

4.2.2 Dimensionierung einer KWK-Anlage

In einem weiteren Schritt wurde das Heizungssystem am Institut um eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage erweitert. Gängige Planungsmethoden ziehen vor allem die Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs heran, um den Wärmeversorger (z. B. ein BHKW) zu dimensionieren. Diese Herangehensweise ist relativ einfach in der Handhabung, berücksichtigt aber kein Taktungsverhalten der Anlage, welches durch kurzfristige Schwankungen im Wärmebedarf auftreten kann. Als Beispiel sei ein BHKW mit einer angenommenen Wärmeleistung von 250 kW angeführt, welches laut Jahresdauerlinie gemäß Bild 4.13 etwa 3.300 h Volllaststunden im Jahr erreicht.

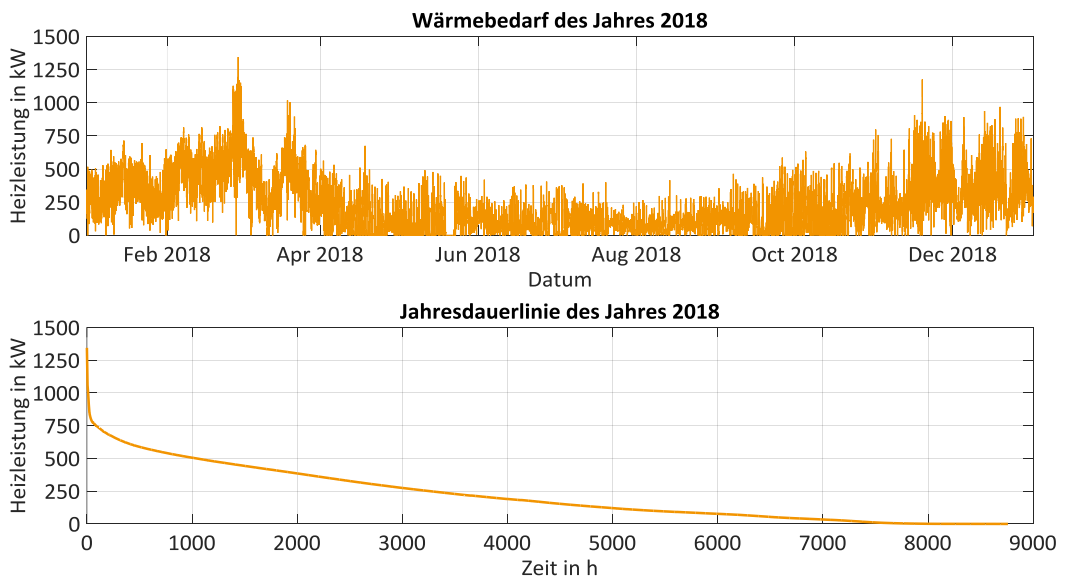


Bild 4.13: Wärmebedarf und Jahresdauerlinie des Fraunhofer IISB im Jahr 2018

Die tatsächliche Verteilung der Heizleistung im oberen Diagramm zeigt jedoch, dass das BHKW nicht kontinuierlich betrieben werden kann: Aufgrund der Schwankungen im Wärmebedarf treten ganzjährig Zeiträume auf, in denen die geforderte Heizleistung kurzfristig unterhalb von 250 kW fällt. Durch vordefinierte Zeiträume der Vorheizung und Nachkühlung des Motors sowie maximale Ein- und Ausschaltvorgänge pro Zeitintervall können somit relevante Betriebszeiträume nicht genutzt werden. Dieses Problem kann z. B. durch die Integration eines Pufferspeichers behoben werden. Eine effiziente und wirtschaftliche Dimensionierung dieses Speichers ist jedoch nicht trivial und kann nicht mehr allein auf Basis der Jahresdauerlinie erfolgen.

Um die Kombination aus BHKW und Pufferspeicher optimal zu dimensionieren, wurde eine dynamische Simulation des Heizungssystems durchgeführt. Hierfür wurde der gemessene Wärmebedarf der letzten Jahre herangezogen und mit verschiedenen BHKW- und Speichergrößen simuliert. Für die unterschiedlich dimensionierten Anlagen wurden entsprechende Kostenkurven hinterlegt. Häufige Start- und Stoppvorgänge des BHKWs wurden außerdem mit einem Kostenparameter belegt, welcher sich aus Annahmen für den erhöhten Verschleiß und Austausch von Komponenten des Antriebsstranges ergibt. Bild 4.14 zeigt exemplarisch die Anzahl der Abschaltvorgänge aufgrund einer Überschreitung der zulässigen Motorkühlwassertemperatur in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung des BHKWs.

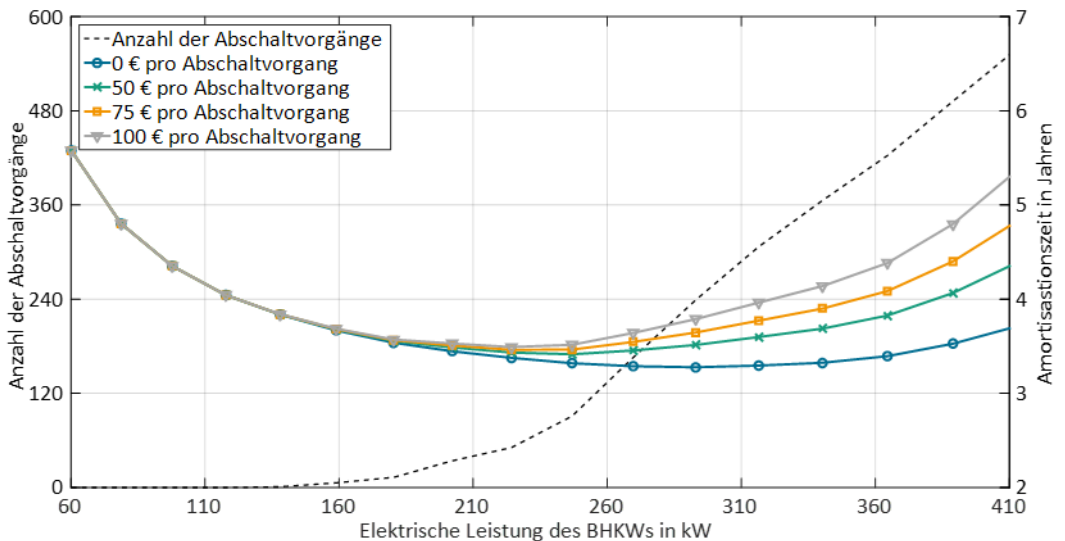


Bild 4.14: Amortisationszeiten verschiedener BHKW-Aggregate bei Berücksichtigung eines Kostenfaktors für Überhitzungsvorgänge¹

Durch die Annahme einer Kostenpauschale für jeden Abschaltvorgang wird die Amortisationszeit größerer BHKW-Aggregate gegenüber kleineren etwas reduziert. Im Falle der höchsten angenommenen Kostenpauschale von 100 € pro Abschaltung würde sich die optimale BHKW-Größe von 290 kW_{eI} auf etwa 220 kW_{eI} reduzieren. Die Betriebszeit des BHKWs sinkt bei dem größeren der beiden Aggregate um etwa 600 h. In Bild 4.15 sind die Volllaststunden, die Einsparungen sowie die Amortisationszeiten unterschiedlicher BHKW-Aggregate ohne Pufferspeicher gegenüberge-

¹ *Rauh, J., Simulation der thermischen Energieerzeugung im Verbund mit Wärmenetz, Blockheizkraftwerk und Pufferspeicher, Masterarbeit, Universität Erlangen-Nürnberg, 2015*

stellt. Mit einer Kostenpauschale von 75 € pro Abschaltvorgang ergibt sich ein Minimum für die Amortisationszeit bei Anlagen mit einer elektrischen Leistung von etwa 230 kW. Das Maximum der Kosteneinsparung ergibt sich dagegen bei einem Aggregat mit einer elektrischen Leistung von etwa 260 kW. Die beiden Größen müssen nicht korrelieren, da ein größeres Aggregat auch höhere Investitionskosten bedeutet.

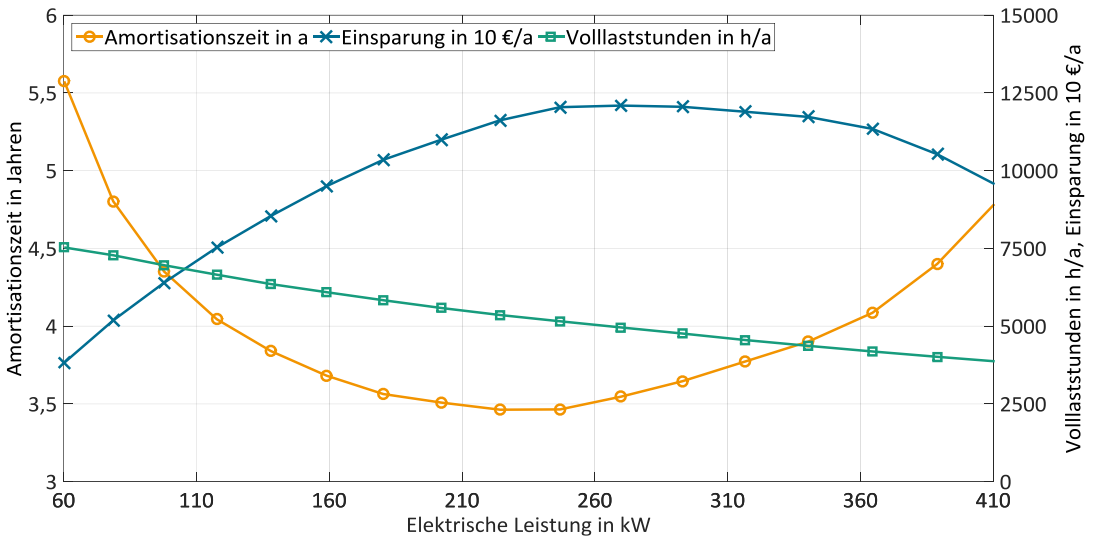


Bild 4.15: Einsparungen und Amortisationszeiten unterschiedlich dimensionierter BHKW Aggregate am Fraunhofer IISB (ohne Pufferspeicher)¹

Um den Einfluss eines Pufferspeichers auf die Amortisationszeit der KWK-Anlage zu untersuchen, wurden Simulationen mit unterschiedlichen Puffervolumina durchgeführt. Die Ergebnisse implizieren, dass die Amortisationszeit der KWK-Anlage in hohem Maße von der Speichergröße abhängt. Bild 4.16 zeigt, dass die Amortisationszeit bei einem Speichervolumen von etwa 23 m³ nur geringfügig oberhalb der Amortisationszeit der Anlage ohne Pufferspeicher (Bild 4.14) liegt. Dies bedeutet, dass die notwendigen Kosten für den Pufferspeicher inklusive der hydraulischen Integration durch eine längere Betriebszeit des BHKWs und somit einen höheren Anteil der Eigenversorgung mit Strom und Wärmeenergie nahezu vollständig kompensiert werden.

¹ *Rauh, J., Simulation der thermischen Energieerzeugung im Verbund mit Wärmenetz, Blockheizkraftwerk und Pufferspeicher, Masterarbeit, Universität Erlangen-Nürnberg, 2015*

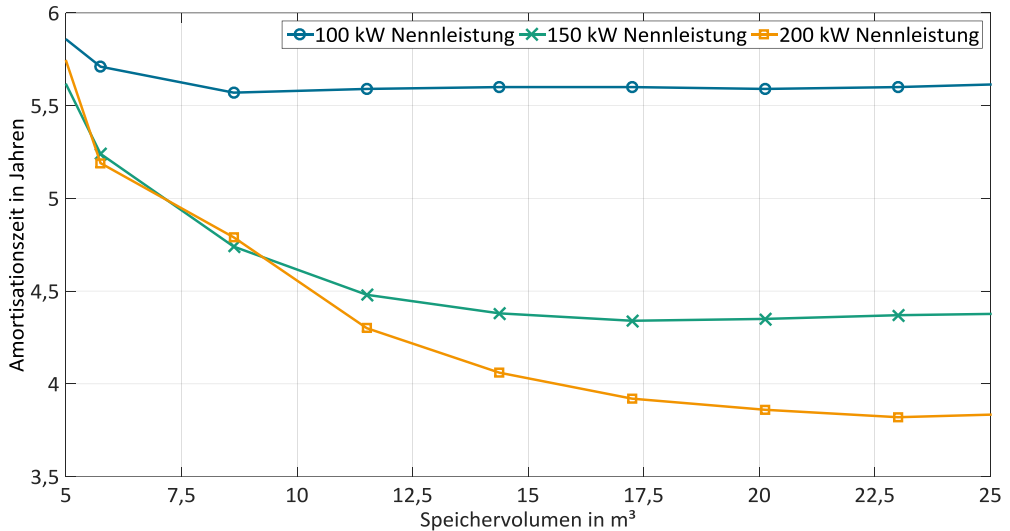


Bild 4.16: Amortisationszeit einer KWK-Anlage mit unterschiedlichen Pufferspeichervolumina¹

Die Integration eines Pufferspeichers ist somit auch vor dem Hintergrund der Betriebskostensenkung zu empfehlen. Nach der Amortisation der KWK-Anlage kann der Betreiber von einem höheren Anteil der Eigenversorgung mit Strom und Wärmeenergie profitieren und dadurch Betriebskosten gegenüber dem Szenario ohne Pufferspeicher einsparen. Zudem flexibilisiert der Pufferspeicher das BHKW und macht die Anlage somit auch für eine Reduktion von elektrischen Lastspitzen nutzbar (Kapitel 6).

Die vorangestellten Untersuchungen dienen der Dimensionierung einer KWK-Anlage unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Am Fraunhofer IISB wurde jedoch nicht nur die Amortisationszeit der Anlage als Grundlage für die Investitionsentscheidung herangezogen. Auch die Möglichkeit einer kontinuierlichen Leistungsreduktion, einer Brennwertnutzung sowie die Gewährleistung des Ausschlusses einer Rückspeisung in das elektrische Netz wurden berücksichtigt. Auf Basis dieser Anforderungen wurde ein BHKW mit einer elektrischen Nennleistung von etwa 150 kW ausgewählt, welches nicht das wirtschaftliche Optimum der Anlage nach Bild 4.16 darstellt. Ebenso wäre für eine wirtschaftliche Nutzung des Wärmespeichers ein Volumen von etwa 17 m³ ausreichend gewesen. Um Reservekapazitäten für den Einsatz des BHKWs zur Reduktion elektrischer Lastspitzen vorzusehen, fiel die Entscheidung dennoch

¹ *Rauh, J., Simulation der thermischen Energieerzeugung im Verbund mit Wärmenetz, Blockheizkraftwerk und Pufferspeicher, Masterarbeit, Universität Erlangen-Nürnberg, 2015*

für ein Puffervolumen von 24 m^3 . In Bezug auf den Heizwert des Brenngases besitzt die ausgewählte KWK-Anlage einen Primärenergiefaktor von 0,026, welcher deutlich unterhalb der Werte der meisten Fernwärmeversorgungssysteme liegt (Abschnitt 4.2.1). Die Berechnung des Primärenergiefaktors erfolgte auf Basis der DIN-Vornormen 18599-1 und 18599-9, wobei ein Wärmeverlust von 2 % angenommen wurde. Diese Annahme berücksichtigt auftretende Wärmeverluste an das Erdreich, da ein kurzer Abschnitt der Versorgungsleitungen im Außenbereich geführt wird. Das Hauptgebäude wird unterirdisch mit Leitungen im Erdreich mit dem Erweiterungsgebäude verbunden, wo die Einspeisung des BHKWs erfolgt. Im Brennwertbetrieb der KWK-Anlage wird sogar ein Primärenergiefaktor von 0,019 bezogen auf den Heizwert erreicht. Die aktuelle Installation der KWK-Anlage im Erweiterungsgebäude des Instituts ist auf Bild 4.17 dargestellt. Die Inbetriebnahme des BHKWs erfolgte im März 2019.



Bild 4.17: Heizungszentrale mit Kraft-Wärme-Kopplung im neuen Erweiterungsbau des Fraunhofer IISB, (Bild: Kurt Fuchs / Fraunhofer IISB)

Bild 4.18 zeigt die Einspeisung von elektrischer und thermischer Energie in das Gebäudesystem des Instituts sowie den Gesamtladezustand der Wärmepufferspeicher über einen Zeitbereich von etwa zwei Wochen im April 2019.

Das obere Diagramm in Bild 4.18 zeigt, dass das BHKW vorrangig mit Brennwertnutzung betrieben wird. Hierbei wird eine thermische Leistung von über 200 kW bereitgestellt, während der Heizwertbetrieb nur etwa 185 kW liefert. Die großen Schwankungen in der Wärmeleistung sind dabei auf Volumenstrom- und Temperaturschwankungen im Heizungssystem zurückzuführen. Im Gegensatz zur thermischen ist die

elektrische Leistung des BHKWs mit etwa 150 kW relativ konstant. Der Verlauf des Pufferladezustands im unteren Diagramm zeigt, dass das BHKW bei niedrigem Wärmebedarf zunächst den Pufferspeicher belädt, bevor das BHKW abgeschaltet wird. Vor einem erneuten Wiedereinschalten des BHKWs sorgt die Steuerung für eine Entladung des Pufferspeichers auf einen minimalen Wert von etwa 10 %. Ein Ladezustand von 70 % wird im vorliegenden Fall nicht überschritten, um genug Reservekapazität für eine Lastspitzenreduktion vorzuhalten. Eine Ausnahme bildet der 15. April, da der Speicher an diesem Tag durch einen Lastspitzenbetrieb des BHKWs bis auf 80 % beladen wurde. Erste Messungen bestätigen eine gute Korrelation zwischen den simulierten und den gemessenen Betriebsdaten des BHKWs. Es kann daher von einer hohen Genauigkeit der angewandten Simulationsmethodik sowie einer entsprechenden Übertragbarkeit auf andere Systeme ausgegangen werden.

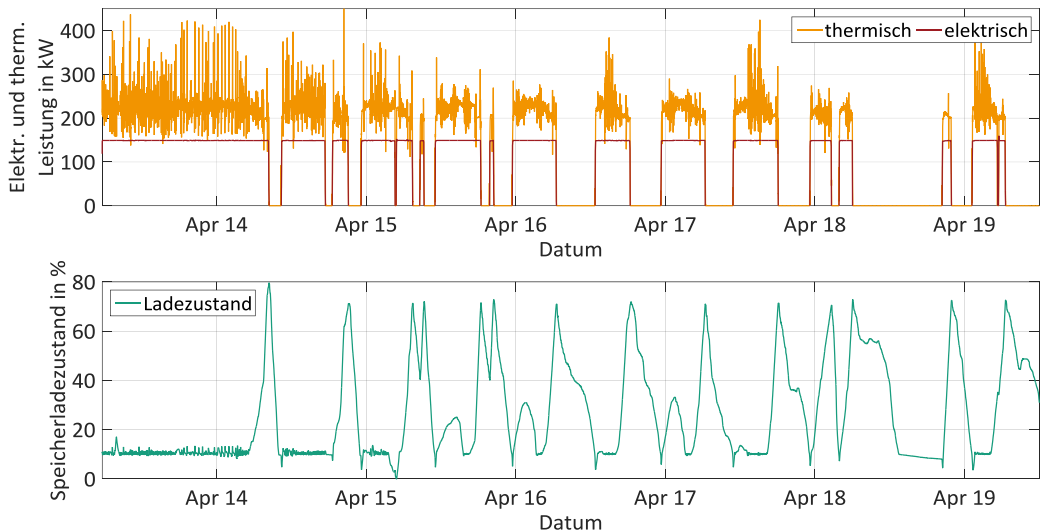


Bild 4.18: Bereitgestellte elektrische und thermische Leistung sowie Ladezustand des Pufferspeichers im April 2019

4.3 Effizienzmaßnahmen in Kältesystemen

Im Bereich Kältesysteme wurden am Fraunhofer IISB unterschiedliche Herangehensweisen untersucht, um die Effizienz der Anlagen zu optimieren und somit den elektrischen Energiebedarf zu senken. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Verschie-