar 2013 in den Dauerbetrieb gehen, erhöht sich der Zuschlag um 0,3 Cent /kWh.

Tabelle 53: Zuschlagssätze KWKG, nominal

	Leistungsanteilig		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Neue Bestandsanlagen		Cent/kWh	0,82	0,56					
Modernisierte Bestandsanlagen		Cent/kWh	1,64	1,59	1,59				
KWK-Anlagen > 2 MW	kleiner 50 kW	Cent/kWh		5,11	5,11	5,11	5,41	5,41	5,41
	50 kW bis 2 MW	Cent/kWh		2,10	2,10	2,10	4,00	4,00	4,00
	2 bis 10 MW	Cent/kWh		2,10	2,10	2,10	2,40	2,40	2,40
	größer 10 MW	Cent/kWh		1,50	1,50	1,50	1,80	1,80	1,80

Quelle: KWKG 2009, KWKG 2012,
für Anlagen im Emissionshandel erhöht sich der Zuschlag ab 1.1.2013 um 0,3 Cent/kWh

Vermiedene Netznutzungsentgelte und Kosten pro Anfahrvorgang

Bei einer Einspeisung auf einer niedrigeren Netzebene als der Höchstspannung werden Netzkosten vermieden. Diese werden den Anlagenbetreibern von den Übertragungsnetzbetreibern erstattet. Die Höhe der vermiedenen Netznutzungsentgelte ist abhängig vom Übertragungsnetzbetreiber und besteht aus einem Arbeits- und einem Leistungsanteil.

Weitere Kosten entstehen durch die Anfahrvorgänge in den Kraftwerken. Diese sind abhängig von der Größe und dem Typ der Anlage (siehe Tabelle 9 in Kapitel 4.1) und werden bei den jährlichen Kosten berücksichtigt. Die angesetzte Höhe wurde auf der Grundlage von Angaben der Betreiber ermittelt.

Erlöse aus Regelernergie

Neben den Erlösen aus dem Strom- und Wärmeverkauf und aus vermiedenen Netznutzungsentgelten stellt der Regeler Energiemarkt für einige KWK-Anlagen eine weitere Erlösquelle dar. KWK-Anlagen können prinzipiell alle Regelerenergiearten bei einer entsprechenden Präqualifikation bereitstellen.

Entsprechend dem Monitoringbericht der Bundesnetzagentur und des Bundeskartellamtes [BNetzA 2014] betrug das Volumen des Regelleistungsmarktes 416 Millionen Euro im Jahr 2012, davon entfielen 82 Millionen Euro auf die Primärregelung, 267 Millionen Euro auf die Sekundärreserve und 67 Millionen Euro auf die Minutenreserve. Aktuell wird die Regelleistung zum größten Teil von fossilen Kraftwerken (mit und ohne KWK), Wasserkraftwerken und Pumpspeicherkraftwerken erbracht. Industriebetriebe (Lastmanagement) und Elektroheizer bieten auch Regelernergie an. Wie groß der Anteil von KWK-Kraftwerken beim Angebot und der Bereitstellung von Regelleistung ist, wurde im Rahmen dieser Studie nicht detailliert untersucht bzw. abgeschätzt.

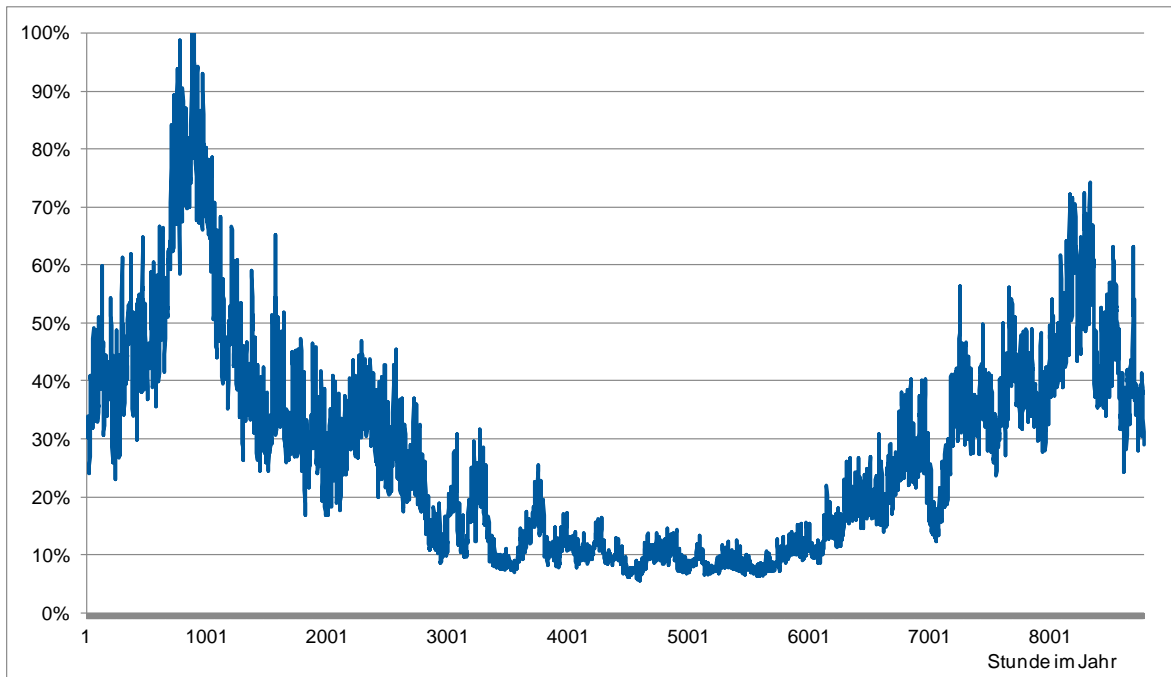
KWK-Kraftwerke, insbesondere flexible Anlagen in der öffentlichen Fernwärmeversorgung können an diesem Markt zusätzliche Einnahmen generieren. Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen wurde der Regelleistungsmarkt allerdings nicht berücksichtigt, da eine belastbare Abschätzung der zusätzlichen Einnahme für die einzelnen Anlagentypen nicht möglich ist. Die möglichen Erlöse hängen sehr stark von der jeweiligen Situation der einzelnen KWK-Anlagen bzw. der sie betreibenden Unternehmen und deren Einsatzoptimierung ab. Im Vergleich zu den Einnahmen aus Strom- und Wärmeverkauf hat der Regelleistungsmarkt aber nur eine sehr untergeordnete Bedeutung.

Wärmelastprofil

Der Einsatz von KWK-Anlagen wird auf Stundenbasis modelliert. Er ist einerseits abhängig von der stündlichen Wärmenachfrage der angeschlossenen Abnehmer und andererseits von den erzielbaren Strompreisen. Im KWK-Betrieb werden gegenüber der ungekoppelten Stromerzeugung als zusätzliche Erlöse die Wärmeerlöse und optional der KWK-Zuschlag berücksichtigt. Die Grundlage für die stündliche Modellierung der Wärmenachfrage bildet ein typisches Wärmelastprofil (siehe Abbildung 50), das auf den Abnahmedaten eines deutschen Stadtwerks beruht.

Die Fernwärmenachfrage wird in der Praxis nicht vollständig durch KWK-Anlagen gedeckt, so dass das dargestellte Wärmelastprofil für die Berechnungen angepasst werden muss. In vielen Fernwärmenetzen erfolgt eine Grundlastspeisung von Abwärme aus Müllverbrennungs- oder Industrieanlagen. Darüber hinaus sind die meisten KWK-Anlagen nicht auf die maximale Wärmenachfrage ausgelegt, da diese Leistung nur sehr selten abgerufen wird. Um eine unterbrechungsfreie Versorgung mit Fernwärme zu gewährleisten, wird die Maximallast in der Regel über zusätzliche Spitzenkessel abgesichert. Diese Spitzenkessel kommen auch zum Einsatz, wenn die Strompreise in einzelnen Stunden zu niedrig sind, um trotz bestehenden Wärmebedarfs die KWK-Anlage kostendeckend zu betreiben.

Abbildung 50: Wärmelastprofil



Quelle: Prognos 2014 nach Angaben eines Stadtwerkbetreibers

Für die Modellierung des KWK-Einsatzes wird das dargestellte Wärmelastprofil deshalb entsprechend der genannten Einschränkungen modifiziert, um einen möglichst realitätsnahen Einsatz der KWK-Anlage abzubilden. Dies geschieht zum einen über die Festlegung einer Höchstgrenze der Wärmelast, die über die KWK-Anlagen gedeckt werden kann. Zum anderen wird eine Grundlasteinspeisung vom Lastprofil abgezogen. Die Höhe der modifizierten stündlichen Wärmelast gibt in der Modellierung vor, ob und zu welchen prozentualen Anteilen die Anlagen im KWK-Betrieb eingesetzt werden. Es wird unterstellt, dass eine ausreichende Dimensionierung der Spitzenlastkessel den „Zwangsbetrieb“ der KWK-Anlagen (siehe oben) verhindert.

Untersuchte Anlagentypen Fernwärme KWK

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Fernwärme KWK-Anlagen erfolgt für fünf Gaskraftwerke und zwei Kohlekraftwerke (vgl. Tabelle 54), deren Anlagenparameter ausführlich in Tabelle 9 aufgeführt sind. Diese decken mit einer Größe von 10 MW bis 800 MW ein breites Spektrum an Anlagentypen ab und sind in dieser Anlagenkonfiguration heute in Betrieb. Bis auf „Steinkohle 1“, bei dem es sich um ein abgeschriebenes, älteres Steinkohlekraftwerk handelt, können diese Anlagen auch als Neubau errichtet werden.

Tabelle 54: Zusätzliche Angaben zu den KWK-Anlagen

		BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
Leistung	kW _{el}	10.000	20.000	100.000	200.000	450.000	400.000	800.000
Brennstoff		Erdgas					Steinkohle	
Emissionsfaktor	kg CO ₂ /MWh	200					340	
Anfahrkosten	€ ₂₀₁₃ /MW _{el}	20	40	40	40	40	80	80

Quelle: IFAM, BHKW-Consult, IREES, Prognos

Ergebnisse

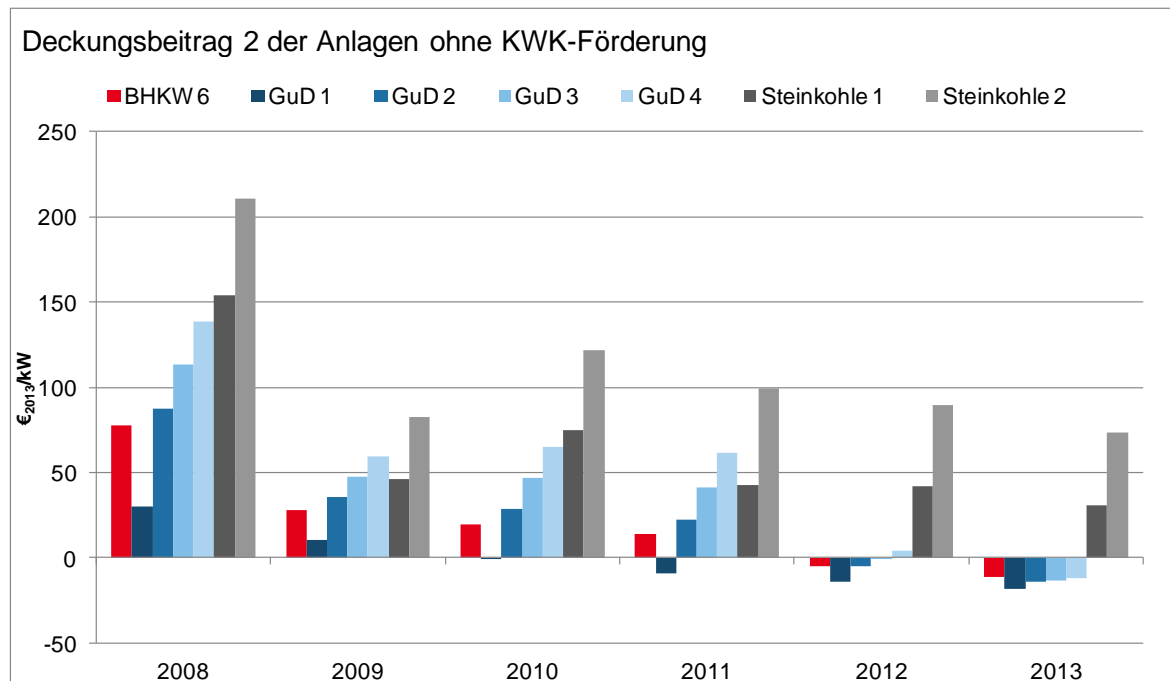
Mit den dargestellten Annahmen ergeben sich in der Wirtschaftlichkeitsberechnung die in den folgenden Abbildungen dargestellten spezifischen Deckungsbeiträge für die einzelnen Anlagentypen. Im Anhang finden sich unter Tabelle 88 bis Tabelle 93 die detaillierten Ergebnisse für die Deckungsbeiträge 1 und 2 sowie die wirtschaftlichen Volllaststunden der Anlagen für den betrachteten Zeitraum von 2008 bis 2035.

Zeitraum 2008 bis 2013

Im Jahr 2013 wurden 7,7 TWh KWK-Stromerzeugung in Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von mehr als 2 MW über das KWKG gefördert [KWK Mittelfristprognose 2014]. Diese Strommenge verteilt sich auf industrielle Anlagen und Anlagen der öffentlichen Versorgung. Die Stromerzeugung der KWK-Anlagen der öffentlichen Versorgung war im Jahr 2013 insgesamt mit knapp 50 TWh deutlich höher als die geförderte Strommenge. Der größte Teil der Anlagen erhielt somit im Jahr 2013 keine Förderung nach dem KWKG.

Die folgende Abbildung 51 zeigt die Entwicklung der spezifischen **Deckungsbeiträge 2 für Bestandanlagen ohne KWK-Förderung** der Jahre 2008 bis 2013: In den Jahren 2008 bis 2010 erzielten alle Anlagen noch einen positiven Deckungsbeitrag 2. Der Hauptgrund für die hohen Deckungsbeiträge des Jahres 2008 waren die damals noch hohen Strompreise, mit denen die Anlagen am Strommarkt hohe Erlöse erzielen konnten. Zwar brachen die Strompreise 2009 ein, gleichzeitig sanken aber auch die Brennstoff- und CO₂-Preise, so dass sich auch die Kostenbelastung der Anlagen verringerte. Ab 2011 wurde es für Gas KWK-Anlagen bei den steigenden Gaspreisen zunehmend schwieriger, positive Deckungsbeiträge zu erwirtschaften. Im Jahr 2013 war unter den gegebenen Rahmenbedingungen (sinkende Strompreise bei gleichzeitig anziehenden Gaspreisen) nur noch für Steinkohle-KWK-Anlagen ein wirtschaftlicher Betrieb ohne KWK-Förderung möglich. Für Gas-KWK-Anlagen wäre unter diesen Rahmenbedingungen nur bei deutlich höheren Wärmeerlösen ein wirtschaftlicher Betrieb denkbar.

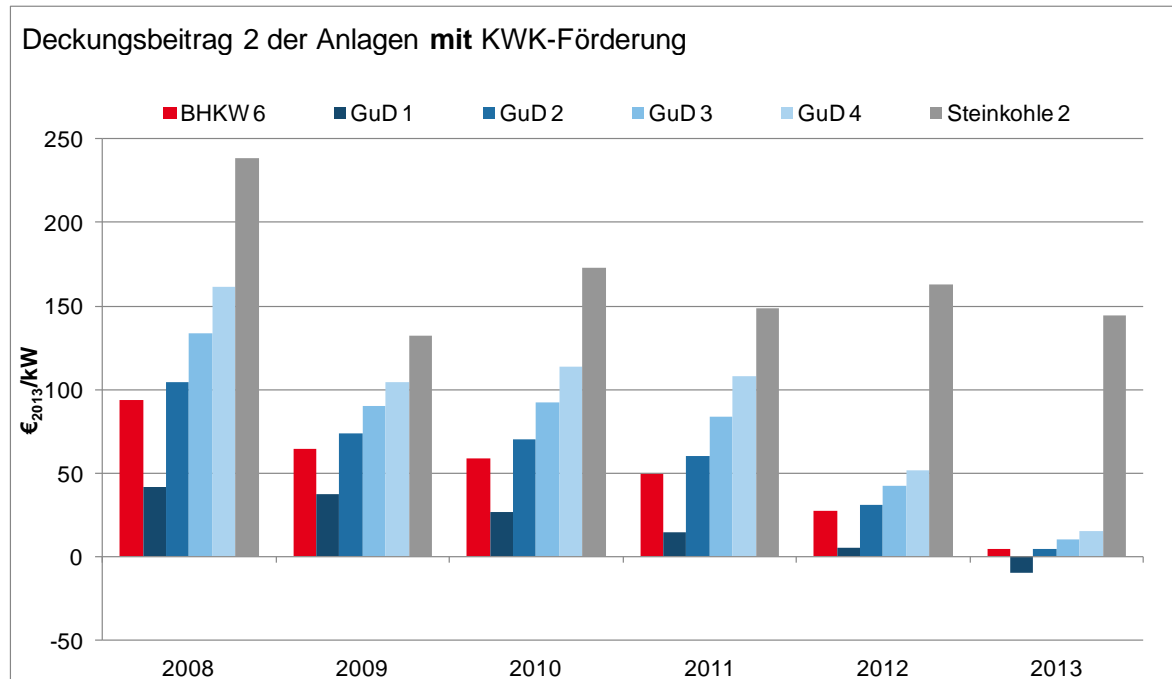
Abbildung 51: DB 2 der KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, in Euro₂₀₁₃/kW im Zeitraum 2008-2013



Quelle: Prognos 2014

Die wirtschaftliche Situation für **KWK-Anlagen**, die zwischen 2008 und 2013 **eine Förderung nach dem jeweils gültigen KWKG** erhielten, zeigt Abbildung 52. Die Anlage „Steinkohle 1“ ist in dieser Abbildung nicht aufgeführt, da sie einem Anlagentyp entspricht, der vor 1990 gebaut wurde und keine Förderung mehr erhält. Von 2008 bis 2012 erzielten alle untersuchten Anlagentypen mit KWK-Förderung positive Deckungsbeiträge. Allerdings gingen die Deckungsbeiträge 2 der untersuchten Gas-KWK-Anlagen nach 2010 kontinuierlich zurück. Im Jahr 2013 war bei der Gas-KWK-Anlage „GuD 1“ auch mit einer Förderung kein wirtschaftlicher Betrieb mehr möglich. Die übrigen Anlagen erwirtschaften im Vergleich zu den Vorjahren deutlich reduzierte Deckungsbeiträge zwischen 4 Euro₂₀₁₃ pro Kilowatt im Fall des BHKW 6 und 144 Euro₂₀₁₃ pro Kilowatt (Steinkohle 2). Damit war 2013 ein kostendeckender Betrieb der meisten vollständig abgeschriebenen Anlagen noch möglich, eine Refinanzierung von Investitionskosten jedoch nicht.

Abbildung 52: DB 2 der KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, in Euro₂₀₁₃/kW im Zeitraum 2008-2013

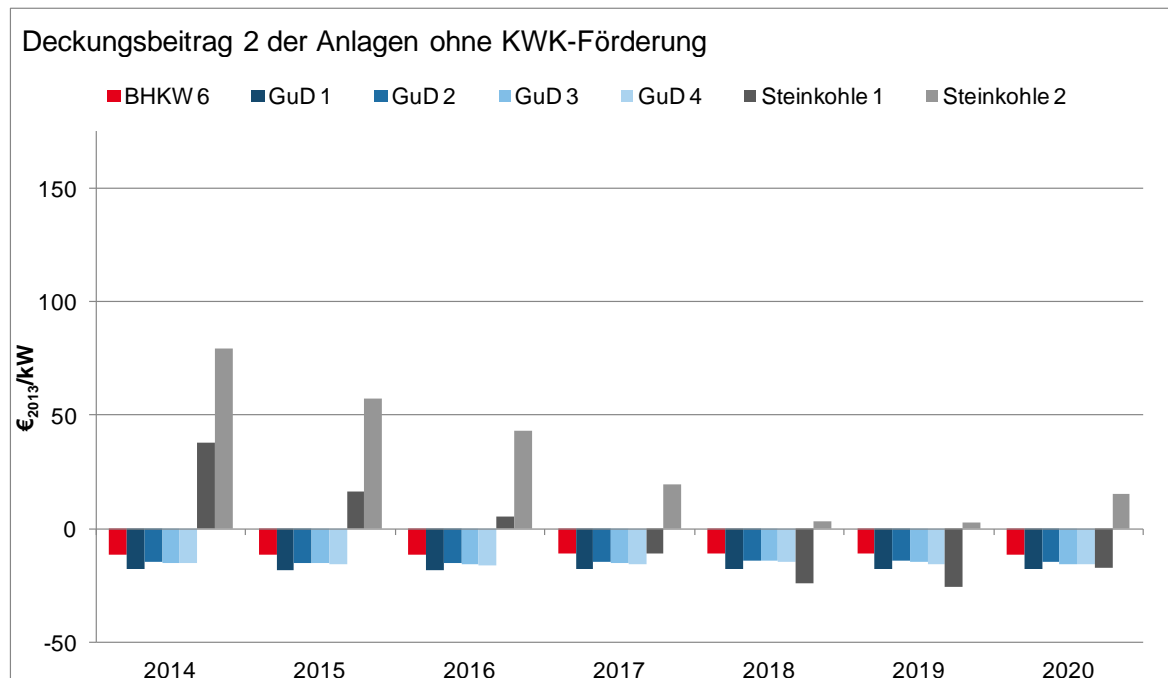


Quelle: Prognos 2014,
„Steinkohle 1“ erhält keine KWK-Förderung mehr und ist daher nicht mit dargestellt

Zeitraum 2014 bis 2020

Der Ausblick auf die nächsten Jahre ist in Abbildung 53 und Abbildung 54 dargestellt. Ohne Förderung erzielen nur noch die untersuchten Steinkohle-Anlagen in der öffentlichen Versorgung bis 2016 einen positiven Deckungsbeitrag 2. Ab 2017 ist dies nur noch bei der Anlage Steinkohle 2 möglich, die mit 45 % einen hohen elektrischen Wirkungsgrad besitzt. Allerdings sind auch bei diesen modernen Anlagen die Deckungsbeiträge so niedrig, dass Investitionen nicht refinanziert werden können. Gas KWK-Anlagen können unter diesen Rahmenbedingungen in den nächsten Jahren nicht kostendeckend betrieben werden. Sie werden kontinuierlich Verluste erwirtschaften.

Abbildung 53: DB 2 der KWK-Anlagen **ohne** KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, Euro₂₀₁₃/kW im Zeitraum 2014-2020

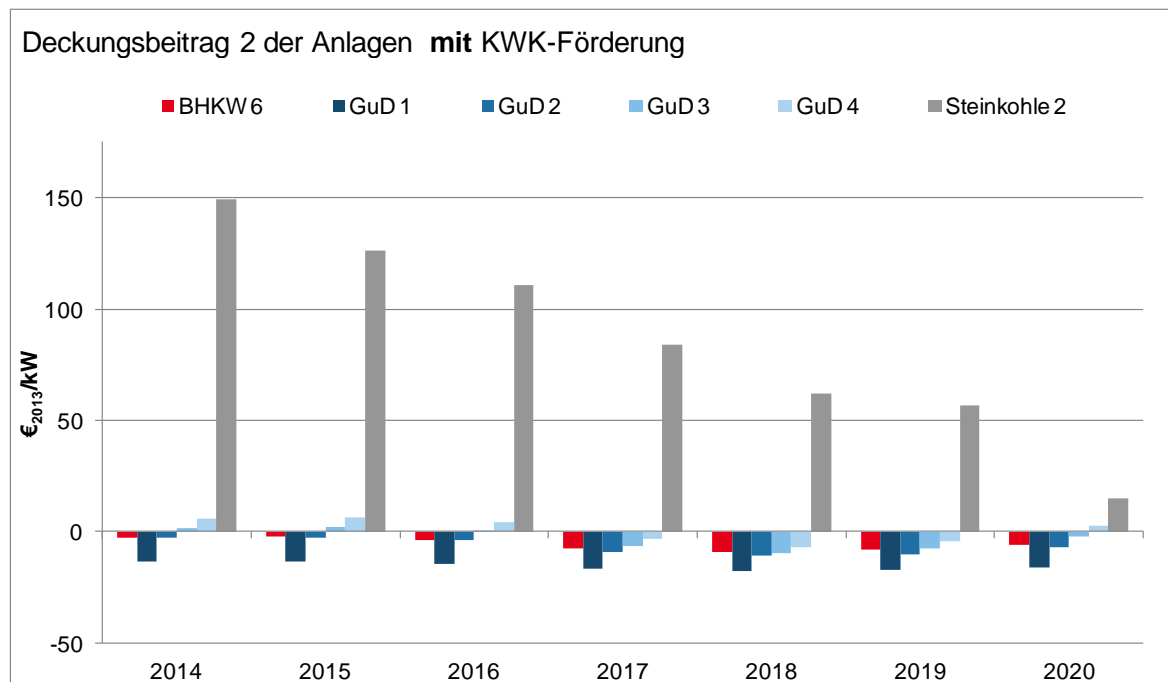


Bei einer Fortführung der aktuell geltenden KWK-Förderung stellt sich die Situation für die KWK-Anlagen der öffentlichen Versorgung differenzierter dar. Die Deckungsbeiträge der Anlagen mit KWK-Förderung sind in Abbildung 54 dargestellt. Es wird für alle Anlagen einheitlich eine Inbetriebnahme im Jahr 2014 unterstellt. Damit beginnt in diesem Jahr auch die Förderung für die ersten 30.000 Vollbenutzungsstunden. Gas KWK-Anlagen mit einem sehr hohen Wirkungsgrad von 50 oder 55 % (GuD 3 und GuD 4) erzielen noch bis 2016 einen positiven Deckungsbeitrag 2. Aufgrund der angenommenen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen wird ab 2017 der DB 2 dieser Anlagen negativ. Sämtliche kleineren Anlagen (BHKW 6, GuD 1 und GuD 2) weisen über den gesamten Zeitraum von 20014 bis 2030 einen negativen DB 2 auf. Ein kostendeckender Betrieb ist für diese Anlagen also auch bei einer Fortführung der heutigen Förderung im Zeitraum bis 2020 nicht möglich.

Wie schon bei der Betrachtung des Zeitraums 2008 bis 2013 ist die Anlage „Steinkohle 1“ in der folgenden Abbildung nicht enthalten, da Steinkohle-KWK-Anlagen mit diesem niedrigen elektrischen Wirkungsgrad in der öffentlichen Versorgung nicht mehr neu errichtet werden. Die Steinkohle Anlage „Steinkohle 2“ erhält wegen ihrer relativ hohen Vollaststundenzahl nur in den ersten sechs Betriebsjahren eine Förderung und erzielt damit Deckungsbeiträge von 150 Euro₂₀₁₃ pro Kilowatt (2014) bis 57 Euro₂₀₁₃ pro Kilowatt

(2019). Nach Auslaufen der Förderung sinken die Deckungsbeiträge auf 15 Euro₂₀₁₃ pro Kilowatt im Jahr 2020.

Abbildung 54: DB 2 der KWK-Anlagen **mit** KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, in Euro₂₀₁₃/ kW im Zeitraum 2014-2020



Quelle: Prognos 2014,
„Steinkohle 1“ erhält keine KWK-Förderung mehr und ist daher nicht mit dargestellt

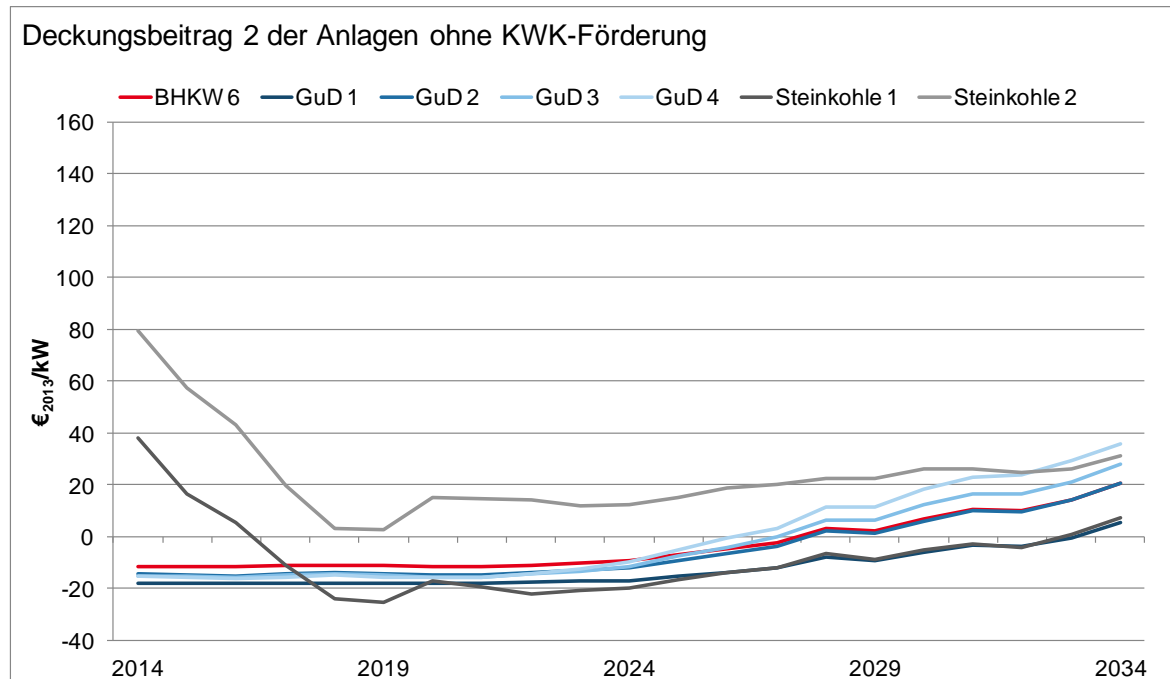
Ausblick bis 2035

In der längerfristigen Perspektive ab Mitte der 2020er Jahre ergeben die Berechnungen bei deutlich steigenden CO₂- und Strompreisen auch ohne eine KWK-Förderung für fast alle Anlagentypen in der öffentlichen Versorgung einen positiven Deckungsbeitrag 2, der ihren kostendeckenden Betrieb ermöglicht (Abbildung 55). Lediglich die Anlagen „GuD 1“ und „Steinkohle 1“ erwirtschaften bis 2033 keinen positiven Deckungsbeitrag 2. Diese Anlagen haben mit 35 % und 38 % einen niedrigen elektrischen Wirkungsgrad, der Ihre Chancen am Strommarkt reduziert. Es ist deshalb fraglich, ob diese Anlagentypen bis Anfang der 2030er Jahre betrieben werden. Nur der Anlagentyp „Steinkohle 2“ kann über den gesamten Zeitraum hinweg kostendeckend betrieben werden, er weist als einzige Anlage durchgehend einen positiven Deckungsbeitrag 2 aus.

Wird die heute bestehende Förderung unverändert fortgeführt, sind für die meisten Anlagentypen etwas früher positive Deckungsbeiträge möglich, dennoch reichen diese bei weitem nicht aus für eine positive Investitionsentscheidung (vgl. Abbildung 56). Nach Erreichen der 30.000 Vollbenutzungsstunden (Vbh) und En-

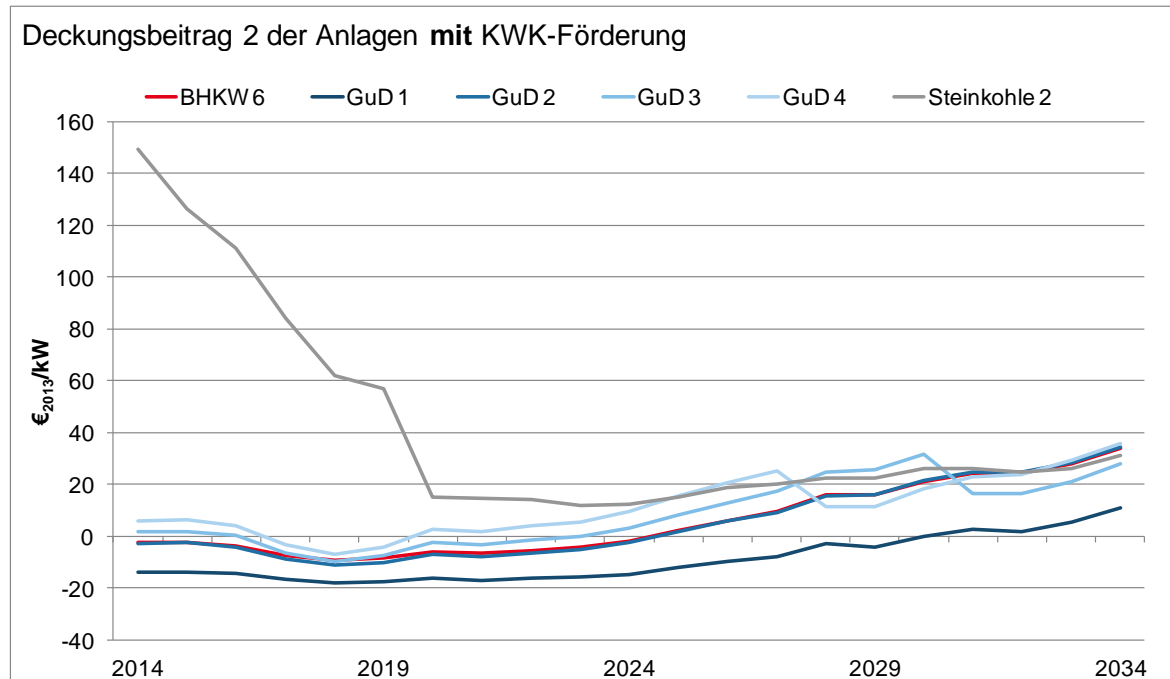
de der Förderung sinken die Deckungsbeiträge kurzfristig leicht. Wegen der geringen jährlichen Einsatzzeiten der Anlagentypen „BHKW 6“, „GuD 1“ und „GuD 2“ (vgl. Tabelle 93 im Anhang) sind deren Fördergrenzen von 30.000 Vbh bis 2035 noch nicht erreicht.

Abbildung 55: DB 2 der KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, Euro₂₀₁₃/kW im Zeitraum 2014-2034



Quelle: Prognos 2014

Abbildung 56: DB 2 der KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag, spezifisch pro installierter Leistung, in Euro₂₀₁₃/kW im Zeitraum 2014-2034



Quelle: Prognos 2014,
„Steinkohle 1“ erhält keine KWK-Förderung mehr und ist daher nicht mit dargestellt

Projektrendite und Amortisationszeit

Zur Beurteilung der Realisierungschancen möglicher KWK-Neubauprojekte wurde aus den jährlichen Kapitalflüssen die Gesamtprojektverzinsung und die statische Amortisationszeit berechnet. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 55.

Tabelle 55: Projektrendite und Amortisationszeit für Neubauprojekte von KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung

		BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
Gesamtprojektverzinsung (1/a, real, vor Inflation)								
Ohne KWK-Förderung	%	< -30%	< -30%	-19%	-16%	-13%	-	-10%
Mit KWK-Förderung	%	-21%	-29%	-12%	-11%	-10%	-	-7%
Statische Amortisationsdauer in Jahren								
Ohne KWK-Förderung	a	Investition amortisiert sich nicht						
Mit KWK-Förderung	a	Investition amortisiert sich nicht						

Quelle: Prognos

Wie dargestellt, sind bereits vollständig abgeschriebene Anlagen im Bestand kaum noch wirtschaftlich. Ein Neubau von Anlagen, die neben den jährlichen Kosten ihren Kapitaleinsatz mitfinanzieren müssen, ist unter diesen Rahmenbedingungen, auch mit Förde-

rung, nicht möglich. In allen betrachteten Fällen ergeben sich negative Projektverzinsungen. Investitionen in neue KWK-Anlagen der öffentlichen Fernwärmeversorgung amortisieren sich selbst bei einer Fortführung der heutigen Förderung nicht.

Fazit

Unter den dargestellten Rahmenbedingungen für die öffentliche Fernwärmeversorgung ist ein kostendeckender Anlagenbetrieb in der kurzfristigen Perspektive bis 2020 nur für moderne Steinkohle-KWK-Anlagen möglich. Mit Gas befeuerte KWK-Anlagen sind ohne Förderung in keinem der betrachteten Fälle wirtschaftlich. Mit Förderung erzielen nur Anlagen mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad einige Jahre einen positiven Deckungsbeitrag. Ab 2017 ist dies aufgrund der sich immer weiter annähernden Gas- und Strompreise bei keiner Anlage mehr möglich. Ein Neubau von öffentlichen KWK-Anlagen für die Fernwärmeversorgung mit einer elektrischen KWK-Anlagenleistung von mehr als 10 MW ist momentan nicht refinanzierbar.

7.5.2 Objekt- und Industrie-Anlagen

In diesem Kapitel werden die Annahmen und Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung für KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von zwischen 1 kW_{el} und 10 MW_{el} beschrieben, die in der Objektversorgung sowie in Industrieanlagen eingesetzt werden. In der Praxis existiert ein sehr großes Spektrum an **KWK-Anlagen im kleineren Leistungsbereich**, das in unterschiedlichen Geschäftsmodellen und Versorgungssituationen in Wohngebäuden, Gewerbe- und Industriebetrieben eingesetzt wird. Es ist nicht zielführend, alle denkbaren Fälle abzubilden, vielmehr werden hier ebenso typische und aussagekräftige wie häufig realisierte Versorgungsfälle modellhaft berechnet. Die untersuchten Anlagen sind in Tabelle 9 mit allen Anlagenparametern aufgeführt und in Tabelle 56 nochmals im Überblick dargestellt. Kleinere Anlagen, die ins öffentliche Netz einspeisen, werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Ihre Wirtschaftlichkeit ist vergleichbar mit den Ergebnissen, die in Kapitel 7.5.1 für das BHKW 6 berechnet wurden.

Als wesentliche Kenngröße für die Wirtschaftlichkeit der hier untersuchten Anlagen wird **die Gesamtprojektrendite** verwendet. Die in dieser Studie berechneten Projektrenditen sind reale Renditen, die sich nach Abzug der Inflationsrate ergeben. Bei einer Inflationsrate von z. B. 2 % entspricht eine reale Verzinsung von 6 % einer nominalen Verzinsung von 8 %.

Die Höhe der Projektrendite wird als Kriterium für die Entscheidung der Investoren herangezogen, ob eine Anlage neu errichtet wird. Die Höhe der Mindestgesamtrendite, die eine Bauentscheidung auslöst, unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Anwendungsfällen. Einzelfallentscheidungen können immer auch

abweichend vom Erreichen dieser Mindestrendite getroffen werden, da hiervon abweichende Kriterien eine starke Rolle spielen können. Für private Nutzer ist beispielsweise die Wirtschaftlichkeit nicht das alleinige Kriterium, hier können z. B. Vorlieben für bestimmte Techniken den Ausschlag für eine bestimmte Anlage geben. Im privaten Bereich ist daher für viele **Hausbesitzer** eine geringe Verzinsung von **2 bis 3 Prozent** ausreichend bzw. sie kalkulieren nicht mit einer alternativen Geldanlage.

In der **Wohnungswirtschaft**, in der Investitionen über einen längeren Zeitraum refinanzieren dürfen als in der Industrie und in der eine konstante Nachfrage nach Strom und Wärme herrscht, liegt die typische Verzinsungserwartung bei **6 %** real.

Im **GHD-Sektor**, in dem höhere Risikoaufschläge als in der Wohnungswirtschaft anfallen, liegt die Schwelle für eine Investitionsentscheidung bei einer realen Projektverzinsung von **8 bis 10 %**.

In der **Industrie** bestehen hohe Erwartungen an sehr kurze Amortisationszeiten. Je nach Branche wird ein Refinanzierungszeitraum von zwischen zwei und acht Jahren gefordert, dies entspricht in etwa einer Projektrendite **zwischen 12 % (8 Jahre) und 50% (2 Jahre)**.

Die Gesamtkapitalrendite wird in dieser Untersuchung mit der internen Zinsfußmethode berechnet. Dazu wird für jede Anlage der jährliche Cashflow (abgezinst auf Basis der Realpreise mit Preisbasis 2013) gebildet, der sich aus den jährlichen Kosten und Erlösen der Anlage ergibt. Die Anfangsinvestition fließt als negativer Wert im ersten Jahr ein. Die Kosten beinhalten neben die Investition Brennstoff-, variable und fixe Betriebskosten sowie die zu zahlende EEG-Umlage für den eigengenutzten Strom. Die Erlöse setzen sich zusammen aus den vermiedenen Beschaffungskosten für den selbstgenutzten Strom, den Erlösen für den eingespeisten Strom und die Wärmeerzeugung, aus vermiedenen Netznutzungsentgelten und dem KWK-Zuschlag. In der folgenden Berechnung werden ausschließlich Neubauanlagen betrachtet, deren Inbetriebnahme im Jahr 2014 erfolgt.

Tabelle 56: Industrie- und Objekt-KWK-Anlagen

Anlage:		BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	BHKW 4	BHKW 5	DT 1	GT 1	BHKW 6
Netzebene		NS	NS	NS	MS	MS	MS	MS	MS
Installierte Leistung	kW _{el}	1	5	50	500	1.999	5.000	10.000	10.000
Wirkungsgrad elektrisch	%	26%	27%	34%	39%	42%	25%	30%	46%
Wirkungsgrad thermisch	%	66%	66%	57%	51%	48%	60%	55%	42%
Wirkungsgrad gesamt	%	92%	93%	91%	90%	90%	85%	85%	88%

NS = Niederspannung, MS = Mittelspannung
Quelle: IFAM, BHKW-Consult, IREES, Prognos

Anlagenspezifische Kosten

Alle im Rahmen dieser Studie betrachteten Anlagen werden mit Erdgas betrieben. Erdgasbetriebene BHKW-Anlagen stellen innerhalb der motorischen KWK-Anlagen bis 10 MW elektrischer Leistung die dominierende Technologiegruppe. Die Brennstoffkosten der erdgasbetriebenen BHKW-Anlagen unterscheiden sich je nach Anwendungsfall, da die einzelnen Verbrauchsgruppen unterschiedlich hohe Gaspreise bezahlen (siehe Tabelle 63). Die spezifischen variablen und fixen Kosten sowie die Investitionskosten sind vom Anlagentyp abhängig und in Tabelle 9 aufgeführt.

EEG-Umlage

Die Berechnungen berücksichtigen die aktuellen Regelungen zur Belastung des Eigenstromverbrauchs mit der EEG-Umlage. Für den selbstgenutzten Strom aus neu errichteten KWK-Anlagen muss seit der EEG-Novelle 2014 ebenfalls eine anteilige EEG-Umlage entrichtet werden. Diese beträgt in diesem und den kommenden Jahren:

- 30 % für erzeugten Strom vom 31. Juli 2014 bis 1. Januar 2016
- 35 % für erzeugten Strom vom 31. Dezember 2015 bis 1. Januar 2017
- 40 % ab dem 1. Januar 2017

Ausgenommen von dieser Regelung sind kleine Anlagen mit einer installierten Leistung unter 10 kW und einem jährlichen Stromeigenverbrauch von höchstens 10 MWh. Darüber hinaus sind Anlagen in energieintensiven Industriebetrieben über die besondere Ausgleichsregelung von der EEG-Umlage ausgenommen.

Erlöse

Der erzeugte Strom wird in den Anwendungsfällen zu unterschiedlichen Anteilen selbst genutzt und ins Netz eingespeist. Die Stromerlöse bestehen daher aus zwei Teilen: Zum einen aus dem Erlös des ins Netz eingespeisten Stroms, für dessen Bewertung

der Baseload-Strompreis verwendet wird. Zum anderen aus den vermiedenen Strombezugskosten bei einer Eigennutzung des erzeugten Stroms, die ebenfalls als Erlöse gewertet werden. Der Referenzerlös für diese Strommenge entspricht den jeweiligen Endkundenstrompreis der Verbrauchsgruppe, in dem die KWK-Anlage eingesetzt wird (vgl. Tabelle 67)

Als Wärmegutschrift werden die Kosten einer alternativen Wärmeerzeugung in einem Gaskessel angesetzt. Aus dem jeweiligen Gas-Endkundenpreis der Verbrauchstypen wird über den Wirkungsgrad des Kessels die Höhe der Wärmekosten ermittelt. Die Kosten der Kesselbereitstellung werden nicht berücksichtigt, da zur Absicherung neben der KWK-Anlage grundsätzlich ein Spitzenkessel aufgestellt wird.

Die Erlöse aus vermiedenen Netznutzungsentgelten sind abhängig von der Netzebene, an die die Anlage angeschlossen ist und sind für jeden Anlagentyp in Tabelle 9 aufgeführt. Neben den Parametern der jeweiligen KWK-Anlage spielen die Auslegung auf das Versorgungsobjekt sowie die jeweiligen Steuern und Abgabenregelungen für den Verbraucher wichtige Rollen bei der Höhe der Wirtschaftlichkeit.

KWK-Zuschlag

Die Anwendungsfälle der verschiedenen KWK-Anlagen werden mit den jeweils zutreffenden aktuellen KWK-Zuschlägen berechnet. Die Höhe des Zuschlags nach Anlagengröße ist in Tabelle 8 aufgeführt.

Mini-KWK-Impulsprogramm

Mit dem Mini-KWK-Impulsprogramm werden KWK-Anlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 20 kW gefördert. Das Programm ist im nationalen Teil der Klimaschutzinitiative angesiedelt.

Ein zentrales Ziel des Programms ist, den Einsatz hocheffizienter und flexibler KWK-Anlagen im Leistungsbereich bis 20 kW deutlich zu steigern und zusätzliche Anreize für die Marktentwicklung zu geben. Die geförderten Anlagen müssen hohen Anforderungen hinsichtlich der Primärenergieeinsparung gerecht werden und darüber hinaus auf die Flexibilitätsanforderungen eines Strommarktes mit wachsenden Anteilen fluktuierender erneuerbarer Energien vorbereitet sein. Hierfür sind Vorrichtungen zur externen Steuerung und Regelung ebenso wie ein ausreichend groß dimensionierter Speicher notwendig. Die Anforderungen des Programms führen im Vergleich zu „Standardkonfigurationen“ zu leicht erhöhten Investitionskosten.

Das erste kW elektrischer Leistung wird aktuell mit 1.425 Euro gefördert, der Leistungsanteil zwischen einem und vier kW mit

285 Euro/kW, der Anteil zwischen vier und zehn kW mit 95 Euro/ kW und die Leistung zwischen zehn und 20 kW mit 47,50 Euro/ kW.

Für eine Anlage mit fünf kW ergibt sich damit ein Förderbetrag von 2.375 Euro. Basierend auf den Erfahrungen seit Einführung des Programms im April 2012 wird aktuell eine Überarbeitung der Förderrichtlinien vorbereitet.

Betrachtete Fälle

In Tabelle 57 sind die Versorgungsobjekte dargestellt, die in Kombination mit den Anlagen typische Anwendungsfälle für KWK-Anlagen im kleinen Leistungsbereich darstellen. Je nach Sektor und Höhe des jährlichen Strom- und Wärmebedarfs unterscheiden sich die die Endkundenpreise für Strom und Gas in den Verbrauchsgruppen. Die berücksichtigten Endkundenpreiskategorien sind ebenfalls in Tabelle 57 angegeben. Die Entwicklung der Endkundenpreise für Erdgas und Strom sind in Tabelle 63 und Tabelle 67 bei den allgemeinen Annahmen aufgeführt.

Tabelle 57: Versorgungsobjekte

Sektor	Objekt	Strombedarf MWh/a	Wärmebedarf MWh/a	Strompreis Abnahmefall	Gaspreis Abnahmefall
Haushalt	Einfamilienhaus	4	20	Haushalte	Haushalte
Haushalt	Zweifamilienhaus	8	37	Haushalte	Haushalte
Wohnungswirtschaft	12 Familienhaus	42	120	Haushalte	GHD1
Wohnungswirtschaft	60 Familienhaus	150	450	GHD1	GHD2
GHD	Dienstleistungen	50	125	GHD1	GHD1
GHD	Schule	80	700	GHD2a	GHD2
GHD	Einzelhandel	200	500	GHD2	GHD2
GHD	Krankenhaus	1.000	3.500	GHD3	GHD2
GHD	Hotel	1.000	1.400	GHD3	GHD2
Industrie	z. B. Maschinenbau	5.000	12.500	Industrie 3	Industrie 3
Industrie	z. B. Automobilzulieferer	10.000	25.000	Industrie 4	Industrie 4
Industrie	z. B. Automobilwerk	100.000	200.000	Industrie 5	Industrie 5
Industrie	z. B. Papier	100.000	200.000	Industrie 6	Industrie 6
Industrie	z. B. Chemie	1.000.000	2.000.000	Industrie 7	Industrie 6

Quelle: IFAM, BHKW-Consult, IREES, Prognos

Die KWK-Anlagen wurden sinnvoll mit den Versorgungsobjekten kombiniert und ergeben 23 Untersuchungsfälle (Tabelle 58).

Tabelle 58: Betrachtete Fälle

KWK-Anlage/ Verbrauchertyp	BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	BHKW 4	BHKW 5	DT 1	GT 1	BHKW 6	GuD 1
Einfamilienhaus Volllaststunden: Stromeigennutzung:	Fall 1 5.000 50 %								
Zweifamilienhaus Volllaststunden: Stromeigennutzung:	Fall 2 6.000 70 %	Fall 3 3.000 40 %							
12 Familienhaus Volllaststunden: Stromeigennutzung:		Fall 4 6.000 10 %							
60 Familienhaus Volllaststunden: Stromeigennutzung:		Fall 5 7.500 40 %							
Dienstleistungen Volllaststunden: Stromeigennutzung:		Fall 6 6.000 80 %							
Schule Volllaststunden: Stromeigennutzung:			Fall 7 4.500 30 %						
Einzelhandel Volllaststunden: Stromeigennutzung:			Fall 8 4.500 50 %						
Krankenhaus Volllaststunden: Stromeigennutzung:			Fall 9 7.500 90 %						
Hotel Volllaststunden: Stromeigennutzung:			Fall 10 7.500 90 %						
Maschinenbau Volllaststunden: Stromeigennutzung:				Fall 11 6.000 80 %					
Automobilzulieferer Volllaststunden: Stromeigennutzung:				Fall 12 6.500 90 %	Fall 13 5.000 50 %				
Automobilwerk Volllaststunden: Stromeigennutzung:					Fall 14 8.000 100 %	Fall 15 5.000 100 %	Fall 16 5.000 100 %	Fall 17 5.000 100 %	Fall 18 5.000 80 %
Papier Volllaststunden: Stromeigennutzung:						Fall 19 6.000 100 %	Fall 20 6.000 100 %	Fall 21 6.000 100 %	Fall 22 5.000 80 %
Chemie Volllaststunden: Stromeigennutzung:									Fall 23 6.000 100 %

Quelle: Prognos 2014

Im Detail setzen sich die Fälle wie folgt zusammen:

Fall 1: Einfamilienhaus:

Es wurde ein Einfamilienhaus mit 3 Bewohnern angenommen. Der Strombedarf wurde mit rund 4.000 kWh pro Jahr sowie der Wärmebedarf auf rund 20.000 kWh pro Jahr abgeschätzt. In diesem Objekt wird eine 1 kW Mikro-KWK-Anlage auf Basis eines Verbrennungsmotors eingesetzt. Dabei ergeben sich rund 5.000 Volllaststunden und eine Eigenstromquote von ca. 50%. 63% des Wärmebedarfs werden mittels KWK-Anlage abgedeckt.

Fall 2 und Fall 3: Zweifamilienhaus

Für das Versorgungsobjekt „Zweifamilienhaus“ wurden zwei Fälle mit BHKW-Anlagen unterschiedlicher Größe generiert. Das Zweifamilienhaus wird von 6-7 Personen bewohnt und weist einen jährlichen Strombedarf in Höhe von 8.000 kWh auf. Der Wärmebedarf wurde auf rund 37.000 kWh prognostiziert.

Im Fall 2 wird im Zweifamilienhaus ein Verbrennungsmotor mit 1 kW elektrischer Leistung und 2,5 kW thermische Leistung installiert. Bei 6.000 Volllaststunden pro Jahr werden rund 70% des bereitgestellten KWK-Stroms im Versorgungsobjekt genutzt. 41% des Wärmebedarfs werden mittels KWK-Anlage abgedeckt.

Im Fall 3 kommt eine motorische Mini-KWK-Anlage mit 5 kW elektrischer und 12,2 kW thermischer Leistung zum Einsatz. Die Mini-KWK-Anlage deckt bei 3.000 Betriebsstunden nahezu den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes ab. Aufgrund der größeren Dimensionierung liegt die Eigenstrom-Nutzungsquote bei lediglich 40%. Die KWK-Anlage deckt 99% des Wärmebedarfs ab.

Fall 4: Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten

Der Wärmebedarf eines 12-Familien-Hauses beträgt rund 120.000 kWh pro Jahr. Der gesamte Strombedarf, bestehend aus Allgemeinstrom und Strombezug der 12 Wohneinheiten, wird mit 42.000 kWh prognostiziert.

Eingesetzt wird eine motorische Mini-KWK-Anlage mit 5 kW elektrischer Leistung und 12,2 kW thermischer Leistung. Während den jährlichen 6.000 Vollbenutzungsstunden werden 61% des Wärmebedarfs durch die KWK-Anlage abgedeckt.

Die KWK-Strommenge wird lediglich für die Abdeckung des Allgemeinstroms des Mehrfamilienhauses verwendet. Ein Direktverkauf an Mieter wird in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht angenommen. Die Eigenstromnutzungs-Quote beträgt 10%.

Fall 5: Mehrfamilienhaus mit 60 Wohneinheiten

Für das Hochhaus-Projekt wurde ein Jahreswärmebedarf in Höhe von 450.000 kWh und ein Gesamt-Strombedarf von 150.000 kWh angenommen.

Eingesetzt wird eine motorische Mini-KWK-Anlage mit 5 kW elektrischer Leistung und 12,2 kW thermischer Leistung, die 7.500 Stunden pro Jahr in Betrieb ist.

Die KWK-Strommenge wird lediglich für die Abdeckung des Allgemeinstroms des Mehrfamilienhauses verwendet. Ein Direktverkauf an Mieter wird in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht angenommen. Die Eigenstromnutzungs-Quote beträgt aufgrund der klein dimensionierten BHKW-Anlage rund 40%. 20% des Wärmebedarfs werden mittels KWK-Anlage abgedeckt.

Fall 6: Kleines Gebäude Gewerbe-Handel-Dienstleistung

Bei diesem Gebäude handelt es sich um ein Gebäude aus dem Bereich Gewerbe-Handel-Dienstleistung, das sich gegenüber einem Wohngebäude durch einen höheren spezifischen Strombedarf auszeichnet.

Das Gebäude hat einen Jahreswärmebedarf von 125.000 kWh und verbraucht rund 50.000 kWh Strom pro Jahr.

Eingesetzt wird eine motorische Mini-KWK-Anlage mit 5 kW elektrischer Leistung und 12,2 kW thermischer Leistung, die 6.000 Stunden pro Jahr in Betrieb ist und dabei rund 80% des Stroms im Versorgungsobjekt nutzen kann. Es wird von einer Personenidentität des BHKW-Betreibers und des alleinigen Nutzers des Gebäudes ausgegangen. Die KWK-Anlage deckt 59% des Wärmebedarfs ab.

Fall 7: Schule

Bei dem Versorgungsobjekt handelt es sich um ein kleines Gymnasium bzw. eine größere Realschule mit rund 600 Schülerinnen und Schülern sowie 7.000 Quadratmeter mit Turnhalle. Der Jahreswärmebedarf liegt bei 700.000 kWh und der Strombedarf bei rund 80.000 kWh pro Jahr.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt für eine motorische KWK-Anlage mit 50 kW elektrischer und 84 kW thermischer Leistung. Dies wird rund 4.500 Volllaststunden pro Jahr in Betrieb sein und weist einen Eigenstromanteil von 30% auf. 54% des Wärmebedarfs werden mittels KWK-Anlage abgedeckt.

Fall 8: Mittleres Gebäude Gewerbe-Handel-Dienstleitung

Bei diesem Versorgungsobjekt (Einzelhandel) wurde ein Strombedarf von 200.000 kWh sowie 500.000 kWh Wärmebedarf prognostiziert.

Eine 50 kW-Anlage mit 84 kW thermischer Leistung würde bei 4.500 Volllaststunden pro Jahr rund 50% des KWK-Stroms im Versorgungsobjekt nutzen. Außerdem werden 76% des Wärmebedarfs durch die KWK-Anlage abgedeckt.

Fall 9: Krankenhaus

Bei dem Versorgungsobjekt handelt es sich um ein Krankenhaus in der Grundversorgung mit rund 180-200 Betten. Der jährliche Wärmebedarf wird auf 3.500.000 kWh prognostiziert. Der Jahresstrombedarf beträgt rund 1.000.000 kWh.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt für eine motorische KWK-Anlage mit 50 kW elektrischer und 84 kW thermischer Leistung. Dies wird rund 7.500 Volllaststunden pro Jahr in Betrieb sein und weist einen Eigenstromanteil von 90% auf. 18% des Wärmebedarfs werden durch die KWK-Anlage abgedeckt.

Fall 10: Hotel

Das Wellness- bzw. Kongresshotel mit rund 200 bis 240 Zimmern weist einen jährlichen Wärmebedarf von 1.400.000 kWh sowie einen Strombedarf von rund 1.000.000 kWh pro Jahr auf.

Eine 50 kW-Anlage mit 84 kW thermischer Leistung würde bei 7.500 Volllaststunden pro Jahr rund 90% des KWK-Stroms im Versorgungsobjekt nutzen. Außerdem würde diese KWK-Anlage 45% des Wärmebedarfs abdecken.

Fall 11: Industrie – Maschinenbau

Installiert wird eine motorische KWK-Anlage mit 500 kW elektrischer und 654 kW thermischer Leistung, die 6.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr Strom und Wärme bereitstellt. 80% des bereitgestellten Stroms kann im Versorgungsobjekt genutzt werden. 31% des Wärmebedarfs wird durch die KWK-Anlage abgedeckt.

Fall 12: Industrie – Automobilzulieferer

Im Industriefall „Automobilzulieferer“ wird ein Versorgungsobjekt mit 25.000.000 kWh Jahreswärmebedarf und 10.000.000 kWh Jahresstrombedarf in die Betrachtung einbezogen.

Die in diesem Versorgungsobjekt installierte KWK-Anlage mit 500 kW elektrischer und 654 kW thermischer Leistung weist bei 6.500 Vollbenutzungsstunden pro Jahr einen Eigenstromnutzungsanteil

von 90% auf. Der Anteil der KWK-Wärme am Wärmebedarf beträgt 17%.

Fall 13: Industrie – Automobilzulieferer

Fall 13 unterscheidet sich von Fall 12 lediglich in der Größe der eingesetzten KWK-Anlage. Der Automobilzulieferer mit einem Wärmebedarf von 25 Millionen kWh pro Jahr und einem jährlichen Strombedarf in Höhe von 10 Millionen kWh wird von einer KWK-Anlage versorgt, die 1.999 kW elektrische und 2.285 kW thermische Leistung aufweist. Bei 5.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr beträgt die Eigenstromnutzungsquote 50%. Die Wärmeabdeckungsrate beträgt 46%.

Fälle 14 bis 18: Industrie – Automobilwerk

Für die Versorgung eines Industriebetriebes (z. B. eines Automobilwerkes) mit einem Jahresbedarf an Wärme in Höhe von 200 GWh sowie an Strom in Höhe von 100 GWh wurden KWK-Anlagen in der Größe von knapp unterhalb 2 MW_{el} bis 20 MW_{el} betrachtet.

Das BHKW mit rund 2 MW würde nur einen kleinen Teil des Strom- und Wärmebedarfs des Betriebes abdecken können und würde als Dauerläufer mit rund 8.000 Volllaststunden zur Grundlastabdeckung betrieben werden. Der gesamte erzeugte Strom könnte im Betrieb selbst verbraucht werden. In der Regel werden KWK-Anlagen bei diesem Verbrauchstyp jedoch größer ausgelegt, um einen höheren Anteil des Strom- und Wärmeverbrauchs mit der Anlage decken zu können.

Die untersuchten KWK-Anlagen mit 5 MW bis 20 MW würden in diesem Fall rund 5.000 Volllaststunden erreichen. Bis auf den 20 MW-Fall könnten auch bei diesen Anlagen der gesamte erzeugte Strom selbst genutzt werden.

Fälle 19 bis 22: Industrie – Papierfabrik

Hier wurde ein energieintensiver industrieller Betrieb betrachtet (z. B. eine Papierfabrik). Der angenommene jährliche Strom- und Wärmebedarf ist mit 100 GWh bzw. 200 GWh genauso hoch wie in dem davor betrachtenden Fall des Automobilwerks. Im Gegensatz zum nicht energieintensiven Automobilwerk liegen in diesem Fall die Strombezugskosten durch die ermäßigte EEG-Umlage deutlich niedriger.

Betrachtet wurden für diesen Verbrauchstyp KWK-Anlagen mit einer Leistung von 5 MW bis 20 MW. Bei der eher kleinen Anlagenauslegung der Anlagen mit 5 MW bzw. 10 MW gehen wir von 6.000 Betriebsstunden und einer vollständigen Stromeigennutzung aus. Wenn eine größer dimensionierte Anlage mit 20 MW betrieben wird, geht die mögliche Nutzungszeit der Anlage auf 5.000

Stunden zurück, die Stromeigennutzungsquote sinkt gleichzeitig auf 80 %.

Die angenommenen Volllaststunden liegen für diese betrachteten Fälle etwas höher als die mittleren Volllaststunden von etwa 4.400 h/a der Stromerzeugungsanlagen in der Papierindustrie [Destatis 2013]. Die Statistik bildet alle bestehenden Kraftwerke (inkl. Altanlagen und Backup-Kraftwerken) dieser Branche ab. Für neue Kraftwerke, die in der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung betrachtet werden, sind die angesetzten höheren Betriebsstunden realistisch.

Fall 23: Industrie – Chemiewerk

Dieser Versorgungstyp beschreibt einen sehr großen energieintensiven Betrieb mit einem jährlichen Stromverbrauch von einer TWh und einem Wärmeverbrauch von 2 TWh. Typische Vertreter solcher Betriebe gibt es im Bereich der chemischen Industrie oder der Mineralölverarbeitung. Stromerzeugungsanlagen in diesen beiden Branchen weisen etwa 5.000 Volllaststunden pro Jahr auf [Destatis 2013]. Für die hier untersuchte Neubauanlage mit 20 MW wird eine Laufzeit von 6.000 Stunden pro Jahr prognostiziert. Bei einer noch größeren Anlagenauslegung wären etwas niedrigere Volllaststundenanzahlen zu erwarten.

Zur Berechnung der **Projektrenditen** werden die in Tabelle 58 angegebenen typischen Volllaststunden und Stromeigennutzungsquoten der einzelnen Fälle verwendet. Der Kalkulationszeitraum umfasst die jeweilige Lebensdauer der Anlage.

Ergebnisse

Für die betrachteten 23 Fälle ergeben sich **mit dem KWK-Zuschlag** die in Tabelle 59 dargestellten Projektrenditen. In rot sind die unwirtschaftlichen Fälle mit einer negativen Projektrendite markiert. Die Fälle, die im jeweiligen Anwendungsfall die notwendige Mindestprojektrendite ergeben, sind hellblau hinterlegt.

Tabelle 59: *Projektrendite für Neubauprojekte von Objekt- und Industrie-KWK-Anlagen, mit KWK-Zulage*

Mit KWK-Zulage	BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	BHKW 4	BHKW 5	DT 1	GT 1	BHKW 6	GuD 1
Einfamilienhaus	-27%								
Zweifamilienhaus	-15%	-17%							
12 Familienhaus		-36%							
60 Familienhaus		-4%							
Dienstleistungen		4%							
Schule			-4%						
Einzelhandel			5%						
Krankenhaus			30%						
Hotel			30%						
Maschinenbau				41%					
Automobilzulieferer				47%	34%				
Automobilwerk					79%	25%	50%	50%	26%
Papier						0%	15%	14%	6%
Chemie									6%

Rot: Negative Projektrendite

Blau hinterlegt: Wirtschaftlich, da Mindestprojektrendite des Verbrauchertyps erreicht wird

Quelle: Prognos 2014

Bei sämtlichen Versorgungsfällen von **Wohnungsobjekten** (Fälle 1 bis 5) ergeben sich unter den getroffenen Annahmen **negative Projektrenditen**. Die Gründe hierfür liegen einerseits in den höheren Brennstoffpreisen und andererseits in den niedrigen Stromeignennutzungsquoten dieser Versorgungsfälle. Zudem haben die sehr kleinen Anlagen mit einer Leistung von 1 kW_{el} und 5 kW_{el}, die sich für diese Objekte eignen, die höchsten spezifischen Investitionskosten. Für das **BHKW 1** ergibt sich kein wirtschaftlich tragfähiger Anwendungsfall. Für das **BHKW 2** ergibt sich eine positive Projektrendite ausschließlich in Fall 6 in einem Gewerbebetrieb. Allerdings unterschreitet die ermittelte Gesamtrendite dieses Versorgungsfalles in Höhe von 4 % die erforderliche Projektrendite (10 %) deutlich.

Unter Berücksichtigung des **Mini KWK Impulsprogramms** ergibt sich für die Anlagen BHKW 1 und BHKW 2 eine geringfügig bessere Wirtschaftlichkeit. Bei dem BHKW 1 verbessert sich die Projektrendite in den betrachteten Fällen lediglich um einen Prozentpunkt. Die Ergebnisse für das BHKW 2 verbessern sich um etwa zwei Prozentpunkte. Bei dem betrachteten Fall BHKW 2 im Dienstleistungssektor kann damit die geforderte **Mindestrendite** von mindestens 8 % **dennoch nicht erreicht** werden.

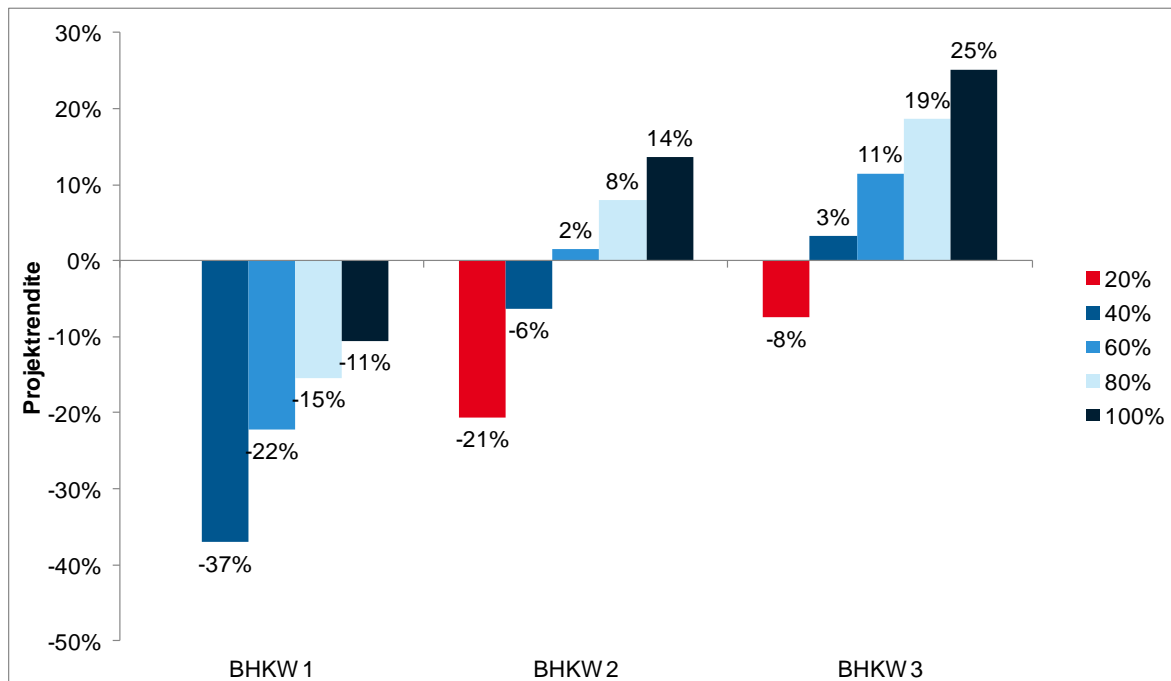
Für das **BHKW 3** hängt die Wirtschaftlichkeit stark seinem Einsatzort ab. Wird es in einer Schule installiert, ergibt sich eine negative Projektrendite von -4 %. Der wesentliche Auslöser hierfür ist die in diesem Anwendungsfall sehr niedrige Stromeigennutzungsquote von 30%. Bei einem Einsatz in einem Gewerbebetrieb des Einzelhandels mit einer Stromeigennutzung von 50 % dreht sich das Ergebnis ins Positive. Allerdings erreicht die Projektrendite von 5 % noch nicht eine Höhe, die zur Realisierung des Projekts erforderlich ist. Anders verhält es sich bei einem Einsatz der Anlage in dem Beispielfällen Hotel oder Krankenhaus. Mit der dortigen 90 %igen Eigennutzung des Stroms bei 7.500 Volllaststunden ist die Anlage wirtschaftlich und übertrifft mit einer Projektrendite von 30 % deutlich die geforderte Mindestrendite für diese Objekte.

Im **Leistungssegment bis 50 kW** gibt es neben den ausgewählt dargestellten Einsatzfällen für die **BHKW 1 bis 3** noch eine Vielzahl weiterer **Fälle, die für ihren Einsatzort optimiert wurden** und sich dann wirtschaftlich deutlich besser darstellen. Insbesondere die erreichbare Stromeigennutzungsquote hat einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen. Wenn es beispielsweise im Mehrfamilienhausbereich gelingt, eine Mieter GbR zu realisieren, lassen sich höhere Quoten bei der Stromeigennutzung erzielen. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Projektrenditen für die BHKW 1 bis 3 in Abhängigkeit von den Stromeigennutzungsquoten. Für die Berechnungen wurden pauschal 5.000 Volllaststunden angesetzt, als Referenzstrompreis für die BHKW 1 und BHKW 2 der Haushaltsstrompreis und für das BHKW 3 der Gewerbestrompreis (GHD1). Die Ergebnisse der Berechnungen zeigt Abbildung 57.

Das **BHKW 1** mit 1 kW erreicht auch bei einer **kompletten Selbstnutzung des erzeugten** Stroms auch unter Berücksichtigung einer Förderung aus dem Mini-KWK-Impulsprogramm im Betrachtungszeitraum von 10 Jahren **keine Wirtschaftlichkeit**.

Bei den Anlagen mit 5 kW (BHKW 2) bzw. 50 kW (BHKW 3) ergeben sich bei 5.000 Betriebsstunden **ab einer Eigennutzungsquote von 60 bzw. 40 % positive Projektrenditen**. Bei einer höheren Eigennutzungsquote steigen die Renditen auch für diese Anlagen in für viele Investoren attraktive Bereiche.

Abbildung 57: Projektrenditen für die BHKW 1 bis 3 in Abhängigkeit der Eigennutzungsquote (Annahme: 5.000 Vollbenutzungsstunden)



Quelle: Prognos 2014

Die größeren Anlagentypen **BHKW 4** und **BHKW 5** werden in den für die Studie generierten Fallbeispielen ausschließlich in Industriebetrieben eingesetzt. Für das **BHKW 4** ergeben sich in den untersuchten Einsatzbereichen (Fälle 11 und 12) Projektrenditen von über 40 %. Dieser Anlagentyp ist in den dargestellten Fällen wirtschaftlich umsetzbar.

Auch das **BHKW 5** ist in den untersuchten Einsatzbereichen (Fälle 13 und 14) wirtschaftlich umsetzbar. Hier unterscheidet sich die Projektrendite jedoch deutlich zwischen einem Einsatz in einem Industriebetrieb mit einem durchschnittlichen Stromverbrauch von 10.000 MWh (Fall 13) und in einem mit 100.000 MWh (Fall 14). Der Hauptgrund für die unterschiedlichen Projektrenditen in Höhe von 34 % (Fall 13) und 80 % Fall 14). ist die abweichende Strom-eigennutzungsquote in den betrachteten Einsatzbereichen. Im Fall 13 beträgt sie lediglich 50 %, wohingegen im Fall 14 der Strom vollständig selbst genutzt wird (100 %). Dies manifestiert auch die im industriellen Bereich häufig anzutreffende Planungsmaxime, KWK-Anlagen nicht nach dem Wärmebedarf auszulegen, sondern in erster Linie so zu dimensionieren, dass kein KWK-Strom in das öffentliche Netz eingespeist wird.

Bei der Dampfturbine (**DT 1**) zeigt sich deutlich die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit vom Einsatzbereich. Die Dampfturbine kann in dem Industriefall „Automobilwerk“ (Fall 15) mit einer Projektren-

dite von 25 % wirtschaftlich umgesetzt werden, wenn von den Unternehmen ein Refinanzierungszeitraum von 4 Jahren akzeptiert wird. In der energieintensiven Industrie hingegen, wie beispielsweise in der Papierindustrie (Fall 19), erreicht die gleiche Anlage trotz vollständiger Eigennutzung des Stroms jedoch nur eine Projektrendite von 0 %. Der Grund hierfür sind die im Fall 19 deutlich niedrigeren Strombezugspreise aufgrund der Befreiung von den Umlagen.

Für die Gasturbine (**GT 1**) stellt sich das Ergebnis tendenziell ähnlich dar. Durch den gegenüber der Dampfturbine höheren Wirkungsgrad bei gleichzeitig niedrigeren spezifischen Investitionskosten liegen die Projektrenditen jedoch höher. Ihr Einsatz in Industriebetrieben wie Automobilwerken (Fall 16) oder der Papierindustrie (Fall 20) ist mit Projektrenditen von 50 % (Fall 16) bzw. 15 % (Fall 20) möglich. Im Fall 20, der den Einsatz der Gasturbine in der energieintensiven Industrie abbildet, gelingt die Umsetzung des Projekts deshalb nur, wenn das Unternehmen eine Refinanzierungsdauer der Investition von knapp sieben Jahren akzeptiert.

Die Anlagen BHKW 6 und GuD 1 werden sowohl in der öffentlichen Fernwärmeversorgung (Ausführungen zur Wirtschaftlichkeit siehe dort) als auch in der Industrie eingesetzt. Beim Einsatz in großen Industriebetrieben wie z. B. Automobilwerken (Fall 17) ergibt sich für das **BHKW 6** eine Projektrendite von 50 % und ermöglicht so die Umsetzung des Projekts. In der energieintensiven Industrie wie der Papierindustrie (Fall 21) hingegen sinkt die Projektrendite wegen der dort geringeren Strombezugskosten und der Befreiungen von Umlagen auf 14 %. Eine Realisierung des Projekts kann bei dieser Rendite nur in Unternehmen erreicht werden, die eine Refinanzierungsdauer von mehr als sieben Jahren akzeptieren.

Die niedrigen Stromkosten der energieintensiven Industrie in den Fällen 22 und 23 verhindern dort den Einsatz der großen GuD-Anlage **GuD 1**. Sie erzielt in den Anwendungsfällen „Papier“ und „Chemie“ lediglich eine Projektrendite von 6 %. Hiermit unterschreiten diese Anwendungsfälle die untere Mindestrendite der Industrie von 12 % deutlich. Im Anwendungsfall „Automobilwerk“ (Fall 18) hingegen ist eine Projektrendite von 25 % erreichbar, die eine Amortisation der Anlage innerhalb von vier Jahren ermöglicht. Dieser Zeitraum wird von vielen Unternehmen noch akzeptiert.

Ergebnisse ohne KWK-Förderung

Ohne KWK-Förderung verschlechtern sich naturgemäß die Projektrenditen in allen Fällen. In der energieintensiven Industrie erreichen die Gasturbine (GT 1) und das BHKW 6 nicht mehr die Mindestprojektrendite.

Tabelle 60: Projektrendite für Neubauprojekte von Objekt- und Industrie-KWK-Anlagen, ohne KWK-Zulage

Ohne KWK-Zulage	BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	BHKW 4	BHKW 5	DT 1	GT 1	BHKW 6	GuD 1
Einfamilienhaus	<-40%								
Zweifamilienhaus	-23%	-35%							
12 Familienhaus		<-40%							
60 Familienhaus		-30%							
Dienstleistungen		-7%							
Schule			-52%						
Einzelhandel			-12%						
Krankenhaus			13%						
Hotel			13%						
Maschinenbau				29%					
Automobilzulieferer				33%	21%				
Automobilwerk					58%	19%	39%	39%	19%
Papier						-6%	4%	3%	1%
Chemie									2%

Rot: Negative Projektrendite

Blau hinterlegt: Wirtschaftlich, da Mindestprojektrendite des Verbrauchertyps erreicht wird

Quelle: Prognos 2014

Fazit

Kleinere Anlagen, vor allem in Wohnungsobjekten erreichen unter den heutigen Bedingungen keine positiven Projektrenditen. Bei negativen Projektrenditen werden Anlagen nur in Einzelfällen unter Einbeziehung nicht-monetärer Bewertungsmaßstäbe realisiert. Kleine bis mittelgroße Anlagen der Objektversorgung können zwar positive Projektrenditen erreichen, diese unterschreiten jedoch häufig die geforderte Mindestrendite, so dass eine Realisierung dieser Projekte in der Regel nicht zu erwarten ist. Insgesamt sind Anlagen in GHD und Wohngebäuden nur in einzelnen Fällen wirtschaftlich.

In der Objektversorgung hängt die Wirtschaftlichkeit sehr stark von der Stromeigennutzungsquote der Anlagen ab. In bestimmten Anwendungsbereichen wie Hotels oder Krankenhäusern können sehr gute Projektrenditen erreicht werden. In Bereichen wie z. B. der Wohnungswirtschaft lassen sich hingegen Projekte nur sehr schwierig realisieren.

Die Gründe hierfür liegen einerseits in den höheren spezifischen Kosten der kleineren Anlagen und andererseits in der niedrigeren Eigennutzungsquote des erzeugten Stroms. Die KWK-Förderung kann diese grundsätzlichen Beschränkungen nicht ändern.

Größere Objekt- und Industrie-KWK-Anlagen können hingegen unter den heutigen Förderbedingungen in geeigneten Einsatzbereichen wirtschaftlich errichtet und betrieben werden. In vielen Anwendungsfällen ergeben sich auch ohne KWK-Förderung ausreichend hohe Projektrenditen. Die höchsten Projektrenditen werden erzielt, wenn die Anlagen eine hohe Auslastung erreichen und darüber hinaus ein großer Anteil des Stroms vom Betreiber selbst genutzt werden kann. Dies ist zumeist in Industriebetrieben mit einem hohen und möglichst konstanten Strom- und Wärmebedarf der Fall.

Verbraucher in der energieintensiven Industrie beziehen wegen der Befreiung von Umlagen ihren Strom zu geringen Kosten, so dass der Betrieb einer neuen KWK-Anlage zwar positive Projektrenditen erwarten ließe, diese aber meist deutlich unter der notwendigen Mindestrendite für eine Umsetzung des Projekts liegen. In diesem Segment könnte eine Anpassung der Förderung neue Impulse geben.

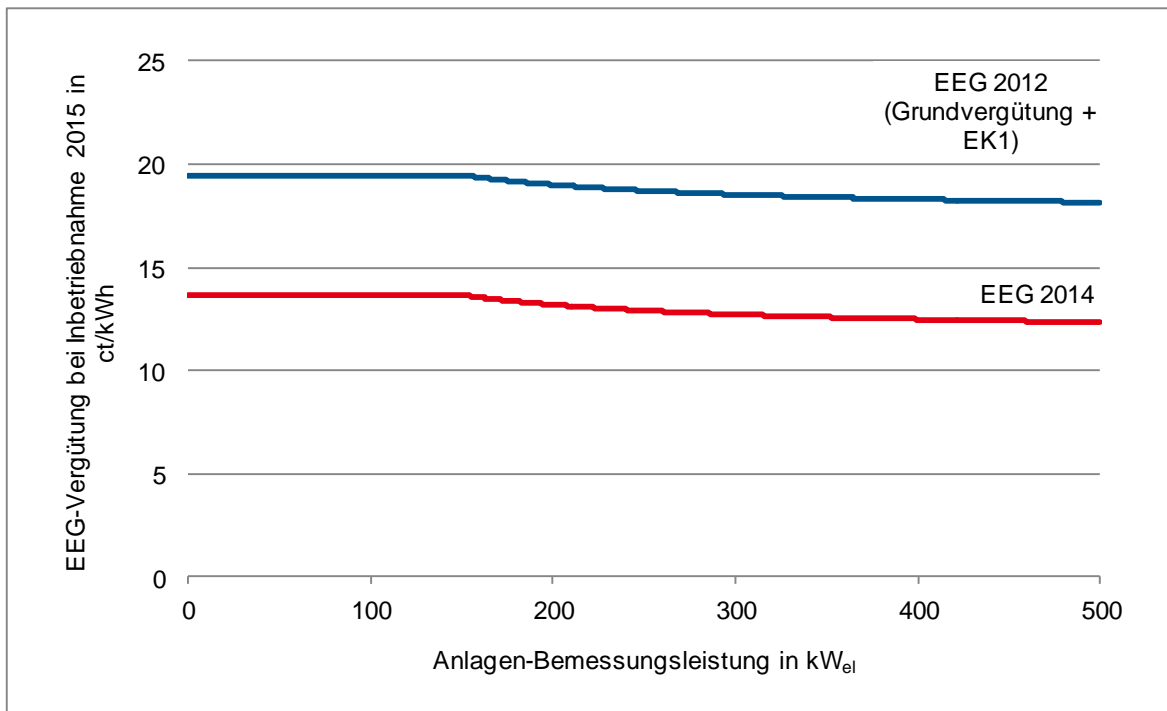
7.5.3 Rolle der Biomasse-KWK

Die EEG-Förderung führte in den letzten Jahren zu einer deutlichen Zunahme von Biomasse-KWK-Anlagen. Die installierte elektrische Leistung von Biogas- und Biomethananlagen erhöhte sich zwischen den Jahren 2000 und 2013 von ca. 500 MW_{el} auf rund 3.750 MW_{el}. Die installierte Leistung von Biomasseheizkraftwerken stieg im selben Zeitraum von ca. 250 MW_{el} auf mehr als 1.500 MW_{el}. Insbesondere die EEG-Novellen von 2004 und 2009 führten zu einer hohen Dynamik im Biomassesektor. Zwischen 2009 und 2011 lag der Zubau von Biogasanlagen in Schnitt in etwa bei 500 MW_{el}. Die EEG-Novelle von 2012 führte bereits zu einer deutlichen Verringerung des Zubaus, insbesondere bei Biogasanlagen. Im Jahr 2013 lag der Zubau noch bei 200 MW_{el}.

Mit der Umsetzung der EEG-Novelle von 2014 ist in den kommenden Jahren von weiterem Rückgang des Zubaus von Biomasse-Anlagen auszugehen. Zum einen wird der EEG-geförderte Zubau nun bei jährlich 100 MW_{el} gedeckelt, zum anderen wurden die Vergütungssätze angepasst. Dadurch verschlechtert sich die wirtschaftliche Situation von Biomasseanlagen deutlich. In den vergangenen Versionen des EEG setzte sich die Vergütung für Strom aus Biomasse jeweils aus einer Grundvergütung und einer zusätzlichen optionalen, betriebsabhängigen Vergütungskomponente zusammen. Im EEG 2012 gab es beispielsweise die Möglichkeit, die Grundvergütung durch den Einsatz bestimmter Biomassearten um bis zu 8 Cent/kWh zu erhöhen. In der aktuellen Fassung des EEG fällt diese zusätzliche Komponente weg, es wird nur noch die Grundvergütung gewährt. In Abbildung 58 ist beispielhaft dargestellt, wie sich dies am Beispiel von Biogasanlagen bis 500 kW_{el} auswirkt. Abgesehen von Kleinanlagen unterhalb von 75 kW_{el}, die

hauptsächlich Gülle einsetzen, fällt die beispielhafte Vergütung etwa vier bis fünf Cent pro kWh geringer aus als noch im EEG 2012. Außerdem besteht dieser hohe Förderanspruch nur bis zu einer Bemessungsleistung von 50 % der installierten Leistung.

Abbildung 58: Beispielhafte EEG-Vergütung für Biogasanlagen



Quelle: Prognos 2014 nach EEG

Noch deutlicher fallen die Anpassungen bei KWK-Anlagen aus, die mit Biomethan, also auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas, betrieben werden. Neben dem Bonus für die Einsatzstoffklassen wird für neu errichtete Biomethan-BHKW auch der Gasaufbereitungs-Bonus gestrichen. Dadurch fällt die beispielhafte Vergütung etwa 5 bis 8 Cent pro kWh geringer aus als noch im EEG 2012.

7.6 Prognose der KWK-Erzeugung und der Kosten der KWKG-Umlage

Eine Einschätzung der langfristigen Entwicklung der KWK ist aufgrund der Vielzahl relevanter Einflussfaktoren und möglicher Wirkungen politischer Entscheidungen mit großen Unsicherheiten behaftet. Für den relativ kurzen Zeitraum bis zum Jahr 2020 ist es auf der Grundlage der heute absehbaren Entwicklung möglich, eine Prognose zu erstellen.

Die Prognose baut auf die heutige KWK-Stromerzeugung auf. Sie berücksichtigt die wesentlichen Entwicklungen in den KWK-Bereichen allgemeine Versorgung, industrielle KWK sowie biogene und

kleine KWK. Diese werden im Folgenden dargestellt und in ihrer Wirkung abgeschätzt.

Die Prognose berücksichtigt die heute bekannten Neubauprojekte und die Ergebnisse der im Kapitel 7.5 dargestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Sie berücksichtigt auch die im EEG 2014 beschlossenen Änderungen zum Eigenverbrauch. Das KWKG wird in seiner heutigen Form fortgeschrieben. Nicht berücksichtigt werden mögliche Effekte einer zukünftigen Einführung eines Kapazitätsmarktes.

Bei der Prognose der KWK-Stromerzeugung werden die in Tabelle 61 dargestellten größere Neubauten von KWK-Kraftwerken mit einer Nettoleistung von rund 3,4 GW berücksichtigt. Unter den aktuellen Marktbedingungen gehen wir davon aus, dass die Steinkohlekraftwerke Kraftwerke im Mittel etwa 6.000 Stunden und die Erdgaskraftwerke im Mittel etwa 3.000 Stunden pro Jahr betrieben werden können. Die neuen KWK-Kraftwerke speisen zum Teil in bestehende Fernwärmenetze ein bzw. ersetzen bestehende Anlagen. Die geringere Laufzeit dieser Kraftwerke wird bei der Prognose der KWK-Erzeugung berücksichtigt.

Tabelle 61: Im Bau befindliche und abschließend von den Unternehmen genehmigte größere KWK-Kraftwerkprojekte

Unternehmen	Name der Anlage	Jahr der Inbetriebnahme	Elektrische Nettoleistung in MW
UPM GmbH Werk Schongau	HKW3 UPM Schongau	2014	70
Müller Sachsen GmbH	GuD-Heizkraftwerk	2014	35
Volkswagen AG	BHKW Braunschweig	2014	10
EnBW Erneuerbare und Konventionelle Erzeugung AG (EZG)	Rheinhafendampfkraftwerk Bl. 8	2014	842
Stadtwerke Düsseldorf AG	Kraftwerk Lausward	2016	595
Stadtwerke Flensburg GmbH	Heizkraftwerk Flensburg	2015	73
Großkraftwerk Mannheim AG	GKM	2015	843
RheinEnergie AG	Niehl 3	2016	446
E.ON Kraftwerke GmbH	Datteln	2018 (Annahme)	1.055
Vattenfall Europe Wärme AG	Lichterfelde	2016	300
Flughafen München GmbH	Energiezentrale 2016	2016	17
GuD Zeitz GmbH	GuD Zeitz	2017	130

Quelle: Netzentwicklungsplan, Prognos AG

Gemäß den Kraftwerkslisten der Bundesnetzagentur sind bis zum Jahr 2020 weitere KWK-Kraftwerke mit einer elektrischen Nettoleistung von in Summe rund 4,5 GW geplant. Diese Kraftwerke befinden sich aber noch nicht im Bau. Aufgrund der aktuell schwierigen wirtschaftlichen Situation für Neubauprojekte wird eine Realisierung

sierung dieser Projekte unter den aktuellen Marktbedingungen für unwahrscheinlich gehalten. Daher werden diese Projekte bei der Prognose der KWK-Entwicklung bis zum Jahre 2020 nicht berücksichtigt.

Bis zum Jahr 2020 werden bestehende KWK-Kraftwerke stillgelegt werden. Insbesondere ältere Steinkohle- und Gaskraftwerke werden davon betroffen sein. So werden beispielsweise die drei letzten Blöcke des KWK-Kraftwerkes Scholven 2015 stillgelegt. Die Bundesnetzagentur führt eine offizielle Liste mit zur Stilllegung angemeldeten Kraftwerken, die – wie die Liste der Neubauten – regelmäßig aktualisiert wird. Es ist jedoch wie bei den Neubauankündigungen nicht zu erwarten, dass sämtliche Stilllegungsankündigungen umgesetzt werden. Bis zum Jahr 2020 wird für die Prognose eine Stilllegung von KWK-Kraftwerken in der Größenordnung von 2 bis 3 GW unterstellt.

Im Leistungssegment von 1 kW bis 10 MW wurden im Zeitraum 2010 bis 2013 pro Jahr im Mittel KWK-Anlagen mit knapp 300 MW errichtet (siehe Kapitel 7.2). Dieser Zubau war über die letzten Jahre relativ stabil. Vor dem Hintergrund der in dieser Studie durchgeführten Wirtschaftlichkeitsrechnung wird davon ausgegangen, dass dieser Zubau bis zum Jahr 2020 in etwa konstant auf diesem Niveau bleibt. Über das gesamte Leistungssegment hinweg heben sich die negativen Effekte der EEG-Belastung des Eigenstromverbrauchs und die gesunkenen Erlöse für die Netzeinspeisung auf der einen Seite und die höheren Umlagen für den Strombezug in den letzten Jahren in etwa auf.

Aufgrund der im EEG im Jahr 2014 reduzierten Vergütungssätze für Biomasse-Anlagen und dem politisch angestrebten Ausbaupfad von 100 MW pro Jahr ist bis zum Jahr 2020 nur mit einem langsamen Wachstum der KWK-Stromerzeugung auf der Basis von Biomasse zu rechnen. Konkret erscheint ein jährlicher Zubau in Höhe von 50 MW realisierbar. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass neue, nach dem EEG geförderte Biogas-Verstromungs-Anlagen, nicht mehr zu einer Wärmenutzung verpflichtet sind. Dies könnte Auswirkungen auf den KWK-Anteil bei Biomasse- und Biogas-Anlagen haben.

Wegen der aktuellen Marktsituation mit relativ hohen Brennstoffpreisen bei gleichzeitig geringen Strom-Großhandelspreisen ist nicht von einem Zubau von Biomasse-KWK-Anlagen außerhalb der EEG-Förderung zu rechnen.

Im Ergebnis dieser Entwicklungen ergibt sich für die Prognose folgendes Bild: Die KWK-Nettostromerzeugung bleibt bis zum Jahr 2020 in etwa auf dem Niveau der Jahre 2011 bis 2013. Aufgrund der sehr milden Witterung in den ersten vier Monaten des Jahres 2014 sinkt die KWK-Nettostromerzeugung in diesem Jahr voraus-

sichtlich auf etwa 91 TWh. Gemäß den Monatsberichten der Elektrizitätsversorgung lag die KWK-Nettostromerzeugung im Bereich der allgemeinen Versorgung von Januar bis Mai 2014 um rund 4 TWh unter der entsprechenden Erzeugung im Jahr 2013. Von diesem Rückgang entfielen 2,7 TWh auf gasbefeuerte Anlagen.

Tabelle 62: Entwicklung der KWK-Nettostromerzeugung bis 2020

Angaben in TWh	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Nettostromerzeugung	595	580	593	592	591	590	589	587
Exportsaldo	34	35	36	37	38	39	40	41
KWK-Nettostromerzeugung	96	91	94	97	96	95	95	98
Allgemeine Versorgung	50	44	48	49	46	44	42	44
Steinkohlen	14	13	14	14	14	14	13	13
Braunkohlen	5	4	5	5	5	5	5	5
Mineralöl	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas	26	22	23	25	21	19	18	20
Erneuerbare	2	2	2	2	2	2	2	2
Sonstige	3	4	4	4	4	4	4	4
Industrielle KWK-Erzeugung	30	30	30	30	31	31	32	33
Nicht erfasste KWK unter 1 MW _{el}	5	6	6	6	7	7	8	8
Nicht erfasste biogene KWK	12	12	12	13	13	13	14	14
Anteil KWK in % (bezogen auf die Nettoerzeugung)	16,2%	15,9%	16,1%	16,7%	16,4%	16,4%	16,2%	16,8%

Quelle: Prognos

Die KWK wird sich in den einzelnen Anwendungsfällen unterschiedlich entwickeln. Bei den KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung führt die wirtschaftliche Situation voraussichtlich zu einem Rückgang der KWK-Stromerzeugung. Wie in Kapitel 7.5 gezeigt, werden die wirtschaftlichen Einsatzzeiten von Erdgas-KWK-Kraftwerken in den nächsten Jahren weiter zurückgehen.

Die wirtschaftliche Situation von Braun- und Steinkohle-Heizkraftwerken hat sich in den letzten Jahren durch die sehr niedrigen Großhandelsstrompreise ebenfalls verschlechtert. Wegen ihrer gegenüber Erdgasanlagen geringeren Grenzkosten der Stromerzeugung ist bis zum Jahr 2020 dennoch mit einer stabilen Erzeugung aus diesen Anlagen zu rechnen. In Fernwärmenetzen, die sowohl von Erdgas- als auch Kohleanlagen gespeist werden, kann die Kohle-KWK die geringere Fahrweise der Erdgasanlagen teilweise kompensieren.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung hat gezeigt, dass der kostendeckende Betrieb von vielen KWK-Anlagen unter den getroffenen

Annahmen aktuell nicht möglich ist. Die Prognose beinhaltet dennoch keine vorzeitigen Stilllegungen von KWK-Anlagen, da eine seriöse Abschätzung über den Umfang von temporären oder endgültigen Stilllegungen aus heutiger Sicht nicht möglich ist. Sollten wirtschaftliche Gründe zu einer Stilllegung von deutlich mehr KWK-Leistung führen und die Wärmeerzeugung dann durch Kessel ersetzt werden, wird die KWK-Stromerzeugung in den kommenden Jahren im Bereich der Fernwärmewirtschaft noch deutlich niedriger ausfallen.

Im Bereich der industriellen KWK-Stromerzeugung wird bis zum Jahr 2020 noch einen leichten Anstieg gegenüber dem aktuellen Niveau erwartet. Attraktive Potenziale ergeben sich insbesondere bei Unternehmen und Branchen mit hohen Strombezugskosten bei gleichzeitig hohem Wärme- und Stromverbrauch. Die sehr niedrigen Preise am Großhandelsstrommarkt haben im Vergleich zu den Anlagen der allgemeinen Versorgung nur relativ geringe Auswirkungen auf die industrielle KWK. Eine Ausnahme bilden hier energieintensive Unternehmen mit geringen Strom-Beschaffungskosten.

Die größte Auswirkung ergibt sich relativ kurzfristig bei Unternehmen, die ihre KWK-Anlage wärmeseitig ausgelegt haben und bisher einen größeren Teil des (mit Erdgas) erzeugten Stroms ins öffentliche Netz einspeisen. Da diese Netzeinspeisung in vielen Fällen derzeit nicht mehr wirtschaftlich ist, versuchen Unternehmen teilweise, ihre Netzeinspeisung zu verringern.

Um das 25 % KWK-Ziel bis zum Jahr 2020 zu erreichen, müsste die KWK-Stromerzeugung im Jahr 2020 gegenüber der aktuellen Prognose von 98 auf 147 TWh gesteigert werden. Im Rahmen dieser Studie wurde nicht detailliert untersucht unter welchen Rahmenbedingungen und mit welchen Maßnahmen eine Erreichung des KWK-Ausbauziels möglich ist.

Für eine belastbare Abschätzung der notwendigen Maßnahmen wie z. B. eine Erhöhung der KWK-Förderung wären differenzierte Untersuchungen notwendig. Die KWK-Stromerzeugung könnte gegenüber der erstellten Prognose durch Anlagenneubau, Anlagenmodernisierungen (Steigerung der Anlagenleistung bzw. der Stromkennkiffer) sowie durch eine Erhöhung der Laufzeit bzw. Erhalt bestehender KWK-Anlagen erreicht werden. Darüber hinaus müsste auf Basis der bestehenden Potenziale eine realistische Aufteilung der zusätzlichen Strommengen auf die einzelnen KWK-Bereiche (Anlagengröße, Brennstofftyp und Anwendungssektor) vorgenommen werden.

Aufgrund der notwendigen Vorlaufzeit für neue größere Kraftwerksprojekte und den notwendigen Leistungsausbau ist eine

Zielerreichung bis 2020 zudem selbst bei einer starken Erhöhung der Förderung aus heutiger Sicht fraglich.

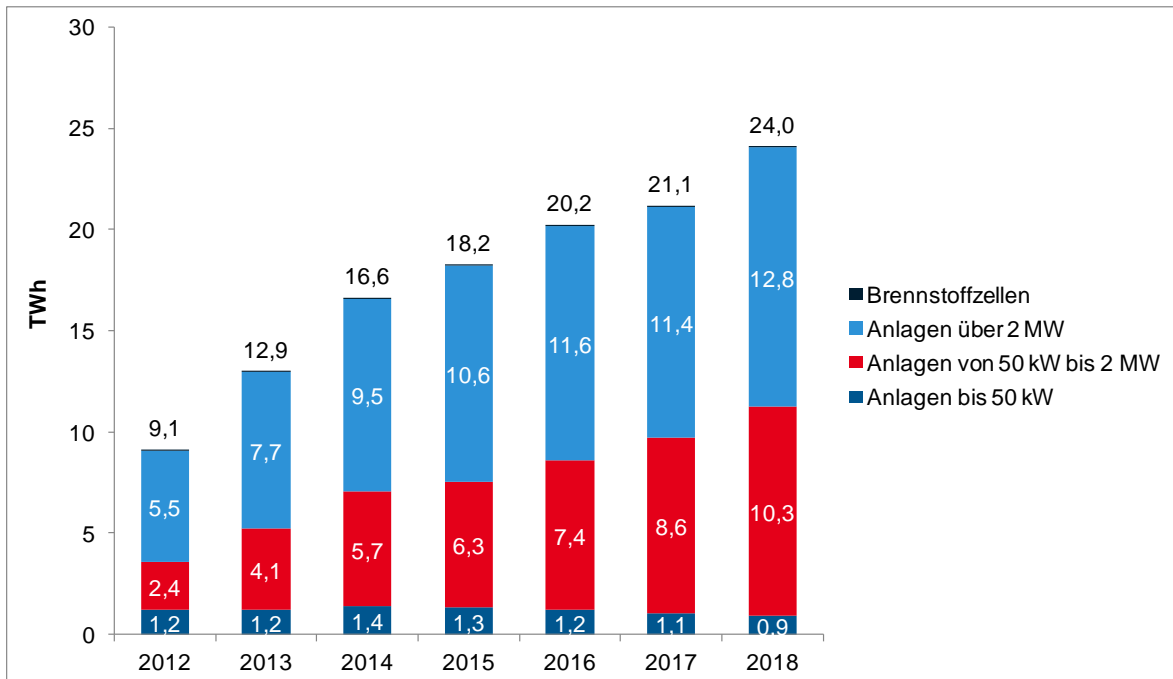
Überschlägig betrachtet wäre für eine Zielerreichung ein zusätzlicher Anlagenneubau von etwa 10 GW bzw. eine zusätzliche KWK-Stromerzeugung etwa 50 TWh und eine entsprechende Erschließung der Wärmesenken notwendig. Der bestehende Deckel im KWKG müsste für die Umsetzung dieses notwendigen Neubaus stark angehoben werden. Eine belastbare Abschätzung notwendigen Fördervolumens ist hier nicht möglich. Unter der vereinfachten Annahme eines mittleren notwendigen KWK-Zuschlags von 4 bis 6 Cent/kWh ergibt sich als Orientierungswert im Jahr 2020 ein zusätzliches Fördervolumen von 2 bis 3 Milliarden Euro. Andere politische Maßnahmen (wie z. B. Kapazitätselemente) oder aber Änderungen der Marktsituation in den nächsten Jahren könnten die wirtschaftliche Lage für KWK-Projekte verbessern und damit auch den notwendigen Förderbedarf senken.

Die vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland erstellen jedes Jahr eine Mittelfristprognose zur weiteren Entwicklung der geförderten KWK-Stromerzeugung und der Vergütungszahlungen.

Die aktuelle Mittelfristprognose vom Dezember 2013 erwartet in den nächsten Jahren einen Anstieg der förderfähigen Stromerzeugung. Im Jahr 2018 wird laut Mittelfristprognose eine KWK-Strommenge in Höhe von 24 TWh gefördert. Zusammen mit der Förderung von Wärmenetzen und Speichern steigt damit das Fördervolumen bis zum Jahr 2018 auf knapp über 700 Millionen Euro.

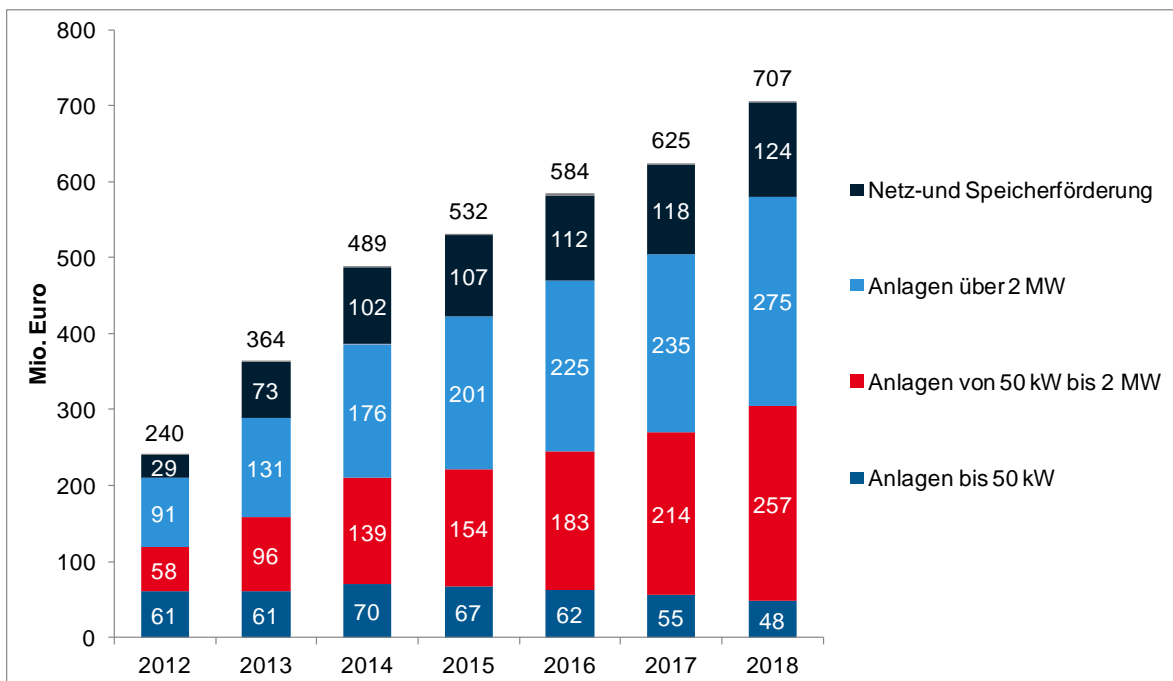
Unter den in dieser Studie getroffenen Annahmen zum weiteren Ausbau der KWK-Stromerzeugung erscheinen die Ergebnisse der KWK-Mittelfristprognose realistisch. Ohne eine Anpassung des KWKG könnte das Fördervolumen in Verbindung mit einem geringeren KWK-Ausbau auch etwas geringer ausfallen.

Abbildung 59: Entwicklung der förderfähigen KWK-Strommengen



Quelle: Eigene Darstellung nach KWK-Mittelfristprognose 2013

Abbildung 60: Entwicklung der KWK-Zuschlagszahlungen



Quelle: Eigene Darstellung nach KWK-Mittelfristprognose 2013

7.7 Empfehlungen zur Weiterentwicklung des KWKG

7.7.1 Allgemeine Empfehlungen

Das aktuelle Förderdesign des KWKG sollte in seiner Grundform beibehalten werden. Die arbeitsseitige Förderung von KWK-Stromerzeugung führt nicht nur zu einer Verbesserung der allgemeinen Wirtschaftlichkeit der geförderten Anlagen, sondern reizt damit auch den Betrieb an und führt damit zu einer Einsparung von Primärenergie und CO₂ gegenüber einer ungekoppelten Erzeugung. Bei einer prinzipiell vorstellbaren Umstellung der Förderung hin zu einer Leistungsförderung würden die KWK-Anlagen weniger oft laufen, da die Förderung keinen Einfluss mehr auf die Grenzkosten der Anlagen hätte.

Die in den letzten zwei KWK-Novellen eingeführte Förderung des Ausbaus der Wärme- und Kältenetze und der Wärme- und Kältespeichern hat zu einer verstärkten Ausbauaktivität geführt. Die Förderung durch Investitionskostenzuschüsse hat sich bewährt und sollte fortgeführt werden.

Bei der Festlegung von geeigneten Zuschlagssätzen für KWK-Anlagen muss das sehr volatile Marktumfeld der letzten Jahre und voraussichtlich auch nächsten Jahre bedacht werden. Durch die starken und zum Teil nicht vorherzusehenden Schwankungen der Strom- und Brennstoffpreise sowie des CO₂-Zertifikatepreises ist eine regelmäßige und ggf. auch kurzfristigere Überprüfung der KWK-Zuschlagssätze sinnvoll.

Für KWK-Anlagen, die ihren Strom vorwiegend ins öffentliche Netz einspeisen, haben sich die maßgeblichen Rahmen- und Marktbedingungen in den letzten Jahren deutlich verschlechtert. Die fixen Fördersätze des KWKG waren in dieser Phase nicht ausreichend, um die Auswirkungen der niedrigen Baseload-Preise an der Strombörse zu kompensieren. Die volatilen bzw. sinkenden Stromerlöse führen zu Unsicherheit bei den Investoren und Betreibern. Ein kostenminimaler Ausbau ist aber – gerade in Verbindung mit Wärmenetzen – von einem kontinuierlichen Ausbaugeschehen abhängig.

Überschlägig betrachtet wäre für eine Erreichung des KWK-Ziels eine zusätzliche KWK-Stromerzeugung von etwa 50 TWh notwendig. Der bestehende Deckel im KWKG müsste stark angehoben werden. Unter der vereinfachten Annahme eines notwendigen KWK-Zuschlags von 4 bis 6 Cent/kWh ergibt sich als Orientierungswert im Jahr 2020 ein zusätzliches Fördervolumen von 2 bis 3 Milliarden Euro. Andere politische Maßnahmen (Kapazitätselemente) oder Änderungen der Marktsituation könnten die wirtschaft-

liche Lage für KWK-Projekte verbessern und damit auch den notwendigen Förderbedarf senken.

7.7.2 KWK-Anlagen der Allgemeinen Versorgung

Der Neubau von Erdgas- und Steinkohle KWK-Anlagen, die im Bereich der allgemeinen Versorgung betrieben werden, ist unter den aktuellen Marktbedingungen nicht wirtschaftlich. Um einen Anlagenzubau in diesem Segment zu generieren, wäre eine starke Erhöhung der Förderzuschläge notwendig. Eine alleinige Lösung der sehr schlechten wirtschaftlichen Situation von neuen KWK-Anlagen durch das KWKG würde zu sehr hohen Zuschlagssätzen führen. Um das 25 % KWK-Ziel bis zum Jahr 2020 zu erreichen müsste die KWK-Stromerzeugung gegenüber der aktuellen Prognose deutlich gesteigert werden. Überschlägig betrachtet wäre für eine Zielerreichung ein zusätzlicher Anlagenneubau von etwa 10 GW und eine entsprechende Erschließung der Wärmesenken notwendig. Der bestehende Deckel im KWKG müsste für die Umsetzung dieses notwendigen Neubaus stark angehoben werden. Veränderungen der Marktsituation in den nächsten Jahren oder andere politische Maßnahmen (wie z. B. Kapazitätselemente) könnten die wirtschaftliche Lage für neue KWK-Projekte verbessern und damit auch die notwendige KWK-Förderung senken.

Bestehende KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung sind nur noch zum Teil wirtschaftlich. Kohlegefeuerte Anlagen weisen in den nächsten Jahren noch einen positiven Deckungsbeitrag 2 auf. Der Betrieb der Anlagen (ohne Berücksichtigung von Kapitalkosten) weist damit keinen Verlust auf. KWK-Anlagen, die mit Erdgas betrieben werden, sind im Moment nicht wirtschaftlich. Voraussichtlich erhöht sich der jährliche Verlust, den diese Anlagen aufweisen, in den nächsten Jahren infolge der sehr niedrigen Strompreise noch weiter. Wenn sich die Perspektive für diese Anlagen nicht verbessert, kann deren Abschaltung nicht ausgeschlossen werden. Der weitere Ausbau der Fernwärmenetze steht vor dem Hintergrund des hohen Anteils von Erdgas in der Fernwärme auch in Frage.

7.7.3 KWK- und KWKK- und ORC-Anlagen in der Industrie

Im Bereich der industriellen KWK ergibt sich ein differenziertes Bild. Je höher die Laufzeiten und Stromeigennutzungsquoten der KWK-Anlagen, desto größer kann der wirtschaftliche Vorteil gegenüber einer ungekoppelten Erzeugung sein. Wird die Fahrweise von KWK-Anlagen stärker an die Angebotssituation des Strommarktes angepasst (Flexibilisierung), kann dies zu deutlich geringeren Laufzeiten führen, was die durchschnittlichen Wirkungsgrade und somit die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt. Insofern wären im Zuge der erforderlichen Flexibilisierung des KWK-Zubaus verschärfte Anforderungen zur Hocheffizienz eher schädlich. Der wirt-

schaftliche Vorteil hängt allerdings in erheblichem Umfang von den Gas- und Strombezugspreisen der Unternehmen bzw. Betriebe ab. Gerade im Bereich der Gas- und Dampfturbinen zwischen 5 und 20 MW, deren energiewirtschaftlicher Beitrag (als Einzelkapazität und als Flexibilisierungs-Anlage) am interessantesten ist und die im Bereich der energieintensiven Industriezweige (insbesondere der Grundstoffchemie und der Papiererzeugung) am meisten vertreten sind, ist die Rentabilität für Neuanlagen oft nicht gegeben. Denn die häufig und erheblich von der Strom- und Energiesteuer und der EEG-Umlage befreiten sowie an der Strombörse tätigen Unternehmen haben so geringe Strombezugskosten, dass sich Neuinvestitionen in KWK-Anlagen größerer Leistung häufig nicht mehr rentieren.

Die Betriebe, die nicht von der EEG-Umlage befreit sind, müssen zukünftig auch als Eigenerzeuger einen erheblichen Anteil der EEG-Umlage bezahlen, so dass sich über die verbleibende Einsparung der EEG-Umlage in vielen Fällen kein ausreichender Beitrag zur Wirtschaftlichkeit mehr ergibt. Eine Reduktion der Entlastung des Strombezugs dieser Betriebe würde die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen in den betroffenen Branchen verbessern.

KWK-Anlagen werden heute bei der Stromsteuer nur bis 2 MW entlastet. Eine Gleichbehandlung von kleinen und größeren KWK-Anlagen hinsichtlich der Stromsteuer würde den Anreiz aufheben, Anlagen im Leistungssegment von 2 bis etwa 5 MW auf knapp unter 2 MW auszulagern.

Die relativ guten Rentabilitäten der verschiedenen BHKW-Leistungen sind sehr günstig für die weitere Diffusion der KWK-Anwendung in denjenigen Branchen, die ein hohes Wachstumspotenzial haben (z.B. sonstige Chemische Industrie, sonstige Wirtschaftszweige oder Fahrzeug- und Maschinenbau). Aber in diesen „neuen“ Anwenderbranchen ist die Kenntnis über die Vorteile der KWK oder auch KWKK wenig verbreitet.

7.7.4 Objekt-KWK

Höhere KWK-Zuschläge für Überschussstrom und direkt vermarkteten KWK-Strom

Der Strombezug wird mit einer Vielzahl von Umlagen und Abgaben, den Netzentgelten und der Stromsteuer belastet. Daher ist die Substitution des Strombezugs wirtschaftlich meist sehr attraktiv. In den letzten Jahren hat sich diese Situation durch die Belastung des Strombezugs mit neuen Umlagen sowie die gestiegene EEG-Umlage deutlich verbessert. Dagegen hat sich im gleichen Zeitraum die Vergütung für eingespeisten KWK-Strom, dessen Preis sich bei KWK-Anlagen bis 2 MW gemäß KWK-Gesetz am durchschnittlichen Baseloadpreis der EPEX orientiert, deutlich verschlechtert. Auch die Erlössituation für direktvermarkteten oder an

der Börse gehandelten KWK-Strom hat sich in der jüngeren Vergangenheit deutlich verschlechtert.

Insbesondere KWK-Anlagen, die den Strom nicht selbst im Versorgungsobjekt nutzen können, haben Probleme, einen wirtschaftlichen Betrieb zu realisieren. Dies betrifft vorrangig Heizkraftwerke im kommunalen Bereich, KWK-Anlagen in öffentlichen Verwaltungs- und Schulgebäuden sowie die gesamte Wohnungswirtschaft. Daher ist es sinnvoll, dem KWK-Strom, der in das öffentliche Netz eingespeist wird, einen höheren KWK-Zuschlag zu gewähren.

Umstellung des Förderzeitraums für unterste Leistungsklasse auf Betriebsstunden statt Jahre

Standardmäßig erhalten KWK-Anlagen über einen Zeitraum von 30.000 Vollbenutzungsstunden eine Förderung durch Zahlung von KWK-Zuschlägen. Kleine KWK-Anlagen bis 50 kW können eine Förderung über 10 Jahre erhalten. Dies führt dazu, dass kleine KWK-Anlagen, die lange Laufzeiten pro Jahr aufweisen, besonders von dieser Jahresregelung profitieren. Eine KWK-Anlage mit 50 kW elektrischer Leistung erhält bei 7.500 jährlichen Vollbenutzungsstunden über den Förderzeitraum von 10 Jahren deutlich höhere KWK-Zuschlagszahlungen als z. B. eine 100 kW-Anlage mit derselben jährlichen Laufzeit. Dies liegt in erster Linie in der Tatsache begründet, dass die Förderung der 100 kW-Anlage nur 30.000 Vollbenutzungsstunden gewährt wird.

Dies bedeutet ausdrücklich aber nicht, dass KWK-Anlagen mit einer Leistungsgröße von 50 kW eine besonders hohe Wirtschaftlichkeit aufweisen. Die Wirtschaftlichkeit hängt in erheblichem Maße vom Versorgungsobjekt ab. Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung dieser Studie haben deutlich gemacht, dass z. B. eine 50 kW-Anlage, die eine Schule mit Strom und Wärme versorgt, aufgrund der geringeren Benutzungsstundenanzahl nicht besonders wirtschaftlich ist. Prinzipiell erscheint es sinnvoll, aufgrund der höheren spezifischen Investitions- und Einbindungskosten im untersten Leistungsbereich eine längerfristige Förderung anzusetzen.

Andererseits profitieren von einer Förderung, die sich auf Betriebsjahre bezieht, besonders die KWK-Anlagen, die eine hohe jährliche Vollbenutzungsstundenanzahl aufweisen und in den meisten Fällen aufgrund dieser Tatsache schon eine gute Wirtschaftlichkeit aufweisen. Vielfach ist in der Planungspraxis sogar zu beobachten, dass KWK-Anlagen gezielt kleiner ausgelegt werden, um mit einer 50 kW-Anlage bei hohen Vollbenutzungsstunden und hoher Förderung das wirtschaftliche Optimum zu erreichen.

Um eine überdurchschnittliche Förderung der KWK-Anlagen bis 50 kW mit besonders langen Laufzeiten einzugrenzen, wird vorgeschlagen, statt eine Förderdauer von 10 Jahren **eine betriebs-**

stundenorientierte Förderung einzuführen. Angemessen erscheint ein Förderzeitraum von z. B. 60.000 Vollbenutzungsstunden.

Aus administrativen Gründen sollte die maximale Förderdauer auf 15 Jahre beschränkt bleiben. Sollten nach 15 Jahren die 60.000 Vollbenutzungsstunden noch nicht erreicht sein, endet die Förderung trotzdem nach Ablauf der 15 Jahre. Von einer solchen Regelung würden alle Anlagen bis 6.000 Betriebsstunden pro Jahr gegenüber der bisherigen Regelung profitieren. Alle KWK-Anlagen bis 50 kW, die mehr als 6.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr in Betrieb sind, würden gegenüber der bisherigen Förderpraxis weniger KWK-Zuschläge erhalten. Fehlanreize hinsichtlich zu klein dimensionierter KWK-Anlagen würden dadurch eher vermieden.

Pauschalzahlung für Anlagen bis 2 kW

Das derzeitige KWK-Gesetz ermöglicht in §7 Abs. 3 den Betreibern von Mikro-KWK-Anlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 2 kW, sich auf Antrag vom Netzbetreiber vorab eine pauschalierte Zahlung der Zuschläge für die Erzeugung von KWK-Strom auszahlen zu lassen. Diese Regelung wird von rund einem Drittel der Antragssteller in diesem Leistungsbereich in Anspruch genommen.

Es wird empfohlen die pauschalierte Einmalzahlung beizubehalten, um die Transaktionskosten für diese Leistungsklasse gering zu halten.

Vorbescheid bei Modernisierungsmaßnahmen von KWK-Anlagen größerer Leistung

Das KWK-Gesetz sieht bei Neuinstallationen und bei Modernisierungsmaßnahmen eine Zulassung erst nach erfolgter Inbetriebnahme vor. In der Praxis erweist sich bei der Modernisierung insbesondere die Ermittlung der „Neuinvestition“, an der sich die prozentuale Modernisierungsrate orientiert, als problematisch. Dies kann zu einer Verunsicherung beim BHKW-Betreiber führen, da dieser keine rechtssichere Auskunft seitens der ausführenden Behörde erhalten kann, ob die jeweils avisierte prozentuale Modernisierungsrate von 25 % bzw. 50 % auch im Rahmen der geplanten Maßnahmen anerkannt wird. Um eine Investitionssicherheit bei Modernisierungsmaßnahmen gewährleisten zu können, ist daher die Einführung eines Vorbescheides zumindest bei größeren Anlagenleistungen sinnvoll.

Entfall der Leistungsgrenze bei Nachrüstung

Die derzeitige Begrenzung des Fördertatbestandes der Nachrüstung (§5 Absatz 4 KWKG 2012) auf Anlagengrößen oberhalb 2 MW führt dazu, dass der Anwendungsbereich dieser Regelung sehr stark eingeschränkt wird. Industrielle Kleinanlagen, wie die

Nachrüstungen von Dampfturbinen oder Dampfmaschinen mit mehreren hundert Kilowatt elektrischer Leistung, fallen durch das Förderraster. Neben diesen jetzt bereits existierenden KWK-Potenzialen wäre mittelfristig sogar die Realisierung von Mini-KWK-Anlagen durch Zubau einer Stromerzeugungseinheit an eine bestehende kleine Heizkesselanlage denkbar. Wir empfehlen daher, die Leistungsbeschränkung beim Fördertatbestand der Nachrüstung komplett zu streichen.

Entfall der Leistungsgrenze bei KWK-Anlagen nach TEHG

Seit 2008 sind Betreiber von KWK-Anlagen, die in einem Versorgungsobjekt mit einer installierten Feuerungswärmeleistung von über 20 MW installiert werden, zur Teilnahme am Emissionshandel verpflichtet. Um die Auswirkungen der 3. Handelsperiode seit 2013 auszugleichen, sah das KWK-Gesetz 2012 eine Anhebung der KWK-Zuschlagssätze um 0,3 Cent/kWh vor. Diese Regelung gilt aber nur für KWK-Anlagen ab einer Leistungsgröße von 2 MW.

In der Realität werden auch kleinere KWK-Anlagen als 2 MW-Anlagen in Versorgungsobjekten, die dem TEHG unterliegen, eingebaut. Diese KWK-Anlagen unterliegen ebenso wie KWK-Anlagen ab 2 MW elektrischer Leistung den Bestimmungen der dritten Handelsperiode – erhalten hierfür aber keinen finanziellen Ausgleich. Daher erscheint es sinnvoll, die Leistungsgrenze von 2 MW fallen zu lassen.

7.7.5 Netze und Speicher

Die Förderung von Wärme- und Kältenetzen sowie von Wärme- und Kältespeichern sollte fortgeführt werden. Der Zubau bzw. die aktuellen Projekte bei Wärmespeichern zeigen eine Häufung des Speichervolumens der größeren Speicher im Bereich von 30.000 bis 45.000 m³. Bei einer größeren Auslegung der Speicher und höheren Gesamtkosten sinkt die anteilige Förderung, da jedes Projekt mit maximal 5 Millionen Euro gefördert wird.

Gerade in größeren Fernwärmesystemen wären größere Wärmespeicher für die bestmögliche Flexibilisierung des KWK-Einsatzes sinnvoll. Zudem sinken die spezifischen Kosten, je größer die Speicher gebaut werden. Eine Anhebung der Förderschwelle auf 10 Millionen Euro pro Projekt könnte zu einer besseren Dimensionierung der Wärmespeicher führen.

7.7.6 Weitere Maßnahmen zur Förderung von KWK, außerhalb des Einflussbereichs des KWKG

Die heutige Situation der KWK-Anlagen, die am Strommarkt agieren zeigt, dass ein ausreichend hoher CO₂-Preis eine wesentliche Grundlage für den wirtschaftlichen Erfolg dieser Effizienztechnologie am Strommarkt ist. Durch den Preisverfall am Markt für

CO₂-Zertifikate hat der CO₂-Preis seine politisch gewollte Lenkungswirkung derzeit verloren. Zur Fortsetzung einer erfolgreichen Klimapolitik ist es dringend geboten, den CO₂-Preis kurzfristig anzuheben, auf einem ausreichend hohen Niveau zu stabilisieren und langfristig weiter zu erhöhen.

Hier ist die Politik gefordert, sich auf europäischer Ebene für eine nachhaltige Kürzung des Emissionsbudgets im europäischen Emissionshandelssystem ETS einzusetzen. Ein nachhaltiger Preiseffekt ist ausschließlich bei einer Stilllegung von Zertifikaten zu erwarten. Zudem sollte die Gleichbehandlung der Wärmebereitstellung von KWK-Anlagen, die am ETS teilnehmen, und von dezentralen Heizungssystemen, für die keine CO₂-Kosten entstehen, sichergestellt werden. Kurzfristig kann dies über die kostenfreie Zuteilung von Zertifikaten für die Wärmebereitstellung oder brennstoffspezifische Aufschläge auf die Zuschlagszahlungen erfolgen.

Weiterhin empfehlen die Autoren, sowohl das Anlagen-Contracting auf hemmende und ungenutzte fördernde Faktoren hin zu untersuchen als auch über alternative Finanzierungs-Modelle zu informieren, da viele Unternehmen die Energieeffizienz-Investitionen gewöhnlich aus dem Cashflow finanzieren und die KWK-Option dann schnell in Vergessenheit gerät.

Für den Fall der Abwärmenutzung in ORC-Anlagen und die KWK-Anwendung mit Kälteerzeugung gelten die gleichen o. g. Empfehlungen. Hinzu kommen:

- Die Empfehlung einer zeitlich auf fünf Jahre begrenzten Bürgschaft für Abwärmenutzungs-Projekte, in denen ein Dritter die ORC-Anlage finanziert und betreibt (Contracting). Auf diese Weise sollen Erfahrungen gewonnen werden, wie das Risiko bei derartigen Projekten bzgl. der Kontinuität des Abwärmeeinfalls einzuschätzen ist, um derartige Investitionen einer Ausfallversicherung seitens der Versicherungswirtschaft zugänglich zu machen. Auch für andere KWK-Projekte könnte eine Ausfallbürgschaft die Attraktivität von Contracting-Projekten erhöhen.
- Die Empfehlung, für Betreiber von Kälte erzeugenden KWK-Anlagen zusätzlich zur bestehenden Förderung der KWK-Anlagen eine zeitlich begrenzte finanzielle Förderung von Absorptionsanlagen zu entwickeln (z. B. im Querschnittstechnik-Förderprogramm).

Da die industriellen KWK-Betreiber – insbesondere diejenigen in den bisher wenig von der KWK erschlossenen Branchen – auch ein Potenzial der flexiblen Strom- und Wärmenachfrage haben, sollte auch die Befähigung der Steuerung einer KWK-Anlage von Dritten über elektronische Kommunikation ein Fördertatbestand sein. Denn je nach Vergütung und Häufigkeit von Minuten- und Stunden-Reserve würde die Rentabilität der KWK-Anlage durch

eine entsprechende flexible Fahrweise von Produktionsanlagen und der KWK-Anlage verbessert werden können.

Da eine flexible Fahrweise vielen Unternehmen, die eine kleinere KWK-Anlage betreiben oder in sie investieren wollen, nicht bekannt ist, empfehlen die Autoren auch hier ein Informations- und Fortbildungsprogramm, das als weiteres Modul in das o. g. Informations- und Fortbildungsprogramm integriert werden könnte. Außerdem sollte dies eine Moduleinheit im Austauschprogramm und in der Initialberatung von Unternehmen sein, die an einem Energieeffizienz-Netzwerk teilnehmen.

8 Literatur

- AGEB (2012):** Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2012, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. Online verfügbar unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/DE/daten-und-fakten/bilanzen-1990-2012/bilanzen-1990-2012.html>
- AGFW:** Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK. Online verfügbar unter: www.agfw.org, Stand: 01.10.2013.
- AGFW:** Hauptbericht 2011. Frankfurt 2011.
- AGORA Energiewende** Lastmanagement als Beitrag zur Deckung des Spitzenlastbedarfs in Süddeutschland. Endbericht einer Studie von Fraunhofer ISI und der Forschungsstelle für Energiewirtschaft. Berlin: August 2013.
- AGFW, 2010** AGFW: Verfahren zur Entwicklung einer digitalen Wärmebedarfskarte - Kurzbericht -, Forschung und Entwicklung Heft 14, Frankfurt 2010
- BNetzA, 2014** Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt: Monitoringbericht 2013. Bonn, 2014
- BBSR, 2011** BBSR-Wohnungsmarktprognose 2025, in: Analysen Bau.Stadt.Raum, Band 4, Bonn, 2011
- BBSR, 2013** BBSR: Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung (INKAR) – Siedlungsdichte 2011, Bonn, 2013
- BBSR, 2014** BBSR-Wohnungsmarktbeobachtungssystem– Interaktive Karten auf raumeobachtung.de, Stand: August 2014
- BBSR, 2014b** Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/ Bundesliegenschaften. Bonn, 2014
- BDH, 2014** Bundesindustrieverband Deutschland Haus, Energie- und Umwelttechnik e.V.: Bilanz Heizungsindustrie 2013, Berlin/Köln, 2014
- BEI, 2011** Bremer Energie Institut: Potenzialerhebung von Kraft-Wärme-Kopplung in Nordrhein-Westfalen, Bremer Energie Institut, 2011
- BEI, 2005** Bremer Energie Institut, DLR Stuttgart: Analyse des nationalen Potenzials für den Einsatz hocheffizienter KWK, einschließlich hocheffizienter Kleinst-KWK, unter Berücksichtigung der sich aus der EU-KWK-RL ergebenden Aspekte, Bremen, 2005
- BHKW, 2011** Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung: BHKW-Plan - Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung von Blockheizkraftwerken, Stuttgart, 2011

- BI, 2014** Borderstep Institut: Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Berlin, 2014
- BKI, 2010** Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH: Baukosten 2010: Teil 1: Statistische Kostenwerte für Gebäude, Stuttgart, 2010
- BMVBW, 2001** Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Anlage 6: Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden und Liegenschaften. S. 6.13 - 6.17, 2001
- BMWi, 2014** BMWi: Zahlen und Fakten - Energiedaten, Stand: April 2014
- Bürger, V., Fette, M., Herbst, A., Jochem, E., Schulz, W., Reitze, F., & Toro, F. (2012):** Erarbeitung einer Integrierten Wärme- und Kältestrategie, Arbeitspaket 5 – Weiterentwicklungsoptionen des Rechts- und Förderrahmens, Analyse für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Freiburg/Karlsruhe
- DENA, 2012** Deutsche Energie-Agentur: Planungshandbuch. Energieeffizientes Bauen und Sanieren. Wirtschaftlichkeit. Berlin, 2013
- Destatis, 2013** Statistisches Bundesamt: Fachserie 4, Reihe 4.3. Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden. Wiesbaden, 2013
- DESTATIS Fachserie 4.3 (2013):** Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden - 2011. Wiesbaden
- DESTATIS (2008-2013):** Jahrerhebung über die Stromerzeugungsanlagen *) im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe- Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Art der Anlage, Fachserie 4, Reihe 6.4
- Eikmeier et al. (2011):** Potenzialerhebung von Kraft-Wärme-Kopplung in Nordrhein-Westfalen, Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- Green Chiller (2010):** Kälte aus Wärme: Absorptions- und Adsorptionstechnik. Verband für Sorptionskälte, Berlin
- Henning, H.M., Dengler, J., Fette, M., Idrissova, F., Jochem, E., Kost, C., Reitze, F., Schnabel, L., Schulz, W., Steinbach, J., Toro, F. (2011):** Erarbeitung einer Integrierten Wärme- und Kältestrategie, Arbeitspaket 1 - Bestandsaufnahme und Strukturierung des Wärme- und Kältebereichs, Freiburg, Berlin, Karlsruhe

Henning, H. M., Urbaneck, T., Morgenstern, A., Nùñez, T., Wiemken, E., & Thümmeler, E. (2009): Kühlen und Klimatisieren mit Wärme, Berlin

IER, 2001 Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung: Ökonomische und ökologische Bewertung der elektrischen Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Heizungssystemen. Stuttgart, 2001

IFAM, 2014 Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM: Datenerhebung Gebäudebestand: Erfassung von statistischen Basisdaten zum Nichtwohngebäudebestand und empirische Analyse der energetischen Qualität ausgewählter Gebäudetypen. Band I: Übersicht Datenquellen (noch nicht veröffentlicht)

IFB, 2004 Institut für Bauforschung e.V.: Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau. Hannover, 2004

Integrierte Wärme- und Kältestrategie Deutschland (2009-2012): Erarbeitung einer Integrierten Wärme- und Kältestrategie für Deutschland, AP6 Integrale Modellierung auf Basis vorhandener sektoraler Modelle und Erstellen eines integrierten Rechenmodells des Wärme- und Kältebereichs, Studie für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

ITG, 2012 Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden: BDEW-Heizkostenvergleich Neubau 2012. Dresden, 2012

IWU, 2013 Institut Wohnen und Umwelt: Energetische Sanierung des Gebäudebestandes privater Haushalte. Darmstadt, 2013

KWK Mittelfristprognose 2014 http://www.netztransparenz.de/de/file/KWK-MiFri_2003-2018_Veroeffentlichung.pdf

Öko-Institut 2014: Aktueller Stand der KWK-Erzeugung (August 2014). Bericht für das BMWi. Berlin

Öko-Institut, IZES, Ziesing 2014: KWK-Ausbau: Entwicklung, Prognose, Wirksamkeit im KWK-Gesetz unter Berücksichtigung von Emissionshandel, Erneuerbare-Energien-Gesetz und anderen Instrumenten. Bericht für das UBA. Berlin und Saarbrücken.

ORC-Fachverband e. V. (2014):

- a) Online verfügbare Informationen unter <http://orc-fachverband.de/>
- b) Persönliche Mitteilung Dr. Christian Gloria, Geschäftsführer des ORC-Fachverbandes

Prognos, BHKW Consult, Fraunhofer IFAM, IREES (2014): Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des

KWKG im Jahr 2014. Zwischenbericht für den BMWi. Berlin, Raststadt, Bremen, Karlsruhe

- Prognos/EWI/GWS 2014** Prognos AG, EWI, GWS, *Entwicklung der Energiemärkte - Energierferenzprognose, Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie*, Basel/ Köln/Osnabrück 2014
- Prognos 2012:** Beitrag von Wärmespeichern (in Verbindung mit KWK-Anlagen) zur Integration erneuerbarer Energien (2012). Kurzstudie für den AGFW. Berlin
- Prognos 2013:** Maßnahmen zur nachhaltigen Integration von Systemen zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung in das neue Energieversorgungssystem. Bericht für den BDEW und AGFW. Berlin
- Safarik, M., Richter, L. & Albring, P. (2010):** Stand und Tendenzen bei der thermischen Kälteerzeugung im kleinen und mittleren Leistungsbereich. BHKS-Almanach
- Schmid, W. (2011):** Solarunterstützte Kühlung: Absorptionskältemaschine erhöht COP von konventionellen Flüssigkeitskühlern, KI – Kälte/Luft/Klimatechnik, 2011, Nr. 8-9
- Stabu, 2012** Statistisches Bundesamt: Bauen und Wohnen Mikrozensus - Zusatzerhebung 2010 Bestand und Struktur der Wohneinheiten Wohnsituation der Haushalte, Wiesbaden, 2012
- Stabu, 2014** Statistisches Bundesamt: Wohngebäude und Wohnungsbestand - Stichtag 31.12.2011, Wiesbaden, 2014
- Stabu, 2014b** Statistisches Bundesamt: Gebäude und Wohnungen – Ergebnisse des Zensus am 9. Mai 2011, Wiesbaden, 2014
- TUB, 2012** Technische Universität Berlin: Fernwärmeangetriebene Absorptionskälteanlagen zur Klimatisierung von Rechenzentren. Berlin, 2012
- Verband für Sorptionskälte e.V. (2014):** Absorption. Online verfügbar unter:
http://www.greenchiller.de/green4_1_absorption.php
- VDI, 2067** Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 2067. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Düsseldorf
- VIK (2013):** Statistiken der Energiewirtschaft – Ausgabe 2013, VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft

9 Anhang

9.1 Ergänzende Informationen zu Kapitel 4

9.1.1 Gemeinsame Rahmenbedingungen

Tabelle 63: Endkundenpreise Erdgas nach Kundengruppen und Verbrauchswerten bis 2050, real, oberer Heizwert, ohne MwSt., Steuern und Abgaben

		2014	2020	2030	2040	2050
Haushalte, < 55.500 kWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	4,8	5,4	5,6	6,0	5,9
GHD 1, < 55.500 kWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	4,6	5,3	5,5	5,7	5,9
GHD 2, > 55.555 kWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	4,3	5,0	5,2	5,4	5,6
Industrie 1, < 277 MWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	4,4	5,1	5,2	5,3	5,4
Industrie 2, < 2,7 MWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	4,2	4,9	5,0	5,1	5,2
Industrie 3, < 27,7 GWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	3,8	4,5	4,6	4,7	4,8
Industrie 4, < 278 GWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	3,2	3,9	4,0	4,1	4,2
Industrie 5, < 1.111 GWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	2,8	3,5	3,6	3,7	3,8
Industrie 6, > 1.111 GWh	Cent ₂₀₁₃ /kWh	2,6	3,3	3,4	3,5	3,6

Quelle: Prognos nach Eurostat

Tabelle 64: Zusammensetzung und Entwicklung der Strompreise für Haushalte und Gewerbekunden

	2010	2011	2012	2013	2014	2020	2030	2040	2050
Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)									
Beschaffung	5,6	5,0	5,1	4,7	4,2	4,3	6,8	8,5	9,1
Vertrieb	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Netznutzungsent.	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,8	7,0	7,2	7,3
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Konzessionsabg.	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe Netto (ohne MWSt.)	19,1	19,9	20,3	22,2	22,4	23,7	23,2	23,1	23,1
Summe Brutto (inkl. MWSt.)	22,7	23,7	24,2	26,4	26,7	28,2	27,6	27,5	27,5
GHD 1: Dienstleistungsgewerbe, 50 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)									
Beschaffung	4,4	5,0	4,9	4,1	3,8	4,1	6,6	8,2	8,7
Vertrieb	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Netznutzungsent.	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	6,0	6,1	6,3	6,5
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Konzessionsabg.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	0,0
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe Netto (ohne MWSt.)	15,9	18,0	18,2	19,6	20,1	21,6	21,0	20,8	18,7
GHD 2: Einzelhandel, 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)									
Beschaffung	4,4	5,0	4,9	4,1	3,8	4,1	6,6	8,2	8,7
Vertrieb	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Netznutzungsent.	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	6,0	6,1	6,3	6,5
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Konzessionsabg.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe Netto (ohne MWSt.)	15,7	17,8	18,0	19,3	19,8	21,3	20,7	20,5	20,4
GHD 2a: Schule, 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (inkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)									
Beschaffung	4,4	5,0	4,9	4,1	3,8	4,1	6,6	8,2	8,7
Vertrieb	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Netznutzungsent.	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	6,0	6,1	6,3	6,5
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Konzessionsabg.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe Netto (ohne MWSt.)	15,7	17,8	18,0	19,3	19,8	21,3	20,7	20,5	20,4
Summe Brutto (inkl. MWSt.)	18,6	21,2	21,4	23,0	23,5	25,4	24,6	24,4	24,3
GHD 3: Krankenhaus, 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene (inkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)									
Beschaffung	4,4	5,0	4,9	4,1	3,8	4,1	6,6	8,2	8,7
Vertrieb	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Netznutzungsent.	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,9	4,0	4,1	4,2
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Konzessionsabg.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe Netto (ohne MWSt.)	13,4	15,6	15,7	17,0	17,4	18,8	18,1	17,9	17,8
Summe Brutto (inkl. MWSt.)	15,9	18,6	18,7	20,2	20,7	22,4	21,6	21,3	21,1

Quelle: Prognos 2014

Tabelle 65: Zusammensetzung und Entwicklung der Stromendkundenpreise für Industriekunden

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020	2030	2040	2050
IND 1: Kleingewerbe, 50 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)										
Beschaffung	4,4	5,0	4,9	4,1	3,8	3,9	4,1	6,6	8,2	8,7
Vertrieb	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Netznutzungsent.	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	6,0	6,1	6,3	6,5
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,0	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Konzessionsabg.	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Stromsteuer	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe Netto (ohne MwSt.)	15,2	17,8	17,9	19,3	19,8	19,9	21,3	20,7	20,5	20,5
IND 2: KMU, 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)										
Beschaffung	4,4	5,0	4,9	4,1	3,8	3,9	4,1	6,6	8,2	8,7
Vertrieb	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Netznutzungsent.	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	6,0	6,1	6,3	6,5
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,0	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Konzessionsabg.	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Stromsteuer	1,3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe Netto (ohne MwSt.)	14,7	17,2	17,3	18,7	19,1	19,2	20,7	20,1	19,9	19,8
IND 3: KMU, 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)										
Beschaffung	4,4	5,0	4,9	4,1	3,8	3,9	4,1	6,6	8,2	8,7
Vertrieb	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Netznutzungsent.	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,9	4,0	4,1	4,2
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,0	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Konzessionsabg.	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Stromsteuer	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,6	1,6	1,6
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe Netto (ohne MwSt.)	12,0	14,3	14,4	15,7	16,1	16,1	17,5	17,4	17,1	17,0
IND 4: Industriebetrieb, 10000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich)										
Beschaffung	4,4	5,0	4,9	4,1	3,8	3,9	4,1	6,6	8,2	8,7
Vertrieb	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Netznutzungsent.	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,9	4,0	4,1	4,2
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,0	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabg.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Stromsteuer	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe Netto (ohne MwSt.)	10,9	13,2	13,1	14,0	14,6	14,6	16,0	15,5	15,2	15,1

Quelle: Prognos 2014

Tabelle 66: Zusammensetzung und Entwicklung der Stromendkundenpreise für Industriekunden, Fortsetzung

	2010	2011	2012	2013	2014	2020	2030	2040	2050
IND 5: (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene									
(exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)									
Beschaffung	4,5	5,1	4,2	3,6	3,6	4,0	6,4	7,9	8,3
Vertrieb	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Netznutzungsent.	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,9	2,0	2,0	2,1
EEG-Umlage	2,2	3,7	3,7	5,3	6,1	6,7	3,5	1,5	0,8
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe Netto (ohne MWSt.)	8,5	10,8	9,9	11,0	11,9	13,1	12,3	11,9	11,6
IND 6: (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene									
(exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)									
Beschaffung	4,5	5,1	4,2	3,6	3,6	4,0	6,4	7,9	8,3
Vertrieb	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Netznutzungsent.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
EEG-Umlage	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe Netto (ohne MWSt.)	5,2	6,0	5,0	4,5	4,5	4,9	7,3	8,8	9,2
IND 7: (energieintensive Industrie), 1000000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene									
(exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)									
Beschaffung	4,5	5,1	4,2	3,6	3,6	4,0	6,4	7,9	8,3
Vertrieb	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Netznutzungsent.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
EEG-Umlage	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Sonstige Umlagen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe Netto (ohne MWSt.)	4,9	5,6	4,7	4,1	4,1	4,5	6,9	8,4	8,8

Quelle: Prognos 2014

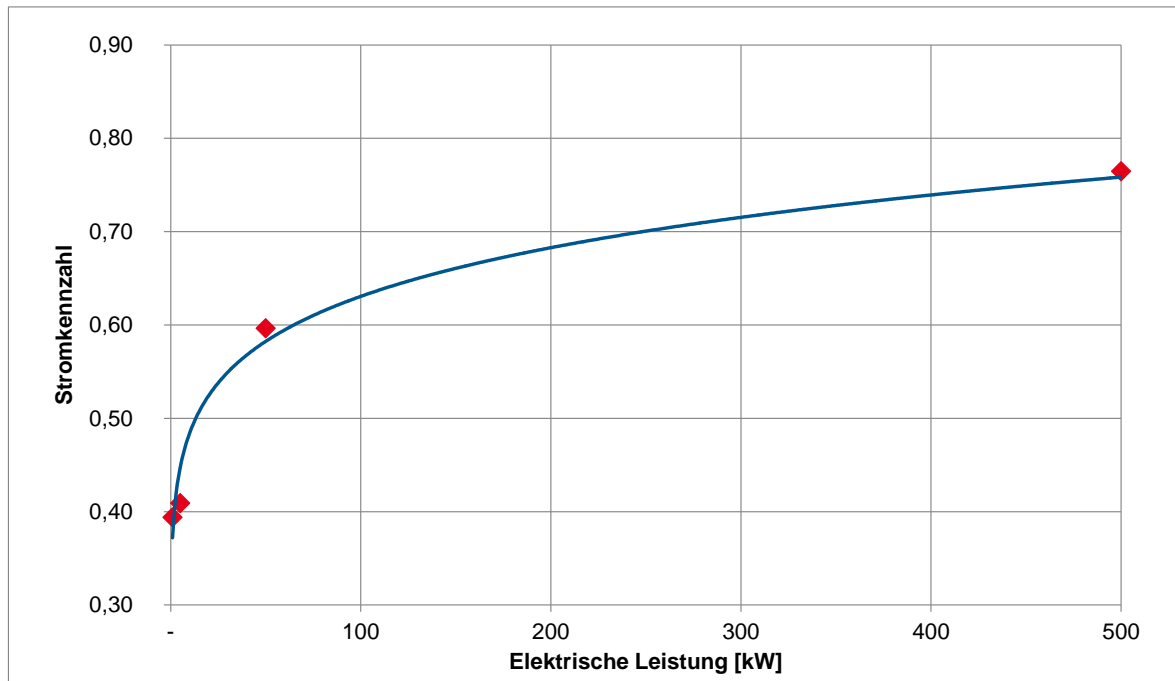
Tabelle 67: Endkundenpreise Strom nach Kundengruppen und Verbrauchswerten bis 2050, bis auf Haushalte, Schule (GHD 2a) und Krankenhaus (GHD 3) ohne MwSt.

Kundengruppe		Netzebene	2014	2020	2030	2040	2050
Haushalte (inkl. MwSt.), 3.500 kWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	NS	26,7	28,2	27,6	27,5	27,5
GHD 1, (Dienstleistungsgewerbe) 50 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	NS	20,1	21,6	21,0	20,8	18,7
GHD 2, (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	NS	19,8	21,3	20,7	20,5	20,4
GHD 2a, (Schule, inkl. MwSt.), 200 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	NS					
GHD 3, (Krankenhaus, inkl. MwSt.), 1000 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	MS	20,7	22,4	21,6	21,3	21,1
Industrie 1, (Kleingewerbe), 5 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	NS	19,8	21,3	20,7	20,5	20,5
Industrie 2, (KMU), 200 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	NS	19,1	20,7	20,1	19,9	19,8
Industrie 3, (KMU), 1.000 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	MS	16,1	17,5	17,4	17,1	17,0
Industrie 4, (Industriebetrieb), 10.000 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	MS	14,6	16,0	15,5	15,2	15,1
Industrie 5, (Industriebetrieb), 100.000 MWh pro Jahr	Cent ₂₀₁₃ /kWh	HS	12,1	13,2	12,4	12,0	11,8
Industrie 6, (energieintensive Industrie), 100.000 MWh pro Jahr, ermäßigte Netzentgelte	Cent ₂₀₁₃ /kWh	HS	4,7	5,1	7,5	9,0	9,4
Industrie 7, (energieintensive Industrie), 1.000 GWh pro Jahr, ermäßigte Netzentgelte	Cent ₂₀₁₃ /kWh	HS	4,3	4,7	7,1	8,6	9,0

Quelle: Prognos

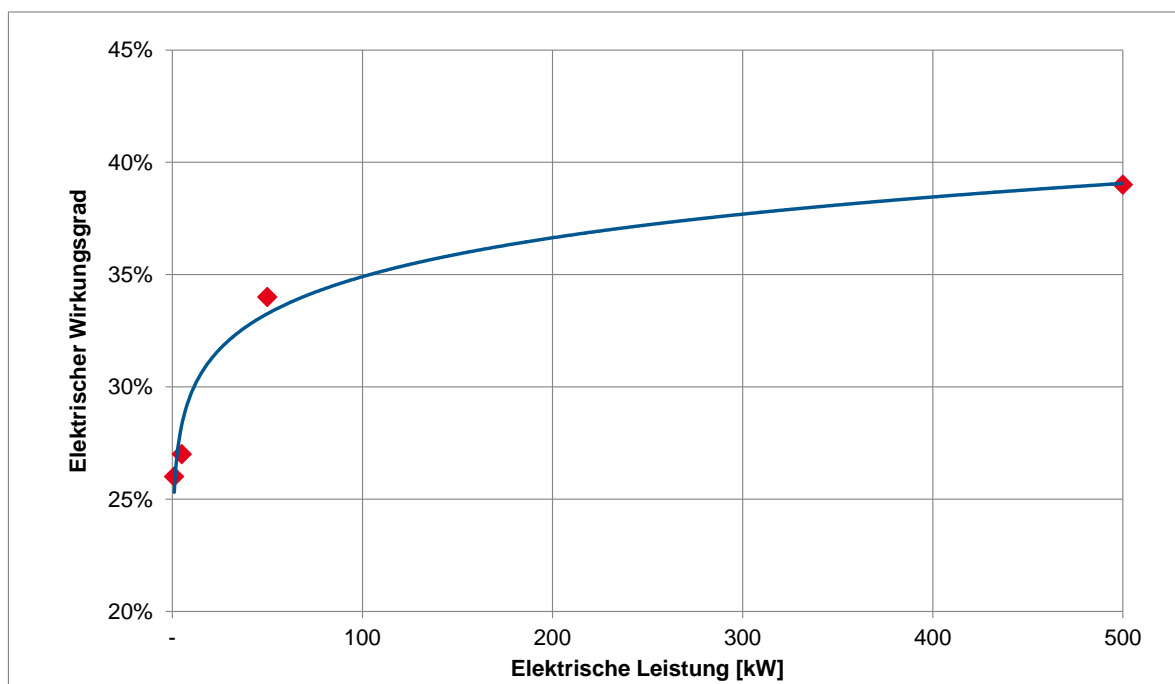
9.1.2 Private Haushalte und GHD

Abbildung 61: Ausgleichsfunktion der Stromkennzahl der BHKW



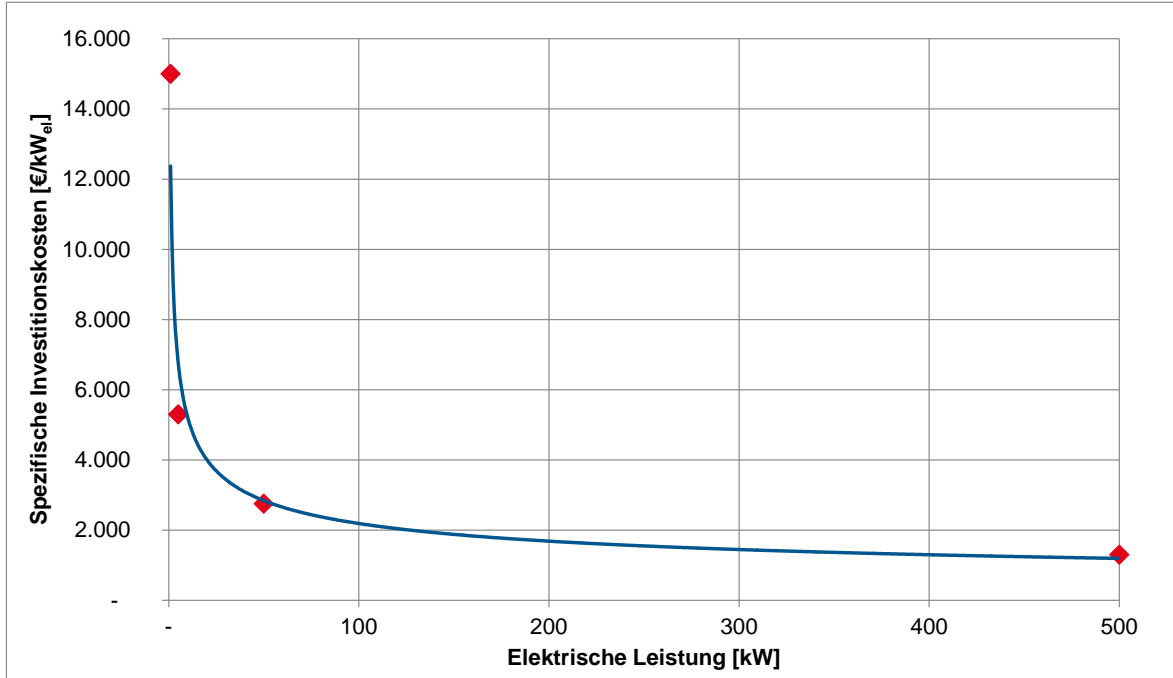
Quelle: IFAM 2014

Abbildung 62: Ausgleichsfunktion des elektrischen Wirkungsgrades der BHKW



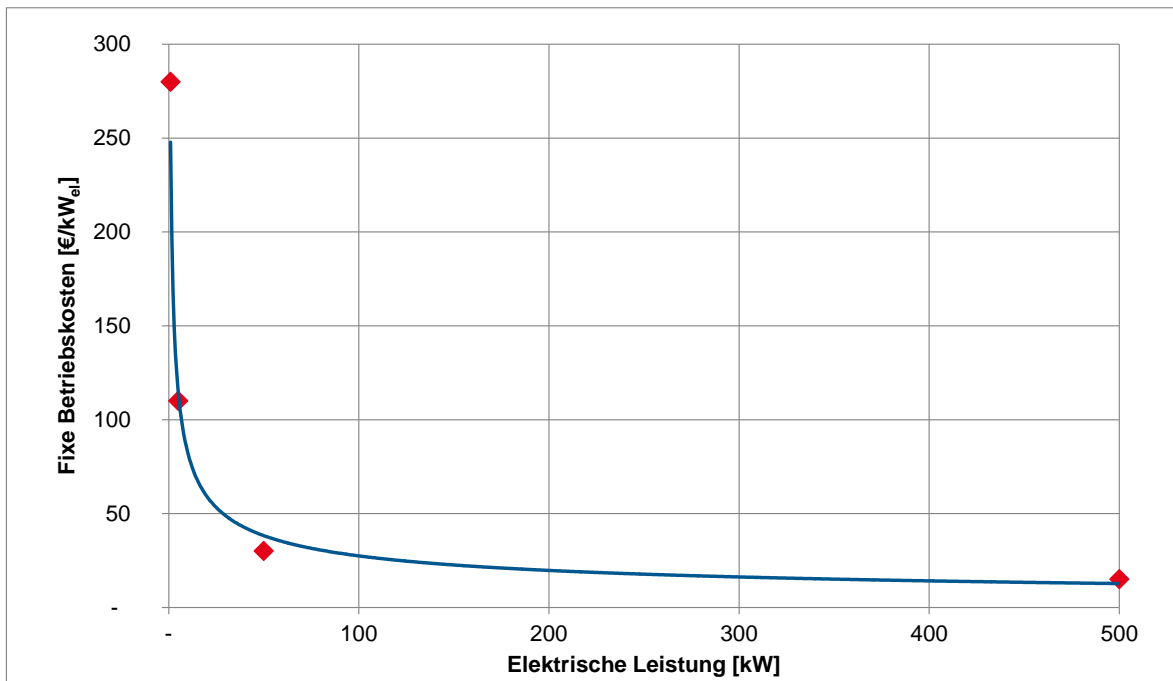
Quelle: IFAM 2014

Abbildung 63: Ausgleichsfunktion der spezifischen Investitionssummen der BHKW



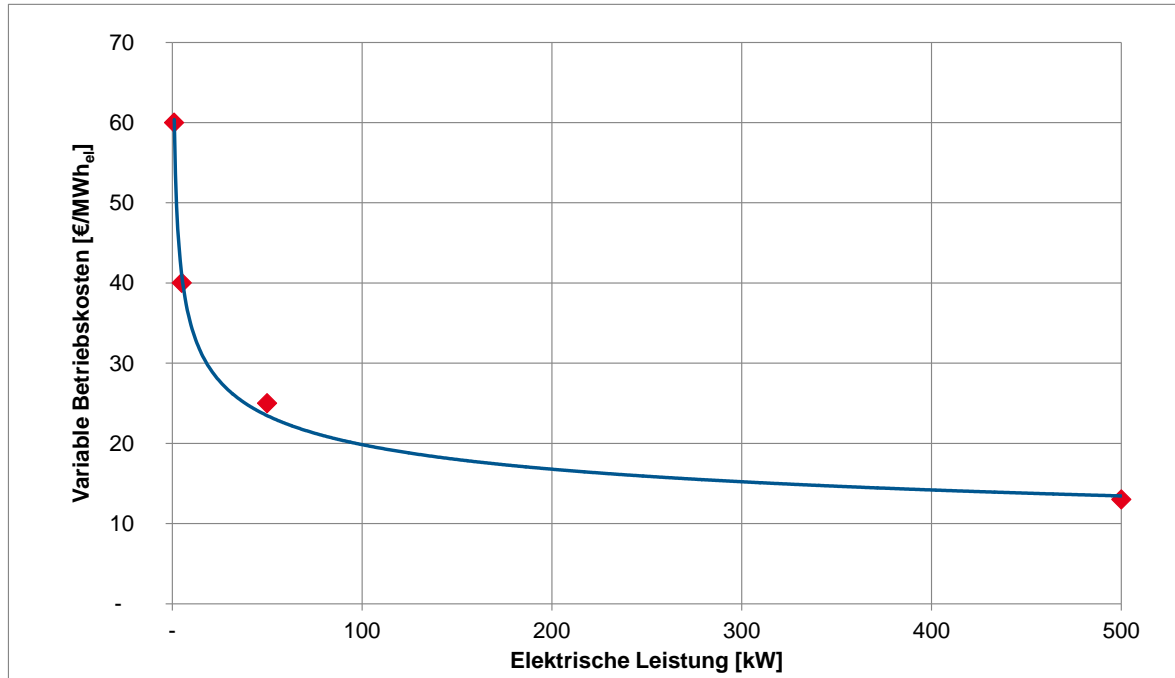
Quelle: IFAM 2014

Abbildung 64: Ausgleichsfunktion der fixen Betriebskosten der BHKW



Quelle: IFAM 2014

Abbildung 65: Ausgleichsfunktion der variablen Betriebskosten der BHKW



Quelle: IFAM 2014

Tabelle 68: Gebäude- und Anlagenkennwerte für EFH

Gebäudetyp und Baualter	Einheit	RMH 1969	EFH 1958	EFH 1969	REH 1969
Nutzenergiebedarf	MWh/a	20,4	25,4	33,3	36,7
Spitzenlast	kW	10,9	13,5	17,7	19,5
Stromeigennutzungsquote		50 %	50 %	50 %	50 %
Volllaststunden KWK	h/a	4.500	4.500	4.500	4.500
Anteil Wärmeerzeugung aus KWK		60 %	60 %	60 %	60 %
Thermische Leistung BHKW in % der Spitzenlast		25 %	25 %	25 %	25 %
Thermische Leistung KWK	kW _{th}	2,7	3,4	4,4	4,9
Stromkennzahl		0,37	0,38	0,40	0,40
Elektrische Leistung BHKW	kW _{el}	1,0	1,3	1,8	2,0
Wirkungsgrad el.	% _{Hi}	25,3 %	25,8 %	26,3 %	26,5 %
Investitionskosten inkl. Planungskosten	€ ₂₀₁₃ /kW _{el}	12.316	11.230	10.000	9.598
Fixe Betriebskosten	€ ₂₀₁₃ /(kW _{el} a)	246	219	189	179
Variable Betriebskosten	€ ₂₀₁₃ /MWh _{el}	60	57	53	51
Leistung Gaskessel	kW	10,9	13,5	17,7	19,5
Zinssatz volkswirtschaftlich		3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %
Zinssatz betriebswirtschaftlich		6,0 %	6,0 %	6,0 %	6,0 %

Quellen: (IWU 2013), IFAM 2014

Tabelle 69: Gebäude- und Anlagenkennwerte für MFH (Teil 1/2)

Gebäudetyp und Baualter	Einheit	MFH 1979	MFH vor 1948	MFH 1958	MFH 1949
Nutzenergiebedarf	MWh/a	54,9	71,6	74,6	78,0
Spitzenlast	kW	23,5	30,7	32,0	33,5
Stromeigennutzungsquote		10 %	10 %	10 %	10 %
Volllaststunden KWK	h/a	5.000	5.000	5.000	5.000
Anteil Wärmeerzeugung aus KWK		64%	64%	64%	64%
Thermische Leistung BHKW in % der Spitzenlast		30%	30%	30%	30%
Thermische Leistung KWK	kW _{th}	7	9	10	10
Stromkennzahl		0,42	0,44	0,44	0,44
Elektrische Leistung BHKW	kW _{el}	3,0	4,0	4,2	4,4
Wirkungsgrad el.	% _{Hi}	27 %	28 %	28 %	28 %
Investitionskosten inkl. Planungskosten	€ ₂₀₁₃ /kW _{el}	8.209	7.333	7.206	7.070
Fixe Betriebskosten	€ ₂₀₁₃ /(kW _{el} a)	147	127	125	122
Variable Betriebskosten	€ ₂₀₁₃ /MWh _{el}	46	43	43	42
Leistung Gaskessel	kW	23,5	30,7	32,0	33,5
Zinssatz volkswirtschaftlich		3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %
Zinssatz betriebswirtschaftlich		6,0 %	6,0 %	6,0 %	6,0 %

Quelle: (DENA 2012), IFAM 2014

Tabelle 70: Gebäude- und Anlagenkennwerte für MFH (Teil 2/2)

Gebäudetyp und Baualter	Einheit	GMFH vor 1948	GMFH 1949	GMFH 1958	GMFH 1969
Nutzenergiebedarf	MWh/a	190,5	268,8	355,0	410,2
Spitzenlast	kW	81,7	115,3	152,3	176,0
Stromeigennutzungsquote		10 %	10 %	10 %	10 %
Volllaststunden KWK	h/a	5.000	5.000	5.000	5.000
Anteil Wärmeerzeugung aus KWK		64 %	64 %	64 %	64 %
Thermische Leistung BHKW in % der Spitzenlast		30 %	30 %	30 %	30 %
Thermische Leistung KWK	kW _{th}	25	35	46	53
Stromkennzahl		0,50	0,52	0,54	0,55
Elektrische Leistung BHKW	kW _{el}	12,1	17,9	24,5	28,9
Wirkungsgrad el.	% _{Hi}	30 %	31 %	32 %	32 %
Investitionskosten inkl. Planungskosten	€ ₂₀₁₃ /kW _{el}	4.840	4.182	3.716	3.496
Fixe Betriebskosten	€ ₂₀₁₃ /(kW _{el} a)	75	62	54	50
Variable Betriebskosten	€ ₂₀₁₃ /MWh _{el}	33	30	28	27
Leistung Gaskessel	kW	81,7	115,3	152,3	176,0
Zinssatz volkswirtschaftlich		3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %
Zinssatz betriebswirtschaftlich		6,0 %	6,0 %	6,0 %	6,0 %

Quelle: (DENA 2012), IFAM 2014

Tabelle 71: Gebäude- und Anlagenkennwerte für GHD-Gebäude

Gebäudetyp	Einheit	Krankenhaus	Bürogebäude	Gewerbebetrieb
Nutzenergiebedarf	MWh/a	2.000	100	2.000
Spitzenlast	kW	671	79	956
Stromeigennutzungsquote		90 %	40 %	50 %
Volllaststunden KWK	h/a	6.000	4.000	4.500
Anteil Wärmeerzeugung aus KWK		60 %	47 %	65 %
Thermische Leistung BHKW in % der Spitzenlast		30 %	15 %	30 %
Thermische Leistung KWK	kW _{th}	201	12	287
Stromkennzahl		0,65	0,45	0,68
Elektrische Leistung BHKW	kW _{el}	131	5,4	195
Wirkungsgrad el.	% _{Hi}	36 %	28 %	37 %
Investitionskosten inkl. Planungskosten	€ ₂₀₁₃ /kW _{el}	1.980	6.586	1.705
Fixe Betriebskosten	€ ₂₀₁₃ /(kW _{el} a)	24	111	20
Variable Betriebskosten	€ ₂₀₁₃ /MWh _{el}	19	40	17
Leistung Gaskessel	kW	671	79	956
Zinssatz volkswirtschaftlich		3,0 %	3,0 %	3,0 %
Zinssatz betriebswirtschaftlich		8,0 %	8,0 %	8,0 %

Quelle: IFAM 2014

Tabelle 72: Wärmedämmmaßnahmen für EFH

Gebäudetyp, Baualter	Einheit	RMH 1969	EFH 1958	EFH 1969	REH 1969
Nutzenergiebedarf (vor Sanierung)	MWh/a	20,4	25,4	33,3	36,7
Volllaststunden, Heizlast	h/a	1.878	1.878	1.878	1.878
Spitzenlast (vor der Sanierung)	kW	10,9	13,5	17,7	19,5
Anlagentechnik Bestand		Niedertemperaturkessel Heizöl	Niedertemperaturkessel Erdgas	Niedertemperaturkessel Heizöl	Niedertemperaturkessel Erdgas
Maßnahmen					
Außenwand		Wärmedämmverbundsystem auf Altputz im Zuge einer ohnehin erforderlichen umfassenden Putzsanierung			
Fenster		3-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)			
Dach		keine	Dämmung zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neueindeckung, Entsorgung der vorhandenen Dämmung zwischen den Sparren		
oberste Geschossdecke		Dämmung der obersten Geschossdecke, nicht begehbar, Entsorgung der vorhandenen Dämmung		keine	keine
Kellerdecke		Dämmung der Kellerdecke unterseitig, ohne zusätzlichen Schutz gegen mechanische Beschädigung			
Energiebedingte Mehrkosten					
Außenwand	€	2.974	6.390	8.153	8.813
Fenster	€	1.064	1.120	1.456	1.904
Dach	€	0	4.459	6.711	4.961
oberste Geschossdecke	€	1.997	1.049	0	0
Kellerdecke	€	4.974	3.847	3.847	3.143
Summe	t€	11,0	16,9	20,2	18,8
Sparpotenziale (Nutzenergie)					
Außenwand	kWh/a	1.981	3.860	5.702	6.935
Fenster	kWh/a	826	789	1.565	2.167
Dach	kWh/a	0	3.684	3.354	3.179
oberste Geschossdecke	kWh/a	2.394	1.667	0	0
Kellerdecke	kWh/a	2.477	1.667	1.901	1.734
Summe	MWh/a	7,7	11,7	12,5	14,0
Nutzenergiebedarf nach der Sanierung	MWh/a	12,71	13,68	20,79	22,68
Spitzenlast nach der Sanierung	kW	6,8	7,3	11,1	12,1

Quellen: (IWU 2013), IFAM 2014

Tabelle 73: Wärmedämmmaßnahmen für MFH (Teil 1/2)

Gebäudetyp, Baualter	Einheit	MFH 1979	MFH 1958	MFH 1949	MFH vor 1948
Nutzenergiebedarf (vor Sanierung)	MWh/a	54,9	74,6	78,0	71,6
Volllaststunden, Heizlast	h/a	2.331	2.331	2.331	2.331
Spitzenlast (vor der Sanierung)	kW	23,5	32,0	33,5	30,7
Anlagentechnik Bestand		Niedertemperatur-Ölkessel außerhalb der thermischen Hülle, Baualtersklasse 1987 - 1994		Niedertemperatur-Gaskessel außerhalb der thermischen Hülle, Baualtersklasse 1987 - 1994	
Maßnahmen					
Außenwand		Wärmedämmverbundsystem auf Altputz, gewebearmierter Neuputz			Wärmedämmverbundsystem
Fenster		3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, gedämmter Rahmen (passivhaustauglich)			
Dach		Zwischen- und Aufsparrendämmung bei Neueindeckung des Daches			
oberste Geschossdecke		keine	keine	Dämmung, begehbare Belag	
Kellerdecke		Dämmung, unterseitig, geklebt oder gedübelt			
Energiebedingte Mehrkosten					
Außenwand	€	26.374	23.100	24.080	25.256
Fenster	€	13.340	16.330	14.720	13.527
Dach	€	9.251	10.036	5.320	3.432
oberste Geschossdecke	€	0	0	4.331	4.130
Kellerdecke	€	4.800	6.32	4.875	4.144
Summe	t€	53,8	55,8	53,3	50,5
Sparpotenziale (Nutzenergie)					
Außenwand	kWh/a	13.468	16.744	20.643	18.957
Fenster	kWh/a	3.492	5.175	4.554	5.093
Dach	kWh/a	2.993	6.393	5.161	2.264
oberste Geschossdecke	kWh/a	0	0	3.036	2.546
Kellerdecke	kWh/a	1.746	4.871	3.947	4.810
Summe	MWh/a	21,7	33,2	37,3	33,7
Nutzenergiebedarf nach der Sanierung	MWh/a	33,17	41,40	40,68	37,91
Spitzenlast nach der Sanierung	kW	14,2	17,8	17,5	16,3

Quelle: (DENA 2012), IFAM 2014

Tabelle 74: Wärmedämmmaßnahmen für MFH (Teil 2/2)

Gebäudetyp, Baualter	Einheit	GMFH vor 1948	GMFH 1949	GMFH 1958	GMFH 1969
Nutzenergiebedarf (vor Sanierung)	MWh/a	190,5	268,8	355,0	410,2
Volllaststunden, Heizlast	h/a	2.331	2.331	2.331	2.331
Spitzenlast (vor der Sanierung)	kW	81,7	115,3	152,3	176,0
Anlagentechnik Bestand		Niedertemperatur-Gaskessel außerhalb der thermischen Hülle, Baualtersklasse 1987 - 1994		Fernwärme aus KWK (fossil) ¹	Fernwärme aus KWK (fossil) ²
Maßnahmen					
Außenwand		Wärmedämmverbundsystem auf Altputz, gewebearmierter Neuputz			Wärmedämmverbundsystem
Fenster		3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, gedämmter Rahmen (passivhaustauglich)			
Dach		keine	keine	keine	Dachsanierung (Warmdach)
oberste Geschossdecke		Dämmung, begehbare Belag			keine
Kellerdecke		Dämmung, unterseitig, geklebt oder gedübelt			
Energiebedingte Mehrkosten					
Außenwand	€	44.660	63.294	77.824	97.324
Fenster	€	43.470	62.100	81.650	105.570
Dach	€	0	0	0	30.540
oberste Geschossdecke	€	21.490	31.500	48.860	0
Kellerdecke	€	10.438	15.300	22.336	16.797
Summe	t€	120,1	172,2	230,7	250,2
Sparpotenziale (Nutzenergie)					
Außenwand	kWh/a	52.599	50.034	78.516	112.461
Fenster	kWh/a	17.864	20.944	25.603	52.923
Dach	kWh/a	0	0	0	19.846
oberste Geschossdecke	kWh/a	13.894	38.398	35.844	0
Kellerdecke	kWh/a	11.909	16.290	18.776	15.436
Summe	MWh/a	96,3	125,7	158,7	200,7
Nutzenergiebedarf nach der Sanierung	MWh/a	94,28	143,12	196,29	209,49
Spitzenlast nach der Sanierung	kW	40,4	61,4	84,2	89,9

¹ Übergabestation außerhalb der thermischen Hülle; Baualtersklasse 1987 – 1994

² Neue Fernwärme-Kompaktstation mit reduzierter Anschlussleistung; inklusive Pufferspeicher, Regelung und Pumpen; Übergabestation außerhalb der thermischen Hülle

Quelle: [DENA 2012], IFAM 2014

Tabelle 75: Rahmendaten des betrachteten EFH

		Gaskessel	Luft-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP (Bohrung)	Sole-Wasser-WP (Kollektor)
Heizlast	kW	9	9	9	9
Wärmebedarf	MWh/a	15	15	15	15
Investitionskosten	€/kW	1.970	2.614	3.399	2.810
Betriebsgebundene Kosten	€/a	177	195	266	213
Gas- / Stromverbrauch	MWh/a	16	6	5	5
Nutzungsdauer	a	20	20	20	20

Quellen: (ITG 2012), (IER 2001)

Tabelle 76: Rahmendaten des betrachteten MFH

		Gaskessel	Luft-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP (Bohrung)
Heizlast	kW	20	20	20
Wärmebedarf	MWh/a	34	34	34
Investitionskosten	€/kW	1.445	2.008	2.978
Betriebsgebundene Kosten	€/a	805	846	1.043
Gas- / Stromverbrauch	MWh/a	36	12	11
Nutzungsdauer	a	20	20	20

Quellen: (ITG 2012), (IER 2001)

9.1.3 Industrielle KWK

Es gibt verschiedene empirische Quellen für die Anlagenspezifizierung von industriellen KWK-Anlagen. Diese weichen zum Teil deutlich voneinander ab, was im Wesentlichen auf folgende Gründe zurückzuführen ist.

- Zum Teil sind die genannten Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung nicht Netto-Wirkungsgrade, d.h., sie entsprechen nicht der Abgabe der Anlage in das Betriebsnetz unter Abzug der für die Eigenanlage benötigten Strommengen.
- Manchmal handelt es sich um Planungsdaten, manchmal um empirische Messdaten bzw. Kostendaten.
- Quellen wie „Best Practice“ oder das „BHKW des Monats“ können per definitionem nicht repräsentativ sein, sondern stellen meist sehr günstige Anlagensituationen dar.
- Manchmal werden die Jahresnutzungstunden den Vollbenutzungs- bzw. Volllaststunden gleichgestellt, obwohl hier gerade in der Industrie deutliche Unterschiede bestehen können. Denn Wirkungsgradverluste und Jahresvollbenut-

zungsstunden in Industriebetrieben sind auch bedingt durch die Strompreise an der Börse: man fährt die KWK-Anlage zurück, wenn der Strompreis an der Börse geringer ist als die Stromeigenerzeugungskosten. Die erforderliche höhere Flexibilität führt auch zu Mehr-Investitionen (Entnahme-Kondensationsturbinen, Wärmespeicher und mehr Regelungstechnik). Allerdings gibt es hierzu keine repräsentativen Daten zu der heutigen Praxis derartiger Flexibilisierung der Stromerzeugung.

Soweit wie möglich wurde bei der Datenzusammenstellung versucht, diese Ursachen von Datenunterschieden zu beachten und zu berücksichtigen. Zum Teil führt dies auch zu alternativen Annahmen (z.B. bei der Vollbenutzungsdauer oder dem Stromeigenverbrauch) oder zu Sensitivitätsrechnungen.

Die in Tabelle 10 genannten elektrischen Wirkungsgrade sind Netto-Wirkungsgrade; die Investitionssumme enthält zwar die Planungskosten, nicht aber die Transaktionskosten, die in den Betrieben häufig als Gemeinkosten gedanklich abgebucht werden, bei Contractoren aber als reale Kosten auftreten.

Zu 4.3.2 Methodisches Vorgehen und Energiepreise

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die sechs betrachteten Anlagentypen erfolgten auf Basis der in Tabelle 10 angegebenen Anlagenkenndaten. Die Kalkulationsdauer ist gleich der angenommenen Lebensdauer bzw. der typischen steuerlichen Abschreibungszeit; sie nimmt i. a. mit zunehmender Leistung von 10 Jahren auf 15 Jahre zu.

Betriebswirtschaftliche Rentabilität

Für die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage wesentlich sind nur die Differenzkosten zwischen den Kosten für die mittels KWK-Anlagen erzeugten Energiemengen (Strom, Wärme) gegenüber den Kosten für ungekoppelte bzw. bezogene Energiemengen.

Stromgestehungskosten KWK = Kosten – Erlöse

Kosten: Kapitalkosten, fixe und variable Betriebskosten, jährliche Brennstoffkosten (inkl. Steuern und Umlagen)

Erlöse: KWK-Förderung, vermiedene Netznutzungsentgelte, Wärmegutschrift

Dabei üben die Brennstoffkosten den bei weitem größten Einfluss auf die Stromgestehungskosten aus, können aber nach Verbrauch erheblich variieren. Im Gegensatz dazu leisten die Wärmegutschriften (vgl. Tabelle 77) in der Regel den größten quantitativen Beitrag zu den zu erzielenden Erlösen.

$$\text{Wärmegutschrift} = \frac{\eta_{\text{thermisch, KWK}}}{\eta_{\text{elektrisch, KWK}}} * \frac{1}{\eta_{\text{thermisch, Kessel}}} * K_{\text{Br}}$$

η : thermischer oder elektrischer Wirkungsgrad in Prozent

K_{BR} : Brennstoffkosten (Cent/kWh_{el})

Tabelle 77: Verwendete Wärmegutschriften für die unterschiedlichen KWK-Anlagentypen bzw. -leistungsgrößen

Anlagen-Typen	Einheit	2013
50 kW BHKW	cent/kWh	8,54
500 kW BHKW		6,64
2 MW BHKW		5,31
5 MW DT		11,15
10 MW GT		6,52
20 MW GuD		5,30

Quelle: IREES 2014

Auf der Erlösseite ist ferner die KWK-Förderung zu berücksichtigen. Da diese in der Regel zeitlich begrenzt ist, wird sie hier vereinfachend auf die Lebensdauer der Anlage umgelegt.

Effektive Förderung

$$= \frac{\text{KWK} - \text{Förderung} \left(\frac{\text{cent}}{\text{kWh}_{\text{el}}} \right)}{\text{KWK} - \text{Förderdauer} (a)} * \text{Lebensdauer}$$

Lebensdauer: technische Lebensdauer in Jahren

Die in den Berechnungen für den Bereich der industriellen KWK unterstellten Energiepreise bzw. vermiedenen Strombezugskosten werden nicht über der Zeit variiert, sondern bleiben mit dem Wert des jeweiligen Ausgangsjahres konstant. Dies simuliert die derzeit typische Entscheidungssituation eines Investors, der die zukünftigen Energiepreise nicht kennt und damit die jeweils vorliegenden Energiepreise seines Investitionszeitpunktes konstant hält über den Berechnungszeitraum der Wirtschaftlichkeitsanalyse (meist die Lebensdauer der berechneten KWK-Anlage).

Dieser stationäre Berechnungsansatz führt zu etwas geringeren Rentabilitäten für die Anwendungsfälle der KWK als die in Kapitel 7.5 genannten Werte, da dort mit über den Berechnungszeitraum variablen Energiepreisen gerechnet wurde. Dieser dynamisierte Berechnungsansatz unterstellt einen Investor, der die Zukunft der Energiepreise kennt (und sich nicht irrt).

Ein weiterer Unterschied zur Berechnung der Rentabilität der KWK in Kapitel 7.5 besteht in dem für die industrielle KWK zu Grunde gelegten Kalkulationszinsfuß von 12 % (dort 8 %). Der erhöhte

Satz spiegelt übliche industrielle Rentabilitätserwartungen und Risikoeinschätzungen wieder.

Generelle Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen in der Industrie anhand einer Typisierung mit unterschiedlichen Leistungen und unterschiedlichen Techniken machen zu wollen, ist jedoch nur beschränkt möglich. Denn die betrieblichen Situationen bzgl. der jeweiligen Produktionsstrukturen, den Unternehmensgrößen sowie Höhe und Struktur des Energieverbrauchs können in der gleichen Branche sehr unterschiedlich sein. Insbesondere können auch die jeweiligen Preise für den Strombezug, gegen die die Eigenproduktion in KWK-Anlagen konkurrieren muss, stark variieren, weil sie Verhandlungsergebnis sind und der Strom zudem zum Teil über Konzerne oder Gemeinschafts-Gruppierungen eingekauft werden bzw. teilweise über die Strombörse gekauft wird.

Relativ belastbare Aussagen lassen sich für die technikspezifischen Stromgestehungskosten in Abhängigkeit von wesentlichen Parametern, wie den jährlichen Volllaststunden treffen. Im Rahmen dieser Studie wurden die angenommenen jährlichen Volllast-Benutzungsstunden einheitlich zwischen 2.000 h/a und 7.000 h/a variiert, wenn auch für die Untergrenze i.d.R. keine hinreichende Rentabilität zu erwarten ist. Die Obergrenze repräsentiert den im praktischen Betrieb auf Dauer bestenfalls realisierbaren Wert, Überschreitungen sind allenfalls in Ausnahmen und bei günstigen Bedingungen in einzelnen Betriebsjahren zu realisieren.

Die somit ermittelten Stromgestehungskosten wären im Einzelfall mit den für das jeweilige Unternehmen zutreffenden Strombezugspreisen zu vergleichen. Die für Industriekunden anzusetzenden Preise für Strombezug wurden vereinfachend für sieben exemplarische Fälle festgelegt (IND1 bis IND7). Dabei wurden Klassen in Abhängigkeit von der jährlichen Bezugsmenge gebildet und Annahmen zur typischen Anschlussnetzebene der Entnahmestelle ("Netzebene") getroffen, die die Höhe des Netznutzungsentgeltes determiniert.

Als weiteres Unterscheidungsmerkmal wurde die eventuelle Inanspruchnahme der besonderen Ausgleichsregelung gemäß EEG für stromkostenintensive Unternehmen herangezogen. Vereinfachend wurde dieser Tatbestand nur für die beiden Fälle IND6 und IND7 mit einer jährlichen Bezugsmenge ab 100.000 MWh (Hochspannungsebene) angenommen.

Für die Industriekunden wurde grundsätzlich die Inanspruchnahme von Stromsteuerentlastungen sowie ab einer Abnahmemenge von 1.000 MWh/a die Inanspruchnahme des Spitzenausgleichs unterstellt (IND3 bis IND7). Zu den einzelnen Strompreiskomponenten siehe auch Abschnitt 4.1 und Tabelle 11.

Damit ergeben sich die in Tabelle 11 dargestellten industriellen Strompreise, die der Wirtschaftlichkeitsberechnung zum Vergleich zwischen Stromgestehungskosten und vermiedenen Strombezug zu Grunde gelegt wurden.

Da viele große Unternehmen unabhängig von der tatsächlichen Strombezugsmenge Personal für den Energiehandel vorhalten bzw. entsprechende extern erbrachte Dienstleistungen in Anspruch nehmen, deren Kosten aber hier nicht berücksichtigt wurden, könnte man ggf. auch für den rechnerischen Fall des Strombezugs die Vertriebsmarge als Kostenkomponente außer Betracht lassen. Dies würde rechnerisch die Rentabilität der KWK verschlechtern, allerdings nur in geringem Umfang, da die Vertriebsmarge nur einen untergeordneten Anteil des Bezugsstrompreises ausmacht.

Alle Berechnungen zur Kosten-Nutzen-Analyse wurden exemplarisch mit einer Stromeigennutzungsquote von 100 % durchgeführt, auch wenn diese von den individuellen Charakteristika der einzelnen Unternehmen bzw. der KWK-Anlagen abhängt und sehr stark variieren kann. Im Jahr 2013 fand dabei keine anteilige Belastung des Eigenstromverbrauchs mit der EEG-Umlage statt; dies ändert sich jedoch bis 2020, dort wird der Eigenstrombedarf mit 40 % belastet.

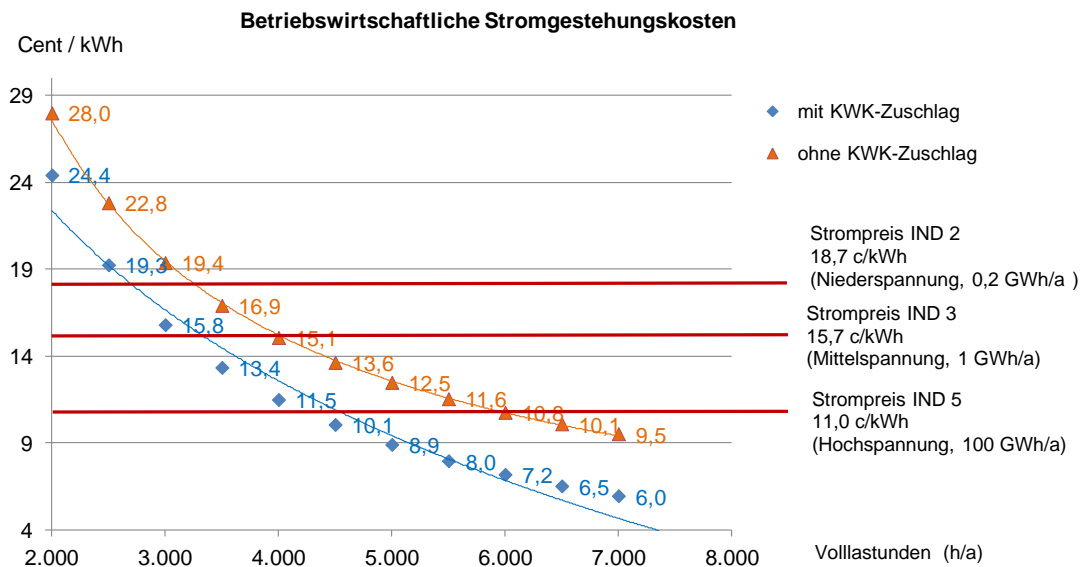
Kosten-Nutzen-Analyse aus volkswirtschaftlicher Sicht

Die volkswirtschaftliche Rentabilität bzw. die Stromerzeugungskosten unter dem volkswirtschaftlichen Gesichtspunkt werden in dieser Analyse definiert als solche verbleibenden Kosten, die von jeglichen Steuern, Abgaben und Umlagen (EEG- und KWK-Umlage) befreit sind. Damit haben weder die eingesetzten Brennstoffe eine Energiesteuer oder die bezogenen Strommengen eine Stromsteuer, noch werden EEG- oder KWK-Umlagen berücksichtigt.

Diese Definition volkswirtschaftlicher Rentabilität hat allerdings den Nachteil, dass energie- und klimapolitisch gewünschte Veränderungen des Energiesystems zu mehr erneuerbaren Energien und zur KWK – und dem dahinter liegenden Rational der Vermeidung von hohen Adaptationskosten und Schadenskosten in Zukunft – nicht entsprochen wird.

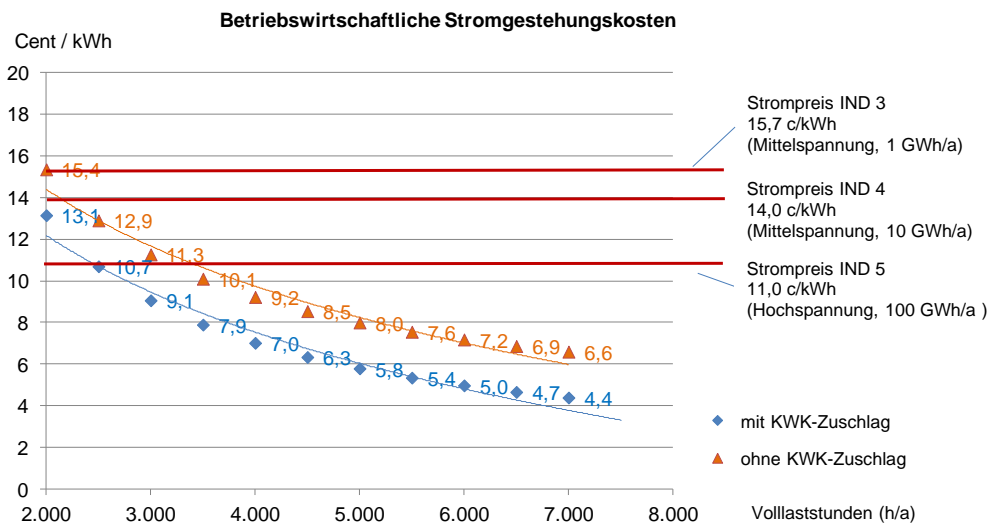
Anhang zu Kapitel 4.3.3: Ergänzende Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen

Abbildung 66: „Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 50 kW_{e,l} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



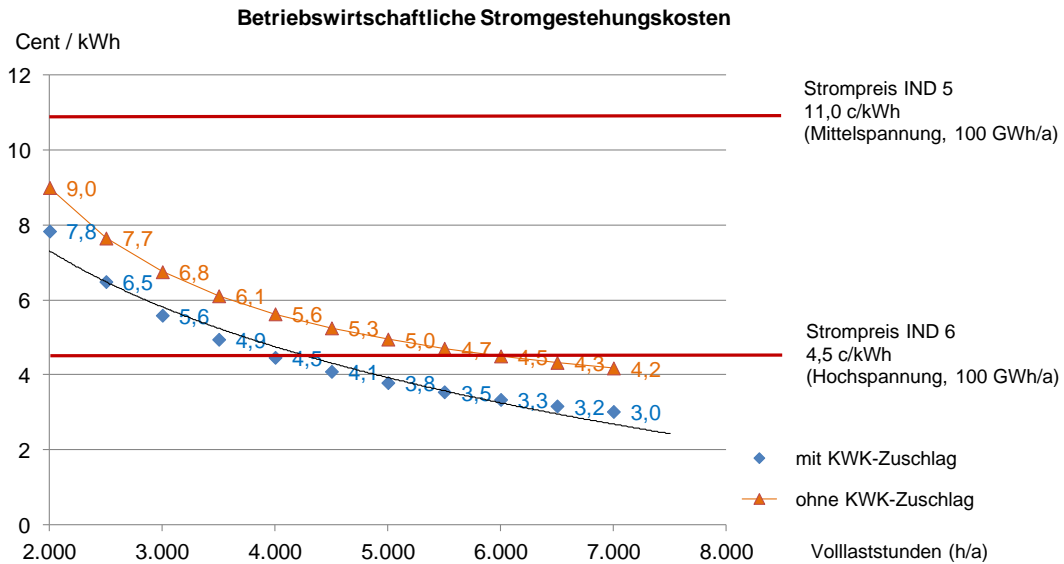
Quelle: IREES 2014

Abbildung 67: „Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 500 kW_{e,l} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



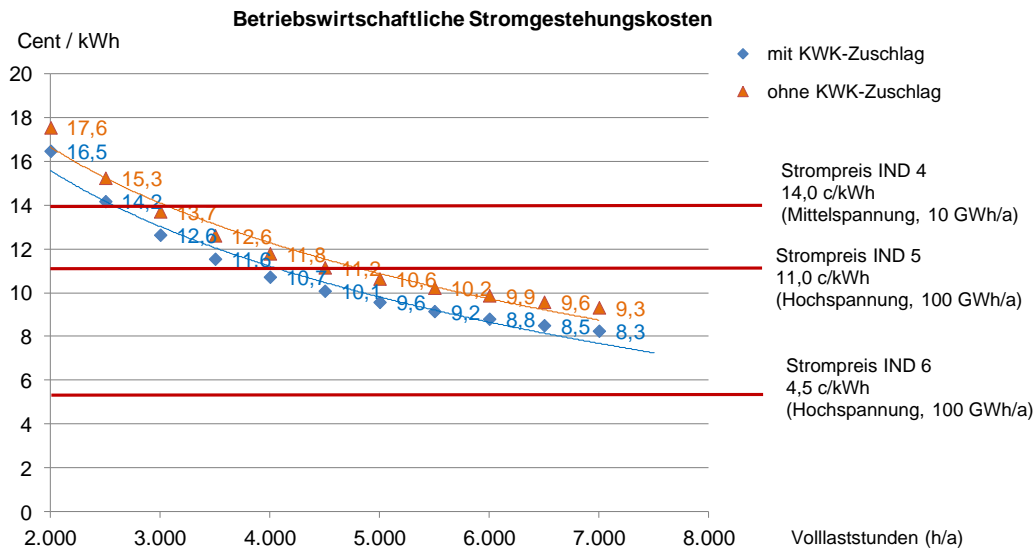
Quelle: IREES 2014

Abbildung 68: „Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten eines BHKWs mit 2 MW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



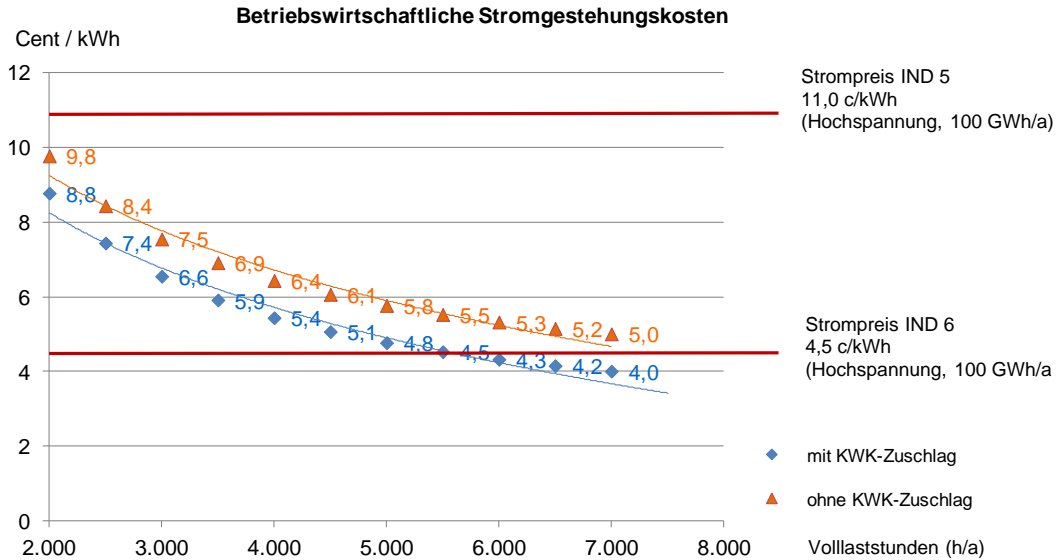
Quelle: IREES 2014

Abbildung 69: „Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Dampfturbine mit 5 MW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



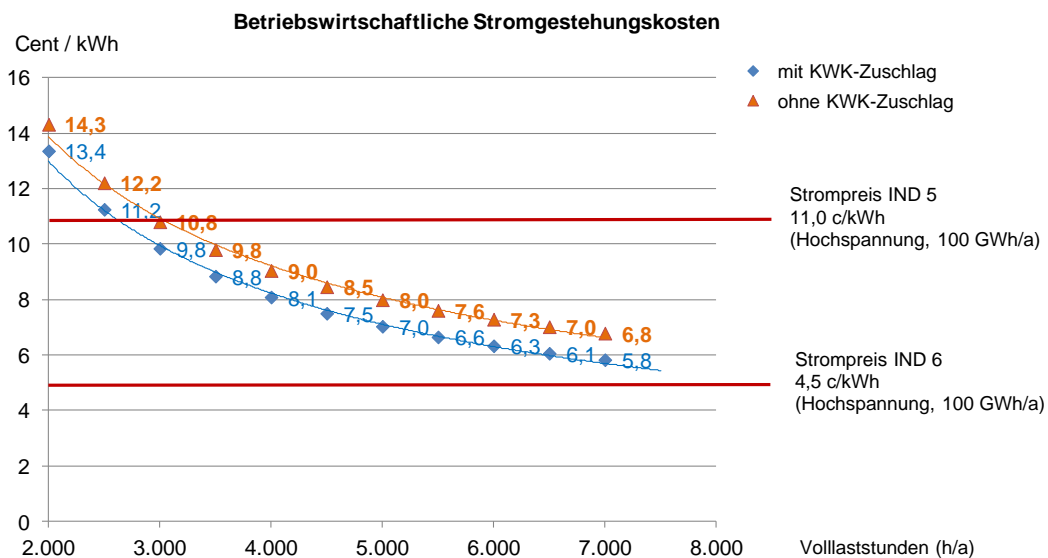
Quelle: IREES 2014

Abbildung 70: „Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Gasturbine mit 10 MW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



Quelle: IREES 2014

Abbildung 71: „Betriebswirtschaftliche“ Stromgestehungskosten einer Gas- und Dampfturbine mit 20 MW_{el} Leistung in Abhängigkeit von den Volllaststunden im Jahr 2013



Quelle: IREES 2014

9.2 Ergänzende Informationen zu Kapitel 5 (Potenzial-Analyse)

9.2.1 Potenzial-Ermittlung für die Sektoren Private Haushalte und GHD

Tabelle 78: Anzahl der Modellstädte in den Stadtkategorien

Kategorie	Anzahl Modellstädte
I	3
II	6
III	6
IV	5
V	9
VI	3
VII	5
VIII	3
IX	1
Summe	41

Quelle: IFAM 2014

Tabelle 79: Attribute der Einzelobjekte in den Modellstädten

Attribut	Beschreibung
Wärmebedarf	In den Modellstädten liegt für jedes beheizte Gebäude der Wärmebedarf vor. Zum einen als absoluter Wert, daneben auch als volumen- bzw. bezugsflächenspezifischer Wert. Für eine Stadt liegen die Daten auf Ebene der Baublockgruppen vor.
Angaben zur Nutzungsart	Für diejenigen Städte, für die Einzelgebäude vorliegen, ist in den Geobasisdaten (3D-Laserscanning, ALK, ALKIS) eine Zuordnung der Gebäude zu Nutzungsarten enthalten. Die Genauigkeit der Einordnung zu den Nutzungsarten variiert zwischen den Städten. Kennzahlen, beispielsweise zur Anzahl von Gebäude einer bestimmten Nutzungsart, können daher nicht ohne weiteres zwischen den Städten verglichen werden (vgl. IFAM, 2014).
Gebäudegrundfläche, Gebäudehöhe	Für die Städte aus Nordrhein-Westfalen können 3D-Laserscanningdaten genutzt werden. Für die Städte aus den anderen Bundesländern gehen die Höhenangaben zumeist aus den LoD1-Modellen der Bundesländer hervor, oder sie waren in den Wärmeatlanten enthalten, die dem IFAM zur Verfügung gestellt wurden.
Anzahl der Geschosse	Zum Teil sind in den 3D-Laserscanningdaten und in den LoD1-Daten bereits Angaben zur Anzahl der Stockwerke der einzelnen Gebäude vorhanden. In einigen Projekten, die vom IFAM bearbeitet wurden, wurden Geschosshöhen über mittlere Geschosshöhen aus der Gebäudehöhe abgeleitet. Die Angabe zur Anzahl der Stockwerke ist für einen großen Teil der Modellstädte vorhanden.
Gebäudenutzfläche	Für die Städte, für die die Anzahl der Stockwerke vorhanden ist, bildet die Gebäudenutzfläche die Energiebezugsfläche. Die Gebäudenutzfläche wird wie folgt berechnet: $\text{Gebäudegrundfläche} * \text{Geschosshöhe} * 0,7$ Der Faktor ergibt sich für die zu betrachtenden Gebäude im Mittel aus (BKI, 2010). Diese Fläche entspricht bei Wohngebäuden näherungsweise der Wohn-, bei Nichtwohngebäuden der Hauptnutzfläche.
Gebäudevolumen	Ist die Gebäudehöhe vorhanden, kann daraus das Gebäudevolumen in Kombination mit der Gebäudegrundfläche abgeleitet werden.
Baualtersklasse	Für die Modellstädte, für die das IFAM einen Wärmeatlas erstellt hat, liegt in der Regel eine Angabe zur Baualtersklasse der einzelnen Objekte vor.
Länge der Hausanschlussleitung	Die Länge der Hausanschlussleitung wird für jedes Gebäude unter der Annahme ermittelt, dass bei der Versorgung durch Fernwärme eine Hausanschlussstation installiert würde. Das genaue Vorgehen ist in (BEI, 2011) dokumentiert. Anhand von existierenden Netzen bei unterschiedlichen Siedlungsstrukturen konnte die gute Genauigkeit des Verfahrens erfolgreich validiert werden. Für die Städte, in denen die erforderlichen Daten nicht vorhanden sind, wird die Länge der Hausanschlussleitung über mittlere Hausanschlussleitungslängen aus ähnlichen Clustern übertragen.
Zuordnung Cluster und Clusterverbund	Jedes Objekt hat eine Kennung, in welchem Cluster und in welchem Clusterverbund es liegt (siehe Abschnitt 5.1.1.6).
Verteilnetzlänge	Die Verteilnetzlänge wird nicht auf Ebene der Einzelgebäude erhoben, sondern auf Ebene der Cluster. Wie bei der Länge der Hausanschlussleitung wird auf die in (BEI, 2011) beschriebene Methodik zurückgegriffen unter der Annahme, dass die Verlegung des Verteilnetzes dem Verlauf der Straßen innerhalb des Clusters entspricht. Liegt für eine Stadt das Straßennetz nicht vor, werden, analog zu den Hausanschlusslängen, mittlere Verteilnetzlängen je Hausanschluss aus ähnlichen Clustern übertragen.

Quelle: IFAM 2014

Tabelle 80: Eingangsdaten der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Berechnung der Fernwärme-Verteilkosten

Inputwert	Einheit	Wert
Netzverluste	%	10
Spez. Kosten Verteilung	€/m	700
Projektierungskosten	%	7%
Dauer bis zum Endausbau des Verteilnetzes	a	5
Kosten HA-Leitung (beinhaltet 6 m HA-Leitung)	€/HA	4.000
Kosten HA-Leitung (ab 6 m HA-Leitung)	€/m	350
Abschreibungsdauer Leitungen	a	30
Kosten HA-Station (nach Leistung gestaffelt)	€/HA	4.000 - 5.000
Dauer bis zum Endausbau bei den Hausanschlüssen	a	14
Abschreibungsdauer Stationen	a	20
Betriebsführung + IH Leitungen	% von Invest	1,00
Betriebsführung + IH HA-Stationen	% von Invest	5,00

Quelle: IFAM 2014

Tabelle 81: Ergebnisse des Szenarios AG 90 B

Stadtkategorie	Anteil des Wärmebedarfs in den KWK-geeigneten Clustern					KWK-Potenzial
	> + 10 €/MWh	> + 5 €/MWh	> 0 €/MWh	> - 5 €/MWh	> - 10 €/MWh	> 0 €/MWh
I	27,6 %	43,4 %	55,1 %	65,7 %	78,5 %	49,6 %
II	18,8 %	28,4 %	37,2 %	56,5 %	73,9 %	33,5 %
III	17,7 %	23,2 %	31,8 %	39,4 %	52,7 %	28,6 %
IV	13,2 %	18,2 %	30,7 %	43,3 %	52,3 %	27,6 %
V	7,0 %	8,6 %	15,2 %	21,3 %	32,8 %	13,7 %
VI	9,1 %	15,0 %	15,8 %	18,6 %	28,5 %	14,2 %
VII	20,7 %	33,2 %	52,6 %	62,7 %	71,4 %	47,3 %
VIII	1,0 %	8,2 %	35,6 %	53,5 %	55,0 %	32,1 %
IX	3,6 %	3,6 %	3,6 %	5,9 %	16,4 %	3,2 %

Quelle: IFAM 2014

Tabelle 82: Ergebnisse des Szenarios AG 90 V

Stadtkategorie	Anteil des Wärmebedarfs in den KWK-geeigneten Clustern					KWK-Potenzial
	> + 10 €/MWh	> + 5 €/MWh	> 0 €/MWh	> - 5 €/MWh	> - 10 €/MWh	> 0 €/MWh
I	50,9 %	57,1 %	71,0 %	86,9 %	94,7 %	63,9 %
II	30,5 %	45,0 %	68,3 %	77,5 %	82,2 %	61,5 %
III	24,7 %	35,7 %	44,0 %	62,6 %	68,9 %	39,6 %
IV	27,3 %	38,1 %	46,4 %	60,7 %	76,9 %	41,7 %
V	10,6 %	17,7 %	27,2 %	40,0 %	44,7 %	24,5 %
VI	15,0 %	16,5 %	23,6 %	34,2 %	45,6 %	21,2 %
VII	37,3 %	57,1 %	66,6 %	74,3 %	77,8 %	59,9 %
VIII	14,4 %	42,0 %	54,7 %	65,1 %	79,3 %	49,3 %
IX	1,3 %	5,2 %	13,2 %	19,4 %	21,3 %	11,8 %

Quelle: IFAM 2014

Tabelle 83: Ergebnisse des Szenarios AG 45 B

Stadtkategorie	Anteil des Wärmebedarfs in den KWK-geeigneten Clustern					KWK-Potenzial
	> + 10 €/MWh	> + 5 €/MWh	> 0 €/MWh	> - 5 €/MWh	> - 10 €/MWh	> 0 €/MWh
I	6,3 %	14,9 %	29,4 %	39,0 %	50,9 %	13,2 %
II	3,5 %	8,8 %	18,1 %	26,1 %	30,4 %	8,1 %
III	6,4 %	7,4 %	18,4 %	18,5 %	25,5 %	8,3 %
IV	3,8 %	4,8 %	13,1 %	16,6 %	29,0 %	5,9 %
V	3,4 %	4,8 %	6,4 %	8,4 %	10,4 %	2,9 %
VI	7,6 %	9,1 %	9,1 %	9,1 %	15,0 %	4,1 %
VII	4,4 %	10,0 %	14,7 %	26,3 %	32,6 %	6,6 %
VIII	1,0 %	1,0 %	1,0 %	5,5 %	21,9 %	0,4 %
IX	1,3 %	1,3 %	1,3 %	3,6 %	3,6 %	0,6 %

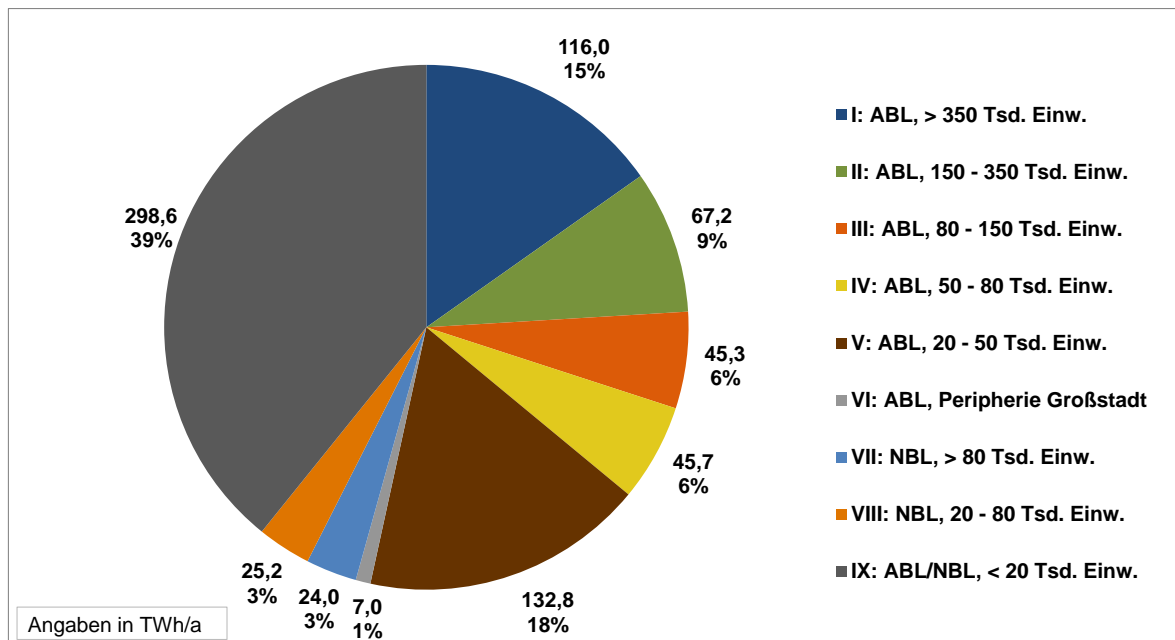
Quelle: IFAM 2014

Tabelle 84: Ergebnisse des Szenarios AG 45 V

Stadtkategorie	Anteil des Wärmebedarfs in den KWK-geeigneten Clustern					KWK-Potenzial
	> + 10 €/MWh	> + 5 €/MWh	> 0 €/MWh	> - 5 €/MWh	> - 10 €/MWh	> 0 €/MWh
I	22,0 %	37,8 %	50,8 %	55,0 %	60,6 %	22,9 %
II	13,6 %	19,9 %	28,6 %	34,6 %	50,3 %	12,9 %
III	13,6 %	18,5 %	23,0 %	30,2 %	37,4 %	10,4 %
IV	9,0 %	14,6 %	22,2 %	35,1 %	39,3 %	10,0 %
V	5,3 %	7,4 %	8,6 %	14,8 %	18,6 %	3,9 %
VI	9,1 %	9,1 %	15,0 %	15,0 %	16,5 %	6,7 %
VII	11,1 %	24,8 %	31,1 %	44,2 %	54,3 %	14,0 %
VIII	1,0 %	1,0 %	10,4 %	28,2 %	44,1 %	4,7 %
IX	1,3 %	1,3 %	1,3 %	3,6 %	5,2 %	0,6 %

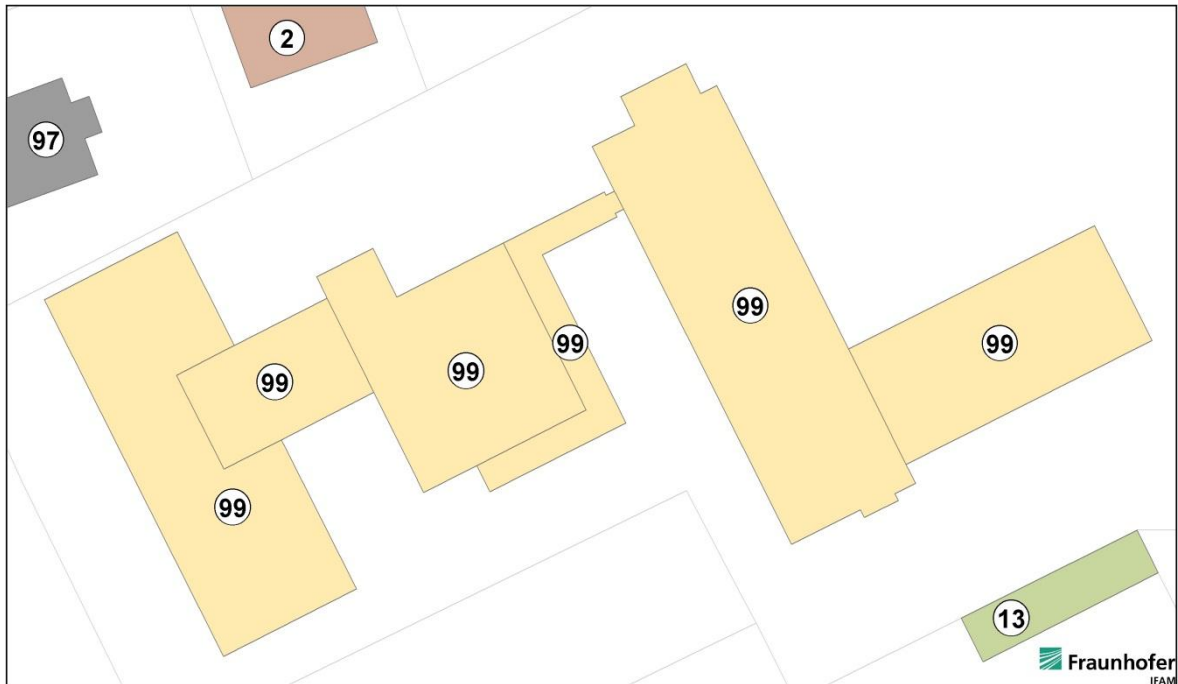
Quelle: IFAM 2014

Abbildung 72: Anteil der Stadtkategorien am Nutzwärmebedarf der Sektoren Private Haushalte und GHD in Deutschland



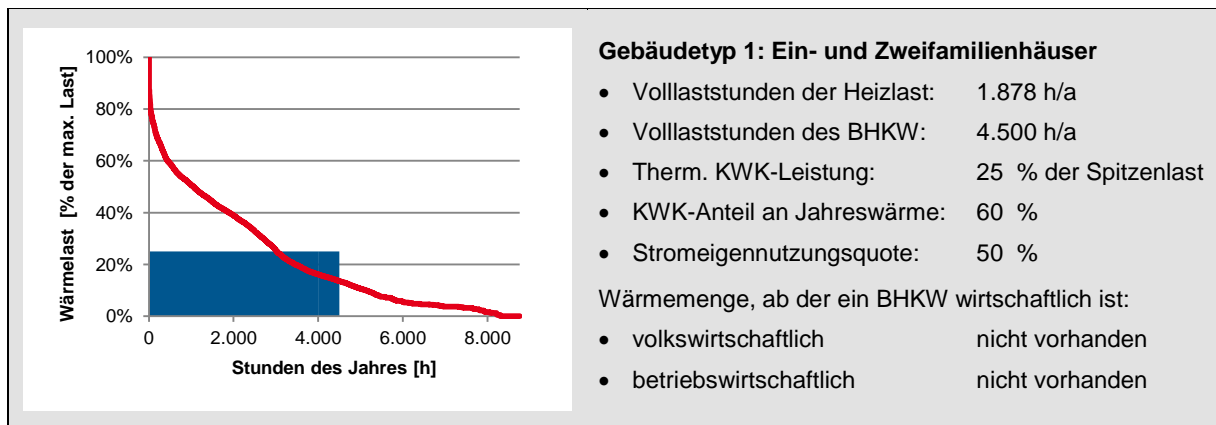
Quelle: IFAM 2014

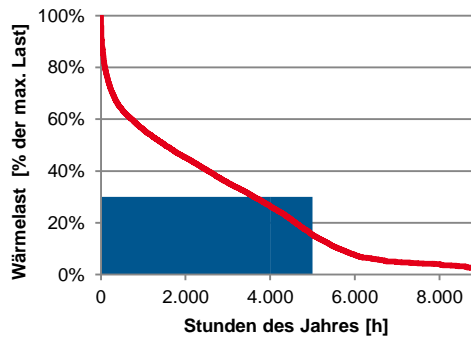
Abbildung 73: Bildung von Adressverbänden



Quelle: IFAM, 2014

Abbildung 74: Steckbriefe der Gebäudetypen



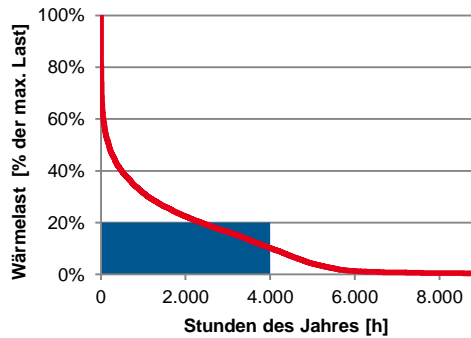


Gebäudetyp 2: Mehrfamilienhäuser

- Volllaststunden der Heizlast: 2.331 h/a
- Volllaststunden des BHKW: 5.000 h/a
- Therm. KWK-Leistung: 30 % der Spitzenlast
- KWK-Anteil an Jahreswärme: 64 %
- Stromeigennutzungsquote: 10 %

Wärmemenge, ab der ein BHKW wirtschaftlich ist:

- volkswirtschaftlich nicht vorhanden
- betriebswirtschaftlich nicht vorhanden

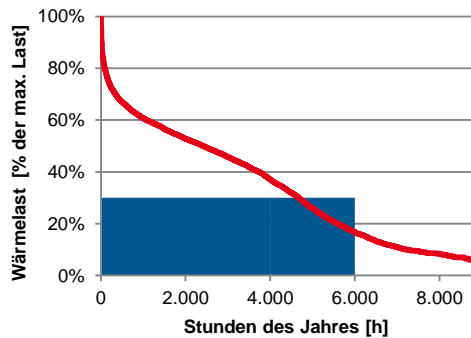


Gebäudetyp 3: Bildungs- und Forschungseinrichtungen

- Volllaststunden der Heizlast: 1.129 h/a
- Volllaststunden des BHKW: 4.000 h/a
- Therm. KWK-Leistung: 20 % der Spitzenlast
- KWK-Anteil an Jahreswärme: 71 %
- Stromeigennutzungsquote: 20 %

Wärmemenge, ab der ein BHKW wirtschaftlich ist:

- volkswirtschaftlich 46.500 MWh/a
- betriebswirtschaftlich 6.500 MWh/a

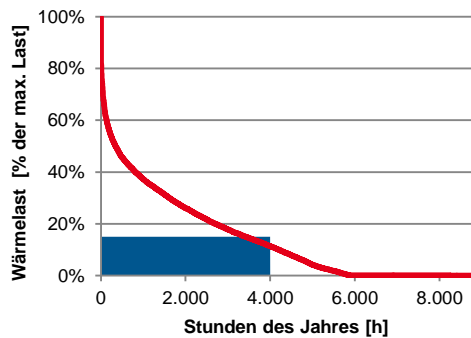


Gebäudetyp 4: Gesundheitseinrichtungen und Wohnheime

- Volllaststunden der Heizlast: 2.979 h/a
- Volllaststunden des BHKW: 6.000 h/a
- Therm. KWK-Leistung: 30 % der Spitzenlast
- KWK-Anteil an Jahreswärme: 60 %
- Stromeigennutzungsquote: 90 %

Wärmemenge, ab der ein BHKW wirtschaftlich ist:

- volkswirtschaftlich 1.310 MWh/a
- betriebswirtschaftlich 210 MWh/a

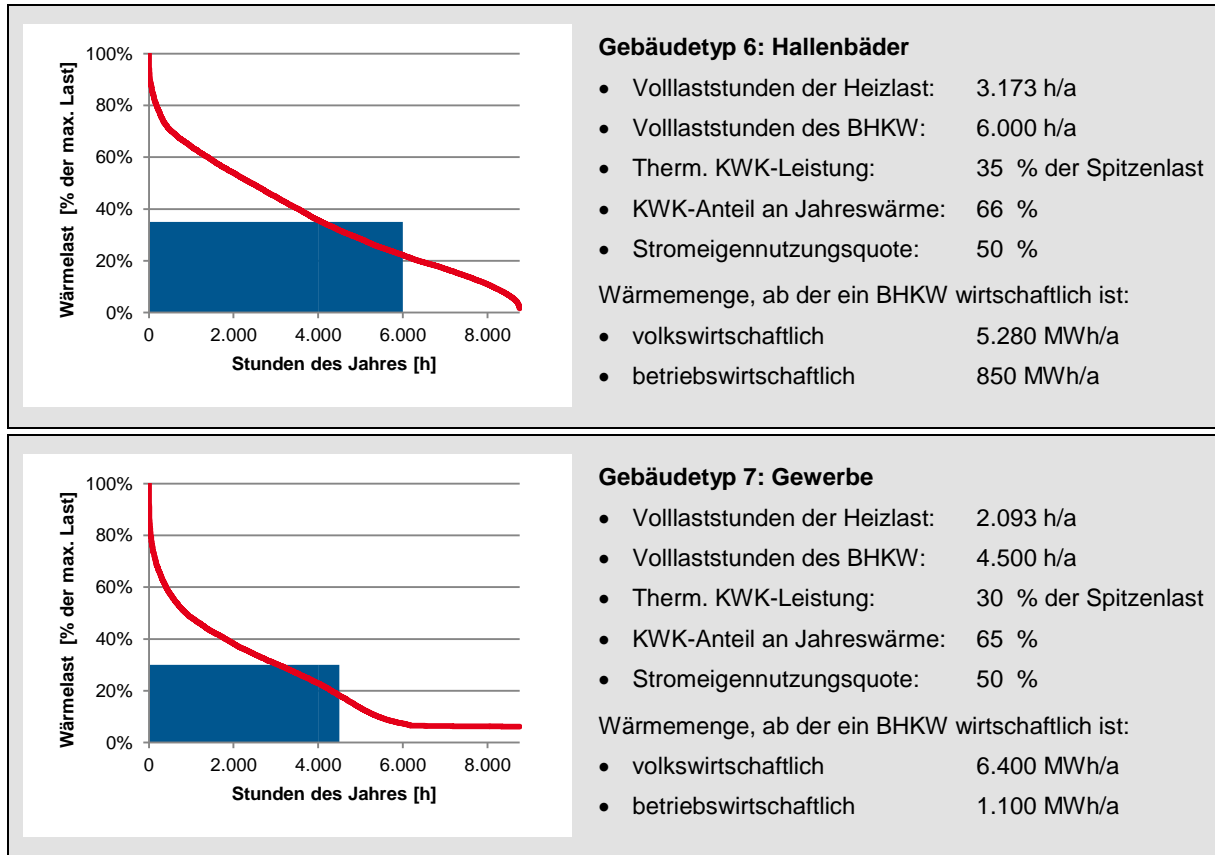


Gebäudetyp 5: büroähnliche Einrichtungen

- Volllaststunden der Heizlast: 1.264 h/a
- Volllaststunden des BHKW: 4.000 h/a
- Therm. KWK-Leistung: 15 % der Spitzenlast
- KWK-Anteil an Jahreswärme: 47 %
- Stromeigennutzungsquote: 40 %

Wärmemenge, ab der ein BHKW wirtschaftlich ist:

- volkswirtschaftlich 16.800 MWh/a
- betriebswirtschaftlich 2.500 MWh/a



Quelle: IFAM, 2014

Tabelle 85: Anteil der wirtschaftlich realisierbaren Objekt-KWK an der bei einem Fernwärme-Anschlussgrad von 90 % in Frage kommenden Wärmemenge

Stadtkategorie	Betriebswirtschaftlich	Volkswirtschaftlich
I	7,7 %	2,7 %
II	5,3 %	2,2 %
III	7,8 %	1,2 %
IV	6,7 %	1,4 %
V	5,7 %	1,7 %
VI	6,7 %	1,1 %
VII	8,3 %	5,1 %
VIII	k.A.	k.A.
IX	4,6 %	0,0 %

Quelle: IFAM 2014

9.2.2 Potenziale der industriellen KWK

Anhang zu Kapitel 5.2 Potenziale der industriellen KWK

Einleitend wird das methodische Vorgehen zur Bestimmung der KWK-Potenziale erläutert (vgl. Abschnitt 5.2). Die Ergebnisse der Analysen teilen sich dann auf in

- den Wärmebedarf bis zu 300°C der einzelnen Branchen im Jahre 2012, der theoretisch durch KWK-Wärme befriedigt werden könnte (vgl. Abschnitt 5.2.2) sowie dessen Entwicklung in den kommenden Dekaden (vgl. Abschnitt 5.2.3),
- die möglichen KWK-Potenziale in den kommenden Jahrzehnten, wobei zwischen einer möglichen Referenz-Entwicklung und einer angenommenen Politik-treibenden Variante unterschieden wurde (vgl. Abschnitt 5.2.4).

Anhang zu Kapitel 5.2.1 Einleitende Erläuterungen des Vorgehens und Stand des Wärmebedarfs und der KWK-Wärmeerzeugung 2012

Da die Eignung eines KWK-Einsatzes in der Industrie sehr von dem Wärmebedarf bis etwa 300°C (als Warmwasser-, Dampf- oder Thermoöl-Einsatz) abhängt, dieser aber in den einzelnen Industriebranchen sehr variiert, ist es zunächst erforderlich, diesen Wärmebedarf bis 300°C für einzelne Industriezweige zusammenzustellen. Hierzu wurde auf entsprechende Quellen und eigene Erhebungen und Schätzungen zurückgegriffen, um diese Differenzierung zunächst für das Jahr 2012 zu ermöglichen (vgl. Tabelle 27).

Als nächster Schritt musste ermittelt werden, wie viel dieses Wärmebedarfs als Brennstoffbedarf (in einigen Ausnahmen handelt es sich auch um Strombedarf, wie z.B. beim Kunststoffspritzgießen) in den einzelnen Branchen bereits in 2012 durch KWK-Wärme erzeugt wird und damit als weiteres Potenzial auf keinen Fall zur Verfügung steht. Hierzu wurden die Wärmeanteile bis 300°C auf die Brennstoffmengen laut Energiebilanz herangezogen (vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, detaillierte Tabelle für 2012) und den Angaben der Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen von DESTATIS 2013 und 2014 gegenübergestellt (vgl. Tabelle 28).

Das Ergebnis zeigt die erwarteten hohen Anteile des KWK-Wärmeanteils an dem Brennstoffbedarf bis 300°C in

- der Grundstoffchemie von 109 % (hier wird ein Teil der von KWK-Anlagen erzeugten Wärme an benachbarte Betriebe anderer Branchen abgegeben),
- der Zellstoff- und Papierindustrie mit 63 % sowie

- der Nahrungsmittelindustrie mit 37 %, was insbesondere auf die KWK-Nutzung in der Zuckerindustrie zurückzuführen ist.

Insgesamt wurden etwa 40 % des in Frage kommenden Wärmebedarfs bis 300°C in der Industrie mit KWK-Wärme bedient. Eine genaue Angabe ist auch deshalb nicht möglich, weil die BHKW-Anlagen unter 1 MW statistisch nicht erfasst sind und es offen bleiben muss, wie viele von den etwa 55.000 kleinen BHKW-Anlagen zu welchem Anteil schon 2012 industriellen Wärmebedarf bedienten.

Der durch KWK erzeugte Stromanteil am Gesamtstrombedarf ist verständlicherweise mit 11 % im Industriedurchschnitt relativ gering. Die höchsten Anteile erreicht er – wie zu erwarten – in der Grundstoffchemie und der Papierindustrie mit rund 30 %.

Dieses Zwischenergebnis für das Jahr 2012 zeigt bereits, dass selbst das technische Potenzial der KWK allenfalls bei einer Verdopplung des KWK-Einsatzes liegen könnte, wenn nicht geringer, weil sich der Wärmebedarf unter 300°C der Industrie in Zukunft bei hohen Effizienzfortschritten und geringem Wachstum der Industrie vermindern könnte, zumal Abwärme in vielen Fällen in der Industrie heute nur unzureichend genutzt wird, um Wärmebedarf bei niedrigen Temperaturen zu befriedigen (z.B. Abwärme aus Kompressoren oder Trocknungsanlagen).

Wie im Abschnitt 4.3.4 bereits erläutert, kann die wärmebetriebene Absorptionskälte-Erzeugung die Auslastung einer KWK erhöhen und damit zur Rentabilität des Gesamtbetriebes der betroffenen Anlagen beitragen. Dies gilt insbesondere dann, wenn bei eigentlich erforderlicher Nachverbrennung von kohlenwasserstoffhaltigen Abgasen diese aufkonzentriert und einer KWK-Anlage zugeführt werden. Die zusätzlich erzeugte Wärme kann dann kostengünstig für die Kälteerzeugung über die Absorptionstechnik genutzt werden. Derartige Anwendungsfälle sind in der chemischen Industrie und der Verbrauchsgüter-Industrie zu beobachten (vgl. auch Tabelle 86) mit dem Kältebedarf nach Temperaturbereichen) und zeigen auch, dass die Rentabilitätsberechnungen zuweilen vereinfachende Beispielrechnungen darstellen.

Ein besonders hoher Kältebedarf zwischen -15°C und +15°C wird insbesondere in den Industriezweigen der Nahrungsmittel-Herstellung, der chemischen Industrie inkl. der pharmazeutischen Industrie, der Kunststoffverarbeitung und der sonstigen Industriezweige beobachtet. Eine Zunahme der Klimatisierungskälte ist durch die Reinraumtechnik zu erwarten, die auch in der Investitionsgüter-Industrie wegen der hohen Qualitätsanforderungen zunehmend Einzug hält.

Insgesamt hat die Industriekälte zwischen -15°C und $+15^{\circ}\text{C}$ derzeit (2012) einen Strombedarf von etwa 10.900 GWh/a, wovon ein Teil durch KWKK- oder Abwärme substituierbar wäre. Der derzeitige Strombedarf entspricht rechnerisch rund 6% des industriellen Wärmebedarfs unter 300°C . Schon durch dieses Verhältnis wird deutlich, dass die Industriekälte eher ein „Rentabilitätsverbesserer“ der KWK als ein eigenständiger Treiber der KWK ist.

Tabelle 86: Aufteilung des Kältebedarfs im Jahr 2012 nach Industriebranchen und nach unterschiedlichen Temperaturniveaus

Industriesektoren	Aufteilung des Kältebedarfs auf die Temperaturniveaus		
	< -15°C	- $15 - 0^{\circ}\text{C}$	0 - 15°C
Ernährung und Tabak	56,0%	14,0%	30,0%
Fahrzeugbau	0,0%	0,0%	100,0%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	0,0%	0,0%	100,0%
Glas u. Keramik	0,0%	0,0%	100,0%
Grundstoffchemie	38,0%	12,0%	50,0%
Gummi- und Kunststoffwaren	0,0%	0,0%	100,0%
Maschinenbau	2,5%	2,5%	95,0%
Metallbearbeitung	0,0%	0,0%	100,0%
Metallerzeugung	0,0%	0,0%	100,0%
NE-Metalle. -gießereien	0,0%	0,0%	100,0%
Papiergewerbe	0,0%	0,0%	100,0%
Sonstige chemische Industrie	45,5%	4,5%	50,0%
Sonstige Wirtschaftszweige	4,5%	0,5%	95,0%
Verarbeitung v. Steine u. Erden	0,0%	0,0%	100,0%

Quelle: IREES 2014

Projektion des Wärmebedarfs der Industrie

Die Entwicklung der zukünftigen KWK-Anwendung hängt nicht zuletzt von der Entwicklung des Wärmebedarfs in den kommenden Jahrzehnten ab. Deshalb ist der nächste Analyseschritt die Projektion des Wärmebedarfs bis 300°C , wobei sowohl Effizienzgewinne als auch strukturelle Entwicklungen der Industrie sowie technologische Veränderungen zu beachten sind, die den Wärmebedarf bis zu 300°C merklich verändern könnten.

Hierzu wird zunächst die Entwicklung der Bruttowertschöpfung der Industrie und ihrer Branchen von 2012 bis 2050 von einer bestehenden Projektion der Wirtschaftsentwicklung Deutschlands von Prognos (2014) übernommen. Hierbei ist der inter-industrielle Strukturwandel zugunsten weniger energieintensiver Industriezweige - der Investitionsgüter- und Gebrauchsgüter-Industrie deutlich zu erkennen, die überdurchschnittlich in beiden Projektionszeiträumen zunehmen (vgl. Tabelle 29).

Bei den sehr energieintensiven Branchen konnte außerdem auf die Entwicklung der physischen Produktion (z.B. LD- und Elektro Stahl, Primär- und Sekundär-Aluminium, Zement, Papier etc.) zurückgegriffen werden. Diese Produktionsentwicklungen werden mit den jeweils projizierten Brennstoff- und Stromintensitäten multipliziert. Hierbei ist nicht nur auf die absehbaren Energieeffizienz-Gewinne in den Branchen zu achten, sondern auch auf die intra-sektoralen Struktureffekte zu weniger energieintensiven Produktionsstrukturen infolge von höheren Qualitäten, produktbegleitenden Dienstleistungen im Bereich der Investitions- und Gebrauchsgütererzeugung und anderen zusätzlichen Wertschöpfungseffekten.

In der Vergangenheit war die Nachfrage-Elastizität, das Verhältnis zwischen Zuwachs des Energiebedarfs zur Wachstumsrate der Bruttowertschöpfung, beim Strom fast immer geringer als bei den Brennstoffen. Dies ließ sich in der Vergangenheit durch eine fortschreitende Mechanisierung und Automation der industriellen Produktion sowie andere Entwicklungen, z. B. Zunahme von Reinraumtechnik etc. begründen. Für die Zukunft wird davon ausgegangen, dass der Mechanisierungsprozess langsam zu einer Sättigung kommt und dadurch die Stromnachfrage-Elastizitäten sich denen der Brennstoff-Elastizitäten angleichen (vgl. Tabelle 87).

Außerdem war bei jeder Branche zu berücksichtigen, in wie weit sich neben den Energieeffizienz-Optionen intra-industrielle Struktureffekte – meist zu weniger energieintensiven Subbranchen (z.B. durch Stagnation der Zement- oder Zuckerproduktion in der Stein- und Erden-Industrie oder der Nahrungsmittelindustrie – auf die Energieintensitäten niederschlagen.

Schließlich war in den einzelnen Branchen zu prüfen, ob durch Umstellung von Produktionsverfahren der Brennstoffbedarf oder der Strombedarf spezifisch sich verändert (z.B. durch Umstellung der Fertigungstechnik vom Nassverfahren auf das Trockenverfahren, was den Wärmebedarf des Waschens annulliert und den Druckluftbedarf – und damit den Strombedarf - der betroffenen Produktionsstandorte verdoppelt.

Im Folgenden werden die wichtigsten Einflüsse für einzelne Branchen festgehalten, um die projizierte Entwicklung des Brennstoff- und Wärmebedarfs verständlich zu machen.

- Bei der *Nahrungs- und Genussmittelindustrie* wird einerseits eine Stagnation bei den Brauereien sowie ein Produktionsrückgang bei der energieintensiven Zuckerproduktion (wegen des Endes EU-Zuckerordnung ab 2017) erwartet. Die Fertiggerichte mit Kühlketten werden weiter steigen. Diese intra-industriellen Strukturveränderungen vermindern den spezifischen Energiebedarf zusätzlich zu den Effizienzgewinnen.
- Im *Fahrzeugbau* nimmt zwar die Bruttowertschöpfung überproportional zu, aber die Zahl der produzierten Fahrzeuge nicht mehr. Hinzu kommen auch hier Energieeffizienzgewinne.
- Bei den *Glaswaren, Keramik und Ziegel* geht die Hohlglas- und Gebrauchskeramik-Produktion leicht zurück, während das wertschöpfungsintensivere Flachglas (Dreifachverglasung, PV-Module) sowie Spezialglas und -keramik sowie Glasfasern noch leicht zunehmen. Neben diesem Struktureffekt werden auch weitere Effizienzpotenziale realisiert. Insgesamt bleibt die Wertschöpfung des Sektors konstant.

Tabelle 87: Entwicklung der Strom- und Brennstoffintensität für die Periode 2012-2050, unterteilt nach Industriesektoren

Industriesektoren	Energieträger	Spezifische Kennwerte pro Bruttowertschöpfung (kWh / € BWS)					Jährliche Veränderungsrate	
		2012	2020	2030	2040	2050	2012-2030	2012-2050
Ernährung und Tabak	Strom	0,58	0,57	0,56	0,54	0,52	-0,2%	-0,2%
	Brennstoffe	1,28	1,23	1,15	1,08	1,01	-0,6%	-0,4%
Fahrzeugbau	Strom	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	-0,3%	-0,3%
	Brennstoffe	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	-0,6%	-0,5%
Gew. Steine und Erden. sonst. Bergbau	Strom	1,14	1,12	1,08	1,03	0,97	-0,3%	-0,3%
	Brennstoffe	1,41	1,35	1,27	1,20	1,12	-0,5%	-0,4%
Glas u. Keramik	Strom	0,89	0,86	0,82	0,77	0,72	-0,5%	-0,4%
	Brennstoffe	3,27	3,13	2,96	2,79	2,59	-0,5%	-0,4%
Grundstoffchemie	Strom	2,38	2,35	2,28	2,19	2,08	-0,2%	-0,2%
	Brennstoffe	4,97	4,89	4,75	4,56	4,32	-0,3%	-0,2%
Gummi- und Kunststoffwaren	Strom	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	-0,4%	-0,3%
	Brennstoffe	0,84	0,81	0,77	0,72	0,66	-0,5%	-0,4%
Maschinenbau	Strom	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	-0,4%	-0,3%
	Brennstoffe	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	-0,7%	-0,5%
Metallbearbeitung	Strom	4,81	4,66	4,46	4,24	3,99	-0,4%	-0,3%
	Brennstoffe	4,89	4,69	4,42	4,08	3,69	-0,6%	-0,5%
Metallerzeugung	Strom	2,60	2,54	2,47	2,37	2,25	-0,3%	-0,2%
	Brennstoffe	16,73	16,46	16,05	15,58	15,04	-0,2%	-0,2%
NE-Metalle. -gießereien	Strom	1,80	1,77	1,72	1,63	1,52	-0,3%	-0,3%
	Brennstoffe	1,63	1,61	1,55	1,46	1,32	-0,3%	-0,3%
Papiergewerbe	Strom	2,11	2,07	2,02	1,96	1,88	-0,2%	-0,2%
	Brennstoffe	4,33	4,23	4,08	3,92	3,73	-0,3%	-0,3%
Sonstige chemische Industrie	Strom	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	-0,7%	-0,5%
	Brennstoffe	0,62	0,59	0,54	0,49	0,44	-0,8%	-0,6%
Sonstige Wirtschaftszweige	Strom	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	-0,6%	-0,5%
	Brennstoffe	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	-0,8%	-0,6%
Verarbeitung v. Steine u. Erden	Strom	1,22	1,19	1,16	1,12	1,07	-0,3%	-0,2%
	Brennstoffe	7,62	7,44	7,19	6,87	6,50	-0,3%	-0,3%
Industrie insgesamt	Strom	0,50	0,46	0,42	0,38	0,35	-0,9%	-0,7%
	Brennstoffe	1,15	1,03	0,91	0,81	0,72	-1,3%	-0,9%

Quelle: IREES 2014

- In der Grundstoffchemie gehen die stromintensiven Elektrolysen (z.B. von Chlor und Fluor) mengenmäßig zurück und

auch die Produktion der Kunststoff-Vorprodukte stagniert; dies ist auch reflektiert in der ab 2025 stagnierenden Bruttowertschöpfung, die ab 2012 bis dahin lediglich um 10 % zulegen. Im geringen Umfang werden weitere Effizienz-Gewinne realisiert.

- Bei den *Gummi- und Kunststoffwaren* trägt die Kunststoffverarbeitung das Wachstum, während die Gummiwaren-Herstellung stagniert. In der Kunststoffverarbeitung werden erhebliche Effizienzgewinne realisiert (insbesondere im Spritzgießen bis zu 50%).
- Im *Maschinenbau und in der Metallverarbeitung* nehmen die produktbegleitenden Dienstleistungen und der Trend zu erhöhter Wertschöpfung je Maschine und Anlage deutlich zu. Technologisch gilt zu beachten, dass die Automatisierung weiter fortschreitet und die Reinraumtechnik sowie die Trockenfertigung sich ausbreiten. Dadurch werden stromseitige Effizienz-Gewinne verdeckt, während sie um so deutlicher bei den Brennstoffen sichtbar werden (hohe Effizienz-Potenziale z.B. in der Pulverlackierung, Abwärmenutzung für die Warmbäder).
- Die *Metallerzeugung* ist durch die Primär- und Sekundär-Routen für Stahl, Aluminium und Kupfer sehr komplex und somit die Entwicklung des spezifischen Strom- und Brennstoffbedarfs für diese aggregierte Branche nur mit einem eigenen Modell mit einer Reihe von Annahmen zu den physischen Produktionen plausibel nachvollziehbar. So wird davon ausgegangen, dass die Stahlproduktion bis 2020 auf 40 Mio. t zurückgeht und bis 2050 auf 33 Mio. t. Dabei nimmt der Anteil des Elektrostahls bis auf 40 % im Jahre 2050 kontinuierlich zu. Bei Primär-Aluminium wird eine 20%ige Produktionsverminderung bis 2050 unterstellt und eine 25%ige Steigerung der Sekundär-Produktion gegenüber 2012.
- Diese strukturellen Veränderungen führen zu einem erheblichen Rückgang von Brennstoffen und Strom, während die leicht steigende Bruttowertschöpfung dieses Sektors im Wesentlichen durch höherwertige Stähle und NE-Metall-Legierungen erreicht werden. Die Energieeffizienz-Gewinne sind eher gering in diesem Sektor. Allerdings sind dabei die Möglichkeiten der Abwärmenutzung noch nicht mit betrachtet.
- Die *Verarbeitung von NE-Metallen und NE-Gießereien* durchläuft ebenfalls einen Trend zu höherwertigen Produkten (bis hin zu geschäumten Metallwerkstücken), während die physische Produktion nur wenig zunimmt. Diese strukturellen Effekte addieren sich zu den Effizienzgewinnen.
- Während bei der *Papier- und Kartonherstellung* die Bruttowertschöpfung noch leicht ansteigt, geht die Produktion um

gut 10 % bis 2050 zurück (vorsichtige Schätzung). Dieser strukturelle Effekt addiert sich mit den Effizienzgewinnen.

- Die sehr dynamische *sonstige Chemie* – insbesondere im Bereich der Pharmazeutika und Spezial-Chemikalien - erhöht durchschnittlich ihre Bruttowertschöpfung doppelt so schnell wieder durchschnitt der Industrie. Die Wertschöpfungseffekte werden hier als besonders hoch unterstellt. Zudem sind die Energieeffizienz-Potenziale beträchtlich.
- Bei den *sonstigen Industriezweigen* (meist Verbrauchsgüter-Branchen) ist ebenfalls der Trend zu höherer Wertschöpfung gegeben, der sich ebenfalls mit den bestehenden Effizienz-Potenzialen überlagert.
- Die *Steine- und Erden-Industrie* nimmt zwar wertschöpfungsmäßig noch um 20 % bis 2050 zu, was aber im Wesentlichen produktbegleitende Dienstleistungen (z.B. Transportbeton) oder Spezialprodukte sind. Mengenmäßig wird ein Rückgang der energieintensiven Zementherstellung unterstellt. Effizienz-Gewinne kommen hinzu.

Für die gesamte Industrie erreichen die jährlichen Veränderungen der Energieintensitäten mit -0,9 %/a (Strom) und 1,3 %/a (Brennstoffe) für die Periode 2030 die höchsten Werte, weil sie außer den o.g. Effizienz- und Strukturveränderungen auch noch den inter-industriellen Strukturwandel widerspiegeln, d.h., die Stagnation der energieintensiven Grundstoffindustrie und das überproportionale Wachstum der Investitions- und Gebrauchsgüter-Industrie. Die interindustriellen Strukturveränderungen verlangsamten sich nach 2030 (vgl. Tabelle 87).

Die Multiplikation der Bruttowertschöpfungsentwicklung und der Energieintensitäten führt dann zu der Entwicklung des Strom- und Brennstoffbedarfs 2012 bis 2050 (vgl. Abschnitt 5.2.3).

Anhang zu 5.2.2 Brennstoff- und Stromverbrauch nach Branchen und Unternehmensgrößenklassen, 2012

Die in Tabelle 28 genannten Strom- und Brennstoffverbräuche der einzelnen Industriezweige wurden mit der Kostenstrukturstatistik des DESTATIS (2013) in drei Unternehmensgrößenklassen aufgeteilt (vgl. Tabelle 30). Denn um die Häufigkeit der Leistungen der verschiedenen KWK-Anlagen zuordnen zu können, war diese Unterscheidung unumgänglich. Dabei wurde nicht nach einer einheitlichen Beschäftigtenklasse der Kostenstrukturstatistik eingeteilt, sondern aus einer Kombination von Energieintensität und Anzahl der Beschäftigten. Bei energieintensiven Branchen wurde die Beschäftigten-Klasse um eine Kategorie verkleinert (z.B. bei den kleinen von 100 Beschäftigten auf 50 Beschäftigte; denn die einsetzbare Leistung und der Typ einer KWK-Anlage hängt in erster Linie von dem Jahresenergieverbrauch eines Unternehmens ab.

Wie zu erwarten, verteilt sich der Strom- und Brennstoffbedarf in einzelnen Industriezweigen sehr unterschiedlich:

- In der Grundstoff-Industrie und der Fahrzeugindustrie haben die großen Unternehmen einen erheblichen Anteil der Endenergieverbräuche des jeweiligen Industriezweiges – meist mehr als drei Viertel des Endenergiebedarfs des betroffenen Industriezweiges (vgl. Tabelle 30).
- In den übrigen Industriezweigen haben die kleinen und mittleren Unternehmen einen deutlich höheren Anteil an den Endenergieverbräuchen des jeweiligen Industriezweiges (z.B. kleine Unternehmen von Gewinnung Steine u. Erden: 51 % und Metallbearbeitung: 30 %).

An diesem Ergebnis (kombiniert mit den Zahlen in der Tabelle 28) sieht man bereits, dass das zukünftige Potenzial der KWK in der Tendenz bei den Investitions- und Gebrauchsgüterbranchen – und dort bei den mittleren und kleineren Unternehmen liegen dürfte. Dies bedeutet in der Tendenz den Einsatz von mittleren und größeren BHKW-Anlagen und kleineren Gasturbinen-Anlagen (vgl. Abschnitt 4.3.3).

Im Industriedurchschnitt wurden mit 476 TWh Endenergie 66 % den großen Unternehmen zugeordnet, mit 182 TWh oder 25 % waren die mittleren Unternehmen beteiligt und mit dem Rest von 61 TWh (oder 8,5 %) des Endenergieverbrauchs die kleinen Unternehmen.

Anhang zu 5.2.3: Wärme- (bis 300°C) und Kältebedarf in der Industrie bis 2020 und Ausblick bis 2030 und 2050

Multipliziert man die in Tabelle 29 genannten Werte der Bruttowertschöpfung der einzelnen Industriezweige mit den Energieintensitäten der Tabelle 87, erhält man zunächst den Brennstoff- und Strombedarf der Industrie. Der Anteil des Wärmebedarfs bis 300°C vom Brennstoffverbrauch des Jahres 2012 wurde in aller Regel konstant gehalten, um auf diese Weise die Entwicklung des Wärmebedarfs unter 300°C zwischen 2012 und 2050 zu projizieren (vgl. Tabelle 31).

An dem Ergebnis zeigt sich für die einzelnen Branchen ein differenziertes Bild:

- Der Wärmebedarf bis 300°C der gesamten Industrie nimmt von 2012 bis 2030 noch jährlich um 0,9 % pro Jahr zu. Nach 2035 sinkt er um etwa 1,5 % pro Jahr ab, so dass sich für die Periode 2012 bis 2050 nur noch eine durchschnittliche Zunahme um 0,3 % pro Jahr ergibt. Die Nachfrage-Elastizität sinkt also von 0,69 in der ersten Periode auf unter Null in der zweiten Periode.
- Überproportionale Zuwächse des Wärmebedarfs bis 300°C sind bei der sonstigen Chemie (insbesondere Pharmazie

und Feinchemikalien) mit 2,2 % bzw. 1,3 % pro Jahr, dem Fahrzeug- und Maschinenbau und der Nahrungsmittel-Industrie mit 1,1 % bzw. 0,4 % pro Jahr zu erwarten.

- Bei einigen Industriezweigen nimmt der Wärmebedarf bis zu 300°C sogar ab, darunter die Gewinnung von Steinen und Erden ab sofort. Der Wärmebedarf in diesem Temperaturbereich der Industriezweige Glas und Keramik, sowie Metallbearbeitung, der Metallerzeugung und des Papiergewerbes sinkt ab 2020, derjenige der Grundstoffchemie und der „sonstigen Industriezweige“ ab 2030.

Dieses Ergebnis bedeutet, dass in den Branchen mit stagnierendem oder in den kommenden Jahrzehnten absehbaren Minderbedarf von Wärme <300°C bei bereits hohem KWK-Anteil (z.B. Grundstoffchemie und Papier) lediglich Re-Investitionen in KWK-Anlagen zu erwarten sind. Ein großes Ausbau-Potenzial der KWK ist am ehesten in denjenigen Industriezweigen zu erwarten, in denen der Wärmebedarf <300°C hoch ist, dieser zunimmt und der bisher erreichte KWK-Anteil gering (vgl. Tabelle 31 und Tabelle 28 sowie Abschnitt 5.2.4).

Qualitativ kann schon hier festgehalten werden, dass die Nahrungsmittelindustrie, die Gummi- und Kunststoffherstellung und die sonstige chemische Industrie die höchsten KWK-Potenziale haben dürften, die jeweils um die 10 TWh (ca. 35 PJ) pro Jahr liegen könnten. Alle dieser drei größeren Branchen haben auch einen zunehmenden Kältebedarf zwischen 6,5 und 0,8 TWh (23 bis 2,9 PJ) pro Jahr (vgl. Tabelle 32).

Der Kältebedarf der einzelnen Industriebranchen wurde in Analogie zum Wärmebedarf über die Entwicklung der Bruttowertschöpfung und der Kälte-Intensität, dem Verhältnis von Energiebedarf für Kälte zur Bruttowertschöpfung ermittelt. Dabei gab es eine Reihe von speziellen Annahmen technologischer Veränderungen:

- Im Nahrungsmittelgewerbe nimmt der Kältebedarf wegen des weiter steigenden Anteils von Fertiggerichten überproportional zur Bruttowertschöpfung zu.
- Ähnliches gilt für den Fahrzeugbau und Maschinenbau sowie die sonstige Chemische Industrie (insbesondere Pharmazie), wo verstärkt Reinraumtechnik eingesetzt wird.

Insgesamt erhöht sich der Kältebedarf der Industrie nur unterproportional zum Wachstum der industriellen Bruttowertschöpfung, weil der große Kältebedarf der Grundstoffchemie im Projektionszeitraum abnimmt. Hierbei handelt es sich auch um Tieftemperatur-Kälte (z.B. zur Stickstoff- und Sauerstoffgewinnung).

9.3 Ergänzende Informationen zu Kapitel 6: Mögliche Rolle der KWK im zukünftigen Strom- und Wärmesystem

Tabelle 88: Deckungsbeitrag 1 der öffentlichen KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag

Deckungsbeitrag 1 in EUR₂₀₁₃/kW

Summe aus Strom- und Wärmeerlösen, vermiedenen Netznutzungsentgelten und KWK-Zuschlag minus CO₂-, Brennstoff- und variablen Kosten

Anlage:	BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
2008	94	50	103	130	155	178	233
2009	44	30	52	63	75	70	104
2010	36	20	45	63	81	99	143
2011	30	11	38	57	77	66	121
2012	11	6	11	16	20	66	112
2013	5	2	2	3	4	55	95
2014	4	2	1	1	1	62	101
2015	4	2	1	1	0	40	79
2016	4	2	1	0	0	29	65
2017	5	2	2	1	0	13	41
2018	5	2	2	2	1	0	25
2019	5	2	2	1	0	-2	25
2020	4	2	1	0	0	7	37
2021	4	2	1	0	0	4	37
2022	5	2	2	2	2	2	36
2023	6	3	3	2	3	3	34
2024	7	3	4	4	6	4	34
2025	9	5	7	8	11	8	37
2026	11	6	9	12	15	10	41
2027	13	8	12	16	19	12	42
2028	19	12	18	22	27	17	44
2029	18	11	17	22	27	15	44
2030	23	14	22	28	34	19	48
2031	26	17	26	32	39	21	48
2032	26	16	26	33	40	20	47
2033	30	20	30	37	45	25	48
2034	37	25	36	44	52	31	53
2035	46	34	46	53	61	39	60

Quelle: Prognos 2014

Tabelle 89: Deckungsbeitrag 1 der öffentlichen KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag

Deckungsbeitrag 1 in EUR₂₀₁₃/kW

Summe aus Strom- und Wärmeerlösen, vermiedenen Netznutzungsentgelten und KWK-Zuschlag minus CO₂-, Brennstoff- und variablen Kosten

Anlage:	BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
2008	109	62	120	149	177		260
2009	80	57	90	106	121		154
2010	75	46	86	108	130		195
2011	66	34	76	100	124		171
2012	43	25	47	58	68		185
2013	20	10	21	26	31		166
2014	13	6	13	18	22		172
2015	14	6	13	18	22		149
2016	12	5	12	16	20		133
2017	8	3	7	10	13		106
2018	7	2	5	6	9		84
2019	8	3	6	8	12		79
2020	10	4	9	14	19		37
2021	9	3	8	13	18		37
2022	10	4	9	14	20		36
2023	12	4	11	16	21		34
2024	14	5	13	19	25		34
2025	18	8	18	24	32		37
2026	22	10	22	29	36		41
2027	25	12	25	33	41		42
2028	32	17	32	41	27		44
2029	32	16	32	42	27		44
2030	37	20	37	48	34		48
2031	40	22	41	32	39		48
2032	40	22	41	33	40		47
2033	44	25	44	37	45		48
2034	50	31	50	44	52		53
2035	58	40	59	53	61		60

Quelle: Prognos 2014

Tabelle 90: Deckungsbeitrag 2 der öffentlichen KWK-Anlagen ohne KWK-Zuschlag

Deckungsbeitrag 1 in EUR₂₀₁₃/kW

Summe aus Strom- und Wärmeerlösen, vermiedenen Netznutzungsentgelten und KWK-Zuschlag minus CO₂-, Brennstoff- und variablen Kosten

Anlage:	BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
2008	109	62	120	149	177	178	260
2009	80	57	90	106	121	70	154
2010	75	46	86	108	130	99	195
2011	66	34	76	100	124	66	171
2012	43	25	47	58	68	66	185
2013	20	10	21	26	31	55	166
2014	13	6	13	18	22	62	172
2015	14	6	13	18	22	40	149
2016	12	5	12	16	20	29	133
2017	8	3	7	10	13	13	106
2018	7	2	5	6	9	0	84
2019	8	3	6	8	12	-2	79
2020	10	4	9	14	19	7	37
2021	9	3	8	13	18	4	37
2022	10	4	9	14	20	2	36
2023	12	4	11	16	21	3	34
2024	14	5	13	19	25	4	34
2025	18	8	18	24	32	8	37
2026	22	10	22	29	36	10	41
2027	25	12	25	33	41	12	42
2028	32	17	32	41	27	17	44
2029	32	16	32	42	27	15	44
2030	37	20	37	48	34	19	48
2031	40	22	41	32	39	21	48
2032	40	22	41	33	40	20	47
2033	44	25	44	37	45	25	48
2034	50	31	50	44	52	31	53
2035	58	40	59	53	61	39	60

Quelle: Prognos 2014

Tabelle 91: Deckungsbeitrag 2 der öffentlichen KWK-Anlagen mit KWK-Zuschlag

Deckungsbeitrag 2 in EUR₂₀₁₃/kW

Deckungsbeitrag 1 minus fixe Betriebskosten

Anlage:	BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
2008	93	42	104	133	161		238
2009	64	37	74	90	105		132
2010	59	26	70	92	114		173
2011	50	14	60	84	108		149
2012	27	5	31	42	52		163
2013	4	-10	5	10	15		144
2014	-3	-14	-3	2	6		150
2015	-2	-14	-3	2	6		127
2016	-4	-15	-4	0	4		111
2017	-8	-17	-9	-6	-3		84
2018	-9	-18	-11	-10	-7		62
2019	-8	-17	-10	-8	-4		57
2020	-6	-16	-7	-2	3		15
2021	-7	-17	-8	-3	2		15
2022	-6	-16	-7	-2	4		14
2023	-4	-16	-5	0	5		12
2024	-2	-15	-3	3	9		12
2025	2	-12	2	8	16		15
2026	6	-10	6	13	20		19
2027	9	-8	9	17	25		20
2028	16	-3	16	25	11		22
2029	16	-4	16	26	11		22
2030	21	0	21	32	18		26
2031	24	2	25	16	23		26
2032	24	2	25	17	24		25
2033	28	5	28	21	29		26
2034	34	11	34	28	36		31
2035	42	20	43	37	45		38

Quelle: Prognos 2014

Tabelle 92: Wirtschaftliche Betriebsstunden der öffentlichen KWK-Anlagen, ohne KWK-Zuschlag

Stunden mit wirtschaftlichen Betrieb

Anzahl der Stunden mit einem positiven Deckungsbeitrag

h/a	BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
2008	2876	1553	3178	3955	4697	5529	6750
2009	1803	1195	2268	2948	3697	3997	5772
2010	1757	931	2395	3478	4604	5775	7179
2011	2035	742	2629	3696	4804	4869	6941
2012	674	323	975	1511	2232	5599	7407
2013	307	123	524	854	1199	5772	7598
2014	121	24	236	485	758	6.157	7.788
2015	118	19	251	490	783	5.492	7.163
2016	80	19	215	449	708	4.996	6.630
2017	3	1	45	116	238	4.100	5.867
2018	0	0	7	30	79	3.285	5.117
2019	9	0	34	102	209	3.011	4.888
2020	76	7	146	341	611	3.124	4.906
2021	69	8	136	316	591	3.034	4.946
2022	118	30	189	379	670	2.696	5.017
2023	141	47	212	408	669	2.290	5.153
2024	230	80	329	571	876	2.086	5.059
2025	353	133	463	747	1.086	1.943	4.951
2026	447	171	582	893	1.324	1.881	4.724
2027	547	205	681	1.062	1.565	1.841	4.507
2028	650	272	794	1.187	1.679	1.774	4.072
2029	708	273	884	1.346	2.009	1.807	4.177
2030	801	331	990	1.477	2.223	1.794	4.024
2031	828	382	992	1.508	2.243	1.697	3.705
2032	862	358	1.050	1.584	2.366	1.661	3.677
2033	910	391	1.079	1.615	2.376	1.484	3.440
2034	900	407	1.071	1.602	2.361	1.309	3.106
2035	896	449	1.050	1.579	2.299	1.169	2.801

Quelle: Prognos 2014

Tabelle 93: Wirtschaftliche Betriebsstunden der öffentlichen KWK-Anlagen, mit KWK-Zuschlag

Stunden mit wirtschaftlichen Betrieb

Anzahl der Stunden mit einem positiven Deckungsbeitrag

h/a	BHKW 6	GuD 1	GuD 2	GuD 3	GuD 4	Steinkohle 1	Steinkohle 2
2008	3.231	1.849	3.556	4.435	5.261		7.146
2009	2.981	2.005	3.398	4.133	4.882		6.589
2010	3.176	1.844	3.708	4.786	5.778		7.659
2011	3.309	1.704	3.823	4.931	5.972		7.516
2012	2.189	1.272	2.480	3.108	3.952		7.709
2013	1.484	824	1.665	2.047	2.530		7.822
2014	1.105	528	1.289	1.653	1.978		7.896
2015	1.175	568	1.362	1.718	2.091		7.651
2016	1.102	545	1.318	1.694	2.038		7.345
2017	758	384	925	1.280	1.619		6.952
2018	551	247	700	999	1.335		6.562
2019	670	276	802	1.149	1.522		6.333
2020	912	408	1.072	1.496	1.921		4.906
2021	859	333	1.011	1.446	1.869		4.946
2022	902	332	1.047	1.505	1.970		5.017
2023	904	324	1.060	1.532	2.046		5.153
2024	1.010	361	1.165	1.634	2.162		5.059
2025	1.116	443	1.280	1.746	2.312		4.951
2026	1.218	500	1.365	1.848	2.497		4.724
2027	1.310	560	1.462	1.934	2.622		4.507
2028	1.391	602	1.538	2.027	1.679		4.072
2029	1.476	644	1.617	2.176	2.009		4.177
2030	1.567	688	1.711	2.285	2.223		4.024
2031	1.560	720	1.706	1.508	2.243		3.705
2032	1.582	693	1.715	1.584	2.366		3.677
2033	1.571	705	1.714	1.615	2.376		3.440
2034	1.534	692	1.671	1.602	2.361		3.106
2035	1.483	699	1.612	1.579	2.299		2.801

Quelle: Prognos 2014