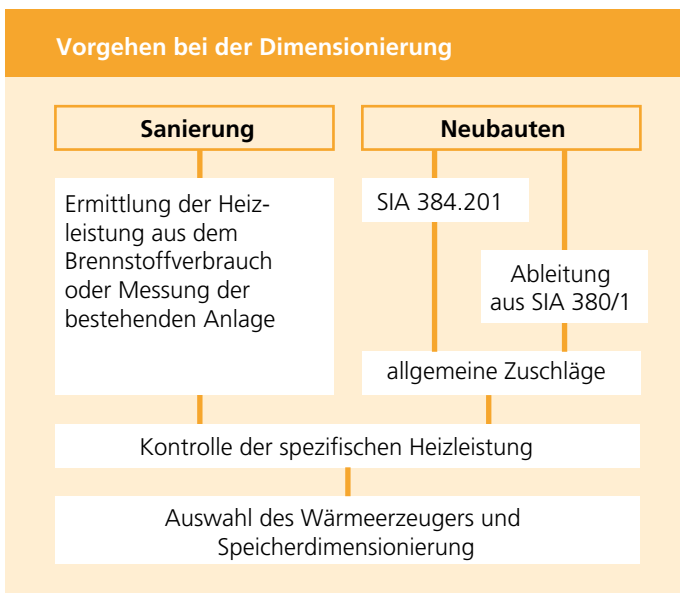


ERMITTLUNG DER WÄRMEERZEUGERLEISTUNG

6

1 VORGEHEN

Die präzise Dimensionierung von Heizungsanlagen bildet einen wichtigen Beitrag an die rationelle Energienutzung in Gebäuden. Nur korrekt dimensioniert, ist der energiegerechte Betrieb möglich. Das Schema zeigt das Vorgehen von der Ermittlung der Heizlast bis zur Kesselwahl.



2 ERMITTLUNG DER WÄRMEERZEUGERLEISTUNG BEI SANIERUNGEN

Eine detaillierte Beschreibung der Ermittlung der Wärmeerzeugerleistung findet sich in der Norm SIA 384/1 [1].

2.1 ERMITTLUNG DER WÄRMEERZEUGERLEISTUNG AUS DEM BRENNSTOFFVERBRAUCH

Die Ermittlung der Wärmeerzeugerleistung üblicher kleinerer Wohnbauten (d. h. nicht sehr gut wärmegeklämt, kein hoher Glanteil sowie keine ausgeprägte Südhanglage) mit einem gesamten Leistungsbedarf bis 100 kW, kann meistens mit genügender Genauigkeit aufgrund des bisherigen Verbrauchs erfolgen.

Die erforderliche Wärmeerzeugerleistung des Ersatzwärmeerzeugers ist:

$$\Phi_{\text{gen,out,new}} = (m_{\text{an}} \cdot \text{GCV} / t_{\text{an}}) \cdot (\eta_{\text{an,old}} / \eta_{\text{an,new}}) \cdot \eta_{\text{gen,new}}$$

$\Phi_{\text{gen,out,new}}$ Wärmeerzeugerleistung des Ersatzwärmeerzeugers, in kW

m_{an} jährlicher Brennstoffverbrauch im mehrjährigen Mittel, in kg (bzw. m³ oder l)

GCV Brennwert («Gross Calorific Value»), in kWh/kg (bzw. kWh/m³ oder kWh/l)

t_{an} jährliche Volllastzeit des Ersatzwärmeerzeugers, in h

$\eta_{\text{an,old}}$ Jahresnutzungsgrad bisher (bezüglich Brennwert)

$\eta_{\text{an,new}}$ Jahresnutzungsgrad des Ersatzwärmeerzeugers (bezüglich Brennwert)

$\eta_{\text{gen,new}}$ Wärmeerzeugerwirkungsgrad des Ersatzwärmeerzeugers (bezüglich Brennwert)

Der Wärmeerzeugerwirkungsgrad kann hier angenommen werden: $\eta_{\text{gen,new}} \approx 0,5 \cdot (1 + \eta_{\text{an,new}})$

Bemerkung: Die obere Formel zur Ermittlung der Wärmeerzeugerleistung gilt nur für gleichartige Ersatzsysteme. Daten verschiedener Systeme dürfen bei der Berechnung nicht vermischt werden. Bei der Änderung des Wärmeerzeugersystems kann die korrekte Auswahl des Ersatz-Wärmeerzeugers erst nach der Bestimmung eines gleichartigen Ersatzsystems ausgewählt werden. Die korrekte Anwendung der Formel wird in den Abschnitten 2.1.1 bis 2.1.6 an mehreren Beispielen gezeigt. Prozentzahlen müssen als Dezimalzahl in die Formel eingesetzt werden, z. B. 0,80 für 80 %.

Bei Standorthöhen bis 800 m kann die jährliche Volllastzeit t_{an} nach folgender vereinfachenden Regel verwendet werden:

- 2300 h bei Wärmeerzeugern für Heizung,
- 2700 h bei Wärmeerzeugern für Heizung und Wassererwärmung.

Bei Standorthöhen über 800 m ist die Volllastzeit um 300 h zu erhöhen.

2.2 STÜCKHOLZHEIZUNG [6]

Brennwert GCV für lufttrockenes Stückholz ¹⁾	
Weichholz ²⁾	1800 kWh/rm ⁴⁾
Hartholz ³⁾	2500 kWh/rm

¹⁾ Holz soll nicht waldfrisch verfeuert werden! Es entstehen sonst zu viele Emissionen und die nutzbare Energie fällt geringer aus. Lufttrockenes Holz (2 Jahre Trocknung) hat 15 bis 20% Wassergehalt.
²⁾ Weichholz: z. B. Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Pappel oder Weide
³⁾ Hartholz: z. B. Eiche, Rotbuche, Esche, Ahorn, Birke, Ulme, Edelkastanie, Hagebuche, Hasel, Nuss oder Traubenkirsche.
⁴⁾ Raummeter [rm]: Stapel mit 1 Meter langen, runden Holzknüppeln in einer Breite und Höhe von einem Meter (Ster).

Jahresnutzungsgrad η_{an}	
Neue Kessel	65 % bis 75 %
Alte Kessel	45 % bis 65 %

Berechnungsbeispiel

Ein Einfamilienhaus in Adelsboden (1250 m.ü.M.) mit Heizwärme- und Wassererwärmung

Volllastzeit $t_{an} = 3000$ h/a

Holzverbrauch (lufttrockenes Hartholz) $m_{an} = 18$ rm/a

Brennwert GCV = 2500 kWh/rm

Jahresnutzungsgrad $\eta_{an,new} = 70\%$, $\eta_{an,old} = 55\%$

Wärmeerzeugerwirkungsgrad $\eta_{gen,new} \approx 0,5 \cdot (1 + \eta_{an,new}) = 85\%$

$$\Phi_{gen,out,new} = (m_{an} \cdot GCV / t_{an}) \cdot (\eta_{an,old} / \eta_{an,new}) \cdot \eta_{gen,new}$$

$$= (18 \cdot 2500 / 3000) \cdot (0,55 / 0,70) \cdot 0,85 = 10,0 \text{ kW}$$

2.3 HOLZSCHNITZELHEIZUNG [6]

Brennwert GCV für Holzsnitzel			
	Wasser- gehalt %	Schüttdichte kg/Srm ¹⁾	Brennwert GCV kWh/Srm
Weichholz	30	160 bis 230	750 bis 900
Hartholz	30	250 bis 330	1000 bis 1250

¹⁾ Schüttraummeter [Srm]: ein Kubikmeter Holzsnitzel geschüttet.

Jahresnutzungsgrad η_{an}	
Neue Kessel ¹⁾	65 % bis 75 %
Alte Kessel	45 % bis 65 %

¹⁾ Nutzungsgrad gilt für nicht kondensierende Wärmeerzeuger.

Berechnungsbeispiel

Ein Mehrfamilienhaus in Basel mit Heizwärmeerzeugung ohne Wassererwärmung

Volllastzeit $t_{an} = 2300$ h/a

Holzsnitzelverbrauch (Weichholz Wassergehalt 30 %) = 400 Srm/a

Brennwert GCV = 800 kWh/Srm

Jahresnutzungsgrad $\eta_{an,new} = 70\%$, $\eta_{an,old} = 55\%$

Wärmeerzeugerwirkungsgrad $\eta_{gen,new} \approx 0,5 \cdot (1 + \eta_{an,new}) = 85\%$

$$\Phi_{gen,out,new} = (m_{an} \cdot GCV / t_{an}) \cdot (\eta_{an,old} / \eta_{an,new}) \cdot \eta_{gen,new}$$

$$= (400 \cdot 800 / 2300) \cdot (0,55 / 0,70) \cdot 0,85 = 93 \text{ kW}$$

2.4 PELLETHEIZUNG

Brennwert GCV Pellets	
	5,2 bis 5,5 kWh/kg

Jahresnutzungsgrad η_{an}	
Neue und alte Kessel	65 % bis 75 %

Berechnungsbeispiel

Ein Einfamilienhaus in Basel mit Heizwärmeerzeugung ohne Wassererwärmung

Volllastzeit $t_{an} = 2300$ h/a

Pelletverbrauch = 3200 kg/a

Brennwert GCV = 5,4 kWh/kg

Jahresnutzungsgrad $\eta_{an,new} = 70\%$, $\eta_{an,old} = 60\%$

Wärmeerzeugerwirkungsgrad $\eta_{gen,new} \approx 0,5 \cdot (1 + \eta_{an,new}) = 85\%$

$$\Phi_{gen,out,new} = (m_{an} \cdot GCV / t_{an}) \cdot (\eta_{an,old} / \eta_{an,new}) \cdot \eta_{gen,new}$$

$$= (3200 \cdot 5,4 / 2300) \cdot (0,6 / 0,70) \cdot 0,85 = 5,5 \text{ kW}$$

2.5 ÖLHEIZUNG

Brennwert GCV für Öl	
Heizöl EL	10,5 kWh/l

Jahresnutzungsgrad η_{an}	
Neue Kessel (kondensierend)	85 % bis 95 %
Alte Kessel (nicht kondensierend)	75 % bis 80 %

Berechnungsbeispiel

Ein Einfamilienhaus in Zürich mit Heizwärme- und

Wassererwärmung

Volllastzeit $t_{an} = 2700$ h/a

Ölverbrauch = 2000 l/a

Brennwert GCV = 10,5 kWh/l

Jahresnutzungsgrad $\eta_{an,new} = 90\%$, $\eta_{an,old} = 78\%$

Wärmeerzeugerwirkungsgrad $\eta_{gen,new} \approx 0,5 \cdot (1 + \eta_{an,new}) = 95\%$

$$\begin{aligned}\Phi_{gen,out,new} &= (m_{an} \cdot GCV / t_{an}) \cdot (\eta_{an,old} / \eta_{an,new}) \cdot \eta_{gen,new} \\ &= (2000 \cdot 10,5 / 2700) \cdot (0,78 / 0,90) \cdot 0,95 = 6,4 \text{ kW}\end{aligned}$$

2.6 GASHEIZUNG

Brennwert GCV für Gas

Heizgas	10,4 kWh/m ³ ¹⁾
---------	---------------------------------------

¹⁾ Der angegebene Brennwert gilt für 0,98 bar, 15°C (Mittelland) und ist auf Betriebskubikmeter m³ wie am Gaszähler abgelesen bezogen.

Jahresnutzungsgrad η_{an}

Neue Kessel (kondensierend)	85 % bis 95 %
-----------------------------	---------------

Alte Kessel (nicht kondensierend)	80 % bis 85 %
-----------------------------------	---------------

Berechnungsbeispiel

Ein Mehrfamilienhaus in Bern mit Heizwärme- und

Wassererwärmung

Volllastzeit $t_{an} = 2700$ h/a

Gasverbrauch = 6000 m³

Brennwert GCV = 10,4 kWh/m³

Jahresnutzungsgrad $\eta_{an,new} = 90\%$, $\eta_{an,old} = 82\%$

Wärmeerzeugerwirkungsgrad $\eta_{gen,new} \approx 0,5 \cdot (1 + \eta_{an,new}) = 95\%$

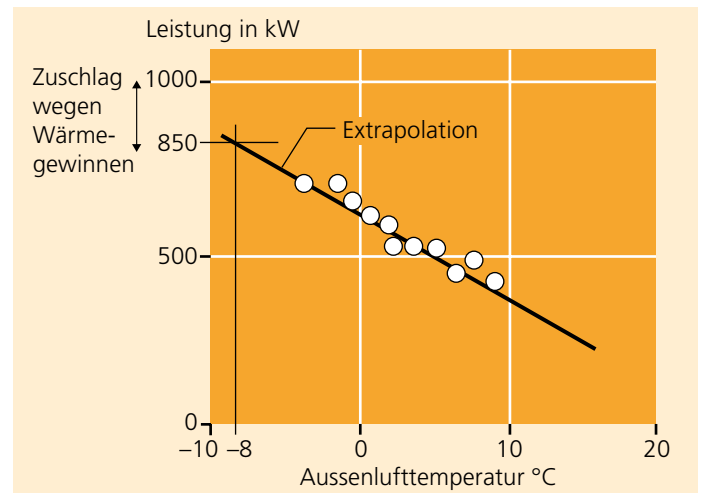
$$\begin{aligned}\Phi_{gen,out,new} &= (m_{an} \cdot GCV / t_{an}) \cdot (\eta_{an,old} / \eta_{an,new}) \cdot \eta_{gen,new} \\ &= (6000 \cdot 10,4 / 2700) \cdot (0,82 / 0,90) \cdot 0,95 = 20 \text{ kW}\end{aligned}$$

2.7 BESTIMMUNG DER WÄRMEERZEUGERLEISTUNG MITTELS DER GEMESSENEN LEISTUNGSKENNLINIE

Messungen an der alten betriebstüchtigen Anlage ergeben differenziertere Angaben für die Dimensionierung von neuen Wärmeerzeugern. Das Verfahren ist in der SIA 384/1, Ziffer 4.3.7 beschrieben.

Messungen sind erforderlich

- bei Wohnbauten, die nicht den obgenannten Kriterien entsprechen (z. B. sehr gut gedämmte oder solche mit hohem Glasanteil),
- generell bei anderen Nutzungen,
- wenn der Ersatzwärmeerzeuger eine höhere Genauigkeit verlangt.



Leistungskennlinie aus einer Messung (Beispiel)

Die Messung der alten Wärmeerzeugung sollten sich über etwa zwei Wintermonate erstrecken. Die mittleren Verbrennungsleistungen (z. B. Tagesmittelwerte) werden in Funktion der Aussenlufttemperatur aufgetragen. Durch Inter- bzw. Extrapolation mit der Regressionsgeraden (Leistungskennlinie) wird die mittlere Wärmeerzeugerleistung bei der Norm-Aussentemperatur bestimmt. Da in der Messung meist Solargewinne vorhanden sind, wird er ermittelte Wert um ca. 15 % erhöht.

3 BERECHNUNG DER NORM-HEIZLAST BEI NEUBAUTEN

3.1 NORM-HEIZLAST NACH SIA 384.201 [2]

Das Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast nach SIA 384.201 kommt bei Neubauten oder bei umfassenden wärmetechnischen Gebäudesanierungen zum Einsatz. Dabei wird die Norm-Heizlast jedes beheizten Raumes einzeln ermittelt. Eine solche Berechnung ist für die Dimensionierung der Wärmeabgabe (Fussbodenheizung, Heizkörper, thermoaktive Bauteilsysteme, Luftheizung) notwendig. Aus der Heizlast der einzelnen Räume wird die Norm-Heizlast des gesamten Gebäudes bestimmt.

Vorgehen bei der Berechnung

- Bestimmung der Norm-Aussentemperatur.
- Festlegung der Werte für die Norm-Innentemperatur jedes beheizten Raumes.
- Berechnung der Normtransmissionsverluste.
- Summieren der Norm-Transmissionswärmeverluste aller beheizten Räume, ohne den Wärmefluss zwischen den beheizten Räumen zu berücksichtigen. So ergeben sich die Auslegungs-Transmissionswärmeverluste für das gesamte Gebäude.
- Berechnung der Norm-Lüftungswärmeverluste unter Berücksichtigung einer allfälligen mechanischen Lüftung.

- Summieren der Norm-Lüftungswärmeverluste aller beheizten Räume. So ergeben sich die Auslegungs-Lüftungswärmeverluste für das gesamte Gebäude.
- Berechnen der Norm-Heizlast des Gebäudes (in W) unter Berücksichtigung von Korrekturfaktoren insbesondere für die Lüftung.

Bestimmung der Leistung der Wärmeerzeugung gemäss SIA 384/1 [1]

Die Leistung der Wärmeerzeuger wird nach der Norm SIA 384/1 bestimmt. Sie muss so ausgelegt werden, dass die Norm-Heizlast sowie der Wärmeleistungsbedarf der Wassererwärmungsanlage und der verbundenen Systeme gedeckt werden können.

Die von der Wärmeerzeugung abzugebende Leistung wird wie folgt berechnet:

$$\Phi_{\text{gen,out}} = \Phi_{\text{HL}} + \Phi_{\text{W}} + \Phi_{\text{AS}}$$

$\Phi_{\text{gen,out}}$ Wärmeerzeugerleistung, in kW

Φ_{HL} Norm-Heizlast gemäss SIA 383.201, in kW

Φ_{W} Leistung für die Wassererwärmung, in kW

Φ_{AS} Leistung der verbundenen Systeme (z. B. Lüftungsanlagen, Prozesswärme), in kW

Für die Leistungsanteile Heizung und Warmwasser wird von einer Tagesbetrachtung am Dimensionierungstag (Norm-Aussentemperatur) ausgegangen. Bei Anlagen mit weiteren verbundenen Systemen ist u.U. eine kurzzeitigere Betrachtung oder die Untersuchung eines anderen Referenztages erforderlich.

Heizleistungsbedarf von Neubauten

In der Regel sind zur Norm-Heizlast gemäss SIA 384.201 keine Zuschläge erforderlich. Bei Wohnhäusern soll bei tiefen Aussentemperaturen auf eine Absenkung der Raumtemperatur verzichtet werden. Wenn bei Verwaltungsgebäuden bei tiefen Aussentemperaturen eine Absenkung der Raumtemperatur vorgenommen wird, soll durch frühzeitiges Wiedereinschalten der Heizung (solange noch tiefere Lüftungswärmeverluste bestehen als bei der Norm-Heizlast eingerechnet wurden) die Raumtemperatur wieder auf ihren Sollwert gehoben werden.

Die Verluste der Wärmeverteilung sollen grundsätzlich zur Norm-Heizlast addiert werden; bei guter Wärmedämmung sind sie aber meist vernachlässigbar. Ein Teil der Verluste kommt der beheizten Zone des Gebäudes zugute. Deshalb sind nur die Verluste ausserhalb der thermischen Gebäudehülle massgebend.

Diese Leistungszuschläge sind aus dem Wärmebedarf Warmwasser der Norm SIA 380/1 abgeleitet, wobei Verluste von etwa 25 % sowie ein permanent verfügbarer Wärmeerzeuger angenommen

sind. Diese Leistung ist nicht geeignet für die Dimensionierung des Wärmeübertragers für die Wassererwärmung. Das Speichervolumen muss auf die Art der Wärmeerzeugung und der Energieträger abgestimmt werden.

Leistungsbedarf für die Wassererwärmung in Neubauten

Für die Wassererwärmung wird eine zusätzliche Wärmeerzeugerleistung benötigt. Diese ist abhängig vom Warmwasserbedarf, den Verlusten der Warmwasserversorgung und der Speicher.

Wenn die Wassererwärmung und Heizung durch denselben Wärmeerzeuger erfolgen, sind nur die Verluste ausserhalb der thermischen Gebäudehülle zu beachten.

Am Dimensionierungstag wird nicht vom selten auftretenden Spitzenverbrauch ausgegangen. Bei Wohn- und Verwaltungsbauten kann als Richtwert folgende zusätzliche Wärmeerzeugerleistung für die Wassererwärmung (bezogen auf die Energiebezugsfläche) eingesetzt werden:

- MFH: 3 W/m²
- EFH: 2 W/m²
- Verwaltung: 1 W/m²

Diese Leistungszuschläge sind aus Wärmebedarf Warmwasser der Norm SIA 380/1 abgeleitet, wobei Verluste von etwa 25 % sowie ein permanent verfügbarer Wärmeerzeuger angenommen sind.

Diese Leistung ist nicht geeignet für die Dimensionierung des Wärmeübertragers für die Wassererwärmung.

Das Speichervolumen muss auf die Art der Wärmeerzeugung und der Energieträger abgestimmt werden.

3.2 LEISTUNGSBEDARF VERBUNDENER SYSTEME IN NEUBAUTEN

Der Wärmeleistungsbedarf für verbundene Systeme ist grundsätzlich fallbezogen zu untersuchen. Bei Luftherzern ist vom maximalen Luftvolumenstrom auszugehen, welcher bei der Auslegungstemperatur nach Norm SIA 382/1 auftritt. Bei kombinierter Wärmeerzeugung für Heizung und Lüftung müssen Volumenstromspitzen mit einer Dauer von bis 3 Stunden beim Wärmeerzeuger nicht berücksichtigt werden. Die Wärmerückgewinnung ist zu berücksichtigen. Eine Erhöhung der Wärmeerzeugerleistung wegen des Anfahrens von Lüftungsanlagen ist zu vermeiden, z. B. durch frühzeitiges Anfahren vor dem Nutzungsbeginn.

Durch geeignete Massnahmen soll erreicht werden, dass die Leistungsspitzen von verbundenen Systemen nicht mit den Leistungsspitzen von Heizung und Wassererwärmung zusammenfallen. Zum Beispiel sollen Hallenbäder so betreiben werden, dass nicht ausgerechnet bei tiefen Aussentemperaturen das gesamte Schwimmbadwasser aufgewärmt werden muss.

3.3 ABSCHÄTZUNG DES HEIZLEISTUNGSBEDARFS MIT SIA 380/1-SOFTWARE

Bereits in einer frühen Projektphase wird die Berechnung des Heizwärmebedarfs Q_h (in MJ/m²) nach SIA 380/1 vorgenommen [3]. Bei dieser Energiebilanzierung des ganzen Gebäudes werden teilweise dieselben Informationen benötigt wie für die Berechnung der Norm-Heizlast:

- Nutzung
- Klimadaten
- Energiebezugsflächen
- Flächige Bauteile
- Wärmebrücken
- Fenster
- Wärmespeicherfähigkeit usw.

Es gibt verschiedene vom BFE und von den Kantonen zertifizierte Berechnungsprogramme zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 [4]. Einige Programme berechnen nun zusätzlich den Heizleistungsbedarf. Dies ist die zweckmässigste Methode zur Ermittlung des Heizleistungsbedarfs in einer frühen Phase, bedingt aber Software welche diese Berechnung automatisch erstellt. Aus dem Heizwärmebedarf Q_h allein lässt sich der Heizleistungsbedarf nicht genügend genau ermitteln.

3.4 KONTROLLE DER RESULTATE

Zur Kontrolle der Resultate dient die spezifische Heizleistung. Sie errechnet sich aus der Norm-Heizlast dividiert durch die Energiebezugsfläche (beheizte Bruttogeschossfläche). Die Werte sollen annähernd den Tabellenwerten entsprechen.

Gebäudetyp	Kontrollwert
Bestehende, schlecht wärme- gedämmte Wohnhäuser	50 W/m ² bis 70 W/m ²
Bestehende, gut wärme- gedämmte Wohnhäuser	40 W/m ² bis 50 W/m ²
Neubauten gemäss heutigen Vorschriften	25 W/m ² bis 40 W/m ²
Bestehende, schlecht wärme- gedämmte Dienstleistungsbauten	60 W/m ² bis 80 W/m ²
Minergie-Gebäude	20 W/m ² bis 30 W/m ²
Minergie-P-Gebäude	8 W/m ² bis 20 W/m ²

Hinweis: Die spezifische Heizleistung ist nur ein grobes Kontrollinstrument. Die Dimensionierung erfolgt prinzipiell nach den vorgängig beschriebenen Methoden.

4 LITERATUR

4.1 NORMEN UND RICHTLINIEN

- [1] SIA 384/1: Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen. SIA Zürich 2009. www.sia.ch
- [2] SIA 384.201: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast. SIA, Zürich 2003; www.sia.ch
- [3] SIA 380/1: Thermische Energie im Hochbau. SIA, Zürich 2009; www.sia.ch

4.2 LITERATUR, SOFTWARE, FACHSTELLEN

- [4] Zertifizierte Berechnungsprogramme: www.endk.ch
- [5] Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich; www.endk.ch respektive kantonale Vorschriften
- [6] QM Qualitätsmanagement Holzheizwerke, Planungshandbuch. ISBN 978-3-937441-94-8, www.qmholzheizwerke.ch