



Flexibilisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (FlexKWK)

Ergebnisse der energiewirtschaftlichen Analyse





IMPRESSUM

Flexibilisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (FlexKWK) Ergebnisse der energiewirtschaftlichen Analyse

durchgeführt von: Dr.-Ing. Young-Jae Yu, Dr. Dietrich Schmidt, Felix Winkler, Eric Lamvers (Fraunhofer IEE)

Studie im Auftrag des: Landesverbandes Erneuerbare Energien MV (LEE MV) Lübecker Str. 24, 19053 Schwerin, team@lee-mv.de www.waermewende.lee-mv.de

Titelfoto: © junimedia

Schwerin, Oktober 2022

Die Studie ist Teil des Projekts: "Klimaschutz durch Wärmewende und Sektorenkopplung" gefördert durch das Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)

Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser,

fast 20 % unserer Stromproduktion in Deutschland erzeugen wir in Kraftwärmekopplung. 2019 waren das fast 113 Mrd. kWh, erzeugt mit einer installierten Leistung von deutlich mehr als 20.000 MW KWK-Anlagen. Gleichzeitig wurden 2020 in Deutschland ca. 6 Mrd. KWh aus Sonne und Wind abgeregelt, auch um die Wärmeversorgung aus KWK-Anlagen abzusichern. Und hier setzen nun beide Studien an: Welche rechtlichen Rahmenbedingungen müssen geändert werden, um eine Flexibilisierung der KWK-Anlagen zu erreichen? Und sind die dafür erforderlichen Wärmespeicher wirtschaftlich zumutbar? Noch nicht untersucht wurden dabei die Möglichkeiten, die Wärmespeicher für den zusätzlichen Einsatz von Power-to-Heat-Anlagen bieten. Aber schon jetzt ist klar, dass sich Wärmespeicher für 1-2 Tage Wärmeversorgung gut rechnen und einen erheblichen Anteil des bisher abgeregelten Ökostroms nutzbar machen können. So lassen sich schnell und effektiv große CO2-Mengen einsparen! Gleichzeitig wird so die Akzeptanz für Erneuerbare erhöht, weil stehende Windkraftanlagen den falschen Eindruck vermitteln, der weitere Ausbau sei eigentlich nicht erforderlich.

Wir hoffen, dass beide Studien die Energiewende in Deutschland voranbringen. Unser Dank gilt der Stiftung Umweltenergierecht, deren Studie wir aus den öffentlichen Fördermitteln des europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) in MV finanzieren konnten, und dem Fraunhofer-Institut IEE, die die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen untersuchten, und die wir mit eingesammelten Spenden ganz unterschiedlicher Unterstützer ermöglichen konnten!

Mit erneuerbaren Grüßen aus dem Reallabor der Energiewende Mecklenburg-Vorpommern

Johann-Georg Jaeger

John-fy Jan



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT UND ENERGIESYSTEMTECHNIK, IEE

STUDIE:

FLEXIBILISIERUNG VON KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSANLAGEN (FLEXKWK)

- ERGEBNISSE DER ENERGIEWIRTSCHAFTLICHEN ANALYSE

ABSCHLUSSDOKUMENTATION

STUDIE:

FLEXIBILISIERUNG VON KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSANLAGEN (FLEXKWK)

- ERGEBNISSE DER ENERGIEWIRTSCHAFTLICHEN ANALYSE

Autoren

Tekn. Dr.-Ing. Dietrich Schmidt

Dr.-Ing. Young-Jae Yu

Eric Lamvers

Felix Winkler

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik, IEE

Entstanden im Auftrag des Landesverbandes Erneuerbare Energien Mecklenburg-Vorpommern e. V.

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Ergebnisdarstellung	5
2.1	Herangehensweise und Randbedingungen	
2.2	Entwicklung der Residuallast und des Strompreises	
2.3	Betrachtete Fälle für die Modellierung	9
2.4	Analyseergebnisse für das große Wärmenetz	10
2.5	Analyseergebnisse für das kleine Wärmenetz	12
2.6	Einfluss der Förderung	14
2.7	Kurzzusammenfassung	14
3	Fazit	15
3.1	Verpflichtung des Wärmespeichers aus energiewirtschaftlicher Sicht	16
3.2	Ausblick	16
Litera	atur	17

1 Einleitung

Einleitung

Im Rahmen des öffentlich geförderten Vorhabens "Klimaschutz durch Wärmewende und Sektorenkopplung" hat der Landesverband Erneuerbare Energien Mecklenburg-Vorpommern (LEE MV) vom Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE) und der Stiftung Umweltenergierecht untersuchen lassen, wie Wärmespeicher mehr Flexibilität ins gesamte Energiesystem bringen können.

Besonders groß ist der Bedarf nach einer flexibleren Fahrweise bei der Produktion von Fernwärme, da Fernwärme in Deutschland zu großen Anteilen (80%¹) durch Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) erzeugt wird. Die gemeinsame Produktion von Strom und Wärme ist effizienter als eine getrennte Erzeugung. Der Betrieb der KWK Anlagen mit einem Wärmenetz richtet sich im Wesentlichen nach dem Wärmebedarf und so speisen diese Anlagen unter Umständen auch bei negativen Strompreisen ins Netz ein.

Die Erweiterung solcher KWK-Anlagen um einen großen Wärmespeicher kann für mehr Flexibilität bei der Wärmeversorgung sorgen. Damit werden diese KWK-Anlagen in die Lage versetzt, bei hoher Verfügbarkeit von Erneuerbaren ihren Betrieb und die Stromerzeugung zu drosseln. Die angeschlossenen Fernwärmekunden werden dann vorübergehend aus dem Speicher beliefert, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Dies ermöglicht eine zeitliche Verschiebung von Strom- und Wärmeerzeugung und steigert die Effizienz des Gesamtsystems.

Das Fraunhofer IEE hat die Wirtschaftlichkeit eines Wärmespeichers für die kommenden Jahre anhand der Daten für Mecklenburg-Vorpommern modelliert. Das als Beispiel genommene Netzgebiet des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission integriert heute schon einen sehr hohen Anteil fluktuierender Einspeisung und kann mit der künftigen Situation im gesamten Bundesgebiet verglichen werden. Gerechnet wurden der wärmegeführte Betrieb von KWK-Anlagen und die Nutzung von Wärmespeichern im Referenzjahr 2020 und im Zieljahr 2030 auf Basis von stündliche aufgelösten Wärmelastprofilen eines bestehenden Wärmenetzes in Mecklenburg-Vorpommern. Die Ergebnisse dieser Modellierungen sind in diesem Bericht zusammengefasst.

Seitens des Auftraggebers wurde ein Modell vorgeschlagen, mit dem KWK-Anlagenbetreiber, die ein Wärmenetz mit der erzeugten Wärme betreiben, gesetzlich verpflichtet werden, einen zusätzlichen Wärmespeicher zuzubauen und damit ausreichend Speicherkapazität für die Wärmeversorgung zur Verfügung haben, um diese für einen bestimmten Zeitraum – bei gleichzeitiger Reduzierung der KWK-Erzeugung – aufrecht erhalten zu können. Dieses vorgeschlagene Modell wurde vom Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) energiewirtschaftlich analysiert. Auf Basis dieser Untersuchungen wurde ein Formulierungsvorschlag für eine gesetzliche Verpflichtung entwickelt und daraus die wesentlichen Parameter für eine gesetzliche Regelung von der Stiftung Umweltenergierecht erarbeitet (siehe Papke und Weber 2022).

¹ Quelle: AGFW Hauptbericht 2020 https://www.agfw.de/

2

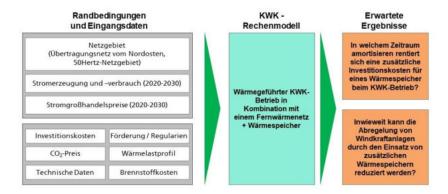
Ergebnisdarstellung

Ergebnisdarstellung

Die Darstellung der erarbeiteten Ergebnisse der energiewirtschaftlichen Analyse wird hier in Form von Folien/Bildern vorgenommen.

2.1 Herangehensweise und Randbedingungen

Herangehensweise der energiewirtschaftlichen Analyse anhand eines generischen Wärmelastprofils



Randbedingungen für die energiewirtschaftliche Betrachtung

- Energieerzeugung
 - Zielpfad Stromerzeugung aus EE 2030: 80 %
 - Betrachtung des Netzgebietes "50Hertz"
 - 2020 als Referenzjahr
 - EE-Ausbauziele & Entwicklung des Strombedarfes (bis 2030) laut neuem Koalitionsvertrag
 - PV-Anlagen: 200 GW
 - Wind onshore: 100 130 GW
 - Wind offshore: 30 GW
 - Bruttostromverbrauch: 680-750 TWh
 - Angestrebter EE-Anteil:80%

Ergebnisdarstellung

Randbedingungen für die energiewirtschaftliche Betrachtung

- KWK-Betrieb
 - Mehrkosten für An- und Abfahrvorgänge: 20 €/MW_{el} (Ausgleich durch Redispatch 2.0 zusätzliche Aufwendung)
 - Min. Abschaltdauer: min. 4 Stunden (Wärmenetz: 330 MW)
 - Wärmegeführter Betrieb für das Wärmenetz mit 9 MW in den Wintermonaten

Förderung

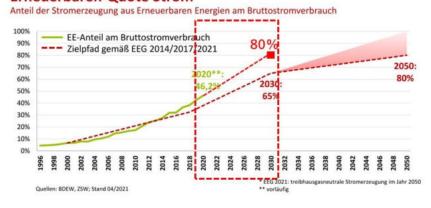
KWKG - Förderquote Wärmespeicher: 30 %

Randbedingungen für die energiewirtschaftliche Betrachtung

- Berechnung der Amortisationszeit
 - Betrachtung von den drei Stützjahren 2020 / 2025 / 2030 (2020 als Referenzjahr)
 - Berechnung der Amortisationszeit in Anlehnung an VDI 6025
 - Strompreis in 2020: Großhandelspreise aus SMARD Strommarktdaten
 - Kalkulationszinssatz: 3 %
 - Inflationsrate: 1 %
 - Jährliche Instandhaltung: 1 % der Investitionskosten
 - Jährliche sonstige Kosten (z.B. Versicherung, Verwaltung, Steuer usw.): 0,5 % der Investitionskosten
 - Spez. Investitionskosten von Wärmespeicher mit einem Skaleneffekt*

Zielpfad Stromerzeugung aus EE

Erneuerbaren-Quote Strom



■ EE-Anteil 80 % bis 2030 aus dem Koalitionsvertrag

^{*}Eller, D.: Integration erneuerbarer Energien mit Power-to-Heat in Deutschland, 2015

Ergebnisdarstellung

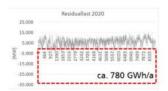
Abgeschätzte Entwicklung der Stromerzeugung aus EE



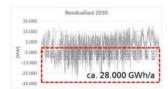
- Berechnung der Mehrerlöse basierend auf der Betrachtung der 3 Stützjahre (2020, 2025 und 2030)
- Lineare Entwicklung des Ausbaus von EE in der Region auf Basis vom Referenzjahr 2020

2.2 Entwicklung der Residuallast und des Strompreises

Abgeschätzte Residuallast (50Hertz)

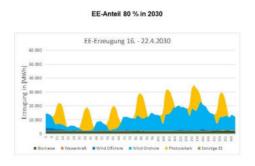


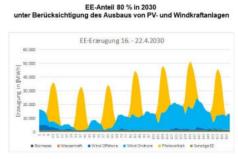




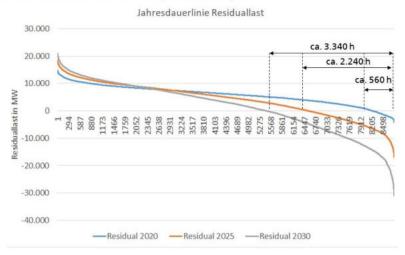
- Erstellung der Residuallast in 2020, 2025 und 2030 durch die Anpassung der Erzeugungsleistung und des Stromverbrauchs in Anlehnung an den neuen Koalitionsvertrag
- Ausbau von Speichertechnologien, Ausbau des Stromnetzes und überregionale Maßnahme zum Ausgleich der Netzengpässe sind hier nicht berücksichtigt.

Abgeschätzte Residuallast (50Hertz)

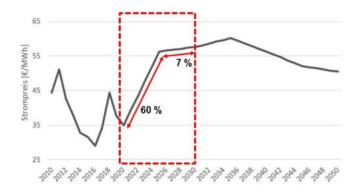




Abgeschätzte Residuallast (50Hertz)



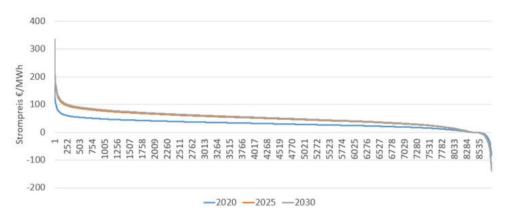
Entwicklung Strompreis



- Ausstieg aus der Kernkraft
- EE-Investitionen / CO2-Preis

Entwicklung Strompreis

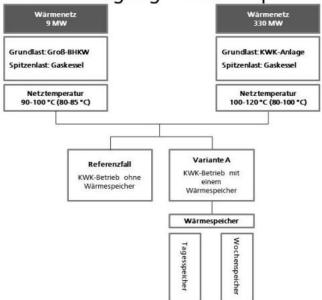
Ergebnisdarstellung



2.3 Betrachtete Fälle für die Modellierung

Im Rahmen der Betrachtungen wurden Analysen für ein kleines Wärmenetz (ca. 9 MW Wärmeerzeugerleitung), wie für eine Quartiersversorgung, und für ein großes Wärmenetz (ca. 330 MW Wärmeerzeugerleistung), wie für eine Stadt, durchgeführt.

Modellfälle - Wärmeerzeugung + Wärmespeicher

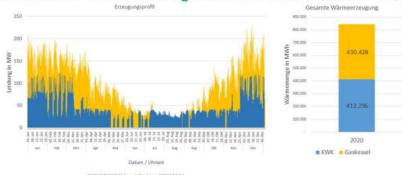


2.4 Analyseergebnisse für das große Wärmenetz

Ergebnisdarstellung

Referenzfall (FlexKWK)

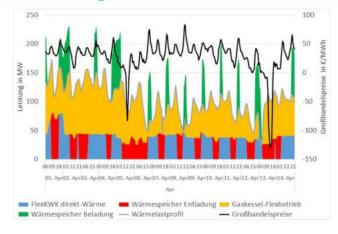
KWK-strom- und wärmegeführter Betrieb (330 MW)



- Referenzfall: strom- und wärmegeführter KWK-Betrieb ohne Wärmespeicher
- Flexibler KWK-Betrieb mit einem Wärmespeicher über das Jahr möglich
- Anteil der KWK-Anlage: ca. 49 % (VLS: 3.344 h)
- Reserveleistung von 40 MW 90 MW

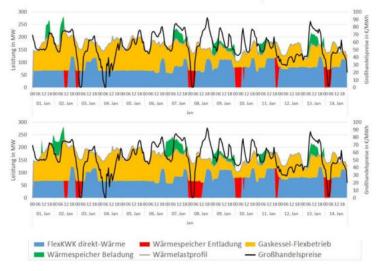
Referenzfall (FlexKWK)

Strom- und wärmegeführter Betrieb in 2030 (330 MW)



Vergleich 20.000 m³ / 60.000 m³ Wärmespeicher in 2030

Ergebnisdarstellung



Stromgeführter KWK-Betrieb (FlexKWK)

Abgeschätzte Amortisationszeit (330 MW)



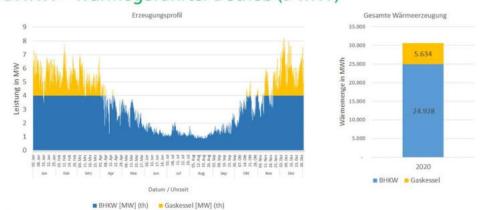


- Je kleiner der Wärmespeicher umso kürzer ist die Amortisationsdauer
- Amortisationsdauer geringer als 10 Jahre aufgrund des stromgeführten Betriebs in den Wintermonaten

2.5 Analyseergebnisse für das kleine Wärmenetz

Ergebnisdarstellung

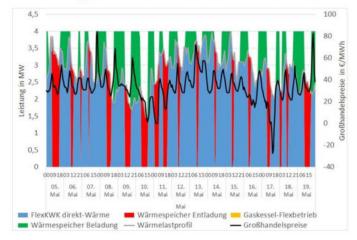
Referenzfall (FlexKWK) BHKW - wärmegeführter Betrieb (9 MW)



- Referenzfall: Wärmegeführter BHKW-Betrieb ohne Wärmespeicher
- Anteil der BHKW-Anlage: ca. 82 %
- Flexibler BHKW-Betrieb in der Übergangszeit und in den Sommermonaten

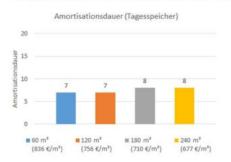
Referenzfall (FlexKWK)

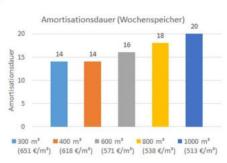
Strom- und wärmegeführter Betrieb in 2030 (9 MW)



Stromgeführter KWK-Betrieb (FlexKWK)

Abgeschätzte Amortisationszeit (9 MW)



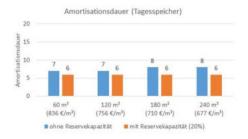


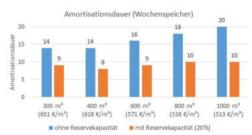
Ergebnisdarstellung

- Je kleiner der Wärmespeicher umso kürzer ist die Amortisationsdauer
- Aufgrund der begrenzten Flexibilität in den Wintermonaten ist die Amortisationsdauer bei den Wochenspeichern deutlich höher.

Stromgeführter KWK-Betrieb (FlexKWK)

Abgeschätzte Amortisationszeit (9 MW)





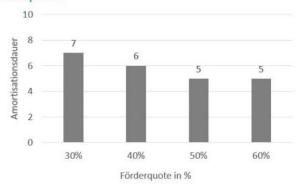
- Wirtschaftlichkeit des BHKW-Betriebs kann durch die zusätzliche Leistung in den Wintermonaten deutlich erhöht werden.
- > Potenzial für Power-to-Heat-Anlagen in Kombination mit einem Wärmespeicher

2.6 Einfluss der Förderung

Ergebnisdarstellung

Stromgeführter KWK-Betrieb (FlexKWK)

Einfluss der Förderquote



- Referenzfall mit der Förderquote 30 % nach KWKG
- Wärmenetz (330 MW) mit einem Wärmespeicher von 40.000 m³
- Verdopplung der Förderquote reduziert die Amortisationsdauer um 2 Jahre

2.7 Kurzzusammenfassung

Potenzial zur Reduzierung der Abregelung von EE-Anlagen

- Abgeschätzte installierte Leistung von KWK-Anlagen (Erdgas) mit einem Wärmenetz im Netzgebiet 50Hertz ca. 12 GW_{th} nach AGFW Hauptbericht 2020
- Spez. verschiebbare Stromerzeugung einer KWK-Anlage mit einem Wärmespeicher von 20.000 - 60.000 m³: ca. 350 - 390 MWh_{el}/MWth
- Annahme: bestehende KWK-Anlagen werden mit einem Wärmespeicher von 20.000 - 60.000 m³ strom- und wärmegeführt betrieben.
- Abgeschätzte verschiebbare elektrische Stromerzeugung im Netzgebiet 50Hertz: 4.100 - 4.600 GWh/a
- > Abgeschätzte Abregelung von EE-Anlagen in 2030: 28.000 GWh/a
- Abgeschätzte Reduzierung der Abregelung in 2030: ca. 15 16 %

3 Fazit Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in den modellierten Szenarien für 2030 von einer Abregelung im Netzgebiet von 50Hertz Transmission pro Jahr von 28.000 GWh auszugehen ist. Mit einer Zwischenspeicherung von Wärme könnten KWK-Anlagen zeitweise ihre Produktion zurückfahren, so dass etwa 16 Prozent davon oder 4.500 GWh mehr Windstrom pro Jahr eingespeist werden können. Da die KWK-Anlage die Produktionsspitzen in windschwache Zeiten verschiebt, amortisiert sich die Investition in den Wärmespeicher je nach angenommener Größe des Wärmeversorgungsgebietes und des Speichers in einem Korridor von etwa sechs bis neun Jahren.

Darüber hinaus wurde untersucht, welche Größe für einen Wärmespeicher optimal wäre. Dabei wurden jeweils Tagespeicher und Wochenspeicher für kleinere Versorgungsgebiete mit einer Wärmeerzeugerleistung von etwa 9 MW und für größere Gebiete mit einer Wärmeerzeugerleistung von etwa 330 MW modelliert. Im Ergebnis zeigte sich, dass sich eine Investition in einen Wochenspeicher für eine kleine Großstadt mit ca. 100.000 Einwohnern innerhalb von etwa neun Jahren amortisiert. Ein Tagesspeicher kann sich für die Versorgung eines Quartiers innerhalb von etwa sieben bis acht Jahren rentieren.

Damit bringen Wärmespeicher mehr Flexibilität in das Stromsystem. Zudem rechnen sie sich für die Betreiber auch betriebswirtschaftlich. Das gilt sowohl für die Versorgung einzelner Quartiere wie auch für ganze Städte.

Die Ergebnisse der energiewirtschaftlichen Analyse werden im Folgenden stichwortartig zusammengefasst:

- Investitionskosten betrachteter Tagesspeicher können sowohl bei einem großen als auch kleinen Wärmenetz innerhalb von 10 Jahren amortisiert werden.
- Investitionskosten der betrachteten Wochenspeicher des kleinen Wärmenetzes können sich, aufgrund der vergleichsweise hohen Investitionskosten und der begrenzten Nutzung des Wärmespeichers (Betrieb des Wärmespeichers außerhalb der Wintermonate aufgrund der Sicherstellung der Wärmeversorgung), nach 14 Jahren amortisieren.
- Zusätzliche Investitionen von Wärmespeichern sind beim KWK-Betrieb aufgrund der steigenden Strompreise und des erhöhten EE-Anteils wirtschaftlich darstellbar
- Bei einem kleinen Wärmenetz erhöht der flexible Betrieb der KWK-Anlage in den Wintermonaten die Erlöse durch die Nutzung des Wärmespeichers.
- Eine Erhöhung der Förderquote bei Wärmespeichern kann die Amortisationszeit der Investitionskosten des Wärmespeichers zusätzlich reduzieren.
- Integration einer Power-to-Heat-Anlage erscheint wirtschaftlich sinnvoll
- Unter den betrachteten Annahmen kann die Abregelung von EE-Anlagen im Netzgebiet 50Hertz anhand des flexiblen Betriebs von KWK-Anlagen um ca. 15-16 % reduziert werden.

Zukünftig kann der flexible Betrieb von KWK-Anlagen mit Wärmespeichern zur Reduzierung der Abregelung von EE-Anlagen beitragen.

> Dies würde die Entschädigung aufgrund der Abregelung von EE-Anlagen und somit die volkswirtschaftlichen Kosten begrenzen.

Hierbei handelt sich um eine rudimentäre Abschätzung. Für eine genaue Abschätzung des Betriebsverhaltens von KWK-Anlagen in einem zu betrachtenden Netzgebiet ist eine Differenzierung über alle Lastprofile und Anlagen erforderlich, was jedoch nicht in Gegenstand der hier vorgestellten Analyse ist.

3.1 Verpflichtung des Wärmespeichers aus energiewirtschaftlicher Sicht

Die betrachteten Wärmespeicher (siehe 2.4und 2.5) sind wirtschaftlich umsetzbar

- Einer Verpflichtung der betrachteten Wärmespeicher steht aus energiewirtschaftlicher Sicht nichts entgegen.
- ➤ Jedoch sollten weitere Anforderungen und Hemmnisse dabei berücksichtigt werden: Platzbedarf, Erhöhung der Systemkomplexität, Aufwand der Betriebsführung, Änderungen der Förderung etc.

Verpflichtung des Wärmespeichers unter der Voraussetzung, dass die Amortisationszeit nicht länger als Lebensdauer (Absetzung für Abnutzung AfA / 20 Jahre) ist.

➤ Berechnung der Amortisationszeit anhand einer Formel eines Standard-Regelwerks. Formulierung ggf. in Anlehnung an §22 IV KWKG: 1 m³ Wasseräquivalent oder 0,3 m³/kWel (Zuschlagsberechtigung).

3.2 Ausblick

Das Konzept lässt sich zudem dahingehend weiterentwickeln, dass zusätzliche Powerto-Heat-Anlagen überschüssigen Windstrom in Wärme umwandeln und einspeichern:

- Betrieb von Power-to-Heat-Anlagen mit einem Wärmespeicher energiewirtschaftlich sinnvolle Maßnahme zur Flexibilisierung von KWK-Anlagen, die ggf. mit Wasserstoff betrieben werden könnten.
- Substitution der Kohle-KWK-Anlage durch Erdgas kann die Abregelung zukünftig weiter reduzieren? (Steigerung der gesamten Stromerzeugung von KWK-Anlagen vs. Steigerung der Flexibilität)
- Veränderte politische Randbedingungen bis 2030 (Erhöhung des EE-Anteils)
 100 % Ökostrom bis 2035

Literatur

Literatur

Papke, A., und Weber, S. (2022): Rechtsgutachten FlexKWK, Flexibilisierung der Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen vom 29.07.2022. Hrsg. Landesverbandes Erneuerbare Energien Mecklenburg-Vorpommern e. V.

Partner des Projekts



































Studie im Auftrag des



Landesverband Erneuerbare Energien Mecklenburg-Vorpommern e.V. Lübecker Straße 24 · 19053 Schwerin Telefon 0385-393 929 30 · E-Mail info@lee-mv.de · www.waermewende.lee-mv.de