

Endbericht

Maßnahmen zur nachhaltigen Integration von Systemen zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung in das neue Energieversorgungssystem

Im Auftrag des BDEW
Bundesverband der
Energie- und Wasser-
wirtschaft e.V., Berlin
und des AGFW | Der
Energieeffizienzverband
für Wärme, Kälte und
KWK e.V., Frankfurt a.M.

Ansprechpartner
Marco Wunsch

Mitarbeiter
Eva-Maria Klotz
Marcus Koepp
Gesine Steudle

Berlin, 11. Juli 2013

Das Unternehmen im Überblick

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrates

Gunter Blickle

Handelsregisternummer

Berlin HRB 87447 B

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht

Gründungsjahr

1959

Tätigkeit

Prognos berät europaweit Entscheidungsträger in Wirtschaft und Politik. Auf Basis neutraler Analysen und fundierter Prognosen werden praxisnahe Entscheidungsgrundlagen und Zukunftsstrategien für Unternehmen, öffentliche Auftraggeber und internationale Organisationen entwickelt.

Arbeitsprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG

Henric Petri-Str. 9

CH-4010 Basel

Telefon +41 61 3273-310

Telefax +41 61 3273-300

info@prognos.com

Weitere Standorte

Prognos AG

Goethestr. 85

D-10623 Berlin

Telefon +49 30 52 00 59-210

Telefax +49 30 52 00 59-201

Prognos AG

Science 14 Atrium; Rue de la Science 14b

B-1040 Brüssel

Telefon +32 2808-7209

Telefax +32 2808-8464

Prognos AG

Nymphenburger Str. 14

D-80335 München

Telefon +49 89 954 1586-710

Telefax +49 89 954 1586 288-710

Prognos AG

Wilhelm-Herbst-Str. 5

D-28359 Bremen

Telefon +49 421 51 70 46-510

Telefax +49 421 51 70 46-528

Prognos AG

Schwanenmarkt 21

D-40213 Düsseldorf

Telefon +49 211 91316-110

Telefax +49 211 91316-141

Prognos AG

Friedrichstr. 15

D-70174 Stuttgart

Telefon +49 711 3209-610

Telefax +49 711 3209-609

Internet

www.prognos.com

Inhalt

Executive Summary	1
1 Hintergrund und Aufgabenstellung	8
2 Energiepolitische und energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen	10
2.1 Ziele der Bundesregierung	10
2.2 Ausbaustand der KWK in Deutschland	11
2.3 Betriebskonzepte der KWK	12
2.4 Förderung der KWK	13
2.5 Heutige wirtschaftliche Situation der KWK	16
3 Methodischer Ansatz der Untersuchung	29
3.1 Auswahl von Referenzsystemen	29
3.2 Modellierung des KWK-Einsatzes	32
4 Rahmenannahmen der Modellierung	35
4.1 Wärmebedarf und Wärmelastprofil	35
4.2 Strombedarf, Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Residuallast	42
4.3 Flexibilisierung der KWK-Stromerzeugung	47
4.4 Sinnvolle Nutzung von überschüssigem regenerativ erzeugtem Strom	48
4.5 Szenariendefinition für die Modellierung	53
4.6 Berechnung der CO ₂ -Emissionen	54
5 Der mögliche Beitrag der KWK zu einem nachhaltigen Energiesystem	59
5.1 Potenziale der KWK in der Stromerzeugung	59
5.2 Potenziale der KWK in der Nutzung überschüssigen EE-Stroms	65
5.3 Wärmeerzeugung durch das KWK-System	66
5.4 CO ₂ -Einsparungen durch die KWK	68
5.5 Fazit	74
6 Handlungsempfehlungen zur langfristigen Sicherung der KWK in Deutschland	76
6.1 Ausblick zur möglichen Entwicklung der europäischen Strommärkte	76
6.2 Kurzfristiger Handlungsbedarf	81
6.3 Mittelfristige Leitlinien	85
6.4 Langfristiger Ausblick	88
7 Anhang	90
7.1 Quellen	90
7.2 Ergebnistabellen	91

Abbildungen

Abbildung 1:	Stromerzeugungspotenziale der KWK in den Szenarien	2
Abbildung 2:	Nettostromerzeugung und technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial in TWh	3
Abbildung 3:	Mögliche CO ₂ -Einsparungen der KWK-Systeme	4
Abbildung 4:	Untersuchungsdesign	9
Abbildung 5:	Energiewirtschaftliches Umfeld der KWK-Anlagen	14
Abbildung 6:	Historische Preisentwicklung für Brennstoffe und CO ₂ -Zertifikate	17
Abbildung 7:	Preisentwicklung für Strom im Großhandel	17
Abbildung 8:	Endkundenpreise und EEG-Umlage für Strom in Cent/kWh	19
Abbildung 9:	Wirtschaftliche Betriebsstunden KWK-Anlagen, 2006-2012	21
Abbildung 10:	Deckungsbeiträge der KWK-Anlagen nach Kraftwerkstyp, 2006-2012	22
Abbildung 11:	Deckungsbeiträge von Neuanlagen mit Berücksichtigung des KWK-Zuschlags, 2006-2012	23
Abbildung 12:	Stromgestehungskosten kleiner KWK-Anlagen 2013	25
Abbildung 13:	Referenzstromerlöse kleiner KWK-Anlagen 2013	26
Abbildung 14:	Kosten- und Erlösdarstellung kleiner KWK-Anlagen 2013	27
Abbildung 15:	Schematische Darstellung der Berechnung der CO ₂ -Vermeidung	31
Abbildung 16:	Strom- und wärmeseitige Begrenzung der KWK-Stromproduktion	33
Abbildung 17:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs (EEV) in Deutschland bis 2050 im Referenzszenario	36
Abbildung 18:	Fernwärmepotenziale gemäß IER Stuttgart	37
Abbildung 19:	Szenarien zur Entwicklung des KWK-Wärmebedarfs in Deutschland (notwendige KWK-Wärme-erzeugung) für die Sektoren PHH und GHD	39
Abbildung 20:	Sanierungsraten und Sanierungserfolg in den Szenarien	40
Abbildung 21:	Wärmelastprofil KWK-Wärme	41
Abbildung 22:	Nettostromerzeugung in Deutschland	42
Abbildung 23:	Lastprofil Strom in Deutschland 2012	42
Abbildung 24:	Referenzausbau regenerativer Stromerzeugung	43
Abbildung 25:	Entwicklung des Kraftwerksparks in Deutschland im Referenzsystem	44

Abbildung 26:	Stündliche Strom-Einspeiseprofile der erneuerbaren Energien in Deutschland	45
Abbildung 27:	Auslegung der Gesamt-Wärmespeicherkapazität in stromgeführten KWK-Anlagen	48
Abbildung 28:	Abschaltung von erneuerbarer Stromerzeugung aufgrund von Netzengpässen	50
Abbildung 29:	Saisonaler Verlauf der Eingriffsstunden nach § 13.2 EnWG	51
Abbildung 30:	Produktion von Strom und Wärme in einem KWK-System mit Wärmespeicher und Nutzung von EE-Überschussstrom für eine Beispielwoche	52
Abbildung 31:	CO ₂ -Emissionen BHKW und getrennte Erzeugung	58
Abbildung 32:	Stromerzeugungspotenzial der KWK 2012	60
Abbildung 33:	Stromerzeugungspotenzial der KWK 2030 (mittleres Wärmeszenario)	61
Abbildung 34:	Stromerzeugungspotenzial der KWK 2050 (mittleres Wärmeszenario)	61
Abbildung 35:	Monatliches KWK-Stromerzeugungspotenzial in den Jahren 2012, 2030 und 2050 (mittleres Wärmeszenario, Anlagen mit Wärmespeichern)	62
Abbildung 36:	Stromerzeugungspotenziale der KWK in den Szenarien	63
Abbildung 37:	Nettostromerzeugung nach Energieträgern und technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial in TWh (KWK inkl. Speicher und Elektroheizer und Nutzung des zusätzlichen Potenzials)	64
Abbildung 38:	Potenzial zur Nutzung überschüssigen EE-Stroms zur Wärmebereitstellung des KWK-Systems	65
Abbildung 39:	Einfluss von Wärmespeichern und Elektroheizern auf die Wärmebereitstellung	66
Abbildung 40:	Einfluss des KWK-Wärmebedarfsszenarios auf die Wärmebereitstellung	67
Abbildung 41:	Vermiedene CO ₂ -Emissionen durch die KWK, bei Ausschöpfung des technischen Potenzials in Mio. t (inkl. Nutzung des Überschussstroms)	69
Abbildung 42:	Absolute CO ₂ -Emissionen durch die KWK, bei Ausschöpfung des technischen Potenzials in Mio. t	69
Abbildung 43:	Gegenüberstellung der Emissionen eines ungekoppelten Referenzsystems mit denen des KWK-Systems	70
Abbildung 44:	Spezifische Emissionsvermeidung der BHKW bei Verdrängung von Strom aus erneuerbaren Energien in den Jahren 2030 und 2050	72
Abbildung 45:	Verdrängung von Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien durch nicht strommarktgeführte KWK-Anlagen	73

Tabellen

Tabelle 1:	Energiepolitische Ziele der Bundesregierung	10
Tabelle 2:	KWK-Stromerzeugung 2005 bis 2011 in TWh	11
Tabelle 3:	KWK-Wärmerzeugung 2005 bis 2011 in TWh	12
Tabelle 4:	Aktuelle Zuschlagssätze KWK-G 2012, in Cent/kWh	13
Tabelle 5:	Grundvergütung für biogene KWK nach EEG	15
Tabelle 6:	Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung großer KWK Anlagen	20
Tabelle 7:	Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung kleiner KWK-Anlagen	24
Tabelle 8:	Anlagenanzahl sowie Anlagenzubau der Objekt-KWK in den Sektoren private Haushalte und GHD	38
Tabelle 9:	Beschränkungen für die strommarktorientierte KWK	46
Tabelle 10:	Möglichkeiten zur Nutzung und Speicherung von Strom	49
Tabelle 11:	Brennstoffmix der KWK-Anlagen	55
Tabelle 12:	Spezifische CO ₂ -Emissionsfaktoren der Brennstoffe	55
Tabelle 13:	Emissionsfaktoren der ungekoppelten Referenz-Strom- und Wärme-Erzeugung	56
Tabelle 14:	Anteile der KWK-Stromerzeugung (technisches Potenzial an der regelbaren Stromerzeugung)	64
Tabelle 15:	Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2012 in TWh	91
Tabelle 16:	Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2015 in TWh	92
Tabelle 17:	Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2020 in TWh	93
Tabelle 18:	Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2025 in TWh	94
Tabelle 19:	Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2030 in TWh	95
Tabelle 20:	Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2040 in TWh	96
Tabelle 21:	Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2050 in TWh	97

Executive Summary

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist eine wichtige Technologie zur Steigerung der Primärenergieeffizienz, zur Reduktion von CO₂-Emissionen und für den Ressourcenschutz. Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, den Anteil von KWK an der Gesamtnettostromerzeugung bis zum Jahr 2020 auf 25 % zu erhöhen.

Gleichzeitig sollen bis 2020 mindestens 35 % des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energieträgern gedeckt werden. In den folgenden Jahrzehnten bis zum Jahr 2050 plant die Bundesregierung, diesen Anteil auf über 80 % zu erhöhen. Ein hoher Anteil dieser Stromerzeugung wird aus volatilen Quellen gedeckt werden, die nur eingeschränkt regelbar sind, so dass das übrige Stromsystem aus regelbaren Energiequellen eine verstärkte Flexibilität aufweisen muss.

Mit der im Jahr 2014 anstehenden Überprüfung des KWK-Gesetzes werden entscheidende Weichen für die zukünftige Rolle der KWK gestellt. Das Ziel dieser Untersuchung ist die Ermittlung des Potenzials für die gekoppelte Strom und Wärmeerzeugung in allen KWK-Anlagen für den Zeitraum bis zum Jahr 2050, die Quantifizierung der daraus resultierenden Vorteile und die Erarbeitung von Vorschlägen für eine Anpassung und Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen.

Methodischer Ansatz und Rahmenannahmen

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 angeschlossene Nutzer zu jeder Zeit bedarfsgerecht zu decken. Die Modellierung des KWK-Einsatzes erfolgte für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 auf stündlicher Basis. Die Effekte der KWK-Systeme auf den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen wurden anhand eines Vergleichs mit Referenzsystemen zur ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung ermittelt (vgl. Kapitel 3).

Die Grundlage der Berechnungen bildete eine aktuelle Referenzentwicklung zur Entwicklung des Strom- und Wärmebedarfs sowie des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland (vgl. Kapitel 4). Die zukünftige Stromerzeugung in Deutschland wird von temporären Überschüssen bei der Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik gekennzeichnet sein, für die heute noch keine ausreichenden Speichersysteme zur Verfügung stehen.

Für die Potenzialanalyse der KWK untersucht wurden auf der Wärmeseite drei Ausbauszenarien (oberes, mittleres und unteres Szenario), für die Stromseite wurden diese kombiniert mit vier Szenarien zur technischen Ausstattung der KWK-Anlagen (Status Quo, Ausrüstung mit Wärmespeichern, Wärmespeicher und

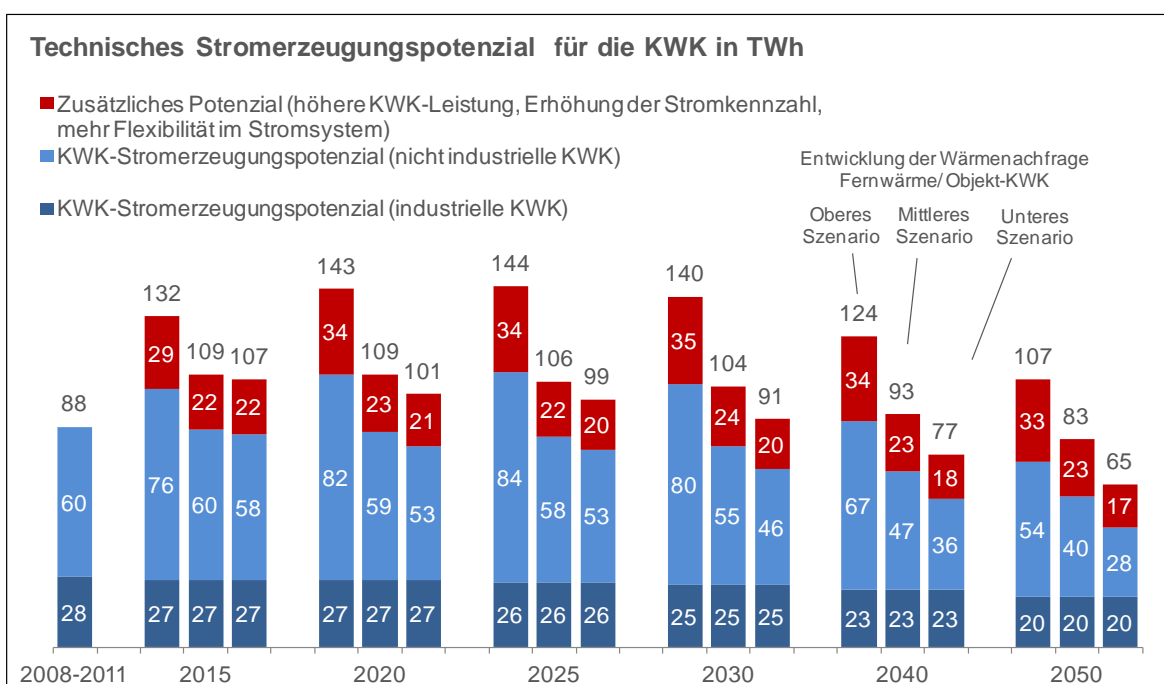
Elektroheizer sowie die Kombination von Wärmespeicher, Elektroheizer, Erhöhung der KWK-Leistung und -Stromkennzahl und höhere Flexibilisierung des Stromsystems).

Potenziale der KWK-Stromerzeugung

Auch in einem zunehmend von fluktuierenden erneuerbaren Energien geprägten Stromsystem besteht langfristig ein großes Potenzial für die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme (vgl. Kapitel 5). Das technische **KWK-Stromerzeugungspotenzial** beträgt – je nach Szenario – im Jahr 2030 zwischen 71 TWh und 140 TWh und im Jahr 2050 zwischen 48 TWh und 107 TWh. Wesentliche Voraussetzung hierfür ist die Nutzung von Wärmespeichern zur Flexibilisierung der Stromerzeugung an allen KWK-Standorten.

Voraussetzung für eine Erschließung der KWK-Potenziale ist die flächendeckende Nutzung von Wärmespeichern an den KWK-Standorten, mit denen die KWK flexibel auf eine immer stärker fluktuierende Residuallast reagieren kann und auch den Wärmebedarf ihrer Abnehmer bedarfsgerecht bereitstellt.

Abbildung 1: Stromerzeugungspotenziale der KWK in den Szenarien

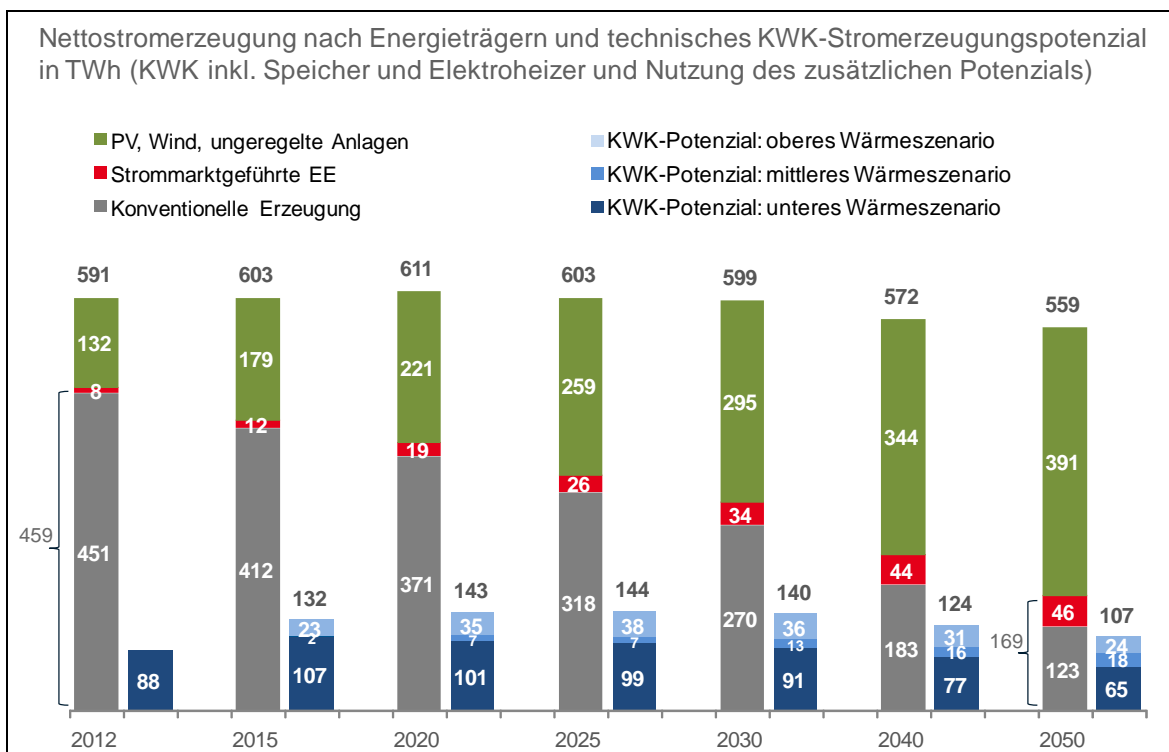


Quelle: Prognos 2013

Die KWK kann auch langfristig eine zentrale Stellung in der konventionellen Stromerzeugung einnehmen. Im Jahr 2012 betrug der Anteil der KWK-Stromerzeugung an der gesamten Nettostromerzeugung in Deutschland in etwa 16 %. Bezogen auf die Netto-

stromerzeugung aus regelbaren Anlagen beträgt der KWK-Anteil heute etwa 19 %. Bei Ausschöpfung des technischen KWK-Potenzials kann dieser Anteil an der regelbaren Erzeugung deutlich gesteigert werden. Bis 2030 kann die KWK, je nach Entwicklung der KWK-Wärmenachfrage zwischen 30 % und 46 % bereitstellen, bis 2050 kann dieser Anteil sogar auf 38 % bis 63 % wachsen.

Abbildung 2: Nettostromerzeugung und technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial in TWh



Quelle: Prognos 2013

Wärmeerzeugung und Potenziale für die Nutzung überschüssigen Stroms aus erneuerbaren Energien

Durch den flächendeckenden Einsatz von Wärmespeichern könnte das KWK-System flexibler agieren und einen wesentlich höheren Anteil der notwendigen Wärme gekoppelt erzeugen. Mit Wärmespeichern könnten im Jahr 2030 immerhin noch 88 %, im Jahr 2050 dann noch 77 % des Wärmebedarfs der an die KWK angeschlossenen Wärmeabnehmer in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden.

Zukünftig werden Überschusssituationen bei der regenerativen Stromerzeugung vermehrt auftreten. Deshalb müssen Lösungen für eine sinnvolle Nutzung dieses Stroms gefunden werden – die zunehmende Abschaltung der EE-Anlagen wäre die schlechteste Alternative. Die Wärmespeicher der KWK-Anlagen bieten eine sinnvolle, kostengünstige und relativ einfach umzusetzende Möglichkeit zur Nutzung dieses Stroms. Durch den Einsatz von

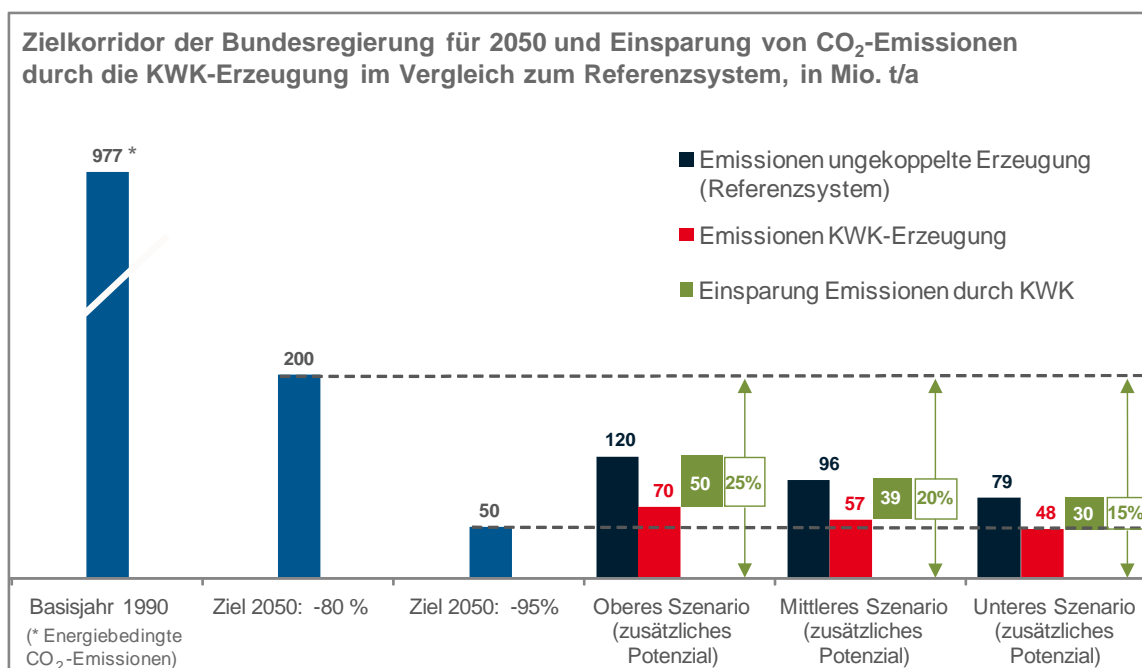
Elektroheizern in den Wärmespeichern können im Jahr 2030 rund 6 TWh und im Jahr 2050 zwischen 16 TWh und 22 TWh genutzt werden. Dies bietet für das Gesamtsystem deutliche Vorteile: Die Stromnetze werden durch die in der Fläche vorhandenen KWK-Anlagen entlastet. Flexible KWK-Systeme verbinden auch zukünftig den Strom- und Wärmemarkt und erreichen damit Effizienz und die Integration erneuerbarer Energien.

Potenziale für die Einsparung von CO₂-Emissionen

Die KWK wird auch künftig in erheblichem Umfang zur Minderung der CO₂-Emissionen beitragen. Bei einer vollständigen Ausschöpfung der Potenziale beträgt die Einsparung der KWK-Systeme gegenüber einer ungekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme im Jahr 2030 zwischen 35 Mio. t und 66 Mio. t CO₂ und im Jahr 2050 zwischen 25 und 50 Mio. t CO₂.

Das Ziel der Bundesregierung, die CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2050 um 80 % bis 95 % gegenüber 1990 zu verringern, bedeutet eine angestrebte Maximalemission von rund 200 Mio. Tonnen CO₂ (-80 %). Im Jahr 2050 könnten KWK-Systeme demnach allein durch die Verdrängung der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung bis zu 25 % der angestrebten Maximalemission einsparen. Somit eröffnet die gekoppelte Erzeugung Spielräume für weitere Emissionsreduktionen oder sie reduziert teure Reduktionsmaßnahmen in den anderen Sektoren.

Abbildung 3: Mögliche CO₂-Einsparungen der KWK-Systeme



Quelle: Prognos 2013

Die Ergebnisse der Studie zeigen auch, dass Mikro-/Mini-KWK (kleine KWK-Anlagen), die wie bisher wärmegeführt betrieben werden, auch bei Verdrängung erneuerbar erzeugten Stroms langfristig noch CO₂-Einsparungen gegenüber der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung aufweisen. Aus diesem Ergebnis lässt sich bei einer unterstellten Lebensdauer der BHKW von 15 bis 20 Jahren ableiten, dass heute noch kein dringender Handlungsbedarf besteht, diese Anlagen auf eine stromgeführte Fahrweise auszurichten.

Wirtschaftliche Situation der KWK

Die Analyse der heutigen wirtschaftlichen Situation (vgl. Kapitel 2) zeigt die Probleme auf, die dieser Potenzialausschöpfung entgegenstehen.

- Die aktuelle Höhe der Zuschläge nach KWK-G ist unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen für am Strommarkt agierende KWK-Anlagen nicht ausreichend, den gewünschten Neubau anzureizen.
- Auch große KWK-Bestandsanlagen, die mit Gas befeuert werden, sind derzeit kaum wirtschaftlich.
- Eine Wirtschaftlichkeit ist bei kleinen KWK-Anlagen momentan in der Regel nur zu erreichen, wenn Strom überwiegend für den Eigenbedarf erzeugt wird, unabhängig von den Erfordernissen des Strommarkts. Die Mikro-KWK in Einfamilienhäusern erreicht die Wirtschaftlichkeit selbst dann nicht.

Handlungsempfehlungen

Die Politik ist zur Erreichung ihrer KWK-Ziele in Deutschland aufgefordert, diese Probleme gemeinsam mit der Energiewirtschaft anzugehen und verlässliche Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine weitgehende Ausschöpfung der Potenziale ermöglichen. Damit die KWK auch langfristig als umweltfreundliche Erzeugungsoption zur Verfügung steht, sollten die Effizienzvorteile der KWK soweit notwendig durch Unterstützungsmaßnahmen gesichert werden. Vorschläge hierzu enthält Kapitel 6.

Die Ausschöpfung der Potenziale kann nur erreicht werden, wenn die KWK auch wirtschaftlich eine Zukunft hat. Dringender Handlungsbedarf besteht außerhalb des KWK-G vor allem in folgenden Bereichen:

- Das ETS-Regime muss nachhaltig in der Lage sein, seine Steuerungswirkung zu entfalten. Insbesondere muss die Effizienztechnologie KWK ihre Vorteile im Hinblick auf Ressourcenschonung und Primärenergieeffizienz honoriert bekommen. Dazu ist eine Gleichbehandlung von großen KWK-Anlagen, die am ETS teilnehmen und kleinen

dezentralen Heizungssystemen, für die keine Kosten für Emissionsrechte entstehen, sicher zu stellen.

- Bei einer Anpassung der EEG-Belastung müssen Fehlsteuerungen, Investitionshemmnisse und wettbewerbliche Verzerrungen für die kleine Objekt-KWK und die leitungsbasierte KWK vermieden werden.
- Eine mögliche Benachteiligung der Fernwärme bei der Überführung der Energieeffizienzrichtlinie in deutsches Recht ist zu verhindern.

Bei der für 2014 vorgesehenen Überarbeitung des KWK-G sind für die kurzfristige Perspektive des derzeitigen Fördersystems folgende Punkte zu beachten:

- Der Aufbau von Wärme- und Kältenetzen zur Stabilisierung bzw. Erhöhung des KWK-Absatzes sollte ebenso fortgeführt werden wie der zusätzliche Aufbau von Wärmespeichern, besonders bei großen KWK-Anlagen. Darüber hinaus sollte die thermische Nutzung des überschüssigen EE-Stroms in allen Speichern mit Elektroheizern angereizt werden.
- Die Zuschlagssätze des KWK-G müssen überprüft und den Erfordernissen angepasst werden. Auch große, mit Gas befeuerte KWK-Bestandsanlagen müssen zur Bestandserhaltung aus heutiger Sicht finanziell unterstützt werden.
- Eine zusätzliche Einführung leistungsbasierter Komponenten in der KWK-Förderung für große Anlagen fügt sich in die derzeit diskutierte Einrichtung von Kapazitätsmärkten ein.
- Bewährte Instrumente, wie der Einspeisevorrang von KWK-Strom und eine Befreiung von der Erdgassteuer sollten beibehalten werden.

Über diese kurzfristige Perspektive hinaus ist es wichtig, bereits heute Maßnahmen und Leitlinien zu definieren, die zur Ausschöpfung der KWK-Potenziale notwendig sind, deren Umsetzungszeitraum jedoch mittelfristig angelegt ist. Diese Maßnahmen bauen auf den kurzfristigen Handlungsempfehlungen auf oder dienen der Weiterentwicklung des KWK-Systems.

KWK-Anlagen sollten zur Ausschöpfung der CO₂-Einsparpotenziale strommarktorientiert betrieben werden. Diese Orientierung der KWK am Strommarkt ließe sich anreizen, indem die KWK-Zuschläge und sonstigen Bewertungsmaßstäbe der KWK (Phelix Baseload etc.) entsprechend den stündlichen Strommarktanforderungen dynamisiert werden und den Betreibern so wichtige Marktsignale zur Verfügung stellen.

Die Wirtschaftlichkeit der zusätzlichen Kosten für die Ausrüstung der kleinen KWK für eine stromgeführte Fahrweise ist im Wettbewerb mit ungekoppelten Wärmeerzeugungssystemen in der Regel nicht gegeben. Hier muss die Politik abwägen, ob sie die

zusätzlichen CO₂-Einsparungen einer stromgeführten Fahrweise der kleinen KWK-Anlagen durch eine zusätzliche Unterstützung dieser Anlagen anreizen will.

Eine wesentliche Grundvoraussetzung für den langfristigen Erfolg der KWK ist die Sicherung und der Ausbau des Einsatzes von in KWK erzeugter Wärme und Kälte. Eine Verbesserung des Marktumfelds der KWK hinsichtlich der Wärme- und Kälteerzeugung ließe sich durch folgende Maßnahmen erreichen:

- Der Einsatz von KWK-Wärme als sinnvolle Alternative zur Erreichung von hohen Wärmedämmstandards oder zum Einsatz von erneuerbaren Energien im Zuge der Gebäudesanierung sollte gesetzlich stärker flankiert und gesichert werden. Den entscheidenden Impuls für einen Ausbau der KWK könnten verbindliche CO₂-Einsparwerte für Gebäude liefern.
- Die Gleichbehandlung der Wärmebereitstellung von großen KWK-Anlagen, die am ETS teilnehmen, und von dezentralen Heizungssystemen, für die keine CO₂-Kosten entstehen, kann durch eine einheitliche Erhebung einer Lenkungsabgabe (CO₂-Steuer) auf den CO₂-Ausstoß von Heizungsanlagen effizienter gestaltet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass diese Abgabe nicht zu einer zusätzlichen Belastung der Endkunden führt, sondern an anderer Stelle des Steuersystems aufkommensneutral ausgeglichen wird.
- Die sinnvolle Nutzung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien muss ermöglicht werden. Voraussetzung hierfür ist, dass dieser kostengünstig ist. In den Wärmespeichern genutzter Strom sollte von Entgelten, Umlagen sowie Steuern und Abgaben befreit und/oder deren Belastung auf andere Weise kompensiert werden. Ob und in welchen Fällen die Vereinbarung günstiger Netzentgelte möglich ist, sollte im Rahmen der Umsetzung des EnWG erörtert werden.

Heute ist noch nicht absehbar, welche Richtung die Entwicklung der europäischen Strommärkte langfristig einschlagen wird. Unabhängig davon werden die Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb und Ausbau der KWK sehr stark geprägt vom jeweiligen Marktumfeld der vielfältigen KWK-Systeme.

Die zukünftige Wahl der Instrumente zur Ausschöpfung der ermittelten KWK-Potenziale muss diese Vielfalt der KWK berücksichtigen. Der bisher verfolgte modulare Ansatz hat sich bewährt und sollte auch langfristig mit einer detaillierten Betrachtung der KWK und Berücksichtigung ihrer spezifischen Erfordernisse weiter verfolgt werden.

1 Hintergrund und Aufgabenstellung

(1) Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist eine wichtige Technologie zur Steigerung der Primärenergieeffizienz, zur Reduktion von CO₂-Emissionen und für den Ressourcenschutz. Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, den Anteil von KWK an der Gesamtnettostromerzeugung bis zum Jahr 2020 auf 25 % zu erhöhen.

Gleichzeitig sollen bis 2020 mindestens 35 % des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energieträgern gedeckt werden. In den folgenden Jahrzehnten bis zum Jahr 2050 plant die Bundesregierung, diesen Anteil auf über 80 % zu erhöhen. Ein hoher Anteil dieser Stromerzeugung wird aus volatilen Quellen gedeckt werden, die nur eingeschränkt regelbar sind, so dass das übrige Stromsystem aus regelbaren Energiequellen eine verstärkte Flexibilität aufweisen muss.

(2) Mit der im Jahr 2014 anstehenden Überprüfung des KWK-Gesetzes werden entscheidende Weichen für die zukünftige Rolle der KWK gestellt. Eine sachgerechte Bewertung der KWK sollte dabei das Fundament für ihre nachhaltige Bestandssicherung und Weiterentwicklung zu einer umweltgerechten Ergänzung der erneuerbaren Energien bilden.

(3) Vor diesem Hintergrund erhielt die Prognos AG vom BDEW und dem AGFW gemeinsam den Auftrag, eine aussagekräftige Basis für die anstehende Bewertung der KWK zu liefern, aus der die technischen und organisatorischen Anforderungen an eine zukunftsfähige KWK ebenso hervorgehen wie der Beitrag, den die KWK bei der Integration der erneuerbaren Energien in das zukünftige Energiesystem leisten kann.

(4) Es ist deshalb das Ziel dieser Untersuchung, das sinnvoll nutzbare Potenzial für die gekoppelte Strom und Wärmeerzeugung in allen KWK-Anlagen für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 zu ermitteln, die daraus resultierenden Vorteile zu quantifizieren und Vorschläge für eine Anpassung und Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen zu erarbeiten.

Für diese Analyse ist es zunächst notwendig, eine Bestandsaufnahme zur heutigen Situation der KWK durchzuführen (Kapitel 2) und eine sachgerechte Untersuchungsmethode für den sinnvollen KWK-Einsatz festzulegen (Kapitel 3).

Der zukünftige Einsatz der KWK-Anlagen wird sowohl von der Entwicklung des Strombedarfs und der Strommärkte als auch vom zukünftigen Wärmebedarf der an die KWK angeschlossenen Abnehmer beeinflusst. Diese Einzelentwicklungen sind nahezu unabhängig voneinander, so dass eine Vielzahl von Kombi-

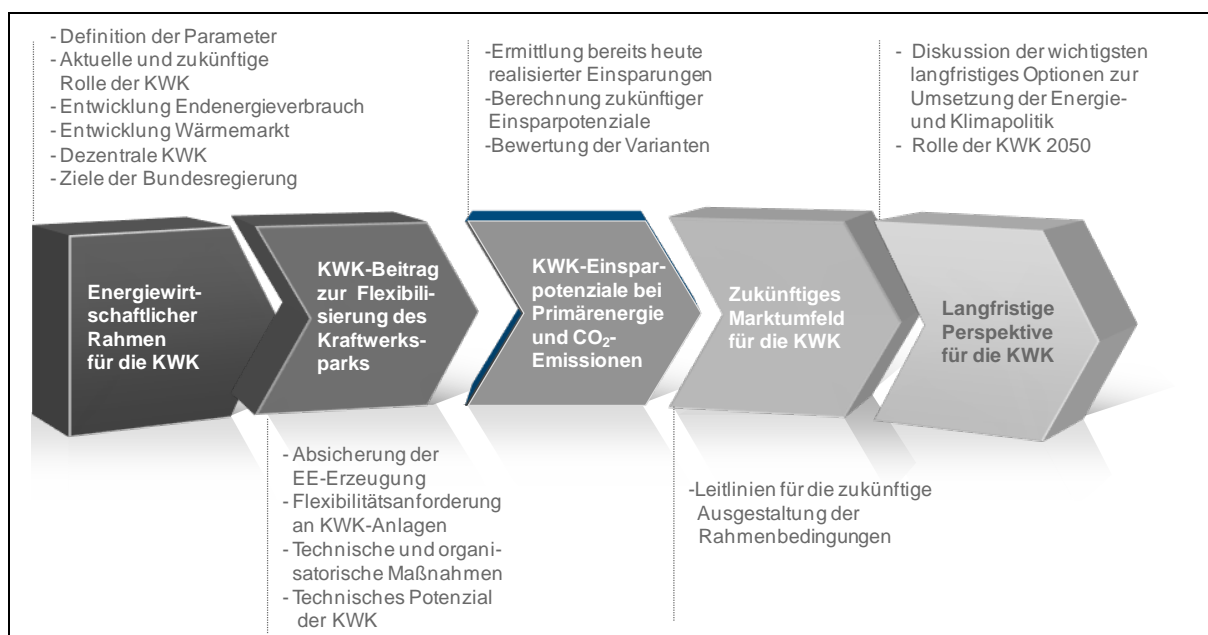
nationen möglich ist. Da eine vollständige Modellierung aller Kombinationen im Rahmen dieser Studie nicht sinnvoll ist, werden in Kapitel 4 für die Strom- und Wärmeseite sinnvolle Festlegungen für die Modellierung des Zeitraums bis 2050 getroffen, mit denen belastbare Aussagen über die zukünftige Rolle der KWK getroffen werden können.

Anhand dieser Entwicklungspfade wird in Kapitel 5 dargestellt, welchen Beitrag die KWK zur Integration der erneuerbaren Energien in unser Energiesystem, zur Einsparung von Primärenergieträgern und zur Reduzierung von CO₂-Emissionen leisten kann.

(5) Die Bundesregierung erkennt die Vorteile der KWK gegenüber der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung an und unterstützt sie ebenso wie die erneuerbaren Energien durch einen besonderen Rechts- und Förderrahmen. Die heutige KWK-Förderung setzt auf einen Zuschlag zum Markterlös der eingespeisten elektrischen Arbeit (in kWh) oder, wie im Falle der Wärmenetze und Speicher, auf Investitionszuschüsse. Ausgelöst durch den Ausbau der erneuerbaren Energien stehen die Strommärkte vor einem tiefgreifenden Wandel. Kapitel 6 gibt deshalb Hinweise, wie das heutige Förderregime der KWK sinnvoll an mögliche Veränderungen der Strommärkte angepasst werden kann, um die Potenziale der KWK für die deutsche Energieversorgung zu heben.

Die folgende Abbildung 4 zeigt die Schwerpunkte und analysierten Fragestellungen der Studie im Überblick.

Abbildung 4: Untersuchungsdesign



Quelle: Prognos 2013

2 Energiepolitische und energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen

2.1 Ziele der Bundesregierung

(1) Ein Umbau der Energieversorgung zu einem klimaneutralen System ist politischer und gesellschaftlicher Konsens und wird im **Energiekonzept der Bundesregierung 2010**, mit Ergänzungen in 2011 (Ergänzungen zur Rücknahme der Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke und Maßnahmen zum Netzausbau und Ausbau der erneuerbaren Energien) beschrieben. In Tabelle 1 sind die wesentlichen quantifizierten Ziele aufgeführt. Gemäß diesen Zielen soll der CO₂-Ausstoß in Deutschland bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Basisjahr 1990 um mindestens 40 %, bis 2030 um mindestens 55 % und bis 2050 um mindestens 80 % gesenkt werden. Neben der Säule Energieeffizienz soll dies durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung erreicht werden. Dabei soll der Anteil der **KWK an der Stromerzeugung 25 %** in 2020 betragen.

Tabelle 1: *Energiepolitische Ziele der Bundesregierung*

	2020	2030	2040	2050
Klima:				
Senkung CO ₂ gegenüber 1990	40 %	55 %	70 %	80-95 %
Erneuerbare Energien:				
Anteil Strom (mindestens)	35 %	50 %	65 %	80 %
Anteil gesamt	18 %	30 %	45 %	60 %
Kraft-Wärme-Kopplung:				
Anteil an der Stromerzeugung	25 %			
Energieeffizienz:				
Senkung Stromverbrauch	10 %			25 %
Senkung Primärenergieverbrauch	25 %			50 %

Quelle: Prognos 2013

(2) Neben der deutschen Gesetzgebung beeinflussen **verbindlich umzusetzende Richtlinien der EU** die deutsche Energiewirtschaft. Dazu zählen die Energiedienstleistungsrichtlinie, (2006/32/EG) die EU-Binnenmarktrichtlinie (2009/72/EG), die Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (2009/31/EC), der europäische Emissionshandel und die sich derzeit in der nationalen Umsetzung befindliche Effizienzrichtlinie. Ziele der europäischen Energiepolitik sind ebenfalls der Umbau zu einer kohlenstoffarmen Gesellschaft und eine Liberalisierung und Angleichung des europäischen Binnenmarktes. Obwohl innerhalb der Mitgliedsländer kein Konsens über die genaue Ausgestaltung der Energieversorgung besteht, sind künftige Instrumente im europäischen Rahmen zu denken und auf die europäische Kompatibilität zu prüfen.

2.2 Ausbaustand der KWK in Deutschland

(1) Die KWK in Deutschland umfasst eine Vielzahl von Anlagen und Betriebskonzepten. Grob einteilen lässt sie sich nach Betreiber, Größenklasse und eingesetztem Brennstoff in die Gruppen Kraftwerke der allgemeinen Versorgung, industrielle KWK und biogene KWK. Auf der Grundlage von [Prognos 2011] und [Öko-Institut 2012 a] sowie Veröffentlichungen des VKU, des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa) und der Monatsberichte der Elektrizitätsversorgung stellt Tabelle 2 die **Entwicklung der KWK-Nettostromerzeugung** dar. Für fossile und biogene BHKW lagen für 2011 noch keine Daten vor und es wurde eine erste Abschätzung anhand der Vorjahresentwicklung getroffen. Auf der Grundlage dieser Daten stieg die KWK-Stromerzeugung zwischen 2005 und 2011 kontinuierlich von 80 TWh auf etwas über 95 TWh. Damit entwickelte sich auch der prozentuale Anteil der KWK-Stromerzeugung an der Gesamt-Stromerzeugung von 14 % auf 17 % positiv. Der dynamischste Zuwachs erfolgte bei der biogenen KWK, die von der EEG-Vergütung profitiert.

Tabelle 2: KWK-Stromerzeugung 2005 bis 2011 in TWh

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Nettostromerzeugung	581,6	597,4	598,5	598,8	557,6	583,5	570,5 *
KWK-Nettostromerzeugung	80,0	82,5	82,6	86,2	85,5	93,1	95,3 *
davon allgemeine Versorgung	54,4	56,2	54,3	56,5	53,4	56,7	60,2
davon kommunal (>1 MW _{el})	19,5	21,8	20,9	21,3	22,5	25,1	25,1
davon < 1 MW _{el}	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9	3,3	3,5 *
davon Industrie (> 1 MW _{el})	25,6	25,8	25,8	25,7	26,6	29,8	28,4
davon biogene KWK	0,0	0,5	2,5	4,0	5,5	6,6	6,7 *
Anteil KWK (%)	14%	14%	14%	14%	15%	16%	17%

Quelle: Daten bis 2010: Öko-Institut 2012, 2011: VKU, Statistisches Bundesamt, Monatsberichte Elektrizitätsversorgung, * Schätzung/ Berechnung Prognos

(2) Tabelle 3 zeigt die zugehörige Wärmeerzeugung der KWK-Anlagen von 2005 bis 2011. Da die Werte nicht um Temperatureinflüsse bereinigt wurden, zeigen sich witterungsbedingte Schwankungen und kalte Winter (z. B. 2010) machen sich bemerkbar. Insgesamt zeigt der Trend über die Jahre eine steigende KWK-Wärmeerzeugung.

Tabelle 3: KWK-Wärmerzeugung 2005 bis 2011 in TWh

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
KWK-Nettowärmeerzeugung	184,7	185,6	184,2	188,3	186,9	201,9	202,9
davon allgemeine Versorgung	104,7	106,1	100,6	102,8	99,7	105,8	108,9
davon kommunal (>1 MW _{el})	36,1	36,1	35,3	35,8	35,6	40,8	35,8
davon < 1 MW _{el}	3,3	3,3	3,9	4,2	4,4	5,0	5,4 *
davon Industrie (> 1 MW _{el})	80,0	78,3	79,7	79,4	79,2	86,9	84,4
davon biogene KWK	0,0	0,8	3,9	6,1	7,8	9,2	9,6 *

Quelle: Daten bis 2010: Öko-Institut 2012, 2011: VKU, Statistisches Bundesamt, Monatsberichte Elektrizitätsversorgung, * Schätzung/ Berechnung Prognos

2.3 Betriebskonzepte der KWK

(1) Die großen Kraftwerke der **allgemeinen Versorgung werden in der Regel strommarktorientiert** gefahren, d. h. sie optimieren ihren Stromertrag. Den Einsatz zur Stromproduktion erhalten die Anlagen über ihre Stellung in der Merit-Order. Ist ein Wärmespeicher angeschlossen, kann die Strom- und Wärmeproduktion zeitlich entkoppelt werden und die Stromproduktion auf die Stromnachfrage optimiert werden. Besonders im Hinblick auf die immer höhere Einspeisung von fluktuierenden erneuerbaren Energien ist diese Flexibilisierung der KWK-Anlagen sinnvoll (vgl. Kapitel 4.3.).

(2) Blockheizkraftwerke (**BHKW**) auf Basis konventioneller Brennstoffe werden heute **wärmegeführt betrieben** oder nach dem Eigenstromverbrauch des Objekts gefahren.

Mit Biogas oder Biomasse betriebene Blockheizkraftwerke (biogene KWK) sind auf eine maximale Stromproduktion ausgelegt, da über die EEG-Vergütung jede Kilowattstunde unabhängig von der Nachfrage (bzw. vom Strompreis) vergütet wird. Inzwischen gibt es über die Markt- und Flexibilitätsprämie erste Anreize, auch diese Anlagen entsprechend dem Strombedarf zu fahren.

(3) Die KWK Anlagen der **Industrie** werden heute überwiegend nach den **Anforderungen des jeweiligen Prozesses** betrieben. Zukünftig kann auch hier eine stärkere Orientierung an den Anforderungen des Strommarkts sinnvoll sein.

2.4 Förderung der KWK

(1) Die KWK steht im Wettbewerb mit anderen Kraftwerken und Systemen zur Wärmeerzeugung. Die Erhöhung der KWK-Stromerzeugung ist ein Ziel des Energiekonzepts 2010 und wird durch das „Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung“ (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, **KWK-G**, aktuelle Fassung von 2012) gefördert. Im KWK-G wird die KWK-Stromerzeugung durch die vorrangige Abnahme der Stromerzeugung (Einspeisevorrang) und Zuschläge auf die produzierte Kilowattstunde gefördert. Diese Zuschläge gelten für Anlagen, die zwischen dem 19.07.2012 und 31.12.2020 in den Dauerbetrieb gehen oder modernisiert werden. Im heutigen KWK-G wird die Produktion von KWK-Strom unabhängig vom Moment der Einspeisung gefördert. Die **Zuschlagssätze auf die produzierte Kilowattstunden** richten sich nach der Größe und Art der Anlage und sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Aktuelle Zuschlagssätze KWK-G 2012, in Cent/kWh

Zuschlagsberechtigte Anlagen	Leistungsanteilig	KWK-Zuschlag*	Vergütungszeitraum
Kleine KWK-Anlagen bis einschließlich 50 kW _{el}		5,41 ct/kWh	10 Jahre <u>oder</u> 30.000 Vollbenutzungsstunden (Vbh); pauschalierte Auszahlung für Anlagen < 2kW möglich
Kleine KWK-Anlagen größer als 50 kW _{el}	50 - 250 kW _{el}	4,00 ct/kWh	30.000 Vbh
	> 250 kW _{el}	2,40 ct/kWh	
	< 50 kW _{el}	5,41 ct/kWh	
Hocheffiziente Neuanlagen	50 - 250 kW _{el}	4,00 ct/kWh	30.000 Vbh (für Anlagen im Emissionshandel erhöht sich der Zuschlag ab 1.1.2013 um 0,3 ct/kWh)
	250 kW _{el} - 2 MW _{el}	2,40 ct/kWh	
	> 2 MW _{el}	1,80 ct/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: KWK-G 2012

(2) Über die Zuschläge hinaus werden im KWK-G der Neu- und Ausbau von Wärme- und Kältenetzen sowie von Wärme- und Kältespeichern durch Zuschlagszahlungen auf die Investitionskosten gefördert:

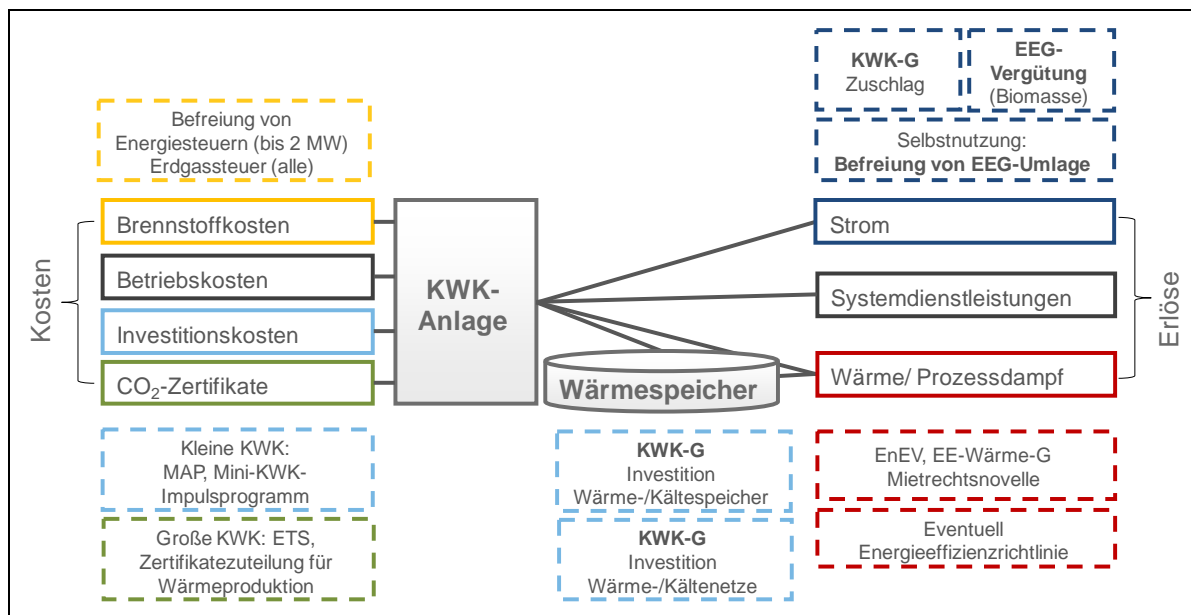
- Für den Neu- und Ausbau von **Wärme- und Kältespeichern** beträgt die Förderung 250 Euro pro Kubikmeter „Wasseräquivalent“, höchstens jedoch 30 % der ansatzfähigen Investitionskosten und insgesamt nicht mehr als 5 Mio. Euro pro Projekt.

- Wärme- und Kälteleitungen** mit einem Nenndurchmesser bis 100 mm werden mit Zuschlägen in Höhe von 100 Euro je laufenden Meter, maximal jedoch mit 40 % der ansatzfähigen Investitionskosten, Leitungen mit Durchmessern über 100 mm mit bis zu 30 % der ansatzfähigen Investitionskosten bezuschusst.

Der jährliche Höchstbetrag der KWK-Förderung inklusive Netze und Speicher beträgt im Rahmen des KWK-G insgesamt 750 Mio. Euro. Dieser Höchstbetrag wurde in den letzten Jahren nicht annähernd ausgeschöpft. Nach den von den Übertragungsnetzbetreibern veröffentlichten Daten betrug das Fördervolumen im Jahr 2011 rund 220 Mio. Euro. Die Prognosen für 2012 und 2013 gehen von 257 Mio. Euro bzw. 364 Mio. Euro aus.

Neben diesem Gesetz, das explizit den Ausbau der KWK zum Ziel hat, sind KWK-Anlagen von einer Vielzahl weiterer Gesetze, Regelungen und Programmen im Strom- und Wärmebereich betroffen. Abbildung 5 gibt dazu einen Überblick.

Abbildung 5: Energiewirtschaftliches Umfeld der KWK-Anlagen



Quelle: Prognos 2013

(3) Speziell für den Ausbau der kleinen KWK bieten das Marktanzreizprogramm (**MAP**) und das **Impulsprogramm für Mini-KWK-Anlagen** Investitionszuschüsse. Die Komplexität dieser Programme sorgt aktuell nicht für einen stärkeren Zuwachs dieser Anlagen am Markt. Besonders hier ist auf Entlastung zu achten.

Im **Energiesteuergesetz** sind kleine KWK-Anlagen bis 2 MW komplett von Energiesteuern befreit, größere Anlagen lediglich von der Erdgassteuer.

(4) Für den **Strombereich** gelten insbesondere folgende Regelungen:

- Große KWK-Anlagen nehmen am Europäischen Emissionshandelssystem (**ETS**) teil und erhalten für ihre Wärmeerzeugung eine anteilige kostenfreie Zuteilung von CO₂-Zertifikaten. Diese Zuteilung ist degressiv angelegt und läuft bis 2023 aus.
- KWK-Anlagen, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden (Biomasse und Biogas) können eine **Vergütung nach EEG** erhalten, die aber eine gleichzeitige Förderung durch das KWK-G ausschließt. Die Zuschläge sind gestaffelt nach Größenklasse und verwendetem Brennstoff und abhängig von der Inbetriebnahme der Anlage. Die Grundvergütung für diese Anlagen zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5: Grundvergütung für biogene KWK nach EEG

Größenklasse	Vergütung
Bis 150 kW	14,30 ct/kWh
Über 150 kW bis 500 kW	12,30 ct/kWh
Über 500 kW bis 5 MW	11,00 ct/kWh
Über 5 MW bis 20 MW	6,00 ct/kWh

Quelle: EEG 2012

Je nach eingesetztem **Brennstoff** wird eine **Zusatzvergütung** in Höhe von bis zu 6 ct/kWh gezahlt. Über die im EEG verankerte Marktprämie, bei der eine **Managementprämie** auf den Börsenstrompreis gezahlt wird, und die Flexibilitätsprämie, die Investitionen in die Fähigkeit zur marktorientierten Stromerzeugung (Regelungstechnik, Speicher) von Biogasanlagen vergütet, soll die bedarfsgerechte Erzeugung von biogener KWK angereizt werden.

- Von den Betreibern einer KWK-Anlage selbst genutzter Strom (**Eigenverbrauch**), ist **von der EEG-Umlage befreit**.

(5) Für den **Wärmebereich** gelten insbesondere folgende Regelungen:

- Wärme aus KWK-Anlagen kann laut Energieeinsparverordnung (**EnEV**) und Erneuerbare Energien-Wärme Gesetz (**EE-Wärme-Gesetz**) als Ersatzmaßnahme für den Einsatz erneuerbarer Energien angerechnet werden. Diese Regelung hat keinen direkten finanziellen Effekt, stärkt aber den KWK-Wärmeabsatz und somit indirekt die KWK.

- Zusätzlich ist die Wirtschaftlichkeit der KWK wärmeseitig stark von den gesetzlichen Bestimmungen, die Gebäude betreffen, wie z. B. der **Mietrechtsnovelle**, betroffen.
- Noch unklar ist der Einfluss der **Energieeffizienzrichtlinie** im Bereich der Heizungsanlagen auf die KWK. Die abschließende Umsetzung in deutsches Recht steht noch aus.

2.5 Heutige wirtschaftliche Situation der KWK

(1) Die KWK steht im Wettbewerb mit anderen Kraftwerken und Systemen zur Wärmeerzeugung. Die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen reduziert gegenüber ungekoppelten Systemen den Einsatz von Primärenergieträgern und senkt den CO₂-Ausstoß. Wegen dieser Effizienzvorteile verbessert sich die Marktposition der großen KWK-Anlagen, die am europäischen Emissionshandel (ETS) und am Strommarkt teilnehmen, bei steigenden Brennstoff- und CO₂-Preisen.

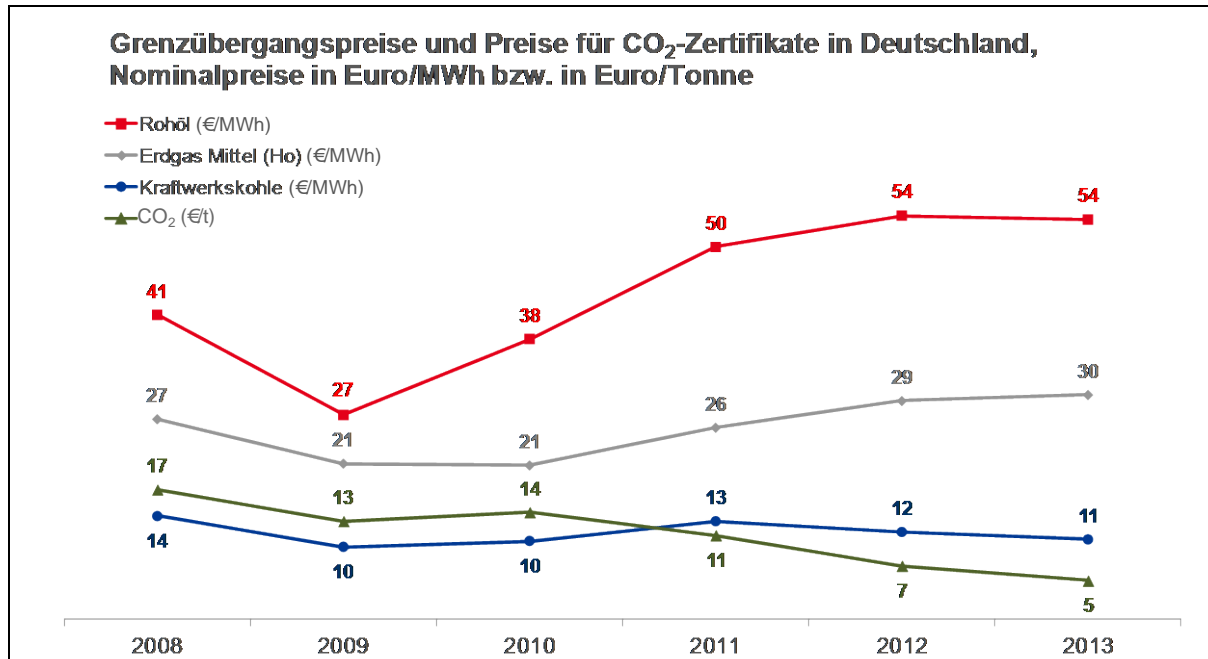
Seit der Liberalisierung der Energiemärkte wurde die KWK als effiziente Technologie zur Erzeugung von Strom- und Wärme im industriellen- und öffentlichen Bereich überwiegend marktgetrieben betrieben, zum Teil unterstützt von staatlichen Regelungen und Rahmenbedingungen.

Noch vor einigen Jahren war die KWK allein wegen ihrer Effizienzvorteile wirtschaftlich, hohe Brennstoff- und CO₂-Preise, verbunden mit einem noch geringen Ausbau der erneuerbaren Energien, führten zu Erlösen am Strommarkt, die zusammen mit den Wärmeerlösen einen wirtschaftlichen Betrieb erlaubten.

(2) Die europäische Wirtschaftskrise der letzten Jahre führte zusammen mit der hohen Zertifikateausstattung der aktuellen Handelsperiode zu einem zu einem Verfall der CO₂-Preise. Die wirtschaftliche Entwicklung der in den Emissionshandel eingebundenen Industrie und auch der Strombedarf entwickelten sich weitaus schwächer als bei der Festlegung der Emissionsziele für den Zeitraum bis 2020 angenommen. Vom Emissionshandel geben heute kaum noch Impulse zur Senkung der CO₂-Emissionen aus.

Der verfallende CO₂-Preis (vgl. Abbildung 6) reduziert den finanziellen Aspekt der Effizienzvorteile großer KWK-Anlagen. Hinzu kommt der durch steigende Einspeisemengen regenerativ erzeugten Stroms ausgelöste Merit-Order-Effekt, der die Strompreise im Großhandel senkt (vgl. Abbildung 7) und somit die Erlöse aller Kraftwerke reduziert. Vor diesem Hintergrund ist der wirtschaftliche Betrieb der meisten Erdgas- und vieler Steinkohlekraftwerke, auch der KWK-Anlagen, gefährdet. Emissionsstarke Braunkohlekraftwerke hingegen profitieren von den niedrigen CO₂-Kosten.

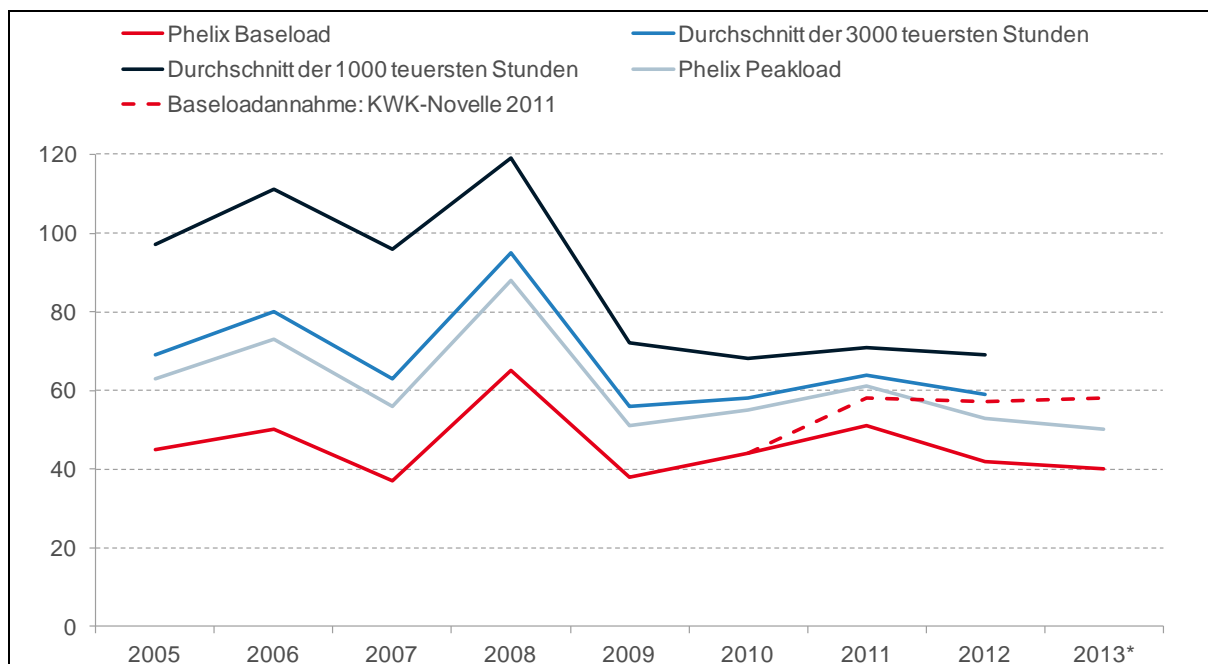
Abbildung 6: Historische Preisentwicklung für Brennstoffe und CO₂-Zertifikate



Quelle: Prognos 2013

(3) Durch die dargestellte Entwicklung liegt der aktuelle Preis für Baseload-Strom deutlich unter den Annahmen, die den Berechnungen der KWK-Zulagen für größere Anlagen aus der KWK-G-Novelle des Jahres 2012 zugrunde liegen.

Abbildung 7: Preisentwicklung für Strom im Großhandel



Quelle: Prognos 2013

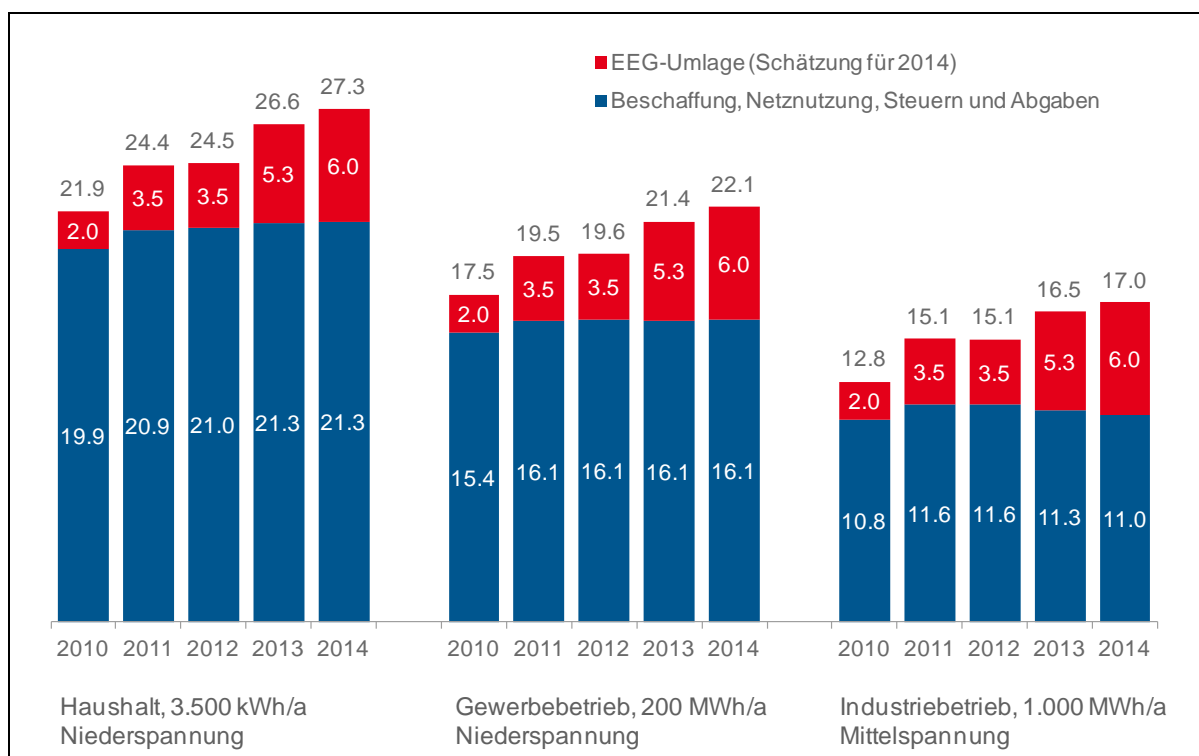
Vergleicht man die Preiserwartung aus den Berechnungen zur KWK-G-Novelle 2012 mit der seit 2010 am Großhandelsmarkt eingetretenen Preisentwicklung für Baseload-Strom, zeigt sich für die KWK-G-Novelle 2011 eine deutliche Überschätzung. Gegenüber den Annahmen der Novelle lag der relevante Börsenpreis in den letzten Jahren deutlich unter den Erwartungen. Für das Jahr 2013 ist eine Überschätzung von rund 20 Euro/MWh zu erwarten, Tendenz steigend. Dies entspricht für 2013 einem Fehlbetrag von rund 2 Cent/kWh. Legt man die in der KWK-G-Novelle als notwendig erachtete finanzielle Ausstattung der großen KWK-Anlagen zu Grunde, ist ein Anreiz für den Neubau und die Modernisierung von hocheffizienten Anlagen nicht gegeben.

(4) Die Entwertung der Effizienzvorteile durch verfallende CO₂-Preise und die sinkenden Einnahmen aus der Vermarktung des KWK-Stroms betreffen nicht nur die vom KWK-G geförderten Neubau- und Modernisierungsvorhaben der großen KWK-Anlagen. Auch der heute nicht geförderte KWK-Bestand verliert durch diese Entwicklung zunehmend seine wirtschaftliche Grundlage. Die Grenzkosten emissionsarmer Erdgas-KWK-Anlagen lagen in den letzten Jahren immer häufiger über den Strompreisen am Großhandelsmarkt.

Dies hatte zur Folge, dass die Anlagenbetreiber entweder die Wärmeerzeugung über ungekoppelt erzeugende Spitzenkessel sicher stellen mussten oder dass die Anlagen im sogenannten „Zwangsbetrieb“ liefen, in dem die Kosten der KWK-Erzeugung über den erzielbaren Erlösen lagen. Für diese Anlagen hält das KWK-G derzeit keine Unterstützung bereit. Beim Einsatz von Spitzenkesseln werden die Effizienzvorteile der KWK nicht genutzt.

(5) Verbessert hat sich die Marktsituation für einen Teil der kleinen KWK. Dabei handelt es sich um solche KWK-Anlagen, die direkt von den Nutzern zur Deckung ihres Eigenbedarfs an Strom und Wärme betrieben wird. Heute ist die Eigennutzung des selbst erzeugten KWK-Stroms nach den Regelungen des EEG von der EEG-Umlage befreit. Da in letzten Jahren die EEG-Umlage deutlich gestiegen ist, erhöhten sich die Strompreise der meisten Endverbraucher in Deutschland (vgl. Abbildung 8). Dies hatte zur Folge, dass die Referenzkosten für Wirtschaftlichkeitsberechnungen der kleinen KWK-Anlagen deutlich gestiegen sind. Von dieser Situation können jedoch nicht alle Betreiber kleiner KWK-Anlagen profitieren. Es betrifft nur die Fälle, in denen Eigentümer der KWK-Anlage und Nutzer des Stroms dieselbe juristische Person sind. Von Contracting-Firmen betriebene KWK-Anlagen zur Versorgung von Dritten fallen nicht unter diese Befreiung – deren KWK-Strom ist EEG-umlagepflichtig. Gleiches gilt für KWK-Anlagen zur Fernwärmeversorgung: Hier verschlechtert sich die Wettbewerbsposition der Fernwärme gegenüber der KWK-Eigenversorgung deutlich.

Abbildung 8: Endkundenpreise und EEG-Umlage für Strom in Cent/kWh



Quelle: Prognos 2013

(6) Die **Wirtschaftlichkeit** hat sich vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen gegenüber der letzten KWK-G-Novelle im Jahr 2012 verschoben, wie für heutige große (>20 MW_{el}) und kleine KWK-Anlagen im Folgenden dargestellt wird.

Große KWK

(7) Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit großer KWK-Anlagen in den letzten sieben Jahren werden ihre Grenzkosten, mit Berücksichtigung von Wärmeerlösen und vermiedenen Netznutzungsentgelten, den stündlichen Strompreisen am Spotmarkt gegenübergestellt. Aus diesem Vergleich werden die Stunden mit wirtschaftlichem Betrieb ermittelt (theoretische Betrachtung) und dabei erzielbare Deckungsbeiträge berechnet. Die Berechnung erfolgt in einem typologischen Ansatz für Steinkohle- und Gas-GuD-Kraftwerke, jeweils für eine abgeschriebene Bestandsanlage und einen Neubau. Die detaillierten Annahmen zu den vier betrachteten Fällen sind Tabelle 6 zu entnehmen, die zugrunde liegenden Brennstoff-, CO₂-Zertifikate-, und Strompreise zeigen Abbildung 6 und Abbildung 7.

Für die Wärmeerlöse wird als Durchschnittspreis eine Abnahme der produzierten Wärme für 20 €/MWh angenommen. Bei der Gutschrift für die MWh Strom wird darüber hinaus über die Stromverlustkennziffer die niedrigere KWK-Stromerzeugung und die damit verbundenen verlorenen Erlöse in der gekoppelten Erzeugung berücksichtigt. Die Wärmeerlöse pro erzeugte MWh Strom sind ebenfalls für die unterschiedlichen Kraftwerkstypen in Tabelle 6 dargestellt. Sie unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen thermischen Wirkungsgrade der Anlagen. Für die fixen und variablen Betriebskosten der Anlagen sowie für den kalkulatorischen Zinssatz und die Abschreibungsdauer der Neuanlagen wurden repräsentative Werte gewählt. Da Gas-GuD-KWK-Anlagen meist nicht in die Höchstspannungsebene des Stromnetzes einspeisen, berücksichtigen wir hier zusätzlich die vermiedenen Netznutzungsentgelte.

Tabelle 6: Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung großer KWK Anlagen

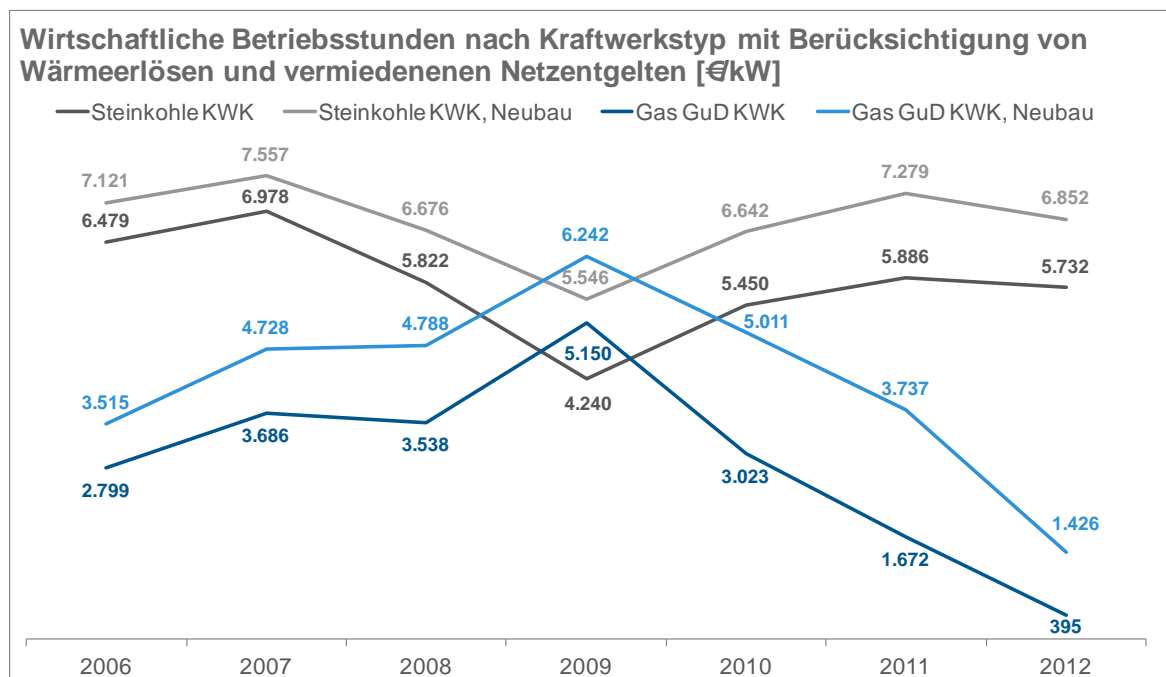
		Steinkohle KWK		Gas GuD KWK	
		Bestand	Neubau	Bestand	Neubau
Investitionskosten	€/kW	-	1.700	-	1.200
Wirkungsgrad elektrisch		38%	43%	45%	52%
Wirkungsgrad thermisch		47%	42%	40%	33%
Wirkungsgrad gesamt		85%	85%	85%	85%
Kalkulationszins		8%	8%	8%	8%
Kalkulationsdauer	a	20	20	20	20
Fixe Betriebskosten	€/kW _{el} /a	24	22	16	16
Variable Betriebskosten	€/MWh	2	2	1,5	1,5
Erlöse Wärme	€/MWh _{th}	20	20	20	20
KWK-Zuschlag	€/MWh _{el}	- / 18 *	18	- / 18 *	18
Vermiedene Netznutzungsentgelte	€/MWh _{el}	-	-	3	3
* Bestandsanlagen erhalten, sobald ihre Förderung ausläuft, keinen KWK-Zuschlag					

Quelle: Prognos 2013

(8) In den Wirtschaftlichkeitsberechnungen unterstellen wir für diese theoretische Betrachtung eine Abnahme und Vergütung der produzierten Wärme in jeder Betriebsstunde sowie eine 100 %ige Verfügbarkeit der Anlagen. Jede Stunde, in der die Grenzkosten – verringert um die Einnahmen der Wärmeseite und ggf. die vermiedenen Netznutzungsentgelte – unter dem Börsenstrompreis liegen, wird als „wirtschaftliche Betriebsstunde“ gezählt. Der Einfluss der Förderung (KWK-Zuschlag) für Neuanlagen nach KWK-G wird zunächst ausgeblendet.

Aus diesem Ansatz ergeben sich die in Abbildung 9 dargestellten wirtschaftlichen Betriebsstunden für die einzelnen Jahre. Diese werden durch die Brennstoff- und CO₂-Preise beeinflusst, besonders stark wirken sich jedoch die Strompreise aus, die eine deutliche Abnahme der wirtschaftlich möglichen Einsatzzeiten ab dem Jahr 2010 verursachen.

Abbildung 9: Wirtschaftliche Betriebsstunden KWK-Anlagen, 2006-2012



Quelle: Prognos 2013

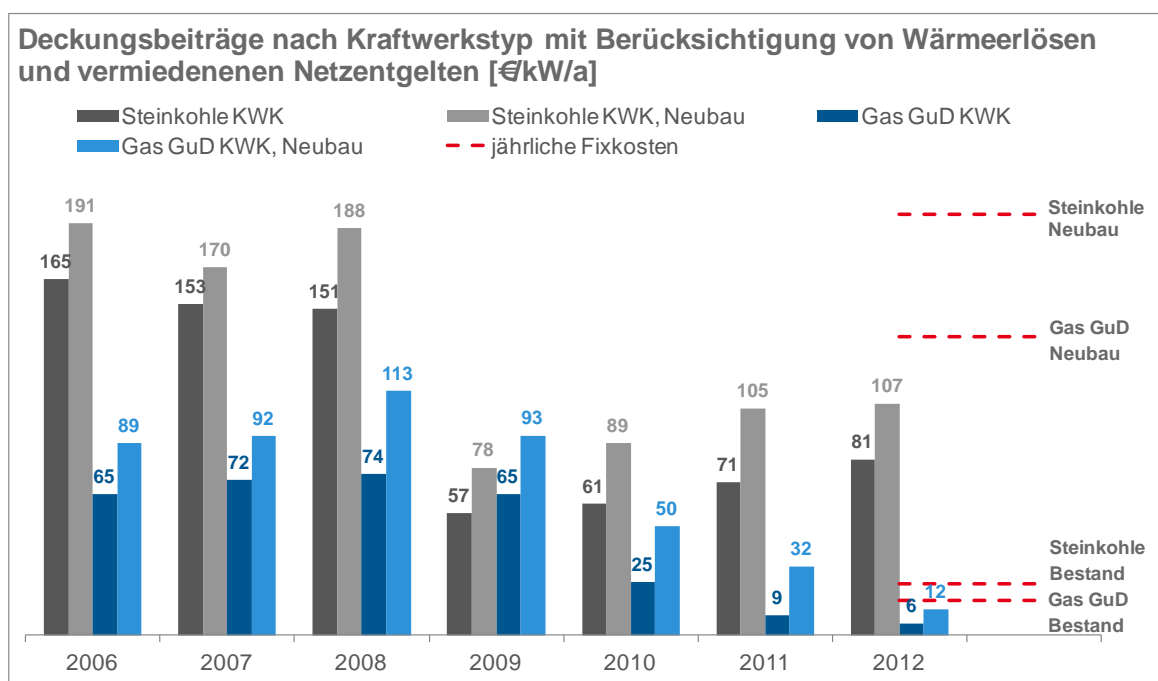
(9) Die folgende Abbildung 10 stellt die Deckungsbeiträge, die sich aus dem wirtschaftlichen Betrieb in den einzelnen Jahren ergeben, den jährlichen Fixkosten gegenüber. Für **Steinkohle KWK-Anlagen** ergibt sich folgendes Bild:

- **Bestandsanlagen** konnten unter den zugrunde gelegten Rahmenannahmen über den gesamten Betrachtungszeitraum wirtschaftlich betrieben werden. In den letzten Jahren sind die Deckungsbeiträge aufgrund der niedrigen CO₂-Preise wieder etwas gestiegen.
- **Neubauanlagen**, die neben den fixen Betriebskosten die Investition refinanzieren müssen, erwirtschafteten hingegen in den letzten Jahren ohne die Förderung nach KWK-G keine ausreichenden Deckungsbeiträge.

Bei **Gas GuD Anlagen** stellte sich die Situation im betrachteten Zeitraum deutlich ungünstiger dar. Die Deckungsbeiträge waren, ausgelöst durch den höheren Gaspreis, deutlich geringer als bei Kohlekraftwerken und sind zudem seit 2010 stark gesunken.

- Für **Bestandsanlagen** war es bei den Strompreisen des Jahres 2012 kaum noch möglich, die jährlichen Fixkosten zu decken.
- **Neubauanlagen** erwirtschafteten ohne die Förderung nach KWK-G über den gesamten Betrachtungszeitraum zu geringe Deckungsbeiträge für einen wirtschaftlichen Betrieb und die Refinanzierung der Anlage.

Abbildung 10: Deckungsbeiträge der KWK-Anlagen nach Kraftwerkstyp, 2006-2012

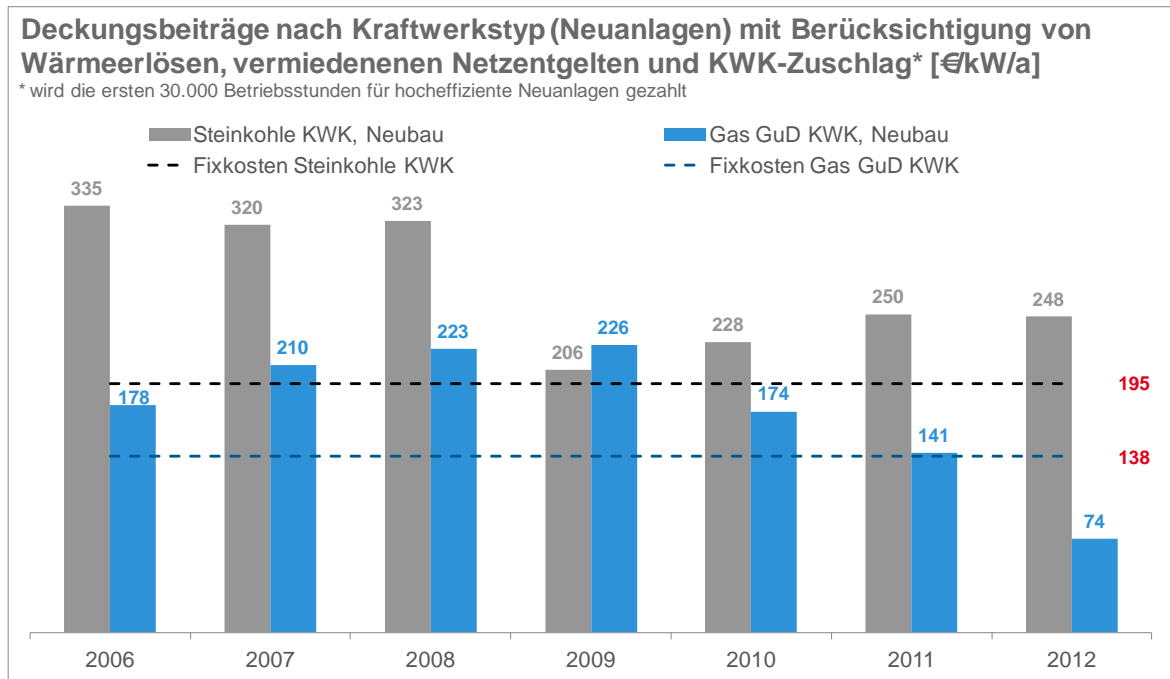


Quelle: Prognos 2013

(10) Wird die **KWK-Förderung für Neuanlagen** in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen berücksichtigt (vgl. Abbildung 11), liegen die Deckungsbeiträge für **Steinkohle-KWK-Anlagen** in allen Jahren über ihren jährlichen Fixkosten. Da die Förderung jedoch auf 30.000 Vollbenutzungsstunden beschränkt ist, stellt sich die Situation für einen Neubau trotzdem als sehr schwierig dar.

Ein Neubau von **Gas-GuD-KWK-Anlagen** ließ sich mit den erreichbaren Deckungsbeiträgen des Jahres 2012 auch mit der KWK-Förderung nicht mehr refinanzieren.

Abbildung 11: Deckungsbeiträge von Neuanlagen mit Berücksichtigung des KWK-Zuschlags, 2006-2012



Quelle: Prognos 2013

Kleine KWK

(11) Um die heutige Wirtschaftlichkeit kleiner KWK-Anlagen im Rahmen der heutigen Förderung einzuschätzen, werden die **Stromgestehungskosten typischer Größenklassen** der KWK in privaten Haushalten sowie in Gewerbe und Industrie den **typischen Erlösen** dieser Anlagen gegenübergestellt.

Folgende Anlagengrößen von KWK-Anlagen wurden für die Nutzergruppen unterstellt:

- Private Haushalte: **1 kW_{el}** (Einfamilienhäuser-EFH), **5,5 kW_{el}** und **20 kW_{el}** (Mehrfamilienhäuser-MFH)
- Gewerbe: **100 kW_{el}**
- Industrie: **1 MW_{el}**

(12) Die Berechnung der **KWK-Stromgestehungskosten** erfolgt auf der Grundlage der in Tabelle 7 dargestellten typischen Kosten und Auslegungsparameter für die betrachteten Anlagen sowie die für die Berechnungen unterstellten Geschäftsmodelle (Eigenregie/ Contracting). Die Auswahl der Geschäftsmodelle für die Anlagen erfolgte anhand der derzeit zu beobachtenden Schwerpunkte, prinzipiell möglich sind beide Modelle.

Tabelle 7: Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung kleiner KWK-Anlagen

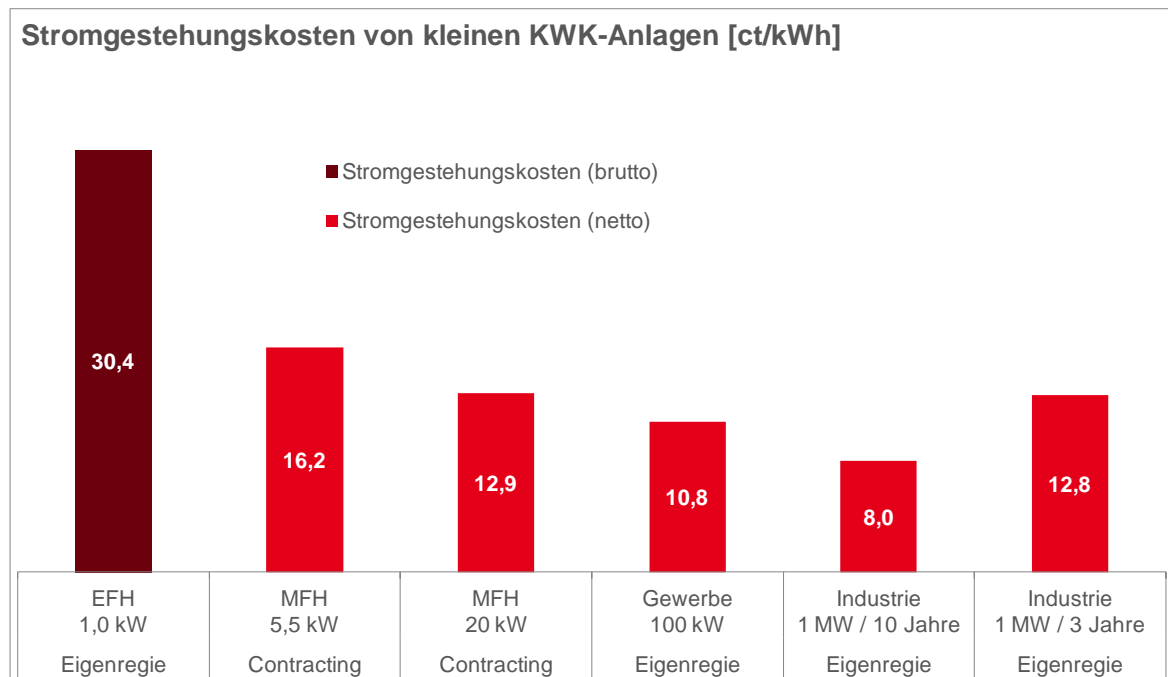
		EFH 1,0 kW	MFH 5,5 kW	MFH 20 kW	Gewerbe 100 kW	Industrie 1 MW
Größe	kW	1	5,5	20	100	1.000
Investitionskosten	€/kW	12.000	4.750	2.500	1.700	1.200
Kalkulationszins		3 %	3 %	3 %	8 %	8 %
Kalkulationsdauer	a	15	10	10	10	3 bzw. 10
Volllaststunden	h	5.000	6.500	5.000	6.000	6.000
Betriebskosten	€/kWh	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
Brennstoffkosten (Gas), ohne Erdgassteuer	€/kWh	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05
Wirkungsgrad elektrisch		15%	30%	30%	35%	35%
Wirkungsgrad thermisch		70%	60%	60%	55%	55%
Investitionskosten- zuschuss	€	1.500	2.500	3.500	-	-
KWK-Zuschlag	ct/kWh	5,41	5,41	5,41	4,0	2,4
Geschäftsmodell		Eigenregie	Contracting	Contracting	Eigenregie	Eigenregie
Eigennutzungsquote		50 %	70 %	25 %	80 %	80 %

Quelle: Prognos 2013

Die niedrigeren Zinssätze für die drei kleineren Anlagen resultieren aus der Förderung über die KfW. Diese Mini-KWK-Anlagen erhalten nach KWK-G 2012 auch einen Investitionskostenzuschuss. In der Industrie zeigen sich in der Praxis deutlich kürzere Amortisationszeiträume. Daher wird hier, abweichend von Gewerbe und privaten Haushalten, zusätzlich ein Zeitraum von 3 Jahren betrachtet. In den Berechnungen werden den jährlichen Kosten, bestehend aus Kapital-, Betriebs- und Brennstoffkosten, die anrechenbaren Wärmeerlöse gutgeschrieben. Die angesetzten Wärmeerlöse ergeben sich aus den Kosten der Wärmebereitstellung in einem Referenzsystem, hier bestehend aus einem Brennwertkessel mit einem Nutzungsgrad von 95 % in Einfamilienhäusern (EFH) und 90 % in den anderen Fällen.

Die folgende Abbildung 12 zeigt die Stromgestehungskosten der kleinen KWK-Anlagen, die auf der Grundlage von Tabelle 7 berechnet wurden. Für den Eigenbetrieb der Anlage in EFH werden die Bruttokosten (inklusive MwSt.) ausgewiesen, da sie die gebräuchliche Vergleichsgröße für die in Abbildung 8 ebenfalls als Bruttopreise aufgeführten Stromkosten der privaten Haushalte darstellen. Im Gewerbe und in der Industrie, aber auch im Contracting allgemein, ist hingegen ein Vergleich der Nettokosten bzw. Nettopreise üblich.

Abbildung 12: Stromgestehungskosten kleiner KWK-Anlagen 2013



Quelle: Prognos 2013

(13) Die Grundlage für die Berechnung der **typischen Erlöse** der Anlagen bilden die im jeweiligen Geschäftsmodell zu berücksichtigenden **vermiedenen Strombezugskosten** der Endkunden und die **Erlöse aus der Vermarktung** des nicht selbst genutzten KWK-Stroms. Aufbauend auf diese **Referenzerlöse** berechnen sich die typischen Erlöse als Mischerlöse aus den Anteilen für selbst genutzten Strom aus einem Anlagenbetrieb in Eigenregie bzw. im Contracting (vermiedener Strombezug) sowie aus der Vermarktung des nicht selbst genutzten Stroms. Die in Tabelle 7 aufgeführte Eigennutzungsquote gibt Auskunft über den Anteil des selbst genutzten Stroms.

Im ersten Schritt werden deshalb für private Haushalte, Gewerbe und Industrie die Referenzerlöse durch den **vermiedenen Strombezug** aus dem öffentlichen Netz für das Jahr 2013 für die Geschäftsmodelle Eigenregie und Contracting ermittelt. Dabei ist folgendes zu beachten:

- Für den **Eigenbetrieb** der Anlagen, also die Nutzung des in KWK erzeugten Stroms am Standort der Anlage durch den Betreiber selbst, entsprechen die vermiedenen Kosten für private Haushalte, Gewerbe und Industrie den Endkundenpreisen aus Abbildung 8 (inkl. EEG-Umlage) zuzüglich des jeweils anzusetzenden KWK-Zuschlags. Diese Endkundenpreise enthalten für private Haushalte die Mehrwertsteuer

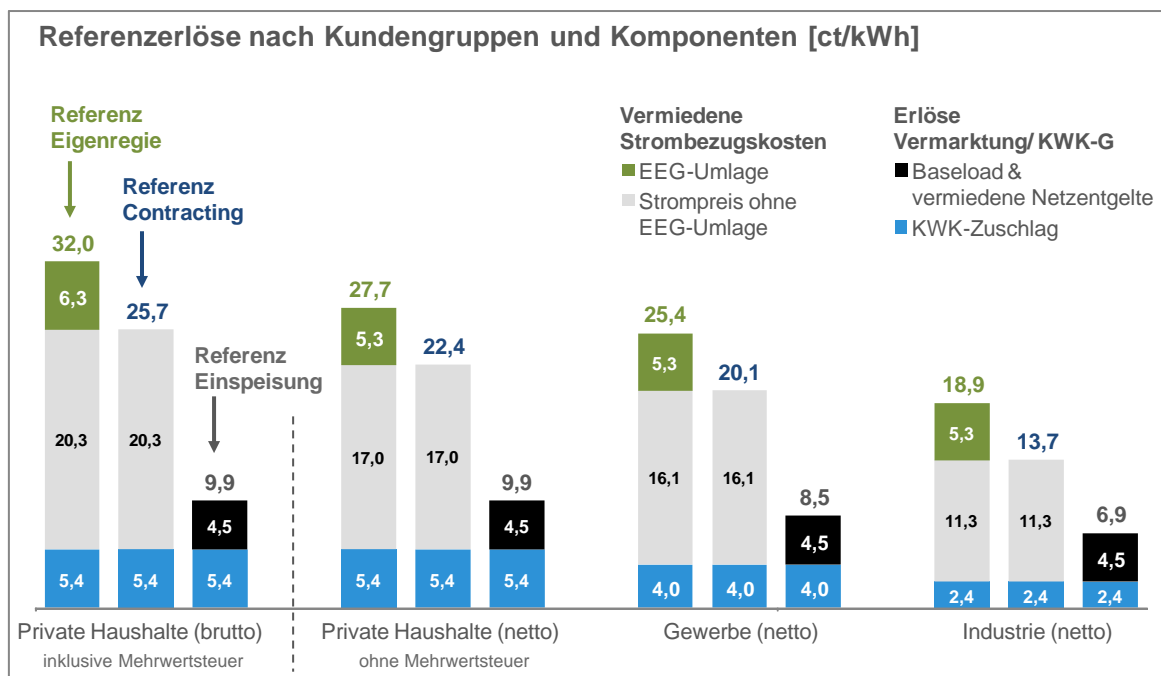
von derzeit 19 %, für den Strombezug von Gewerbe und Industrie fällt keine Mehrwertsteuer an.

- Im **Contracting** erzeugter und am Standort der KWK-Anlage vermarkteter Strom ist nicht von der EEG-Umlage befreit. Dies hat zur Folge, dass die Strombezugskosten der Endkunden für das Contracting um die EEG-Umlage bereinigt werden müssen, bevor sie als Vergleichsgröße herangezogen werden können.

Für den nicht am Standort der kleinen KWK-Anlage genutzten Strom können Erlöse aus der Vermarktung erzielt werden. Die **Erlöse aus dem Verkauf** des produzierten Stroms beinhalten die gemittelten Preise für Baseload-Strom (EEX KWK Index, 4,0 ct/kWh, Stand Anfang 2013), die jeweilige KWK-Vergütung und die vermiedenen Netzentgelte in Höhe von 0,51 ct/kWh zusammen.

Die folgende Abbildung 13 zeigt die **Referenzerlöse**, die sich bei einer vollständigen Vermarktung des KWK-Stroms über den jeweiligen Vermarktungsweg in den untersuchten Nutzergruppen der kleinen KWK-Anlagen ergeben.

Abbildung 13: Referenzstromerlöse kleiner KWK-Anlagen 2013

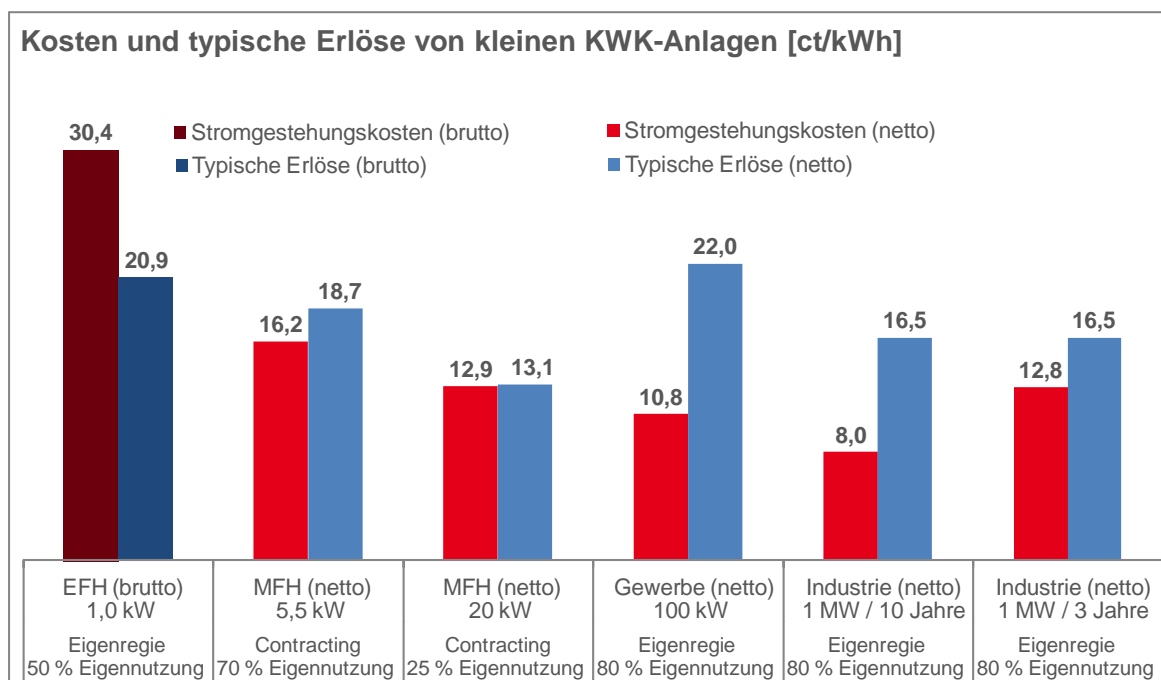


Quelle: Prognos 2013

(14) Der in KWK erzeugte Strom kann in der Regel nicht vollständig am Standort der Anlage verbraucht werden, ein Teil des Stroms wird dann ins Netz eingespeist und mit geringeren Erlösen vermarktet. Deshalb liegen die **typischen Erlöse** der untersuchten KWK-Anlagen unter denen einer vollständigen Vermarktung in Eigenregie bzw. im Contracting aus Abbildung 13. Ausschlaggebend ist die **Eigennutzungsquote** für den erzeugten KWK-Strom (vgl. Tabelle 7). Sie unterscheidet sich in den untersuchten Einsatzgebieten aufgrund der spezifischen Auslegungsparameter und Abnahmestrukturen der Beispielanlagen.

Zur Beurteilung der **Wirtschaftlichkeit** der untersuchten Anlagen stellen wir in Abbildung 14 den Stromgestehungskosten die in ihren Einsatzbereichen typischen Erlöse gegenüber. Die typischen Erlöse ergeben sich als Mischerlöse aus den Referenzerlösen multipliziert mit der Eigennutzungsquote des Stroms und dem verbleibenden Anteil des ins Netz eingespeisten Stroms multipliziert mit den Vermarktungserlösen. Bei Anlegung der typischen Erlöse ergibt sich ein differenziertes Bild für die einzelnen Anlagentypen. Zu beachten ist in der folgenden Darstellung, dass die Kosten und Erlöse für die KWK-Anlage im EFH die Mehrwertsteuer beinhalten, die Kosten und Erlöse der anderen Anlagen sind ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen. Das Kriterium für Wirtschaftlichkeit ist in dieser Betrachtung, dass die typischen Erlöse unter den oben getroffenen Annahmen mindestens so hoch sind wie die Stromgestehungskosten der Anlagen.

Abbildung 14: Kosten- und Erlösdarstellung kleiner KWK-Anlagen 2013



Quelle: Prognos 2013

(15) Folgendes **Fazit** lässt sich für die wirtschaftliche Situation der **kleinen KWK** ziehen:

- Die heutige Förderung ist unter Berücksichtigung der Befreiung des Eigenverbrauchs von der EEG-Umlage bei ausreichend langen Amortisationszeiträumen und einer überwiegenden Eigennutzung des Stroms in den meisten Fällen auskömmlich. Selbst bei den sehr kurzen Amortisationszeiträumen in der Industrie sind die Anlagen bei einer hohen Eigennutzung des Stroms wirtschaftlich.
- Eine Ausnahme bilden sehr kleine Anlagen, die durch den hier vorrangig bedienten Heizbetrieb teilweise Volllaststunden erreichen, die nicht verträglich zu den hohen spezifischen Investitionskosten sind (Fall „EFH“) und damit heute unter den dargestellten Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich sind.
- Im Mehrfamilienhausbereich (Fall „MFH“), in dem in der Regel keine privilegierte Eigennutzung des Stroms möglich ist, sind wirtschaftliche Contracting-Fälle unter den derzeitigen Rahmenbedingungen zum Teil vorstellbar, jedoch ohne eine Befreiung von der EEG-Umlage steht die Wirtschaftlichkeit der Betreibermodelle von Mini-KWK-Anlagen in Frage.

3 Methodischer Ansatz der Untersuchung

(1) Das Ziel dieser Untersuchung ist die Quantifizierung des sinnvoll nutzbaren Potenzials für die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen in Deutschland für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 und die Ableitung der daraus resultierenden Vorteile hinsichtlich Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen.

Eine Quantifizierung von Vorteilen erfordert immer einen Vergleich mit einem oder mehreren Referenzsystemen, die eine Entwicklung ohne Eingriffe abbilden. Für eine Einordnung der KWK sind diese Referenzsysteme in sich konsistente Szenarien zur Strom- und Wärmeerzeugung in einem energiewirtschaftlichen Gesamtsystem. Diese Szenarien müssen für die langfristige Betrachtung systemübergreifend zukünftige Entwicklungstrends zum Bedarf nach Strom und Wärme ebenso abbilden wie die zu erwartenden Veränderungen des zukünftigen Kraftwerksparks und der Wärmetechnik. Ohne einen solchen dynamischen Vergleichsmaßstab, der das zukünftige energiewirtschaftliche Umfeld abbildet, sind Aussagen über die zukünftigen Potenziale der KWK nicht belastbar.

(2) Im ersten Schritt der Untersuchung werden deshalb diese Referenzsysteme ausgewählt und Festlegungen zu den jeweils anzulegenden Vergleichsmaßstäben für die Bewertung des KWK-Stroms und der KWK-Wärme hinsichtlich des Primärenergieeinsatzes und der daraus resultierenden CO₂-Emissionen getroffen (vgl. Kapitel 3.1).

Darauf aufbauend kann die Modellierung der KWK anhand sinnvoller Festlegungen erfolgen, deren Umsetzung Kapitel 3.2 detailliert zu entnehmen ist.

3.1 Auswahl von Referenzsystemen

(1) Die Möglichkeiten einer gekoppelten Strom- und Wärmeproduktion von KWK-Anlagen werden geprägt von dem die KWK umgebenden energiewirtschaftlichen Gesamtsystem. Wichtige Parameter sind hierbei der Strom- und (Fern-) Wärmebedarf sowie die Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien und der Leistungsbedarf an Systemdienstleitungen im Stromnetz. Auch der die KWK umgebende konventionelle Kraftwerkspark sowie die Brennstoff- und CO₂-Preise sind wichtige Einflussgrößen auf die KWK-Erzeugung.

Um Aussagen über die Entwicklung der KWK-Potenziale treffen zu können, ist es deshalb wichtig, zunächst den energiewirtschaft-

lichen Rahmen zu definieren, in dem die KWK betrachtet wird. Dieses Referenzsystem gibt die Leitplanken vor, innerhalb derer unterschiedliche KWK-Szenarien berechnet werden können. Es bietet sich an, hierfür ein aktuelles langfristig angelegtes Szenario zur Entwicklung von Energiebedarf und -bereitstellung auszuwählen, das ein in sich konsistentes Bild der Strom- und Wärmeerzeugung beinhaltet.

Referenzsystem Strom

(2) Für die vorliegende Studie wurde als Referenzsystem ein im Jahr 2013 von der Prognos AG für den Verband der bayerischen Wirtschaft (vbw) erstelltes Szenario „Energiewirtschaftliches Gesamtkonzept“ verwendet. Die Berechnungen dieses Szenarios erstrecken sich auf den Zeitraum bis zum Jahr 2050. Entnommen wurde hieraus die Entwicklung des Strombedarfs sowie die im Kraftwerkspark installierte Leistung und Stromerzeugung nach Energieträgern.

Die Berechnung des KWK-Einsatzes kann nicht sinnvoll anhand von Jahresmittelwerten vorgenommen werden. Strombedarf, Wärmebedarf und auch die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und in Kraftwerken schwanken im tages- und jahreszeitlichen Verlauf. In der Konsequenz folgt auch die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen diesen Schwankungen.

Deshalb wurden die in der Studie aufgeführten Jahresmittelwerte zunächst in Stundenprofile überführt. Für die Stromseite wurde im Anschluss die sogenannte stündliche Residuallast ermittelt. Bei der Residuallast handelt es sich um die Strommenge, die von KWK-Anlagen und anderen konventionellen Kraftwerken in den einzelnen Stunden zur Verfügung gestellt werden muss, um die erneuerbaren Energien bei der Deckung des Strombedarfs zu ergänzen. Nähere Ausführungen hierzu sind Kapitel 4.2 zu entnehmen.

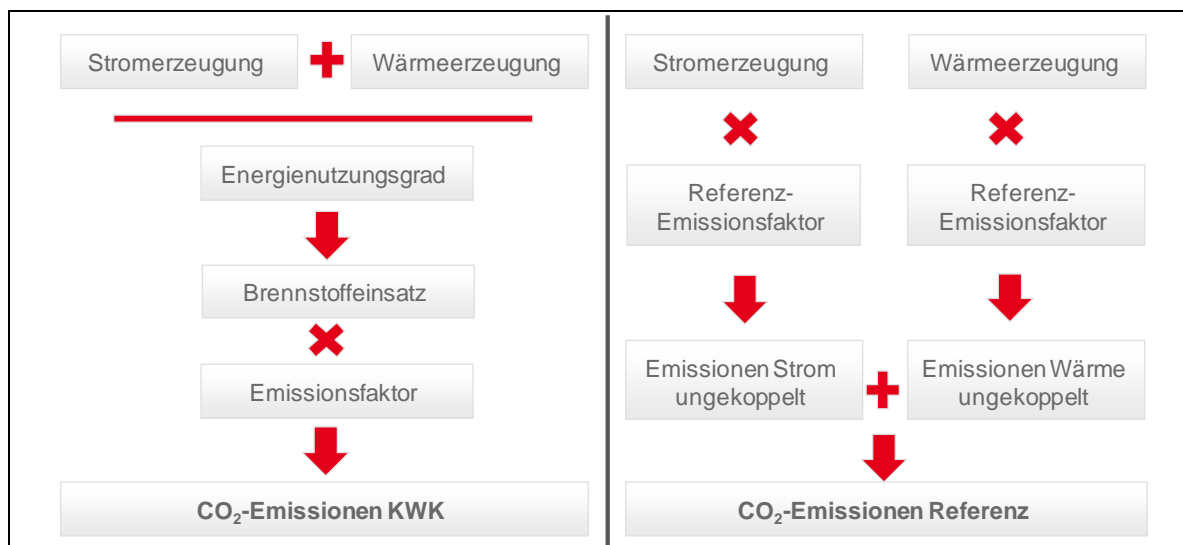
Referenzsystem Wärme

(3) Für die Modellierung des durch die KWK gedeckten Wärmebedarfs, der weitgehend unabhängig von Strombedarf ist, wurden drei Entwicklungspfade untersucht, die anhand von Wärmelastprofilen in stündliche Bedarfswerte überführt wurden. Die drei Entwicklungspfade basieren auf einem Grundszenario zur Wärmebedarfsentwicklung aus dem Prognos-Szenario „Referenz“, das von der Prognos AG 2010 für die „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung 2010“ berechnet wurde. Zu diesem Grundszenario wurden für den Wärmebedarf aus KWK-Anlagen zwei Sensitivitätsrechnungen durchgeführt, die einen oberen und einen unteren Entwicklungspfad abbilden. Details hierzu sind Kapitel 4.1 zu entnehmen.

Referenzsystem CO₂

(4) Die CO₂-Vermeidung ergibt sich aus einem Vergleich der CO₂-Emissionen aus der gekoppelten Erzeugung in den einzelnen Szenarien mit denen der ungekoppelten Referenzsysteme. Die Abbildung 15 stellt den Ansatz schematisch dar.

Abbildung 15: Schematische Darstellung der Berechnung der CO₂-Vermeidung



Quelle: Prognos 2013

Die Berechnungen werden für die in den Szenarien von der KWK erzeugten Strom- und Wärmemengen durchgeführt. Aus der Summe über alle eingesetzten Brennstoffe ergibt sich die KWK-CO₂-Emission. Für die Berechnung der CO₂-Einsparungen wird eine faktische Verdrängung der ungekoppelten Referenz-erzeugung angenommen. Dabei wird für alle Verbrauchsgruppen unterstellt, dass durch den Betrieb der KWK-Anlagen kein Strom aus erneuerbaren Energien, sondern aus konventioneller Erzeugung verdrängt wird (vgl. Kapitel 3.2).

Bei der Referenz-Wärmeerzeugung wird zwischen der KWK für die allgemeine Versorgung, die hauptsächlich Mehrfamilienhäuser (MFH) und GHD-Gebäude beliefert und der KWK-Erzeugung für industrielle Wärmeanwendungen unterschieden. Wärmepumpen und Einzelheizungen in Einfamilienhäusern werden meist nicht durch Fernwärme verdrängt und fließen daher nicht in den Verdrängungsmix ein.

(5) In dieser Studie werden auch die Effekte eines Aufbaus von Wärmespeichern an den KWK-Anlagen (vgl. Kapitel 4.3) und des zusätzlichen Einbaus von Elektroheizern in diese Wärmespeicher betrachtet (vgl. Kapitel 4.4). Die Elektroheizern ersetzen als

Referenzsystem die an den KWK-Standorten nicht in KWK erzeugte Wärme der Spitzenlastkessel.

Für die heute wärmegeführt gefahrenen kleineren KWK-Anlagen (BHKW etc.) wird im Rahmen dieser Studie auch der Zeitpunkt berechnet, an dem ihre CO₂-Einsparungen aus der gekoppelten Erzeugung gegenüber dem jeweiligen Referenzsystem aus Strom und Wärme gegen Null laufen und sie zur Wahrung ihrer Emissionsvorteile der Stromnachfrage entsprechend betrieben werden sollten. Ausgelöst wird dieser Effekt durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien im Strommix, der die CO₂-Emissionen des Referenzsystems Strom langfristig senkt.

Die zu den Referenzsystemen für die CO₂-Berechnung getroffenen quantitativen Annahmen sind Kapitel 4.6 zu entnehmen, die Ergebnisse der Berechnungen finden sich in Kapitel 5.4.

3.2 Modellierung des KWK-Einsatzes

(1) Ein wesentliches Ziel dieser Studie ist die Ermittlung der Potenziale für die umweltfreundliche gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen. Hierzu werden in einem ersten Schritt die technisch sinnvollen Potenziale der KWK ermittelt, also die Potenziale, deren Ausschöpfung aus Umweltgesichtspunkten wünschenswert ist.

Die Frage, wie diese Potenziale ausgeschöpft werden können, wird im Anschluss an diese Potenzialermittlung in Kapitel 6 beantwortet.

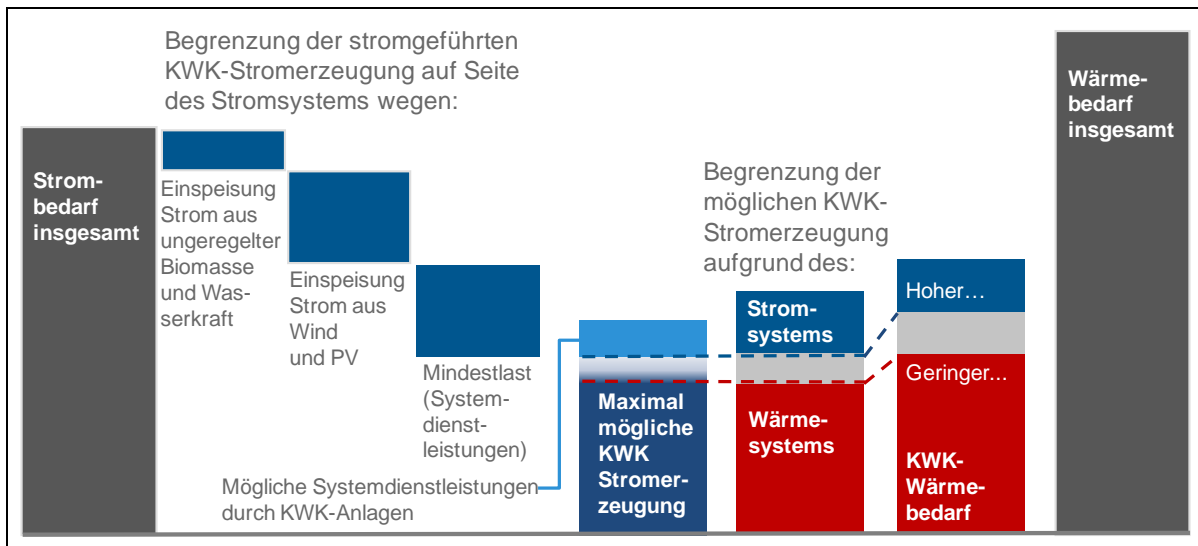
(2) In der Ermittlung des technischen Potenzials wird der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen Vorrang gegenüber der ungekoppelten Stromerzeugung in konventionellen Kraftwerken eingeräumt. Die technisch sinnvollen Potenziale berücksichtigen in dieser Studie neben den technischen Betriebsparametern der KWK-Anlagen folgende wesentlichen Begrenzungen des KWK-Einsatzes:

- KWK-Anlagen werden ausschließlich im gekoppelten Betrieb eingesetzt (Begrenzung durch die Kraft-Wärme-Kopplung)
- Sämtliche KWK-Anlagen werden stromgeführt eingesetzt, soweit ein Bedarf für die gekoppelt erzeugte Wärme besteht (Begrenzung durch das Wärmesystem)
- KWK-Anlagen produzieren nur dann Strom und Wärme, wenn sie keine unregelmäßige erneuerbare Stromerzeugung aus Biomasse, Wasserkraft, Wind und Photovoltaik verdrängen (1. Begrenzung durch das Stromsystem)

- Für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen verbleibt ein Mindestmaß hierfür notwendiger ungekoppelt erzeugender konventioneller Kraftwerke in Betrieb (2. Begrenzung durch das Stromsystem)

Durch diese Begrenzungen wird sichergestellt, dass die KWK-Anlagen sich in der Modellierung unter Ausnutzung ihrer Potenziale sinnvoll in das Strom- und Wärmesystem einfügen und gleichzeitig keine Verdrängung von unregelmäßig erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung stattfindet. Die folgende Abbildung 16 verdeutlicht diese Modellierungsvorgaben.

Abbildung 16: Strom- und wärmeseitige Begrenzung der KWK-Stromproduktion



Quelle: Prognos 2013

(3) Die Modellierung des KWK-Einsatzes wird für jede Einzelstunde des Jahres durchgeführt, der Zeithorizont erstreckt sich bis zum Jahr 2050. Ausgangspunkte der Berechnungen sind für die KWK die installierte elektrische und thermische Leistung der KWK-Anlagen sowie weitere Betriebs- und Kostenparameter, die im europäischen Kraftwerksmodell der Prognos AG hinterlegt sind.

Für den stündlich zu deckenden Strombedarf werden die Lastprofile des Referenzsystems verwendet, die den Ausbau der erneuerbaren Energien ebenso berücksichtigen wie die Entwicklung der Stromnachfrage. Der stündliche Wärmebedarf entstammt den drei Wärmelastprofilen der KWK-Wärmeszenarien. Details hierzu sind den Kapiteln 4.1 und 4.2 zu entnehmen.

(4) Heute verfügen große KWK-Anlagen in der Regel noch nicht über größere Wärmespeicher. Untersuchungen haben aber gezeigt, dass KWK-Anlagen ihren Anlagenbetrieb spürbar flexibilisieren und optimieren können, wenn sie mit Wärmespeichern die Abgabe von gekoppelt erzeugter Wärme zeitlich verzögern können. Die KWK-Anlagen können so den unterschiedlichen Anforderungen des Strom- und Wärmemarktes besser gerecht werden. Wie stark dieser Effekt ist, soll auch in der Potenzialberechnung untersucht werden. Deshalb werden in der KWK-Modellierung beide Fälle betrachtet – mit und ohne Wärmespeicher.

(5) Die Modellierung des an die KWK angeschlossenen Wärmespeichers erfolgt über eine Optimierungsfunktion, die sowohl die Strom-Residuallast als auch das Wärmelastprofil der Fernwärme sowie den Füllstand des Speichers für den stündlichen KWK-Einsatz berücksichtigt.

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass immer häufiger Situationen auftreten, in denen die unregelmäßig erneuerbaren Energien in Einzelstunden mehr Strom bereitstellen als benötigt wird. Die Wärmespeicher der KWK-Anlagen eignen sich für die Nutzung dieses Überschussstroms. Zur Ermittlung der Aufnahmekapazität der Wärmespeicher und der damit verbundenen Effekte auf die KWK-Erzeugung wird die Optimierungsfunktion der Speichernutzung erweitert. In die Optimierungsfunktion des Wärmespeichers geht dann als zusätzlicher Parameter der Überschuss an erneuerbar erzeugtem Strom in die stündliche Modellierung der KWK ein.

(6) Zur Ermittlung der wesentlichen Stellschrauben für das KWK-Potenzial werden darüber hinaus Sensitivitätsrechnungen für die flexibelste Ausstattung der KWK – mit Wärmespeicher und Elektroheizer – durchgeführt, die den Einfluss folgender Entwicklungen auf das Ergebnis untersuchen:

- Erhöhung der insgesamt installierten KWK-Leistung
- Erhöhung der Stromkennzahl der Anlagen (Erhöhung der Stromausbeute in der gekoppelten Erzeugung)
- Erhöhung der Flexibilität im Stromsystem

Die den Modellierungen zu Grunde gelegten Annahmen sind Kapitel 4 zu entnehmen. Kapitel 5 zeigt die Ergebnisse zu den Potenzialen der KWK.

4 Rahmenannahmen der Modellierung

4.1 Wärmebedarf und Wärmelastprofil

(1) Der zukünftige Wärmebedarf ist eine zentrale Einflussgröße für die Bestimmung der KWK-Potenziale in Deutschland. Er bildet die wärmeseitige Begrenzung eines möglichen KWK-Einsatzes in der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung.

Die Entwicklung der KWK-Wärme stand in den vergangenen Jahren häufig im Fokus energiewirtschaftlicher Untersuchungen. Allerdings kamen diese Studien zu teilweise deutlich voneinander abweichenden Ergebnissen.

Eine eingehende Analyse dieser Studien zeigt, dass diese zum Teil gravierenden Abweichungen in den Ergebnissen vor allem durch unterschiedlich ausgestaltete Rahmenannahmen zu den folgenden, für die Entwicklung der KWK-Wärme wichtigen Parametern ausgelöst werden:

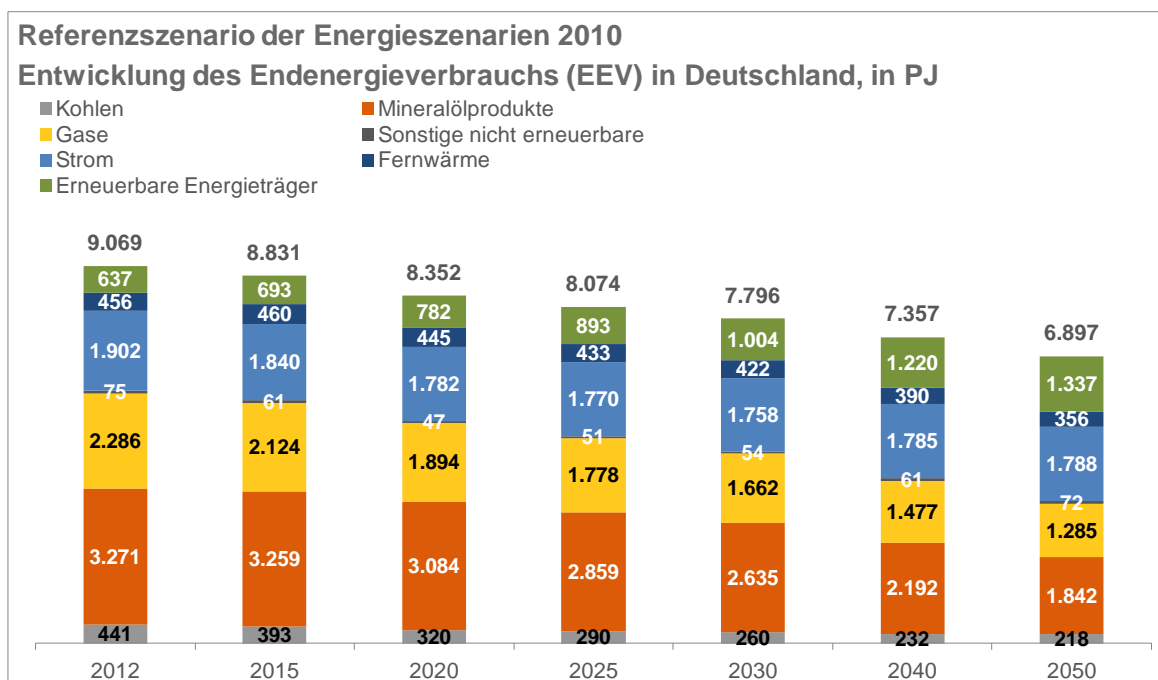
- Sanierungshäufigkeit/ Sanierungseffizienz bei Gebäuden
- Energieträger im Neubau/ Energieträger nach Sanierung
- Substitutionen
(Wechsel von Energieträger oder Anlagentechnik)

Insbesondere die Sanierung (Häufigkeit und Erfolg) von bestehenden Gebäuden und die im Anschluss an eine Heizungserneuerung verwendete Anlagentechnik erwiesen sich in den Studien als zentrale Stellgrößen für den zukünftigen KWK-Wärmebedarf.

(2) Für die vorliegende Untersuchung wurden deshalb zusammen mit dem Auftraggeber drei Szenarien definiert, die auf aktuellen Arbeiten der Prognos AG basieren und einen aus heutiger Sicht realistischen Korridor der Bedarfsentwicklung für KWK-Wärme umschließen. Das Grundszenario zur Entwicklung des Wärmemarkts basiert auf der Referenzentwicklung aus den Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung 2010 (vgl. Abbildung 17).

Die Nutzung von Biomasse zur ausschließlichen Wärmeerzeugung bleibt in diesem Szenario beschränkt. Wesentliche Gründe hierfür sind die beschränkte Verfügbarkeit dieses nachwachsenden Energieträgers und seine langfristige Einsatzperspektive in der Produktion von Kraftstoffen. Abwärme aus industriellen Prozessen wird genutzt, allerdings sinken die Potenziale langfristig durch die Prozessverbesserungen. Auch die Ausbaupotenziale der Solarthermie und der Tiefengeothermie sind in Deutschland begrenzt, vor allem aus Kostengründen. Umweltwärme wird in diesem Szenario deshalb vor allem über Wärmepumpen genutzt.

Abbildung 17: Entwicklung des Endenergieverbrauchs (EEV) in Deutschland bis 2050 im Referenzszenario



Quelle: Prognos 2010

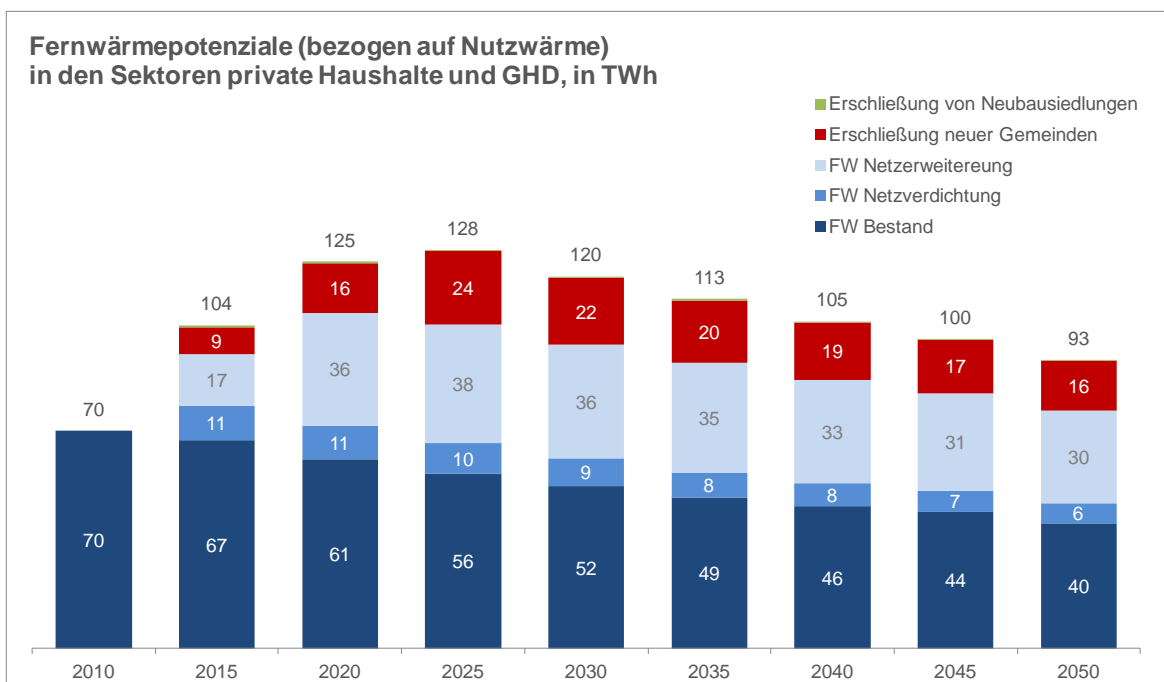
(3) Diese Referenzentwicklung wurde anhand der Planungen und Erkenntnisse der im begleitenden Arbeitskreis der Studie vertretenen Unternehmen verifiziert. Ausgehend von dieser mittleren Entwicklung werden ein höherer und ein niedrigerer Pfad für den KWK-Wärmebedarf abgeleitet, die unterschiedliche Erfolge bei der Umsetzung der Ausbaustrategie für KWK-Wärme betrachten.

■ **Oberes Szenario**

Fernwärme: Die Entwicklung der Fernwärme basiert auf einer Potenzialabschätzung des IER Stuttgart für den AGFW (siehe AGFW Hauptbericht 2011). Bei der Potenzialermittlung wurde auf Siedlungsflächen- und Gemeindeebene unterschiedliche Bebauungs- bzw. Wärmedichten und damit die Eignung für eine Fernwärmeversorgung berücksichtigt. In diesem Szenario werden die Fernwärmetrassen sehr stark ausgebaut. Durch die Erweiterung bestehender Netze, Netzverdichtung sowie die Neuerschließung von heute noch nicht mit Fernwärme versorgten mittleren und kleinen Städten kann nach dieser Potenzialabschätzung der Einsatz der Fernwärme gegenüber heute bis zum Jahr 2025 um über 80 % gesteigert werden. Langfristig wirkt sich auch in diesem Szenario die fortschreitende Gebäudedämmung auf den Fernwärmebedarf aus. Bei Ausnutzung der ermittelten Potenziale für die Sektoren private Haushalte (PHH) und Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen (GHD) liegt der

Fernwärmebedarf im Jahr 2050 um 33 % über dem Wert aus dem Jahr 2010 (vgl. Abbildung 18). Die Trassenlänge der Fernwärme müsste dafür von heute etwa 20.000 km auf etwa 44.000 km gesteigert werden.

Abbildung 18: Fernwärmepotenziale gemäß IER Stuttgart



Quelle: Eigene Darstellung gemäß IER/ AGFW Hauptbericht 2011

Objekt-KWK: Für unsere obere Abschätzung der Marktentwicklung der objektbasierten KWK-Anlagen unterstellen wir eine weitere Verschärfung der Anforderungen an die CO₂-Einsparungen der Gebäude, beispielsweise durch die EneV oder ein bundesweit wirksames EEG-Wärme-G. Durch verbindliche CO₂-Reduktionsziele auf Gebäudeebene würde sich die Konkurrenzsituation im Heizungsmarkt ändern. Bei Objekten, die aus Kosten- oder Denkmalsschutzgründen nicht genügend gedämmt werden können, würde die KWK dann im direkten Wettbewerb mit erneubaren Energien stehen. In einem solchen Umfeld könnten kleine KWK-Systeme durchaus einen Anteil von 10 % am Heizungsmarkt erhalten. Dies erfordert einen Zubau von rund 70.000 Anlagen pro Jahr ab dem Jahr 2020 in der Größenklasse bis 50 kW_{el}. Langfristig erreicht die Objekt-KWK aufgrund der niedrigeren Lebensdauer im Vergleich zu Heizungskesseln bei diesem Ausbau einen Anteil von 5 bis 6 % am Heizungsbestand.

■ **Mittleres Szenario**

Fernwärme: Der Bedarf an Fernwärme entwickelt sich entsprechend dem Referenzszenario aus den Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Fernwärme verzeichnet im Wärmemarkt Substitutionserfolge und kann die Verluste in demografisch und wirtschaftlich schwachen Regionen überkompensieren. Die mit Fernwärme versorgte Fläche steigt gegenüber 2012 bis 2050 um 10 %.

Objekt-KWK: Der Zubau beschleunigt sich gegenüber heute bis zum Jahr 2020 um den Faktor 3 bis 4 auf dann 23.000 Anlagen der Größenklasse bis 50 kW_{el}.

■ **Unteres Szenario**

Fernwärme: Die Basisentwicklung stammt aus dem Referenzszenario der Energieszenarien 2010. Der Ausbau der KWK/ Fernwärme stagniert. Ein weiterer Netzausbau und eine Verdichtung finden kaum noch statt. In Folge dessen bleibt die Anzahl der versorgten Objekte bis 2030 konstant. Die Gebäudesanierung wirkt sich direkt auf den Fernwärmeabsatz aus. Die mit Fernwärme versorgte Fläche geht gegenüber 2012 bis 2050 um 8 % zurück.

Objekt-KWK: Der Markt stagniert auf dem heutigen Niveau.

Die in den drei Szenarien hinterlegten Anlagenzahlen für die **Objekt-KWK** sind der folgenden Tabelle 8 zu entnehmen.

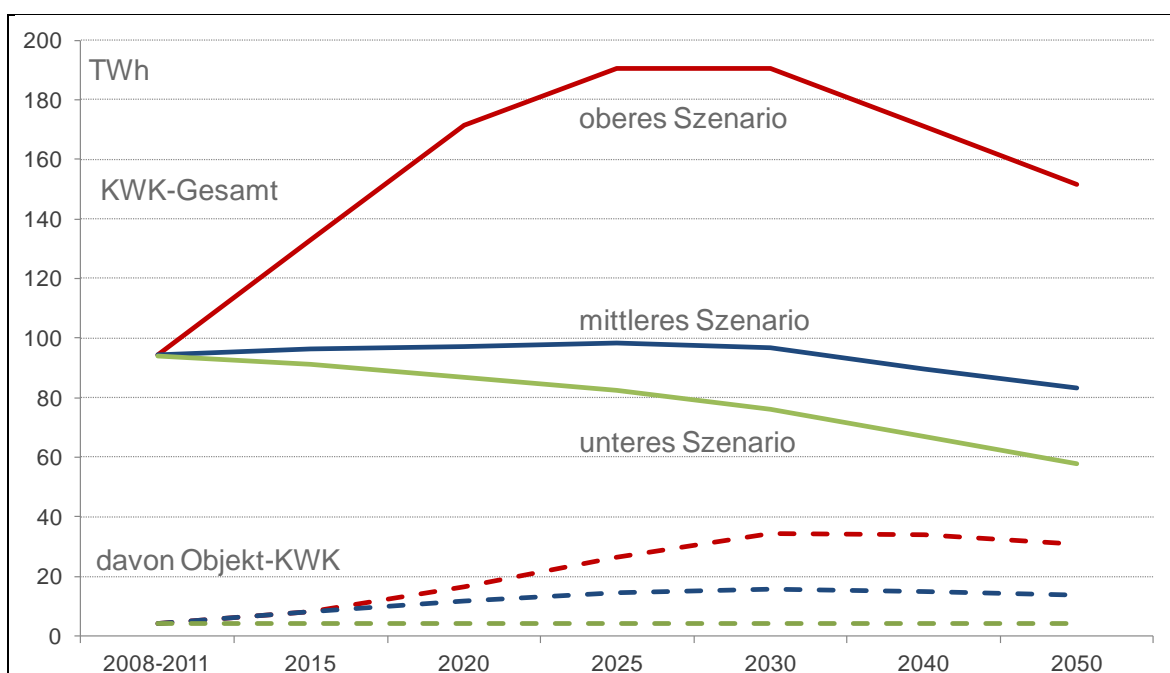
Tabelle 8: Anlagenanzahl sowie Anlagenzubau der Objekt-KWK in den Sektoren private Haushalte und GHD

	2012	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Anlagenanzahl (Bestand) bis 2 kW							
Oberes Szenario	1.250	5.250	160.000	430.000	700.000	825.000	825.000
Mittleres Szenario	1.250	5.250	50.000	120.000	185.000	210.000	210.000
Unteres Szenario	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250
Anlagenanzahl (Bestand) 2 bis 50 kW							
Oberes Szenario	35.000	50.000	100.000	160.000	210.000	230.000	230.000
Mittleres Szenario	35.000	50.000	67.500	84.500	92.500	92.500	92.500
Unteres Szenario	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000
Anlagenanzahl (Bestand) 50 kW bis 1 MW							
Oberes Szenario	700	1.000	2.000	2.750	3.250	3.500	3.500
Mittleres Szenario	700	1.000	1.500	1.800	1.900	1.900	1.900
Unteres Szenario	700	700	700	700	700	700	700

Quelle: Prognos 2013

(4) Die drei Szenarien berücksichtigen die in der Referenzentwicklung hinterlegten Einflüsse der demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland, der Neuerrichtung und Sanierung von Gebäuden ebenso wie Modernisierungen von Heizungssystemen und ihre teilweise Umstellung auf andere Energieträger (Substitutionen). Sie kommen für den KWK-Wärmebedarf zu den in Abbildung 19 dargestellten Ergebnissen.

Abbildung 19: Szenarien zur Entwicklung des KWK-Wärmebedarfs in Deutschland (notwendige KWK-Wärmeerzeugung) für die Sektoren PHH und GHD



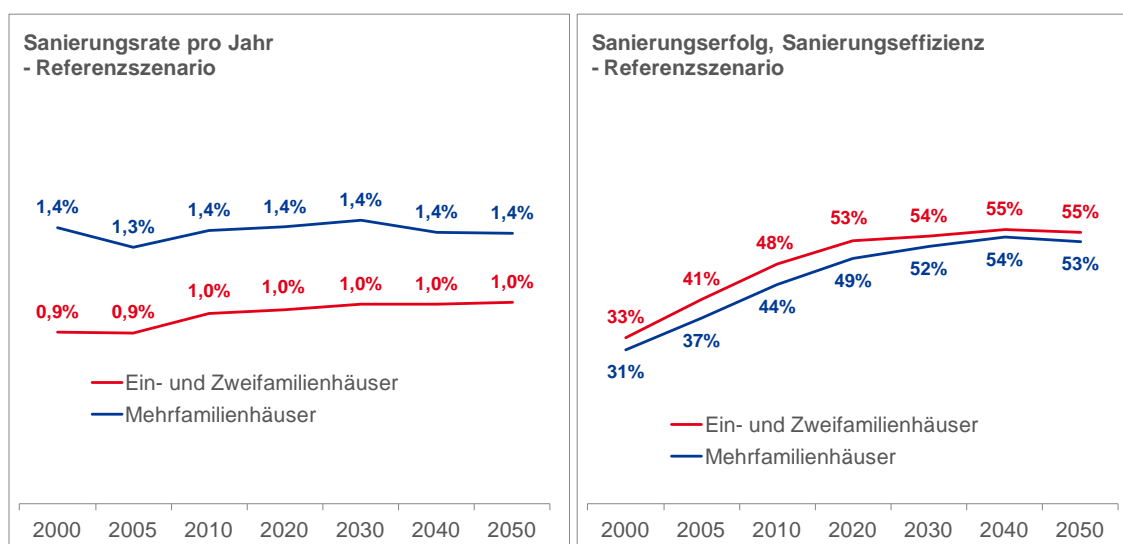
Quelle: Prognos 2013, IER Stuttgart/ AGFW Hauptbericht 2011

(5) Obwohl diese Entwicklungspfade aus heutiger Sicht belastbar erscheinen, kann der KWK-Wärmebedarf diesen Korridor zukünftig auch verlassen. Nach oben, wenn Sanierungsraten und Sanierungserfolge hinter den gesetzten Zielen zurückbleiben, die unterstellten Ausbaupfade insbesondere der kleinen KWK übertroffen werden, oder wenn Demografie und/ oder Wirtschaft sich positiver entwickeln als im Grundszenario unterstellt. Möglich ist auch eine Abweichung nach unten, wenn die demografischen und wirtschaftlichen Parameter sich deutlich schlechter entwickeln, die Politik die KWK vernachlässigt oder hohe Effizienzgewinne in der Gebäudesanierung den Wärmebedarf insgesamt stärker senken. Unabhängig von diesen Faktoren hat das Nutzerverhalten und die Wahl des Wärmeenergieträgers, das stark durch die Motivation, persönliche Einstellungen und die finanziellen Rahmenbedingungen geprägt wird, einen erheblichen Einfluss auf den zukünftigen KWK-Wärmebedarf.

Innerhalb dieser Gesamtentwicklung existieren deutliche regionale Abweichungen von der mittleren Entwicklung, sowohl bei den demografischen und ökonomischen Leitdaten als auch bei den darauf basierenden Ergebnissen zum regionalen KWK-Wärmebedarf. Deshalb können die Perspektiven der KWK „vor Ort“ zum Teil deutlich von der dargestellten mittleren Entwicklung abweichen.

(6) Weitgehend unbeeinflusst von regionalen Unterschieden sind die Rahmenannahmen zur Sanierungsrate (Häufigkeit der Sanierung) und zum Sanierungserfolg (Einsparung pro Sanierung). Zwar können regionale Unterschiede durch den Bestand an denkmalgeschützten Gebäuden und die Altersstruktur der Gebäude insgesamt auftreten, diese fallen jedoch weniger ins Gewicht.

Abbildung 20: Sanierungsraten und Sanierungserfolg in den Szenarien



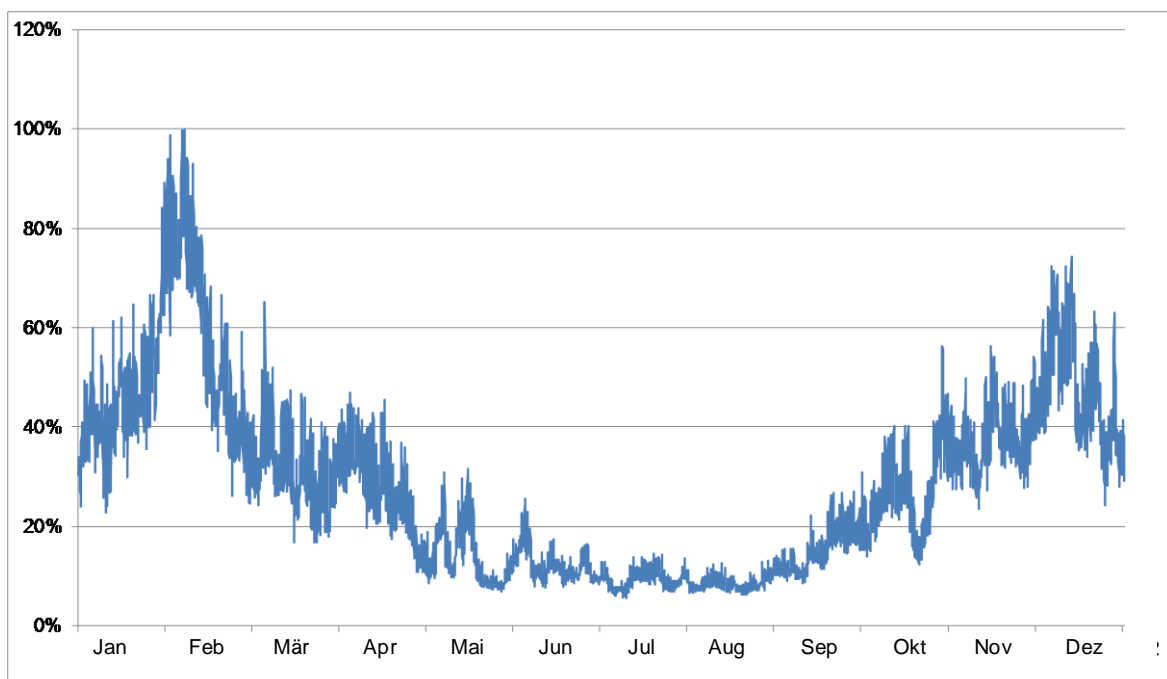
Quelle: Prognos 2013

(7) Der KWK-Wärmebedarf in Deutschland unterliegt – ähnlich wie der Strombedarf – tageszeitlichen Schwankungen, die von Wochenzyklen und saisonalen Effekten überlagert werden. Deutlich stärker als der Strombedarf ist der Wärmebedarf saisonal geprägt: Die Bedarfsmaxima liegen wegen des hohen Raumwärmeanteils KWK-Wärme in den kalten Wintermonaten. Im Sommer hingegen geht der Bedarf zurück. Hier dominieren die Warmwasserbereitstellung und die Klimatisierung den Bedarf nach KWK-Wärme. Die folgende Abbildung 21 zeigt ein heute für Deutschland repräsentatives Wärmelastprofil für die KWK-Wärme der Benutzergruppen private Haushalte und Kleingewerbe (Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen – GHD). Das Lastprofil gibt an, welcher Anteil des Maximalbedarfs in den Einzelstunden

jeweils abgerufen wird. Das Wärmelastprofil der industriellen KWK orientiert sich deutlich stärker an den Prozessen und weist dementsprechend weniger saisonale Unterschiede auf.

Für die Modellierung des zukünftigen KWK-Wärmebedarfs werden die heutigen Lastkurven der Nutzergruppen vereinfachend als unverändert fortgeschrieben. Der absolute stündliche Bedarf ergibt sich aus der Skalierung mit den erwarteten Absatzveränderungen in den Nutzergruppen.

Abbildung 21: Wärmelastprofil KWK-Wärme

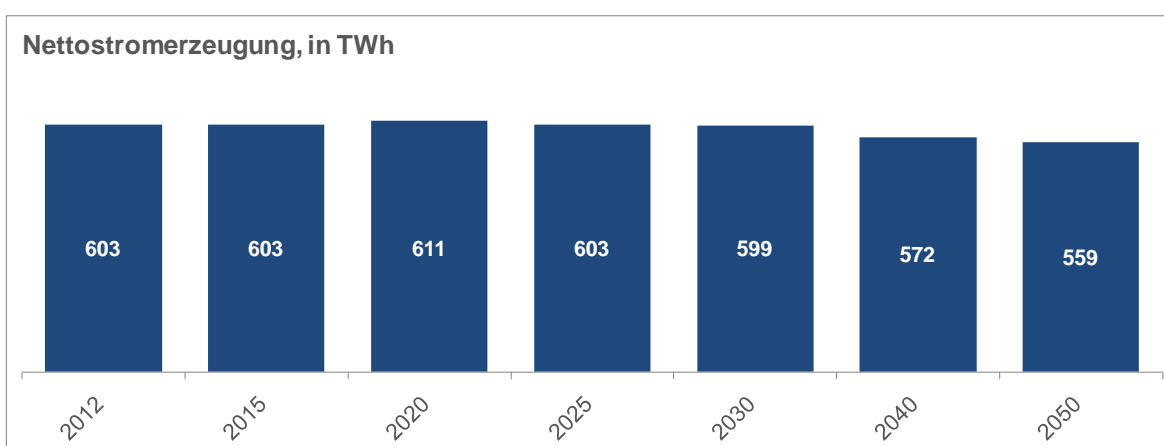


Quelle: Auswertung von Unternehmensangaben

4.2 Strombedarf, Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Residuallast

(1) Ausgangspunkt der Modellierungen für die KWK-Potenziale auf der Stromseite ist die Entwicklung des Strombedarfs in Deutschland. Entsprechend dem Referenzsystem Strom (vgl. Kapitel 3.1) bleibt dieser bis 2030 annähernd konstant und geht dann bis 2050 kontinuierlich zurück. Die Nettostromerzeugung in Deutschland folgt tendenziell dieser Entwicklung.

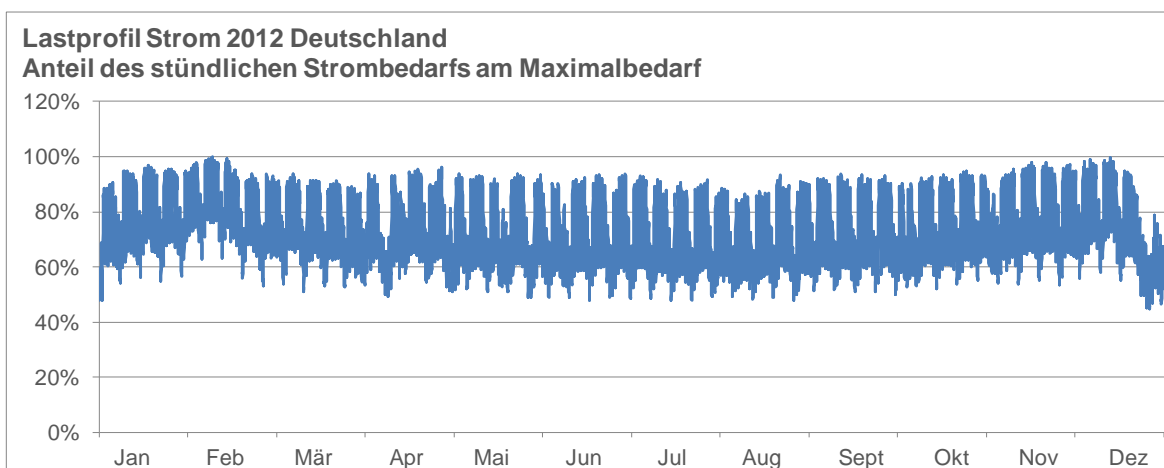
Abbildung 22: Nettostromerzeugung in Deutschland



Quelle: Prognos 2013

(2) Die Nettostromerzeugung folgt unterjährig dem tageszeitlich und saisonal schwankenden Strombedarf. Die stündliche Last wird durch das Verbraucherverhalten und die Produktionsprozesse der Industrie beeinflusst und zeigt eine relativ große Schwankungsbreite.

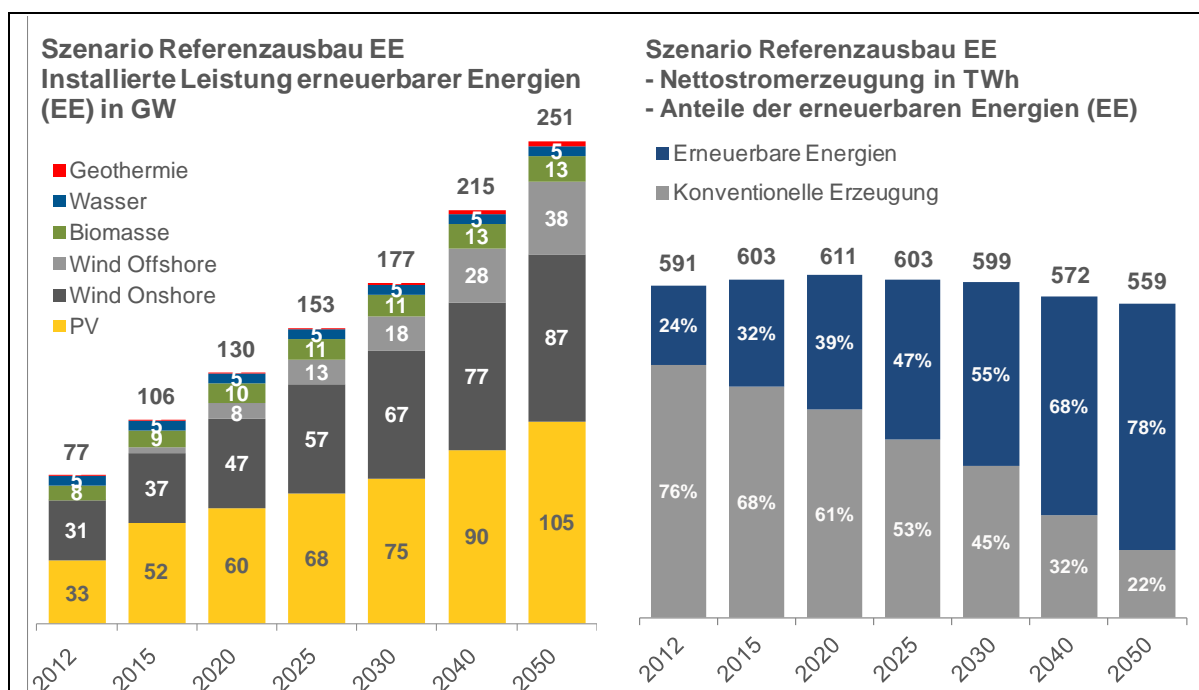
Abbildung 23: Lastprofil Strom in Deutschland 2012



Quelle: Prognos 2013

(3) Der Kraftwerkspark in Deutschland entwickelt sich im Referenzsystem immer stärker hin zur Nutzung erneuerbarer Energien. In der Referenzentwicklung steigt die installierte Leistung für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 77 Gigawatt (GW) im Jahr 2012 bis zum Jahr 2050 kontinuierlich auf 251 GW (vgl. Abbildung 24). Der Anteil des EE-Stroms an der deutschen Gesamterzeugung steigt im Referenzsystem bis 2050 auf knapp 80 %.

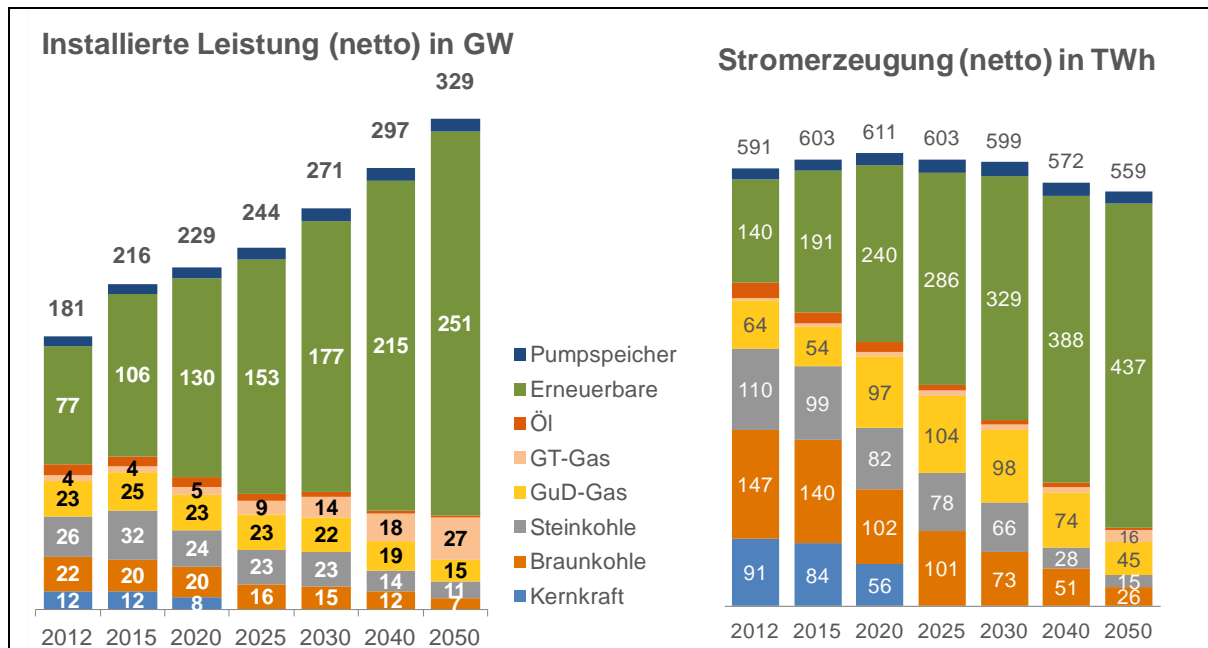
Abbildung 24: Referenzausbau regenerativer Stromerzeugung



Quelle: Prognos 2013

(4) Im Referenzsystem entwickelt sich der konventionelle Kraftwerkspark immer stärker als Ergänzung zum Ausbau der erneuerbaren Energien. Die installierte konventionelle Kraftwerkskapazität geht allmählich zurück, bleibt aber zur Absicherung der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf einem Mindestniveau (vgl. Abbildung 25).

Abbildung 25: Entwicklung des Kraftwerksparks in Deutschland im Referenzsystem



(5) Die konventionelle Stromerzeugung hat gegenüber unregelmäßigem erneuerbaren Energien, wie Wind und Photovoltaik den Vorteil, dass sie bedarfsgerecht eingesetzt werden kann. Der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland setzt aus Gründen der nahezu unbegrenzten Verfügbarkeit des Energieträgers und der Wirtschaftlichkeit der Anlagen zukünftig stark auf Windkraft und Photovoltaik. Dies hat zur Folge, dass die Erzeugung dieser beiden fluktuierenden Quellen die Stromerzeugung nicht nur dominieren wird, sondern das Stromsystem insgesamt vor hohe Anforderungen bei der bedarfsgerechten Stromversorgung stellen wird.

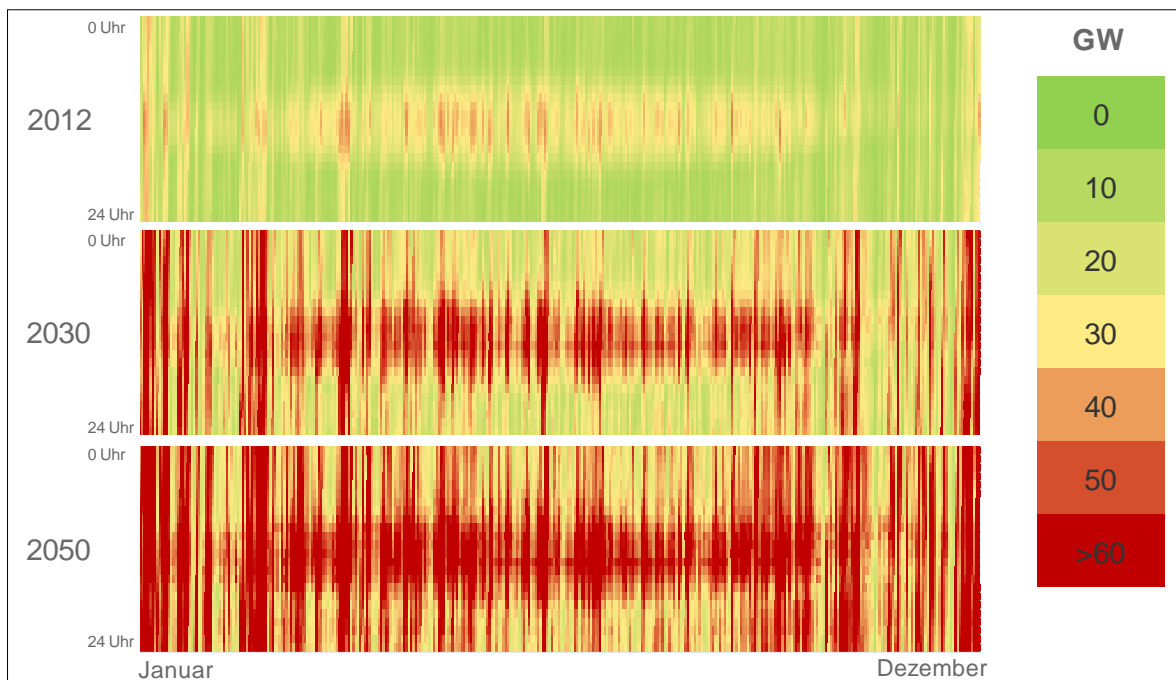
Die regelbare Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern, aber auch aus Biomasse und Geothermie muss immer flexibler einsetzbar sein, um immer dann zur Verfügung zu stehen, wenn die Einspeisung aus Windkraft und Photovoltaik nicht ausreicht, um den Strombedarf zu decken. Darüber hinaus müssen Speichermöglichkeiten geschaffen und Verwertungskonzepte für den zeitweise über den Bedarf hinaus produzierten Strom aus erneuerbaren Energien entwickelt werden, um diesen Überschussstrom aufnehmen zu können oder sinnvoll zu verwerten.

(6) Heute liegen die Einspeisemaxima der erneuerbaren Energien insbesondere in den sommerlichen Mittagsstunden, ganzjährig kommen in Starkwindzeiten unabhängig von der Tageszeit weitere Maxima hinzu. Der stündliche Strombedarf

schwankt in Deutschland heute im tages- und jahreszeitlichen Verlauf zwischen ca. 40 GW und ca. 80 GW. Bereits heute erreichen die erneuerbaren Energien deshalb zeitweise sehr hohe Anteile an der Gesamtstromerzeugung. Zukünftig werden die erneuerbaren Energien immer häufiger den stündlichen Strombedarf decken und in vielen Einzelstunden sogar deutliche Überschüsse produzieren.

Abbildung 26 zeigt die Referenzentwicklung der stündlichen Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien für die Jahre 2012, 2030 und 2050. Für die ausgewerteten Jahre ist die Höhe der Stromeinspeisung in den 8.760 Einzelstunden des jeweiligen Jahres mit 8.760 Farbpunkten dargestellt. Die Farbe dieser Punkte gibt Auskunft über die Höhe der Einspeisung. Angeordnet sind die Farbpunkte in 365 von links nach rechts nebeneinander angeordneten Tageslinien, von oben nach unten ist der Verlauf in den 24 Einzelstunden der jeweiligen Tage erkennbar.

Abbildung 26: Stündliche Strom-Einspeiseprofile der erneuerbaren Energien in Deutschland



Quelle: Prognos 2013

(7) Die für die Modellierung des KWK-Einsatzes relevante Größe ist die sogenannte Residuallast. Sie ergibt sich für jede Einzelstunde aus dem stündlichen Strombedarf (Last) abzüglich der stündlichen Stromeinspeisung der erneuerbaren Energien. Sie gibt den Korridor vor, in dem konventionelle Kraftwerke Strom erzeugen können, ohne dass die erneuerbare Stromerzeugung gedrosselt werden muss. Die Residuallast nimmt in den nächsten Jahr-

zehnten durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und den langfristig sinkenden Strombedarf deutlich ab.

Nicht die gesamte Residuallast kann stromseitig von der KWK bedient werden, da eine bestimmte regelbare Leistung zur Gewährleistung der Systemstabilität (Regelenergie, Schwarzstart-Fähigkeit etc.) vorgehalten werden muss (vgl. Tabelle 9). Der mögliche Beitrag der KWK zur Bereitstellung dieser Systemdienstleistungen in Höhe von rund 20 GW beträgt heute rund 5 GW. Die verbleibenden 15 GW, die nicht durch die KWK bereitgestellt werden können, erhöhen sich um die Leistung der unregelmäßig einspeisenden Biomasse und Wasserkraft (2012: 5 GW) sowie um die Leistung der nicht strommarkt- sondern wärmegeführten industriellen KWK (2012: 2 GW). Im Ausgangsjahr 2012 standen demnach in Summe rund 22 GW der Residuallast nicht für die KWK-Stromproduktion zur Verfügung.

Wir gehen davon aus, dass die Systemdienstleistungen in Zukunft verstärkt von erneuerbaren Energien und auch durch Lastmanagement bereitgestellt werden können. Daher werden die systembedingten Einschränkungen für den KWK-Betrieb in Zukunft voraussichtlich kleiner werden. Mit der für die Zukunft unterstellten Abkehr der biogenen und industriellen KWK von der wärmegeführten Fahrweise gehen die Beschränkungen für die strommarktorientierte KWK bis 2050 auf rund 8 GW zurück.

Tabelle 9: Beschränkungen für die strommarktorientierte KWK

		2012	2020	2030	2040	2050
Notwendige Mindestlast zur Sicherstellung der Systemdienstleistungen	GW	20	15	12	10	8
davon Leistung die durch KWK-Anlagen erbracht werden kann	GW	5	5	5	4	3
Ungeordnete Biomasse und Wasserkraft (Grundlastband)	GW	5	5	4	4	3
Industrielle KWK (mittelfristig strommarktorientiert)	GW	2	1	0	0	0
Systemmindestleistung, die nicht für die KWK (allgm. Versorgung) zur Verfügung steht	GW	22	16	11	10	8

Quelle: Prognos 2013

4.3 Flexibilisierung der KWK-Stromerzeugung

(1) Aufgrund der zukünftig insgesamt sinkenden Residuallast, die zudem im Tages- und Wochenverlauf immer stärkeren Schwankungen unterliegen wird, steigen die Ansprüche an die konventionelle Stromerzeugung. Sie muss mit ihrer Stromerzeugung immer flexibler auf die fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen Wind und Photovoltaik reagieren.

(2) Die KWK-Anlagen stehen vor der zusätzlichen Herausforderung, mit ihrer gekoppelten Wärmeerzeugung gleichzeitig ihre jeweilige Abnahmestruktur zu bedienen. Ohne eine entsprechende Flexibilisierung der KWK-Anlagen, mit der die Strom- und Wärmeabgabe aus der gekoppelten Erzeugung über Speicher zeitlich optimiert wird, können die umweltfreundlichen KWK-Potenziale nicht in vollem Umfang genutzt werden. In Situationen mit gleichzeitig geringer Residuallast und bestehendem Wärmebedarf kann ansonsten folgendes Dilemma auftreten: Entweder verdrängt die KWK-Anlage im gekoppelten Betrieb durch ihre Stromerzeugung die Einspeisung aus erneuerbaren Energien, oder die KWK geht vom Netz und der Wärmebedarf ihrer Abnehmer muss in ungekoppelter Fahrweise über Spitzenwärmekessel gedeckt werden.

Um dieses Dilemma zu vermeiden ist es notwendig, langfristig sämtliche KWK-Anlagen mit Pufferspeichern auszurüsten bzw. die bereits heute vorhandenen Speicher der kleinen KWK-Anlagen für eine strommarktgeführte Fahrweise zu nutzen.

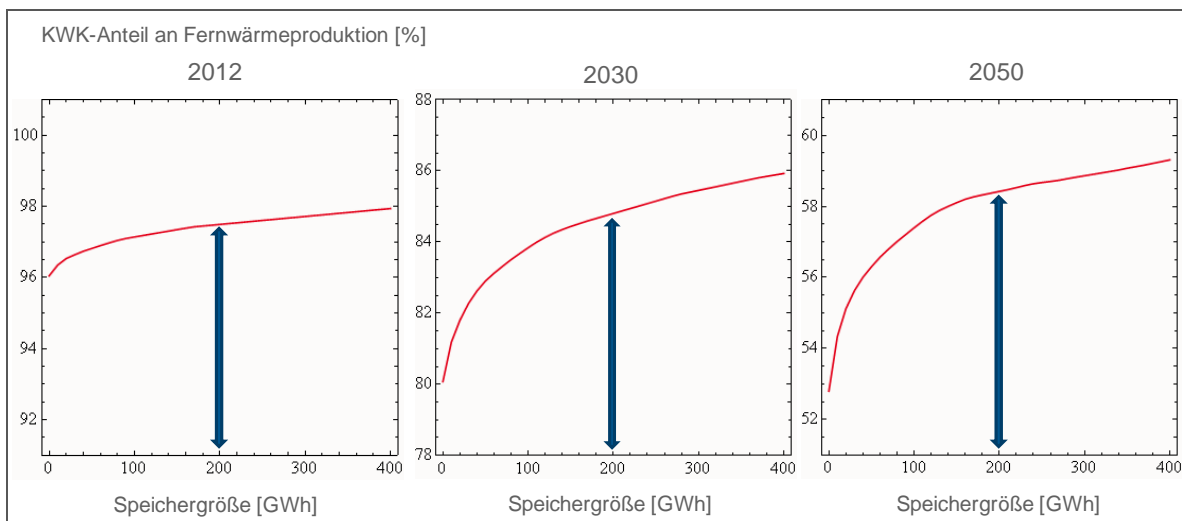
Kostenbetrachtungen zur Speicherung von Strom und Wärme haben gezeigt, dass es deutlich günstiger ist, Wärmespeicher zu errichten. Sie geben den KWK-Anlagen die Möglichkeit, sich in der gekoppelten Erzeugung stärker am Strommarkt zu orientieren und die schwankende Residuallast zu bedienen. Die gekoppelt erzeugte Wärme wird, wenn der Wärmebedarf in diesen Betriebszeiten der KWK-Anlage nicht ausreicht, zwischengespeichert. Besteht stromseitig kein Bedarf an der KWK-Erzeugung, wird der Wärmebedarf zunächst aus dem Speicher bedient.

(3) Die Dimensionierung der Speicher für die einzelnen KWK-Anlagen hängt stark vom Wärmelastprofil der angeschlossenen Kunden ab. Für diese Studie, die den Gesamteffekt einer flächendeckenden Einführung von Wärmespeichern auf die KWK-Potenziale zur gekoppelten Erzeugung untersucht, sind detaillierte Festlegungen auf der Anlagenebene nicht notwendig.

Es wurde deshalb ein ingenieurtechnischer Ansatz gewählt, der die Kosten und den Nutzen der Wärmespeicher berücksichtigt. Grundsätzlich steigt mit zunehmenden Wärmespeichervolumen auch der KWK-Anteil der produzierten Wärme, der zusätzliche Nutzen nimmt jedoch bei steigenden Gesamtvolumen allmählich

ab (vgl. Abbildung 27). Für die Abschätzung des KWK-Potenzials wurde vor diesem Hintergrund für Deutschland ein Wärmespeichervolumen von 200 GWh als sinnvoll angenommen. Diese Speichergöße ist ausreichend, um den maximalen Wärmebedarf im Winter für rund fünf Stunden zu decken, bei dem geringeren Wärmebedarf im Sommer sind es rund drei Tage.

Abbildung 27: Auslegung der Gesamt-Wärmespeicherkapazität in stromgeführten KWK-Anlagen



Quelle: Prognos 2013

4.4 Sinnvolle Nutzung von überschüssigem regenerativ erzeugtem Strom

(1) Wie bereits dargestellt, wird die zukünftige Stromerzeugung in Deutschland auch von temporären Überschüssen bei der Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik gekennzeichnet sein. Der Aufbau von Wärmespeichern kann über die Flexibilisierung der KWK-Anlagen hinaus auch zur Integration der regenerativen Erzeugung in das Energiesystem beitragen.

Zukünftig werden Überschusssituationen bei der regenerativen Stromerzeugung vermehrt auftreten. Deshalb müssen Lösungen für eine sinnvolle Nutzung dieses Stroms gefunden werden – die zunehmende Abschaltung der EE-Anlagen wäre die schlechteste Alternative.

(2) Die Prognos AG untersuchte im Jahr 2012 für den Weltenergieat - Deutschland e. V. in der Studie „Bedeutung der internationalen Wasserkraft-Speicherung für die Energiewende“ verschiedene Möglichkeiten, überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien zu speichern oder anderweitig zu nutzen (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: Möglichkeiten zur Nutzung und Speicherung von Strom

Technologie	Interkonnektoren (indirekter Speicher)	Wärmespeichersysteme	Adiabate Druckluftspeicher	Pumpspeicherkraftwerk	Wasserstoff/Methan	Batterien (z. B. Elektroautos)	Lastmanagement Industrie	Lastmanagement PHH/GHD
Erwartete Marktreife	heute	heute	2010-2020	heute	2020-2030	2015-2020	heute	2020
Realisierungsdauer	8 Jahre	2-3 Jahre	3-5 Jahre	10 Jahre	3-5 Jahre	1 Jahr	1-10 Jahre	1 Jahr
Anwendungspotenzial	1,4 GW pro Kabel	4-18 GW _{el}	> 700 Kavernen	2,7 GW _{el} (gepl. 2020)	unbegrenzt	3 GW _{el} ¹	2 GW _{el}	3 GW _{el}
Reichweite (in Stunden)	Wochen-Monate	4-24	8-16	4-8	saisonal	1 bis 8	2-8	1-24
Wirkungsgrad Strom zu Strom	ca. 90% (DE zu DE)	95% Strom/Wärme	60%-70%	70%-80%	30%-40%	75%-95%	-	-
Investitionskosten (EUR/kW _{el})	1.400	120-350	1.000-1.500	1.000-2.000	1.500-3.000	1.000-2.000	prozessabhängig	prozessabhängig
Lebensdauer	20-40 Jahre	40-60 Jahre	40 Jahre	>100 Jahre	30 Jahre	3.000 Zyklen	-	-
Akzeptanz ²	mittel	gut	mittel	gering/mittel	mittel/gut	gut	mittel	mittel

¹ Bei 1 Mio. gleichzeitig am Netz befindlicher E-PKW mit einer Anschlussleistung von je 3 kW, je nach Anschlussgrad voraussichtlich zwei bis drei Mio. E-PKW

² Einschätzung beschreibt die Situation in Deutschland, in den Partnerstaaten liegen zum Teil abweichende Beurteilungen vor; Akzeptanz: Einschätzung der Prognos AG

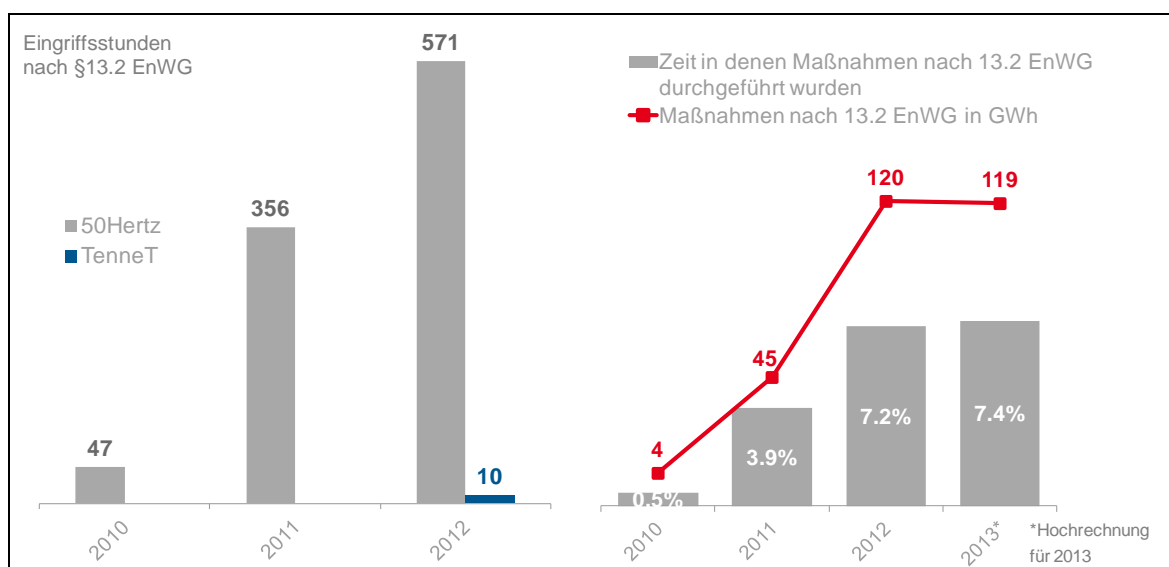
Quelle: Prognos 2012

Die Untersuchung zeigte für die Speicherung von Strom Vorteile für internationale Speicher in Nordeuropa, die mit Hilfe von Interkonnektoren angeschlossen werden. Deren Ausbaupotenzial ist jedoch begrenzt und relativ kostenintensiv zu erschließen. Hohe Kosten entstehen auch bei anderen heute oder in naher Zukunft verfügbaren Stromspeichern, wie Pump- und Druckluftspeicher, Batterien oder Power-to-Gas, die darüber hinaus deutlich schlechtere Wirkungsgrade für die Stromspeicherung aufweisen.

Deutlich kostengünstiger und mit heutiger Technik schnell zu realisieren ist die Nutzung des Überschussstroms in den Wärmespeichern der KWK-Anlagen. Die zusätzlichen Kosten für den Einbau von elektrischen Heizelementen sind gering. Mit diesen Heizelementen ist es möglich, den Überschussstrom sinnvoll in der Wärmeerzeugung zu verwerten. Mit dem nicht für Stromanwendungen benötigten Überschussstrom aus erneuerbaren Energien – nur dieser soll in den Wärmespeichern genutzt werden – können Primärenergieträger in den KWK-Anlagen eingespart und die CO₂-Bilanz der KWK weiter verbessert werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der Dezentralität der KWK-Anlagen, die den Überschussstrom in der Fläche aufnehmen können und so dazu beitragen, den für den Transport des Überschussstroms erforderlichen Ausbau des Stromnetzes zu minimieren.

(3) Bereits heute kommt es regional aufgrund von Netzengpässen dazu, dass die Einspeisung erneuerbar erzeugten Stroms abgeregelt wird (Eingriff nach § 13.2 Energiewirtschaftsgesetz). Im Netz der 50Hertz traten diese Abschaltungen seit 2010 zunehmend auf, seit 2012 auch bei TenneT TSO. Ausgelöst werden diese Situationen durch eine regionale Überlastung des Stromnetzes.

Abbildung 28: Abschaltung von erneuerbarer Stromerzeugung aufgrund von Netzengpässen

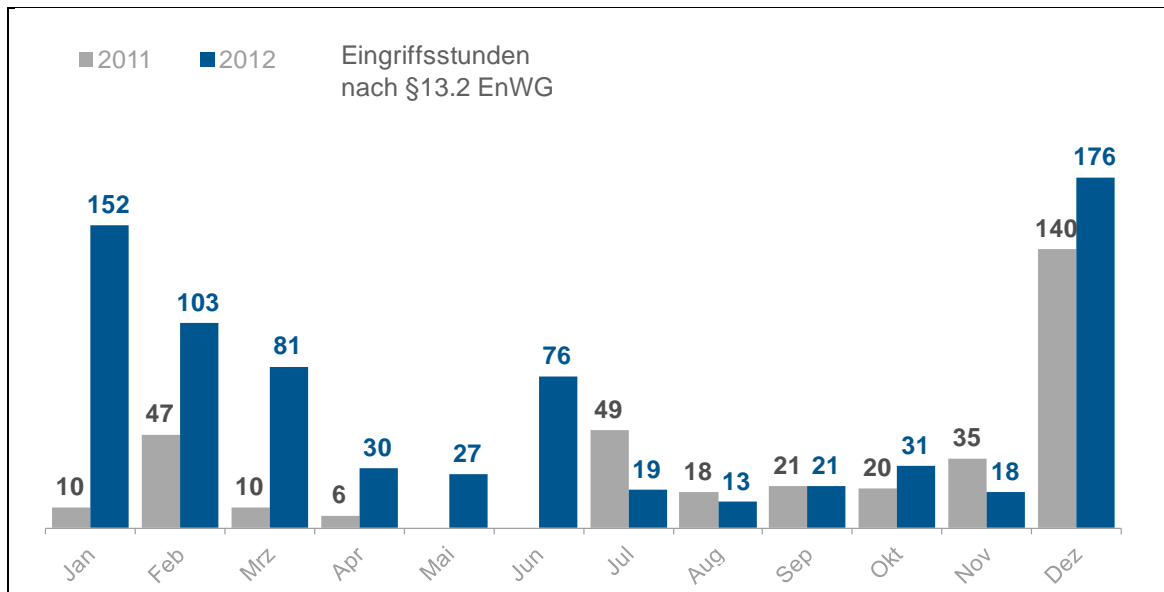


Quelle: Angaben der Netzbetreiber

Im Jahr 2012 musste bereits in 582 Stunden (7,2 %) in die erneuerbare Stromerzeugung eingegriffen werden, um regionale Überlastungen des Stromnetzes zu verhindern. Die steigende Tendenz zeigt den dringenden Handlungsbedarf auf.

(4) An der Verteilung der Abschaltungen über den Jahresverlauf ist abzulesen, welche Einflussgrößen für diese Abschaltungen hauptsächlich verantwortlich sind. In den Wintermonaten ist das Stromnetz aufgrund des hohen Strombedarfs grundsätzlich stärker belastet als im Sommer. In diesem Zeitraum auftretende Starkwindphasen können das Netz mit einer hohen Windstromeinspeisung überfordern. Im Hochsommer mit seiner intensiven Sonneneinstrahlung resultieren die Abschaltungen deutlich häufiger aus regionalen Einspeisemaxima von Solarstrom.

Abbildung 29: Saisonaler Verlauf der Eingriffsstunden nach § 13.2 EnWG



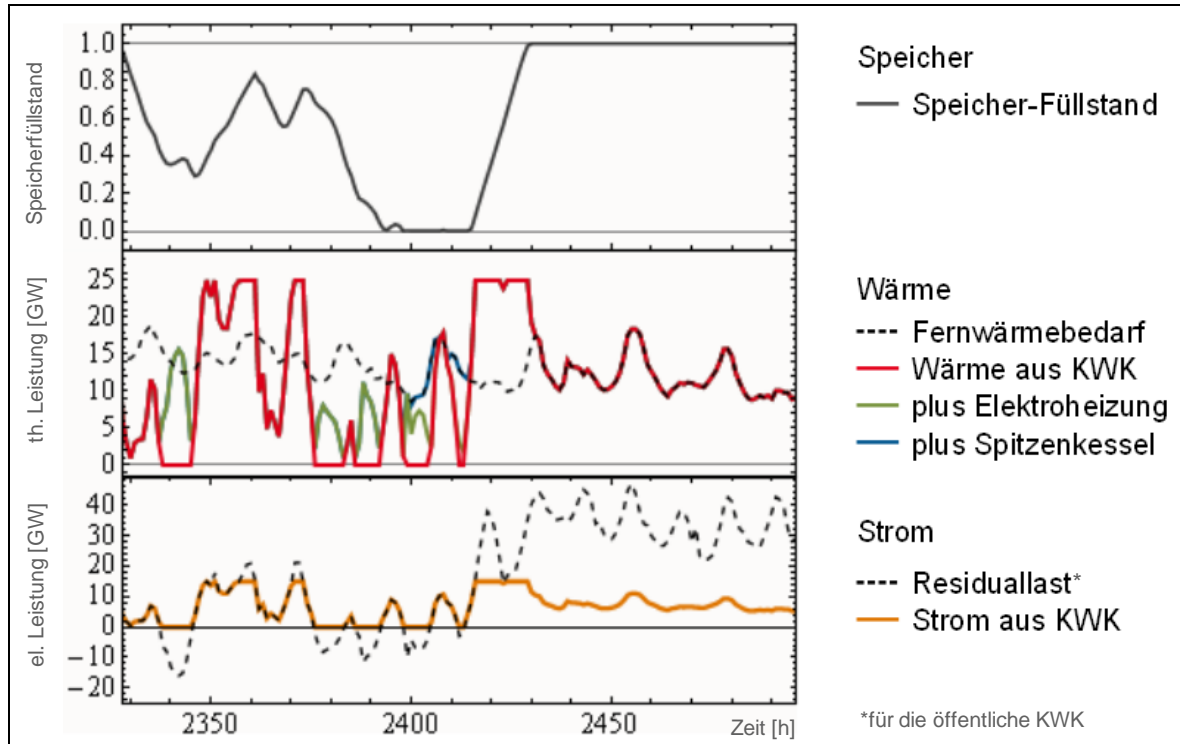
Quelle: Angaben der Netzbetreiber

Ein Vergleich der saisonalen Verteilung der Eingriffsstunden nach § 13.2 EnWG mit den Bedarfsmaxima des Wärmelastprofils der KWK-Wärme (vgl. Abbildung 21 in Kapitel 4.1) zeigt die sehr gute Übereinstimmung, insbesondere in den Wintermonaten. Das bedeutet, dass Elektroheizer in den Wärmespeichern der KWK-Anlagen heute schon Abschaltungen der erneuerbaren Stromerzeugung verhindern könnten, indem sie den Strom regional zur Wärmeerzeugung nutzen.

(5) Um das technische Potenzial der KWK zu quantifizieren, wurde für jede Stunde des Jahres berechnet, welche Strom- und Wärmemengen unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.2 beschriebenen strom- und wärmeseitigen Begrenzungen maximal produziert werden können. Überschüssiger EE-Strom im System wird im Modell zum Heizen verwendet, sofern die erzeugte Wärme benötigt wird bzw. vom Wärmespeicher aufgenommen werden kann. Reicht die aktuell produzierte Wärme nicht aus, um den Bedarf zu decken, wird Wärme aus dem Speicher entnommen. Ist dieser leer, werden Spitzenkessel zur Erzeugung herangezogen.

Abbildung 30 stellt die Ergebnisse der Simulation für eine Beispielwoche (8.-14. April 2030) dar und illustriert dabei, wie bei der Modellierung vorgegangen wurde.

Abbildung 30: Produktion von Strom und Wärme in einem KWK-System mit Wärmespeicher und Nutzung von EE-Überschussstrom für eine Beispielwoche.



Quelle: Prognos 2013

Das obere Bild zeigt den relativen Wärmespeicherfüllstand, das mittlere Bild thermische und das untere Bild elektrische Leistungen. In der dargestellten Beispielwoche ist die Produktion am Wochenanfang stromseitig begrenzt (unteres Bild, orange bzw. schwarz gestrichelte Linie). In diesem Fall wird so viel KWK-Strom produziert, wie das Stromsystem aufnehmen kann. In Zeiten, in denen im Netz Strom im Überschuss vorhanden ist (negative Residuallast), werden die KWK-Anlagen ausgeschaltet. Auf der Wärmeseite (mittleres Bild) bedeutet dies, dass die thermische Leistung aus KWK (rote Linie) in der ersten Wochenhälfte nicht dem Fernwärmebedarf (schwarz gestrichelte Linie) entspricht. In den Zeiten, in denen die produzierte Wärme nicht ausreicht, den aktuellen Bedarf zu decken, wird dem Wärmespeicher (oberes Bild) zusätzlich Wärme entnommen, in Zeiten, in denen die KWK mehr Wärme produziert als nachgefragt wird, füllt sich der Speicher. Ist die Residuallast negativ, wird der im Überschuss zur Verfügung stehende Strom zum Heizen verwendet (grüne Linie), sofern die dabei produzierte Wärme den aktuellen Bedarf deckt bzw. im Speicher Platz findet. Erst wenn die gemeinsame thermische Leistung aus der KWK-Anlage, dem Wärmespeicher und ggf. dem Elektroheizers zusammen nicht für die Deckung des aktuellen Wärmebedarfs ausreichen, wird ein zusätzlicher Spitzenkessel benötigt (blaue Linie).

In der zweiten Wochenhälfte des Beispiels tritt die Situation ein, dass die KWK-Produktion wärmeseitig beschränkt ist (etwa ab Stunde 2.430). Der Wärmespeicher ist gefüllt, deswegen kann die KWK-Anlage nur noch dem aktuellen Wärmebedarf entsprechend produzieren, obwohl stromseitig mehr Platz im System vorhanden wäre.

4.5 Szenariendefinition für die Modellierung

(1) Die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke (Merit-Order) erfolgt in der Modellierung wie auch am realen Strommarkt anhand der kurzfristigen Grenzkosten der einzelnen Anlagen. Für die unregulierten erneuerbaren Energien (Wind, Photovoltaik etc.) liegen diese Kosten nahe Null, für andere Kraftwerke werden sie von den Brennstoffkosten und den Kosten für CO₂ dominiert.

Für die Modellierung des maximal sinnvollen technischen Potenzials der KWK in den Szenarien wurde ihre Stellung in der Merit-Order verändert. In der Modellierung wurden die Kosten der KWK-Anlagen – die zentrale Stellgröße des Kraftwerkseinsatzes – niedriger angesetzt als in der Realität. Hierdurch wurde sichergestellt, dass die KWK ihren gesetzlich verankerten Einspeisevorrang vor der ungekoppelten Stromerzeugung nutzen kann und immer dann produziert, wenn ein ausreichender Strom- und Wärmebedarf vorliegt. Dabei wurde beachtet, dass die KWK erst dann zum Einsatz kommt, wenn die unregulierte erneuerbare Stromerzeugung nicht ausreicht, den Strombedarf zu decken.

Wegen der grundsätzlichen Rahmenbedingung, dass die KWK die unregulierte erneuerbare Stromerzeugung nicht verdrängen darf, berücksichtigt die Modellierung des zukünftigen Betriebs für sämtliche KWK-Anlagen eine strommarktgeführte Fahrweise.

(2) Die Modellierung der KWK im zukünftigen Energiesystem erfolgte für den Zeitraum von 2012 bis 2050 auf der Grundlage der in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Rahmenbedingungen zur Entwicklung des Strom- und Wärmebedarfs und des Ausbaus der erneuerbaren Energien.

Für den Basisfall der KWK wurde eine über den Betrachtungszeitraum konstante installierte elektrische Leistung der KWK-Anlagen (nur KWK-Scheibe) in Höhe von 15 Gigawatt (GW) angenommen. Als mittlere Stromkennziffer, die das Verhältnis von Strom- zu Wärmeenergieerzeugung einer KWK-Anlage im gekoppelten Betrieb angibt, wurde für die KWK der heutige Wert von 0,6 angesetzt.

Variiert wurde in der Modellierung primär die Ausrüstung der KWK-Anlagen. Zur Ermittlung der Effekte eines Aufbaus von zusätzlichen Wärmespeichern und einer Ausrüstung dieser Speicher mit

Heizelementen für die Nutzung von Überschussstrom wurden folgende drei Fälle unterschieden:

- **Fall A: Status quo**
Der Betrieb der KWK-Anlagen erfolgt wie in der Vergangenheit ohne zusätzliche technische Ausrüstung
- **Fall B: Aufbau Wärmespeicher**
Sämtliche KWK-Anlagen werden mit Wärmespeichern ausgerüstet (Speicherkapazität in Summe 200 GWh)
- **Fall C: Wärmespeicher & Elektroheizer**
Zusätzlich werden in sämtliche Wärmespeicher Elektroheizer zur Nutzung von Überschussstrom installiert

Für den Fall C, in dem die KWK die höchste Flexibilität aufweist, wurden zusätzliche Analysen durchgeführt. Sie geben Aufschluss darüber, welchen Einfluss eine Variation der stromseitigen Rahmenannahmen auf das technisch sinnvoll nutzbare Potenzial der KWK nimmt. Folgende Sensitivitätsrechnungen wurden durchgeführt:

- **Sensitivität C1: KWK-Leistung**
Ausbau der installierten elektrischen Leistung der KWK von 15 GW auf 20 GW (KWK-Scheibe)
- **Sensitivität C2: Stromkennziffer**
Erhöhung der mittleren Stromkennziffer von 0,6 auf 0,8
- **Sensitivität C3: 10 GW mehr Flexibilität**
Abweichend vom Grundszenario wird unterstellt, dass im Stromsystem zusätzliche Flexibilität in Höhe von 10 GW verfügbar ist, beispielsweise durch die weitere Senkung der Mindestlast für die Systemdienstleistungen, Speicherausbau oder eine stärkere internationale Netzeinbindung
- **Sensitivität C4: Zusammenspiel der Sensitivitäten C1-C3**
Es wird die gemeinsame Wirkung der veränderten Parameter aus den Sensitivitätsrechnungen C1 (KWK-Leistung), C2 (Stromkennziffer) und C3 (10 GW mehr Flexibilität) betrachtet

Die Ergebnisse der Modellierungen sind Kapitel 5 zu entnehmen.

4.6 Berechnung der CO₂-Emissionen

(1) Bereits heute wird die KWK vom umweltfreundlichen Brennstoff Erdgas dominiert. Für die nächsten Jahrzehnte gehen wir von einem weiteren Ausbau des Erdgasanteils und einer stärkeren Nutzung biogener Einsatzstoffe in den KWK-Anlagen aus. Für die Berechnungen unterstellen wir für die KWK folgende Brennstoffanteile in der Strom- und Wärmeerzeugung:

Tabelle 11: Brennstoffmix der KWK-Anlagen

Brennstoff	Stromerzeugung			Wärmeerzeugung		
	2011	2030	2050	2011	2030	2050
Gas	59%	69%	75%	44%	57%	65%
Steinkohle	24%	13%	5%	31%	16%	7%
Braunkohle	8%	6%	5%	11%	9%	7%
Biogen	3%	7%	10%	4%	8%	11%
Abfall	5%	5%	5%	11%	10%	10%

Quelle: Prognos 2013

(2) Zur Berechnung der **CO₂-Emissionen der KWK** werden für jeden Brennstoff die in den Szenarien erzeugten Strom- und Wärmemengen mit dem jeweiligen mittleren Energienutzungsgrad der KWK multipliziert. Hieraus ergibt sich der Brennstoffeinsatz, der mit seinem brennstoffspezifischen Emissionsfaktor (siehe Tabelle 12) multipliziert wird. Aus der Summe über alle eingesetzten Brennstoffe ergibt sich die KWK-CO₂-Emission.

Tabelle 12: Spezifische CO₂-Emissionsfaktoren der Brennstoffe

Brennstoff	Einheit	Emissionsfaktor CO ₂
Gas	g/kWh	200
Steinkohle	g/kWh	340
Braunkohle	g/kWh	396
Öl	g/kWh	266
Biogen	g/kWh	0
Abfall	g/kWh	160

Quelle: UBA, DEHST 2004

(3) Für die **Berechnung der CO₂-Emission der Referenzerzeugung** 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 (vgl. Kapitel 3.2). 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 (Zunahme von Gaskraftwerken) abnimmt (vgl. Tabelle 13).

(4) 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. Auf Grundlage des aktuellen Prognos Referenzszenarios zeigt Tabelle 13 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 13).

Tabelle 13: Emissionsfaktoren der ungekoppelten Referenz-Strom- und Wärme-Erzeugung

	Einheit	2012	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Emissionsfaktor KWK-Verdrängungsmix	g/kWh	912	936	810	753	737	714	661
Emissionsfaktor Wärme GHD/ MFH	g/kWh	261	250	236	227	221	217	215
Emissionsfaktor Wärme Industrie	g/kWh	275	273	270	267	263	258	253

Quelle: Prognos 2013

(5) Da in dieser Studie auch die Effekte eines Aufbaus von Wärmespeichern an den KWK-Anlagen (vgl. Kapitel 4.3) und des zusätzlichen Einbaus von Elektroheizern in diese Wärmespeicher betrachtet wird (vgl. Kapitel 4.4), müssen für diese Szenarien in einem zweiten Schritt die **zusätzlichen CO₂-Einspareffekte durch Elektroheizer** berechnet werden.

Die durch eine mögliche Nutzung des überschüssigen erneuerbaren Stroms erzeugte Wärme wird als emissionsfrei¹ betrachtet und ersetzt an den KWK-Standorten teilweise die nicht in KWK erzeugte Wärme der Spitzenlastkessel. Damit verbessert sich die CO₂-Gesamtbilanz des KWK-Systems, ohne die Strom- und Wärmeerzeugung in KWK zu verändern. Wenn die Nutzung des EE-Stroms als Wärmelieferant langfristig stärker zunimmt, geht die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in den Anlagen leicht zurück. Grund hierfür ist der beschränkte Wärmeabsatz der Anlagen, der eine höhere gekoppelte Erzeugung verhindert. Zu dieser Kombination werden wiederum die Emissionen der getrennten Erzeugung berechnet und denen der gekoppelten Erzeugung gegenübergestellt.

Wärmegeführte KWK

(6) **Heute** werden kleinere KWK-Anlagen in der Regel wärmegeführt oder nach Eigenstromverbrauch betrieben. Da sie faktisch keinen regenerativ erzeugten Strom verdrängen und eine hohe Effizienz aufweisen, ist ihre CO₂-Bilanz gegenüber der ungekoppelten Erzeugung positiv. Vor dem Hintergrund einer zukünftig weiter stark steigenden emissionsfreien Stromspeisung aus erneuerbaren Energien in das Stromnetz wird deshalb im Rahmen dieser Studie auch der Zeitpunkt berechnet, ab dem ihre CO₂-Einsparungen gegenüber dem jeweiligen ungekoppelten Referenzsystem gegen Null laufen. Dies ist der Zeitpunkt, an dem sie zur Wahrung ihrer Emissionsvorteile stromgeführt, also der Stromnachfrage entsprechend betrieben werden sollten. Hintergrund ist, dass die CO₂-Einsparungen sinken, wenn mehr erneuerbar erzeugter Strom durch die Anlagen verdrängt wird. Langfristig sinkt der spezifische Emissionsfaktor des Referenz-Strommixes, der zur Berechnung der CO₂-Einsparung durch die KWK-Anlage herangezogen wird.

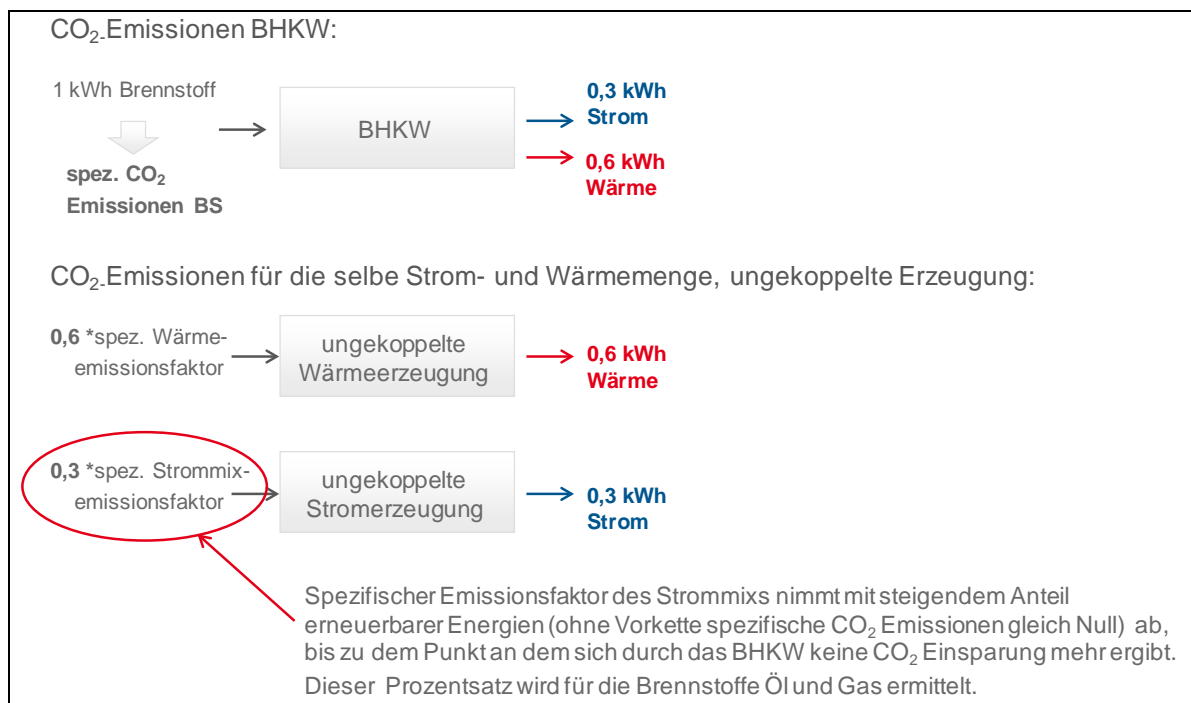
Zur Bewertung, ab wann die Verdrängung erneuerbarer Erzeugung eine stromgeführte Fahrweise für eine positive CO₂-Bilanz der kleinen KWK-Anlagen notwendig macht, werden in einer groben Abschätzung die Emissionen des Einsatzes von einer kWh Brennstoff zur gekoppelten Erzeugung (für ein Gas-BHKW und ein

¹ Keine Vorkettenbetrachtung

Öl-BHKW, jeweils mit $\eta_{el} = 0,3$ und $\eta_{th} = 0,6$) den Emissionen einer getrennten Erzeugung mit unterschiedlich hohen prozentualen Anteilen emissionsfrei erzeugtem Strom gegenübergestellt.

Anhand des Ausbaupfads der erneuerbaren Energien wird der Zeitpunkt, bei dem sich Emissionen für beide Erzeugungsarten in derselben Höhe ergeben, ermittelt. In diesem Falle ist die CO_2 -Einsparung der kleinen KWK gleich Null und die KWK-Anlagen sollten zur Wahrung ihres Emissionsvorteils mit entsprechender Regelungstechnik und Speichern ausgerüstet werden (vgl. Abbildung 31).

Abbildung 31: CO_2 -Emissionen BHKW und getrennte Erzeugung



Quelle: Prognos 2013

Die Ergebnisse der CO_2 -Berechnungen sind Kapitel 5.4 zu entnehmen.

5 Der mögliche Beitrag der KWK zu einem nachhaltigen Energiesystem

5.1 Potenziale der KWK in der Stromerzeugung

(1) Das technische Potenzial der KWK wird heute im Wesentlichen von der Wärmenachfrage der angeschlossenen Wärmeabnehmer bestimmt.

Die folgende Abbildung 32 zeigt in stündlicher Auflösung für das Jahr 2012 die Möglichkeiten und Begrenzungen der KWK-Stromerzeugung. Die Darstellung ähnelt der in Kapitel 4.2 für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gewählten Form. Auch in diesem Fall werden die Berechnungsergebnisse für alle 8.760 Einzelstunden des Jahres mit jeweils 8.760 Farbpunkten dargestellt. Die Farbe dieser Punkte gibt Auskunft über die Höhe des Stromerzeugungspotenzials der KWK. Die roten Bereiche innerhalb der Grafik veranschaulichen die Zeiten, in denen eine hohe Erzeugung durch KWK-Systeme möglich gewesen wäre, in den grünen Bereichen hingegen bestehen stärkere Beschränkungen (vgl. rechte Farbskalen mit Angaben in GW). Angeordnet sind die Farbpunkte in 365 von links nach rechts sortierten Tageslinien, von oben nach unten ist der Verlauf in den 24 Einzelstunden der jeweiligen Tage erkennbar.

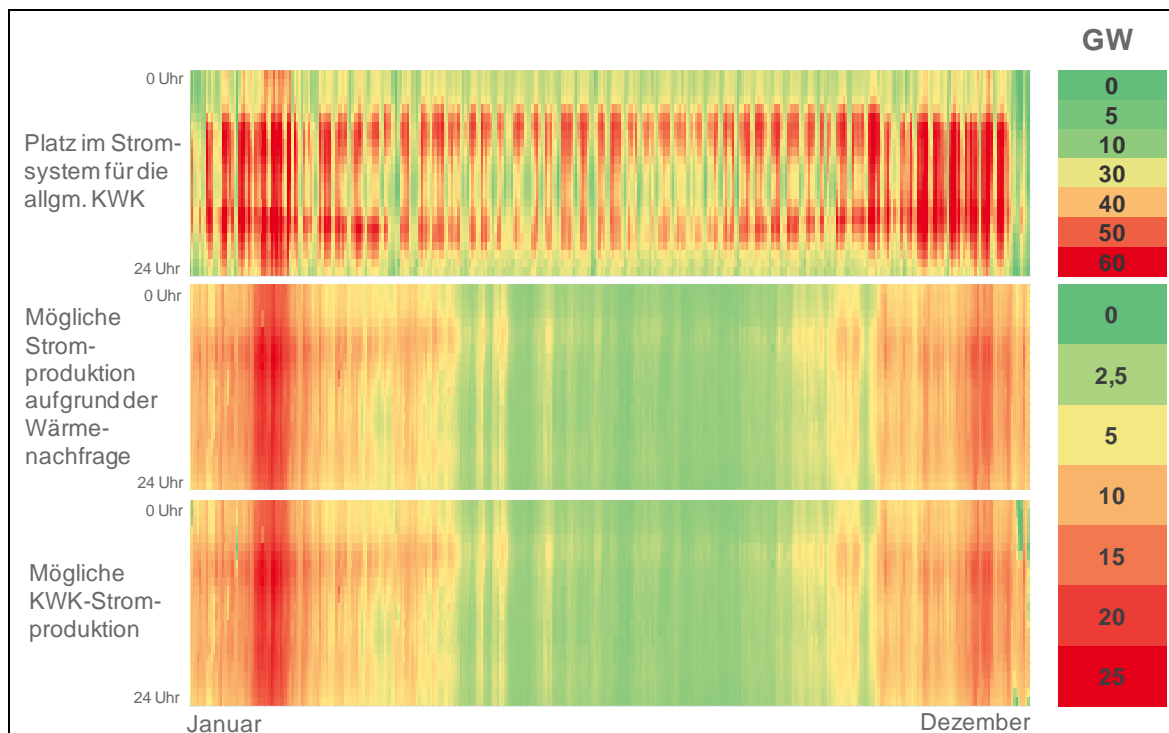
Innerhalb der Grafik sind die Ergebnisse dreier Berechnungen zusammenfassend dargestellt:

- Der „Platz im Stromsystem für die allgemeine KWK“ zeigt über alle Stunden des Jahres die noch notwendige Stromerzeugung im Stromsystem nach Abzug der nicht geregelten erneuerbaren Energien sowie der notwendigen Systemdienstleistungen. Sie stellt die stromseitigen Möglichkeiten/ Begrenzungen der KWK-Stromproduktion dar. Rote Bereiche kennzeichnen Zeiten mit einem hohen Potenzial.
- Die „Mögliche Stromproduktion der KWK aufgrund der Wärmenachfrage“ gibt Auskunft über die wärmeseitige Begrenzung der KWK Stromproduktion. Ein geringer Wärmebedarf (grüne Bereiche), beispielsweise in den Sommermonaten, beschränkt das KWK-Stromerzeugungspotenzial, ein hoher Wärmebedarf (rot) hingegen erhöht es.
- Die „Mögliche KWK-Stromproduktion“ zeigt das Ergebnis der Verbindung dieser beiden Möglichkeiten/ Begrenzungen. Wenn keine Wärmespeicher vorhanden sind, wird die KWK-Stromerzeugung in jeder Stunde jeweils vom kleineren Wert der Wärme- und Stromseite bestimmt.

Abbildung 32 verdeutlicht, dass in fast allen Stunden des Jahres 2012 eine Nutzung der KWK-Stromerzeugung möglich gewesen wäre. Nur in wenigen kalten und windreichen Nachtstunden im

Dezember wäre eine Drosselung der KWK-Erzeugung aufgrund der Situation im Stromsystem notwendig gewesen.

Abbildung 32: Stromerzeugungspotenzial der KWK 2012

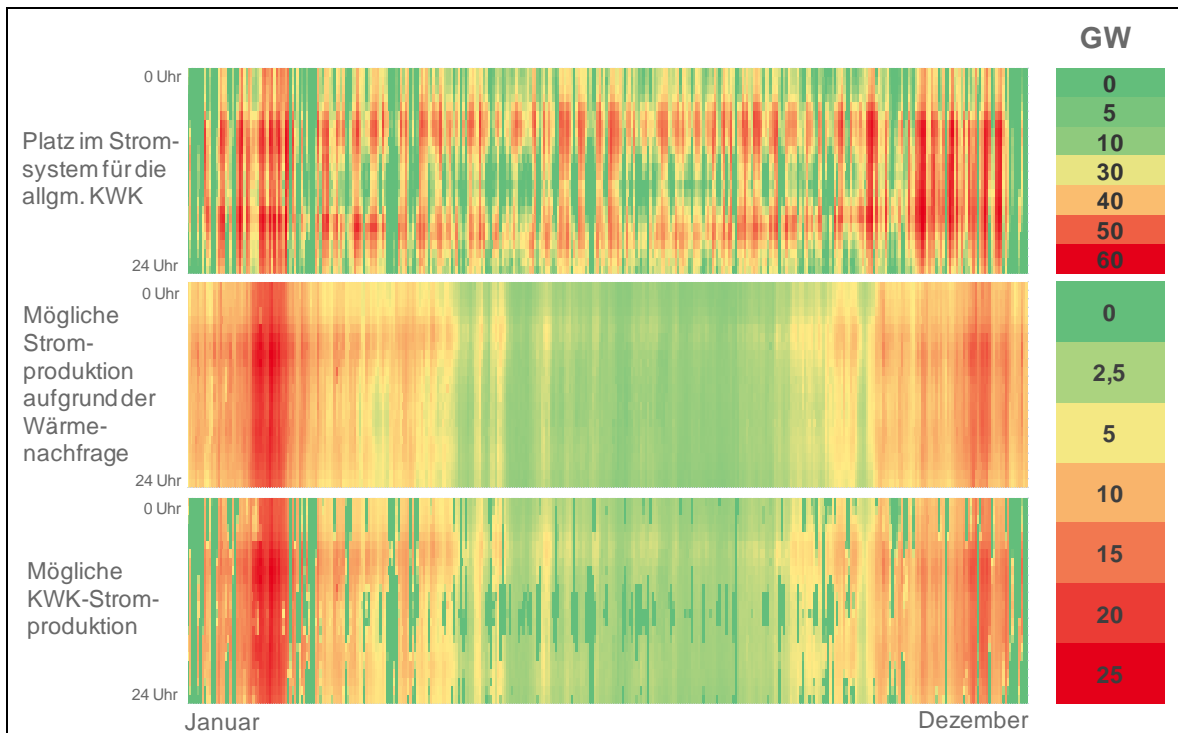


Quelle: Prognos 2013

(2) Der Ausbau der erneuerbaren Energien wird diese Situation nachhaltig verändern (vgl. Abbildung 33). Bereits vor dem dargestellten Jahr 2030 werden zunehmend Situationen auftreten, in denen KWK-Anlagen zwar aufgrund der bestehenden Wärmenachfrage betrieben werden sollten, die erneuerbaren Energien aber bereits so große Anteile der Stromnachfrage decken, dass die KWK ohne eine Verdrängung der regenerativen Erzeugung nicht zum Einsatz kommen kann. In diesen Situationen, die beispielsweise im Januar und Dezember erkennbar sind, müsste die Wärmenachfrage dann aus Wärmespeichern oder als Frischwärme aus Spitzenkesseln bereitgestellt werden oder durch die Nutzung von „überschüssigem“ Strom aus erneuerbaren Energien, sofern dieser vorhanden ist.

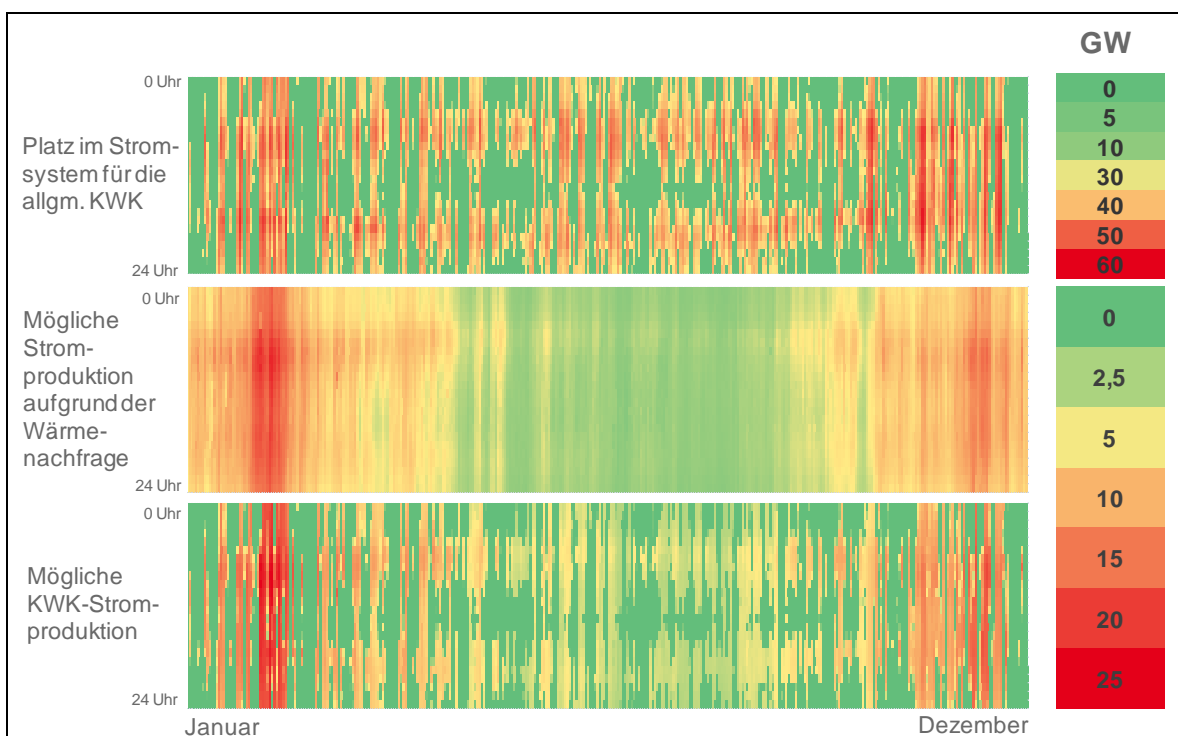
Die langfristige Perspektive für das Jahr 2050 zeigt Abbildung 34. Die bereits für 2030 erkennbaren Beschränkungen der KWK verschärfen sich durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien. Ohne den Einsatz von Wärmespeichern, mit dem die KWK flexibler auf den Strommarkt reagieren kann, würde sich die Einsatzzeit der KWK drastisch reduzieren. Ein immer größerer Wärmeanteil des KWK-Systems müsste über ungekoppelt erzeugte Spitzenwärme bereitgestellt werden.

Abbildung 33: Stromerzeugungspotenzial der KWK 2030
(mittleres Wärmeszenario)



Quelle: Prognos 2013

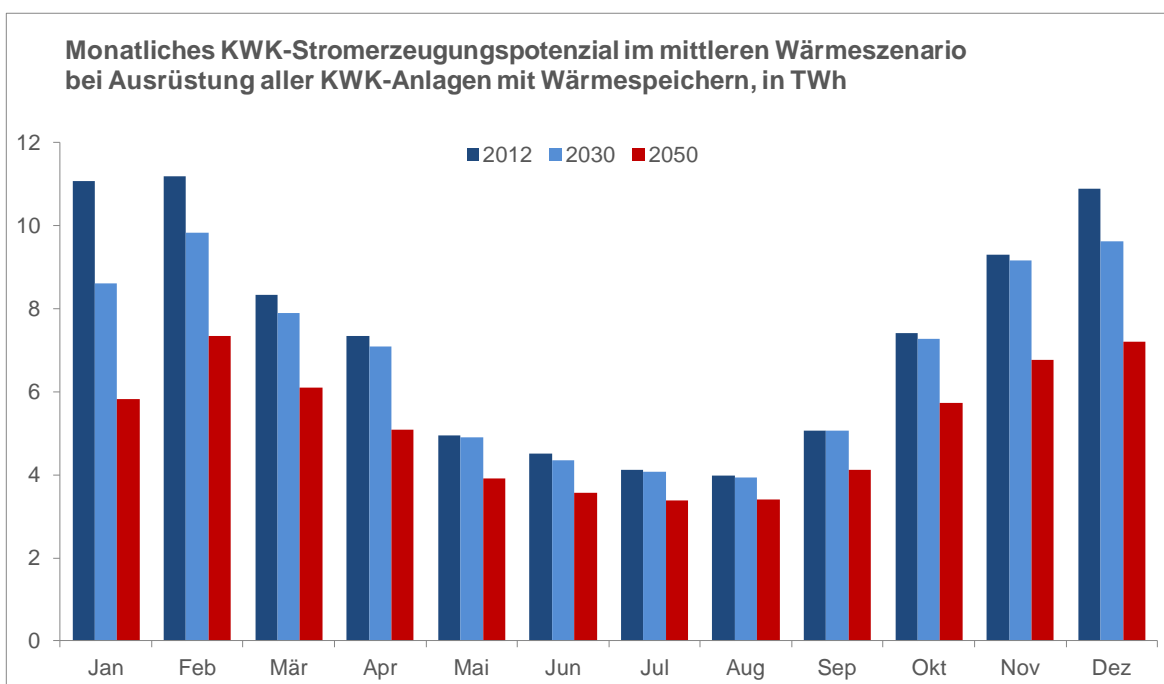
Abbildung 34: Stromerzeugungspotenzial der KWK 2050
(mittleres Wärmeszenario)



Quelle: Prognos 2013

(3) Im Vergleich zu heute wird der Einsatz der KWK insbesondere in den Wintermonaten durch die Einspeisung der erneuerbaren Energien eingeschränkt werden (vgl. Abbildung 35). Die Abdeckung der Wärmegrundlast im Sommer und in der Übergangszeit ist weniger stark betroffen. Aufgrund der geringeren Wärmenachfrage in diesen Zeiten ist die zugehörige KWK-Stromerzeugung auch relativ niedrig und lässt sich noch in relativ vielen Stunden gut ins Stromsystem integrieren. In sehr kalten Phasen mit einer hohen potenziellen KWK-Stromerzeugung konkurrieren die KWK-Anlagen häufiger um die noch verbleibende notwendige Stromerzeugung. Bei einer relativ geringen Wärmenachfrage können die Wärmespeicher zudem den Einsatz der KWK-Anlagen über längere Phasen verschieben als im Winter und die Einschränkungen aus dem Stromsystem besser überbrücken.

Abbildung 35: Monatliches KWK-Stromerzeugungspotenzial in den Jahren 2012, 2030 und 2050 (mittleres Wärmeszenario, Anlagen mit Wärmespeichern)

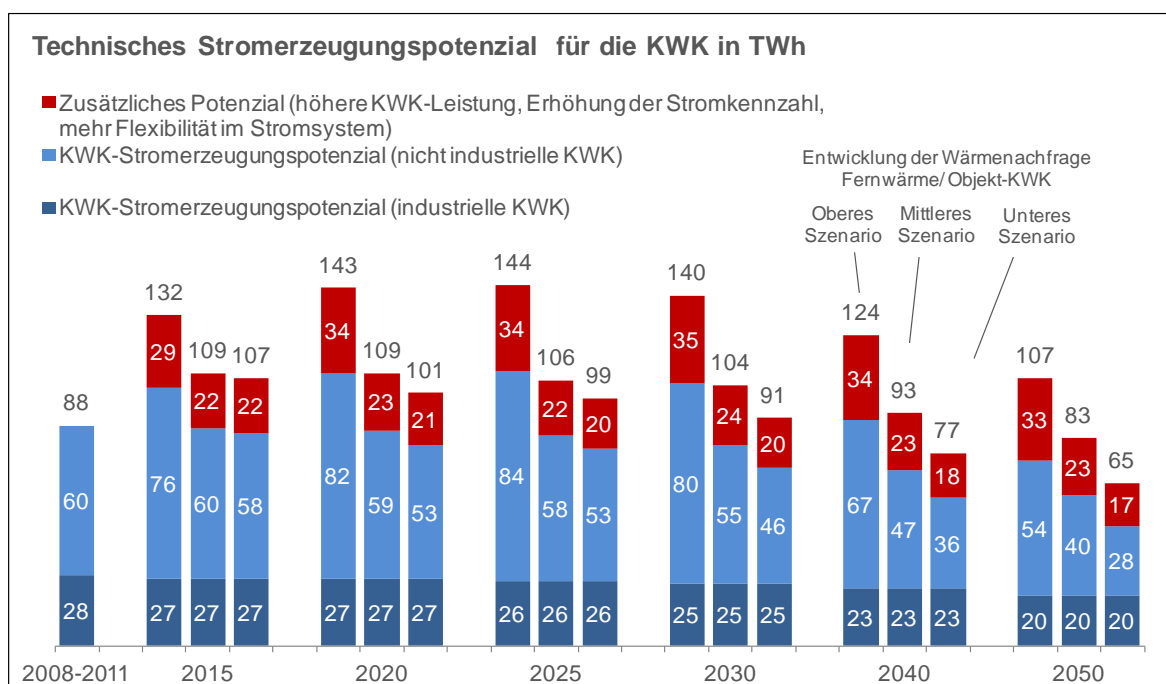


Quelle: Prognos 2013

(4) Je stärker das Fernwärmesystem und die Objekt-KWK ausgebaut werden, desto höher ist das technische KWK-Stromerzeugungspotenzial. Im sehr ambitionierten oberen Wärmeszenario kann die KWK insbesondere im Zeitraum bis 2030 sehr hohe Erzeugungsmengen erreichen. Danach sinkt das Potenzial durch die fortschreitende Gebäudedämmung sowie die größer werdenden Restriktionen im Stromsystem. Dennoch ist in diesem Szenario sogar im Jahr 2050 eine mit maximal 107 TWh höhere KWK-Stromerzeugung als heute möglich (vgl. Abbildung 36).

Voraussetzung dafür ist jedoch die Erschließung des stromseitigen KWK-Potenzials durch eine höhere Flexibilität im Stromsystem insgesamt sowie durch einen erneuerten und ausgebauten KWK-Anlagenpark. Wenn der Wärmeabsatz des KWK-Systems nicht in diesem Umfang gesteigert werden kann und der Entwicklung des mittleren Wärmeszenarios folgt, kann sich die KWK-Stromerzeugung langfristig in etwa auf dem heutigen Niveau behaupten. Im ungünstigsten Fall, wenn der Ausbau der Wärmenetze sowie der Objekt-KWK stagniert und im Stromsystem keine zusätzliche Flexibilität erschlossen werden kann, ginge das KWK-Stromerzeugungspotenzial von heute etwa 88 TWh auf 71TWh (2030) bzw. 48 TWh (2050) zurück.

Abbildung 36: Stromerzeugungspotenziale der KWK in den Szenarien

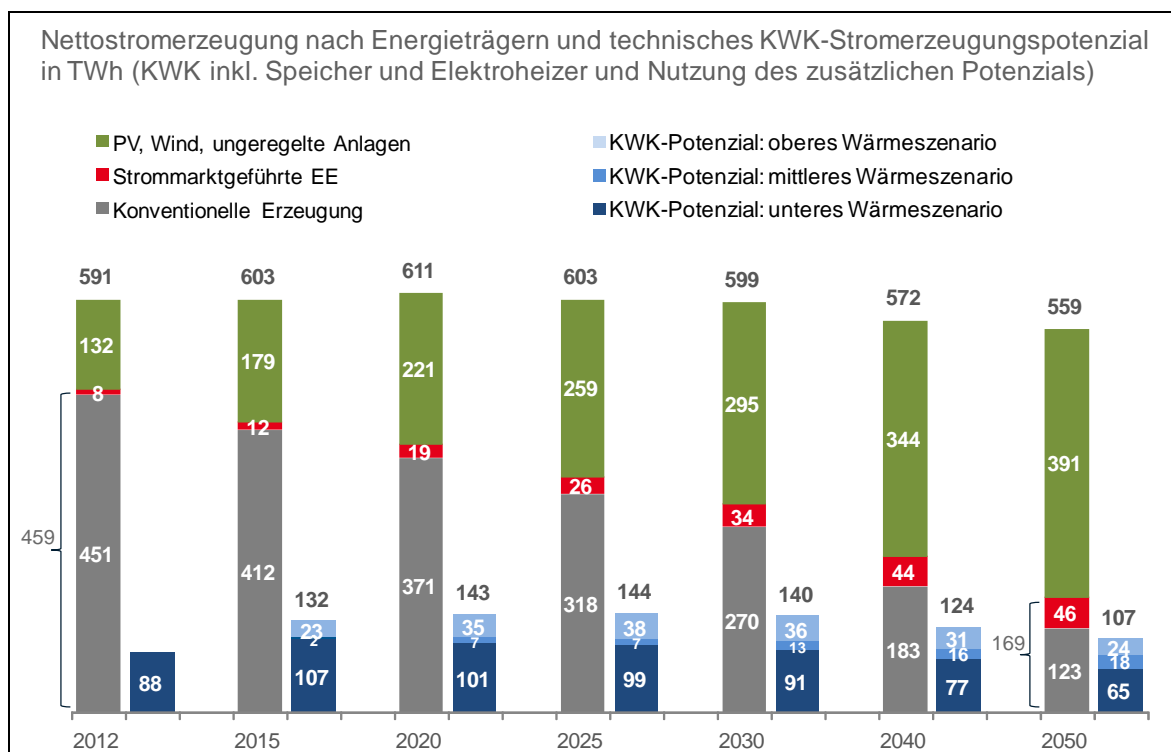


Quelle: Prognos 2013

(5) Im Jahr 2012 betrug der Anteil der KWK-Stromerzeugung (88 TWh) an der gesamten Nettostromerzeugung in Deutschland (603 TWh) etwa 16 %.

Bezogen auf die Nettostromerzeugung aus regelbaren Anlagen, zu denen neben den konventionellen Anlagen auch die strommarktgeführten erneuerbaren Anlagen zählen (471 TWh), beträgt der KWK-Anteil heute etwa 19 % (vgl. Abbildung 37).

Abbildung 37: Nettostromerzeugung nach Energieträgern und technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial in TWh (KWK inkl. Speicher und Elektroheizer und Nutzung des zusätzlichen Potenzials)



Quelle: Prognos 2013

Wenn es gelingt, das technische KWK-Potenzial auszuschöpfen, ist es mittel- und langfristig möglich, die Anteile der KWK an der regelbaren Erzeugung zu steigern. Im Jahr 2030 kann die KWK, je nach Entwicklung der KWK-Wärmenachfrage zwischen 30 % und 46 % der regelbaren Erzeugung bereitstellen. Bis zum Jahr 2050 kann dieser Anteil sogar auf 38 % bis 63 % gesteigert werden.

Tabelle 14: Anteile der KWK-Stromerzeugung (technisches Potenzial an der regelbaren Stromerzeugung)

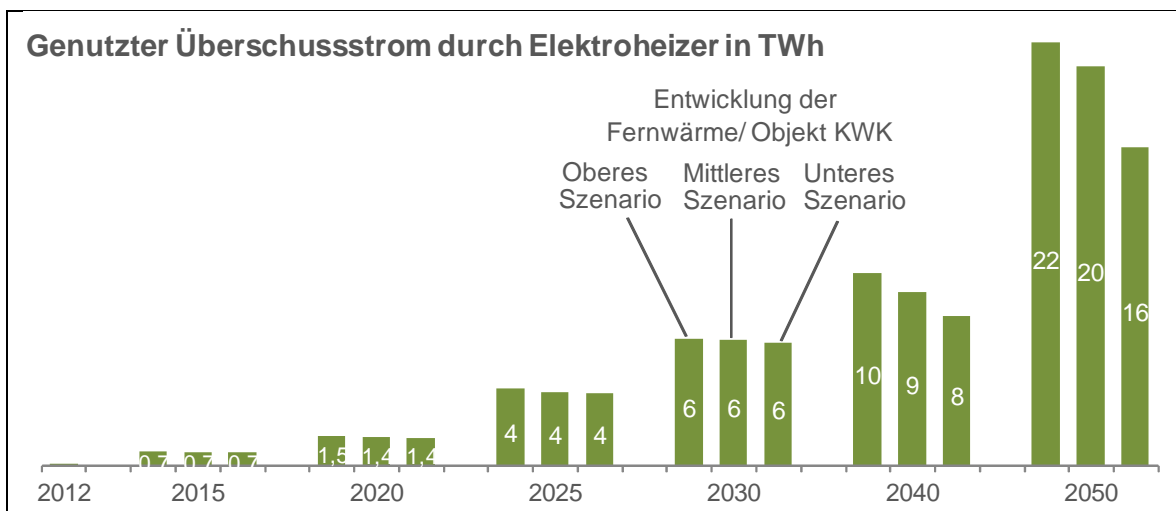
	2012	2015	2020	2025	2030	2040	2050
KWK-Anlagen mit Wärmespeichern und Elektroheizern und Nutzung des zusätzlichen Potenzials							
Oberes Wärmeszenario	19 %	31 %	37 %	42 %	46 %	55 %	63 %
Mittleres Wärmeszenario	19 %	26 %	28 %	31 %	34 %	40 %	49 %
Unteres Wärmeszenario	19 %	25 %	26 %	28 %	30 %	33 %	38 %

Quelle: Prognos 2013

5.2 Potenziale der KWK in der Nutzung überschüssigen EE-Stroms

(1) Durch den starken Ausbau von Photovoltaik und Windkraft werden mittel- bis langfristig zeitweise Erzeugungsüberschüsse aus erneuerbaren Energien im Stromsystem insgesamt auftreten. Wie in Kapitel 4.4 gezeigt, bieten Wärmespeicher eine sinnvolle, kostengünstige und relativ einfach umzusetzende Möglichkeit zur Nutzung dieses Stroms. Die folgende Abbildung 38 zeigt die Strommengen aus EE-Überschussstrom im Gesamtsystem, die im KWK-System thermisch genutzt werden könnten.

Abbildung 38: Potenzial zur Nutzung überschüssigen EE-Stroms zur Wärmebereitstellung des KWK-Systems



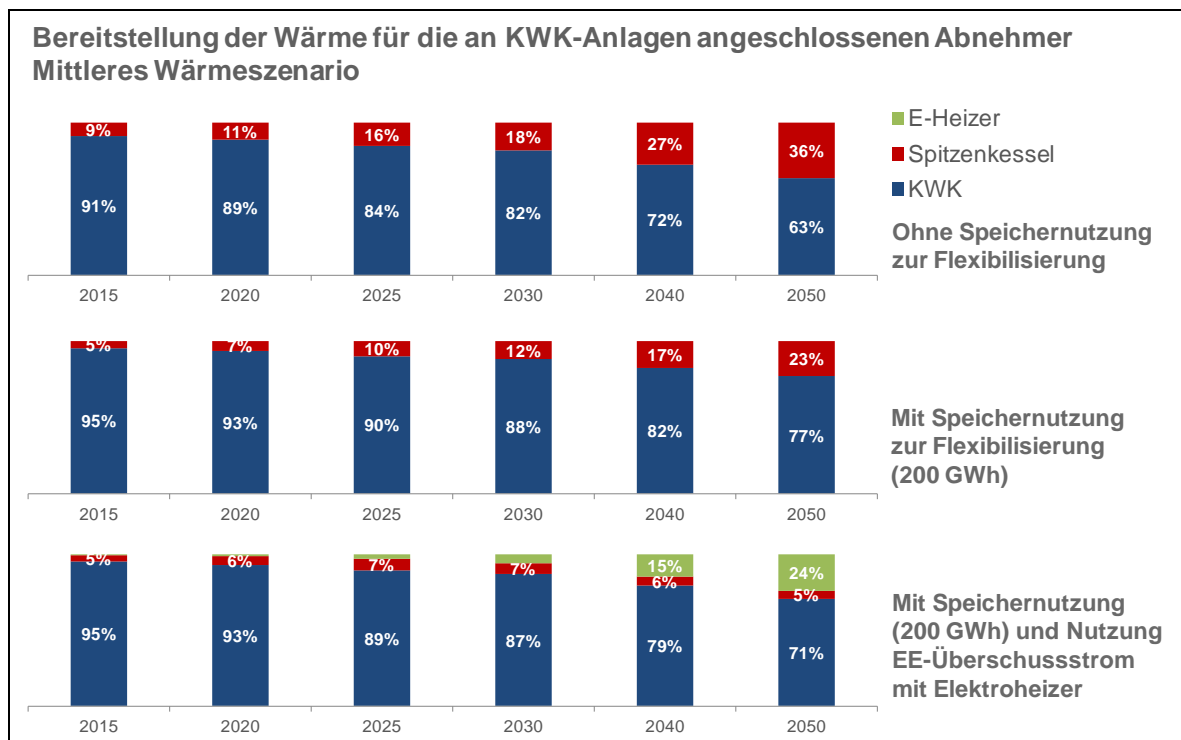
Quelle: Prognos 2013

(2) Wenn – wie heute bereits zu beobachten – auch in Zukunft regionale Netzengpässe innerhalb von Deutschland auftreten, können die im KWK-System nutzbaren Überschussmengen auch höher ausfallen. Beeinflusst wird die nutzbare Menge darüber hinaus auch von der Entwicklung der alternativen Speichersysteme.

5.3 Wärmeerzeugung durch das KWK-System

(1) Wie in Kapitel 5.1 gezeigt, müsste in Zukunft ohne den Einsatz von Wärmespeichern für die Wärmebereitstellung der Kunden verstärkt auf Frischwärme aus Spitzenkesseln zurückgegriffen werden. Im Jahr 2030 könnten im mittleren Wärmebedarfsszenario nur noch 82 % des Wärmebedarfs der an die KWK angeschlossenen Wärmeabnehmer gekoppelt erzeugt werden. Bis 2050 würde dieser Anteil sogar bis auf 63 % sinken (vgl. Abbildung 39).

Abbildung 39: Einfluss von Wärmespeichern und Elektroheizern auf die Wärmebereitstellung



Quelle: Prognos 2013

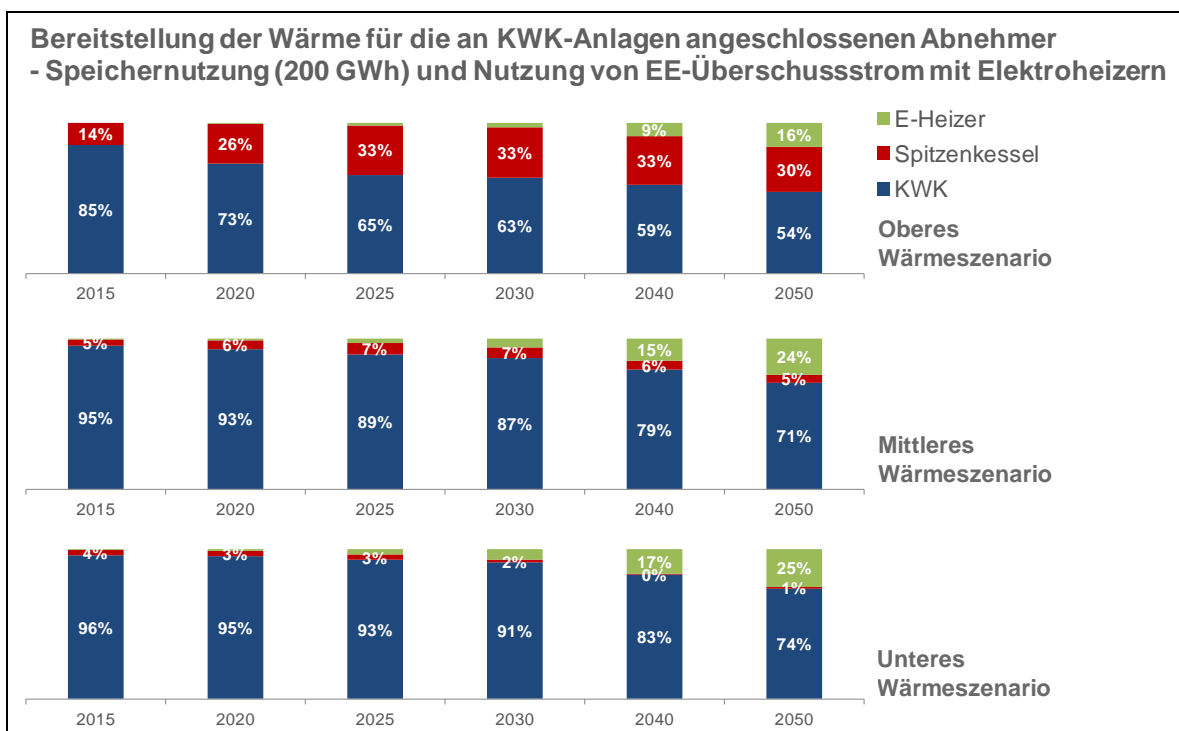
Durch den flächendeckenden Einsatz von Wärmespeichern könnte das KWK-System flexibler agieren und einen wesentlich höheren Anteil der notwendigen Wärme gekoppelt erzeugen. Mit Wärmespeichern könnten im Jahr 2030 immerhin noch 88 %, im Jahr 2050 dann noch 77 % des Wärmebedarfs der an die KWK angeschlossenen Wärmeabnehmer in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden.

Die Nutzung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien durch in den Wärmespeichern installierte Elektroheizern wirkt insgesamt positiv auf das Wärmesystem. Die Wärme aus Überschussstrom verdrängt hauptsächlich die sonst in Spitzenkesseln ungekoppelt erzeugte Frischwärme. Der Grund hierfür ist, dass

insbesondere in Zeiten hoher erneuerbarer Stromeinspeisung die KWK-Anlagen nicht produzieren können und den Wärmebedarf aus Spitzenkesseln decken müssten.

(2) Die folgende Abbildung 40 zeigt auf, dass eine sehr hohe Wärmebereitstellung aus dem KWK-System (oberes Wärmeszenario) auch unter Einsatz von Wärmespeichern und Elektroheizern insbesondere kurz- bis mittelfristig zu einem steigenden Frischwärmebedarf aus ungekoppelter Erzeugung führt. Langfristig reduziert sich der Frischwärmebedarf wieder durch die steigende Nutzung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien. Im unteren Wärmeszenario reduziert sich der Frischwärmebedarf gegenüber dem mittleren Szenario hingegen nochmals geringfügig.

Abbildung 40: Einfluss des KWK-Wärmebedarfsszenarios auf die Wärmebereitstellung



Quelle: Prognos 2013

5.4 CO₂-Einsparungen durch die KWK

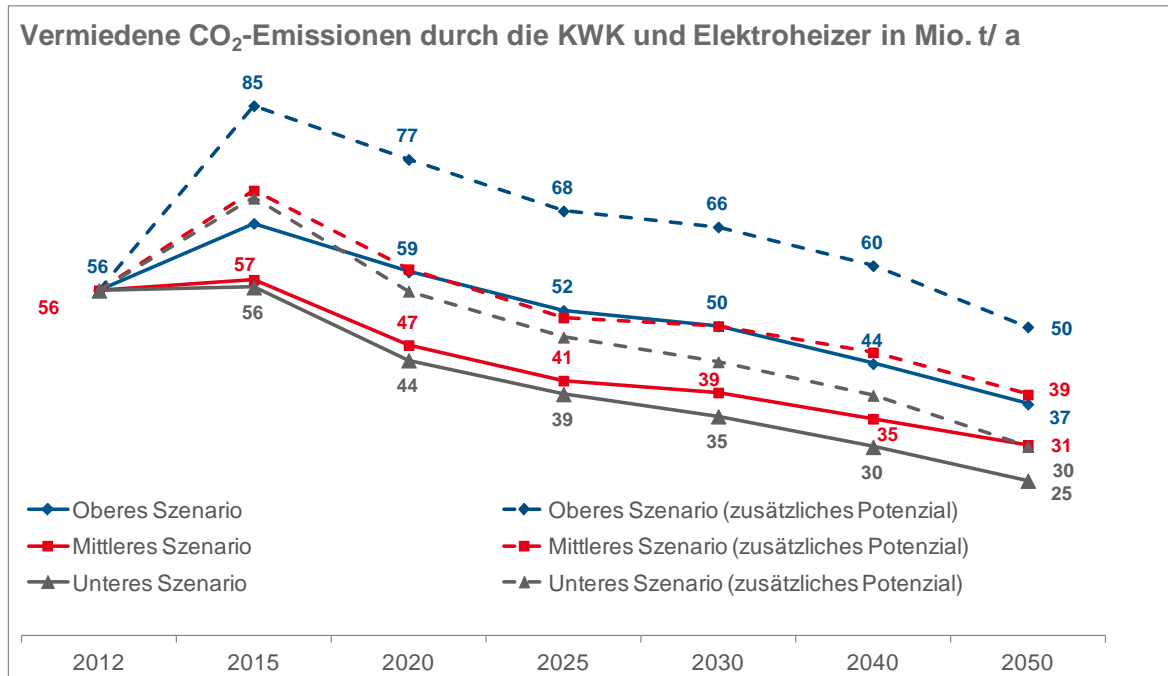
(1) Im **Ausgangsjahr** 2012 betrug die CO₂-Einsparung durch die gekoppelte Erzeugung der KWK-Anlagen gegenüber der ungekoppelten Referenzerzeugung rund **56 Mio. Tonnen** (vgl. Kapitel 4.6). Abbildung 41 stellt die Potenziale zur Emissionsvermeidung für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 in den drei Wärmeszenarien dar. Ebenfalls ausgewiesen werden die Potenziale, die sich in der Sensitivität „Ausschöpfung des zusätzlichen KWK-Potenzials auf der Stromseite“ ergeben (gestrichelte Linien). In allen Szenarien wurde die Unterstützung der Wärmebereitstellung des KWK-Systems durch die Nutzung des aus erneuerbaren Energien erzeugten Überschussstroms in einem Elektroheizer berücksichtigt, mit dem Wärme ohne Emissionen erzeugt wird.

Im oberen Wärmeszenario ist bei Nutzung des zusätzlichen Potenzials die CO₂-Vermeidung über den gesamten Zeitraum am höchsten. Kurzfristig ließen sich so im Jahr 2015 mit 85 Mio. Tonnen gegenüber dem Ausgangsjahr zusätzliche 29 Mio. Tonnen CO₂ vermeiden. Um dieses Potenzial auszuschöpfen, wäre allerdings ein weitreichender und kostenintensiver Ausbau der Wärmnetze notwendig. Im mittleren Wärmeszenario können bei Ausschöpfung des zusätzlichen Potentials im Vergleich zu heute kurzfristig noch zusätzliche Emissionen eingespart werden, langfristig geht das jährliche Einsparpotenzial auf ca. 39 Mio. Tonnen zurück. Im unteren Szenario ist die jährliche CO₂-Vermeidung wegen des gebremsten KWK-Ausbaus am geringsten, sie sinkt vom heutigen Niveau kontinuierlich auf 25 Mio. Tonnen im Jahr 2050.

(2) Die sich anschließende Abbildung 42 zeigt die jeweiligen CO₂-Gesamtemissionen der gekoppelten Erzeugung bis 2050 für die drei Wärmeszenarien. Auch hier werden zusätzlich die Ergebnisse der Sensitivität „Ausschöpfung des zusätzlichen KWK-Potenzials auf der Stromseite“ mit dargestellt (gestrichelte Linien). Der für die Berechnungen hinterlegte Brennstoffmix, der langfristig von Gas dominiert wird, findet sich im Kapitel 4.6 in Tabelle 11.

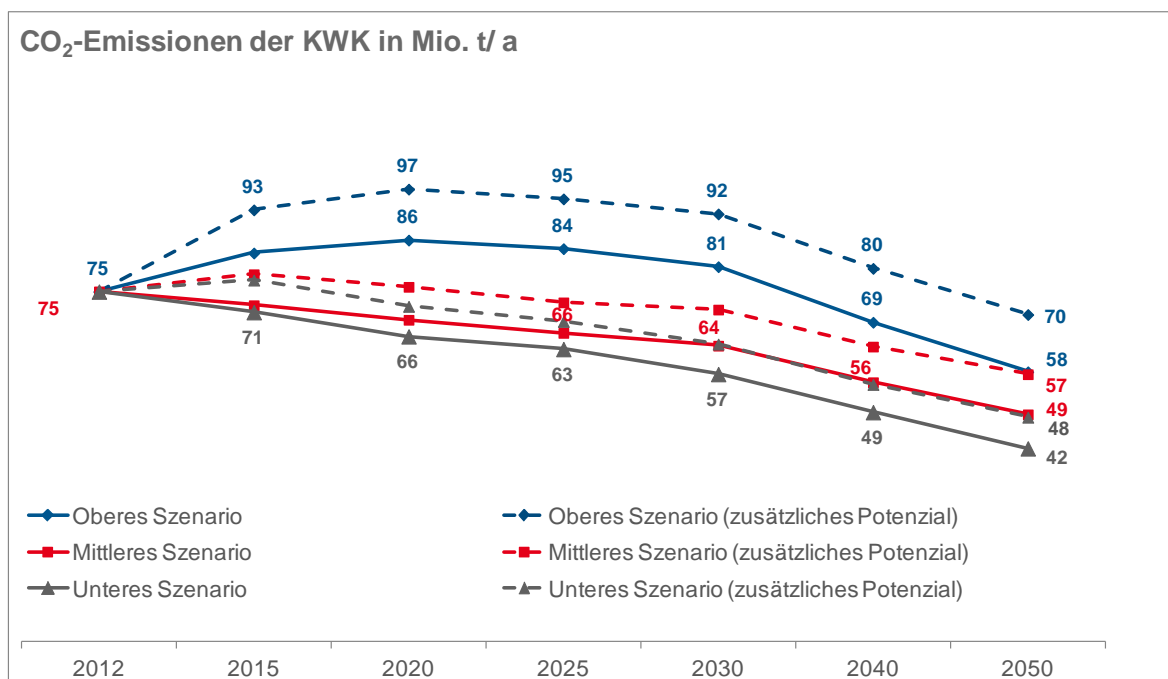
Naturgemäß liegen die Emissionen bei einer hohen Strom- und Wärmeerzeugung über denen einer niedrigen Erzeugung. Im oberen Wärmeszenario mit „zusätzlichem Potenzial“ betragen die CO₂-Emissionen im Jahr 2050 rund 70 Mio. Tonnen, im entsprechenden mittleren Wärmeszenario rund 57 Mio. Tonnen und im unteren Wärmeszenario rund 48 Mio. Tonnen.

Abbildung 41: Vermiedene CO₂-Emissionen durch die KWK, bei Ausschöpfung des technischen Potenzials in Mio. t (inkl. Nutzung des Überschussstroms)



Quelle: Prognos 2013

Abbildung 42: Absolute CO₂-Emissionen durch die KWK, bei Ausschöpfung des technischen Potenzials in Mio. t



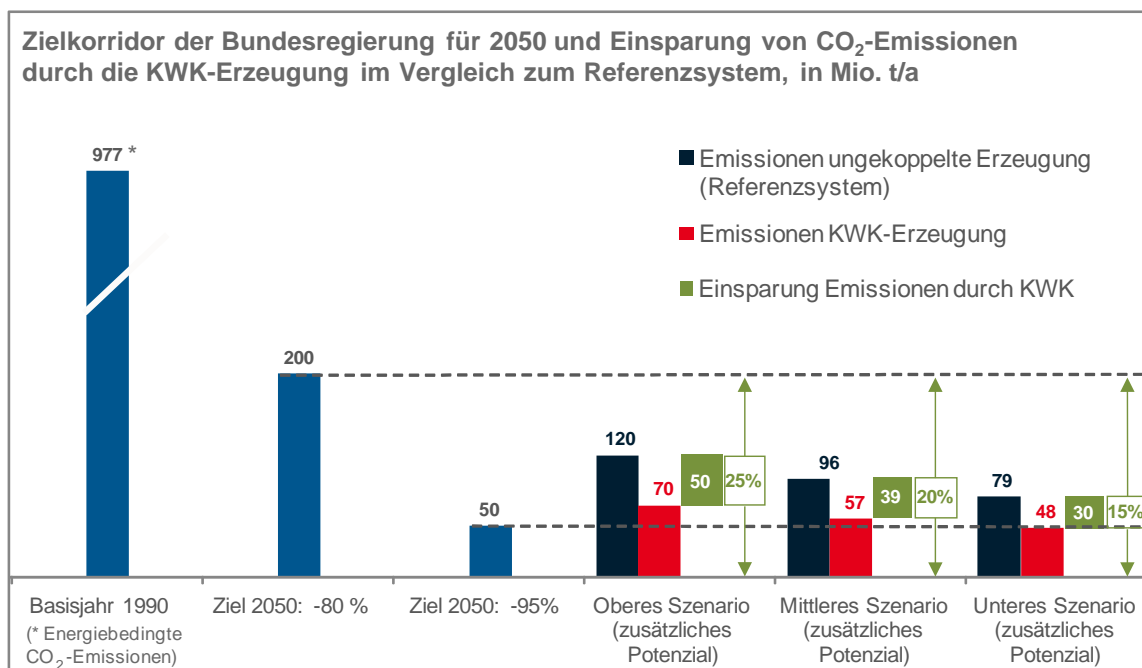
Quelle: Prognos 2013

(3) Das von der Politik formulierte Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % bis 2050 bedeutet bei einer Ausgangsemission von rund 1 Mrd. Tonnen CO₂ im Jahr 1990 für das Jahr 2050 eine Obergrenze von rund 50 bis 200 Mio. Tonnen. Diese CO₂-Emission gilt nicht allein für die Strom- und Wärmeerzeugung, sondern verteilt sich zusätzlich auf Kraftanwendungen und diffuse Emissionen in den Sektoren Verkehr, Industrie und Landwirtschaft.

Im Referenzsystem für die ungekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung ergäben sich für die Strom- und Wärmemengen der untersuchten Szenarien mit Ausschöpfung des zusätzlichen Potentials im oberen Wärmeszenario CO₂-Emissionen von 120 Mio. Tonnen, im mittleren 96 Mio. Tonnen und im unteren 79 Mio. Tonnen (vgl. Abbildung 43). Somit eröffnet die gekoppelte Erzeugung Spielräume für weitere Emissionsreduktionen oder sie reduziert teure Reduktionsmaßnahmen in den anderen Sektoren.

Bei Ausschöpfung der zusätzlichen Potenziale beträgt die mögliche CO₂-Einsparung durch KWK-Systeme im oberen Wärmeszenario mit 50 Mio. t ein Viertel der von der Bundesregierung angestrebten Maximalemission des Jahres 2050 (Ziel: -80 % bis -95%). Im mittleren und unteren Wärmeszenario sind es immer noch knapp 20 % bzw. 15 %. Gelingt es im KWK-System langfristig, zusätzliche CO₂-neutrale Energiequellen zu nutzen, könnten die CO₂-Einsparungen sogar noch deutlich höher liegen.

Abbildung 43: Gegenüberstellung der Emissionen eines ungekoppelten Referenzsystems mit denen des KWK-Systems



Quelle: Prognos 2013

Wärmegeführte KWK

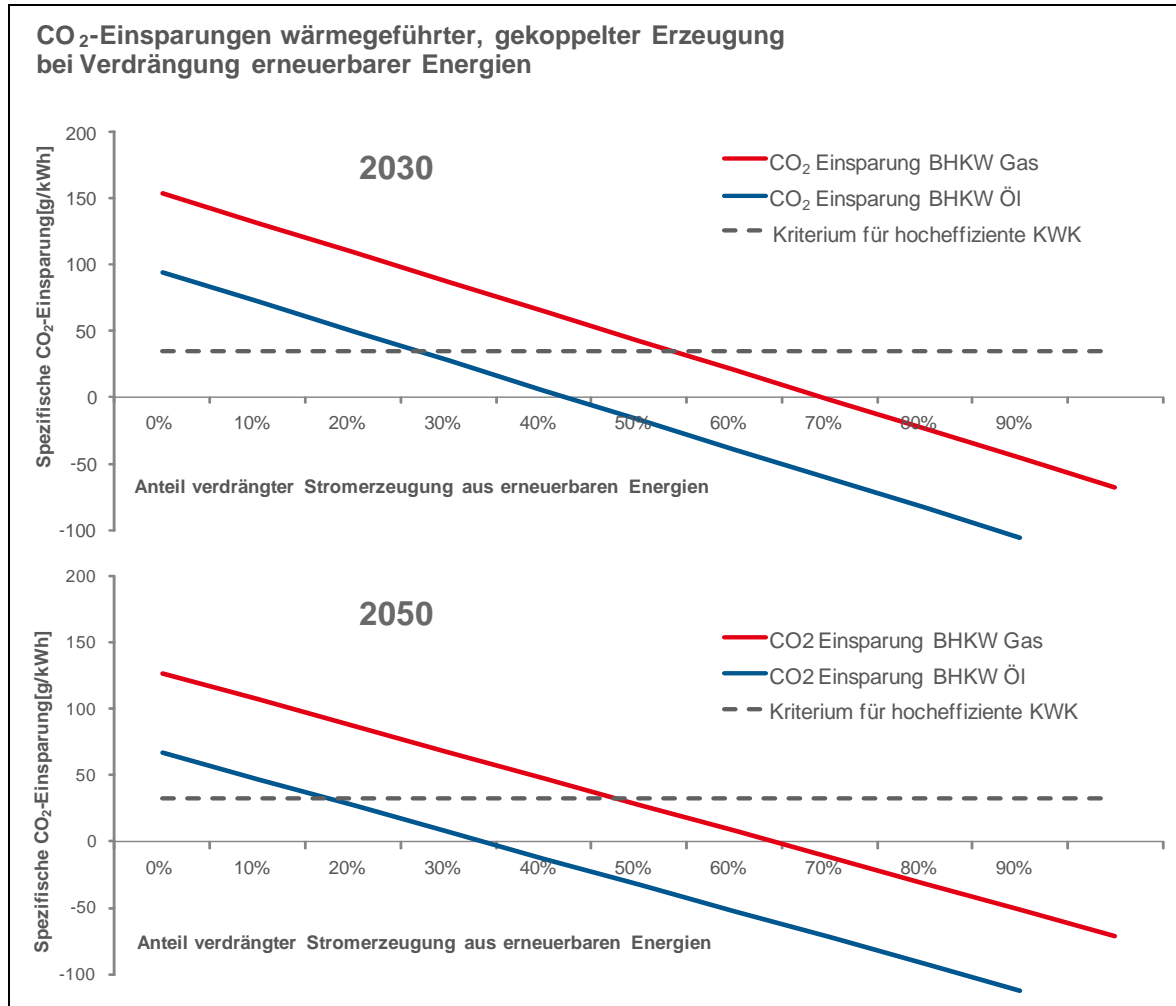
KWK-Anlagen, die nicht strommarktgeführt gefahren werden, können langfristig ihre Emissionsvorteile aus der gekoppelten Erzeugung gegenüber dem Referenzsystem verlieren. Der Auslöser hierfür ist die Verdrängung einer zu großen Menge emissionsfrei erzeugten Stroms. Bei Betrachtung der Gesamtemissionen wäre es bei einer vollständigen Bedarfsdeckung durch emissionsfrei erzeugten Strom sinnvoll, in dieser Zeit keinen KWK-Strom einzuspeisen. Voraussetzung für eine stromgeführte Steuerung der KWK ist, dass die entsprechenden Signale vom Strommarkt die KWK-Anlage erreichen und sie entsprechend reagieren kann. Dies ist nur durch einen kostentreibenden Einbau von Speichern und zusätzlicher Regelungstechnik möglich. Ziel dieses Untersuchungsschritts ist, zu ermitteln, ab welchem Anteil verdrängten EE-Stroms durch die KWK sich im Gesamtsystem höhere Emissionen einstellen als bei einer ungekoppelten Erzeugung der gleichen Menge Strom und Wärme.

Die folgende Abbildung 44 stellt das Ergebnis dieses Vergleichs für die Jahre 2030 und 2050 dar. Betrachtet werden die spezifischen Emissionen eines Öl- und eines Gas-BHKWs. Mit Heizöl betriebene BHKW büßen demnach im Jahr 2030 bei einem verdrängten Anteil erneuerbarer Energien von rund 40 % ihren Emissionsvorteil ein, Gas-BHKW erst bei einem Anteil von rund 70 %.

Durch den weiteren Ausbau der emissionsfreien Stromerzeugung und die Verbesserung der Vergleichssysteme sinken diese maximal zulässigen Anteile bis zum Jahr 2050 für Öl-BHKW auf rund 35 % und für Gas-BHKW auf rund 65 %.

Betrachtet man für beide BHKW das Kriterium für hocheffiziente KWK liegen die maximal zulässigen Verdrängungsanteile im Jahr 2030 bei rund 25 % (Öl) bzw. rund 55 % (Gas). Sie sinken bis 2050 für Öl-BHKW auf rund 18 % und für Gas-BHKW auf 50 %.

Abbildung 44: Spezifische Emissionsvermeidung der BHKW bei Verdrängung von Strom aus erneuerbaren Energien in den Jahren 2030 und 2050

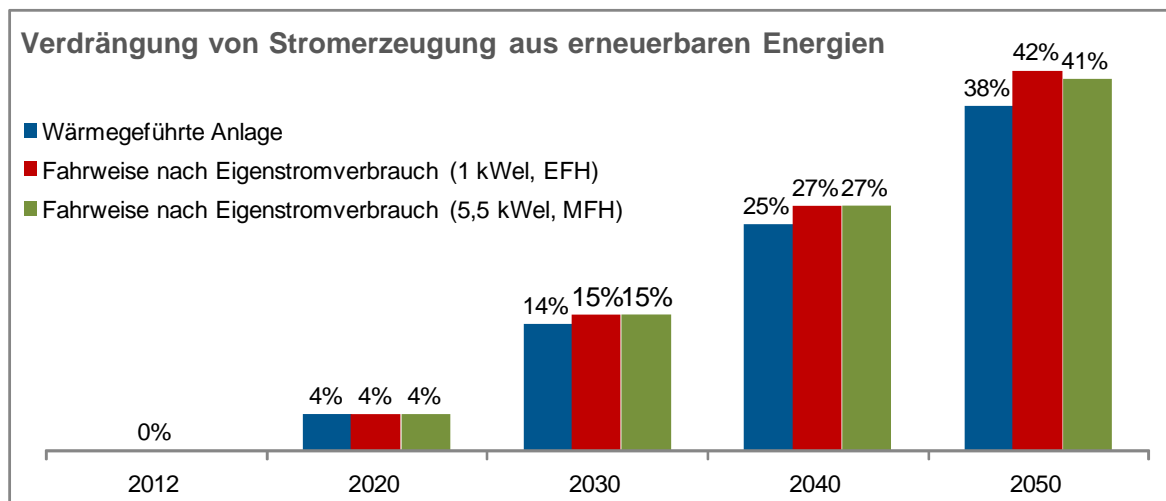


Quelle: Prognos 2013

Diesen Grenzkriterien für die BHKW-Typen werden im nächsten Schritt die zu erwartenden Verdrängungsanteile für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gegenübergestellt. Auf den Betrieb der Anlage haben die unterschiedlichen Brennstoffe der BHKW keinen Einfluss. Die Modellierung ergibt das in der folgenden Abbildung 45 dargestellte Ergebnis: Bis zum Jahr 2030 unterschreiten beide BHKW unabhängig von der Fahrweise und Größe der Anlage die höchstzulässigen Anteile bei der Verdrängung von Strom aus erneuerbaren Energien deutlich und erfüllen die Kriterien für die hocheffiziente KWK.

Nach 2030 ergibt sich ein differenziertes Bild. Während das Gas-BHKW auch langfristig Emissionen einspart und die Kriterien für hocheffiziente KWK erfüllt, treten bei der mit Öl befeuerten Anlage höhere Emissionen auf als bei einer getrennten Erzeugung von Strom und Wärme im Vergleichssystem.

Abbildung 45: Verdrängung von Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien durch nicht strommarktgeführte KWK-Anlagen



Quelle: Prognos 2013

Aus diesem Ergebnis lässt sich bei einer unterstellten Lebensdauer der BHKW von 15 bis 20 Jahren ableiten, dass heute noch kein dringender Handlungsbedarf besteht, diese Anlagen auf eine stromgeführte Fahrweise auszurichten. Es ist vielmehr abzuwägen, ob die zusätzlichen Kosten für eine entsprechende Ausrüstung der Anlagen zur Erreichung der maximalen CO₂-Einsparpotenziale heute über eine spezielle Förderung aufgefangen werden sollen oder nicht. Langfristig muss sich der Ausbau in diesem Segment entweder auf BHKW mit emissionsarmen Brennstoffen oder auf stromgeführte Anlagen konzentrieren.

5.5 Fazit

(1) Auch in einem zunehmend von fluktuierenden erneuerbaren Energien geprägten Stromsystem besteht langfristig ein großes Potenzial für die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme.

Allerdings muss sich die KWK an die geänderten Rahmenbedingungen, die eine hohe Flexibilität erfordern, anpassen und ihre Fahrweise so weit wie möglich am Strommarkt ausrichten. Dies führt dazu, dass sich die KWK und die erneuerbaren Energien im Stromsystem langfristig optimal ergänzen.

(2) Das technische **KWK-Stromerzeugungspotenzial** beträgt, – je nach Szenario –

- im Jahr 2030 zwischen 71 TWh und 140 TWh und
- im Jahr 2050 zwischen 48 TWh und 107 TWh.

unter der Prämisse, die Stromerzeugung der fluktuierenden erneuerbaren Energien nicht zu verdrängen.

(3) In allen untersuchten Szenarien wird die KWK auch künftig in erheblichem Umfang zur **Minderung der CO₂-Emissionen** beitragen. Das Ziel der Bundesregierung ist, die CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2050 um 80 % bis 95 % gegenüber 1990 zu verringern. Für 2050 bedeutet dies eine angestrebte Maximal-emission von rund 200 Mio. Tonnen CO₂ (-80 %). Bei einer vollständigen Ausschöpfung der ermittelten Potenziale beträgt die Einsparung der KWK-Systeme gegenüber einer ungekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme

- im Jahr 2030 zwischen 35 Mio. t und 66 Mio. t CO₂ und
- im Jahr 2050 zwischen 25 und 50 Mio. t CO₂.

Im Jahr 2050 könnten KWK-Systeme demnach allein durch die Verdrängung der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung bis zu 25 % der angestrebten Maximal-emission einsparen.

Diese Einsparungen berücksichtigen auch die **Nutzung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien**. Durch den Einsatz von Elektroheizern können hiervon größere Mengen genutzt werden:

- im Jahr 2030 rund 6 TWh,
- im Jahr 2050 zwischen 16 TWh und 22 TWh.

(4) Unbedingte Voraussetzung für eine Erschließung der KWK-Potenziale ist die flächendeckende Nutzung von Wärmespeichern an den KWK-Standorten, mit denen die KWK flexibel auf eine immer stärker fluktuierende Residuallast reagieren kann und auch den Wärmebedarf ihrer Abnehmer bedarfsgerecht bereitstellt.

(5) Ein Effekt des Ausbaus der erneuerbaren Energien ist, dass langfristig immer häufiger mehr elektrische Energie erzeugt wird als zum jeweiligen Zeitpunkt im Stromsystem benötigt wird oder vom Stromnetz aufgenommen werden kann. Die Menge dieses Überschussstroms steigt langfristig deutlich.

Darüber hinaus wird der Ausbau der erneuerbaren Energien dazu führen, dass langfristig ein abnehmender Anteil der Wärmebereitstellung des KWK-Systems gekoppelt erzeugt werden kann. Je höher die Wärmebereitstellung des KWK-Systems langfristig sein wird, desto höher fällt auch der Bedarf an ungekoppelt erzeugter Frischwärme aus.

Hier bieten KWK-Systeme eine Perspektive zur Nutzung dieses Überschussstroms, mit der gleichzeitig der Frischwärmebedarf der KWK reduziert werden kann. Das KWK-System kann mit dem Einbau von Elektroheizern in die Wärmespeicher Überschussstrom in den Zeiten sinnvoll nutzen, in denen die KWK-Anlage ohnehin nicht am Netz ist. Dies bietet für das Gesamtsystem deutliche Vorteile: Die Stromnetze werden durch die in der Fläche vorhandenen KWK-Anlagen entlastet, Der Überschussstrom kann genutzt werden und die ohnehin emissionsarme KWK-Wärme wird noch ressourcenschonender bereitgestellt.

Flexible KWK-Systeme verbinden auch zukünftig den Strom- und Wärmemarkt und erreichen damit Effizienz und die Integration erneuerbarer Energien.

6 Handlungsempfehlungen zur langfristigen Sicherung der KWK in Deutschland

6.1 Ausblick zur möglichen Entwicklung der europäischen Strommärkte

(1) Wie in Kapitel 2.5 dargestellt, steht ein Großteil der konventionellen Stromerzeugung in Deutschland durch den Merit-Order-Effekt des Ausbaus der erneuerbaren Energien vor wirtschaftlichen Problemen. Große Kraftwerke erwirtschaften heute den Großteil ihrer Erlöse in der Regel am Strommarkt (Energy-Only-Markt), also aus dem Stromverkauf. Hinzu kommen Erlöse aus dem Regelleistungsmarkt, in dem Kraftwerke Leistung für den kurzfristigen Ausgleich der Abweichungen zwischen Strombedarf und Stromerzeugung vermarkten. Niedrige Strompreise beeinträchtigen den Betrieb der bestehenden Kraftwerke und verhindern derzeit notwendige Investitionen in Kraftwerksneubauten.

(2) Ohne eine Verbesserung der Erlössituation droht kurz- bis mittelfristig die Stilllegung vieler unrentabler Kraftwerke. Planungen für den Neubau von Kraftwerken werden zurückgestellt oder vollständig aufgegeben. Dies könnte dazu führen, dass die installierte Leistung des Kraftwerksbestands in einigen Jahren nicht mehr ausreicht, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Bereits heute nimmt die Bundesnetzagentur Kraftwerke unter Vertrag, deren Außerbetriebnahme von den Betreibern angekündigt wurde, um insbesondere in den verbrauchsstarken Wintermonaten regionale Lastspitzen abdecken zu können.

Zukünftig wird durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien auch ihr preissenkender Effekt auf der Großhandelsebene für Strom weiter zunehmen. Die Stromkosten der Endverbraucher steigen dennoch aufgrund der Kostenumlage des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Stromnetze auf die Endverbraucherpreise weiter.

(3) Das Problem der Unterfinanzierung von am Strommarkt agierenden Kraftwerken ist allgemein anerkannt, allerdings ist heute noch unklar, ob die Politik kurz- oder mittelfristig Maßnahmen ergreifen wird, die finanzielle Situation der Anlagenbetreiber zu verbessern. In der Diskussion stehen derzeit verschiedene Konzepte, die unterschiedliche Eingriffstiefen in den Strommarkt insgesamt mit sich bringen. Sie reichen von einer Fortführung des bisherigen Systems über die Einführung so genannter Kapazitätsmärkte, bei denen Anlagenbetreiber die Bereitstellung von Kraftwerkskapazität zusätzlich vergütet bekommen, bis hin zu einer tiefgreifenden Regulierung der Stromerzeugung, in der die bisher verfolgte Liberalisierung der Strommärkte weitgehend aufgegeben wird.

(4) Ziel dieser Untersuchung ist nicht, die Vor- und Nachteile der einzelnen **Optionen zur Weiterentwicklung der Strommärkte** insgesamt gegeneinander abzuwägen und das für Deutschland und Europa sinnvollste System zu ermitteln. Diese Untersuchung legt ihren Fokus vielmehr auf die Auswirkungen und Möglichkeiten für die Bestandssicherung und Weiterentwicklung der KWK, die aus diesen grundsätzlichen Konzepten resultieren. Die Konzepte lassen sich grob einteilen in:

- **Weiterführung des bisherigen Systems** mit Energy-Only-Markt
- **Ergänzung** des Energy-Only-Markts durch **Kapazitätsmärkte**
- **Tiefgreifende Regulierung** des Marktes

(5) Bei einer **Weiterführung des bisherigen Systems** ändert sich an der problematischen Erlössituation der Kraftwerke zunächst wenig. Die niedrigen Strompreise haben zur Folge, dass in den nächsten Jahren eine Marktberreinigung eintreten wird, bei der unrentable Kraftwerke stillgelegt werden. Mittelfristig besteht die Gefahr, dass durch die Marktberreinigung der Kraftwerksbestand stark zurückgeht und die Versorgungssicherheit bei hohem Strombedarf insgesamt oder regional nicht mehr gewährleistet werden kann. In der Phase der Marktberreinigung kann die Unterfinanzierung ohne ein Eingreifen der Politik auch zu Stilllegungen von KWK-Anlagen führen. Die derzeit praktizierte Sicherung von Kraftwerkskapazität durch die Bundesnetzagentur ist für große KWK-Anlagen keine tragfähige Alternative, da diese Reserve nur in Spitzenzeiten eingesetzt werden darf und somit den Bedarf an KWK-Wärme nicht decken kann.

Die knapper werdende Kraftwerkskapazität führt mittel- bis langfristig zu einem Anstieg der Preise am Großhandelsmarkt, da auch die teuren Kraftwerke, die bei einem Kapazitätsüberschuss nicht oder nur sehr selten eingesetzt werden, zur Stromerzeugung benötigt werden und häufiger preisbestimmend werden. In diesem Marktumfeld werden Investitionen in neue Kraftwerke mit dem Anstieg der Strompreise mittel- bis langfristig wieder attraktiv. Der Schwerpunkt dieser Investitionen wird allerdings voraussichtlich auf einfacher und deshalb kostengünstiger Anlagentechnik, wie beispielsweise Gasturbinen liegen, die nur für geringe Einsatzzeiten konzipiert sind. Von diesem Marktumfeld gehen für einen Neubau großer KWK-Anlagen insbesondere bei einem dauerhaft niedrigen Preisniveau für CO₂-Zertifikate ohne politische Unterstützung keine Impulse aus. Auch die langfristige Erhaltung des Bestands ist nicht gesichert.

(6) Da die Weiterführung des bestehenden Systems Gefahren für die Versorgungssicherheit birgt, steht derzeit die Einrichtung von **Kapazitätsmärkten** unterschiedlicher Ausprägung im Zentrum der Diskussion. Mit der Einrichtung von Kapazitätsmärkten soll für die Kraftwerksbetreiber eine zusätzliche Einnahmequelle zum Ausgleich fehlender Erlöse aus dem Energy-Only-Markt (EOM) geschaffen werden. Vergütet wird in einem Kapazitätsmarkt nicht die von den Kraftwerken geleistete Arbeit (Stromerzeugung) sondern ihre gesicherte Bereitstellung von Erzeugungsleistung. Kapazitätsmärkte sollen sicherstellen, dass immer ausreichend Kraftwerkskapazität zur Deckung der Lastspitzen zur Verfügung steht. Die Auswahl der Teilnehmer am Kapazitätsmarkt liegt in den Händen einer übergeordneten Stelle (Behörde, Regulator, Netzbetreiber etc.) und erfolgt in einem marktbasieren Verfahren in der Regel über Ausschreibungen. Kapazitätsmärkte können je nach Zielgruppe unterschiedlich ausgestaltet werden:

- **Aufbau einer strategischen Reserve:**
Zur Zielgruppe gehören unrentable Bestandsanlagen. Von einer Stilllegung bedrohte funktionstüchtige Altanlagen werden in die strategische Reserve überführt und nehmen nicht mehr am EOM teil. Sie werden nur bei Bedarf in Notsituationen (extreme Knappheit wegen hohen Bedarfs) eingesetzt. Alle anderen Kraftwerke agieren weiter am EOM und erzielen dort ihre Erlöse.
- **Selektiver Kapazitätsmarkt:**
Die Zielgruppe kann entsprechend den jeweiligen Erfordernissen ausgewählt werden. Es werden Kriterien für die Teilnahme am Kapazitätsmarkt festgelegt. Teilnehmende Kraftwerke erzielen den Großteil ihrer Erlöse weiterhin am EOM, ihr Einsatz entscheidet sich anhand der Grenzkosten.
- **Umfassender Kapazitätsmarkt:**
Zielgruppe sind sämtliche Kraftwerke und sonstige Maßnahmen zur Bereitstellung von Erzeugungskapazität oder zur kurzfristigen Reduzierung des Strombedarfs (Flexibilitäten). Auch hier erzielen Kraftwerke den Großteil ihrer Erlöse weiterhin am EOM, ihr Einsatz entscheidet sich ebenfalls anhand ihrer Grenzkosten.

(7) Der Aufbau einer **strategischen Reserve** wird in Deutschland vor allem als schnell umsetzbare Übergangslösung zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit diskutiert. Für die strategische Reserve nimmt eine übergeordnete Stelle Kraftwerke, die im EOM nicht mehr wirtschaftlich betreibbar sind und stillgelegt werden sollen, als Reservekapazitäten unter Vertrag und sichert so den Bestand an Kraftwerkskapazität.

Die Kraftwerke der strategischen Reserve nehmen nicht mehr am EOM teil. Die hiermit verbundene Knappheit von Kapazität am EOM führt, ähnlich wie eine Beibehaltung des jetzigen Systems, tendenziell zu höheren Strompreisen. Auch die Wirkung auf den Bestand und den Neubau von großen KWK-Anlagen sind ähnlich. Die Teilnahme an der strategischen Reserve ist zur Bestandserhaltung der KWK kein sinnvolles Instrument. KWK-Anlagen werden auch für die Wärmeversorgung benötigt, eine Aufgabe, die sie bei den geringen Einsatzzeiten in der strategischen Reserve nicht erfüllen können. Von der Einrichtung einer strategischen Reserve gehen deshalb für den Neubau großer KWK-Anlagen insgesamt keine Impulse aus. Auch die langfristige Erhaltung des Bestands ist in diesem Marktumfeld nicht gesichert.

(8) **Selektive Kapazitätsmärkte** beschränken die Teilnahme auf bestimmte Kraftwerkstypen, weitere Kriterien (z. B. Neubau, regionale Differenzierung etc.) können aufgestellt werden. Generell sollte nicht nur der Neubau von Kraftwerken sondern auch der Bestand zum Teilnehmerkreis gehören, da sonst die Gefahr erhöhter Stilllegungen besteht, mit denen die Ziele des Kapazitätsmarktes konterkariert werden. Aktuell in der Diskussion ist in Deutschland der „fokussierte Kapazitätsmarkt“ (Matthes et al. 2012 für den WWF) mit einer Aufteilung in zwei Marktsegmente für stilllegungsbedrohte Kraftwerke und für Neubaukraftwerke. Selektive Kapazitätsmärkte erfordern im Gegensatz zur strategischen Reserve für ihre Einführung eine mehrjährige Vorlaufzeit.

Prinzipiell möglich ist eine Fokussierung des selektiven Kapazitätsmarktes auf den Ausbau der KWK. Werden als Ziele des selektiven Kapazitätsmarktes neben der Leistungsabsicherung auch der Ausbau der KWK verfolgt, könnten die Kriterien darauf ausgerichtet werden. Dann wären explizite Ausschreibungen für den Neubau oder den Bestand von KWK-Anlagen möglich. In die gleiche Richtung ginge die Festlegung von Ausschreibungskriterien hinsichtlich niedriger CO₂-Emissionen und eine von den KWK-Anlagen mit Wärmespeicher und E-Heizer erreichbare Flexibilität der Anlagen. In einem selektiven Kapazitätsmarkt wäre das Problem der Abgrenzung der KWK-Scheibe der Anlagen zu lösen.

Der überwiegende Teil der Erlöse der Kraftwerke stammt bei der Einrichtung eines selektiven Kapazitätsmarktes weiterhin aus dem Energy-Only-Markt, wenngleich die Strompreise im Großhandel niedriger liegen werden als bei der Einrichtung einer strategischen Reserve. Bei einer entsprechenden Ausgestaltung des selektiven Kapazitätsmarktes, der sich auf KWK-Anlagen konzentriert, könnte er langfristig einen Gesamtkraftwerkspark hervorbringen, in dem KWK-Anlagen die gewünschte Stellung in der Merit-Order direkt hinter den nicht regelbaren Erneuerbaren Wind und Photovoltaik allein aufgrund ihrer Effizienzvorteile einnehmen. Ohne eine

Fokussierung auf die KWK-Spezifika in den Kapazitätsausschreibungen steht der Neubau und die Bestandssicherung von KWK-Anlagen mit ihren aufgrund der effizienten Anlagentechnik höheren spezifischen Anlagenkosten in einer ungünstigen Wettbewerbsposition gegenüber technisch anspruchsloseren und deshalb kostengünstigeren Kraftwerken, wie beispielsweise Gasturbinen.

Einschränkend zu den Vorteilen eines selektiven Kapazitätsmarktes für den Ausbau der KWK ist anzumerken, dass der selektive Kapazitätsmarkt an sich hohe Risiken für den Kraftwerksbestand insgesamt in sich birgt. Die Förderung von Teilsegmenten führt dazu, dass es bei den nicht geförderten Segmenten zu einem verstärkten Kapazitätsabbau kommt und der Gesamteffekt für die angestrebte Sicherung von Kraftwerksleistung voraussichtlich negativ ausfällt. Ein Beispiel hierfür bietet Spanien, das seinen zunächst auf den Neubau ausgerichteten selektiven Kapazitätsmarkt aufgrund der Marktentwicklung auf Bestandsanlagen erweitert hat.

(9) Charakteristisch für einen **umfassenden Kapazitätsmarkt** sind eine lange Vorlaufzeit in der Planung, ein hoher regulatorischer Aufwand und ein tiefer Eingriff in den Markt. Alle Kraftwerke (Bestand und Neubau) und sonstige Maßnahmen zur Bereitstellung von Erzeugungskapazität oder zur kurzfristigen Reduzierung des Strombedarfs (Flexibilitäten) erhalten eine einheitliche, in der Auktion ermittelte Kapazitätzahlung. In der Regel wird der Erhalt von Bestandsanlagen stark bevorzugt, da ihre Investitionskosten in der Regel bereits getilgt sind und sie deshalb die Kapazität zu geringeren Kosten anbieten können.

KWK-Anlagen werden in einem umfassenden Kapazitätsmarkt nicht spezifisch gefördert und stehen in den Ausschreibungen wie bei den nicht auf die KWK fokussierten selektiven Kapazitätsmärkten in Konkurrenz mit anderen Anlagentypen, die Kapazität zu geringeren Kosten anbieten können. Mit einem umfassenden Kapazitätsmarkt allein wird nicht gesichert, dass KWK-Anlagen wirtschaftlich und bevorzugt eingesetzt werden können. Zwar verbessert sich die Erlössituation der KWK-Anlagen, von diesem Marktumfeld gehen für einen Neubau großer KWK-Anlagen jedoch kaum Impulse aus. Auch eine bevorzugte Erhaltung des Bestands ist nicht gesichert.

(10) Scheitern die dargestellten marktbasieren Verfahren zur Bestandssicherung und Weiterentwicklung des Kraftwerksparks, könnte als letztes Mittel zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit eine Abkehr vom liberalisierten Strommarkt vollzogen werden. Die Einführung eines **regulierten Strommarkts** widerspricht vor dem Hintergrund des angestrebten Binnenmarktes für

Strom den europäischen Leitlinien zur Liberalisierung der Energiemärkte und wäre nur im europäischen Kontext denkbar.

Kennzeichen eines stark regulierten Marktes ist die Einflussnahme eines Regulierers sowohl auf die Weiterentwicklung des Kraftwerksparks als auch teilweise auf die Stromerzeugung. Der Regulierer übernimmt dann den Erhalt von unwirtschaftlichen Kraftwerken, stellt den notwendigen Neubau über Kapazitätsausschreibungen sicher und steuert den Einsatz der unter seiner Kontrolle befindlichen Anlagen. Mit diesen tiefgreifenden Eingriffen in den Strommarkt kann und sollte der Regulierer sowohl beim Erhalt als auch beim Neubau von Kraftwerkskapazität und auch beim Anlageneinsatz der gekoppelten KWK-Stromerzeugung einen Vorrang einräumen.

Der Erhalt eines sinnvollen Anlagenbestands und die Finanzierung von Neuanlagen wären in diesem Marktumfeld über ein Cost-Plus-Verfahren (Kostenaufschlagmethode) möglich, das Anlagenbetreibern eine feste Rendite für ihre Anlage zusichert. Zur Begrenzung der Systemkosten ist in Cost-Plus-Verfahren eine Anreizregulierung sinnvoll, die Kosteneinsparpotenziale bei den Anlagenbetreibern aktiviert. Dennoch besteht insbesondere in der mehrjährigen Startphase eines regulierten Marktes die Gefahr großer Ineffizienz, da der Regulierer die notwendigen Kenntnisse zur Marktsteuerung erst intern aufbauen muss.

Ein Regulierer kann sicherstellen, dass KWK-Anlagen im gekoppelten Betrieb direkt nach den fluktuierenden erneuerbaren Energien eingesetzt werden, ihre stromseitigen Potenziale voll ausschöpfen und über das Cost-Plus-Verfahren wirtschaftlich betrieben werden.

Trotz denkbarer Vorteile für eine gezielte Ausschöpfung der ermittelten KWK-Potenziale erscheint der Aufbau eines stark regulierten Marktes nicht als sinnvolle Option, da er im Widerspruch zur in der EU angestrebten Energiemarktliberalisierung steht und darüber hinaus die Kostensenkungspotenziale rein marktbasierter Verfahren (Kapazitätsmärkte) nicht nutzt.

6.2 Kurzfristiger Handlungsbedarf

(1) Die Ergebnisse der Potenzialuntersuchungen haben gezeigt, dass eine flexible strommarktorientierte KWK gut geeignet ist, den Ausbau der erneuerbaren Energien zu begleiten und darüber hinaus in der Lage ist, auftretende Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energien regional in das Energiesystem zu integrieren. Dabei bietet sie gegenüber der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung auch langfristig deutliche Effizienzvorteile, die sich in der Einsparung von Primärenergieträgern und der Senkung der CO₂-Emissionen ausdrücken. Eine möglichst

weitgehende Nutzung dieser Potenziale ist deshalb energiewirtschaftlich und ökologisch sinnvoll.

Die Analyse der heutigen wirtschaftlichen Situation und der Chancen der KWK in den zukünftigen Strommärkten zeigt neben den Chancen aber auch die Probleme auf, die dieser Potenzialausschöpfung entgegenstehen.

(2) Die Politik ist deshalb zur Erreichung ihrer Ziele zum Ausbau der KWK in Deutschland aufgefordert, diese Probleme gemeinsam mit der Energiewirtschaft anzugehen und verlässliche Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine weitgehende Ausschöpfung der Potenziale ermöglichen. Damit die KWK auch langfristig als umweltfreundliche Erzeugungsoption zur Verfügung steht, sollten die Effizienzvorteile der KWK soweit notwendig durch Unterstützungsmaßnahmen gesichert werden. Die Ausschöpfung der technischen Potenziale kann nur erreicht werden, wenn die KWK auch wirtschaftlich eine Zukunft hat.

(3) Die Analyse der heutigen Situation der großen KWK-Anlagen, die am Strommarkt agieren (vgl. Kapitel 2.5) hat gezeigt, 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. Die derzeit diskutierte zeitweise Zurückhaltung von Emissionsrechten („backloading“) ist kein sinnvolles Mittel, den CO₂-Preis zu stabilisieren. Ein nachhaltiger Preiseffekt ist ausschließlich bei einer endgültigen Stilllegung von Zertifikaten zu erwarten. Ziel der Politik muss deshalb sein, diese Kürzung gemeinsam mit den europäischen Partnern – auch gegen den zu erwartenden Widerstand einiger Mitgliedsländer – durchzusetzen.

(4) Bei den für KWK-Strom erzielbaren **Strompreisen** öffnete sich in den letzten Jahren eine Schere zwischen den Preisen im Großhandel und den Endkundenpreisen. Dies betrifft die **Wirtschaftlichkeit** der einzelnen **Betreibermodelle** für die KWK in unterschiedlicher Weise (vgl. Kapitel 2.5). Eine wichtige Größe ist hier die in den letzten Jahren stark gestiegene **EEG-Umlage**. Positiv wirkt dieser Anstieg heute auf den Betrieb kleiner KWK-

Anlagen, die ihren Strom selbst nutzen, denn dieser Eigenverbrauch ist von der EEG-Umlage derzeit komplett befreit. Betreiber von KWK-Anlagen, die nicht für den Eigenverbrauch produzieren sondern ihren Strom vermarkten, sind nicht von der EEG-Umlage befreit und müssen diese Kosten bei ihrer Kalkulation berücksichtigen. Inwieweit diese Differenzierung sachlich gerechtfertigt ist und einer juristischen wie auch politischen Überprüfung standhält, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

Sicher ist jedoch, dass es ohne eine Stabilisierung des Anstiegs der EEG-Umlage einen noch stärkeren Trend zur Eigenerzeugung geben wird. Die derzeitige Befreiung des Eigenverbrauchs von der EEG-Umlage eröffnet wirtschaftliche Perspektiven für die kleine Objekt-KWK. Im Falle einer anteiligen EEG-Belastung des selbst genutzten Stroms ist sicherzustellen, dass der Ausbau der Objekt-KWK nicht gebremst wird. Darüber hinaus sind wettbewerbliche Verzerrungen zwischen unterschiedlichen Betreiber-Modellen und der Fernwärmelieferung abzubauen.

(5) Bei der für 2014 vorgesehenen **Überarbeitung des KWK-G** sind deshalb für die **kurzfristige Perspektive** des derzeitigen Fördersystems folgende Punkte zu beachten:

- Der Aufbau von Wärme- und Kältenetzen zur Stabilisierung bzw. Erhöhung des KWK-Absatzes sollte ebenso fortgeführt werden wie der zusätzliche Aufbau von Wärmespeichern, besonders bei großen KWK-Anlagen. Darüber hinaus sollte der Einbau von Elektroheizern für die thermische Nutzung des überschüssigen EE-Stroms in allen Speichern angereizt werden.

Der Ausbau der Speicher sollte auch langfristig wie bisher leistungsorientiert durch Zuschüsse angereizt werden. Dies gilt auch für die Unterstützung von Kleinanlagen der KWK-Objektversorgung, die ihre Fahrweise am Strommarkt ausrichten wollen.

Der Einbau von Elektroheizern könnte die finanzielle Situation der KWK-Anlagen durch die deutlich steigenden Chancen am Regelenergiemarkt nachhaltig verbessern.

Die Höhe der gewährten Zuschüsse ist dahingehend zu überprüfen, ob ausreichende Investitionsanreize gesetzt werden.

- Die Zuschlagssätze müssen überprüft und den Erfordernissen angepasst werden. Diese Anpassung muss auf die derzeitige Marktentwicklung reagieren und sollte differenziert nach verschiedenen Einsatzgebieten der KWK durchgeführt werden.

Die aktuelle Höhe der Zuschlagszahlungen für KWK-Anlagen ist unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen des Strommarktes für am Strommarkt agierende KWK-Anlagen nicht ausreichend, den gewünschten Neubau anzureizen.

Eine Wirtschaftlichkeit ist momentan in der Regel nur zu erreichen, wenn Strom überwiegend für den Eigenbedarf erzeugt wird, unabhängig von den Erfordernissen des Strommarkts. Die Mikro-KWK in Ein- und Zweifamilienhäusern erreicht die Wirtschaftlichkeit selbst dann nicht.

- Für den KWK-Bestand ist insbesondere für mit Gas befeuerte große KWK-Anlagen die Wirtschaftlichkeit heute nicht gegeben. Hier ist es zur Bestandserhaltung aus heutiger Sicht notwendig, auch den KWK-Kraftwerksbestand finanziell zu unterstützen.
- Eine zusätzliche Einführung leistungsbasierter Komponenten in der KWK-Förderung für große Anlagen erhöht die Planungssicherheit der Investoren in den derzeit unsicheren Strommärkten und fügt sich in die derzeit diskutierte Einrichtung von Kapazitätsmärkten ein.

Die Einsatzzeiten der stromgeführten Anlagen werden durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und die Nutzung des Überschussstroms aus erneuerbaren Energien zurückgehen. Gleiches gilt für die Erlöse bei einer Einspeisung ins Stromnetz. Konzentriert sich die Förderung allein auf die Stromerzeugung, werden KWK-Anlagen schlechter gestellt. Andererseits sichert gerade die Förderung der Stromerzeugung hohe Einsatzzeiten der KWK am Strommarkt, da diese Förderform die Grenzkosten der Anlagen senkt.

Als sinnvoller Schritt zur Sicherung der Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen und als Übergangslösung bis zur möglichen Einrichtung von Kapazitätsmärkten bietet sich vor diesem Hintergrund eine teilweise Umstellung der bisherigen Förderung der KWK-Arbeit auf ein leistungsorientiertes System an. In dieser Mischform, die eine zusätzliche Leistungskomponente aufnimmt, kann einerseits die Planungssicherheit der Investoren verbessert werden, andererseits wird eine hohe Einsatzzeit der KWK am Strommarkt erreicht.

- Zur Vermeidung einer Unter- bzw. Überförderung der einzelnen Anlagen sollte die Förderung entsprechend der Wirtschaftlichkeit der Anlagengrößen differenziert und nach festem Turnus aktualisiert werden.

Zur Gewährleistung von Planungssicherheit dürfen Änderungen des Fördersystems grundsätzlich nicht rückwirkend ausgerichtet sein. Bei der regelmäßigen Aktualisierung der Rahmenbedingungen ist zudem darauf zu

achten, dass mit Blick auf die mehrjährigen Projektlaufzeiten großer KWK-Anlagen ausreichende Vorlaufzeiten gegeben sein müssen, da ansonsten die durch die Zuschläge gesetzten Anreize durch Risikoaufschläge wieder verringert werden.

- Bewährte Instrumente, wie der Einspeisevorrang von KWK-Strom und eine Befreiung von der Erdgassteuer sollten beibehalten werden.
- Die Gleichbehandlung der Wärmebereitstellung von großen KWK-Anlagen, die am ETS teilnehmen, und von dezentralen Heizungssystemen, für die keine CO₂-Kosten entstehen, ist sicher zu stellen.

Kurzfristig kann dies über die kostenfreie Zuteilung von Zertifikaten für die Wärmebereitstellung oder brennstoffspezifische Aufschläge auf die Zuschlagszahlungen erfolgen.

(6) Der Einsatz von KWK-Wärme ist eine sinnvolle Alternative zur Erreichung von hohen Wärmedämmstandards oder zum Einsatz von erneuerbaren Energien im Zuge der Gebäudesanierung. Diese Alternative sollte gesetzlich stärker flankiert und abgesichert werden. Hierzu gehört auch, eine mögliche Benachteiligung der Fernwärme bei der Überführung der Energieeffizienzrichtlinie in deutsches Recht zu verhindern. Die Primärenergieeinsparungen der Fernwärme sind gleichberechtigt zu den Nutzungsgradverbesserungen eines Heizungsaustauschs zu behandeln. Darüber hinaus dürfen Modernisierungsmaßnahmen im Fernwärmesystem nicht anders als Heizungsmodernisierungen behandelt werden.

6.3 Mittelfristige Leitlinien

(1) Im kurzfristigen Handlungsbedarf wurden Maßnahmen aufgezeigt, die ihren Fokus auf CO₂-Preis, die Überprüfung des KWK-G und aktuell anstehende rechtliche Fragen richten.

Über diese kurzfristige Perspektive hinaus ist es wichtig, bereits heute Maßnahmen und Leitlinien zu definieren, die zur Ausschöpfung der KWK-Potenziale notwendig sind, deren Umsetzungszeitraum jedoch mittelfristig angelegt ist. Diese Maßnahmen bauen auf den kurzfristigen Handlungsempfehlungen auf oder dienen der Weiterentwicklung des KWK-Systems.

(2) Für die Erschließung der in dieser Studie ermittelten **CO₂-Einsparpotenziale** der KWK ist es in der **kurz bis mittelfristigen Perspektive** sinnvoll, möglichst alle KWK-Anlagen nicht mehr

nach dem Wärmebedarf sondern nach den Anforderungen des Strommarkts (stromgeführt) zu betreiben. So lässt sich sicher verhindern, dass die KWK die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien verdrängt. Zudem können bei einer stromgeführten Fahrweise der mit Speichern und Elektroheizern ausgerüsteten Anlagen die größten CO₂-Einsparungen erzielt werden.

(3) Für die Ausschöpfung der maximalen CO₂-Einsparungspotenziale ist eine konsequente Orientierung der KWK am Strommarkt notwendig, die einen Umbau des derzeitigen Fördersystems erfordert. Diese **Orientierung der KWK am Strommarkt** ließe sich durch folgende Maßnahmen erreichen:

- Der Aufbau von Wärmespeichern und Elektroheizern zur Flexibilisierung der Stromerzeugung sollte fortgeführt werden. Die Flexibilität der KWK ist eine Grundvoraussetzung für die Integration der erneuerbaren Energien in das Stromsystem.
- Um eine möglichst flexible Fahrweise der KWK-Anlagen anzureizen, sollten die KWK-Zuschläge und sonstigen Bewertungsmaßstäbe der KWK (Phelix Baseload etc.) entsprechend den stündlichen Strommarktanforderungen dynamisiert werden. In Zeiten mit niedrigen bzw. negativen Börsenpreisen sollte der KWK-Zuschlag niedrig oder null sein um eine mögliche Stromüberproduktion zu verhindern. In Zeiten mit hohen Börsenpreisen könnte hingegen ein erhöhter KWK-Zuschlag eine möglichst hohe Stromproduktion der KWK-Anlagen anreizen.

Die Rahmenbedingungen müssen zur Ausschöpfung der Potenziale so ausgestaltet werden, dass die gekoppelte Erzeugung in der Merit-Order direkt hinter der unregulierten Einspeisung aus den erneuerbaren Energien PV und Wind und vor allen anderen Stromerzeugungsanlagen steht.

Voraussetzung für eine stromgeführte Fahrweise der kleinen, am Eigenbedarf orientierten KWK-Anlagen ist, dass die Preisimpulse aus dem Strommarkt auch den Erzeuger erreichen.

- Der Erfolg dieser Maßnahmen sollte einem Monitoring unterzogen werden, dessen Ergebnisse für eine Anpassung bzw. Weiterentwicklung des Systems genutzt werden.

Bei jeder Anpassung des heutigen Fördersystems muss die Planungssicherheit für die Investoren und Betreiber von KWK-Anlagen erhalten bzw. gestärkt werden und der organisatorische Aufwand muss für die Akteure (Anlagenbetreiber, Netzbetreiber etc.) im Rahmen bleiben.

(4) Die Ergebnisse der Studie zeigen auch, dass **kleine KWK-Anlagen**, die wie bisher wärmegeführt betrieben werden, auch bei einer Verdrängung erneuerbar erzeugten Stroms langfristig noch **CO₂-Einsparungen** gegenüber der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung aufweisen.

Die Wirtschaftlichkeit der zusätzlichen Kosten für die Ausrüstung der kleinen KWK für eine stromgeführte Fahrweise mit Wärmespeicher, Elektroheizer und Regelungstechnik ist im Wettbewerb mit ungekoppelten Wärmeerzeugungssystemen in der Regel nicht gegeben. Hier muss die Politik abwägen, ob sie die zusätzlichen CO₂-Einsparungen einer stromgeführten Fahrweise der kleinen KWK-Anlagen durch eine zusätzliche Unterstützung dieser Anlagen anreizen will. Sollte alternativ eine reine technische Regelung der Kleinanlagen über Spannungsimpulse bevorzugt werden, müssen etwaige Ausfallzeiten und damit geringere Erträge bei der Festsetzung der Anreizmechanismen berücksichtigt werden.

(5) Eine wesentliche Grundvoraussetzung für den langfristigen Erfolg der KWK ist die **Sicherung und der Ausbau** des Einsatzes **von in KWK erzeugter Wärme und Kälte**. Nur über stabile, besser noch steigende Abnahmemengen kann der Wärme- und Kälteabsatz einen substanziellen Beitrag zur Sicherung des wirtschaftlichen Betriebs bestehender KWK-Anlagen und zur Finanzierung der Neuanlagen leisten. Hilfreich wären darüber hinaus eine verbesserte Erlössituation und/oder sinkende Erzeugungskosten.

Eine **Verbesserung des Marktumfelds** der KWK hinsichtlich der **Wärme- und Kälteerzeugung** ließe sich durch folgende Maßnahmen erreichen:

- Der Aufbau von Wärme- und Kältenetzen zur Stabilisierung bzw. Erhöhung des KWK-Absatzes sollte fortgeführt werden.

Der Ausbau der Netze sollte auch langfristig wie bisher durch Zuschüsse angereizt werden.

- Den entscheidenden Impuls für einen Ausbau der KWK könnten verbindliche CO₂-Einsparwerte für Gebäude liefern.

Die Marktposition der Fernwärme würde sich hierdurch verbessern, langfristige Absatzpotenziale könnten gesichert werden. Für die KWK-Objektversorgung ließen sich auf diesem Weg auskömmliche Wärmepreise erzielen, deren obere Preisgrenze entweder durch die zusätzlichen Sanierungskosten oder durch die Wärmekosten einer Versorgung durch erneuerbare Energien gebildet werden.

- Die Gleichbehandlung der Wärmebereitstellung von großen KWK-Anlagen, die am ETS teilnehmen, und von dezentralen Heizungssystemen, für die keine CO₂-Kosten entstehen, kann effizienter gestaltet werden.

Effizient wäre die einheitliche Erhebung einer Lenkungsabgabe (CO₂-Steuer) auf den CO₂-Ausstoß von Heizungsanlagen. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass diese Lenkungsabgabe nicht zu einer zusätzlichen Belastung der Endkunden führt, sondern an anderer Stelle des Steuersystems aufkommensneutral ausgeglichen wird.

- Die sinnvolle Nutzung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien muss ermöglicht werden.

Die Emissionen und auch die Kosten der KWK-Wärmeerzeugung ließen sich langfristig senken durch den Einbau von elektrischen Heizelementen in die Wärmespeicher der KWK-Anlagen. Diese Heizelemente sind notwendig zur Nutzung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien und sollten über Zuschüsse angereizt werden.

Eine weitere Voraussetzung für eine Nutzung des Überschussstroms ist, dass dieser kostengünstig zur Verfügung gestellt wird. Um dies zu ermöglichen, sollte in den Wärmespeichern genutzter Strom von Entgelten, Umlagen sowie Steuern und Abgaben befreit und/oder deren Belastung auf andere Weise kompensiert werden. Ob und in welchen Fällen die Vereinbarung günstiger Netzentgelte möglich ist, sollte im Rahmen der Umsetzung des EnWG erörtert werden.

6.4 Langfristiger Ausblick

- (1) Heute ist noch nicht absehbar, welche Richtung die **Entwicklung der europäischen Strommärkte** langfristig einschlagen wird. Empfehlungen für eine langfristige Bestandsicherung und den Ausbau der KWK entstammen der heutigen Perspektive und sind dementsprechend vorläufiger Natur.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb und Ausbau der KWK sehr stark vom jeweiligen Marktumfeld der vielfältigen KWK-Systeme geprägt werden. Die zukünftige Wahl der Instrumente zur Ausschöpfung der ermittelten KWK-Potenziale muss diese Vielfalt der KWK berücksichtigen. Der bisher verfolgte modulare Ansatz hat sich bewährt und sollte auch langfristig verfolgt werden. Wegen der Einbindung der KWK in die Strom- und Wärmemärkte empfiehlt sich auch zukünftig eine detaillierte Betrachtung und Berücksichtigung ihrer spezifischen Erfordernisse.

(2) Die Analyse möglicher Auswirkungen der heute denkbaren Entwicklungen auf die KWK und ihre wirtschaftliche Perspektive (vgl. Kapitel 6.1) hat gezeigt, dass die diskutierten Maßnahmen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit allein nicht ausreichen, den gewünschten Ausbau der KWK zu sichern. Eine Ausnahme bildet hier die Einführung eines **selektiven Kapazitätsmarkts**, der gezielt auf den Erhalt und den Ausbau der KWK ausgerichtet werden könnte. Zur Erschließung der KWK-Potenziale wäre diese Form bei der Einführung eines Kapazitätsmarktes anzustreben. Allerdings bestehen aus heutiger Sicht Zweifel an der Umsetzbarkeit eines selektiven Kapazitätsmarktes. Die Steuerung ist aufwändig und birgt deshalb Risiken.

Bei der Einführung aller Formen von Kapazitätsmärkten ist es grundsätzlich wichtig, in der Ausschreibung die unterjährige Aufteilung zuzulassen. Dies erleichtert den KWK-Anlagen die Teilnahme und sie können ihre hohe prognostizierbare Einsatzzeit im Winter als Wettbewerbsvorteil nutzen. Welche zusätzlichen Instrumente für die Sicherung und den Ausbau der KWK erforderlich sein werden, hängt stark vom heute noch nicht absehbaren zukünftigen Design der Strommärkte und der Förderung/Markteinbindung der erneuerbaren Energien ab.

(3) Da Kapazitätsmärkte sich auf stromgeführte KWK-Anlagen konzentrieren, üben sie kaum einen Anreiz auf den Ausbau der kleinen wärmegeführten KWK-Objektversorgung aus. Wenn der Effizienzvorteil dieser Anlagen im zukünftigen Strom- und Wärmemarkt langfristig keine wirtschaftlichen Perspektiven bietet, sind hierfür andere Anreizsysteme zu schaffen.

(4) Aus heutiger Sicht ist nicht sicher einzuschätzen, wie sich die Wirtschaftlichkeit einzelner Marktsegmente der vielfältigen KWK in den zukünftigen Energiemärkten langfristig darstellt. Wenn es gelingt, den Effizienzvorteilen der KWK über die Ausgestaltung ihres jeweiligen Marktumfelds einen angemessenen Marktwert beizumessen, ist eine besondere Förderung für die KWK nicht mehr notwendig. Nur mit einer wirtschaftlichen Perspektive und der Ausrichtung auf den Strommarkt ist die KWK in der Lage, die dargestellten CO₂-Einsparpotenziale auszuschöpfen und einen deutlichen Beitrag zur Integration der erneuerbaren Energien in das Stromsystem zu leisten.

7 Anhang

7.1 Quellen

- [AGFW 2011] Hauptbericht
- [EWI 2012] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI), *Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign*, im Auftrag des BMWi, Köln, 2012
- [Prognos 2013]: Prognos AG, *Das neue energiewirtschaftliche Gesamtkonzept*, Studie im Auftrag des vbw Bayern, München 2013
- [Prognos 2012]: Prognos AG, *Bedeutung der internationalen Wasserkraft-Speicherung für die Energiewende*, Studie im Auftrag des Weltenergieerat - Deutschland e.V., Berlin 2012
- [Prognos 2011]: Prognos AG, Berliner Energieagentur, *Zwischenüberprüfung zum Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung* Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Basel 2011
- [Prognos 2010]: Prognos AG, EWI, GWS, *Energieszenarien für ein Energiekonzept*, Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Basel/ Köln/Osnabrück 2010
- [Öko-Institut 2012 a]: Öko-Institut, *Monitoring der Kraft-Wärme-Kopplungs-Vereinbarung vom 19. Dezember 2003 für den Teilbereich Kraft-Wärme-Kopplung Berichtszeitraum 2010*, Bericht für das Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Berlin 2012
- [Öko-Institut 2012 b] Öko-Institut, LBD Beratungsgesellschaft, Raue LLP, *Fokussierte Kapazitätsmärkte. Ein neues Marktdesign für den Übergang zu einem neuen Energiesystem*, Studie für die Umweltstiftung WWF Deutschland, Berlin, 2012
- [Stabu 2012] Statistisches Bundesamt, *Produzierendes Gewerbe-Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden*, Wiesbaden 2012
- [VKU 2013] Enervis energy advisors GmbH, BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, *Ein zukunftsfähiges Energiemarktdesign für Deutschland*, Studie im Auftrag des Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU), Berlin 2013
- [UBA 2004] Umweltbundesamt, DEHST *Emissionsfaktoren und Kohlenstoffgehalte*

7.2 Ergebnistabellen

Tabelle 15: Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2012 in TWh

Fernwärmenachfrage PHH/ GHD 100 % = 2010	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%
Fall A: Kein Einsatz von Wärmespeichern	58	64	70	76	81	86	91	95	99	103	106	109	111	113	115	117
Fall B: Nutzung von Wärmespeichern bei allen Anlagen (200 GWh)	59	65	71	77	83	88	93	97	101	105	108	110	113	115	117	118
Fall C: Nutzung von Wärmespeichern und Elektroheizern bei allen Anlagen	59	65	71	77	83	88	93	97	101	105	108	110	113	115	116	118
Sensitivität C1: Leistung der KWK von 15 GW auf 20 GW (KWK-Scheibe)	59	65	71	78	84	90	95	101	106	111	115	119	123	126	130	132
Sensitivität C2: Erhöhung der mittleren Stromkennziffer von 0,6 auf 0,8	69	77	85	92	98	102	107	110	113	116	118	121	123	124	126	128
Sensitivität C3: Abweichend vom Grundszenario wird unterstellt, dass im Stromsystem zusätzliche Flexibilität in Höhe von 10 GW verfügbar ist	59	66	72	78	83	89	94	99	103	107	110	113	116	118	120	122
Sensitivität C4: Es wird die gemeinsame Wirkung der veränderten Parameter aus den Sensitivitätsrechnungen C1 bis C3 betrachtet	70	78	87	95	102	109	116	122	128	133	137	141	144	147	150	152

Quelle: Prognos 2013

Tabelle 16: Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2015 in TWh

Fernwärmenachfrage PHH/ GHD 100 % = 2010	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%
Fall A: Kein Einsatz von Wärmespeichern	57	63	69	74	79	84	89	93	96	100	103	105	107	110	111	113
Fall B: Nutzung von Wärmespeichern bei allen Anlagen (200 GWh)	58	65	71	77	82	87	92	96	99	102	105	108	110	112	114	116
Fall C: Nutzung von Wärmespeichern und Elektroheizern bei allen Anlagen	58	64	71	76	82	87	91	96	99	102	105	108	110	112	114	115
Sensitivität C1: Leistung der KWK von 15 GW auf 20 GW (KWK-Scheibe)	58	64	71	77	83	89	94	99	104	109	113	116	120	123	126	129
Sensitivität C2: Erhöhung der mittleren Stromkennziffer von 0,6 auf 0,8	68	76	84	90	96	100	104	108	110	113	115	118	119	121	123	124
Sensitivität C3: Abweichend vom Grundszenario wird unterstellt, dass im Stromsystem zusätzliche Flexibilität in Höhe von 10 GW verfügbar ist	59	65	72	78	83	89	94	98	103	106	110	113	115	117	119	121
Sensitivität C4: Es wird die gemeinsame Wirkung der veränderten Parameter aus den Sensitivitätsrechnungen C1 bis C3 betrachtet	70	78	86	94	102	109	116	122	127	132	136	140	143	145	148	151

Quelle: Prognos 2013

Tabelle 17: Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2020 in TWh

Fernwärmenachfrage PHH/ GHD 100 % = 2010	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%
Fall A: Kein Einsatz von Wärmespeichern	56	62	68	73	78	83	87	91	95	98	101	103	105	107	109	111
Fall B: Nutzung von Wärmespeichern bei allen Anlagen (200 GWh)	58	64	70	76	81	86	90	94	97	101	103	106	108	110	112	113
Fall C: Nutzung von Wärmespeichern und Elektroheizern bei allen Anlagen	57	64	70	75	81	86	90	94	97	100	103	106	108	110	112	113
Sensitivität C1: Leistung der KWK von 15 GW auf 20 GW (KWK-Scheibe)	57	64	70	76	82	88	93	98	102	107	111	114	118	121	124	127
Sensitivität C2: Erhöhung der mittleren Stromkennziffer von 0,6 auf 0,8	68	76	83	89	94	98	102	106	108	111	113	115	117	119	121	122
Sensitivität C3: Abweichend vom Grundszenario wird unterstellt, dass im Stromsystem zusätzliche Flexibilität in Höhe von 10 GW verfügbar ist	59	65	71	77	83	88	93	98	102	105	108	111	113	115	117	119
Sensitivität C4: Es wird die gemeinsame Wirkung der veränderten Parameter aus den Sensitivitätsrechnungen C1 bis C3 betrachtet	69	78	86	94	101	108	115	120	125	130	134	138	141	143	146	149

Quelle: Prognos 2013

Tabelle 18: Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2025 in TWh

Fernwärmenachfrage PHH/ GHD 100 % = 2010	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%
Fall A: Kein Einsatz von Wärmespeichern	54	60	65	70	75	79	83	87	90	94	96	99	101	103	104	106
Fall B: Nutzung von Wärmespeichern bei allen Anlagen (200 GWh)	57	63	68	74	78	83	87	91	94	97	100	102	104	106	108	109
Fall C: Nutzung von Wärmespeichern und Elektroheizern bei allen Anlagen	56	62	68	73	78	82	86	90	93	96	99	101	103	105	107	109
Sensitivität C1: Leistung der KWK von 15 GW auf 20 GW (KWK-Scheibe)	56	62	68	73	79	85	90	94	99	103	106	110	113	116	119	121
Sensitivität C2: Erhöhung der mittleren Stromkennziffer von 0,6 auf 0,8	65	73	80	85	90	95	98	101	104	107	109	111	113	114	116	117
Sensitivität C3: Abweichend vom Grundszenario wird unterstellt, dass im Stromsystem zusätzliche Flexibilität in Höhe von 10 GW verfügbar ist	58	64	70	76	82	87	91	96	99	103	106	108	110	112	114	116
Sensitivität C4: Es wird die gemeinsame Wirkung der veränderten Parameter aus den Sensitivitätsrechnungen C1 bis C3 betrachtet	68	77	85	92	99	106	112	117	122	126	130	134	137	139	142	144

Quelle: Prognos 2013

Tabelle 19: Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2030 in TWh

Fernwärmenachfrage PHH/ GHD 100 % = 2010	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%
Fall A: Kein Einsatz von Wärmespeichern	53	58	63	68	73	77	81	84	88	91	93	96	98	99	101	103
Fall B: Nutzung von Wärmespeichern bei allen Anlagen (200 GWh)	55	61	67	72	77	81	85	88	92	94	97	99	101	103	105	106
Fall C: Nutzung von Wärmespeichern und Elektroheizern bei allen Anlagen	54	60	65	71	76	80	84	88	91	94	96	98	100	102	104	106
Sensitivität C1: Leistung der KWK von 15 GW auf 20 GW (KWK-Scheibe)	54	60	65	71	77	82	87	92	96	100	103	107	110	113	115	118
Sensitivität C2: Erhöhung der mittleren Stromkennziffer von 0,6 auf 0,8	63	71	77	83	88	92	96	99	101	103	106	107	109	111	112	114
Sensitivität C3: Abweichend vom Grundscenario wird unterstellt, dass im Stromsystem zusätzliche Flexibilität in Höhe von 10 GW verfügbar ist	57	63	69	75	80	85	89	93	97	100	103	105	107	109	111	113
Sensitivität C4: Es wird die gemeinsame Wirkung der veränderten Parameter aus den Sensitivitätsrechnungen C1 bis C3 betrachtet	67	75	83	91	97	104	109	114	119	123	127	130	133	135	138	140

Quelle: Prognos 2013

Tabelle 20: Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2040 in TWh

Fernwärmefachfrage PHH/ GHD 100 % = 2010	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%
Fall A: Kein Einsatz von Wärmespeichern	47	52	56	60	64	68	71	74	77	79	81	83	85	86	87	89
Fall B: Nutzung von Wärmespeichern bei allen Anlagen (200 GWh)	52	57	62	66	70	74	77	80	82	85	86	88	90	91	92	93
Fall C: Nutzung von Wärmespeichern und Elektroheizern bei allen Anlagen	49	54	59	64	68	72	75	78	81	83	85	87	88	90	91	92
Sensitivität C1: Leistung der KWK von 15 GW auf 20 GW (KWK-Scheibe)	49	54	59	65	69	74	78	82	85	89	92	94	97	99	101	102
Sensitivität C2: Erhöhung der mittleren Stromkennziffer von 0,6 auf 0,8	57	64	69	74	78	82	84	87	89	91	92	94	95	96	98	99
Sensitivität C3: Abweichend vom Grundszenario wird unterstellt, dass im Stromsystem zusätzliche Flexibilität in Höhe von 10 GW verfügbar ist	53	59	64	70	74	79	83	86	89	92	95	97	99	101	102	104
Sensitivität C4: Es wird die gemeinsame Wirkung der veränderten Parameter aus den Sensitivitätsrechnungen C1 bis C3 betrachtet	62	70	77	84	90	96	101	105	109	113	116	119	121	124	126	128

Quelle: Prognos 2013

Tabelle 21: Technisches KWK-Stromerzeugungspotenzial im Jahr 2050 in TWh

Fernwärmenachfrage PHH/ GHD 100 % = 2010	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%
Fall A: Kein Einsatz von Wärmespeichern	41	45	49	52	56	59	61	64	66	68	70	71	72	74	75	76
Fall B: Nutzung von Wärmespeichern bei allen Anlagen (200 GWh)	47	52	56	60	63	66	68	71	73	74	76	77	78	79	80	81
Fall C: Nutzung von Wärmespeichern und Elektroheizern bei allen Anlagen	43	48	52	56	60	63	66	68	70	72	74	75	76	77	78	79
Sensitivität C1: Leistung der KWK von 15 GW auf 20 GW (KWK-Scheibe)	43	48	52	57	61	65	69	72	75	77	80	82	83	85	86	88
Sensitivität C2: Erhöhung der mittleren Stromkennziffer von 0,6 auf 0,8	51	56	60	64	68	71	73	75	77	78	79	80	82	83	84	85
Sensitivität C3: Abweichend vom Grundszenario wird unterstellt, dass im Stromsystem zusätzliche Flexibilität in Höhe von 10 GW verfügbar ist	49	54	60	64	69	73	76	79	82	85	87	88	90	92	93	94
Sensitivität C4: Es wird die gemeinsame Wirkung der veränderten Parameter aus den Sensitivitätsrechnungen C1 bis C3 betrachtet	58	65	71	78	83	88	92	96	100	103	105	107	110	112	113	115

Quelle: Prognos 2013