

Speichermanagement und Reduzierung der Wärmeerzeugerleistung

Johannes Goeke¹

Abstract

Die jahrelang geübte Praxis, die Leistung von Wärmeerzeugern an den größten Bedarf der sogenannten Spitzenlast inklusive diverser Zuschläge anzupassen, führte zu installierten Leistungen in stark überhöhter Größenordnung. Dies veranlasste den Wärmeerzeuger im Betrieb zu starken Taktungen und dabei stellten sich ineffiziente Betriebspunkte ein. Die Anpassung von Wärmeerzeugern an die Spitzenlast ist aber beim Einsatz von Wärmespeichern nicht mehr notwendig. Dieses Vorgehen setzt voraus, dass die Größenordnung von Speichern den bisher bekannten Rahmen verlässt und in Größenordnungen vordringt, die dem energetischen Wärmeinhalt eines vier bis achtfachen des Spitzenbedarfs entsprechen. Dann kann in der Regel die installierte Wärmeerzeugerleistung um mehr als die Hälfte reduziert werden. Grund dafür sind die periodischen Wärmebedarfsschwankungen zwischen Tag und Nacht, die häufig bei der Wärmebedarfsdeckung in Gebäuden auftreten. Der Paradigmenwechsel beinhaltet die Gleichwertigkeit von klassischen Wärmeerzeugern - wie zum Beispiel Gaskessel - und den Wärmespeichern, die dann als gleichwertige Wärmeversorger zu behandeln sind.

1. Einleitung

Der Einsatz von Speichern direkt in der Wärmeversorgung ist heute etabliert und Stand der Technik, wenn konventionelle Wärmeerzeuger unterstützt werden sollen. Mittlerweile hat der thermische Speicher aber weitere Aufgaben bei der Nutzung von erneuerbarer Energie und im Wärmemanagement übernommen. Bild 1 macht den Dreiklang aus Speicher, Wärmeerzeugung und dem Gebäude deutlich, wobei der Speicher einmal als Empfänger von Energie auftritt, aber in seiner zweiten Funktion auch als Sender. Er übernimmt aktiv die Rolle eines Wärmeerzeugers im System und im Falle von Latentwärmespeichern ist dieser auch in der Lage konstante Temperaturen zu liefern. Der Paradigmenwechsel beim Einsatz von thermischen Speichern von einer Hilfsfunktion in der Wärmeversorgung hin zu einem gleichberechtigten Partner bei der Bedarfsdeckung ist unerlässlich, um die Wärmewende zu vollziehen.

¹ Johannes Goeke, Institut für Technische Gebäudeausrüstung, TH Köln

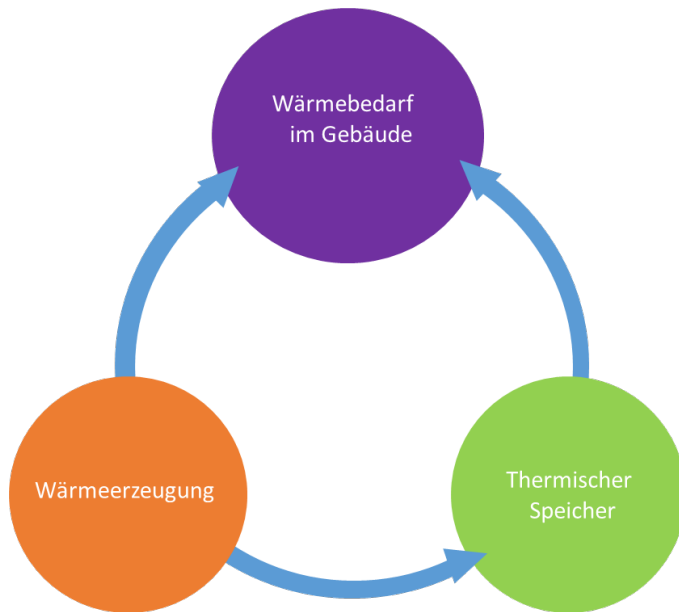


Bild 1 Speicher als gleichberechtigter Wärmelieferant im Gebäude

In der Vergangenheit wurden immer wieder Strategien für den Einsatz und die Integration von thermischen Speichern in Wärmeversorgungsanlagen entwickelt [1-2]. Zum Zweck der Klassifizierung beim unterschiedlichen Einsatz von Wärmeerzeugern wurde bereits eine neue Klassifizierung des Grundlast- und des Spitzenlastbereichs² definiert. Dazu wurde ein neuer Mittellastbereich eingeführt, der eine bessere Zuordnung der Arbeitsbereiche erlaubt. So lassen sich Laufzeiten von Wärmeerzeugern und Speichern besser zuordnen und erfolgreich aufeinander anpassen [3, 4].



Bild 2 Schulzentrum mit Integration aller Schulformen und drei Turnhallen

² Die Begriffe Bedarf und Last haben sich in ihren Bezeichnungssituationen etabliert und werden synonym verwendet.

In Bild 2 sind Gebäude eines Schulzentrums mit allen Schulformen und drei Turnhallen abgebildet. Der Wärmebedarf - aufgeschlüsselt nach 8760 Jahresstunden - soll dazu dienen, die Diskussion um die Nutzung von Speichern bei großen Wärmebedarfsschwankungen innerhalb von 24 Stunden zu veranschaulichen. Zur Charakterisierung der Wärmebedarfsschwankungen ist eine stündliche Analyse des täglichen Bedarfs die Voraussetzung, siehe Bild 3. Es fällt auf, dass bei der starken Leistungsreduzierung während der Nachtabsenkungen Reserven zur Be-
ladung eines Speichers zur Verfügung stehen.

- **Bedarfsspitzen und periodische Schwankungen**

In einer Vielzahl von Anwendungsfällen dient der Speicher lediglich kurzzeitiger Aufnahme bzw. Abgabe von Wärme. Typische Schwankungen sind durch den täglichen Tag-Nachtrhythmus bedingt. Dazu kommen Spitzen innerhalb von Büroarbeitszeiten oder Belegung von Klassenräumen und der dadurch bedingten Beanspruchung von Raumluftechnischen Anlagen (RLT) sowie der industriellen Produktion innerhalb von Gebäuden. In Bild 3 sind die täglichen Schwankungen des Wärmebedarfs eines Schulzentrums in der Nähe von Köln innerhalb der ersten Aprilwoche abgebildet [3]. In den Morgenstunden beginnt die starke Aufheizung, um danach die Leistung zu reduzieren und am späten Nachmittag wieder auf ein Grundniveau zurückzukehren. Die täglichen Leistungsschwankungen sind mit ca. 550 kW und 85 % des Maximalbedarfs also erheblich.

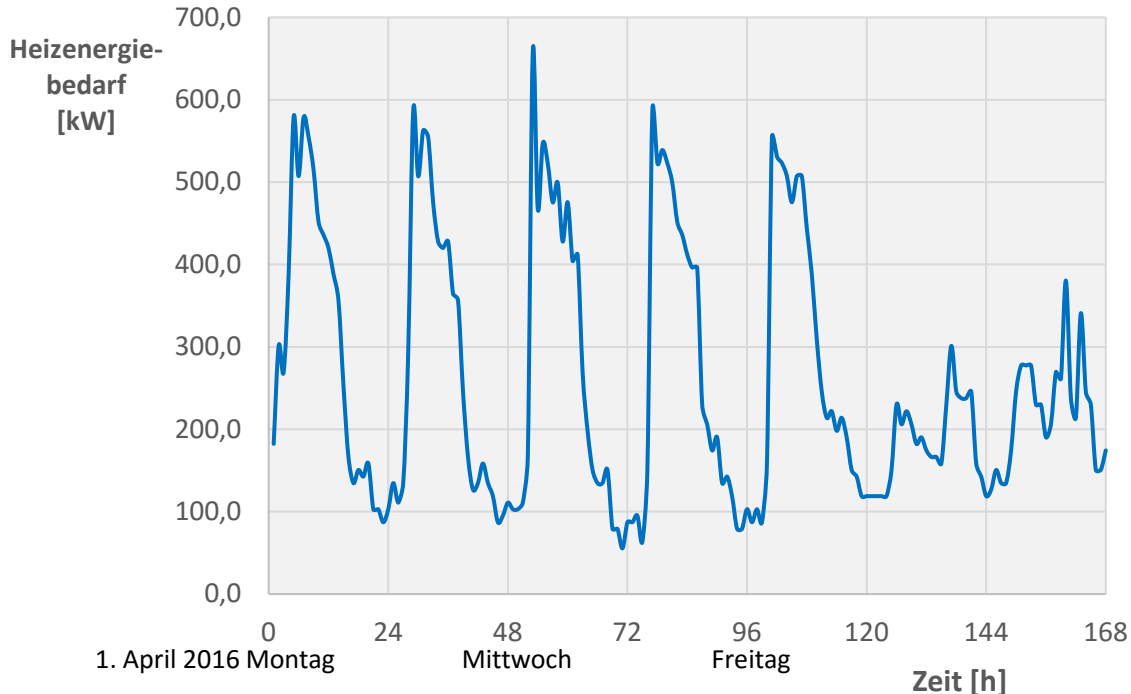


Bild 3 Periodischer Tag-Nachtwechsel des Heizenergiebedarfs eines Schulzentrums

Die Bereitstellung von Warmwasser für drei Turnhallen führt zu einer Grundauslastung und am Wochenende ist die Reduktion des Wärmebedarfs durch den geringeren Publikumsverkehr deutlich sichtbar. Deutlich zu erkennen ist auch die kurze Zeitspanne, in der eine hohe

Wärmeerzeugerleistung verlangt wird. Eine wenig geübte Praxis bei der Planung der Wärmeversorgung ist die Analyse von Tagesdauerlinien. In den täglichen Arbeitsschritten der Planungsbüros kommt sie nicht vor. Wenn es allerdings darum geht, die Reserven der Wärmeerzeugung über 24 Stunden auszuloten, so kann die Analyse dennoch gute Hinweise liefern. Im Bild 4 sind die geglätteten Tagesdauerlinien von Montag bis Freitag aus Bild 3 abgebildet, dazu die Tagesdauerlinie mit dem kältesten Tag des Jahres bzw. größtem Wärmebedarf. Der Verlauf folgt immer einem ähnlichen Muster, so dass nach ca. 6 Stunden nur noch die Hälfte der Wärmeerzeugungsleistung benötigt wird.

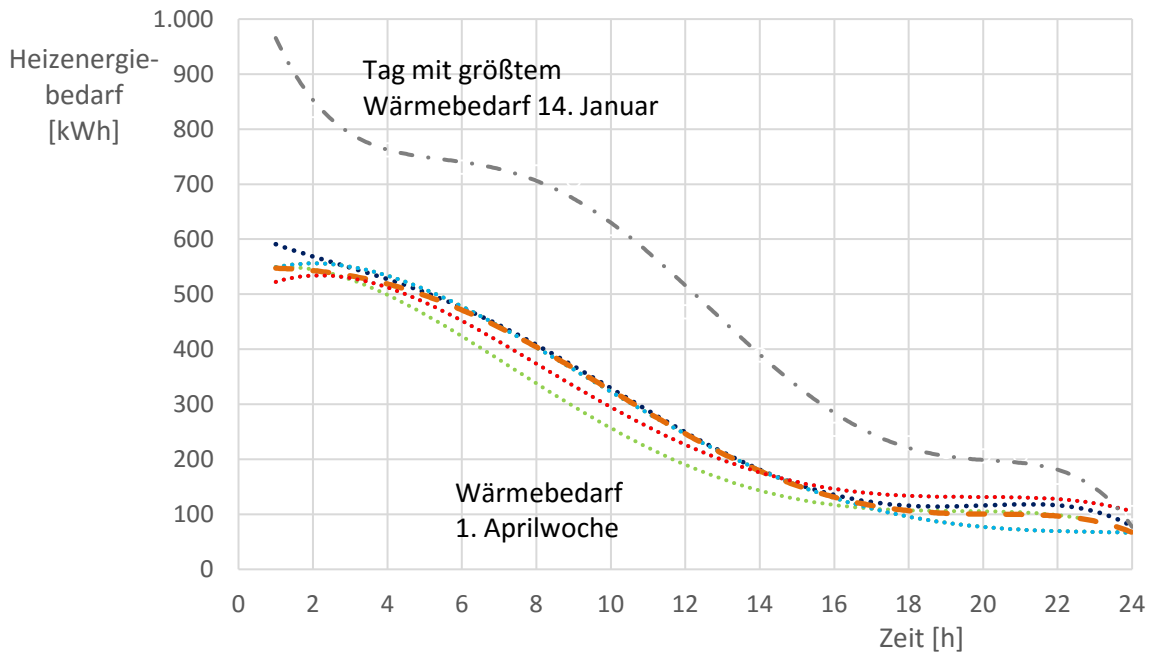


Bild 4 Tagesdauerlinien Montag – Freitag und Tag mit dem größten Wärmebedarf zum Vergleich

Bei dieser täglich wiederkehrenden Schwankungsbreite im Wärmebedarf bietet sich der Einsatz eines Speichers nicht nur an, sondern ist unverzichtbar, wenn man eine effiziente und kostengünstige Energieversorgung betreiben möchte. Dazu bedarf es Betriebsstrategien, die nachfolgend erläutert werden sollen.

2. Wärmebedarfsschwankungen und Leistungsreduzierung

Die jahrelang geübte Praxis, die Leistung des Wärmeerzeugers an den größten Bedarf (der sogenannten Spitzenlast) inklusive diverser Zuschläge anzupassen, ist beim Einsatz von genügend großen Wärmespeichern nicht mehr notwendig. In der Regel kann die installierte Wärmeerzeugerleistung um mehr als die Hälfte reduziert werden. Grund dafür sind die periodischen Wärmebedarfsschwankungen zwischen Tag und Nacht, wie sie zuvor beschrieben wurden. Ziel ist es, den klassischen Wärmeerzeuger - wie zum Beispiel Gaskessel - und den Wärmespeicher als gleichwertige Wärmeversorger zu behandeln. Zur Charakterisierung der Wärmebedarfsschwankungen ist eine stündliche Analyse des täglichen Bedarfs die Voraussetzung.

Betrachtet man sowohl gemessene Wärmebedarfsverläufe als auch simulierte Wärmebedarfsverläufe, dann fällt auf, dass sie stark von Nachtabsenkungen geprägt sind. Diese periodische Schwankungsbreite lässt sich durch das Verhältnis des Bedarfs einzelner Tage $\dot{Q}_{max,d}$ zum Tagesmaximalwert in diesem Jahr $\dot{Q}_{max,y}$ - also dem Spitzenbedarf - abbilden. Alternativ wählt man den Tagesbedarf und bezieht ihn auf die installierte Spitzenleistung der Wärmeerzeuger. Durch diese Vorgehensweise erhält man ein Verhältnis, das die Stärke der Schwankung oder auch Variabilität **Var** ausdrückt. Dieses Verhältnis wird durch folgende Gleichungen beschrieben,

$$Var_{\dot{Q},y} = \frac{\dot{Q}_{max,d}}{\dot{Q}_{max,y}} ; Var_{\dot{Q},inst} = \frac{\dot{Q}_{max,d}}{\dot{Q}_{max,installiert}} \quad (1)$$

Mit Hilfe der Variabilität wird deutlich, wie oft bzw. an welchen Tagen ein Bedarf als Prozentanteil vom Spitzenbedarf auftritt und welche Reserven verfügbar sind. So bedeutet ein $Var_{\dot{Q},y}$ von 0,5 dass an diesem Tag 50 % des Spitzenbedarfs auftritt. Ein $Var_{\dot{Q},inst}$ bedeutet einerseits, dass 50 % der installierten Leistung benötigt werden, aber andererseits auch, dass 50 % der installierten Leistung für die Beladung eines Speichers zur Verfügung steht.

Wie der Verlauf des Wärmebedarfs in Bild 3 zeigt, sind die Schwankungen im Wärmebedarf mit ca. 550 kW erheblich. Bei dieser periodischen Schwankungsbreite bietet sich der Einsatz eines Speichers nicht nur an, sondern ist unverzichtbar, wenn man eine effiziente und kostengünstige Energieversorgung betreiben möchte. Der Einsatz eines Speichers im Bereich der 4 bis 8-fachen Wärmeerzeugerleistung führt in Folge dessen zu einer Reduzierung der Wärmeerzeugerleistung und Erhöhung der Vollbenutzungsstunden des BHKW.

- **Wärmeerzeugung in einem Schulzentrum**

Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise zur Integration eines Speichers in ein bestehendes Versorgungsnetz wird auf Monitoring-Daten eines Schulzentrums im Kölner Süden [5] zurückgegriffen. In Bild 5 ist die Wärmeerzeugung skizziert.

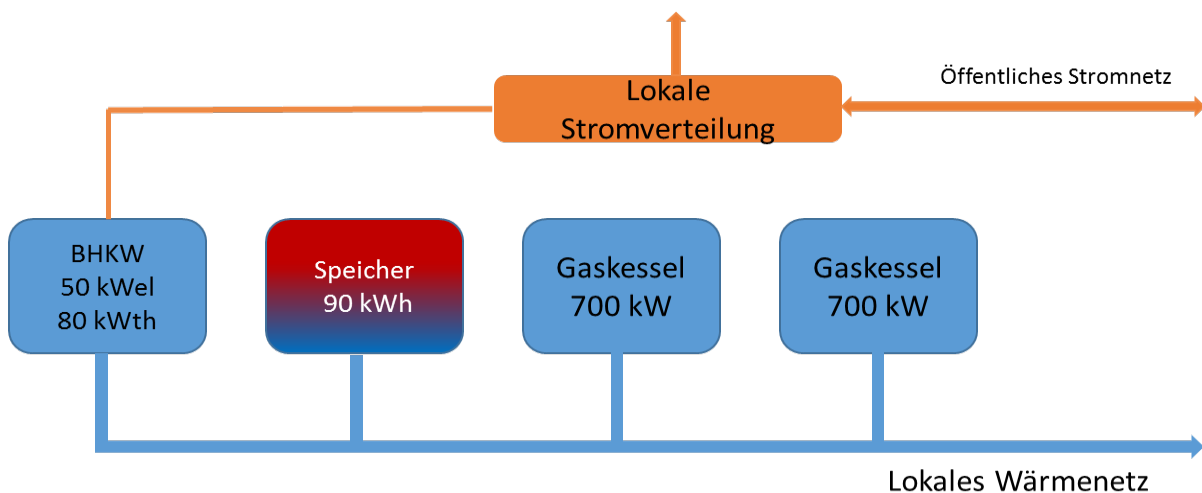


Bild 5 Wärmeerzeugung des Schulzentrum Köln Süd

Sie besteht aus zwei Gaskesseln mit je 700 kW Leistung und einem BHKW mit 80 kW thermischer Leistung sowie einem thermischen Speicher mit einem Wärmehalt von 90 kWh, der nur die Aufgabe hat, die Kurzzeitschwankungen im Bedarf auszugleichen.

Das heißt, es wurde bereits ein Speicher installiert, aber mit einem Wärmehalt von 90 kWh, der in keiner Weise die Voraussetzung des Energiedreiecks (Bild 1) erfüllt. Die Analyse der Daten dient der Orientierung zur Neubestimmung der Leistung der Wärmeerzeuger und des Wärmehalts des neuen Speichers. Der Focus liegt auf der Einsparung von Investitionen auf Seiten der Wärmeerzeuger.

3. Die relevanten Parameter für die nachfolgende Analyse lauten:

- *Installierte Leistung* 1.400 kW
- *Maximal notwendige Leistung* 983 kW
- *Maximal verfügbare Tageswärmemenge* 33.600 kWh
- *Maximaler Tageswärmebedarf + TWW* 12.049 kWh
- *Benötigte Wärmeerzeugerleistung mit Speicher* 12.049 kWh/24 h = 502 kW

Die notwendige Spitzenleistung von 983 kW dient im Weiteren als Referenz der maximal zu installierenden Leistung. So bezieht sich die maximale, integrale Tageswärmemenge in der obigen Auflistung auf den Tag mit dem - für wenige Stunden - notwendigen Spitzenbedarf von jeweils 983 kW. Die Wärmeleistung des BHKW bleibt zunächst unberücksichtigt. Betrachtet man die großen Unterschiede im Wärmebedarf über 24 Stunden, so würde es ausreichen, eine Wärmepumpe oder einen Gaskessel mit 500 kW dauerhaft zu betreiben und den weiteren Tagesbedarf aus dem Speicher zu bedienen.

Die maximal während eines Jahres benötigte Tagesleistung (Spitzenleistung) mit 983 kW wird jetzt als Referenzwert genutzt, um sichtbar zu machen, welche Maschinenleistung innerhalb von 12 (24) Stunden zur Befüllung eines Speichers zur Verfügung steht. Bild 6 zeigt den Verlauf der Schwankungsbreite der Leistung als Verhältnis von minimaler zu maximaler Tagesleistung. Nur an 3 Tagen im Dezember und Januar werden in einer Stunde 100 % der Spitzenleistung verlangt. An allen anderen Tagen reicht eine geringere Leistung aus.

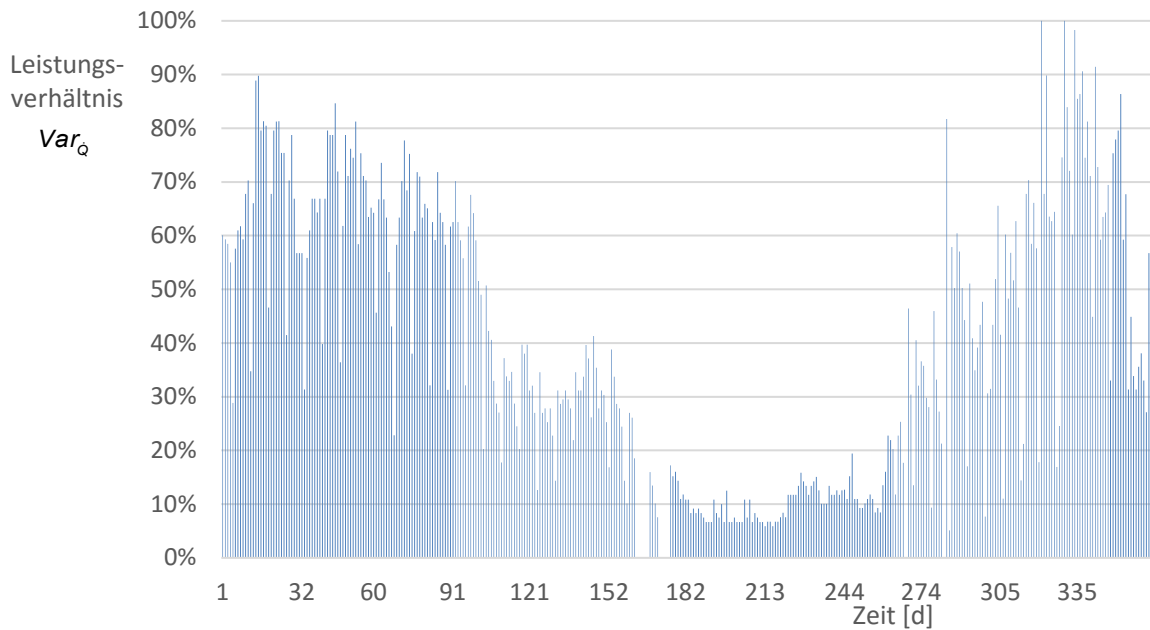


Bild 6 Schwankungsbreite der Leistungen der einzelnen Tage bezogen auf die Spitzenleistung

Die in Bild 6 gezeigte Schwankungsbreite der Leistungen vermittelt allerdings noch ein zu grobes Bild, da die maximale Leistung eines Tages nur in ein oder zwei Stunden abgerufen wird. Daher ist es sinnvoller, die bereitzustellende Wärmemenge über 12 Tagesstunden (7:00 – 19:00 Uhr) mit der maximal möglichen Energiemenge des Wärmeerzeugers zu vergleichen, damit lässt sich die Tagesreserve sichtbar machen. Die Bestimmungsgleichung lautet,

$$Var_Q = \frac{1}{12} \frac{\sum_{i=7}^{19} Q_{min,i}}{Q_{max,Peak}} \quad (2)$$

Mit dieser integralen Betrachtung ergibt sich weiterer Spielraum, mit überschüssiger Maschinenleistung den Speicher zu beladen. Die Vollauslastung liegt bei $VAR_Q = 1$. Werte unterhalb 1 bedeuten die Wärmeerzeugung arbeitet unterhalb der Vollauslastung. Die Kapazität für die Beladung eines Speichers lautet dann $1 - VAR_Q$. Je kleiner VAR_Q ausfällt, desto größerer ist der Versorgungsspielraum bzw. desto kleiner kann ein Speicher dimensioniert werden.

Ein einfaches Vorgehen besteht darin, die Summe des Wärmebedarfs der ersten 12 Tagesstunden von 7:00 Uhr bis 19:00 Uhr mit den nächsten 12 Stunden der Nacht bis zum nächsten Morgen um 7:00 Uhr zu vergleichen oder ins Verhältnis zu setzen gemäß Gl. 2. Das Wärmemengenverhältnis zwischen Wärmebedarf in den Tagestunden und der möglichen Erzeugerwärmemenge zeigt Bild 7.

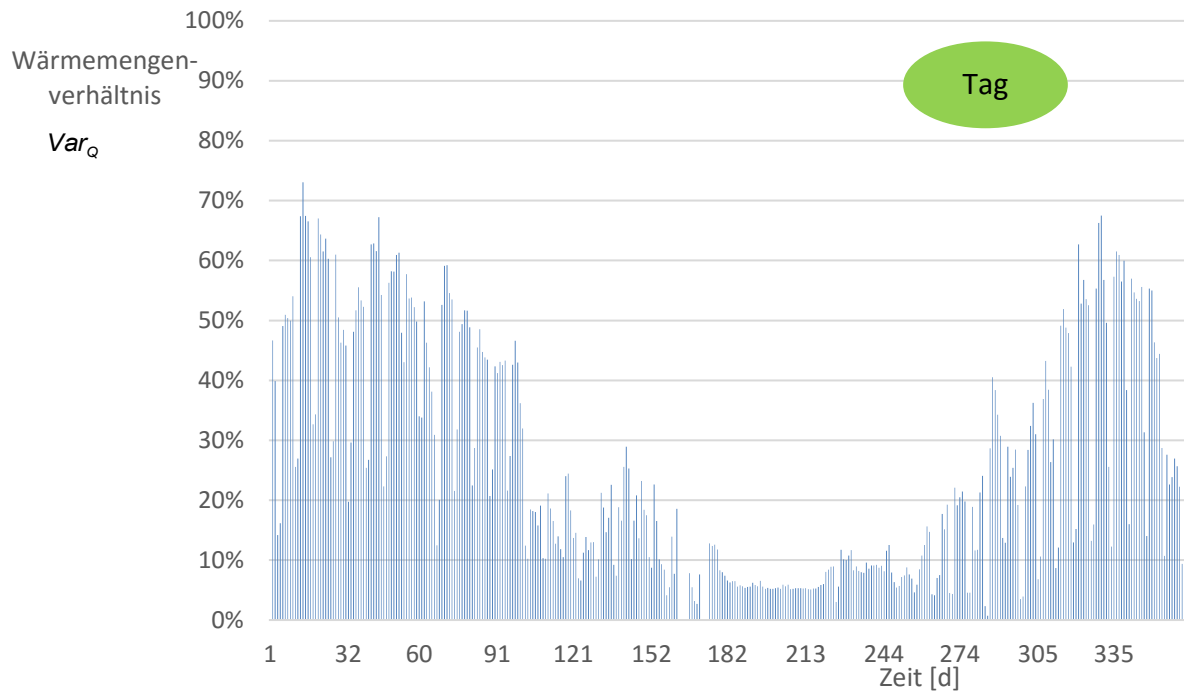


Bild 7 Variabilität der integralen Wärmemengen (7:00 – 19:00 Uhr) normiert auf die Wärmemenge bei Dauerbetrieb der Spitzenleistung

Die benötigte Tageswärmemenge liegt mit ca. 70 % niedriger als die mögliche Wärmemenge bei 12 Stunden Dauerbetrieb mit 983 kW. Mit anderen Worten: von 11.796 kWh möglicher Wärme werden am kältesten Tag nur 8.670 kWh benötigt. Bis auf einige Ferienwochen, in denen Wartung und Reparaturen ausgeführt werden, muss ein Trinkwasserbedarf für die Sporthallen in einer Ringleitung gedeckt werden. Dies führt zu einer geringen, aber konstanten Wärmeerzeugung in den Sommermonaten.

Das Verhältnis von erzeugbarer Wärmemenge zu tatsächlich gebrauchter Wärmemenge (Bild 6) wird noch drastischer, wenn auch die Nachtstunden hinzugenommen werden. Bild 8 zeigt dieselbe Auswertung wie Bild 7 für die Nachtstunden. Hier liegt der benötigte Wärmebedarf nur bei maximal 40 % der verfügbaren Wärmeerzeugerleistung. Damit wird ein noch größeres Potential zur Beladung eines Speichers erschlossen.

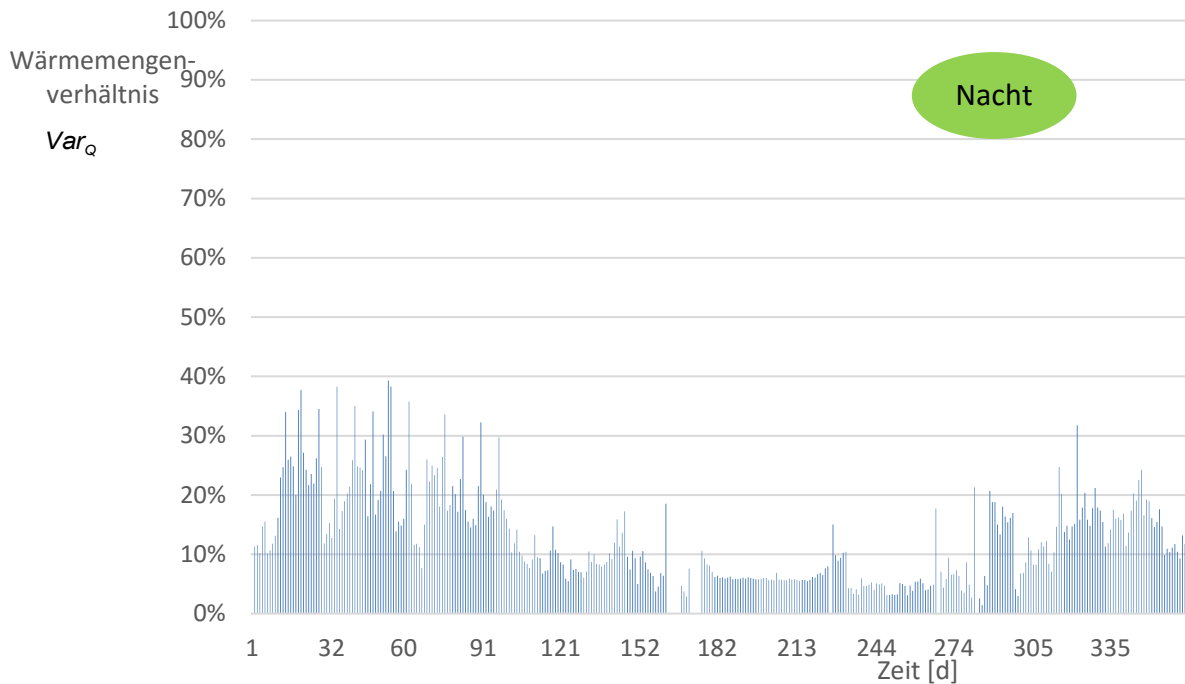


Bild 8 Variabilität der integralen Wärmemengen (19:00 – 7:00 Uhr) normiert auf die Wärmemenge bei Dauerbetrieb der Spitzenleistung

Der Vergleich der tatsächlich benötigten sowie der verfügbaren Wärmemengen in Bild 9 macht die Situation deutlich. An fast allen Tagen steht neben dem Wärmebedarf (rot) noch einmal die gleiche Menge und mehr an erzeugbarer Wärme bzw. Maschinenleistung (blau) gegenüber, mit der ein Speicher beladen werden könnte. Die Wärmemenge, welche das BHKW erzeugt ist, gestrichelt eingetragen.

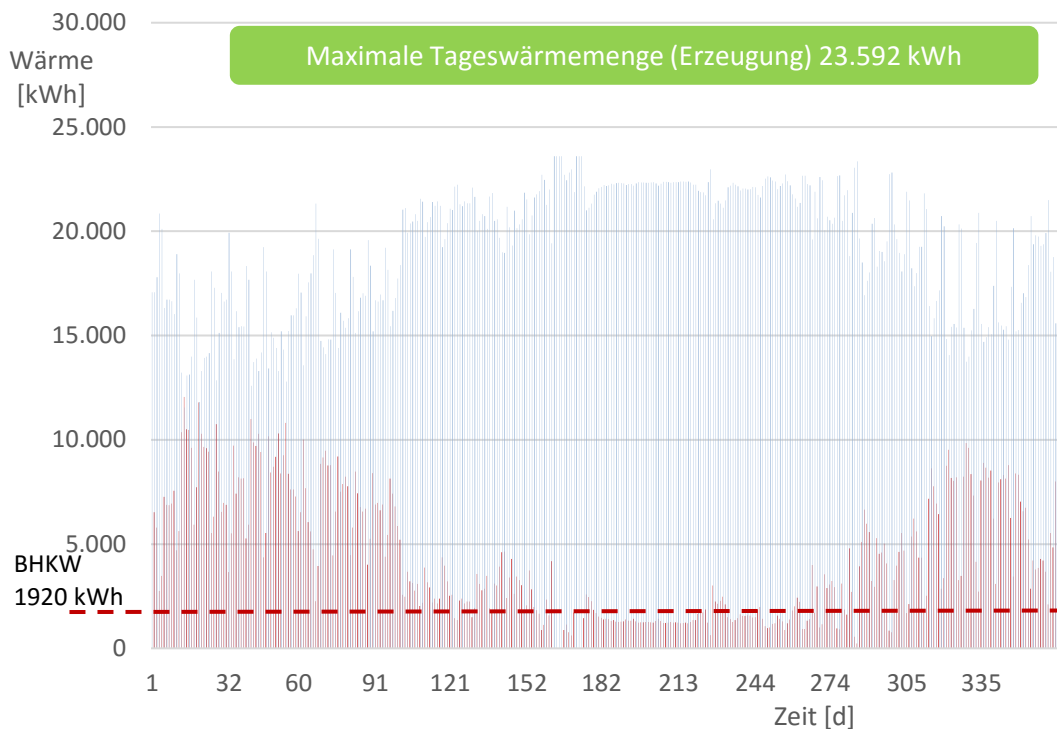


Bild 9 Wärmemengenvergleich zwischen Tagesbedarf (rot) und maximal möglicher Restwärmemenge (blau) bei Dauerbetrieb innerhalb von 24 h

In dieser Konstellation von Bedarf und Erzeugung kann man ökonomisch sinnvoll einen Speicher einsetzen. Der nutzbare Wärmeinhalt hätte einen Umfang von 2.000 kWh bis 3.000 kWh. Dies entspricht bei einer nutzbaren Temperaturdifferenz von 35 K einem Wasservolumen von 50 m³ bis 75 m³. Damit ließe sich der Tageswärmebedarf zusammen mit dem Wärmeerzeuger decken. Ist der Speicher mit einer genügend großen spezifischen Wärmeübertragungsleistung ausgestattet, dürfte es kein Problem sein. In diesem Beispiel ist die Möglichkeit einer Erhöhung der Speicherbeladung an den Wochenenden nicht eingerechnet.

Schlussfolgerungen:

- Mit einer Analyse der täglichen Schwankungen des Wärmebedarfs kann der TGA-Ingenieur jetzt berechnen, in welcher Größenordnung die Leistung des Wärmeerzeugers unter Einsatz eines Speichers verringert werden kann.
- Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Speicherfähigkeit des Gebäudes. Während der Nachtabenkung sinkt auch die Wohnraumtemperatur um 1 K bis 2 K über sechs Stunden. Daher kann es nicht kritisch sein, wenn nur 90 % des Wärmebedarfs für 1 bis 2 Stunden während des Tages gedeckt sind. Damit könnte auf jegliche Reserve verzichtet werden, wenn die Speicherfähigkeit des Gebäudes genutzt würde.
- In diesem Zusammenhang sollte in Zukunft weniger die Jahresdauerlinie der Leistung eine Rolle spielen, als vielmehr die Jahresdauerlinie des mittleren Wärmebedarfs über 24 Stunden. Daran sollte die Dimensionierung von Wärmeerzeugern und Speichern ausgerichtet werden.

• Jahresdauerlinien und Überschusswärme

Die folgende Analyse und Gegenüberstellung von Jahresdauerlinien geht davon aus, dass die installierte Wärmeerzeugerleistung von 1400 kW durch die maximal notwendige Leistung von 983 kW ersetzt wird. Die Analyse der Jahresdauerlinien für den Wärmebedarf mit der erzeugbaren Wärmemenge mit 983 kW ohne Speicher und der neu projektierten Leistung von 550 kW mit Speicher machen das Vorgehen deutlich.

In Bild 10 sind die Jahresdauerlinien der Wärme im Tagesmittel (24 h) abgebildet: Der Wärmebedarf (blau), der Überschuss an erzeugbarer Wärme bei einer Leistung von 983 kW (rot gestrichelt) und mit der reduzierten Leistung von 550 kW (grün). Die erzeugbare Tageswärme mit 983 kW beträgt im Dauerbetrieb 23.592 kWh davon müssen 12.049 kWh für die Bedarfsdeckung (blaue Kurve) genutzt werden und 11.543 kWh bleiben übrig. Diesen Rest zeigt die gestrichelte rote Linie. Sie symbolisiert, welche Leistung zur Verfügung steht, um einen Speicher zu füllen. Diese ursprüngliche Betriebsart benötigt aber keinen Speicher aufgrund der hohen installierten Leistung.

Durch Nutzen eines Speichers kann die Wärmeerzeugerleistung auf 550 kW reduziert werden. Hier steht bei hohem Bedarf nur eine Überschusswärme von 10 % als mögliche Reserve zur

Verfügung. Die geringe *Wärmeerzeugungsreserve* von 10 % für einige wenige Tage im Jahr, sollte aber ausreichen, das Gebäude über die bekannte Bedarfsspitze zu versorgen.

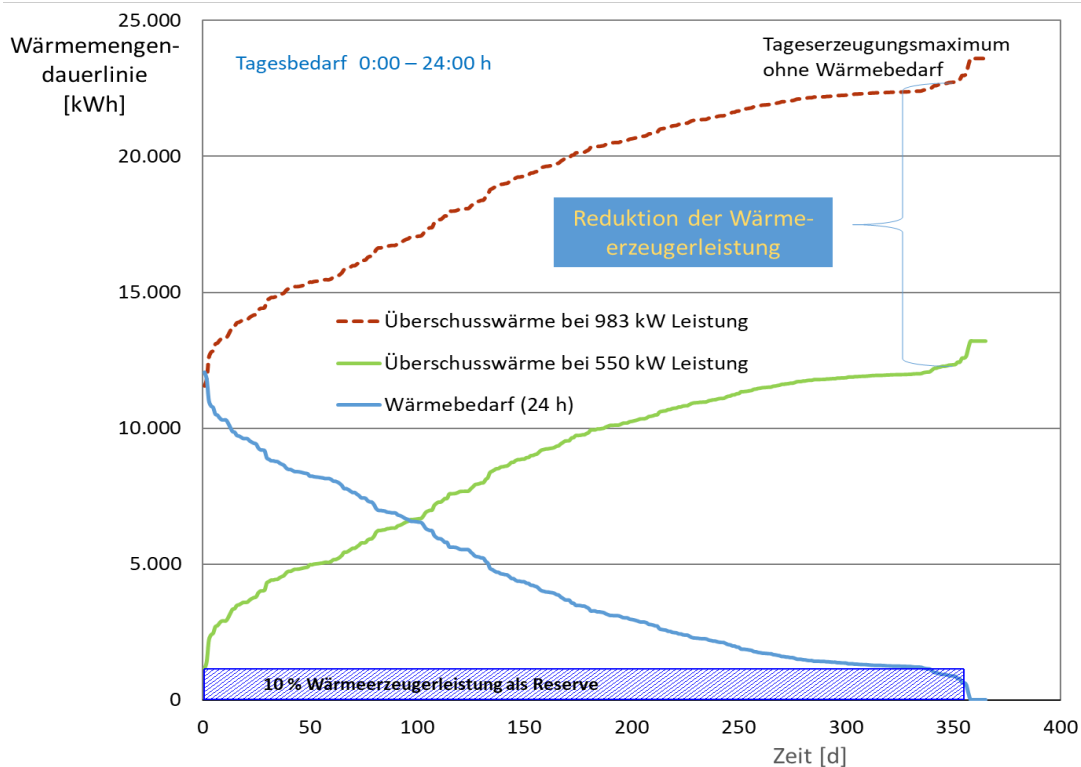


Bild 10 Jahresdauerlinien der erzeugten Wärmemengen im Tagesmittel (24 h)

Am Ende muss aber der TGA-Ingenieur entscheiden, wie viel Wärme der Erzeuger und wie viel davon der Speicher beitragen soll. Auch wird die Finanzierung den entscheidenden Ausschlag geben.

Die Planungsschritte im Einzelnen sind dann:

- a. **Reduzierung der Wärmeerzeugerleistung:** Der Wärmeerzeuger muss nicht mehr den Spitzenbedarf decken, er führt die Versorgung gemeinsam mit dem Speicher durch. Damit steht in den Zeiten mit geringerem Bedarf eine kleinere Leistung für die Speicherbeladung zur Verfügung, dennoch ist sie bei genügend großem Speicher ausreichend. Ein erster Ansatz lautet 45 % Reduktion des Spitzenbedarfs bzw. 60 % der in diesem Beispiel installierten Leistung. Es würde dann anstatt 983 kW (1400 kW) eine installierte Leistung von nur 550 kW zur Verfügung stehen. So liefert der Wärmeerzeuger über 24 Stunden 13.200 kWh, die an wenigen Tagen des Jahres zu 90 % genutzt werden.
- b. **Bestimmung des Wärmeinhalts des Speichers.** Er sollte einen Wärmeinhalt von 6-8 Stunden zur Bedarfsdeckung im Dezember/Januar beinhalten. Der Speicher muss an den Tagen mit maximalem Bedarf die Leistung des Wärmeerzeugers von 550 kW mit

433 kW aus dem Speicher ergänzen, damit zusammen die Spitzenleistung von 983 kW erreicht wird. Mit 3.000 kWh Wärmeinhalt des Speichers ist dann eine Versorgung von fast 7 Stunden möglich. Betrachtet man den Tagesbedarf im Detail, ergeben sich bei dieser Wahl der Leistung von Wärmeerzeuger und Speicher keine Probleme.

Wird ein direkt geladener Warmwasserspeicher parallel eingebunden, dann besitzt diese Speicherform eine große spezifische Wärmeübertragungsleistung, so dass sie den Spitzenbedarf mit den erforderlichen 433 kW Leistung pro Stunde und mehr bewältigen kann.

- **Ökonomische Betrachtung**

Das relative kleine BHKW liefert eine Tageswärmemenge von $24 \times 80 \text{ kWh}$ (1.920 kWh). Damit kann der geplante Speicher von 3.000 kWh Wärmeinhalt zu zwei Dritteln gefüllt werden. So trägt der größere Speicher im Gegensatz zu dem kleineren, bisher vorhandenen 90 kWh – Speicher zu einer Erhöhung der Vollbenutzungsstunden bei.

Vergleicht man die Investitionen, so müssen für einen Gasbrennwertkessel von 500 kW (900 kW) Leistung ca. 40.000 € (55.000 €) und für einen 80 m^3 Wärmespeicher (Dehoust) ca. 45.000 € in Ansatz gebracht werden. Geht man von gleichen Anschlusskosten aus, so ist der Speicher nicht wesentlich teurer als der Wärmeerzeuger. Durch den Einsatz des 3.000 kWh Speichers lässt sich auf exergetisch hohem Niveau mehr BHKW-Wärme speichern und damit die Vollbenutzungsstunden des BHKW um ca. 560 h erhöhen. Setzt man in 1. Näherung den Preis für die elektrische Energie mit 25 cent/kWh an, ohne die Einspeisevergütung oder das KWKG-Gesetz zu berücksichtigen, dann ergibt dies eine jährliche Ersparnis von 7.000 €. Ein überzeugendes ökonomisches Argument für den Einsatz eines Speichers.

- **Dauerbetrieb des Wärmeerzeugers**

Diese sehr auf die Spitze getriebene Formulierung des Einsatzes eines Wärmeerzeugers und eines Speichers war nur möglich, indem die Tag-/Nachtschwankungen des Wärmebedarfs komplett durch einen Speicher ausgeglichen wurden. Ein Dauerbetrieb wird durch den Einsatz von „großen“ Speichern erst möglich und ist für BHKW's ideal. Wird diese Chance genutzt und zu Ende gedacht, dann ist in diesem Fall der Einsatz von zwei modulierenden BHKW mit 120 kW thermischer Leistung zwingend notwendig. Größere Mengen an elektrischer Energie können im eigenen Gebäude verbraucht werden und der ökonomische Nutzen fällt dadurch weit aus größer aus als bei konventionellen Wärmeerzeugern.

- **Zusammenfassung**

In Zukunft sollte anstelle der Spitzenleistung nicht allein der Wärmeerzeuger „On Demand“ also zum Zeitpunkt des Bedarfs die Wärme erzeugen, sondern diese Aufgabe sollten auf den

Wärmeerzeuger und den Speicher aufgeteilt werden. Die Speichergröße verlässt dabei die bekannten Dimensionen, so dass eine Größenordnung von 4 bis 8-fachem der installierten Wärmeerzeugerleistung zur Verfügung stehen sollte. Die finanziellen Aufwendungen für den Speicher werden durch einen kleineren Wärmeerzeuger größtenteils im Jahr der Anschaffung kompensiert. Im Laufe der Jahre kann dann bei Nutzung von Solarenergie oder eines BHKW weiterer finanzieller Nutzen entstehen. Neben dieser rigorosen Entscheidung auf einen Dauerbetrieb des Wärmeerzeugers umzustellen, lassen sich darüber hinaus zahlreiche Varianten entwickeln, die aber immer zum Ziel haben sollten, den Speicher als einen Wärmelieferanten zu betrachten.

Literatur

1. Goeke, J., Jahresdauerlinien und Beladungssystematik von thermischen Speichern HLH Vol. 71, 9/10, (2020), S. 18-22; 52-56
2. Goeke, J., Popp, A., Seasonal thermal storage in buildings, Part 1 Euroheat & Power Vol. 13 / III, (2016), 20-27; Part 2, EuroHeat&Power, Vol.13 / IV (2016), 23-27
3. Wesley J. Cole, Kody M. Powell, and Thomas F. Edgar, Optimization and advanced control of thermal energy storage systems, Rev. Chem. Eng. Vol. 28 (2012), S. 81–99
4. Groß, S., Rhein, M., Rühling, K., Großwärmespeicher zum Lastmanagement und zur Einbindung von Umweltenergie, EuroHeat&Power Vol. 42, 6 (2013), S. 42-48
5. Giffels, T., Mehmedagi, D., Wagner, A., Kähm, V., KWK-basierte Wärmeversorgungsnetze im Vergleich, HLH Vol. 69, 11 (2018), S. 64-67