

„Wärmespeicher in Heizkraftwerken zur energetischen Optimierung und Ressourcenschonung“

Dr.-Ing. Andreas DENGEL¹, Dipl.-Ing. Maike Johnson², Markus Seitz M.Eng³

¹ STEAG New Energies GmbH; St. Johanner Straße 101; D-66115 Saarbrücken;
Tel: +49 (0)681 9494 1600; Mail: andreas.dengel@steag.com;
Homepage: <http://www.steag-newenergies.com>; korrespondierender Autor.

² Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.; Pfaffenwaldring 38-40; D-70569 Stuttgart
Tel: +49(0)711 6862 344; Mail: maike.johnson@dlr.de; Homepage: <http://www.dlr.de>

³ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.; Pfaffenwaldring 38-40; D-70569 Stuttgart
Tel: +49(0)711 6862 8113; Mail: markus.seitz@dlr.de; Homepage: <http://www.dlr.de>

Zusammenfassung: Die STEAG New Energies GmbH ist Contractor und Betreiber einer Vielzahl von dezentralen Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung. Kunden sind Kommunen, Zweckverbände, Gewerbe- und Industriebetriebe. Neben reinen Wärmeerzeugern bedient man sich gerne sogenannter Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Da in der Regel die Versorgung der Kunden wärmegeführt ist, ist die Stromerzeugung von untergeordneter Bedeutung. Eine Ausnahme bilden die im Rahmen des EEG betriebenen Biomasseheizkraftwerke.

Durch die Zunahme der volatilen Einspeisung regenerativ erzeugten Stroms hat jedoch der Bedarf an Regelenergie deutlich zugenommen. Könnte man den Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen durch den Einsatz von Wärmespeichern unabhängiger von dem momentanen Wärmebedarf machen, könnten diese Energiewandler in den lukrativen Markt der Regelenergiebereitstellung implementiert werden. Daneben besteht grundsätzlich der Bedarf, Versorgungsanlagen durch den Einsatz von Wärmespeichern in ihrer Flexibilität zu steigern. Deshalb soll in einer Studie das Potenzial für solche Speicher an den Standorten des Unternehmens ermittelt werden. Parallel hierzu ist konkret die Entwicklung und Erprobung eines Latentwärmespeichers für ein Heizkraftwerk des Unternehmens, welches ein benachbartes Folienwerk mit Prozessdampf bei rund 300 °C versorgt, angedacht.

Keywords: Wärmespeicher, Latentwärmespeicher, Optimierung Fahrweise, Kraft-Wärme-Kopplung, Regelenergie

1. Einleitung

Die STEAG New Energies GmbH (SNE) betreibt bundesweit mehr als 200 Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme überwiegend auf Basis regenerativer Energieträger wie Biomasse, Biogas, Grubengas und Geothermie, aber auch konventioneller fossiler Primärenergien. Insbesondere in Kraft-Wärme-Kopplung betriebene Anlagen erzeugen die nicht primär vom Verbraucher geforderte Energieform suboptimal. Lastspitzen oder außerplanmäßige Anforderungen führen zum Einsatz von Besicherungsinstrumenten, deren Einsatz ökonomisch, aber auch wegen des Primärenergieeinsatzes ökologisch (CO₂) wenig wünschenswert ist.

Hier setzt die im Haus entwickelte Idee an, durch den Einsatz von Wärmespeichern die Erzeugung von elektrischer Energie oder / und Wärme zu vergleichmäßigen, Spitzen abzubauen und auf diese Weise den Einsatz von Besicherungsinstrumenten – in der Regel fossil befeuerter Kesselanlagen – zu minimieren. Gemeinsam mit den Partnern Badische Engineering GmbH (BSE), Badische Stahlwerke GmbH (BSW), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und F.W. Brökelmann Aluminiumwerk GmbH & Co. KG (FWB) wurde deshalb ein Antrag für ein öffentlich zu förderndes Vorhaben mit dem Titel „Thermische Energiespeicher für die

Erhöhung der Energieeffizienz in Heizkraftwerken und Elektrostahlwerken“ unter dem Förderkennzeichen 03ESP011 beim BMWi gestellt und bewilligt. Im ersten Schritt soll in einer Studie das Potenzial für solche Speicher an den Standorten der beiden Unternehmen aus Energiewirtschaft und Stahlerzeugung ermittelt werden. Parallel hierzu ist konkret die Entwicklung und Erprobung eines Latentwärmespeichers in einem Heizkraftwerk der STEAG New Energies GmbH geplant.

2. Vorhaben - Potenzialanalysen

Das übergeordnete Ziel des Projektes ist, die Energieeffizienz im industriellen Bereich und im Versorgungsbereich durch den Einsatz thermischer Energiespeicher zu steigern. Hier zeichnet sich ein großes Potenzial ab, sowohl für einen Ausgleich zwischen zeitlich variierendem Bedarf und Produktion, als auch für die Sicherstellung von Produktionsanlagen. Im Rahmen des Projekts wird daher eine Potenzialanalyse zur Energieeffizienzsteigerung von Industrieprozessen durch Integration von Speicherkapazitäten am Beispiel von Elektrostahlwerken und Heizkraftwerken durchgeführt.

In Heizkraftwerken wird ein großes Potenzial für den Speichereinsatz gesehen, welches im Rahmen des Vorhabens analysiert werden soll. Hier können z.B. sehr hohe Anforderungen an die Bereitstellung und Besicherung von Prozessdampf gestellt werden. Die Versorgungssicherheit ist eine Aufgabenstellung, die sich in sehr vielen Betrieben findet, in denen Prozessdampf benötigt wird. Immer ist eine Besicherung notwendig, die teilweise auch parallel zu der Primärversorgung in Betrieb gehalten werden muss. Die für eine Besicherung der Primärversorgung notwendigen Anlagen bzw. die zur Aufrechterhaltung der Versorgung notwendigen Wärme- bzw. Dampfparameter unterscheiden sich naturgemäß je nach Abnehmerstruktur. Grundsätzlich können durch Wärmespeicher das Inbetriebhalten von Reserveanlagen minimiert und damit der Brennstoffverbrauch und somit in der Regel der Fälle der Ausstoß von Treibhausgasen wie CO₂ deutlich reduziert werden. Neben der Besicherung können durch Wärmespeicher auch Lastspitzen in der Abnahme geglättet werden.

Wärmespeicher können auch je nach Auslegung den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen deutlich steigern. In der Regel werden diese wärmegeführt betrieben. Will man dennoch an dem lukrativen Markt der Regelenergiebereitstellung teilhaben, müssen solche Anlagen innerhalb kürzester Zeit eine bestimmte elektrische Leistung in das Netz einspeisen oder dem Netz - durch Zurückfahren – entnehmen. Die dabei erzeugte Wärme bei positiver Minutenreserve oder trotz eines Bedarfs nicht bereitgestellter Wärmeenergie bei negativer Minutenreserve könnte dann durch Wärmespeicher aufgenommen beziehungsweise geliefert werden. Ohne Wärmespeicherung müsste man auf dieses Geschäft verzichten oder würde energetisch suboptimal handeln.

2.1. Potenzialanalyse im Heizkraftwerksbereich

Erarbeitet wurden qualitative und quantitative Aussagen über technische und wirtschaftliche Vorteile in Energiewandlungsanlagen, die durch den konsequenten Einsatz von Wärmespeichersystemen erzielt werden können. Die Betrachtung erfolgt anhand von Daten aus dem Anlagenpark des Unternehmens, der auf Grund der Marktstellung als repräsentative Stichprobe aus der Gesamtheit der kleinen und mittelgroßen Energieversorgungsanlagen in Deutschland betrachtet werden kann. Es wurden alle Wärmespeichertechnologien betrachtet, die auf den erforderlichen Maßstab skaliert werden können, aber ohne grundsätzlich die Energiewandlungsanlage umzugestalten.

Da eine detaillierte Einzelbetrachtung aller Anlagen den zeitlichen Rahmen dieser Untersuchung gesprengt hätte, wurden 6 Anlagengruppen gebildet, die auf praxisnahen Basis-Szenarien beruhen.

- Gruppe 1: stromgeführte Anlagen nach EEG, die – sofern eine Wärmesenke vorhanden ist – den Wärmebedarf vollständig über die Kraft-Wärme-Kopplung decken.

- Gruppe 2: stromgeführte Anlagen nach EEG, die den Wärmebedarf der angeschlossenen Verbraucher nicht vollständig über die Kraft-Wärme-Kopplung decken können. Der zusätzliche Wärmebedarf wird durch den Einsatz fossiler Brennstoffe bereitgestellt.
- Gruppe 3: Wärmegeführte, fossil befeuerte KWK-Anlagen zur Versorgung von gewerblichen und privaten Verbrauchern. Die benötigte Heizleistung kann nicht vollständig durch die Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt werden – Spitzenlastkessel.
- Gruppe 4: Fossil befeuerte Heizwerke zur Versorgung von gewerblichen und privaten Verbrauchern.
- Gruppe 5: Heizwerke zur Versorgung von gewerblichen und privaten Verbrauchern. Die Wärme wird nicht in Unternehmens-eigenen Anlagen erzeugt sondern von externen Wärmequellen (Abwärme, übergeordnete Wärmenetze) bezogen, auf deren Betriebsweise nicht oder nur indirekt Einfluss genommen werden kann.
- Gruppe 6: Fossil befeuerte Heizwerke und KWK-Anlagen zur Versorgung von Industriekunden mit Prozesswärme, zumeist in Form von Prozessdampf.

Anlagengruppe		1	2	3	4	5	6
Wärmespeichersysteme	HT-Bereich / Dampf (> 130°C)						
	Thermochemische Wärmespeicher (inkl. Sorptionspeicher)						X
	Dampfspeicher (Ruth-Speicher)						X
	Latentwärmespeicher (stationär)						X
	Sorptionspeicher (mobil)	X	X				
	Sorptionspeicher (stationär)		X	X	X	X	
	Latentwärmespeicher (mobil)	X	X				
	Latentwärmespeicher (stationär)		X	X	X	X	
	NT-Bereich (max. 130 °C)						
	Saisonale Wärmespeicher (alle Bauformen)		X				
Warmwasserspeicher (druckbeaufschlagt)		X	X	X	X	X	
Warmwasserspeicher (drucklos)		X	X	X	X		
Vorteile	Erhöhte Ausfallsicherheit durch kurzfristige Besicherung						X
	Materialschonender Anlagenbetrieb			X	X		X
	Verringerte Laufzeit von Spitzenlastkessel		X	X	X		X
	Vermeidung von Taktbetrieb oder Teillastbetrieb			X	X		X
	Erhöhter Wärmeabsatz	X	X			X	
	Ersparnis bei Brennstoffbeschaffung			X	X	X	X
	Ersparnis bei Brennstoffeinsatz		X	X	X		X

Tab.1: Zuordnung Speichersysteme zu Anlagengruppen

2.1.1. Potenziale in Anlagengruppe 1

In vielen Anlagen der Gruppe 1 liegt, hervorgerufen durch die stromgeführte Betriebsweise und einem Mangel an geeigneten Wärmesenken, ein ganzjähriges Überangebot an Wärme vor. Der klassische Anwendungsfall von Wärmespeichern, der Ausgleich zwischen wechselnden Ungleichgewichten bei Wärmeangebot und -nachfrage, kommt hier nicht zum Tragen. Grundsätz-

lich besteht dennoch die Möglichkeit, den Nutzungsgrad der Anlagen durch den Einsatz von Wärmespeichern zu steigern. Mobile Speichersysteme können dazu beitragen, neue Wärmesenken zu erschließen. Der leitungsgebundene Transport von Wärme zu einzelnen Wärmesenken stößt bereits innerhalb eines kleinen Radius an seine wirtschaftlichen Grenzen. An diesem Punkt können mobile Wärmespeichersysteme dazu eingesetzt werden den Radius, innerhalb dessen ein wirtschaftlicher Wärmetransport möglich ist, zu erweitern.

Eine technische Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Konzepts ist die Verfügbarkeit von Wärmequellen auf ausreichend hohem Temperaturniveau. Latentwärmespeicher (PCM-Speicher) können nur effizient beladen werden, wenn die Temperatur des Wärmeträgers (im Normalfall Heißwasser) mindestens 10 - 20 K über dem Schmelzpunkt des PCM liegt. Andernfalls müssen ein hoher zeitlicher Aufwand oder ein energieintensiver hoher Volumenstrom in Kauf genommen werden. Wärmequellen mit einer Temperatur $T < T_{\text{Schmelzpunkt PCM}}$ können nicht genutzt werden.

Sorptions- oder Zeolithspeicher benötigen für eine effiziente Beladung ebenfalls ein hohes Temperaturniveau. Der Energieinhalt und die erreichbaren Ausspeisetemperaturen eines solchen Speichers stehen in direktem Zusammenhang mit der Temperatur bei der Beladung. Trotz der großen Menge an ungenutzter Wärme in Gruppe 1 finden sich nur sehr wenige geeignete Wärmequellen für die zuvor genannten Speichertypen.

2.1.2. Potenziale in Anlagengruppe 2

Bei den Anlagen der zweiten Gruppe besteht ein ausgeprägtes saisonales Ungleichgewicht zwischen Wärmeaufkommen und Bedarf. Während in der Heizperiode die im KWK-Prozess anfallende Wärme nicht ausreicht, um die angeschlossenen Verbraucher zu versorgen, besteht in den Sommermonaten ein deutlicher Wärmeüberschuss. Das Wärmedefizit im Winter wird durch den Einsatz fossiler Brennstoffe ausgeglichen.

Warmwasserspeicher sowie stationäre Latent- und Sorptionsspeicher können in den Übergangszeiten eingesetzt werden, wenn die Lastspitzen im Wärmebedarf das Angebot an KWK-Wärme übersteigen, um den Einsatz der Spitzenlastkessel so lange wie möglich hinauszuzögern. In den Wintermonaten können diese Speicher zur Optimierung des Gaslastgangs eingesetzt werden, um die Kosten für den Erdgasbezug weiter zu minimieren. Diese Speicher können des Weiteren dazu beitragen, die Spitzenlastkessel gleichmäßig und somit materialschonend zu betreiben. Parallel zum Einsatz der Warmwasserspeicher kann der Wärmeüberschuss im Sommer durch die Akquise geeigneter Wärmesenken verwertet werden. Analog zu Gruppe 1 können hier mobile Speichersysteme zum Einsatz kommen. Durch die Beschränkung auf die Sommermonate ist der in Frage kommende Kundenkreis allerdings stark reduziert (z. B. beheizte Freibäder).

Die für die Netznutzungsentgelte maßgeblichen Lastspitzen kommen jedoch häufig im Zusammenhang mit kurzzeitigen Anlagenstörungen (Biomassekessel) zustande (siehe Abb. 1). In diesen Zeiträumen muss der Wärmebedarf vollständig durch die Heizkessel gedeckt werden. Um zuverlässig alle relevanten Lastspitzen abzufedern, müsste ein zur Lastgangoptimierung errichteter Speicher zeitgleich sowohl die fehlende Grundlast als auch mögliche normale Bedarfsspitzen durch seine Ausspeiseleistung für mehrere Stunden abdecken können. Ein Idealzustand ist erreicht, wenn es gelingt, den Wärmeüberschuss des Sommers in die Heizperiode zu transferieren (siehe Abb. 2). Saisonale Speichersysteme sind prinzipiell dazu in der Lage, größere Wärmemengen über Wochen und Monate zu konservieren.

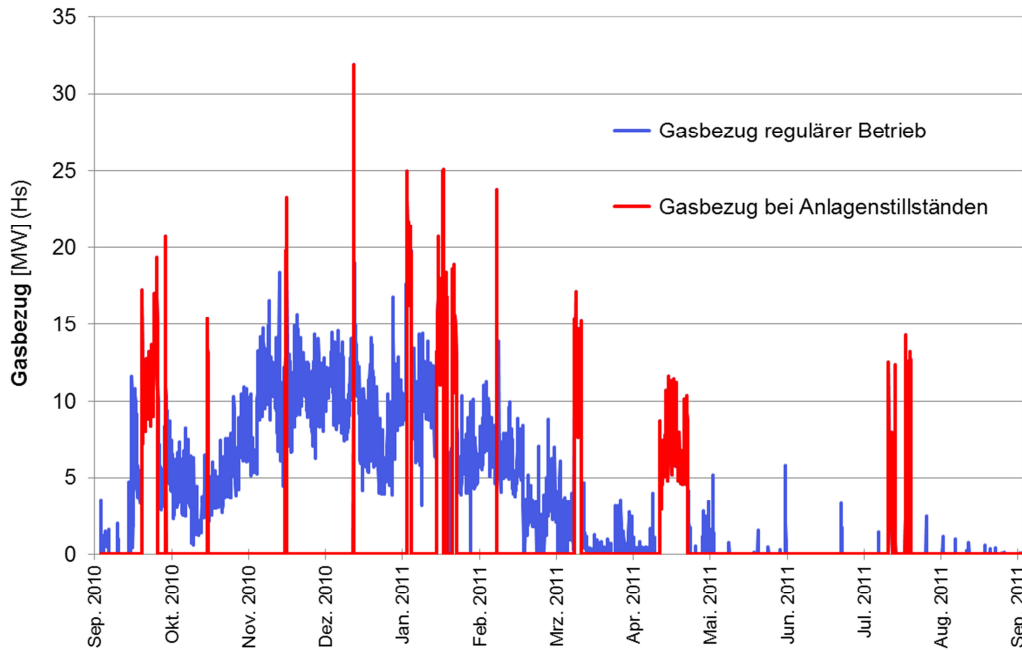


Abb. 1: Gasbezug Beispielanlage

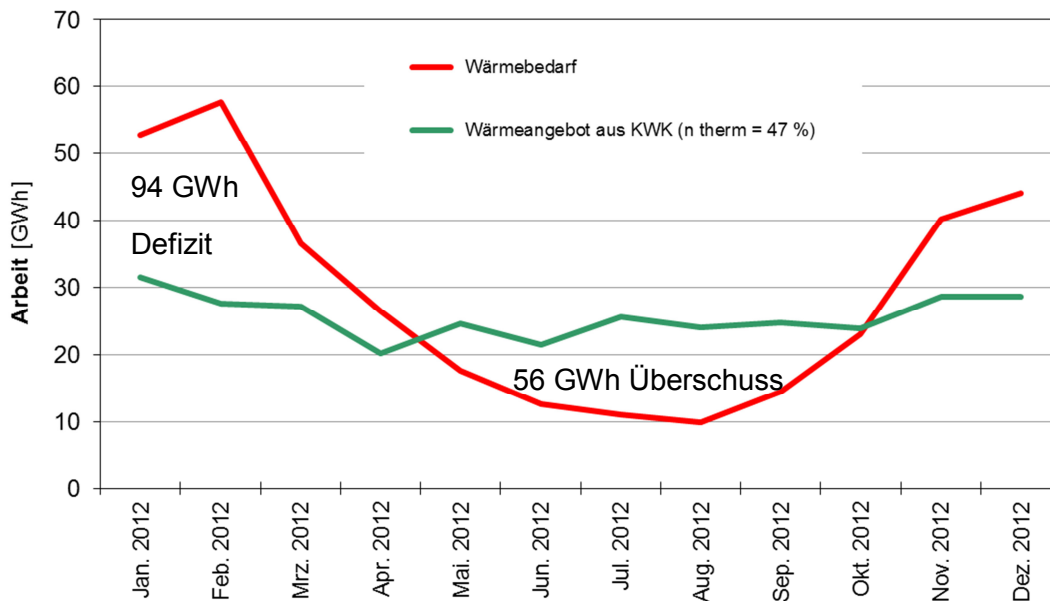


Abb. 2: Wärmeangebot aus KWK und Wärmenachfrage in AG 2 (2012)

2.1.3. Potenziale in Anlagengruppe 3

Die durch Wärmespeicher erzielbaren Vorteile in Anlagengruppe 3 beschränken sich im Wesentlichen auf eine Optimierung des Gaslastgangs. Dabei steht weniger eine Reduktion des Brennstoffeinsatzes im Vordergrund als eine Vermeidung von extremen Lastspitzen und eine Vergleichmäßigung des Anlagenbetriebs. Dieses Potenzial wurde bereits in der Vergangenheit erkannt und weitgehend ausgeschöpft. In vier der sechs Anlagen ist ein Heißwasser-Pufferspeicher von jeweils 150 m³ in Betrieb. Eine weitere Anlage wird in naher Zukunft im Zuge einer Modernisierungsmaßnahme ebenfalls um einen Pufferspeicher dieser Größenordnung ergänzt.

2.1.4. Potenziale in Anlagengruppe 4

Die Verwendungsmöglichkeiten für Wärmespeicher in Anlagengruppe 4 sind limitiert. In dieser Gruppe sind Kostenvorteile durch Lastgangoptimierung denkbar. Bei den fraglichen Standorten handelt es sich jedoch fast ausschließlich um kleine Anlagen mit überschaubaren Brennstoffumsätzen (3 – 30 GWh/a). Winterliche Lastspitzen im Gasbezug werden häufig bereits durch den gezielten Einsatz von Heizöl vermieden, oder durch entsprechende Restriktionen in der Anlagensteuerung begrenzt. In den Sommermonaten werden Kessel mit kleiner Leistung eingesetzt. Diese Wärmeerzeuger besitzen Regelbereiche, mit denen die geringe Sommerlast kontinuierlich bereitgestellt werden kann. Ein unwirtschaftlicher Taktbetrieb (periodisches An- und Abfahren der Anlage) wegen Unterschreitung der Minimallast unterbleibt.

2.1.5. Potenziale in Anlagengruppe 5

Auch bei vollständigem Fremdbezug der Wärme sind Szenarien möglich, die den Einsatz eines Wärmespeichers rechtfertigen können. Bei der Erzeugung von Prozesswärme werden die Kesselanlagen entweder bedarfsorientiert oder mit gleichbleibender Leistung betrieben. Im ersten Fall hat die Abwärme ihren Ursprung in einer mehrstufigen Nutzung der erzeugten Prozesswärme. Beispielsweise kann bei Erzeugung von Prozessdampf der Kondensat-Rücklauf für Heizzwecke genutzt werden. Im zweiten Fall steht die Wärmeüberproduktion für die Versorgung eines Fernwärmenetzes zur Verfügung. In beiden Fällen ist der zeitliche Verlauf des Wärmeangebots eng mit dem Eigenbedarf des Industriebetriebs verknüpft. Sofern das periodisch schwankende Wärmeangebot nicht zu jedem Zeitpunkt den Wärmebedarf des Fernwärmenetzes deckt, muss gezielt zusätzliche Wärme erzeugt werden. Alternativ können mit Hilfe eines geeigneten Speichers temporäre Wärmeüberangebote dazu genutzt werden, kritische Bedarfs- spitzen zu decken (siehe Abb. 3; grün = Überangebot, blau = Wärmedefizit).

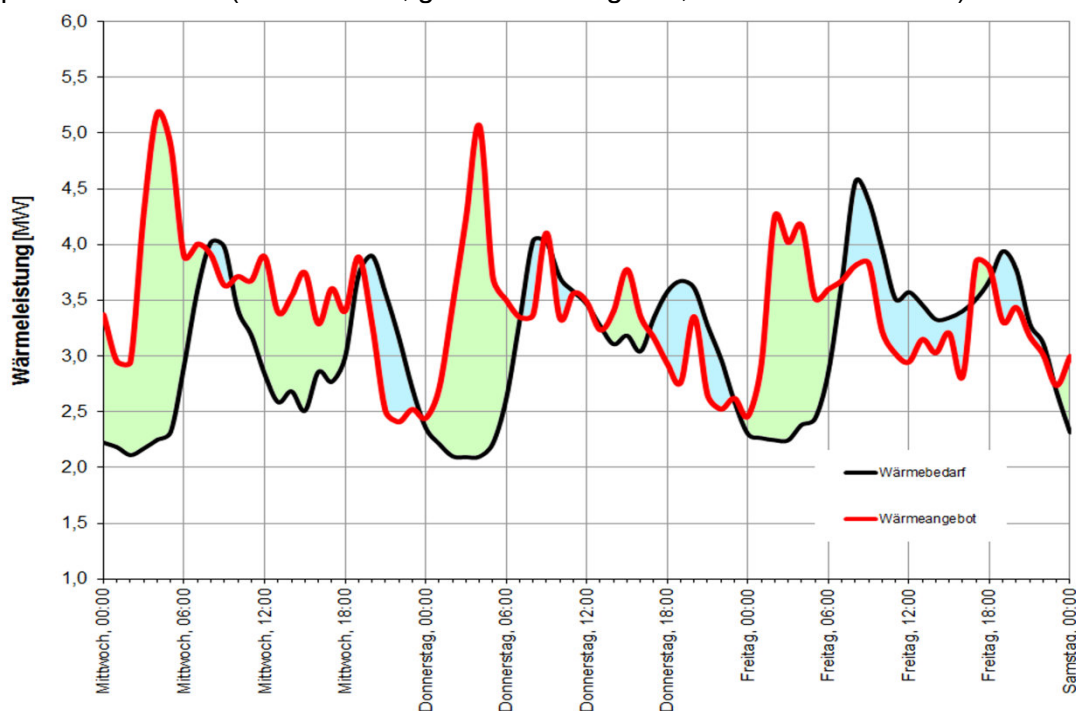


Abb. 3: Lastgänge Wärmeangebot (industrielle Abwärme) und Wärmebedarf (fiktive Lastgänge)

2.1.6. Potenziale in Anlagengruppe 6

Die möglichen Vorteile, die in dieser Gruppe durch den Einsatz von Wärmespeichersystemen erzielt werden können, variieren stark zwischen den einzelnen Standorten.

Das Sparpotenzial für reine Heizwerke mit Heißwasser- oder Dampferzeugung kann analog zu Anlagengruppe 4 als gering eingeschätzt werden. Zwar ergeben sich aus den Produkti-

onsabläufen andere Lastkurven als bei Anlagengruppe 4 (siehe Abb. 4), diese sind jedoch weitestgehend planbar da weniger witterungsabhängig. Sind, wie in Abb. 4 dargestellt, regelmäßige Aufheizvorgänge zu verzeichnen, könnte mit Hilfe geeigneter Wärmespeicher zusätzlich eine Warmhaltung der Kesselanlage realisiert werden. Neben der Vermeidung der Gaslastspitze resultiert hieraus auch eine Reduktion des Anlagenverschleißes.

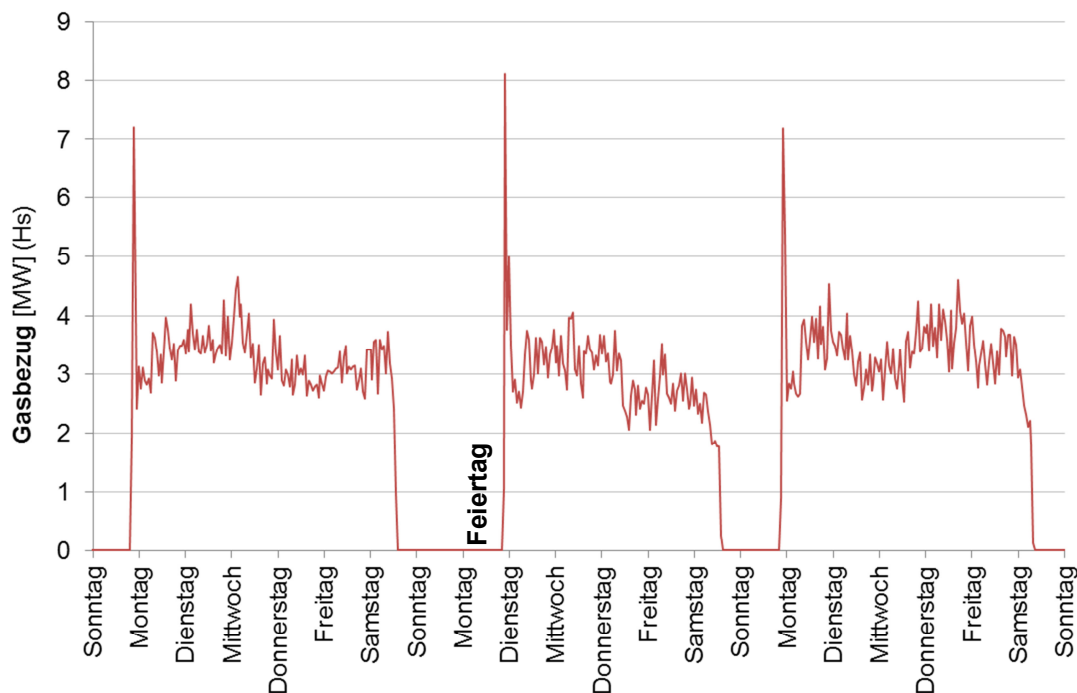


Abb. 4: Gaslastkurve eines Industrieunternehmens mit Aufheizlastspitzen

In anderen Situationen kann der Einsatz eines Wärmespeichers die Warmhaltung oder den Stand-by-Betrieb eines Reservekessels vermeiden helfen. Müssen Produktionsanlagen gesichert betrieben werden oder müssen sogar geringe Schwankungen in Temperatur, Druck und Menge des Dampfes vermieden werden, müssen entsprechende Leistungsreserven kurzfristig abrufbereit sein. Große Kesselanlagen besitzen eine gewisse Trägheit im Anfahrverhalten, d. h. bis die volle Leistung abgerufen werden kann, vergehen auch bei einer Warmhaltung des Kessels einige Minuten. Zusätzlich muss vor jedem Brennerstart ein definierter Luftaustausch im Brennraum erfolgen, der zusätzliche Zeit kostet und die Differenz zwischen Innentemperatur und Betriebstemperatur weiter vergrößert. Aus diesen Gründen werden Besicherungskessel bei derartig hohen Anforderungen an die Besicherung auf geringster Leistungsstufe permanent parallel mitbetrieben. Gelingt es, die Zeitspanne bis zum Erreichen der vollen Leistung des Besicherungskessels mit der Entladung eines Wärmespeichers zu überbrücken, kann auf den Stand-by-Betrieb und ggf. eine Warmhaltung verzichtet werden. Die Anforderungen an ein Wärmespeichersystem, das für diese Zwecke in Frage kommt, sind vergleichsweise hoch:

- Konstante Entladeleistung auf dem Niveau des Besicherungskessels
- Weitgehend identische Dampfparameter und Dampfmenen
- Geringe Anfahrverzögerung
- Ausreichende Kapazität zur Überbrückung der Anfahrzeit des Kessels

2.2. Fazit der Potenzialstudie

Die Potenziale in Anlagengruppe 1 sind trotz der Größe der Gruppe sehr gering. Die erweiterten Absatzmöglichkeiten für Wärme durch mobile Wärmespeicher werden die zur Verfügung stehenden Wärmemengen nur zu einem geringen Anteil ausschöpfen können. Neben den Einschränkungen, die sich aus den Eigenschaften der Speichersysteme ergeben, ist dieser Umstand auch auf die Wahl der Standorte und damit auch der Anlagentechnik der Biomassekraftwerke zurückzuführen.

Für Anlagengruppe 2 ergeben sich dagegen gleich mehrere Möglichkeiten. Der Transfer des sommerlichen Wärmeüberschusses in die Heizperiode stellt zwar technisch eine große Herausforderung dar, bietet im Gegenzug jedoch erhebliches Sparpotenzial durch eine massive Reduktion des Brennstoffeinsatzes. Eine weniger radikale, aber dennoch rentable Maßnahme ist die Einbindung von Heißwasserspeichern, die in den Übergangszeiten dazu beitragen können, den Gaseinsatz zu reduzieren. Bei ausreichender Dimensionierung können diese Speicher zur Lastgangoptimierung eingesetzt werden.

Wärmespeicher können auch in Anlagengruppe 3 sehr sinnvoll eingesetzt werden. Dieses Potenzial wurde jedoch bereits in der Vergangenheit erkannt und nahezu vollständig umgesetzt.

In Gruppe 4 bieten sich kaum Einsatzmöglichkeiten für Wärmespeicher. Die für größere Heizwerke denkbare Lastgangoptimierung ist teilweise auch mit einfacheren technischen Maßnahmen machbar. Des Weiteren werden die größeren Heizwerke, für die eine solche Optimierungsmaßnahme lohnenswert wäre, in naher Zukunft zu BHKW (mit Wärmespeicher) umgerüstet, wodurch diese Einsatzmöglichkeit für Wärmespeicher zusätzlich an Bedeutung verliert.

Die Potenziale in Anlagengruppe 5 können als vollständig ausgeschöpft betrachtet werden.

Zukünftige Anwendungsfelder für Hochtemperaturspeicher ergeben sich in Anlagengruppe 6. Für diese Gruppe sind jedoch kaum allgemeingültige Aussagen möglich. Die Zusammensetzung der Anlagen ist sehr heterogen. Es ist lediglich eine Fall-zu-Fall-Betrachtung möglich. Aus den vorhandenen Daten lassen sich Einsatzmöglichkeiten für leistungsfähige Speichersysteme erkennen.

Erstrebenswert wären Speichertechnologien, die mit geringem technischen Aufwand und Kosten höhere Energiedichten liefern können, als die weit verbreiteten Heißwasserspeicher. Bedarf für Speicherkapazitäten ist gegeben, jedoch werden die Speicher aus Kostengründen häufig kleiner dimensioniert als aus rein technischer Sicht wünschenswert wäre.