

Verenum AG
Langmauerstrasse 109
CH – 8006 Zürich
www.verenum.ch

GRUNDLAGEN UND EMPFEHLUNGEN ZUR DIMENSIONIERUNG VON WÄRMESPEICHERN BEI HOLZHEIZKESSELN

Jürgen Good

Peter Zotter

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zürich, 11. April 2022

(aktualisierte Version, Stand Luftreinhalte-Verordnung 1.1.2022)

Grundlagen und Empfehlungen zur Dimensionierung von Wärmespeichern bei Holzheizkesseln

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien
CH – 3003 Bern
www.bafu.admin.ch/luft

Autoren

Jürgen Good, Verenum AG, 8006 Zürich
Peter Zotter, Verenum AG, 8006 Zürich

Verenum AG

Langmauerstrasse 109
CH – 8006 Zürich
www.verenum.ch

Inhalt

1	Ausgangslage und Zielsetzung	4
2	Vorgehen	4
3	Grundlagen und Empfehlungen	5
3.1	Speichervolumen bei handbeschickten Stückholzkesseln	5
3.2	Speichervolumen bei automatischen Holzheizkessel bis 500 kW _{NWL}	5
3.3	Speichervolumen bei Holzheizkesseln über 500 kW _{NWL}	6
3.4	Speichervolumen bei Anlagen mit mehreren Holzheizkesseln	6
3.5	Speicher für Solarkollektoren und Brauchwarmwasser	7
3.6	Spielraum der Behörde beim Speichervolumen	8
A	Anhang – Vertiefende Erläuterungen	9
A.1	Speichervolumen für handbeschickte Stückholzkessel gemäss LRV im Vergleich mit anderen Empfehlungen	9
A.2	Speichervolumen für automatische Holzheizkessel gemäss LRV im Vergleich mit anderen Empfehlungen	10
A.3	Speichervolumen bei Anlagen mit mehreren Holzheizkesseln	12
A.4	Projektbegleitung mit QM Holzheizwerke®	13
Literatur	14

1 Ausgangslage und Zielsetzung

In der Luftreinhalte-Verordnung (LRV, [1]) gibt es in Anhang 3 Ziffer 523 Vorgaben für das Mindestvolumen von Wärmespeichern bei handbeschickten und bei automatischen Holzheizkesseln.

Bei handbeschickten Holzheizkesseln wird der Wärmespeicher benötigt, um die gesamte während eines Abbrandvorganges erzeugte Wärmemenge abnehmen zu können, da sie nur bedingt teillastfähig sind und es vorkommen kann, dass die tatsächlich erzeugte Wärmemenge grösser ist als die momentan benötigte. Bei automatischen Holzheizkesseln dienen Wärmespeicher dazu, der Feuerung Zeit zu verschaffen, indem sie durch Wärmeabgabe oder Aufnahme auf rasche Veränderungen des Leistungsbedarfs reagieren können, wodurch die Leistung der Feuerung langsam moduliert werden kann. Mit einem ausreichend dimensionierten Wärmespeicher, mit einer korrekten Dimensionierung der Kesselnennleistung und mit der Leistungsmodulation erreichen die Holzheizkessel längere Betriebslaufzeiten mit weniger Starts, Stopps und Glutbettunterhalt. Diese Betriebsweise verringert die Emissionen, steigert den Wirkungsgrad und verringert Verschleiss und Wartungsaufwand von Kessel und Feinstaubabscheider. Für handbeschickte Holzheizkessel werden in der LRV zwei Dimensionierungsarten beschrieben, nämlich eine über die NWL und eine über den Brennstofffüllraum. Bei den automatischen Anlagen erfolgt die Auslegung ausschliesslich über die NWL. Nach Anh. 3 Ziff. 523 der LRV kann die Behörde auch kleinere Speichergrössen festlegen, nämlich nach Abs. 3 Bst. a, wenn mehrere Einzelfeuerungen als betriebliche Einheit zum Zweck der Abdeckung eines variablen Wärme- oder Dampfbedarfs in wechselnder Konstellation betrieben werden, sowie nach Abs. 3 Bst. b, wenn dies aus anderen technischen oder betrieblichen Gründen angezeigt ist. Neben der LRV existieren auch Auslegungsempfehlungen für das Volumen von Wärmespeichern bei handbeschickten und automatischen Holzheizkesseln von QM Holzheizwerke® (QMH) und in Merkblättern der Branche. Bei der praktischen Umsetzung von Anh. 3 Ziff. 523 LRV durch die Vollzugsbehörden stellen sich Fragen nach der Dimensionierung des Volumens eines Wärmespeichers,

1. wenn bei Stückholzkesseln die Berechnung des Speichervolumens über den Brennstofffüllraum und über die NWL unterschiedliche Werte ergeben,
2. wenn Auslegungsempfehlungen von QMH oder Merkblätter der Branche andere Speichervolumina für Stückholzkessel oder für automatische Holzheizkessel im Vergleich zu einer Dimensionierung nach LRV ergeben,
3. wenn zwei oder mehr Holzheizkessel in einer Heizzentrale vorgesehen sind,
4. wenn ein Wärmespeicher gemeinsam von Holzheizkessel und Solarkollektoren genutzt wird,
5. wenn für Brauchwarmwasser oder Solarkollektoren separate Wärmespeicher vorhanden sind,
6. wenn im Fall von Sanierungen im bestehenden Heizraum nicht ausreichend Platz für einen nach LRV dimensionierten Wärmespeicher vorhanden ist,
7. oder wie gross der Spielraum der Behörde ist, ein kleineres Speichervolumen festzulegen.

Daher sollen im vorliegenden Dokument Grundlagen und Empfehlungen zur Dimensionierung von Wärmespeichern bei Holzheizkesseln erarbeitet werden, die verständlich und anschaulich die oben aufgeführten Fragen beantworten.

2 Vorgehen

Für die Erstellung der Entscheidungsgrundlage zur Speicherdimensionierung wurde eine Recherche zu Vorgaben und Vorschlägen von Feuerungsherstellern, Branchenverbänden und Behörden zur Speicherauslegung durchgeführt. Ausserdem wurden technische Daten einer beschränkten Anzahl von Stückholzkesseltypen verschiedener Hersteller zusammengetragen und Speichergrössen anhand dieser Daten berechnet. Wo möglich, wurden die verschiedenen Angaben und Vorschläge zu Speichergrössen grafisch und tabellarisch gegenübergestellt. Anhand der zusammengetragenen Daten und recherchierten Informationen werden dann für die oben genannten Fragestellungen Empfehlungen zur Speicherdimensionierung abgegeben.

3 Grundlagen und Empfehlungen

3.1 Speichervolumen bei handbeschickten Stückholzkesseln

Anhang 3 Ziff. 523 Abs. 1 LRV

«Handbeschickte Heizkessel bis 500 kW Nennwärmeleistung müssen mit einem Wärmespeicher eines Volumens von mindestens 12 Litern pro Liter Brennstofffüllraum ausgerüstet werden. Das Volumen darf 55 Liter pro kW Nennwärmeleistung nicht unterschreiten. »

Die Berechnung des Speichervolumens nach NWL und nach Brennstofffüllraum ergibt teilweise unterschiedliche Speichervolumen (siehe Anhang A.1).

Empfehlung

Für handbeschickte Heizkessel bis 500 kW Nennwärmeleistung gilt das grössere der nach den zwei Berechnungsmethoden ermittelten Speichervolumen, wie es die LRV vorsieht. Das Volumen des Wärmespeichers kann auf zwei oder mehr Wärmespeicher verteilt werden.

3.2 Speichervolumen bei automatischen Holzheizkessel bis 500 kW_{NWL}

Anhang 3 Ziff. 523 Abs. 2 LRV

«Automatische Heizkessel bis 500 kW Nennwärmeleistung müssen mit einem Wärmespeicher eines Volumens von mindestens 25 Litern pro kW Nennwärmeleistung ausgerüstet werden. Davon ausgenommen sind Heizkessel für Holzpellets bis 70 kW Feuerungswärmeleistung»

Vergleich mit QM Holzheizwerke®

- QMH verlangt, dass das Speichervolumen für einen Holzheizkessel die Wärmemenge einer Betriebsstunde bei NWL aufnehmen kann. QMH berücksichtigt dabei zusätzlich zur NWL auch die nutzbare Temperaturdifferenz ΔT über dem Speicher und errechnet dadurch Faktoren im Bereich von ca. 20 bis 40 Liter pro kW NWL. Bei einer grossen nutzbaren Temperaturdifferenz kann das gemäss QMH berechnete Speichervolumen somit kleiner ausfallen als gemäss LRV verlangt. In solchen Fällen ist das kleinere Speichervolumen dennoch ausreichend für einen emissionsarmen und effizienten Betrieb des Holzessels (siehe Anhang A.2).
- Das Volumen des Wärmespeichers kann auf zwei oder mehr Wärmespeicher verteilt werden.
- Diese Vorgaben gelten für Anlagen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Bei Anlagen, die ausschliesslich Prozesswärme für Industrie oder Gewerbe bereitstellen oder bei ausgewiesenem Bandlastbetrieb einer Holzfeuerung kann die Speicherauslegung nach anderen Gesichtspunkten erfolgen.

Vergleich mit Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31p (Vollzugsblätter Emissionsüberwachung – Holzfeuerungen über 70 kW_{FWL} [2])

- Grundsätzlich wird gemäss Cercl'Air ein Speichervolumen gemäss LRV mit 25 Litern pro kW Nennwärmeleistung vorgeschrieben. Wenn aus technischen oder betrieblichen Gründen ein kleineres Speichervolumen angezeigt ist, müssen einige Auflagen erfüllt werden, die im Anhang A.2 genauer beschrieben sind.

Vergleich mit anderen Vorschriften

- Die 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung (1. BImSchV) in Deutschland verlangt für automatische Holzheizkessel bis 1000 kW_{NWL} ein Speichervolumen von mindestens 20 Litern pro kW_{NWL}.

Empfehlung

Wenn aus betrieblichen oder aus technischen Gründen ein kleineres Speichervolumen vorgesehen wird, als in der LRV vorgeschrieben ist, und eine Projektbegleitung durch QMH ein geringeres Speichervolumen ergibt, so ist dieses geringere Speichervolumen massgebend. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass die wichtigsten Anforderungen von QMH eingehalten werden (siehe Anhang A.4). Ein Speichervolumen, das kleiner ist als gemäss LRV vorgeschrieben, sollte in jedem Fall frühzeitig in der Planungsphase mit den zuständigen Behörden besprochen werden.

3.3 Speichervolumen bei Holzheizkesseln über 500 kW_{NWL}

Anhang 3 Ziff. 523 Abs. 2^{bis} LRV

«Bei Heizkesseln über 500 kW Nennwärmeleistung legt die Behörde die Speichergösse fest. Dienen diese Heizkessel der Raumwärmeerzeugung oder Wassererwärmung, so müssen sie mit einem Wärmespeicher eines Volumens von mindestens 25 Litern pro kW Nennwärmeleistung ausgerüstet werden.»

Vergleich mit QM Holzheizwerke®

- QMH macht für automatische Holzheizkessel über 500 kW_{NWL} dieselben Vorgaben wie für automatische Holzheizkessel bis 500 kW_{NWL} (siehe Kapitel 3.2). Bei Anlagen dieser Grösse wird eine Projektbegleitung mit QMstandard oder QMvereinfacht empfohlen.

Vergleich mit Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31p

- Gemäss Cercl'Air-Empfehlung sollten automatische Holzheizkessel über 500 kW_{NWL} mit einem Wärmespeicher eines Volumens von mindestens 25 Litern pro kW_{NWL} ausgerüstet werden. Bei Anlagen dieser Grösse wird auch eine Projektbegleitung mit QMstandard oder QMvereinfacht empfohlen. Wenn das gemäss QMH berechnete Speichervolumen geringer ist als die in der LRV vorgeschriebenen 25 Liter pro kW_{NWL}, soll das von QMH verlangte Speichervolumen massgebend sein.

Vergleich mit anderen Vorschriften

- Für automatische Holzheizkessel zwischen 500 kW_{NWL} und 1 MW_{NWL} ist in der 1. BlmSchV ein Speichervolumen von mindestens 20 Litern pro kW_{NWL} vorgeschrieben. Für automatische Holzheizkessel grösser als 1 MW_{NWL} gibt es in Deutschland keine Vorschriften bezüglich Wärmespeichervolumina (siehe 44. BlmSchV für mittelgroße Feuerungs- Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mindestens 1 Megawatt und weniger als 50 Megawatt).

Empfehlung

Wenn aus betrieblichen oder aus technischen Gründen ein kleineres Speichervolumen vorgesehen wird, als in der LRV vorgeschrieben ist, und eine Projektbegleitung durch QMH ein geringeres Speichervolumen ergibt, so ist dieses geringere Speichervolumen massgebend. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass die wichtigsten Anforderungen von QMH eingehalten werden (siehe Anhang A.4). Ein Speichervolumen, das kleiner ist als gemäss LRV vorgeschrieben, sollte in jedem Fall frühzeitig in der Planungsphase mit den zuständigen Behörden besprochen werden.

3.4 Speichervolumen bei Anlagen mit mehreren Holzheizkesseln

Anhang 3 Ziff. 523 Abs. 3 LRV Bst. a

«Die Behörde kann in Abweichung von den Absätzen 1, 2 und 2^{bis} kleinere Speichergössen festlegen, wenn:

a. mehrere Einzelfeuerungen als betriebliche Einheit zum Zweck der Abdeckung eines variablen Wärme- oder Dampfbedarfs in wechselnder Konstellation betrieben werden;

[...].»

Vergleich mit Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31p

- Gemäss Cercl'Air-Empfehlung soll das minimale Speichervolumen bei Mehrkesselanlagen auf mindestens $\frac{2}{3}$ der gesamten Nennwärmeleistung (Summe aller Kessel) ausgelegt werden.

Beschreibung möglicher Anlagenkonzepte

- Anlagen mit zwei oder mehr Holzheizkesseln bieten den Vorteil, dass bei geringem Leistungsbedarf (z. B. im Sommer und in der Übergangszeit) nur die dem geringen Leistungsbedarf angepasste Anzahl Holzheizkessel in Betrieb ist, was einen effizienten und emissionsarmen Betrieb ermöglicht. Bei Kaskadenanlagen mit Holzheizkesseln gleicher bzw. ähnlicher Nennwärmeleistungen werden die Holzheizkessel in der Regel in wechselnder Konstellation betrieben, sodass übers Jahr in etwa die gleiche Anzahl Betriebsstunden erreicht wird. Bei einer anderen Leistungsaufteilung, z. B. $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$, wird der kleinere Holzheizkessel im Sommer und in der Übergangszeit betrieben, bei kalter Witterung wird der grössere Holzheizkessel betrieben und

bei sehr kalter Witterung werden beide Holzheizkessel gemeinsam betrieben. Die Kesselumschaltung erfolgt in diesem Fall nur in Abhängigkeit des Leistungsbedarfs, ohne Ausgleich der jährlichen Kesselbetriebsstunden.

Speicherauslegung gemäss QM Holzheizwerke

- QMH empfiehlt für Anlagen mit zwei oder mehr Holzkesseleln, dass das notwendige Speichervolumen für mindestens $\frac{2}{3}$ der gesamten NWL aller Holzheizkessel ausgelegt wird.

Empfehlung

- *Das Speichervolumen bei Anlagen mit zwei oder mehr Holzheizkesseleln mit gleicher oder unterschiedlicher NWL soll wie folgt berechnet werden (siehe Anhang A.3):*
 - *Das Speichervolumen soll auf mindestens 1 Betriebsstunde von $\frac{2}{3}$ der gesamten NWL aller Holzheizkessel ausgelegt werden*
 - *Speichervolumen $[l] = \frac{2}{3} * \sum \text{NWL [kW]} * x [l/kW]$ (1)*
- *Der Faktor x zur Berechnung des Speichervolumens soll mindestens 25 l/kW_{NWL} betragen*
- *Wenn eine Projektbegleitung durch QMH ein geringeres Speichervolumen ergibt als gemäss LRV vorgeschrieben, so ist dieses geringere Speichervolumen massgebend. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass die wichtigsten Anforderungen von QMH eingehalten werden (siehe Anhang A.4)*
- *Ein Speichervolumen, das kleiner ist als gemäss LRV vorgeschrieben, sollte in jedem Fall frühzeitig in der Planungsphase mit den zuständigen Behörden besprochen werden.*

3.5 Speicher für Solarkollektoren und Brauchwarmwasser

Solarkollektoren eingebunden in separatem Brauchwarmwasserspeicher

Aus Sicht von QMH muss das Volumen des Wärmespeichers vollständig dem Holzheizkessel zur Verfügung stehen und entsprechend dimensioniert werden. Bei grösseren Anlagen sollen deshalb die thermischen Solarkollektoren hydraulisch in einen separaten, für die Solarkollektoren ausgelegten Brauchwarmwasserspeicher eingebunden sein und die Kollektorfläche z. B. auf einen Deckungsgrad von 50% des jährlichen Warmwasserbedarfs ausgelegt werden. Im Sommer kann der Warmwasserbedarf somit durch die Solarkollektoren gedeckt werden, ohne dass der Holzheizkessel in Betrieb sein muss.

Solarkollektoren eingebunden in den Wärmespeicher des Holzheizkessels

Während der Heizsaison liefern die Solarkollektoren einen vergleichsweise kleinen Beitrag an die Wärmeproduktion. Wenn sie hydraulisch in den Wärmespeicher des Holzheizkessels eingebunden sind, stört der Solareintrag die Temperaturschichtung im Wärmespeicher und damit den Betrieb des Holzheizkessels. QMH empfiehlt deshalb, dass das für den Holzheizkessel notwendige Speichervolumen und das für die Solarkollektoren benötigte Speichervolumen separat berechnet und zusammengezählt werden.

Empfehlung (für Anlagen über 70 kW_{NWL})

Das Volumen des Wärmespeichers muss vollständig dem Holzheizkessel zur Verfügung stehen. Separat aufgestellte Speicher für Solarkollektoren und/oder Brauchwarmwasser dürfen nicht als Volumen des Wärmespeichers des Holzheizkessels gezählt werden.

Solarkollektoren

Falls ein gemeinsamer Wärmespeicher für den Holzheizkessel und die Solarkollektoren vorgesehen ist, müssen das Speichervolumen des Holzheizkessels und das Speichervolumen der Solarkollektoren je separat berechnet und dann zusammengezählt werden.

Speicher für Brauchwarmwasser

Falls ein gemeinsamer Wärmespeicher für den Holzheizkessel und das Brauchwarmwasser vorgesehen ist, müssen das Speichervolumen des Holzheizkessels und das Speichervolumen des Brauchwarmwassers je separat berechnet und dann zusammengezählt werden.

3.6 Spielraum der Behörde beim Speichervolumen

Anhang 3 Ziff. 523 Abs. 3 Bst. b LRV

« Die Behörde kann in Abweichung von den Absätzen 1, 2 und 2^{bis} kleinere Speichergrossen festlegen, wenn:

[...]

b. dies aus anderen betrieblichen oder aus technischen Gründen angezeigt ist.»

Vergleich mit Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31p

- Gemäss der Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31p können ebenfalls kleinere Speichergrossen festgelegt werden, wenn dies aus technischen oder betrieblichen Gründen angezeigt ist. Dabei werden bei Holzheizungen über 70 kW_{FWL} jedoch Vorgaben zu den Anfahrvorgängen pro Jahr (bis 100 kW_{FWL} weniger als 1'000 und für grössere Leistungen weniger als 500 Anfahrvorgänge/Jahr) und pro Heiztag (weniger als 3 bis 5 Anfahrvorgänge pro Heiztag) und zum Schwachlastbetrieb gemacht. Diese sind in Anhang A.2 genauer beschrieben. Bei Mehrkesselanlagen soll das minimale Speichervolumen auf mindestens $\frac{2}{3}$ der gesamten Nennwärmeleistung (Summe aller Kessel) ausgelegt werden. Bei Anlagen über 500 kW_{FWL} empfiehlt die Cercl'Air-Empfehlung eine Begleitung durch QMH. Wenn das gemäss QMH berechnete Speichervolumen geringer ist als die empfohlenen 25 Liter pro kW_{NWL}, soll das von QMH verlangte Speichervolumen massgebend sein.

Empfehlung

In Fällen, in denen der Holzheizkessel saniert werden muss und wo bisher kein oder ein zu kleiner Speicher vorhanden war und im Heizraum ein begrenztes Platzangebot vorhanden ist, kann die Behörde ein kleineres Wärmespeichervolumen festlegen bzw. bei bestehenden Feuerungsanlagen von der Nachrüstpflicht zur Erweiterung des Speichervolumens absehen, wenn folgende Punkte berücksichtigt werden:

- *Das für den Speicher verfügbare Platzangebot muss maximal ausgenutzt werden.*
- *Das Speichervolumen kann auf 2 oder mehr Speicher verteilt werden.*
- *Die Bedingungen für den Schwachlastbetrieb von QMH (FAQ 12, QMmini) müssen eingehalten werden.*
- *Gemäss FAQ 8 sollen weniger als 3 bis 5 Anfahrvorgänge pro Heiztag und Kessel stattfinden. Dies kann mit einer Begleitung durch QMH sichergestellt werden.*
- *Ein Speichervolumen, das kleiner ist als gemäss LRV vorgeschrieben, sollte in jedem Fall frühzeitig in der Planungsphase mit den zuständigen Behörden besprochen werden.*

A Anhang – Vertiefende Erläuterungen

A.1 Speichervolumen für handbeschickte Stückholzkessel gemäss LRV im Vergleich mit anderen Empfehlungen

Anhang 3 Ziff. 523 Abs.1 LRV

«Handbeschickte Heizkessel bis 500 kW Nennwärmeleistung müssen mit einem Wärmespeicher eines Volumens von mindestens 12 Litern pro Liter Brennstofffüllraum ausgerüstet werden. Das Volumen darf 55 Liter pro kW Nennwärmeleistung nicht unterschreiten.»

EN 303-5:2021

Zusätzlich zur LRV enthält die EN 303-5 [3] eine Berechnungsvorschrift zur Dimensionierung eines Pufferspeichers für handbeschickte Stückholzkessel bis 500 kW_{NWL}, die in Bild 1 mit den Vorgaben der LRV verglichen wird. Diese Berechnungsvorschrift wird auch von den Fachverbänden Minergie, Energie Schweiz und Holzenergie Schweiz in der Dimensionierungshilfe für Holzheizungen [4] verwendet. Im Zusammenhang mit der kleinsten Wärmeleistung eines Stückholzkessels verlangt die EN 303-5 als Richtwert für den minimalen Pufferspeicherinhalt:

$$V_{Sp} = 15 \cdot T_B \cdot P_N \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \frac{P_H}{P_{min}}\right) \quad (2)$$

Dabei sind

- V_{Sp} das Pufferspeichervolumen in Litern;
 - T_B die Abbranddauer in Stunden;
 - P_N die Nennwärmeleistung in Kilowatt;
 - P_H die Heizlast des Gebäudes in Kilowatt;
 - P_{min} die kleinste Wärmeleistung (des Stückholzkessels) in Kilowatt;
- die Zahlen bedeuten: 15: 15 l/kWh, 1: 100%, 0.3: 30%.

Bei Heizkesseln mit mehreren zugelassenen Brennstoffen erfolgt die Dimensionierung entsprechend jenem Brennstoff, der den grössten Pufferspeicher benötigt. Das Mindestvolumen beträgt 300 l.

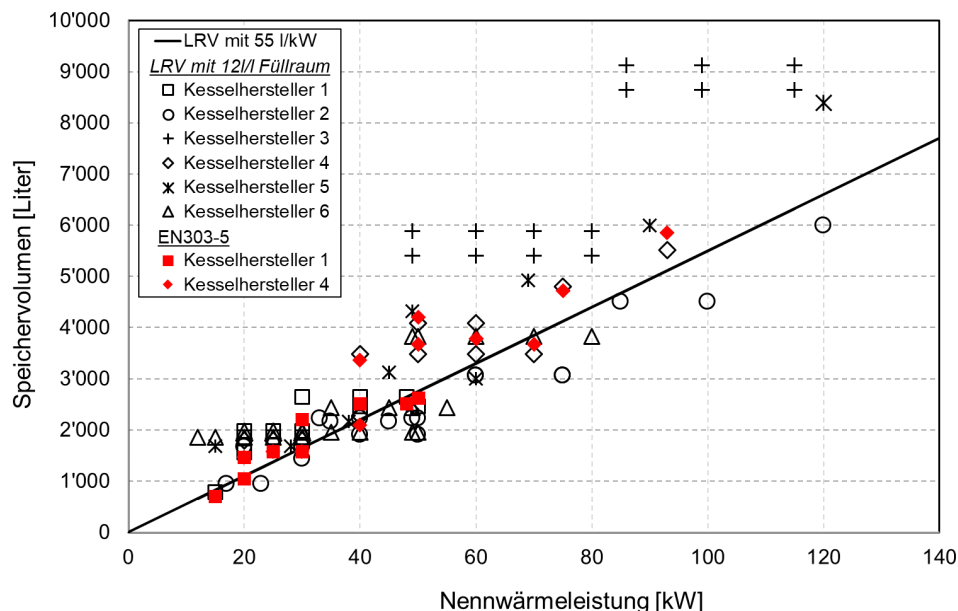


Bild 1: Speichervolumen bei handbeschickten Stückholzkesseln als Funktion der Nennwärmeleistung, berechnet mit verschiedenen Varianten.

Schwarze Linie: Speichervolumen berechnet nach LRV mit 55 l/kW.

Schwarze Symbole: Speichervolumen berechnet nach LRV mit 12 Liter pro Liter Brennstofffüllraumvolumen. Die unterschiedlichen Symbole stehen für verschiedene Kesselhersteller.

Rote Symbole: Speichervolumen berechnet nach EN 303-5 mit $P_H/P_{min} = 1$ (siehe Formel 2).

Wie Bild 1 zeigt, ergeben die zwei Berechnungsvarianten nach LRV um bis zu mehr als einen Faktor 2 unterschiedliche Speichervolumina, während eine Auslegung nach EN 303-5 zu Speichergrössen führt, die innerhalb der Bandbreite der LRV-Berechnungen liegen.

A.2 Speichervolumen für automatische Holzheizkessel gemäss LRV im Vergleich mit anderen Empfehlungen

Anhang 3 Ziff. 523 Abs. 2 und 2^{bis} LRV

«Automatische Heizkessel bis 500 kW Nennwärmeleistung müssen mit einem Wärmespeicher eines Volumens von mindestens 25 Litern pro kW Nennwärmeleistung ausgerüstet werden. Davon ausgenommen sind Heizkessel für Holzpellets bis 70 kW Feuerungswärmeleistung.»

«Bei Heizkesseln über 500 kW Nennwärmeleistung legt die Behörde die Speichergösse fest. Dienen diese Heizkessel der Raumwärmeerzeugung oder Wassererwärmung, so müssen sie mit einem Wärmespeicher eines Volumens von mindestens 25 Litern pro kW Nennwärmeleistung ausgerüstet werden.»

Neben der LRV gibt es weitere Vorschriften und Empfehlungen von Behörden und Verbänden zur Berechnung des Speichervolumens, die nachfolgend angeführt und in Bild 2 und Tabelle 1 dargestellt werden:

- In der Deutschen Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen bis 1 MW_{NWL} (1. BImSchV) ist ein Speichervolumen von mindestens 20 Litern pro kW_{NWL} vorgeschrieben (vgl. § 5 Abs. 4 der 1. BImSchV [5]). Für automatische Holzheizkessel grösser als 1 MW_{NWL} gibt es keine Vorschriften bezüglich Wärmespeichervolumina (siehe 44. BImSchV für mittelgrosse Feuerungs-Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mindestens 1 Megawatt und weniger als 50 Megawatt [6]).
- QMH verlangt, dass das Speichervolumen für einen Holzheizkessel die Wärmemenge einer Betriebsstunde bei NWL aufnehmen kann. Dazu berücksichtigt QMH die nutzbare Temperaturdifferenz (ΔT) über dem Speicher, die sich ergibt aus der Differenz zwischen der Vorlauftemperatur des Holzheizkessels (typischer Bereich von ca. 80°C bis 95°C) und der Rücklauftemperatur des Wärmenetzes bei der Auslegetemperatur von z. B. -10°C (typischer Bereich von ca. 35°C bis 65°C). Die nutzbare Temperaturdifferenz (ΔT) über dem Speicher kann somit zwischen rund 15°C bis 50°C betragen und gemäss Formel 3 ergeben sich verschiedene Faktoren in Liter pro kW_{NWL} für die Berechnung des Speichervolumens (siehe Tabelle 1 und Bild 2):

$$\text{Speichervolumen [l/kW]} = \text{NWL [kW]} * 0.86 / \Delta T \quad (3)$$

Bei einer hohen nutzbaren Temperaturdifferenz von z. B. 40°C kann somit das erforderliche Speichervolumen halb so gross sein wie bei einer geringen nutzbaren Temperaturdifferenz von nur 20°C.

Die Empfehlungen von QMH zur Speicherdimensionierung gelten auch für Anlagen über 500 kW_{NWL} [7, 8]. QMH verlangt zusätzlich zum Speicher auch ein intelligentes Speicherlademanagement. Dieses basiert auf der Erfassung des Speicherladezustands über mindestens fünf Temperaturfühler im Speicher und der Regelung des Speicherladezustands auf einen konstanten Sollwert, indem die Leistung des Holzheizkessels langsam moduliert wird. So erreicht der Holzheizkessel lange Betriebslaufzeiten und wenig Anfahr-/Abfahrzyklen. Diese Vorgaben gelten für Anlagen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Bei Anlagen, die ausschliesslich Prozesswärme für Industrie oder Gewerbe bereitstellen oder bei ausgewiesenem Bandlastbetrieb einer Holzfeuerung kann die Speicherauslegung nach anderen Gesichtspunkten erfolgen.

- In der Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31p [2] werden für automatische Holzheizkessel über 70 kW_{FWL} Wärmespeicher von mindestens 25 Litern pro kW_{NWL} vorgeschrieben. Bei Holzheizungen über 500 kW_{FWL} wird auch eine Projektbegleitung mit QMstandard oder QMvereinfacht empfohlen. Wenn das gemäss QMH berechnete Speichervolumen geringer ist als die empfohlenen 25 Liter pro kW_{NWL}, soll das von QMH verlangte Speichervolumen massgebend sein. Bei automatischen Holzheizungen über 70 kW_{FWL} kann die Behörde in Abweichung von Anh. 3 Ziff. 523 LRV kleinere Speichervolumina festlegen, wenn dies aus technischen oder betrieblichen Gründen angezeigt ist. Dabei können auch die Anzahl Anfahrvorgänge in Verbindung mit der minimalen Tagesheizlast (Vorgaben Holzfeuerungen Schweiz und QMH) als Kriterien zur Bemessung des Speichervolumens beigezogen werden:

- Die Anzahl Starts pro Jahr muss mittels Zähler überwacht werden.
- Es gelten die Anforderungen gemäss SFIH Merkblatt 11/1¹ (derzeit nicht verfügbar).
- Bei Schwachlastbetrieb gelten die Anforderungen gemäss FAQ 12 von QM Holzheizwerke [9].
- Das minimale Speichervolumen bei Mehrkesselanlagen muss auf mindestens $\frac{2}{3}$ der gesamten Nennwärmeleistung (Summe aller Kessel) ausgelegt werden.
- Hinweise:
 - Definition Start: Wenn bei Wärmebedarf mit der Zündung angefeuert oder aus dem Glutbettunterhaltsbetrieb angefahren wird, so dass ein Feuerbetrieb erreicht wird (siehe auch Bericht «Beurteilung von automatischen Holzfeuerungen mittels Langzeitmessungen» [10]).
 - Es sind die Einhaltung der Empfehlungen zur Anzahl der Anfahrvorgänge pro Jahr gemäss SFIH Merkblatt 11/1 (bis 100 kW_{FWL} weniger als 1'000 und für grössere Leistungen weniger als 500 Anfahrvorgänge²) und FAQ 8 von QM-Holzheizwerke (maximal 5 Anfahrvorgänge pro Tag) anzustreben. Die Anzahl der Anfahrvorgänge pro Jahr beziehen sich bei Mehrkesselanlagen auf die Summe der Einschaltungen aller Feuerungen.

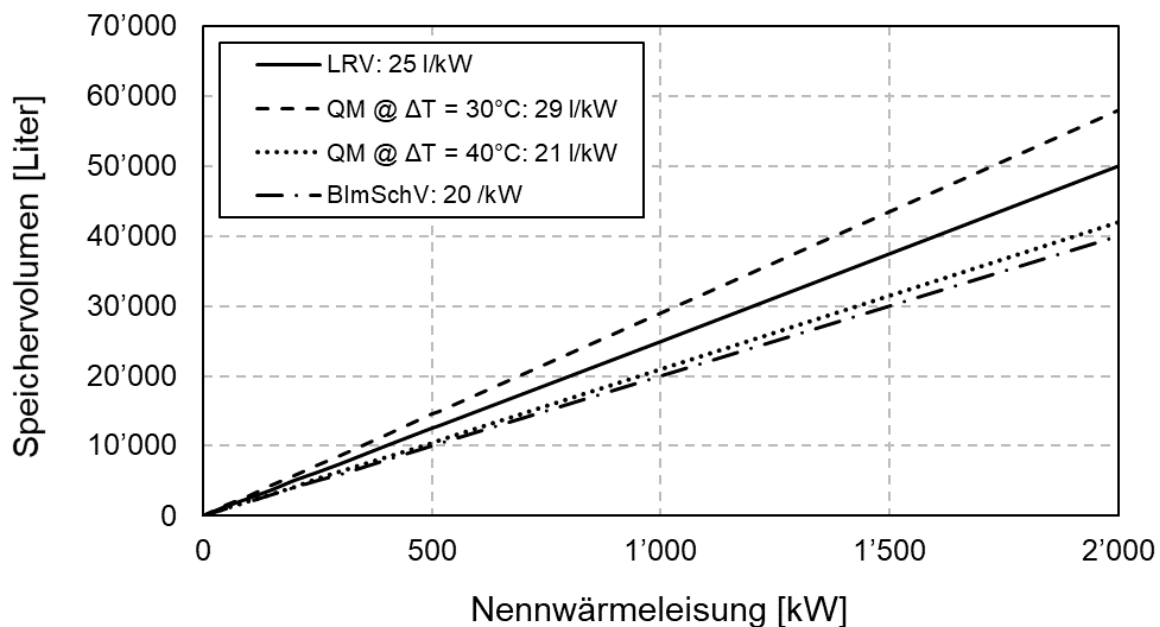


Bild 2: Speichervolumen als Funktion der Nennwärmeleistung berechnet mit verschiedenen Varianten (siehe Tabelle 1).

¹ Aufgrund der bereits länger zurückliegenden Veröffentlichung dieses Merkblatts und der seitdem aufgetretenen grösseren Änderungen des aktuellen Standes der Technik und bei den Betriebskonzepten von Holzheizkesseln, wurde dieses Merkblatt von Holzfeuerungen Schweiz zurückgezogen.

² Die Empfehlung von weniger als 500 Anfahrvorgängen pro Jahr für «grössere Leistungen» im zurückgezogenen SFIH Merkblatt 11/1 stammt aus Zeiten, in denen für Leistungen über 500 kW_{NWL} hauptsächlich industrielle Feuerungen am Markt verfügbar waren, die in der Regel viele Betriebsstunden und wenige An- und Abfahrphasen aufweisen.

Tabelle 1: Übersicht über Vorschriften und Empfehlungen zur Speicherdimensionierung automatischer Holzheizkessel.

Vorschrift/Empfehlung	Speichervolumen	Anwendungsbereich
Luftreinhalte-Verordnung (LRV)	≥ 25 [l/kW _{NWL}]	Hackschnitzel 0 – 500 kW _{NWL} Pellets 70 kW _{FWL} – 500 kW _{NWL} Holzheizkessel > 500 kW _{NWL}
Cercl’Air-Empfehlung Nr. 31p *	≥ 25 [l/kW _{NWL}]	Holzheizkessel > 70 _{NWL}
1. BImSchV (Deutschland)	≥ 20 [l/kW _{NWL}]	4 – 1'000 kW _{NWL}
QM Holzheizwerke** - ΔT über dem Speicher von 25 °C - ΔT über dem Speicher von 30 °C - ΔT über dem Speicher von 35 °C - ΔT über dem Speicher von 40 °C	≥ 34 [l/kW _{NWL}] ≥ 29 [l/kW _{NWL}] ≥ 25 [l/kW _{NWL}] ≥ 21 [l/kW _{NWL}]	70 kW _{NWL} – 10 MW _{NWL}

* Ausnahmen: Bestehende Feuerungsanlagen mit zu kleinem Speichervolumen werden von der Nachrüstpflicht ausgenommen, wenn weniger als 3 bis 5 Anfahrvorgänge pro Heiztag auftreten, bis 100 kW_{FWL} weniger als 1000 / über 100 kW_{FWL} weniger als 500 Anfahrvorgänge pro Kalenderjahr auftreten, der Schwachlastbetrieb gemäss FAQ 12 QMH [9] eingehalten wird und die Mindestverfügbarkeit der Staubabscheidesysteme von 90% nachgewiesen und eingehalten wird.

** [l/kW] = Nennwärmeleistung [kW] * 0.86 / ΔT * 1000.

A.3 Speichervolumen bei Anlagen mit mehreren Holzheizkesseln

Die Anforderungen an die Speicherdimensionierung nach QMH sind:

- Der Anwendungsbereich gilt für Anlagen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser.
- Bei Prozesswärme für Industrie oder Gewerbe oder bei Bandlastbetrieb einer Holzfeuerung muss die Speicherauslegung nach anderen Gesichtspunkten erfolgen.
- Es wird die Temperaturdifferenz ΔT über dem Speicher (oben und unten) bei Auslegetemperatur berücksichtigt (siehe Tabelle 1).
- Speicher für solarthermische Kollektoren und für Brauchwarmwasser dürfen das Speichervolumen des Holzheizkessels nicht beeinträchtigen.
- Für zwei Holzheizkessel mit gleicher oder unterschiedlicher Leistung
 - o Das Speichervolumen soll auf mindestens 1 Betriebsstunde von mindestens $\frac{2}{3}$ der gesamten NWL beider Holzheizkessel ausgelegt werden
 - o Speichervolumen [l] = $\frac{2}{3} * \sum \text{NWL [kW]} * x$ [l/kW]
 - Beispiel: Holzheizkessel 1 mit 400 kW_{NWL} und Holzheizkessel 2 mit 800 kW_{NWL}, ΔT über dem Speicher = 30°C → $x = 29$ l/kW (siehe Tabelle 1)
Speichervolumen [l] = $\frac{2}{3} * (400 \text{ kW}_{\text{NWL}} + 800 \text{ kW}_{\text{NWL}}) * 29 \text{ l/kW} = 23'200$ [l]
- Von Anlagen mit drei oder mehr Holzheizkesseln mit gleicher oder unterschiedlicher Nennwärmeleistung liegen bisher erst wenige Erfahrungen vor. Sobald vertiefte Untersuchungen aus dem Projekt HoKaSpe³ über solche Anlagen vorliegen, wird QMH Anforderungen zu deren Speicherdimensionierung und Kaskadierung kommunizieren. In Anlehnung an die bisherigen Grundsätze empfiehlt QMH vorläufig folgende Speicherdimensionierung:
 - o Das Speichervolumen soll auf mindestens 1 Betriebsstunde von mindestens $\frac{2}{3}$ der gesamten NWL aller Holzheizkessel ausgelegt werden
 - o Speichervolumen [l] = $\frac{2}{3} * \sum \text{NWL [kW]} * x$ [l/kW]
 - Beispiel: 3 Holzheizkessel mit je 500 kW_{NWL}, ΔT über dem Speicher = 30°C → $x = 29$ l/kW (siehe Tabelle 1)
Speichervolumen [l] = $\frac{2}{3} * 3 * 500 \text{ kW}_{\text{NWL}} * 29 \text{ l/kW} = 29'000$ [l]

³ Im Projekt "Holzkessel Kaskaden-Anlagen mit Speicher" (HoKaSpe) werden drei Kaskaden-Anlagen im Praxisbetrieb vertieft untersucht und der Einfluss verschiedener Parameter mit Hilfe von Modellsimulationen aufgezeigt. Das Projekt soll Grundlagen erarbeiten für die Auslegung der Kesselgrößen und des Speichervolumens sowie für den regelungstechnisch optimalen Betrieb von Kaskaden-Anlagen.

- Der Faktor x zur Berechnung des Speichervolumens soll mindestens 25 l/kW_{NWL} betragen. Wenn eine Projektbegleitung mit QMH vorliegt, soll das von QMH berechnete Speichervolumen massgebend sein.

Gemäss Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31p [2] soll bei automatischen Feuerungen über 70 kW_{FWL} mit mehreren Kesseln das minimale Speichervolumen auf mindestens 2/3 der gesamten Nennwärmeleistung (Summe aller Kessel) ausgelegt werden.

A.4 Projektbegleitung mit QM Holzheizwerke®

Die Projektbegleitung mit QM Holzheizwerke® (QMH) ist eine Dienstleistung für Bauherren, die z. B. einen neuen Fernwärmeverbund mit Holzheizkesseln realisieren oder eine bestehenden Heizzentrale mit Holzheizkesseln erneuern möchten. Die Qualitätsbegleitung stellt in der Planungsphase sicher, dass die Dimensionierung der Wärmeerzeugung und der Wärmeverteilung die Anforderungen von QMH erfüllen und stellen im ersten Betriebsjahr sicher, dass die Anlage die Anforderungen von QMH an einen emissionsarm und effizienten Betrieb erfüllt.

Es stehen mehrere Verfahren zur Projektbegleitung mit QMH zur Verfügung, nämlich QMmini, QMvereinfacht und QMstandard. Ihr Einsatzbereich ist in Bild 3 dargestellt.

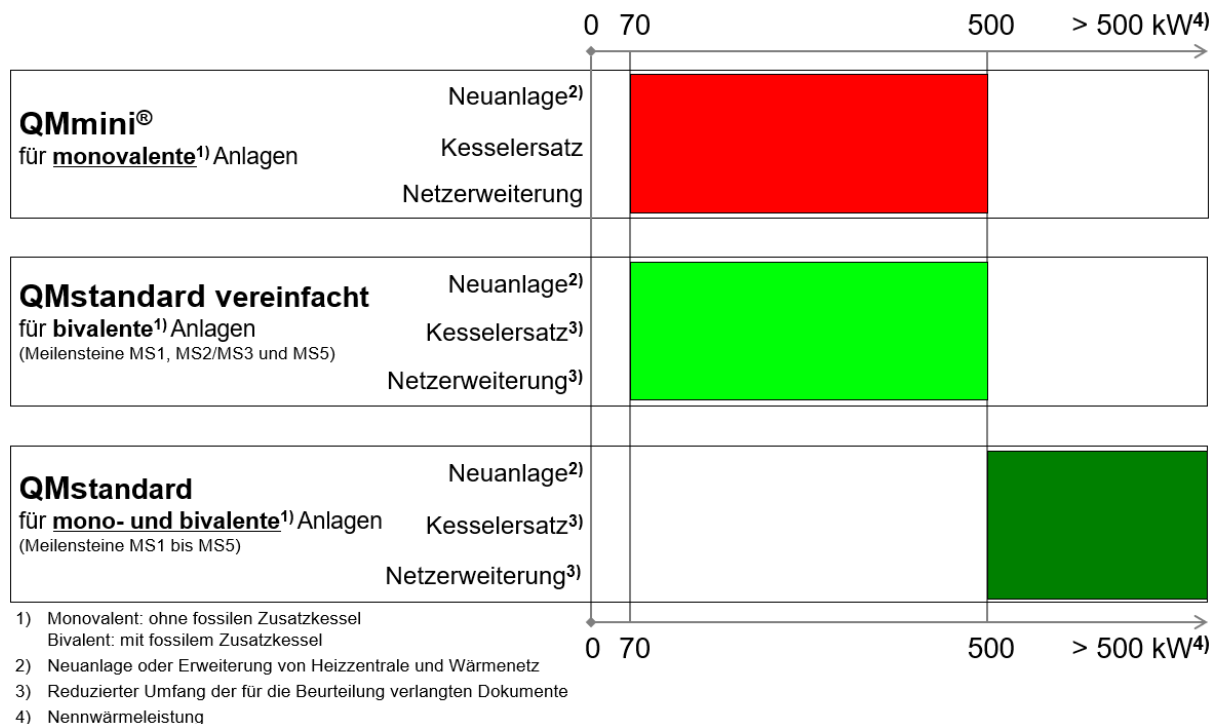


Bild 3: Anwendungsbereich von QMmini, QMvereinfacht und QMstandard in Funktion der Nennwärmeleistung (NWL).

Weitergehende Informationen sind auf folgender Website verfügbar: <https://www.qmholzheizwerke.ch>

Literatur

1. Schweizer Luftreinhalte-Verordnung (LRV), Stand 01.01.2022, verfügbar unter: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/de (letzter Zugriff am 01.02.2022).
2. Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31p - Vollzugsblätter Emissionsüberwachung, Holzfeuerungen über 70 kWFWL, Hilfsmittel zum Vollzug der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) bei stationären Anlagen, Stand: Januar 2022, verfügbar unter: <https://cerclair.ch/assets/pdf/31p-2022-01-D-Holzfeuerungen-%C3%BCber-70kW.pdf>, letzter Zugriff: 22.02.2022.
3. EN 303-5:2021 Heizkessel – Teil 5, Heizkessel für feste Brennstoffe, manuell und automatisch beschickte Feuerungen, Nenn-Wärmeleistung bis 500 kW – Begriffe, Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung.
4. Energie Schweiz, Dimensionierungshilfe Holzheizungen, 2015, verfügbar unter: <https://www.energieschweiz.ch/gebaeudetechnik/> (letzter Zugriff am 11.04.2022).
5. Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (1. BImSchV), 26.10.2010, verfügbar unter: http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/index.html (letzter Zugriff am 01.02.2022).
6. Vierundvierzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über mittelgroße Feuerungs- Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen - 44. BImSchV), 13.06.2019, verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_44/BJNR080410019.html (letzter Zugriff am 15.03.2022).
7. QM Holzheizwerke: Q-Leitfaden, Schriftenreihe QM Holzheizwerke Band 1, C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, 3. Auflage 2011, ISBN 978-3-937441-91-7, verfügbar unter: <https://www.qmholzheizwerke.ch/publikationen.html>.
8. QM Holzheizwerke: Standard-Schaltungen Teil 1, Schriftenreihe QM Holzheizwerke Band 2, C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, 2. Auflage 2010, ISBN 978-3-937441-92-1, verfügbar unter: <https://www.qmholzheizwerke.ch/publikationen.html>.
9. QM Holzheizwerke, FAQ 12 - Wie gross muss die Minimallast eines Holzessels im Schwachlastbetrieb sein?, 2009, verfügbar unter: <https://www.qmholzheizwerke.ch/de/faqs.html> (letzter Zugriff: 01.02.2022).
10. Lauber A., Good J., and Nussbaumer Th., Beurteilung von automatischen Holzfeuerungen mittels Langzeitmessungen im Praxisbetrieb, Bundesamt für Energie, Bern 14.7.2016. 2016.