

Kombination von Holzfeuerungen mit Kurz- und Langzeit-Wärmespeichern

Dipl.-Ing. Dirk Mangold

Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
solites, Nobelstr. 15, 70569 Stuttgart, info@solites.de, www.solites.de

1 Einleitung

Obwohl die Nutzung von Biomasse als CO₂-neutral gilt, ist bei der heute verbreiteten Holzenergienutzung in größeren Anlagen, wie z.B. zur Wärmeversorgung von Nahwärmenetzen, diese CO₂-Neutralität nicht gegeben. Zur Abdeckung der Spitzenlast im Winter und der Schwachlast im Sommer werden meist mit Heizöl befeuerte, so genannte Spitzenlastkessel eingesetzt. In der Regel werden dadurch 20 bis 40 Prozent der erzeugten Jahreswärme mittels fossiler Brennstoffe erzeugt (Bild 1).

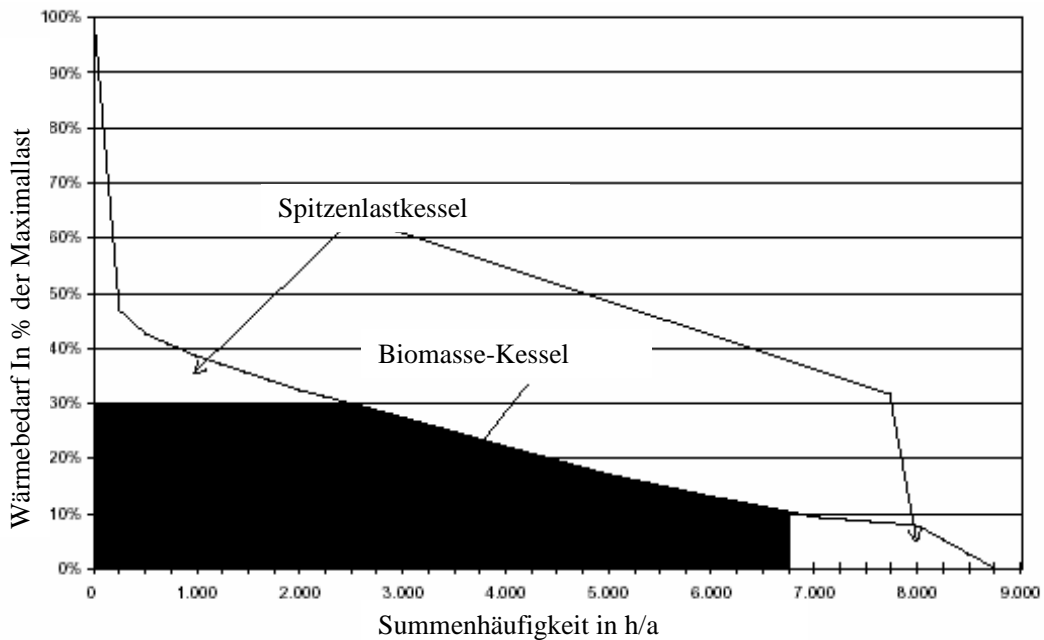


Bild 1: normierte Jahresdauerlinie des Wärmeleistungsbedarfs

Zweifellos stellt diese Art der Wärmeherzeugung im Vergleich zu einer vollständig fossilen Befeuerung einen großen Fortschritt hin zu einer CO₂-neutralen Energieversorgung dar. Andererseits bedeutet ein vollständiger Verzicht auf fossile Energieträger bei den genannten Holzfeuerungen einen Fortschritt von weiteren 20 bis 40 Prozent an Emissionseinsparung. Dies ist in anderen Bereichen der Energieversorgung oder –einsparung meist nur mit großem technischem und monetärem Aufwand zu erreichen.

2 Emissionen durch Teillast- und Taktverhalten von Holzkesseln

Wird nun eine vollständig CO₂-neutrale Wärmeversorgung angestrebt und daher die Feuerungsanlage ohne Öl-Spitzenlastkessel geplant, wird ein Holzhackschnitzel-Kessel in der Regel auf die Maximallast der Wärmeversorgung ausgelegt (Bild 1). Dies führt dazu, dass der Kessel dann fast ausschließlich in Teillast betrieben werden muß.

In einer Untersuchung des Instituts für Wärmetechnik der Universität Graz, die sich auf Prüfberichte von Kesselherstellern stützt, wurden im Mittel dreifach höhere Emissionen an CO und Kohlenwasserstoffen im Betrieb bei kleinster Teillast (30%) festgestellt. Annähernd keine Auswirkung haben nach dieser Untersuchung Teillastzustände auf die NO_x- und Staubemissionen /1/.

Einen weiteren Lastzustand mit erhöhten Schadstoffemissionen stellt der Taktbetrieb dar. Unterhalb einer gewissen Teillastgrenze, in der Regel 30 % der Nennlast, wird die weitere Leistungsabstufung durch Unterbrechung der Feuerungsleistung erzielt. Der Kessel schaltet in bestimmten Abständen in den Gluthalbetrieb, um im zeitlichen Mittel die gewünschte Wärmeleistung bereitzustellen. Da beim Gluthalbetrieb die Zufuhr von Verbrennungsluft zeitweise unterbrochen ist, bilden sich in diesen sauerstoffarmen Phasen große Mengen an CO und Kohlenwasserstoffen, die bei einsetzender Zufuhr von Verbrennungsluft nur teilweise verbrannt werden. Der Rest wird mit dem Abgasstrom emittiert.

3 Wärmespeicher

Durch Zwischenspeicherung von Wärme kann bei geringer Last der Taktbetrieb des Biomassekessels verhindert und ein beträchtlicher Teil der Emissionen aus unvollständiger Verbrennung vermieden werden. Die Feuerungsanlage kann auch bei geringer Wärmenachfrage in einem emissionsgünstigen Lastbereich betrieben werden, da die nicht abgenommene Wärme dann im Wärmespeicher zwischengespeichert wird. Ist der Wärmespeicher vollständig geladen, kann die Feuerung für einige Zeit ganz abgeschaltet (Stillstand statt Gluthaltung) und bei erneuter Wärmenachfrage neu gezündet werden.

3.1 Kurzzeit-Wärmespeicher

Kurzzeit-Wärmespeicher sind Pufferspeicher mit einer Wärmespeicherkapazität, die bei voll geladenem Wärmespeicher eine Wärmeentnahme über mehrere Stunden oder wenige Tage ermöglicht.

Diese Wärmespeicher sind in der Regel zylinderförmige Stahlbehälter und werden in der Heizungstechnik schon lange eingesetzt. Sie sind technisch ausgereift und in vielen Größen erhältlich. Ihre Wärmespeicherkapazität hängt vom Volumen ab. Um die Verluste zu minimieren, ist neben der Bauform eine gute Wärmedämmung des Wärmespeichers zu beachten. Bezüglich der Be- und Entladung des Wärmespeichers durch Zufuhr und Entnahme von Wasser ist wichtig, dass die sich ausbildende Temperaturschichtung nicht oder nur wenig gestört wird. Es existieren inzwischen verschiedene Be- und Entladesysteme, die die Ausbildung einer guten Temperaturschichtung im Speicher unterstützen.

3.2 Langzeit-Wärmespeicher

Langzeit-Wärmespeicher sind auf Grund ihres Volumens in der Lage, Wärme für eine Versorgung über viele Tage, Wochen oder gar Monate zu gewährleisten. Die Technik hierfür wurde und wird unter anderem im Zusammenhang mit solaren Nahwärmenetzen entwickelt.

1993 begann das damalige Bundesforschungsministerium durch das Energieforschungsprogramm Solarthermie-2000 unter anderem die Technik der saisonalen oder auch Langzeit-Wärmespeicherung einschließlich des technischen Systems zur Nutzung der gespeicherten Wärme weiterentwickeln zu lassen und in Pilotanlagen zu verwirklichen. Bild 2 zeigt die beiden ersten Pilotanlagen, die im Rahmen von Solarthermie-2000 1996 gebaut wurden.



Bild 2: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher in Hamburg (linkes Bild: Siedlung) und Friedrichshafen (rechtes Bild: Bau des Heißwasser-Wärmespeichers)

Das Folgeprogramm Solarthermie2000plus ist am Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) angesiedelt. Das Steinbeis Forschungsinstitut solites führt die wissenschaftlich-technische Progammbegleitung des Bereichs „Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher“ in Zusammenarbeit mit einem Netzwerk von Wissenschaftlern und Praktikern aus dem gesamten Bundesgebiet durch und leitet den nationalen Arbeitskreis Langzeit-Wärmespeicher.

Acht Anlagen mit Langzeit-Wärmespeicher, die im Rahmen von Solarthermie2000plus begleitet werden, sind in Betrieb. Zwei neue Anlagen in München und in Crailsheim sind im Bau, weitere in Vorbereitung.

Die Wärmespeicherung wird um so effizienter, je kleiner die Wärmeverluste des Speichers in Relation zur gespeicherten Wärmemenge sind. Da die Wärme im Speichervolumen gespeichert wird und die Wärmeverluste durch die wärmeübertragende Oberfläche des Speichers bedingt sind, ist ein kleines Oberflächen/Volumen-Verhältnis, das als A/V-Verhältnis bezeichnet wird, ausschlaggebend für ein effizientes Speichersystem. Dies führt dazu, dass Langzeit-Wärmespeicher ein Mindestvolumen von über 1000 m³ haben sollten.

Für Langzeit-Wärmespeicher sind folgende Techniken möglich (Bild 3).

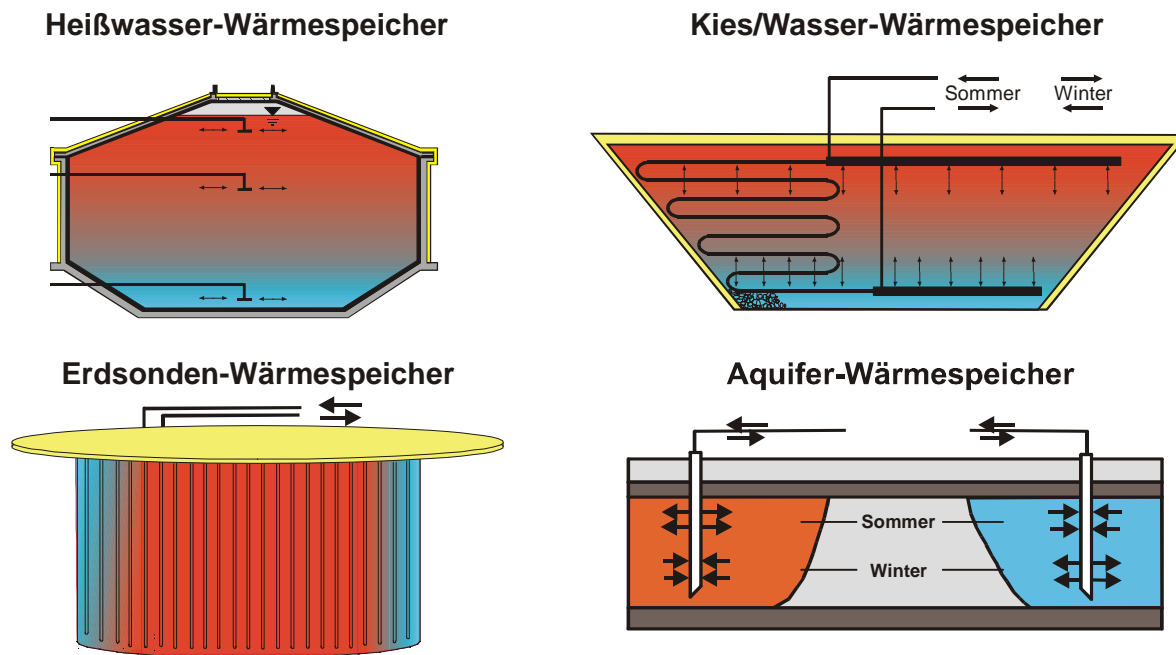


Bild 3: Langzeit-Wärmespeichertypen

Heißwasser-Wärmespeicher

Die vielseitigsten Einsatzbereiche bietet der Heißwasser-Wärmespeicher. Er kann unabhängig von der Geologie und auch in kleiner Baugröße, z.B. als Wärmespeicher für einen Zeitraum von Tagen bzw. Wochen, eingesetzt werden. Die wassergefüllte Tragkonstruktion aus z.B. Stahlbeton ist teilweise im Erdreich eingebaut. Die Wärmedämmung ist zumindest im Bereich des Deckels und der senkrechten Speicherwände angebracht. Die wasserdichte Auskleidung des Speichers ist in den Pilotspeichern in Hamburg und Friedrichshafen aus 1,2 mm starkem Edelstahlblech ausgeführt. In Hannover kommt eine neuartige Betonmischung zum Einsatz, deren Wasserdampfdurchlässigkeit so gering ist, dass auf eine zusätzliche Auskleidung verzichtet werden kann.

Kies/Wasser-Wärmespeicher

Eine mit wasserdichter Kunststoffolie ausgekleidete Grube wird mit einem Kies/Wasser-Gemisch als Speichermedium gefüllt. Der Speicher ist zumindest seitlich und nach oben hin wärmegeklämt. Die Ein- und Ausspeicherung der Wärme erfolgt direkt oder indirekt. Es ist keine statische Tragkonstruktion notwendig. Speicher dieser Art sind am ITW der Universität Stuttgart seit 1985 sowie in Chemnitz, Augsburg und Steinfurt-Borghorst in Betrieb.

Erdsonden-Wärmespeicher

Beim Erdsonden-Wärmespeicher wird die Wärme direkt in wassergesättigtem Erdreich gespeichert. In Bohrlöcher werden U-Rohr-Sonden eingebracht und der Speicher wird zur Oberfläche hin wärmegeklämt. Über die U-Rohr-Sonden wird Wärme in den Speicher ein- bzw. aus diesem ausgespeichert. Ein modularer Aufbau bzw. eine sich dem Baufortschritt eines Wohngebietes anpassende Speichergröße ist möglich. Ein Speicher dieser Bauart ist in Neckarsulm in Betrieb.

Aquifer-Wärmespeicher

Hier werden natürlich vorkommende, abgeschlossene Grundwasserschichten zur Wärmespeicherung genutzt. Über eine Brunnenbohrung wird dem Speicher Grundwasser entnommen, aufgewärmt und über eine weitere Bohrung wieder in den Untergrund eingebracht. Die Ausspeicherung erfolgt durch eine Umkehrung der Durchströmungsrichtung. Aquifer-Wärmespeicher sind in Berlin (Reichstag), Neubrandenburg und in Rostock in Betrieb.

Die Entscheidung für einen bestimmten Speichertyp hängt im wesentlichen von den örtlichen Gegebenheiten und insbesondere von den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen im Untergrund des jeweiligen Standortes ab. Richtwerte zeigt Tabelle 1.

Heißwasser-Wärmespeicher	Kies/Wasser-Wärmespeicher	Erdsonden-Wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher
<i>Speicheraufbau</i>			
wärmegeämmte, wassergefüllte Tragkonstruktion (meist aus Stahlbeton)	wärmegeämmtes, zum Erdreich hin abgedichtetes Kies-Wasser-Gemisch	vertikale U-Rohr-Sonden in wassergesättigtem Erdreich	natürlich vorkommende, abgeschlossene Grundwasserschichten
<i>Anforderungen an den Standort</i>			
gut stehender Boden, Klasse II-III, möglichst kein Grundwasser	gut stehender Boden, Klasse II-III	gut bohrbarer Boden, Klasse I-III, Grundwasser günstig, geringe Durchlässigkeit und Fließgeschwindigkeit, 30 bis 100 m tief	abgeschlossen nach oben und unten durch dichte Schicht; Grundwasser und hohe Durchlässigkeit notwendig; geringe Fließgeschw., 20 bis 50 m mächtig
<i>Primäres Speichermedium</i>			
Wasser	Kies-Wasser-Gemisch	Erdreich	Wasser-Sand-Gemisch
<i>Speicherkapazität</i>			
60 bis 80 kWh/m ³	30 bis 50 kWh/m ³	15 bis 30 kWh/m ³	30 bis 40 kWh/m ³
<i>Speichervolumen für 1 m³ Wasseräquivalent</i>			
1 m ³	1,3 bis 2 m ³	3 bis 5 m ³	2 bis 3 m ³

Tabelle 1: Übersicht der Randbedingungen für Langzeit-Wärmespeicher [2]

4 Ist eine Kombination von Holzfeuerung und Wärmespeicher sinnvoll?

Um eine vollständige CO₂-Neutralität zu gewährleisten, muß auf die fossile Spitzenlastabdeckung verzichtet und der Biomassekessel dauerhaft im oberen Leistungsbereich betrieben werden.

Dies kann erreicht werden, wenn die Holzfeuerung mit einem Wärmespeicher kombiniert wird. Wichtig ist dabei das richtige Verhältnis von Holzfeuerungsleistung zu Wärmespeichergröße. Einerseits ist sicherzustellen, dass auch an den kältesten Tagen im Jahr genügend Wärme geliefert werden kann. Andererseits muß eine möglichst wirtschaftliche Lösung gefunden werden. Hinzu kommt, dass in der Regel die Spitzenlastkessel die Wärmeversorgung garantieren, sollte der Holzkessel ausfallen bzw. gewartet werden müssen. Daher muß der Wärmespeicher auch in der Lage sein, den kompletten Wärmebedarf auch an kalten Tagen abzudecken, bis eine etwaige Störung am Holzkessel behoben ist.

4.1 Praxisbeispiel

Im folgenden wurde an einem Praxisbeispiel durch umfangreiche Simulationsrechnungen und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung untersucht, mit welcher Wärmespeichergröße eine Holzfeuerung zu einer CO₂-neutralen Wärmeversorgung ergänzt werden kann bei möglichst hoher Betriebssicherheit und möglichst guter Wirtschaftlichkeit.

Hierzu wurden Messdaten des Wärmebedarfsverlaufs eines Wohngebietes mit gemischter Bebauung verwendet. Es handelt sich dabei um elf Einfamilienhäuser, eine Reihenhaus-

zeile mit 2 Eckhäusern und 16 Mittelhäusern, sieben Mehrfamilienhäuser mit jeweils zwei Wohneinheiten, fünf Mehrfamilienhäuser mit jeweils drei Wohneinheiten sowie neun Mehrfamilienhäuser mit jeweils vier Wohneinheiten. Die maximale Wärmeleistung beträgt 811 kW, der jährliche Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale 945 MWh. Die Soll-Netzvorlauf- und -rücklauf-temperaturen von 68 bzw. 40°C entsprechen denen einer modernen Heizungsanlegung für Neubauten. Der Verlauf der Jahresdauerlinie der Wärmeleistung entspricht prinzipiell Bild 1.

4.2 Vorgehen und Ergebnisse

Zur Deckung des Wärmebedarfs des Praxisbeispiels wurde im Simulationsprogramm TRNSYS /3/ ein Heizsystem aus Holzhackschnitzelkessel, Wärmespeicher, Anlagenhydraulik und Regelung aufgebaut. Durch Simulationsstudien wurden dann Kombinationen von Wärmespeichergößen und Holzfeuerungsleistungen ermittelt, die den Wärmebedarf des Praxisbeispiels gerade ausreichend decken. Der Gesamtzusammenhang ist hierbei einfach: Je kleiner die maximale Feuerungsleistung ist, um so größer muß das Wärmespeichervolumen sein. Bild 4 zeigt ein Ergebnis.

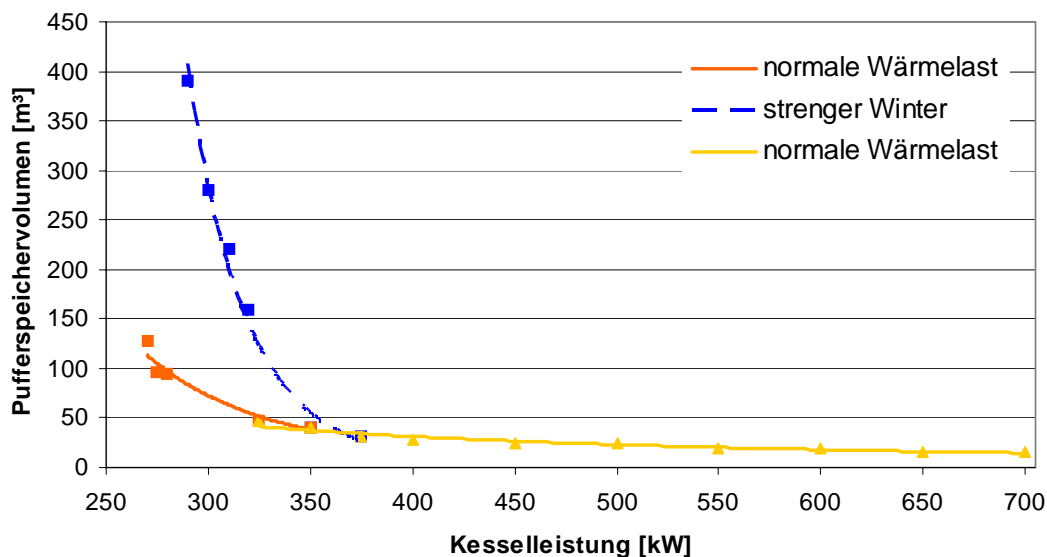


Bild 4: energetisch optimale Kombinationen von Kesselleistung und Pufferspeichervolumen für ein Nahwärmnetz mit einer maximalen Wärmelast von 811 kW

Es zeigte sich, dass bei dem gewählten Praxisbeispiel schon relativ kleine Speichervolumina ausreichen, um auch mit - im Vergleich zur maximalen Wärmeleistung von 811 kW - vermindelter Feuerungsleistung die Wärmeversorgung des Nahwärmesystems immer sicherstellen zu können. Aus diesem Grund ist für das gewählte Praxisbeispiel kein Langzeit-Wärmespeicher notwendig, und bei weiteren Betrachtungen wurde nur ein Pufferspeicher als konventionell gebauter Stahlbehälter betrachtet.

Unter einer Kesselleistung von 320 kW muss das Pufferspeichervolumen überproportional erhöht werden. In diesen Fällen ist die Kesselleistung so klein, dass in Kälteperioden der Pufferspeicher mehrere Tage dauerhaft zusätzliche Wärmeleistung zur Verfügung stellen muss. Deutlich wird dies bei Betrachtung eines strengen Winters:

Im Vergleich zur normalen Wärmelast wurde der Tag mit der höchsten Heizleistung 14 mal wiederholt, um eine Kälteperiode in die Simulation einzubinden. Zu erkennen ist, dass ab einer Kesselleistung von über 370 kW die Versorgungssicherheit in jedem Fall gewährleistet ist. Unterhalb dieser Kesselleistung ist ein etwas früherer und deutlich steilerer Anstieg der Pufferspeichervolumenfunktion für einen strengen Winter festzustellen. In diesem Bereich ist die Anlagenkombination sensibel auf Wetter bedingte Änderungen in der Wärmelast.

4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zur Ermittlung der Investitionskosten von Holzfeuerungsanlagen konnte auf Kostendaten gebauter Anlagen aus dem vom Land Baden-Württemberg seit 1997 durchgeführten Förderprogramm „Holzenergie 2000“ und dessen Vorgängerprogramm von 1995 - 1997 zurückgegriffen werden. Die Kostendaten der Jahre 1996 - 2000 wurden im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule für Forstwirtschaft in Rottenburg analysiert /4/ und bilden die Grundlage der Investitionskosten. Es stehen insgesamt Daten von 49 Anlagen zur Verfügung. Ergänzt mit Kostendaten gebauter Pufferspeicher ergeben sich die in Bild 5 gezeigten Kosten. Diese unterscheiden Investitionskosten ohne Betrachtung der Kosten für das Bauwerk der Holzfeuerung (ohne Baukosten) und vergleichen diese mit den in /4/ aufgeführten minimalen und maximalen Bauwerkskosten. Die Varianten mit erhöhter Versorgungssicherheit können auch im strengen Winter (siehe Bild 4) die Wärmeversorgung sicherstellen.

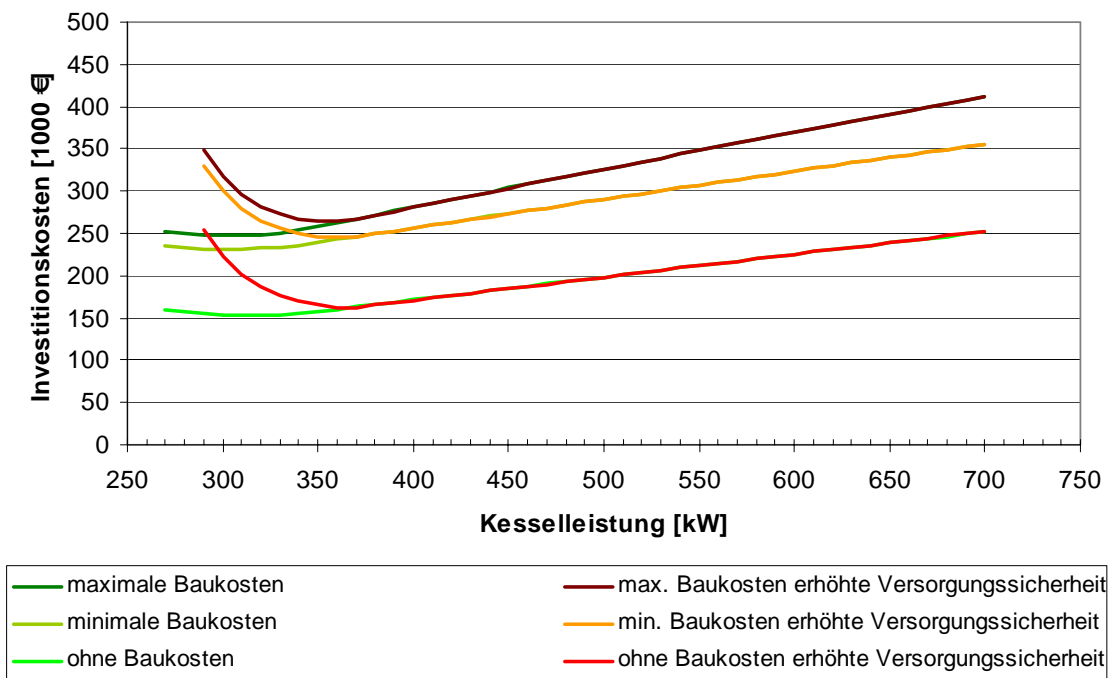


Bild 5: Investitionskosten von energetisch optimalen Kombinationen von Holzfeuerungen mit Pufferspeichern für ein Nahwärmnetz mit einer maximalen Wärmelast von 811 kW

Als Holzfeuerung wurde die jeweils kostengünstigere Variante einer Rost- oder Unterschubfeuerung eingerechnet.

Um zu sehen, inwieweit sich ein Wärmespeicher auf die jährlichen Kosten einer holzgefeuerten Heizzentrale einer Nahwärmanlage auswirkt, wurden die annuisierten Investitions-, die Betriebs-, Wartungs- und Instandhaltungskosten nach VDI 2067 und VDI 6025 berechnet. Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre entsprechend der Anlagenlaufzeit

des Holzfeuerungskessels, bei einem Zinssatz von 6 %. Die Instandhaltungskosten betragen nach VDI 2067 für den Holzfeuerungskessel, den Pufferspeicher und den Ölspitzenlastkessel 2 Prozent und für die Heizzentrale 1 Prozent der Investitionskosten. Sämtliche betriebsgebundenen Kosten werden mit 2,5 Prozent für den Holzkessel und 1 Prozent der Investitionskosten für die Heizzentrale angenommen. Der Preis für die Holzhackschnitzel ist zu 50 €/t für Waldhackschnitzel mit 35 Prozent Feuchtigkeit angenommen. Der Preis für leichtes Heizöl ist zu 0,35 € pro Liter eingerechnet und ist somit bezogen auf die Preisentwicklung der letzten drei Jahre unterdurchschnittlich.

Zur Bewertung der kostenoptimalen Kombination aus Holzhackschnitzelfeuerung und Pufferspeicher wird diese mit den annuisierten Investitionskosten von Referenzanlagen verglichen (Bild 6):

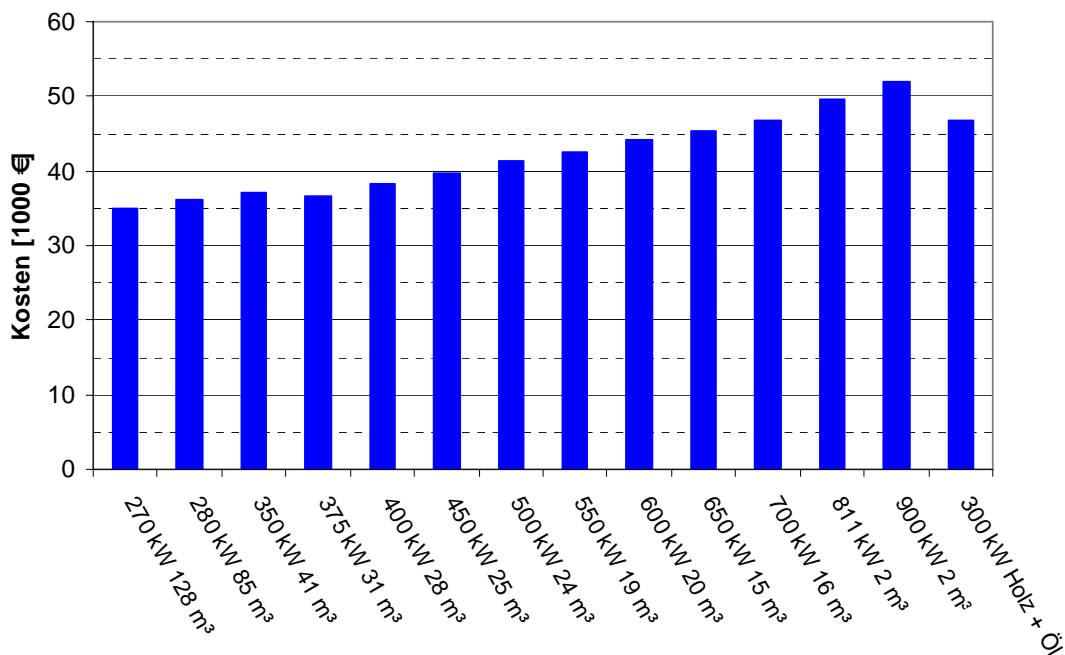


Bild 6: annuisierte Jahreskosten von Holzfeuerungsvarianten für ein Nahwärmnetz mit einer maximalen Wärmelast von 811 kW (kW: Holzfeuerungsleistung, m³: Pufferspeichervolumen)

Als Referenz dienen Anlagen mit einer Holzfeuerungsleistung entsprechend der maximal vom Nahwärmnetz nachgefragten Wärmeleistung (811 kW) sowie mit einer Leistungsreserve von zusätzlichen 10 Prozent (900 kW). Außerdem wird eine Referenzanlage aus einem Holzhackschnitzelfeuerungskessel in Kombination mit einem ölgefeuerten Spitzenlastkessel betrachtet (300 kW Holz + Öl). Im Fall der letzteren Anlage wird der Holzhackschnitzelfeuerungskessel auf eine Leistung von 300 kW festgelegt, dies entspricht 37 % der benötigten Maximalleistung (siehe Bild 1). Der Ölkessel wird mit 85 % der benötigten Maximalleistung, also 690 kW festgelegt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anlagen mit ölgefeuerten Spitzenlastkessel bei Betrachtung der jährlichen Kosten keinen finanziellen Vorteil gegenüber den kostenoptimierten Anlagen mit Pufferspeicher aufweisen. Trotz höherer Investitionskosten schneiden die Anlagen mit Pufferspeicher besser ab. Dies hängt vor allem mit den Brennstoffkosten zusammen. So werden beispielsweise bei der Anlage mit Pufferspeicher und einer Holzfeuerungsleistung von 400 kW rund 15.100 Euro für Holzhackschnitzel benötigt, die Anlage mit Ölspitzenlastkessel verfeuert Holzhackschnitzel im Wert von 12.700 Euro und zusätzlich Heizöl im Wert von 8.300 Euro.

5. Zusammenfassung und Fazit

Die wirtschaftliche Optimierung der Kombination von Holzfeuerungsanlage mit Pufferspeicher führte eindeutig zu einem Investitionskostenoptimum, die bei einer Wärmelast von 811 kW zwischen Holzfeuerungsleistungen von 300 und 350 kW liegt. Dieser Werte liegen um die 40 Prozent der benötigten Maximalleistung und damit im Bereich, in dem auch die Holzfeuerungsleistung bei herkömmlichen Nahwärmanlagen mit Ölspitzenlastkessel ausgelegt wird. Das heißt, ein Pufferspeicher ersetzt die Leistung des Ölspitzenlastkessels. Interessanterweise benötigen Anlagen, die die Versorgungssicherheit bei überdurchschnittlich langen Kälteperioden gewährleisten, zwar eine größere Holzfeuerungsleistung, die Gesamtinvestitionskosten steigen aber nur geringfügig.

Der Vergleich mit Referenzanlagen, die ohne Pufferspeicher betrieben werden, zeigt deutliche Kostennachteile dieser Anlagen. Selbst bei höheren anzunehmenden Kosten für zum Beispiel komplexe Regelungstechnik oder eine höhere Feuerungsleistung zum Zwecke erhöhter Versorgungssicherheit bleibt hier noch Spielraum.

Die Betrachtung der annuisierten Jahresgesamtkosten bestätigt die Ergebnisse der Investitionskostenanalyse. Die Anlage mit Ölspitzenlastkessel steht hier wegen der höheren Öl- als Holzhackschnitzelkosten sogar noch schlechter da.

Dieselbe Untersuchung für ein Nahwärmenetz mit einer höheren Wärmelast von 3500 kW und einem jährlichen Gesamtwärmebedarf von 3845 MWh ergab, dass die annuisierten Jahresgesamtkosten bei der günstigsten Kombination von Holzfeuerung und Pufferspeicher nur geringfügig unter der Referenzanlage mit Ölspitzenlastkessel liegen. Dies unterstreicht eine gegebene Konkurrenzfähigkeit, wenngleich auf demselben Kostenniveau.

6. Literatur

- /1/ Heimrath, R.; Heinz, A.; Mach, Th.; Streicher, W.: Solarunterstützte Wärmenetze, Technologie und Komponentenentwicklung. Projektendbericht Institut für Wärmetechnik TU Graz, Graz, 2002
- /2/ Hahne, E. et. al.: Solare Nahwärme - Ein Leitfaden für die Praxis, BINE-Informationspaket, TÜV-Verlag, Köln, 1998, ISBN 3-8249-0470-5
- /3/ TRNSYS: A TRansient System Simulation programme, Transsolar, Stuttgart, 2005
- /4/ Merz, R.: Investitionskostenanalyse von geförderten Holzheizwerken in Baden-Württemberg, Diplomarbeit FH Rottenburg, 2001
- /5/ Muschal, M.: Konzepte zur CO₂-neutralen und emissionsminimierten Wärmeversorgung durch Holzfeuerung und Solarthermie, Diplomarbeit Nr. 2748, IVD, Uni Stuttgart
- /6/ Benner M., et. al.: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher, Forschungsbericht zum BMWi-Vorhaben 0329606S, ITW, Universität Stuttgart, 2004, ISBN 3-9805274-2-5

Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter dem Förderkennzeichen 0329607 L gefördert. Der Autor dankt für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.