



Machbarkeitsstudie für eine Umweltetikette für Holzfeuerungen

Rolf Frischknecht¹

Matthias Stucki¹

Thomas Nussbaumer²

¹ ESU-services GmbH, ² Ingenieurbüro Verenum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU

Impressum

| | |
|----------------------------------|--|
| Titel | Machbarkeitsstudie für eine Umweltetikette für Holzfeuerungen |
| Autoren | Rolf Frischknecht ¹ , Matthias Stucki ¹ , Thomas Nussbaumer ² ¹ ESU-services GmbH Kanzleistrasse 4, 8610 Uster Tel. +41 44 940 61 91 Fax +41 44 940 61 94 stucki@esu-services.ch www.esu-services.ch ² Ingenieurbüro verenum Langmauerstrasse 109 Tel. +41 44 377 70 71 Fax +41 44 377 70 77 thomas.nussbaumer@verenum.ch http://www.verenum.ch/ |
| Kunde | Bundesamt für Umwelt BAFU Dr. Martin Schiess CH – 3003 Bern Tel. +41 31 322 54 34; Fax +41 31 324 01 37 martin.schiess@bafu.admin.ch |
| Urheberrecht | Soweit nicht anders vermerkt bzw. direkt vereinbart sind sämtliche Inhalte in diesem Bericht urheberrechtlich geschützt. Das Kopieren oder Verteilen des Berichts als Ganzes oder in Auszügen, unverändert oder in veränderter Form ist nicht gestattet und Bedarf der ausdrücklichen Zustimmung von ESU-services GmbH und verenum. Es ist nicht gestattet, den Bericht oder Teile davon auf Websites ausserhalb www.esu-services.ch und www.verenum.ch zum Download bereitzustellen. Auch in veränderter Form bedarf die Weiterverbreitung der Inhalte der ausdrücklichen Genehmigung durch ESU-services GmbH und verenum. |
| Haftungsausschluss | Die Informationen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht wurden auf Grundlage von als verlässlich eingeschätzten Quellen erhoben. ESU-services GmbH, verenum und die Autoren geben keine Garantie bezüglich Eignung, oder Vollständigkeit der im Bericht dargestellten Informationen. ESU-services GmbH, verenum und die Autoren lehnen jede rechtliche Haftung für jede Art von direkten, indirekten, zufälligen oder Folge-Schäden oder welche Schäden auch immer, ausdrücklich ab. |
| Inhaltliche Verantwortung | Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die AutorInnen dieses Berichts verantwortlich. |
| Version | 344_Machbarkeitsstudie_v1.1.doc, 12 July 2010 11:33 |

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG | 1 |
| 1.1 | Ausgangslage..... | 1 |
| 1.2 | Ziel der Studie | 1 |
| 1.3 | Übersicht | 1 |
| 2 | RAHMENBEDINGUNGEN UND SYSTEMGRENZEN | 2 |
| 2.1 | Analyse der ecoinvent Datensätze zu Holzfeuerungen | 2 |
| 2.2 | Folgerungen | 6 |
| 3 | DATENGRUNDLAGEN | 6 |
| 3.1 | Emissionsfaktoren gemäss Prüfberichten Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz | 6 |
| 3.2 | Sensitivitätsanalysen in Ökobilanzen von Holzfeuerungen | 11 |
| 4 | FOLGERUNGEN UND FAZIT | 13 |
| 5 | AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN | 15 |
| 5.1 | Weiteres Vorgehen..... | 15 |
| 5.2 | Anforderungen für Wohnraumfeuerungen | 15 |
| 5.3 | Anforderungen für Heizkessel | 16 |
| 5.4 | "Soft"-Faktoren | 17 |
| | LITERATUR | 20 |
| | ANHANG | 21 |

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Die Abteilung Luftreinhaltung und NIS des Bundesamts für Umwelt BAFU möchte mit einer Umweltetikette für Holzfeuerungen einen Ersatz für das Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz schaffen. Zu diesem Zweck soll in einem ersten Schritt die Machbarkeit einer Umweltetikette abgeklärt werden.

1.2 Ziel der Studie

Die Machbarkeitsstudie soll die nachstehenden Fragen beantworten:

1. Was ist die Relevanz einer Umweltetikette?
2. Was wären mögliche Alternativen zu einer Umweltetikette?
3. Was wäre der Nutzen einer Umweltetikette oder allfälliger Alternativen mit Vor- und Nachteilen für die Konsumenten, die Branche und allenfalls die Behörden?
4. Wie viele Kategorien wären sinnvoll für eine Umweltetikette?
5. Wie wird bei einer realisierten Umweltetikette (mit Kategorien A bis G) der fortschreitende Stand der Technik berücksichtigt?
6. Was sind die Rahmenbedingungen und Systemgrenzen für die Ökobilanzierung beziehungsweise Berechnung der Umweltbelastungspunkte?
7. Welche Parameter (wie NO_x, Staub, CO, Wirkungsgrad, etc.) könnten/müssten bei einer Ökobilanzierung berücksichtigt werden?
8. Gibt es eine Möglichkeit, gewisse Aspekte der sogenannten Soft-Faktoren in eine solche Etikette einfließen zu lassen, d.h. Installation – Betrieb/Brennstoff – Wartung?

1.3 Übersicht

Im Kapitel 2 werden die derzeit verfügbaren Ökobilanzdaten analysiert. Daraus wird abgeleitet, welche Schadstoffe von Bedeutung sind und welche Rolle die Herstellung des Heizkessels beziehungsweise das Bereitstellen des Holzbrennstoffes spielen. In Kapitel 3 werden Auswertungen von Prüfberichten von Holzenergie Schweiz beschrieben. Darauf aufbauend werden die maximal beziehungsweise minimal zu erwartenden Umweltbelastungen mithilfe von Ökobilanzen ermittelt. Die Folgerungen und das Fazit aus diesen Betrachtungen sind in Kapitel 4 formuliert und Kapitel 5 enthält Empfehlungen für das weitere Vorgehen und einen Ausblick.

2 Rahmenbedingungen und Systemgrenzen

2.1 Analyse der ecoinvent Datensätze zu Holzfeuerungen

Um die relevanten Einflussfaktoren auf die Umweltbelastung von Holzfeuerungen zu beurteilen, werden verschiedene Holzfeuerungsdatensätze aus dem ecoinvent Datenbestand v2.01 (ecoinvent Centre 2009) mit der dafür geeigneten Software SimaPro 7.1 (PRé Consultants 2009) ausgewertet. Dabei werden folgende Indikatoren über den Lebenszyklus betrachtet:

- Die *Treibhausgasemissionen gemäss IPCC 2007* (kg CO₂-eq, Zeitraum 100 Jahre) beschreiben den Beitrag zum Klimawandel (Solomon et al. 2007). Neben CO₂ werden hier auch Methan, Lachgas und weitere klimarelevante Gase in die Betrachtung miteinbezogen.
- Die Schweizer *Methode der ökologischen Knappheit 2006* (Umweltbelastungspunkte, UBP 06) fasst eine Reihe unterschiedlicher Umweltbelastungen verursacht durch Emissionen, sowie Land-, Wasser- und Energieverbrauch auf der Basis nationaler Umweltschutzziele zu einem Punktwert zusammen (Frischknecht et al. 2008). Die einzelnen Schadstoffe werden gemäss dem Verhältnis zwischen dem aktuellen und dem angestrebten Emissionsniveau in der Schweiz bewertet. Die Bewertung umfasst auch die Treibhausgas-Emissionen.
- Der *kumulierte Energieaufwand* (MJ-eq) beschreibt alle Primärenergieverbräuche untergliedert in erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieressourcen (Frischknecht et al. 2007). Der nicht erneuerbare kumulierte Energieaufwand bewertet sowohl nukleare wie auch fossile Energieträger, der erneuerbare kumulierte Energieaufwand umfasst die mit Wasserkraftwerken, Windkraftwerken, oder Photovoltaikanlagen etc. geerntete erneuerbare Energie (Rotationsenergie auf der Turbine des Wasserkraftwerks beziehungsweise der Windkraftanlage, Strom aus dem Solarpanel). Bei Biomasse-nutzungen (Holzheizkraftwerke, Treibstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe) wird ebenfalls der Energiegehalt des geernteten Anteils bewertet (beispielsweise die dem Wald entnommene Holzmenge).

In Tab. 2.1 sind die untersuchten Feuerungssysteme charakterisiert.

Tab. 2.1 Laufzeit, Nutzenergie, Jahresnutzungsgrade und daraus resultierender End- und Nutzenergieverbrauch der untersuchten Feuerungssysteme (aus Bauer 2007)

| Typ | Nennleistung | Laufzeit | Nutzenergie | η_a | Endenergie | Brennstoff | Holzverbrauch | |
|-------------------------------|--------------|----------|-------------|----------|------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| | [kW] | [h/a] | [MJ/a] | [%] | [MJ/a] | | [t _{atro} /a] | [m ³ /a] |
| Pellets- heizung | 50 | 2'100 | 378'000 | 85 | 444'705 | Pellets, Holzmix | 23.5 | 35.7 |
| Schnitzel- heizung | 50 | 2'100 | 378'000 | 80 | 472'500 | Schnitzel, Holzmix | 25.0 | 133 |
| | 300 | 2'100 | 2'268'000 | 82 | 2'765'854 | Schnitzel, Holzmix | 146 | 774 |
| | 1000 | 2'100 | 7'560'000 | 85 | 8'894'118 | Schnitzel, Holzmix | 471 | 2'496 |
| Stückholz- heizung | 30 | 1'600 | 172'800 | 68 | 230'400 | Stückholz, Holzmix | 13.4 | 27.2 |
| Einzel- ofen | 6 | 1'000 | 21'600 | 75 | 28'800 | Stückholz, Holzmix | 1.52 | 3.1 |

2. Rahmenbedingungen und Systemgrenzen

Ausgewählte Emissionsfaktoren der vorstehend charakterisierten Holzfeuerungen sind in Tab. 2.2 aufgelistet. Bei den Partikel-Emissionen zeigt sich eine grosse Bandbreite (von 20 bis knapp 120 mg/MJ Endenergie). Die Stickoxid-Emissionsfaktoren variieren weniger stark (zwischen 70 und knapp 190 mg/MJ Endenergie). Die Kohlenmonoxid-Emissionen hängen stark von der Verbrennungsgüte ab und variieren um mehr als einen Faktor 50 zwischen dem Emissionsfaktor grosser Holzschnitzel-Heizungen und demjenigen eines kleinen Zimmerofens. Die Emissionsfaktoren Benzol, Dioxine und Zink, welche in der Gesamtbilanz als Einzelschadstoffe einen sichtbaren Beitrag leisten (siehe Fig. 2.2), sind in Bauer (2007) bei allen Holzfeuerungen und Brennstoffarten gleich hoch angenommen, nämlich 0.91 mg/MJ, 0.031 ng/MJ beziehungsweise 0.3 mg/MJ.

Tab. 2.2 Emissionsfaktoren Partikel (PM_{2.5}), Stickoxide (NO_x) und Kohlenmonoxid (CO); Bezugsgrösse MJ Input; Datenquelle: ecoinvent Datenbestand v2.1

| | Partikel <2.5µm | Stickoxide | Kohlenmonoxid |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|
| | mg/MJ | mg/MJ | mg/MJ |
| Holzpellets, 50kW | 20 | 74 | 65 |
| Holzpellets, 20kW | 26 | 70 | 96 |
| Holzschnitzel, Laubholz, 1000kW | 61 | 122 | 41 |
| Holzschnitzel, Laubholz, 300kW | 46 | 127 | 48 |
| Holzschnitzel, Laubholz, 50kW | 34 | 130 | 118 |
| Holzschnitzel, Nadelholz, 1000kW | 61 | 97 | 41 |
| Holzschnitzel, Nadelholz, 300kW | 46 | 102 | 48 |
| Holzschnitzel, Nadelholz, 50kW | 34 | 104 | 118 |
| Stückholz, Laubholz, 100kW | 33 | 127 | 339 |
| Stückholz, Laubholz, 30kW | 40 | 137 | 400 |
| Stückholz, Laubholz, Zimmerofen | 117 | 189 | 2300 |
| Stückholz, Nadelholz, 100kW | 33 | 102 | 339 |
| Stückholz, Nadelholz, 30kW | 40 | 111 | 400 |
| Stückholz, Nadelholz, Zimmerofen | 117 | 152 | 2300 |

Die vollständigen Tabellen mit den detaillierten Ökobilanzauswertungen der verschiedenen Holzfeuerungen sind in Tab. A. 1 bis Tab. A. 3 im Anhang dokumentiert.

Fig. 2.1 zeigt einen Vergleich der Umweltbelastungen verschiedener Holzfeuerungen, sowie aus welchen Quellen (Brennstoff, Verbrennung und weitere) diese Umweltbelastungen stammen. Die direkten Feuerungsemissionen haben einen Anteil zwischen 47 % (Pelletheizung) und 71 % (Einzelofen). Der Brennstoff hat einen Anteil zwischen 14 % und 35 % und die Ascheentsorgung zwischen 6 % und 13 %. Die grössten Unterschiede zwischen den Feuerungen ergeben sich für die Feuerungsemissionen. Zudem haben die beiden Stückholzfeuerungen einen deutlich geringeren Jahresnutzungsgrad η_a als die Pellet- und Schnitzelheizungen (siehe Tab. 2.1). Dieser ist folgendermassen definiert:

$$\eta_a = \text{Jährlich erzeugte Nutzwärme} / \text{jährlich eingesetzte Brennstoffmenge (bezogen auf den Heizwert } H_u)$$

Die analysierten Pellet- und Schnitzelfeuerungen unterschiedlicher Leistung haben alle ähnlich hohe Umweltbelastungen. Die Anlagegrösse hat somit im betrachteten Leistungsbereich einen unbedeutenden Einfluss auf das Resultat, wobei bei diesen Angaben aus dem Jahr 2006 die Verschärfung der Staubgrenzwerte nach LRV für Feuerungen von 300 kW und 1 MW noch nicht berücksichtigt ist.

2. Rahmenbedingungen und Systemgrenzen

UBP / MJ

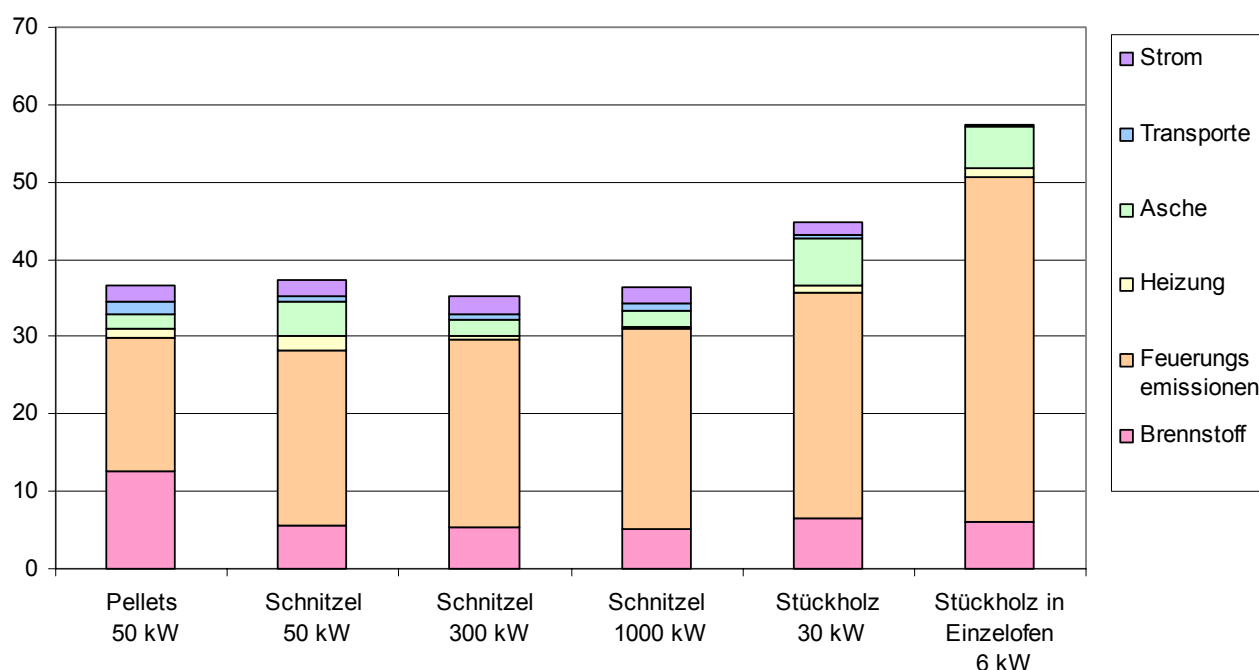


Fig. 2.1 Umweltbelastung verschiedener Holzfeuerungen pro MJ Nutzenergie und deren Aufteilung nach Herkunft, bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006

Fig. 2.2 zeigt auf, welche Emissionen am meisten zur Umweltbelastung der Feuerungsanlagen beitragen. Es zeigt sich, dass die hohen Umweltbelastungen des Einzelofens vor allem durch die vergleichbar hohen Partikelemissionen (PM 2.5) verursacht werden.

UBP / MJ

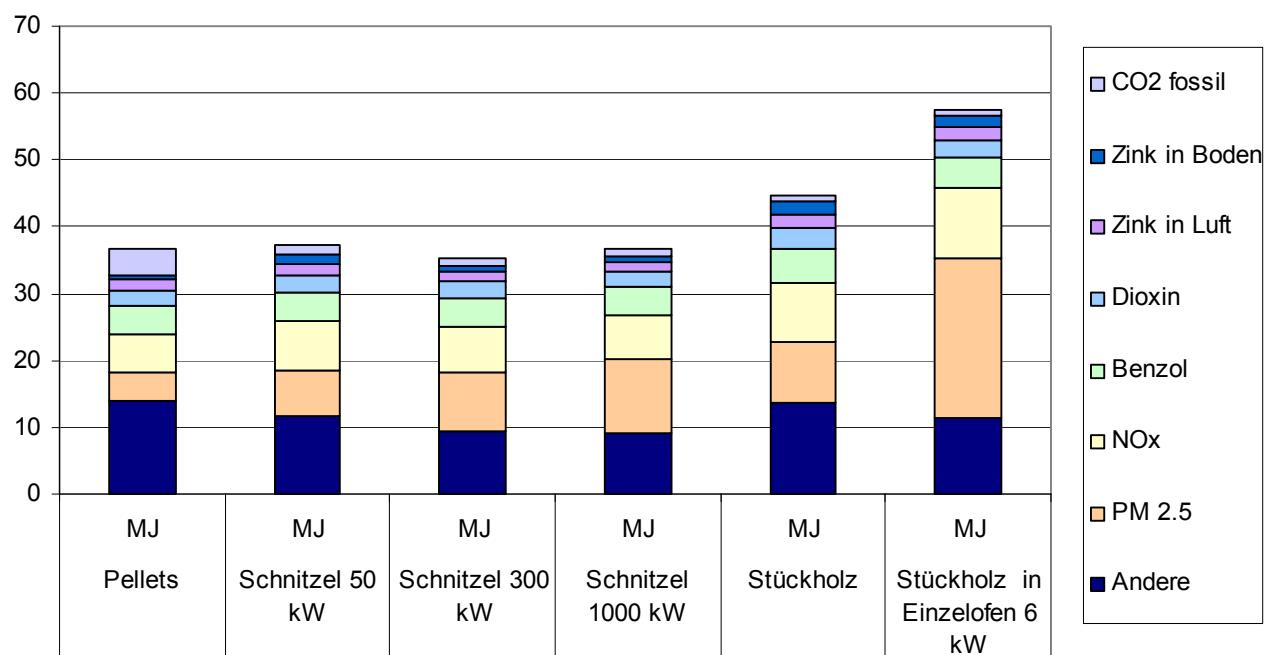


Fig. 2.2 Umweltbelastung verschiedener Holzfeuerungen pro MJ Nutzenergie und deren Aufteilung nach Schadstoffen, bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006

2. Rahmenbedingungen und Systemgrenzen

In Fig. 2.3 sind die Treibhausgasemissionen pro MJ Nutzwärme dargestellt. Mit 13.9 g CO₂ eq. pro MJ Nutzwärme verursacht die Pelletheizung die höchsten Treibhausgasemissionen der hier analysierten Feuerungen. Diese stammen grösstenteils aus der Elektrizitätsproduktion für die Pelletherstellung. Im Vergleich: Eine moderne Ölheizung emittiert rund 90 g CO₂ eq. pro MJ Nutzwärme.

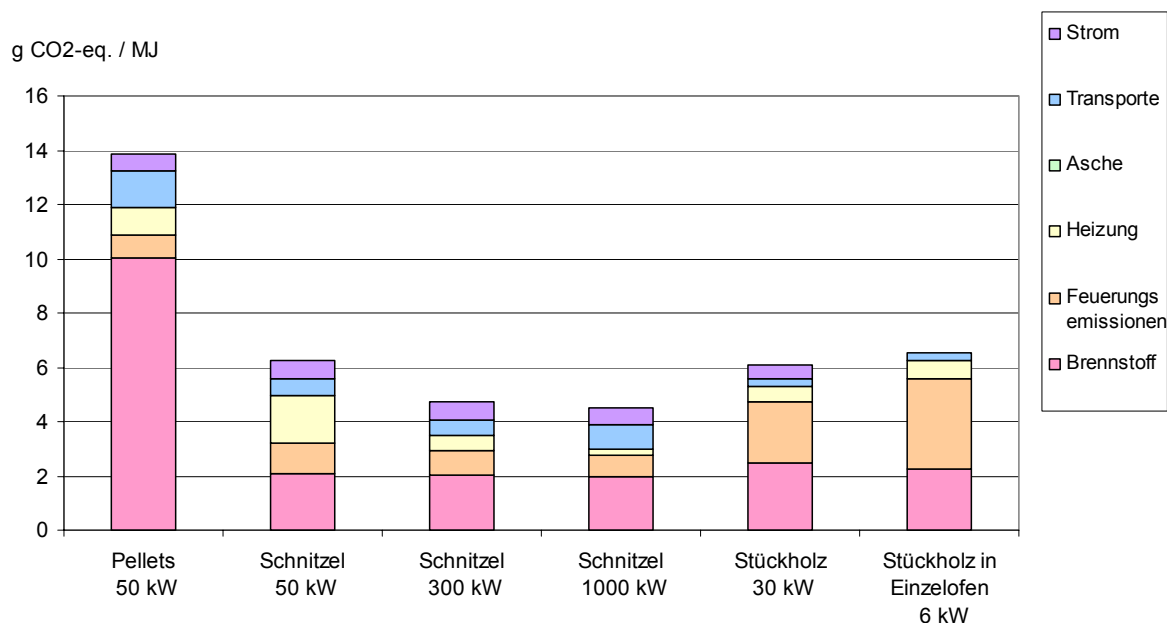


Fig. 2.3 Treibhausgasemissionen pro MJ Nutzenergie aus verschiedenen Holzfeuerungen

Der kumulierte Aufwand erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie pro MJ Nutzwärme ist in Fig. 2.4 dargestellt. Die 30 kW Stückholzheizung hat den höchsten kumulierten Energieaufwand aufgrund des tiefsten Jahresnutzungsgrads (vergleiche Tab. 2.1).

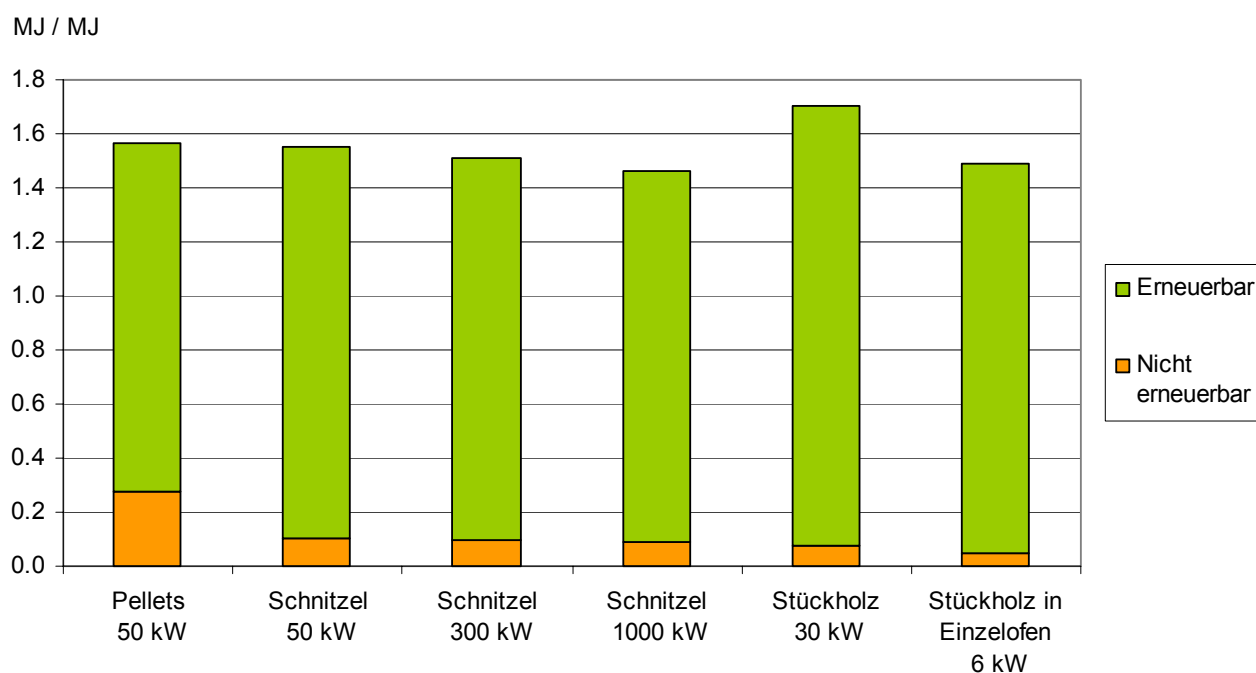


Fig. 2.4 Vergleich des kumulierten Energieaufwands verschiedener Holzfeuerungen.

2.2 Folgerungen

Aufgrund der Auswertung der bestehenden Sachbilanzen lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- Die Umweltauswirkungen der Herstellung der Heizkessel kann vernachlässigt werden, da deren Anteil an der gesamten Umweltbelastung zwischen geringen 0.8 % und 4.8 % schwankt.
- Von den Schadstoffen, die in den Typenprüfungen gemessen werden, sind einzig die Partikelemissionen von Bedeutung (Anteil am Gesamtergebnis zwischen rund 10 % und 40 %). Die CO-Emissionen variieren zwar sehr stark, treten im Gesamtergebnis aber überhaupt nicht in Erscheinung.
- Die in den ecoinvent Datensätzen verwendeten Emissionsfaktoren für NO_x sind teilweise im Widerspruch zur allgemeinen Tendenz, dass bei steigenden CO-Emissionen die NO_x-Emissionen sinken.
- Die Höhe der Treibhausgas-Emissionen werden im Wesentlichen durch die Art des eingesetzten Brennstoffs bestimmt (Holzpellets, Holzschnittel oder Stückholz). Das Emissionsniveau ist im Vergleich zu fossilen Heizsystemen tief.
- Die für alle Holzfeuerungen und Brennstoffarten identischen Emissionsfaktoren für Benzol und Dioxine sind im Gesamtergebnis deutlich sichtbar und sollten überprüft werden.
- Die Aufwände der Brennstoffbereitstellung unterscheiden sich deutlich zwischen den Holzpellets einerseits und Holzschnittel und Stückholz anderseits.

3 Datengrundlagen

3.1 Emissionsfaktoren gemäss Prüfberichten Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz

In den Prüfberichten für das Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz werden die Nennwärmeleistung und der Wirkungsgrad sowie die Emissionswerte an CO, NO_x, Partikel und VOC (auch als Kohlenwasserstoffe oder als OGC bezeichnet) ausgewiesen. Um die Bandbreite der Umweltbelastungen aufzuzeigen, welche diese Prüfberichte abdecken, werden für die drei Holzfeuerungs-Kategorien – Pelletsfeuerungen, Stückholzfeuerungen und Holzhackschnittelfeuerungen - je drei Sachbilanzen zusammengestellt:

- ein Sachbilanz-Datensatz mit minimalen Umweltbelastungen aufgrund minimaler Emissionen und einem maximalen Wirkungsgrad,
- ein Sachbilanz-Datensatz mit durchschnittlichen Emissionen und einem durchschnittlichen Wirkungsgrad,
- sowie ein Sachbilanz-Datensatz mit maximalen Umweltbelastungen aufgrund maximaler Emissionen und einem minimalen Wirkungsgrad.

Eine Zusammenstellung der Emissionsdaten und Wirkungsgrade aus den Prüfberichten ist in Tab. 3.1 aufgeführt. Auf eine Bilanzierung der Kaminöfen wird verzichtet, da diese

3. Datengrundlagen

Bilanzen keine wesentlichen zusätzlichen Erkenntnisse erwarten lassen. Deshalb fehlen deren Emissionswerte in der Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Emissionsfaktoren und Wirkungsgrade der Holzfeuerungen gemäss Auswertung der Prüfberichte Qualitätssiegel bis April 2010

| | | Stückholz-Kessel | | | Pellet-Kessel | | | Hackschnitzel-Kessel | | |
|-----------------|-------|------------------|-------|------------|---------------|-------|------------|----------------------|-------|------------|
| | | Min. | Max. | Mittelwert | Min. | Max. | Mittelwert | Min. | Max. | Mittelwert |
| CO | mg/MJ | 31.0 | 300.0 | 95.7 | 4.0 | 85.0 | 98.0 | 3.0 | 153.0 | 37.1 |
| NO _x | mg/MJ | 68.0 | 105.0 | 84.4 | 68.0 | 116.0 | 83.2 | 62.0 | 141.0 | 94.5 |
| VOC | mg/MJ | 1.0 | 25.0 | 5.9 | 1.0 | 2.0 | 1.1 | 0.1 | 2.0 | 1.2 |
| Staub | mg/MJ | 7.0 | 25.0 | 14.9 | 5.0 | 23.0 | 13.2 | 12.0 | 31.0 | 21.1 |
| | | Max. | Min. | Mittelwert | Max. | Min. | Mittelwert | Max. | Min. | Mittelwert |
| Wirkungsgrad | % | 92.7% | 89.5% | 90.5% | 95.2% | 83.5% | 91.7% | 93.2% | 85.7% | 90.3% |

In Fig. 3.1 und Fig. 3.2 sind die in den Prüfberichten ausgewiesenen Messwerte einzeln dargestellt und in die Kategorien Kaminöfen, Stückholzkessel, Pelletkessel und Hackschnitzelkessel unterteilt. Zusätzlich zu den Messwerten ist die Bandbreite der geschätzten Messfehler dargestellt. Die Bewertung der Fehlerbandbreite ermöglicht eine Beurteilung, ab wann verschiedene Messwerte statistisch signifikant unterschiedlich sind. Sofern sich die Fehlerbandbreite zweier unterschiedlich ausgewiesener Messwerte überschneiden, liegt der Unterschied innerhalb der Messunsicherheit. In diesen Fällen kann nicht mit Sicherheit darauf geschlossen werden, dass der als besser ausgewiesene Messwert tatsächlich ein besseres Produkt bezeichnet. Nur wenn sich die Fehlerbandbreiten nicht überschneiden, kann ein signifikanter Unterschied der Messwerte vorausgesetzt werden. In diesem Fall ist zu beachten, dass Zufälligkeiten der Messdurchführung, zum Beispiel durch Einfluss unterschiedlicher Brennstoffqualität oder Störungen des Abbrands durch äussere Einflüsse, durch die Fehlerbandbreite der Messung nicht abgedeckt ist. Mit diesen Vorbehalten lassen die Auswertung mit Angabe der Messungenauigkeit folgende Trends erkennen:

Wirkungsgrad

Die Unterschiede der Messwerte verschiedener Aggregate innerhalb der Kategorie Kaminöfen und innerhalb der Kategorie Stückholzkessel sind geringer als die jeweilige Messungenauigkeit. Somit ist für diese zwei Kategorien keine Bewertung oder Rangfolge der Qualität anhand der ausgewiesenen Messwerte für den Wirkungsgrad möglich. Bei den Pellet- und Hackschnitzelkesseln sind die ausgewiesenen Unterschiede zwischen den jeweils besten und schlechtesten Aggregaten signifikant. Allerdings sind in beiden Kategorien nur einzelne Aggregate mit tieferen Wirkungsgraden zu finden, während der Grossteil der Aggregate hohe Wirkungsgrade mit statistisch nicht signifikanten Unterschieden aufweist. Im Weiteren werden für Kaminöfen signifikant tiefere Wirkungsgrade als für Stückholzkessel ausgewiesen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass bei Stückholzkesseln und auch bei automatischen Kesseln zusätzliche hydraulische Verluste durch Wärmespeicherung und -verteilung anfallen, die bei Kaminöfen nicht in Erscheinung treten. Allein aufgrund der ausgewiesenen Wirkungsgrade ist deshalb kein Vergleich der Systemwirkungsgrade von Öfen und Kesseln möglich.

CO

Bei den CO-Emissionen werden für alle Kategorien statistisch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Aggregaten ausgewiesen. Ausserdem weisen Kaminöfen signifikant höhere CO-Emissionen auf als alle Kessel-Kategorien.¹ Trotz der signifikanten Unterschiede bezüglich CO ist zu beachten, dass die ausgewiesenen Prüfstandswerte insgesamt auf einem tiefen Niveau sind und sich die unterschiedlichen CO-Emissionen – wie im folgenden Kapitel ausgeführt – nicht auf die Umweltbewertung auswirken.

OGC

Bei Kaminöfen und Stückholzkesseln werden signifikante Messwerte für OGC zwischen einzelnen Aggregaten ausgewiesen. Ausserdem weisen Kaminöfen höhere OGC-Emissionen auf als alle Kessel-Kategorien. Die automatisch beschickten Kessel für Pellets und Hack-schnitzel weisen Prüfstandswerte an OGC auf, die geringer sind als die bei üblichen Emissionsmessungen erwarteten Messungenauigkeiten.

Staub

Bei den Staubmessungen werden für alle Kategorien signifikante Unterschiede zwischen den jeweils schlechtesten und besten Messwerten ausgewiesen.

¹ In den Fig. 3.1 und Fig. 3.2 sind die unterschiedlichen Skalen bei CO und OGC zu beachten.

3. Datengrundlagen

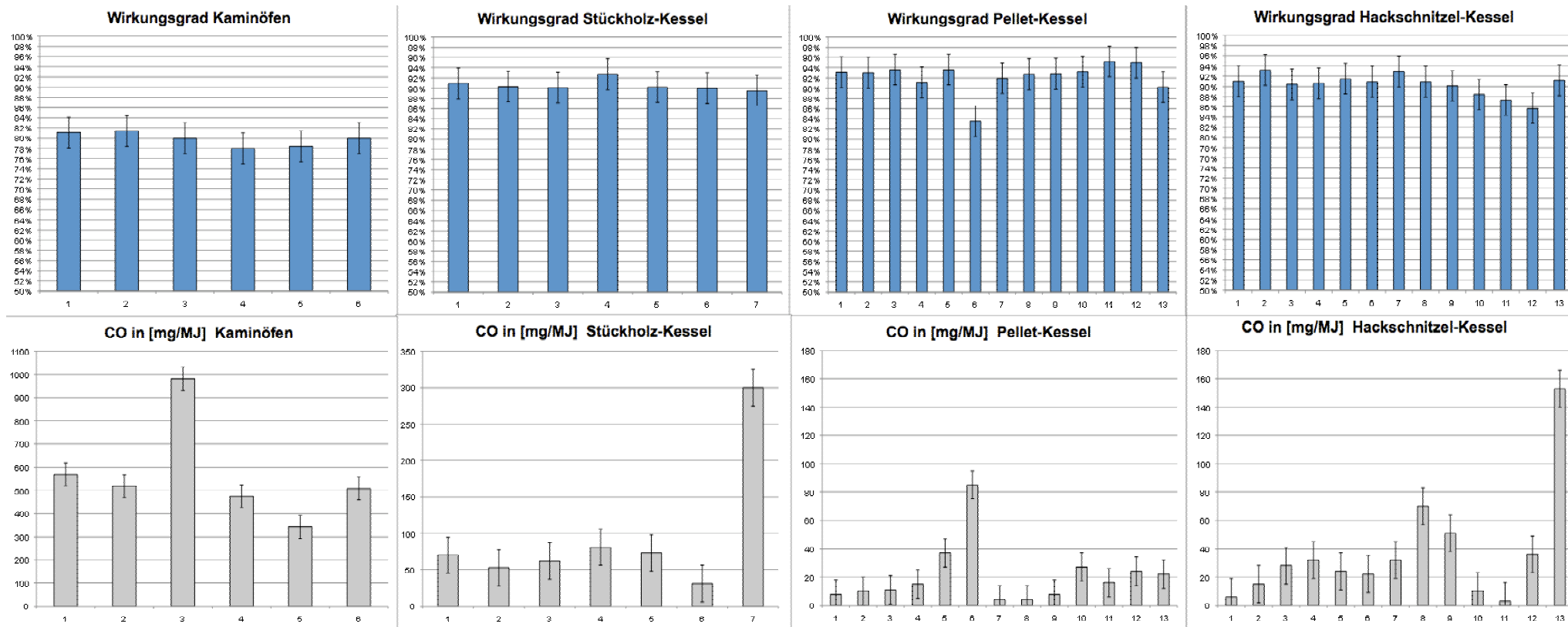


Fig. 3.1 Messwerte (farbige Balken) mit Angabe der Messungenauigkeit (dünne Linien) für Wirkungsgrad (oben) und CO-Emissionen (unten) von Kaminöfen, Stückholz-Kessel, Pellet-Kessel und Hackschnitzel-Kessel. Auswertung von Prüfberichten für das Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz. Bei den CO-Werten sind die unterschiedlichen Skalen zu beachten.

3. Datengrundlagen

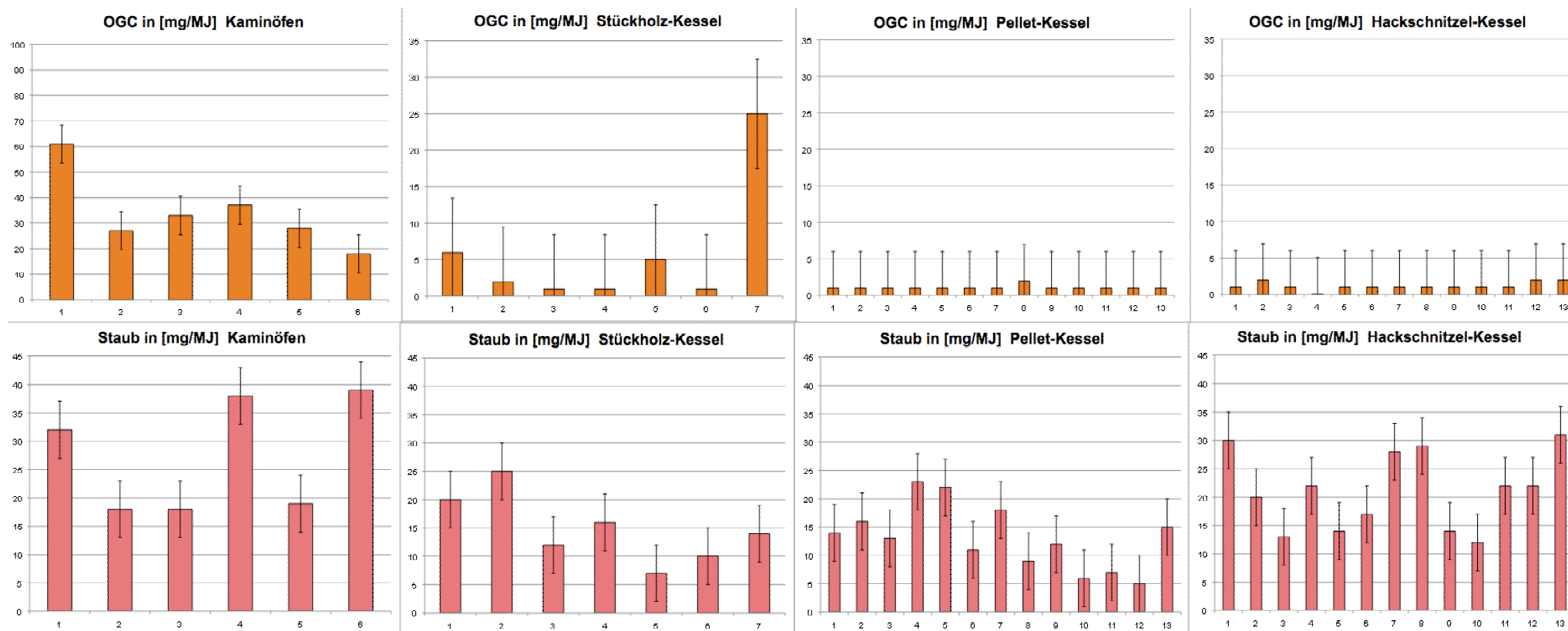


Fig. 3.2 Messwerte (farbige Balken) mit Angabe der Messgenauigkeit (dünne Linien) für OGC (oben) und Staub (unten) von Kaminöfen, Stückholz-Kessel, Pellet-Kessel und Hackschnitzel-Kessel. Auswertung von Prüfberichten für das Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz. Bei den OGC-Werten sind die unterschiedlichen Skalen zu beachten.

3.2 Sensitivitätsanalysen in Ökobilanzen von Holzfeuerungen

Für die vorliegenden Auswertungen sind die VOC-Emissionen gemäss den Prüfberichten weiter in biogene Methanemissionen und NMVOC-Emissionen aufgeteilt, wobei die Aufteilung auf den Anteilen dieser Emissionen der entsprechenden ecoinvent Datensätze basiert.

Diejenigen Feuerungsemissionen, welche nicht durch Prüfberichte abgedeckt sind, sowie die Umweltbelastungen aufgrund des Stromverbrauchs, des Brennstoffs und der Ascheentsorgung, sind ohne Anpassungen aus den Sachbilanz-Datensätzen einer 30 kW Stückholzheizung, einer 50 kW Pelletsfeuerung und einer 50 kW Holzhackschnitzelfeuerungen im ecoinvent Datenbestand v2.01 (ecoinvent Centre 2009) entnommen. Der Transport der Brennstoffe zum Ort ihres Einsatzes und die Herstellungsaufwendungen der Feuerungsinfrastruktur sind nicht berücksichtigt.

Die vollständigen Tabellen mit den detaillierten Ökobilanzauswertungen der verschiedenen Holzfeuerungen sind in Tab. A. 4 und Tab. A. 5 im Anhang dokumentiert.

Fig. 3.3 stellt die Umweltbelastung gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit 2006 (Frischknecht et al. 2008) dar. Wie vorgängig beschrieben, sind die Umweltbelastungen aus dem Brennstoff, der Ascheentsorgung, dem Strom und den Feuerungsemissionen ausser VOC, CO, NO_x und Staub bei den Datensätzen der gleichen Feuerungskategorie identisch. Der Beitrag der Luftschadstoffe zur Gesamtumweltbelastung wird unter anderem durch (identisch angenommene) Dioxin-, Benzol- und Schwermetallemissionen geprägt (siehe Fig. 2.2). Unterschiede innerhalb der Feuerungskategorien gibt es bei den VOC, CO, NO_x und Staubemissionen, sowie dem Wirkungsgrad. Jedoch werden die (biogenen) Kohlenmonoxid-Emissionen in der Methode der Ökologischen Knappheit nicht mit einem Faktor als umweltbelastend charakterisiert, weshalb Unterschiede in den CO-Emissionen in Fig. 3.3 nicht erkennbar sind.

Es zeigt sich in Fig. 3.3, dass die Staub- (PM 2.5) und NO_x-Emissionen zwischen verschiedenen Anlagen der gleichen Kategorie deutlich variieren können. Hingegen sind die Umweltbelastungen durch die VOC-Emissionen insgesamt sehr gering. Deshalb ist ihr Beitrag in Fig. 3.3 nicht erkennbar. Die (biogenen) CO-Emissionen werden in der Methode der Ökologischen Knappheit nicht bewertet, weshalb sie in der Graphik ebenfalls nicht sichtbar sind.

Der Wirkungsgrad hat einen grossen Einfluss auf die Umweltbelastungen von Feuerungsanlagen, da ein tieferer Wirkungsgrad bezogen auf die Nutzenergie höhere Umweltbelastungen aus Feuerungs-Emissionen und Brennstoffbereitstellung zur Folge hat. Der Beitrag "Wirkungsgrad" in Fig. 3.3 zeigt die Erhöhung der gesamten Umweltbelastungen, verursacht durch die Energieverluste (Wechsel der Bezugsgrösse von Endenergie auf Nutzenergie).

Werden die Umweltbelastungen der Feuerungsanlagen verschiedener Kategorien miteinander verglichen, so zeigt sich, dass sich die Bandbreite der Anlagen der verschiedenen Kategorien zu einem grossen Teil überschneidet.

3. Datengrundlagen

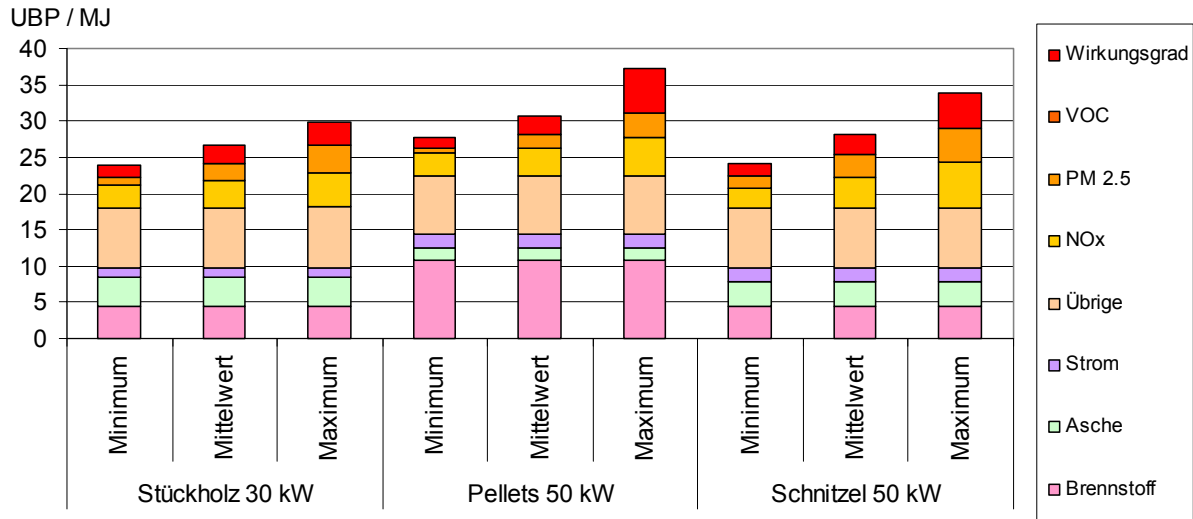


Fig. 3.3 Umweltbelastung pro MJ Nutzenergie von Holzfeuerungen mit unterschiedlich hohen Emissionsfaktoren und Wirkungsgraden. Aufteilung nach Herkunft, variierten und übrigen Feuerungsemissionen und Wirkungsgrad, bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006.

Die Treibhausgasemissionen der Wärmebereitstellung durch die verschiedenen emissionsintensiven Anlagen sind in Fig. 3.4 dargestellt. Die variierten NO_x-, biogenen CO- und Staub-Emissionen haben keine Wirkung auf die Klimaänderung und die Auswirkungen durch den Methan-Anteil der VOC-Emissionen sind vernachlässigbar. Somit stellt der Wirkungsgrad die einzige durch die Prüfberichte abgedeckte Variable dar, welche einen deutlichen Unterschied zwischen den Treibhausgasemissionen verschiedener Feuerungen einer Feuerungskategorie zur Folge hat.

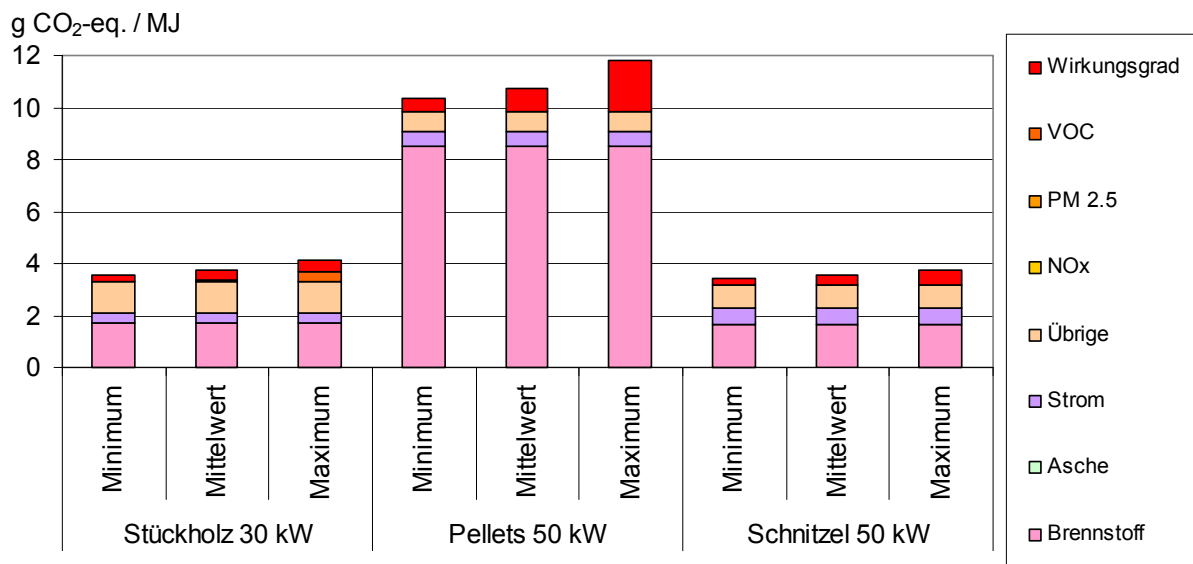


Fig. 3.4 Treibhausgasemissionen pro MJ Nutzenergie aus verschiedenen Holzfeuerungen. Aufteilung nach Herkunft, variierten und übrigen Feuerungsemissionen und Wirkungsgrad.

Der kumulierte Energieaufwand der verschiedenen Heizungen einer Kategorie unterscheidet sich lediglich infolge des unterschiedlichen Wirkungsgrades.

4 Folgerungen und Fazit

Aufgrund der Auswertung der Prüfberichte für das Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- Die Partikel-Emissionen zwischen Feuerungsanlagen der gleichen Kategorie weisen deutliche Unterschiede auf, weshalb der Staubgehalt im Abgas als Indikator für die Umweltbelastung in Frage kommt. Allerdings ist zu beachten, dass die bei Prüfstandmessungen ermittelten Staubemissionen bei der Bewertung der Ökologischen Knappheit über die gesamte Prozesskette weniger als 15 % der Gesamtbelastung ausmachen und somit die Unterschiede zwischen hohen und tiefen Werten gering sind.
- Aufgrund der Prüfstandsmessungen sind die Unterschiede der Wirkungsgrade beim Vergleich verschiedener Kaminöfen und verschiedener Stückholzkessel nicht signifikant und bei den automatisch beschickten Kesseln weisen nur einzelne Aggregate signifikant tiefere Wirkungsgrade auf als die Grosszahl der Kessel. Demgegenüber weisen Kaminöfen zwar insgesamt tiefere Wirkungsgrade als Kessel auf, da darin jedoch die für Kessel entscheidenden zusätzlichen Verluste zur Wärmespeicherung und -verteilung nicht erfasst sind, ist damit kein Vergleich des Systemwirkungsgrads möglich. Die Unterschiede der Wirkungsgrade können sich auf die Umweltbelastungen auswirken, erlauben aber wegen der nicht berücksichtigten Verluste nur eine unzuverlässige Unterscheidung zwischen Öfen und Kesseln, während aufgrund der Messungenauigkeiten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der einzelnen Kategorien nachweisbar sind.
- Die in den Prüfwerten ausgewiesenen CO-Emissionen verursachen keine relevanten Umweltbelastungen und sind deshalb ungeeignet für eine direkte Umweltbeurteilung.
- Die Auswirkungen von VOC inklusive des darin enthaltenen Methananteils sind sowohl für die Umweltbelastungen als auch für den Treibhauseffekt vernachlässigbar.
- Die NO_x-Emissionen tragen etwas stärker zur Gesamtbelastung bei als die Staubemissionen und sie können eine grosse Variation aufweisen, weshalb in ecoinvent unterschiedliche Emissionsfaktoren für die einzelnen Feuerungskategorien erfasst sind. Allerdings sind die NO_x-Emissionen in erster Linie vom Stickstoffgehalt des Brennstoffs abhängig. Eine Bewertung des Feuerungsaggregats in Bezug auf die NO_x-Emissionen auf dem Prüfstand setzt deshalb voraus, dass für die Prüfung standardisierte Brennstoffe mit bekanntem Stickstoffgehalt verwendet werden. Dies ist derzeit nicht der Fall.
- Die Variation der Umweltbelastung liegt bei -10 % bis maximal +20 % bezogen auf die Gesamtumweltbelastung der durchschnittlichen Feuerung. Die Variation der Treibhausgas-Emissionen gegenüber den Mittelwerten ist deutlich geringer.
- Bei sämtlichen Feuerungsanlagen machen die Umweltbelastungen, welche nicht durch die Typenprüfung abgedeckt sind, mehr als 50 % der Gesamtbelastung aus.

Fazit: der Ökobilanz-Ansatz als Grundlage für eine Umweltetikette Holzfeuerungen ist nicht zielführend, da die Ökobilanzergebnisse eine zu geringe Variation der Gesamt-Umweltbelastung zeigen. Es ist kaum möglich, eine sinnvolle Kategorisierung von A bis G auf Basis von Ökobilanzen durchzuführen.

Wesentliche Unterschiede zur Umweltetikette von Fahrzeugen sind:

4. Folgerungen und Fazit

- die Energieeffizienz der Heizkessel (Energiebedarf pro MJ Nutzenergie) ist deutlich weniger variabel als die Energieeffizienz der Fahrzeuge (Treibstoffbedarf pro zurückgelegter Kilometer).
- die Treibhausgas-Emissionen im Betrieb sind bei allen Geräten äusserst gering.
- die Anzahl individuell gemessener und in der Bewertung erfasster Schadstoffe wie auch deren Bandbreite ist bei Fahrzeugen deutlich grösser als bei den Holzfeuerungen.

5 Ausblick und Empfehlungen

5.1 Weiteres Vorgehen

Da eine aussagekräftige Umweltetikette mit einer klaren Rangfolge der Feuerungen wegen der zu geringen Differenzen in der Gesamtbewertung verschiedener Aggregate nicht als sinnvoll machbar erachtet wird, kommen für das weitere Vorgehen folgende Varianten in Frage:

1. Einführung einer Umweltetikette trotz der genannten Einschränkungen. Dabei ist davon auszugehen, dass – entgegen etwa der Möglichkeiten einer heutigen Energieetikette für Personenfahrzeuge oder elektrische Geräte – keine aussagekräftige Rangfolge zwischen unterschiedlichen Produkten möglich ist, also der Grossteil der Geräte in dieselbe Kategorie fällt. Eine so ausgelegte Umweltetikette würde ihre eigentliche Zielsetzung und die in sie gesteckten Erwartungen nicht erfüllen. Deshalb ist davon auszugehen, dass dies sowohl für die Kunden als auch für die Branche unbefriedigend und damit kontraproduktiv wäre.²
2. Verzicht auf eine Umweltetikette und auf eine Nachfolge des bisherigen Qualitätssiegels von Holzenergie Schweiz. Damit würde dem Umstand Rechnung getragen, dass die gesetzlichen Mindestvorschriften der Luftreinhalte-Verordnung die bisherigen lufthygienischen Anforderungen des Qualitätsslabels bis auf unwesentliche Abweichungen übernehmen und das Qualitätssiegel in der heutigen Form damit kaum mehr eine Existenzberechtigung hat. Allerdings würde damit ein etabliertes Instrument aufgegeben, das potenziell die Möglichkeit bietet, Geräte auszuzeichnen, welche die Mindestanforderungen bezüglich Lufthygiene übertreffen und daneben noch zusätzliche Kriterien erfüllen. Eine Aufgabe dieses Instruments ist allerdings unerwünscht, weil damit der Ansporn zur Übererfüllung entfallen würde und die Kantone kein Kriterium mehr zur Verfügung hätten, anhand dessen Fördergelder an besonders hohe Anforderungen geknüpft werden können.
3. Anstelle einer neuen Umweltetikette wird ein Qualitätssiegel in der bisherigen Art beibehalten, das ohne Rangfolge auskommt, jedoch so aktualisiert wird, dass es weiterhin deutlich über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgeht und so der Anspruch an ein Qualitätssiegel aufrecht erhalten bleibt.

Da der an eine Umweltetikette gestellte Anspruch nicht befriedigend erfüllt werden kann, das Instrument eines Labels jedoch als wertvoll erachtet wird, wird die Beibehaltung und Verschärfung des bisherigen Qualitätssiegels empfohlen (Variante 3). Zu klären ist dabei noch die Frage, wie die Ablösung terminlich zu gestalten ist und mit welchen kommunikativen Massnahmen die zeitlich gestaffelten Anforderungen des Qualitätssiegels unterschieden werden können. Dabei wird empfohlen, eine pragmatische und einfach verständliche Kennzeichnung zu wählen, was zum Beispiel durch einen Zusatz der Jahreszahl zum Qualitätssiegel im Sinne von "Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz 2011" möglich ist.

² In diesem Zusammenhang ist auch anzumerken, dass der Bundesrat während der Bearbeitungszeit dieser Studie entschieden hat, auf die Einführung einer Umweltetikette für Autos zu verzichten und vorerst die Energieetikette beizubehalten (NZZ Nr. 139, 19.6.2010). Die Einführung einer Umweltetikette für Holzheizungen würde deshalb gute Gründe und eine fundierte fachliche Basis voraussetzen, was aufgrund der in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse nicht untermauert werden kann.

Eine zeitliche Staffelung der Anforderungen ermöglicht im Weiteren, künftige Grenzwertverschärfungen durch das Qualitätssiegel frühzeitig aufzunehmen und so die Entwicklung im Hinblick auf die künftigen gesetzlichen Verschärfungen anzuspornen. Dazu wird empfohlen, im Qualitätssiegel künftige Verschärfungen der schweizerischen oder europäischen Gesetzgebung vorwegzunehmen.

5.2 Anforderungen für Wohnraumfeuerungen

Derzeit bietet sich für Wohnraumfeuerungen die per 31.12.2014 angekündigte Verschärfung der 1. BIMSCHV als Basis für das Qualitätssiegel an, da darin die Grenzwerte an Kohlenmonoxid gegenüber dem heutigen Qualitätssiegel geringfügig und diejenige an Staub erheblich verschärft werden, wie aus der Gegenüberstellung der Anforderungen an Wohnraumfeuerungen nach Qualitätssiegel, LRV und BIMSCHV in Tab. 5.1 hervorgeht.

Demgegenüber sind die Wirkungsgrad-Anforderungen des heutigen Qualitätssiegels der Herde strenger als die BIMSCHV, so dass bei Beibehaltung der heutigen Werte zwar eine Abweichung gegenüber der BIMSCHV resultiert, eine Angleichung an die BIMSCHV jedoch eine Abschwächung des heutigen Qualitätssiegels zur Folge hätte. In der letzten Kategorie von Tab. 5.1 sind die möglichen Anforderungen für das "Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz 2011" zusammengefasst. Von den drei vorgenannten Anforderungen wird für das Qualitätssiegel immer die jeweils strengste übernommen.

Die so vorgeschlagene Vorwegnahme der Grenzwerte für die 1. BIMSCHV wird für Wohnraumfeuerungen als geeignete Übergangslösung betrachtet. Dies ist auch im Sinne der Branche, da die BIMSCHV für den Export ohnehin entscheidend ist und ausserdem eine künftige Angleichung an die BIMSCHV nicht ausgeschlossen werden kann. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass der Entscheid über die weitere Gestaltung des Qualitätssiegels vor Inkrafttreten entsprechender Grenzwerte erneut zur Überprüfung sein wird.

5.3 Anforderungen für Heizkessel

Für Heizkessel ist die Ausgangslage in Tab. 5.2 zusammengefasst. Die letzte Kategorie zeigt einen Vorschlag für die Anforderungen an das "Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz 2011", bei dem folgende Faktoren berücksichtigt sind:

1. Verschärfung des Staubgrenzwerts gemäss der per 31.12.2016 (Scheitholz) bzw. 31.12.2014 (übrige Brennstoffe) gültigen Grenzwerte der 1. BIMSCHV.
2. Beibehaltung der HC-Grenzwerte des bisherigen Qualitätssiegels. Diese Werte sind strenger als die Werte der Klasse 3 nach EN 303-5, während die 1. BIMSCHV keine HC-Grenzwerte vorsieht. Die Werte der Klasse 2 nach EN 303-5 betragen das Doppelte, diejenigen der Klasse 1 das Zehnfache der Klasse 3 und kommen als Anforderung für das Qualitätssiegel nicht in Frage. Ein Verzicht auf HC-Grenzwerte wäre im Widerspruch zur LRV, da diese die Einhaltung der massgebenden europäischen Normen und somit die HC-Grenzwerte der EN 303-5 verlangt.
3. Verschärfung des CO-Grenzwertes für Stückholzkessel gemäss der 1. BIMSCHV. Demgegenüber ist die 1. BIMSCHV für automatisch beschickte Feuerungen geringfügig weniger streng als das bisherige Qualitätssiegel. Wenn eine Abschwächung ausgeschlossen werden soll, müssen deshalb die bisherigen Grenzwerte beibehalten werden. Da die CO-Emissionen jedoch nur von untergeordneter Bedeutung sind und nach dem vorliegenden Vorschlag deutlich strengere Grenzwerte für Staub und HC

eingeführt werden, ist denkbar, den CO-Grenzwert auf den in der 1. BIMSCHV gültigen Wert anzuheben, um die Übereinstimmung mit der BIMSCHV zu verbessern.

5.4 "Soft"-Faktoren

Wir empfehlen, das Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz in seiner Grundstruktur zu belassen. Wir sehen keinen Grund, die sogenannten "Soft"-Faktoren der bisherigen Version zu verändern. Zur Bewertung weiterer Soft-Faktoren wie der Robustheit der Feuerung gegenüber einer von der Norm abweichenden Betriebsweise oder der Verhinderung von Fehlbetrieb liegen bis anhin keine verlässlichen und zur Überprüfung kontrollierbaren Kriterien vor.

5. Ausblick und Empfehlungen

Tab. 5.1 Heiztechnische Anforderungen für Holzheizungen im Wohnbereich (Einzelraumfeuerungen) nach Qualitätssiegel 2010, LRV und 1. BIMSCHV sowie Vorschlag Qualitätssiegel 2011. Der Vorschlag Qualitätssiegel 2011 entspricht dem jeweils strengsten aller drei Werte, wobei die Verschärfung gegenüber dem heutigen Qualitätslabel **rot** gekennzeichnet ist.

¹ Flachfeuerung 73%, Füllfeuerung 70%

² geschlossene Betriebsweise 75%, Flach- oder Füllfeuerung 80%

³ ohne Wassertasche (85%/30 mg/m³) bzw. mit Wassertasche(90%/20 mg/m³)

| | Qualitätssiegel 2010 | | | | LRV ab 1.1.2011 (Anhang 4) | | | | 1. BIMSCHV ab 31.12.2014 (für ausschliesslich Scheitholz ab 31.12.2016) | | | | Qualitätssiegel 2011 – Verschärfungen BIMSCHV rot | | | |
|--|----------------------|--|--------|-----------|-------------------------------|--|--------|-----------|---|--|--------|----------|--|--|--------|----------|
| | Eta | CO | HC | Staub | Eta | CO | HC | Staub | Eta | CO | HC | Staub | Eta | CO | HC | Staub |
| | % | mg/m ³ bei 13 Vol.-% O ₂ | | | % | mg/m ³ bei 13 Vol.-% O ₂ | | | % | mg/m ³ bei 13 Vol.-% O ₂ | | | % | mg/m ³ bei 13 Vol.-% O ₂ | | |
| Herde Zentralheizungsherde EN 12815 | 60 75 | 2000 3000 | – – | 90 100 | | 3000 3000 | – – | 90 120 | 70 75 | 1500 1500 | – – | 40 40 | 70 75 | 1500 1500 | – – | 40 40 |
| Öfen mit/ohne Zentralheizungsfunktion, Kaminöfen EN 13240 | 78 | 1500 | – | 75 | | 1500 | – | 75 | 73/70 ¹ | 1250 | – | 40 | 78 | 1250 | – | 40 |
| Kamin, Kamineinsätze, Heizeinsätze EN 13229 | 78 | 1500 | – | 75 | | 1500 | – | 75 | 75/80 ² | 1250 | – | 40 | 78/80 ² | 1250 | – | 40 |
| Speicheröfen EN 15544 (CH) EN 15250 (BIMSCHV) | 83 | 1500 | – | 75 | | | – | | 75 | 1250 | – | 40 | 83 | 1250 | – | 40 |

5. Ausblick und Empfehlungen

Tab. 5.2 Heiztechnische Anforderungen für Holzheizkessel Qualitätssiegel 2010, LRV und 1. BIMSCHV sowie Vorschlag Qualitätssiegel 2011.

Gültigkeit der Angaben zum Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz:

- Anlagen bis 300 kW Nenn-Wärmeleistung.
- Emissionsgrenzwerte für Brennstoffe nach Kap. 4 (a) (naturbelassenes Holz) und für Schnitzelfeuerung zusätzlich für Brennstoffe nach Kap. 4 (b) (Hackschnitzel aus Restholz).
- Eta = Kesselwirkungsgrad bei Nenn-Wärmeleistung.

Gültigkeit der Angaben zur 1. BIMSCHV:

- Anlagen bis 500 kW.
- Eta = Kesselwirkungsgrad bei Nenn-Wärmeleistung.
- Anforderung für Eta unter 1. BIMSCHV nach EN 303-5: 73% (10 kW) bis 82% (300 kW)
- Grenzwerte für HC nach EN 303-5 (1999) Klasse 3, angegeben bei 10 Vol.-% O₂ (Umrechnung $\times (21-13)/(21-10)$):
¹ ≤50 kW: handbeschickt 150 mg/m³, automatisch 100 mg/m³, ² >50 bis 300 kW: handbeschickt 100 mg/m³, automatisch 80 mg/m³.
 Die HC-Grenzwerte für Klasse 2 betragen das Doppelte, die HC-Grenzwerte für Klasse 1 mehr als das Zehnfache der Klasse 3.
³ Die LRV verlangt die Einhaltung der massgebenden europäischen Normen, somit EN 303-5, wobei die Klasse nicht bestimmt ist.

| | Qualitätssiegel 2010 | | | | LRV ab 1.1.2011 (Anhang 4) | | | | 1. BIMSCHV ab 31.12.2014 (für Scheitholz ab 31.12.2016) | | | | Qualitätssiegel 2011 – Verschärfungen BIMSCHV rot – Abschwächungen BIMSCHV blau | | | |
|---|----------------------|---|----|-------|-------------------------------|---|---|-------|--|---|-------------------------------------|-------|---|---|----|-------|
| | Eta | CO | HC | Staub | Eta | CO | HC ³ | Staub | Eta | CO | HC | Staub | Eta | CO | HC | Staub |
| | % | mg/m _n ³ bei 13 Vol.-% O ₂ | | | % | mg/m _n ³ bei 13 Vol.-% O ₂ | | | % | mg/m _n ³ bei 13 Vol.-% O ₂ | | | % | mg/m _n ³ bei 13 Vol.-% O ₂ | | |
| Stückholzkessel EN 303-5 oder EN 12809 | 83 | 600 | 20 | 50 | | 800 | (109 ¹) (73 ²) | 50 | 73–82 | 400 | 109 ¹ 73 ² | 20 | 83 | 400 | 20 | 20 |
| Schnitzelfeuerung EN 303-5 oder EN 12809 | 85 | 300 | 15 | 60 | | 400 | (73 ¹) (58 ²) | 60 | | | 73 ¹ 58 ² | | 85 | 300 oder 400 | 15 | 20 |
| Pelletkessel EN 303-5 oder EN 12809 | 85 | 250 | 10 | 40 | | 300 | (73 ¹) (58 ²) | 40 | | | 73 ¹ 58 ² | | 85 | 250 oder 400 | 10 | 20 |

Literatur

- Bauer 2007 Bauer C. (2007) Holzenergie. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, ecoinvent report No. 6-IX, v2.0 (ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from www.ecoinvent.org.
- ecoinvent Centre 2009 ecoinvent Centre (2009) ecoinvent data v2.1, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, from www.ecoinvent.org.
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischier R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, from www.ecoinvent.org.
- Frischknecht et al. 2008 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Umwelt-Wissen Nr. 0906. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, from <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de>.
- PRé Consultants 2009 PRé Consultants (2009) SimaPro 7.1.8, Amersfoort, NL.
- Solomon et al. 2007 Solomon S., Qin D., Manning M., Alley R. B., Berntsen T., Bindoff N. L., Chen Z., Chidthaisong A., Gregory J. M., Hegerl G. C., Heimann M., Hewitson B., Hoskins B. J., Joos F., Jouzel J., Kattsov V., Lohmann U., Matsuno T., Molina M., Nicholls N., et al. (2007) Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Anhang

Tab. A. 1 Detaillierte Auswertung der Umweltbelastungspunkte 2006, Treibhausgasemissionen und kumulierter Energieaufwand verschiedener Holzfeuerungen in absoluten Angaben.

| | | | UBP | GWP g CO2-eq. | KEA | | |
|---|---------------------|-----------|-------------|------------------|-------------|------------------|------------------------|
| | | | | | Total MJ | Erneuerbar MJ | Nicht erneuerbar MJ |
| Pellets | Total | MJ | 36.6 | 13.9 | 1.6 | 1.3 | 0.3 |
| | Brennstoff | MJ | 12.7 | 10.0 | 1.5 | 1.3 | 0.2 |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 17.1 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Heizung | MJ | 1.2 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Asche | MJ | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Transporte | MJ | 1.5 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Strom | MJ | 2.1 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Schnitzel 50 kW | Total | MJ | 37.4 | 6.3 | 1.6 | 1.4 | 0.1 |
| | Brennstoff | MJ | 5.5 | 2.1 | 1.5 | 1.4 | 0.0 |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 22.8 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Heizung | MJ | 1.8 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Asche | MJ | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Transporte | MJ | 0.7 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Strom | MJ | 2.3 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Schnitzel 300 kW | Total | MJ | 35.2 | 4.8 | 1.5 | 1.4 | 0.1 |
| | Brennstoff | MJ | 5.4 | 2.0 | 1.4 | 1.4 | 0.0 |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 24.2 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Heizung | MJ | 0.6 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Asche | MJ | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Transporte | MJ | 0.7 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Strom | MJ | 2.2 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Schnitzel 1000 kW | Total | MJ | 36.6 | 4.5 | 1.5 | 1.4 | 0.1 |
| | Brennstoff | MJ | 5.2 | 2.0 | 1.4 | 1.4 | 0.0 |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 25.9 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Heizung | MJ | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Asche | MJ | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Transporte | MJ | 1.0 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Strom | MJ | 2.1 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Stückholz | Total | MJ | 44.8 | 6.1 | 1.7 | 1.6 | 0.1 |
| | Brennstoff | MJ | 6.6 | 2.5 | 1.6 | 1.6 | 0.0 |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 29.0 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Heizung | MJ | 1.1 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Asche | MJ | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Transporte | MJ | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Strom | MJ | 1.8 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Stückholz in Einzelofen 6 kW | Total | MJ | 57.5 | 6.5 | 1.5 | 1.4 | 0.1 |
| | Brennstoff | MJ | 6.0 | 2.2 | 1.5 | 1.4 | 0.0 |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 44.7 | 3.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Heizung | MJ | 1.1 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Asche | MJ | 5.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Transporte | MJ | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Strom | MJ | - | - | - | - | - |

Anhang

Tab. A. 2 Detaillierte Auswertung der Umweltbelastungspunkte 2006, Treibhausgasemissionen und kumulierter Energieaufwand verschiedener Holzfeuerungen in relativen Angaben.

| | | | UBP | GWP g CO ₂ -eq. | KEA | | |
|---|---------------------|-----------|---------------|-------------------------------|---------------|------------------|------------------------|
| | | | | | Total MJ | Erneuerbar MJ | Nicht erneuerbar MJ |
| Pellets | Total | MJ | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 82.5% | 17.5% |
| | Brennstoff | MJ | 34.7% | 72.1% | 94.6% | 81.9% | 12.6% |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 46.6% | 6.4% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Heizung | MJ | 3.3% | 7.1% | 0.7% | 0.0% | 0.6% |
| | Asche | MJ | 5.5% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Transporte | MJ | 4.1% | 9.7% | 1.4% | 0.0% | 1.4% |
| | Strom | MJ | 5.8% | 4.7% | 3.3% | 0.5% | 2.8% |
| Schnitzel 50 kW | Total | MJ | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 93.2% | 6.8% |
| | Brennstoff | MJ | 14.7% | 33.1% | 94.8% | 92.6% | 2.2% |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 60.9% | 18.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Heizung | MJ | 4.8% | 27.9% | 1.0% | 0.0% | 0.9% |
| | Asche | MJ | 11.8% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Transporte | MJ | 1.8% | 9.7% | 0.7% | 0.0% | 0.7% |
| | Strom | MJ | 6.0% | 11.1% | 3.6% | 0.5% | 3.0% |
| Schnitzel 300 kW | Total | MJ | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 93.8% | 6.2% |
| | Brennstoff | MJ | 15.2% | 42.6% | 95.4% | 93.2% | 2.2% |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 68.6% | 19.3% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Heizung | MJ | 1.7% | 11.1% | 0.3% | 0.0% | 0.3% |
| | Asche | MJ | 6.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Transporte | MJ | 1.9% | 12.5% | 0.7% | 0.0% | 0.7% |
| | Strom | MJ | 6.2% | 14.2% | 3.6% | 0.5% | 3.0% |
| Schnitzel 1000 kW | Total | MJ | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 93.6% | 6.4% |
| | Brennstoff | MJ | 14.2% | 43.3% | 95.2% | 93.1% | 2.2% |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 70.7% | 18.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Heizung | MJ | 0.8% | 4.9% | 0.2% | 0.0% | 0.2% |
| | Asche | MJ | 5.7% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Transporte | MJ | 2.6% | 19.0% | 1.0% | 0.0% | 1.0% |
| | Strom | MJ | 5.8% | 14.5% | 3.6% | 0.5% | 3.0% |
| Stückholz | Total | MJ | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 95.3% | 4.7% |
| | Brennstoff | MJ | 14.7% | 40.4% | 96.5% | 94.9% | 1.6% |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 64.7% | 36.6% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Heizung | MJ | 2.4% | 9.1% | 0.6% | 0.0% | 0.6% |
| | Asche | MJ | 13.2% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Transporte | MJ | 1.0% | 4.8% | 0.3% | 0.0% | 0.3% |
| | Strom | MJ | 3.9% | 8.9% | 2.5% | 0.4% | 2.2% |
| Stückholz in Einzelofen 6 kW | Total | MJ | 100.0% | 34.3% | 96.3% | 109.5% | 34.0% |
| | Brennstoff | MJ | 14.7% | 14.6% | 91.8% | 108.8% | 12.0% |
| | Feuerungsemissionen | MJ | 66.1% | 6.6% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Heizung | MJ | 1.6% | 3.8% | 0.3% | 0.0% | 1.8% |
| | Asche | MJ | 5.9% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Transporte | MJ | 1.8% | 4.3% | 0.6% | 0.0% | 3.6% |
| | Strom | MJ | 6.0% | 4.9% | 3.4% | 0.6% | 16.6% |

Anhang

Tab. A. 3 Beiträge verschiedener Emissionen zu den gesamten Umweltbelastungen von Holzfeuerungen (absolute und relative Angaben).

Umweltbelastungspunkte nach Emissionen (absolut)

| | | Total | PM 2.5 | NOx | Benzol | Dioxin | Zink in Luft | Zink in Boden | CO2 fossil | Andere |
|-------------------------------------|----|-------|--------|------|--------|--------|--------------|---------------|------------|--------|
| Pellets | MJ | 36.6 | 4.1 | 5.7 | 4.3 | 2.4 | 1.6 | 0.7 | 3.8 | 14.0 |
| Schnitzel 50 kW | MJ | 37.4 | 6.7 | 7.4 | 4.4 | 2.5 | 1.7 | 1.4 | 1.5 | 11.7 |
| Schnitzel 300 kW | MJ | 35.2 | 8.7 | 6.9 | 4.3 | 2.3 | 1.6 | 0.7 | 1.1 | 9.5 |
| Schnitzel 1000 kW | MJ | 36.6 | 11.1 | 6.6 | 4.1 | 2.3 | 1.6 | 0.7 | 1.1 | 9.1 |
| Stückholz | MJ | 44.8 | 9.2 | 8.8 | 5.1 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.1 | 13.6 |
| Stückholz in Einzelofen 6 kW | MJ | 57.5 | 23.7 | 10.5 | 4.6 | 2.7 | 1.8 | 1.8 | 0.9 | 11.4 |

Umweltbelastungspunkte nach Emissionen (relativ)

| | | Total | PM 2.5 | NOx | Benzol | Dioxin | Zink in Luft | Zink in Boden | CO2 fossil | Andere |
|-------------------------|----|--------|--------|-------|--------|--------|--------------|---------------|------------|--------|
| Pellets | MJ | 100.0% | 11.3% | 15.5% | 11.8% | 6.4% | 4.4% | 1.9% | 10.4% | 38.3% |
| Schnitzel | MJ | 100.0% | 18.0% | 19.8% | 11.7% | 6.8% | 4.5% | 3.8% | 4.0% | 31.3% |
| Schnitzel 50 kW | MJ | 100.0% | 24.8% | 19.7% | 12.1% | 6.7% | 4.7% | 2.0% | 3.1% | 26.9% |
| Schnitzel 300 kW | MJ | 100.0% | 30.4% | 18.1% | 11.3% | 6.2% | 4.3% | 1.9% | 2.9% | 24.9% |
| Stückholz | MJ | 100.0% | 20.6% | 19.6% | 11.5% | 6.6% | 4.4% | 4.0% | 2.5% | 30.4% |
| Stückholz | MJ | 100.0% | 41.3% | 18.3% | 8.1% | 4.7% | 3.1% | 0.0% | 1.6% | 19.9% |

Tab. A. 4 Bandbreite der PM 2.5, NO_x, CO und VOC Emissionen und des Wirkungsgrads gemäss der Typenprüfung an den gesamten Umweltbelastungen von Holzfeuerungen (ohne Infrastruktur und Transporte).

Umweltbelastungspunkte

| | | | Total | PM 2.5 | NOx | CO | VOC | Andere Feuerungs-emissionen | Strom | Brennstoff | Asche | Wirkungs-grad |
|------------------------|-------------------|--------|-------|--------|-------|------|------|-----------------------------|-------|------------|-------|---------------|
| Stückholz 30 kW | Minimum | UBP/MJ | 23.9 | 4.4% | 12.8% | 0.0% | 0.0% | 34.5% | 5.3% | 18.8% | 16.9% | 7.3% |
| | Mittelwert | UBP/MJ | 26.6 | 8.4% | 14.3% | 0.0% | 0.1% | 31.0% | 4.7% | 16.9% | 15.2% | 9.5% |
| | Maximum | UBP/MJ | 29.9 | 12.5% | 15.8% | 0.0% | 0.4% | 28.0% | 4.2% | 15.0% | 13.5% | 10.5% |
| Pellets 50 kW | Minimum | UBP/MJ | 27.6 | 2.7% | 11.1% | 0.0% | 0.1% | 29.3% | 6.8% | 39.0% | 6.2% | 4.8% |
| | Mittelwert | UBP/MJ | 30.8 | 6.4% | 12.2% | 0.0% | 0.1% | 26.3% | 6.1% | 35.0% | 5.6% | 8.3% |
| | Maximum | UBP/MJ | 37.3 | 9.2% | 14.0% | 0.0% | 0.1% | 21.7% | 5.0% | 28.9% | 4.6% | 16.5% |
| Schnitzel 50 kW | Minimum | UBP/MJ | 24.2 | 7.4% | 11.5% | 0.0% | 0.0% | 33.7% | 7.8% | 18.2% | 14.6% | 6.8% |
| | Mittelwert | UBP/MJ | 28.1 | 11.3% | 15.1% | 0.0% | 0.0% | 29.0% | 6.7% | 15.7% | 12.5% | 9.7% |
| | Maximum | UBP/MJ | 33.8 | 13.8% | 18.8% | 0.0% | 0.0% | 24.1% | 5.6% | 13.0% | 10.4% | 14.3% |

Anhang

Tab. A. 5 Bandbreite der PM 2.5, NO_x, CO und VOC Emissionen und des Wirkungsgrads gemäss der Typenprüfung an den gesamten Treibhausgasemissionen von Holzfeuerungen (ohne Infrastruktur und Transporte).

Treibhausgasemissionen

| | | | Total | PM 2.5 | NO _x | CO | VOC | Andere Feuerungs-emissionen | Strom | Brennstoff | Asche | Wirkungs-grad |
|------------------------|-------------------|---------------------------|-------|--------|-----------------|------|------|-----------------------------|-------|------------|-------|---------------|
| Stückholz 30 kW | Minimum | g CO ₂ -eq./MJ | 3.6 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.4% | 33.4% | 11.5% | 47.2% | 0.2% | 7.3% |
| | Mittelwert | g CO ₂ -eq./MJ | 3.7 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 2.3% | 31.9% | 11.0% | 45.1% | 0.2% | 9.5% |
| | Maximum | g CO ₂ -eq./MJ | 4.1 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 9.0% | 29.1% | 10.0% | 41.2% | 0.2% | 10.5% |
| Pellets 50 kW | Minimum | g CO ₂ -eq./MJ | 10.4 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 7.2% | 6.0% | 82.0% | 0.0% | 4.8% |
| | Mittelwert | g CO ₂ -eq./MJ | 10.7 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 6.9% | 5.7% | 78.9% | 0.0% | 8.3% |
| | Maximum | g CO ₂ -eq./MJ | 11.8 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 6.3% | 5.2% | 71.9% | 0.0% | 16.5% |
| Schnitzel 50 kW | Minimum | g CO ₂ -eq./MJ | 3.4 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 26.1% | 18.1% | 48.8% | 0.2% | 6.8% |
| | Mittelwert | g CO ₂ -eq./MJ | 3.5 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.3% | 25.2% | 17.4% | 47.2% | 0.2% | 9.7% |
| | Maximum | g CO ₂ -eq./MJ | 3.7 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.5% | 23.9% | 16.5% | 44.6% | 0.2% | 14.3% |