

**Luftschadstoffe aus Holzfeuerungen im Kanton Zürich, AWEL**

**Emissionsbilanzen für Feinstäube und Stickoxide:  
Stand 2005, Auswirkung der LRV 06 und weiteren  
Massnahmen**

**Schlussbericht**

Ingenieurbüro Willi Vock  
Ausserdorfstrasse 39  
CH-8933 Maschwanden  
Tel u Fax 044/768 29 13  
Email [willi.vock@datacomm.ch](mailto:willi.vock@datacomm.ch)

*In Zusammenarbeit mit:*

Verenum  
Dr. Thomas Nussbaumer  
Langmauerstrasse 109  
CH-8006 Zürich  
Tel 044/377 70 71  
Email [thomas.nussbaumer@verenum.ch](mailto:thomas.nussbaumer@verenum.ch)

ardens GmbH  
Andres Jenni  
Munzachstrasse 38  
Postfach 549  
CH-4410 Liestal  
Tel 061/923 85 85  
Email [ardens@datacomm.ch](mailto:ardens@datacomm.ch)

Christian Gaegauf  
Schwengstrasse 12  
CH-4438 Langenbruck  
Tel 062/387 31 26  
Email [gaegauf@oekozentrum.ch](mailto:gaegauf@oekozentrum.ch)

Ingenieurbüro Umwelt + Energie  
Ruedi Bühler  
Sagiweg 4  
CH-8933 Maschwanden  
Tel 044/767 15 16  
Email [rbuehler@mus.ch](mailto:rbuehler@mus.ch)

Maschwanden, 10. Juni 2006, W. Vock

# Inhaltverzeichnis

	Seite
<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1. Auftrag</b>	<b>4</b>
<b>2. Vorgehen</b>	<b>5</b>
2.1 Anlagenbestand	5
2.2 Endenergieverbrauch	6
2.3 Vergleich mit anderen Statistiken	6
<b>3. Anlagenbestand und Gebäudepark</b>	<b>7</b>
<b>4. Holzverbrauch, Holzbereitstellung und Energieholzpotential</b>	<b>11</b>
<b>5. Emissionsfaktoren</b>	<b>13</b>
5.1 Feinstaub (PM 10)	13
5.2 Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	15
<b>6. Staubmessungen vor Ort für Holzfeuerungen &lt;70 kW</b>	<b>15</b>
6.1 Analysemöglichkeiten	15
6.2 Stand der Messtechnik	16
6.3 Neue Messverfahren	17
6.4 Empfehlung für den praktischen Einsatz	20
<b>7. Massnahmen zur Reduktion von Feinstaub</b>	<b>21</b>
7.1 Bedeutung der Betriebspraxis von Holzfeuerungen	21
7.2 Vorschläge für weitergehende Massnahmen	23
7.3 Kontrolle von Holzfeuerungen unter 70 kW	24
7.4 Kontrolle von Holzfeuerungen über 70 kW	27
<b>8. Massnahmen zur Reduktion von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>)</b>	<b>27</b>
<b>9. Emissionsbilanzen</b>	<b>28</b>
9.1 Feinstaub (PM 10)	28
9.2 Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	36
<b>10. Weiteres Vorgehen</b>	<b>37</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>38</b>
<b>Anhang</b>	
A Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen für Feinstaub (PM10)	
B Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen für Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	
C Merkmale für die Auswertung des Eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters	
D Erhebung zu den Betriebsstunden und Brennstoffverbrauch von messpflichtigen Anlagen	
E Energiekennzahlen des Kantons Zürich	
F Schweizerische Holzenergiestatistik, Abschätzung für den Kanton Zürich	
G Nachhaltiges Energieholzpotential Kanton Zürich	

## Zusammenfassung

Die vorliegenden Abschätzungen zu den Feinstaub- und Stickoxidfrachten aus Holzfeuerungen basieren bei den kleinen Holzfeuerungen auf den aktuellen Daten des Eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters. Für grosse, messpflichtige Holzfeuerungen wird auf das Register der messpflichtigen Anlagen im Kanton Zürich zurückgegriffen.

Mit den getroffenen Annahmen werden die Feinstaub-Emissionen von Holzfeuerungen im Kanton Zürich auf total 450 t pro Jahr geschätzt, wobei die Anlagen unter 70 kW mit 77% den grössten Anteil beitragen. Weil Holzfeuerungen vorwiegend während der Heizperiode betrieben werden, verursachen diese im Winterhalbjahr ähnlich hohe Feinstaub-Emissionen wie der gesamte Strassenverkehr.

Bei der vorliegenden Abschätzung der Emissionen sind die kondensierbaren Aerosole nicht eingerechnet. Diese können vor allem bei handbeschickten Holzfeuerungen den Beitrag zu den PM 10-Immissionen um bis zu einem Faktor 1.5 erhöhen.

Im Weiteren ist zu beachten, dass die Abschätzung der Emissionen mit Unsicherheiten behaftet ist. Einerseits basieren die Daten zum Holzverbrauch auf Schätzungen. Andererseits weisen vor allem die Emissionsfaktoren der handbeschickten Holzfeuerungen, welche den Hauptteil der Emissionen verursachen, eine sehr grosse Bandbreite auf. Entscheidend sind das Alter bzw. die Technik der Feuerungen und die Betriebsart. Diese Einflussgrössen können aufgrund der verfügbaren Daten nur näherungsweise abgeschätzt werden. Allerdings zeigen Messungen, dass handbeschickte Holzfeuerungen bereits bei typischem Praxisbetrieb um mindestens einen Faktor 2 höhere Emissionen als unter Prüfstandsbedingungen aufweisen können, während bei unsachgemäsem Betrieb teilweise um mehr als ein Faktor 10 höhere Emissionen möglich sind. Da zur effektiven Betriebsart in der Praxis keine Erhebungen vorliegen, unterliegt die Abschätzung der Gesamtemissionen einer Unsicherheit. Da die Holz mengen und der Anteil unsachgemäss betriebener Holzfeuerungen knapp geschätzt wurden, ist trotz dieser Unsicherheiten davon auszugehen, dass die tatsächlichen Emissionen eher höher sein dürften.

Unter den getroffenen Annahmen können die Auswirkungen der vorgeschlagenen Massnahmen wie folgt abgeschätzt werden:

Falls die strengeren Anforderungen gemäss LRV 2006 vom gesamten Anlagenpark eingehalten würden, können die Feinstaubemissionen auf 220 t/Jahr oder rund die Hälfte der heutigen Fracht verringert werden. Den grössten Beitrag zur Reduktion liefern Holzfeuerungen unter 70 kW. Die grösste Wirkung wird mit dem Ersatz alter, kleiner Stückholzfeuerungen erzielt. Weil aber die Anforderungen der LRV für Holzfeuerungen unter 70 kW nur für neue Anlagen gelten, können diese Reduktionen aber erst nach Jahrzehnten erreicht werden.

Die Nachteile der verzögerten Auswirkung der LRV-Revision auf die kleinen Anlagen können durch die gleichzeitige Einführung einer wirkungsvollen Kontrolle für Holzfeuerungen unter 70 kW vermieden werden. Die gesamten Feinstaubemissionen aus Holzfeuerungen können in diesem Fall kurzfristig auf 115 t/Jahr oder 28% der heutigen Fracht gesenkt werden. Durch das gleichzeitige Vorgehen gegen alte und oder schlecht betriebene kleine Holzfeuerungen können die Feinstaubemissionen schnell und wirksam reduziert werden.

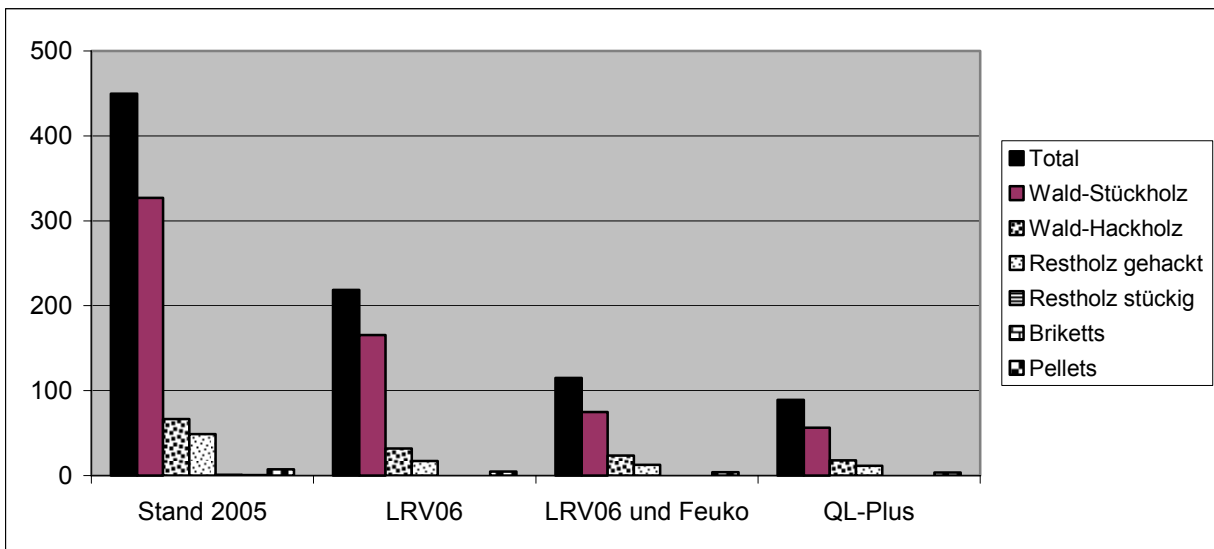
Mit zusätzlichen Massnahmen, wie einem verbesserten Qualitätslabel (QL-Plus) und neuen Messempfehlungen für die messpflichtigen Holzfeuerungen, ist eine weitere Reduktion der gesamten Staubfracht auf 90 t/Jahr oder 22% der heutigen Fracht möglich.

Wird in Zukunft im Kanton Zürich das vorhandene Energieholzpotential genutzt, erhöht sich der heutige Holzverbrauch um einen Faktor 2.5 bis 3.6. Unter Berücksichtigung aller vorgeschlagenen Reduktionsmassnahmen und Annahme eines unveränderten Anlagenparks, würden sich Staubemissionen von 270 bis 320 t/Jahr ergeben. Falls in Zukunft ein höherer Anteil des Energieholzes in grossen Anlagen genutzt wird, sinken diese Feinstaubfrachten.

Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung empfiehlt sich somit auf kantonaler Ebene die schnelle Einführung einer wirksamen Kontrolle von kleinen Holzfeuerungen. In der

ersten Phase wird das Augenmerk auf die Verwendung LRV-konformer Brennstoffe gelegt (keine illegale Entsorgung von Altholz und Abfällen) und in einer zweiten Phase wird zusätzlich eine vereinfachte Emissionsmessungen durchgeführt (keine qualmenden Kamine mehr).

Es wird zudem vorgeschlagen, in Zusammenarbeit mit BAFU und BFE die Datenbasis für Feinstaubemissionen von Holzfeuerungen in der Betriebspraxis zu verbessern und vereinfachte Messverfahren für Feinstaubemissionen von kleinen Holzfeuerungen zu testen. Zudem wird empfohlen die Datenbasis zum Anlagenbestand von kleineren Holzfeuerungen in Zusammenarbeit mit dem Kaminfegermeister-Verband des Kantons Zürich zu verbessern.



Legende: Feuko: Feuerungskontrolle unter 70 kW; QL-Plus: Qualitätslabel mit Berücksichtigung Betriebspraxis

## Feinstaubfrachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH nach Holzsortimenten in t/Jahr

### 1. Auftrag

Für die Abschätzung der Auswirkungen von Massnahmen gegen Feinstaub- und Stickoxid-Emissionen im Kanton Zürich sollen Emissionsbilanzen für Holzfeuerungen für den Stand 2005 erstellt werden. Analog zu entsprechenden Abschätzungen der Stadt Zürich [1] sind die Emissionen aus dem Holzfeuerungsanlagenbestand im Kanton Zürich zu ermitteln. Dabei soll eine Aufteilung auf die verschiedenen Anlagenkategorien vorgenommen werden. Insbesondere sind die Anteile von kleinen Anlagen (unter 70 kW Nennfeuerungsleistung) und grösseren Anlagen (über 70 kW Nennfeuerungsleistung) anzugeben. Ausserdem soll auch der Ausstoss aus gewerblichen Restholzfeuerungen ausgewiesen werden.

Ausgehend vom Stand 2005 sind die Auswirkungen der im Entwurf vorliegenden LRV-Revision 2006 abzuschätzen. Zusätzlich sollen weitergehende Massnahmen vorgeschlagen und deren Nutzen ebenfalls in die Bilanz einbezogen werden.

Alle Abschätzungen und Berechnungen erfolgen auf der Basis der verfügbaren Daten, Literaturstudien und vorhanden Messresultaten. Im Rahmen des Projektes wurde zusätzlich eine Erhebung beim Kaminfegermeister-Verband des Kantons Zürich durchgeführt [5].

## 2. Vorgehen

### 2.1 Anlagenbestand

Die vorliegenden Abschätzungen zum gesamten Anlagenpark an Holzfeuerungen im Kanton Zürich basieren auf zwei Hauptdatenquellen:

- **Holzfeuerungen kleiner 70 kW (Feuerungswärmeleistung)**  
Die Abschätzung für diese Anlagen erfolgt auf der Basis des Eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) des Amtes für Raumordnung und Vermessung (ARV) der Baudirektion des Kantons Zürich [2]. Das GWR wurde auf der Grundlage der Volkszählung 2000 errichtet. Seit 2001 werden im Kanton Zürich die Daten der Gemeinden bezüglich Neubauten und Abbrüchen systematisch nachgeführt. Da es sich bei der Volkszählung um Daten von individuell ausgefüllten Fragebogen handelt, können keine Angaben über die Erfassungsgenauigkeit gemacht werden. Es ist nicht vorgesehen den Anfangsdatenbestand aus der Volkszählung genauer zu ermitteln. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Qualität der Daten mit der konsequenten Fortschreibung laufend verbessert. Vor der Auswertung der Daten aus dem GWR wurden die Gebäude identifiziert und ausgeblendet, wenn diese im Register der messpflichtigen Anlagen aufgeführt sind. Damit ist gewährleistet, dass mit der Auswertung des GWR nur die Holzfeuerungen mit einer Leistung kleiner 70 kW erfasst werden.
- **Holzfeuerungen grösser 70 kW**  
Im Register der messpflichtigen Holzfeuerungen im Kanton Zürich [3] werden alle messpflichtigen Holzfeuerungen ab 70 kW Leistung (für Restholz ab 40 kW) erfasst (Baujahr, Brennstoff und Nennleistung). Die aktuellen Daten für die Städte Zürich und Winterthur sind ebenfalls enthalten.

### 2.2 Endenergieverbrauch

#### **Holzfeuerungen kleiner 70 kW**

Sind in einem Gebäude verschiedene Heizungsarten im Einsatz, beziehen sich die Angaben des GWR auf die überwiegende Heizungsart. Aufgrund der Datenauswertung konnten den verschiedenen Heizungsarten (Einzelofenheizung, Etagenheizung, Zentralheizung) die entsprechenden Wohnungsflächen zugeordnet werden. Der Endenergieverbrauch wurde anhand der Energiekennzahlen für die Gebäude im Kanton Zürich ermittelt [7]. Einzelofenheizungen weisen zwar einen bedeutenden Anteil an den Wohnungsflächen auf. Mit solchen Anlagen sind aber in der Regel tiefere Komfortansprüche verbunden. Die Energiekennzahlen für Wohnungsflächen, welche mit solchen Einzelofenheizungen beheizt sind, wurden daher auf 50% reduziert. Bei den Zentralheizungen wurde angenommen, dass 90% mit Stückholz und 10% mit Hackholz oder Pellets beheizt werden. Mit diesen Annahmen stimmen die verbrauchten und die bereitgestellten Stückholzmengen gemäss Forststatistik gut überein (vgl. Tabelle 4.1 und 4.3). Der Verbrauch an Hackholz und Pellets in kleinen, automatisch beschickten Holzfeuerungen wurde aufgrund der Daten der Schweizerischen Holzenergiestatistik abgeschätzt (Tabelle 4.2).

#### **Holzfeuerungen grösser 70 kW**

Der Endenergieverbrauch wurde bei diesen Anlagen aufgrund der Anzahl Vollbetriebstunden und der Nennleistung der Anlage ermittelt. Die Abschätzung der Anzahl Vollbetriebstunden basiert auf einer neuen Erhebung des AWEL [4] an 17 Anlagen (Anhang D).

## 2.3 Vergleich mit anderen Statistiken

Die ermittelten Daten wurden mit folgenden Statistiken verglichen:

- Auf der Basis der **Schweizerischen Holzenergiestatistik** wurde durch das Büro Basler und Hofmann eine Abschätzung für den Kanton Zürich vorgenommen [9]. Bei den Holzfeuerungen grösser 50 kW (Nennleistung) werden die Daten bereits heute kantonsweise ausgewiesen und konnten direkt übernommen werden. Die Anlagen unter 50 kW wurden bevölkerungsproportional und anhand von Erfahrungswerten grob abgeschätzt (Anhang F).
- Im Rahmen des Projektes hat das Bundesamt für Energie zusammen mit dem **Kaminfegermeister-Verband des Kantons Zürich [5]** eine Erhebung über die regelmässig in Gebrauch stehenden (1-2 Reinigungen pro Jahr) kleinen Holzfeuerungen durchgeführt. Aus technischen Gründen musste die Erhebung auf die Kategorien Einzelofen und Zentralheizungen beschränkt werden.
- Anhand der Daten aus der **kantonalen Forststatistik** wurden die von den Kreisförstern gemeldeten Daten zu den Holzmengen ausgewertet. Neben den aus den öffentlichen Waldungen bereitgestellten Holzmengen enthalten diese Daten auch eine Abschätzung der Produktion aus dem Privatwald [6].

Für die Umrechnung des Endenergieverbrauches auf feste Holzmasse ( $\text{fm}^3$ ) wurden die standardisierten Umrechnungsfaktoren der Schweizerischen Holzenergiestatistik des Bundesamtes für Energie übernommen [8].

### 3. Anlagenbestand und Gebäudepark

Die Daten zum Anlagebestand sind in Tabelle 3.1 zu finden.

Anlagengrösse Quelle	Anlagen-Kategorie	Teil- menge Anzahl	Total Anzahl
-------------------------	-------------------	--------------------------	-----------------

#### **Ergebnis der vorliegenden Untersuchung Stand 2005**

<b>Holzfeuerungen &lt;70 kW<sup>1)</sup></b> GWR <sup>2)</sup>	Zimmer mit Einzelöfen	35'276	42'675
	Wohnungen mit Etagenheizung	437	
	Gebäude mit Zentralheizung für das Gebäude	5'708	
	Gebäude mit Zentralheizung für mehrere Gebäude	1'254	
	Total		
<b>Holzfeuerungen &gt;70 kW<sup>1)</sup></b> Register der messpflichtigen Holzfeuerungen <sup>3)</sup>	Stückholz	45	375
	Hackholz	129	
	Pellets und Brikett	3	
	Restholz-Stückholz	9	
	Restholz-Schnitzel	189	
	Total		

#### **Vergleich mit Erhebung Kaminfegermeisterverband Kanton Zürich Stand 2005/2006<sup>4)</sup>**

<b>Holzfeuerungen &lt;70 kW</b>	Einzelöfen	25'702	32'107
	Zentralheizungen	6'405	
	Total		

#### **Vergleich mit Schweiz. Holzenergiestatistik Stand 2005<sup>5)</sup>**

<b>Holzfeuerungen &lt;50 kW<sup>6)</sup></b>	Einzelöfen (Kat. 1-6)	79'428	86'678
	Zentralheizungen (Kat. 7, 8, 10, 11a, 11b)	7'250	
	Total		
<b>Holzfeuerungen &gt;50 kW<sup>6)</sup></b>	Stückholzkessel (Kat. 9)	234	901
	Automatische Holzfeuerungen für Hackholz (Kat. 12a, 14a, 16a)	422	
	Automatische Holzfeuerungen für Pellets (Kat. 11b, 12b, 14b, 16b)	12	
	Automatische Holzfeuerungen für Restholz (Kat. 13, 15, 17)	233	
	Total		

1) 70 kW Feuerungswärmeleistung gemäss LRV

2) Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister, Amt für Raumordnung und Vermessung, Baudirektion Kanton Zürich

3) AWEL: Messpflichtige Holzfeuerungen für naturbelassenes Holz >70 kW und Restholzfeuerungen >40 kW

4) Erhebung des Bundesamtes für Energie (BFE) und Kaminfegermeister Verband des Kantons Zürich an Holzfeuerungen unter 70 kW mit 1 bis 2 Reinigungen pro Jahr während der Heizsaison 2005/2006, Beteiligung 75 von 81 Betrieben im Kanton ZH (Erfassungsquote 93%).

5) Schweizerische Holzenergiestatistik, Folgerhebung für das Jahr 2005, Basler und Hofmann AG, Zürich, Bundesamt für Energie, Bern, 2005

6) 50 kW Nennwärmeleistung entspricht (mit Jahrnutzungsgrad 71%): 70 kW

**Tabelle 3.1: Vergleich der Statistiken bezüglich Anzahl Anlagen**

**Hinweis:** Im Eidg. Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) werden grundsätzlich Gebäudedaten registriert. Aus diesen Daten lässt sich nur bedingt die Anzahl Heizanlagen bestimmen. Eindeutig sind die Daten der Anzahl Gebäude mit einer Zentralheizung. Hier entspricht die Gebäudezahl der Anzahl Zentralheizungen. Bei den Gebäuden mit Zentralheizungen für mehrere Gebäude ist die Anzahl Anlagen nicht bekannt. Die Anzahl der Einzelöfen ist tiefer als die Anzahl Zimmer mit Einzelöfen, denn nicht in jedem Zimmer dürfte ein Einzelofen vorhanden sein. Da auf einer Etage mehrere Wohnungen vorhanden sein können, kann aus der Anzahl Wohnungen mit Etagenheizung auch nicht direkt auf die Anzahl Etagenheizungen geschlossen werden. Diese Kategorie ist aber ohnehin von untergeordneter Bedeutung.

**Kommentar:**

Gemäss GWR bestehen im Kanton Zürich 35'276 Zimmer mit Einzelöfen. Aus der Erhebung des Kaminfegermeisterverbandes des Kantons Zürich geht hervor, dass jährlich 25'702 Einzelöfen 1-2 mal gereinigt werden. Durchschnittlich ergibt dies 1.4 Zimmer pro Einzelofen.

Laut GWR beträgt der Bestand an Gebäuden mit einer Holzzentralheizung 5'708 Gebäude oder Heizungsanlagen. Ausserdem bestehen noch 1'249 Gebäude mit einer Zentralheizung für mehrer Gebäude. Die effektive Zahl der Zentralheizungen liegt somit zwischen 5'708 und 6957 Anlagen. Die Anzahl von Kaminfeger 1-2 mal jährlich gereinigten Anlagen beträgt 6'405 Zentralheizungen und liegt im Bereich des GWR. Durchschnittlich werden demnach bei den Zentralheizungen für mehrere Gebäude 1.8 Gebäude pro Heizanlage beheizt.

Beim AWEL sind zur Zeit total 375 messpflichtige Anlagen registriert (inkl. Städte Zürich und Winterthur).

Der Anlagenbestand <50 kW gemäss Holzenergiestatistik beträgt 79'428 Einzelöfen, und 7'250 Zentralheizungen. Bei den Holzfeuerungen mit einer Nennleistung >50 kW sind es 901 Anlagen.

**Fazit:** Für die Kategorie Zentralheizungen stimmen die Daten zum Anlagenbestand bei allen Statistiken recht gut überein. Der Bestand an Einzelöfen liegt gemäss Holzenergiestatistik mehr als doppelt so hoch. Bei den messpflichtigen Holzfeuerungen (>70 kW bzw. >50 kW) ist der Bestand gemäss Holzenergiestatistik ebenfalls deutlich höher. Der Vergleich der Statistiken zeigt, dass der Anlagenpark insbesondere an kleinen Holzfeuerungen im Kanton Zürich mit der vorliegenden Untersuchung konservativ eingeschätzt wird.

Anlagengrösse Quelle	Anlagen-Kategorie	Teil- menge kW	Total kW
-------------------------	-------------------	----------------------	-------------

**Ergebnis der vorliegender Untersuchung Stand 2005**

<b>Holzfeuerungen &lt;70 kW<sup>1)</sup></b> GWR <sup>2)</sup>	Zimmer mit Einzelofen	469'314 <sup>3)</sup>	
	Wohnungen mit Etagenheizung	-	
	Gebäude mit Zentralheizung für das Gebäude	265'341 <sup>4)</sup>	
	Gebäude mit Zentralheizung für mehrere Geb.	-	
	Total		734'655
<b>Holzfeuerungen &gt;70 kW<sup>1)</sup></b> Register der messpflichtigen Holzfeuerungen <sup>5)</sup>	Stückholz	5'606	
	Hackholz	71'778	
	Pellets und Brikett	530	
	Restholz-Stückholz	704	
	Restholz-Schnitzel	68'686	
	Total		147'303

**Vergleich mit Schweiz. Holzenergiestatistik Stand 2005<sup>6)</sup>**

<b>Holzfeuerungen &lt;50 kW<sup>7)</sup></b>	Einzelöfen (Kat. 1-6)	768'330	
	Zentralheizungen (Kat. 7-11b)	257'903	
	Total		1'026'233
<b>Holzfeuerungen &gt;50 kW<sup>7)</sup></b>	Automatische Holzfeuerungen für Hackholz (Kat. 12a, 14a, 16a)	101'697	
	Automatische Holzfeuerungen für Pellets (Kat. 11b, 12b, 14b, 16b)	12'393	
	Automatische Holzfeuerungen für Restholz (Kat. 13, 15, 17)	64'739	
	Total		178'829

1) 70 kW Feuerungswärmeleistung gemäss LRV

2) Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister, Amt für Raumordnung und Vermessung, Baudirektion Kanton Zürich

3) Abschätzung der installierten Leistung aus Endenergieverbrauch gemäss GWR und 1000 Vollastbetriebsstunden pro Heizsaison

4) Abschätzung der installierten Leistung aus Endenergieverbrauch gemäss GWR und 2000 Vollastbetriebsstunden pro Heizsaison

5) AWEL: Messpflichtige Holzfeuerungen für naturbelassenes Holz grösser 70 kW und Restholzfeuerungen grösser 40 kW

6) Schweizerische Holzenergiestatistik, Folgerhebung für das Jahr 2005, Basler und Hofmann AG, Zürich, Bundesamt für Energie, Bern, 2005

7) 50 kW Nennwärmeleistung entspricht (mit Jahrnutzungsgrad 71%): 70 kW

**Tabelle 3.2: Vergleich der Statistiken bezüglich installierter Leistung**

Der Vergleich der Daten gemäss Tabelle 3.2 bezüglich der installierten Leistung ergibt eine ähnliche Beurteilung wie diejenige der Anzahl installierten Anlagen.

Tabelle 3.3 zeigt die prozentuale Verteilung der Wohnungsverflächen von Einzelofen- und Etagenheizung sowie Zentralheizung für die einzelnen Bau- oder Renovationsperioden. Während der angegebenen Bau- oder Renovationsperiode wurden die Gebäude entweder erbaut oder renoviert. Bei Gebäuden bis ca. 1980 dürfte das Baujahr des Gebäudes dem Baujahr der Feuerungsanlage entsprechen (Lebensdauer der Feuerung). Bei den älteren Gebäuden ist nicht bekannt, wie viele Feuerungsanlagen erneuert wurden. Es wird aber mit einem bedeutenden Anteil alter Anlagen gerechnet.

Anlagekategorie Bau- oder Renovationsperiode des Gebäudes	Wohnungsverflächen in %
<b>Einzelofen- und Etagenheizung</b>	
vor 1971	92
1971-80	1
1981-85	1
1986-90	1
1991-95	1
1996-05	4
Total	100
<b>Zentralheizung</b>	
vor 1971	67
1971-80	6
1981-85	4
1986-90	4
1991-95	5
1996-05	14
Total	100

**Tabelle 3.3: Wohnungsverflächen in % nach Bau- oder Renovationsperioden des Gebäudes**

**Kommentar:** Bei den Einzelofen- und Etagenheizungen treten 92% der Wohnungsverflächen in Gebäuden auf, welche vor 1971 gebaut oder renoviert wurden. Bei den Zentralheizungen beträgt dieser Anteil 67%.

**Fazit:** Insbesondere bei Einzelofen- und Etagenheizungen haben ältere Gebäude einen sehr grossen Anteil an den beheizten Wohnungsverflächen. In diesen Gebäuden dürfte auch ein hoher Anteil an alten Holzfeuerungen installiert sein.

## 4. Holzverbrauch, Holzbereitstellung im Wald und Energieholzpotential

In den folgenden Tabellen werden die Daten aus den verschiedenen Quellen in feste Holzmasse ( $\text{fm}^3$ ) umgerechnet und gegenübergestellt.

Tabelle 4.1 enthält den geschätzten Holzverbrauch gemäss vorliegender Untersuchung.

Anlagengrösse Quelle	Holz-Kategorie	Teil- menge $\text{fm}^3$	Total $\text{fm}^3$
<b>Holzfeuerungen &lt;70 kW<sup>1)</sup></b> GWR <sup>2)</sup> Stand 2005	Stückholz in Einzelöfen und Etagenheizungen	23'780	80'188
	Stückholz in Zentralheizungen	56'408	
	Total Stückholz		106'042
	Hackholz <sup>3)</sup>	11'148	
	Pellets <sup>3)</sup>	14'706	
<b>Holzfeuerungen &gt;70 kW<sup>4)</sup></b> Register der messpflichtigen Holzfeuerungen Stand 2005	Stückholz	2'839	83'283
	Hackholz	40'278	
	Pellets und Brikett	304	
	Restholz-Stückholz	404	
	Restholz-Schnitzel	39'457	
<b>Alle Holzfeuerungen</b> GWR <sup>1)</sup> und Register der messpflichtigen Holzfeuerungen <sup>4)</sup>	Total Stückholz		83'027
	Total Hackholz		51'426
	Total Stückholz und Hackholz		134'453
	Pellets und Brikett		15'010
	Total Restholz		39'861
	Total		189'324

1) 70 kW Feuerungswärmeleistung gemäss LRV

2) Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister, Amt für Raumordnung und Vermessung, Baudirektion Kanton Zürich

3) Annahme 10'000 t (<70 kW) in Anlehnung an Schweiz. Holzenergiestatistik 2005 (Kat. 11a und 11b, <50 kW)

4) AWEL: Messpflichtige Holzfeuerungen für naturbelassenes Holz >70 kW und Restholzfeuerungen >40 kW

**Tabelle 4.1: Holzverbrauch gemäss vorliegender Untersuchung Stand 2005 in Kubikmeter feste Holzmasse ( $\text{fm}^3$ )**

**Kommentar:** Der gesamte Holzverbrauch in Holzfeuerungen kleiner 70 kW wird in der vorliegenden Untersuchung auf 106'042  $\text{fm}^3$  (feste Holzmasse) geschätzt. Der Verbrauch an Stückholz in Anlagen kleiner 70 kW beträgt total 80'188  $\text{fm}^3$ . In Einzelöfen und Etagenheizungen werden 23'780  $\text{fm}^3$  eingesetzt und in Zentralheizungen 56'408  $\text{fm}^3$ . In Form von Hackholz und Pellets werden in Holzfeuerungen unter 70 kW schätzungsweise je 10'000 t oder 11'148 und 14'706  $\text{fm}^3$  genutzt. In Holzfeuerungen grösser 70 kW beträgt die gesamte Holzbrennstoffmenge 83'283  $\text{fm}^3$ . Davon werden 40'278  $\text{fm}^3$  in Hackholzfeuerungen eingesetzt und 39'861  $\text{fm}^3$  werden als Restholz in Holzverarbeitenden Betrieben genutzt. Der gesamte Holzverbrauch in Holzfeuerungen beträgt 189'324  $\text{fm}^3$ . Beim Stückholz beläuft sich der Anteil auf 83'027  $\text{fm}^3$  und beim Hackholz auf 51'426  $\text{fm}^3$ .

Der Holzverbrauch gemäss Schweizerischer Holzenergiestatistik für den Kanton Zürich ist in Tabelle 4.2 enthalten.

Anlagengrösse Quelle	Holz-Kategorie	Teilmenge fm <sup>3</sup>	Total fm <sup>3</sup>
Holzfeuerungen <50 kW <sup>2)</sup>	Stückholz (Kat. 1-10)	161'146	181'662
	Hackholz (Kat. 11a)	9'652	
	Pellets (Kat. 11b)	10'864	
	Total		
Holzfeuerungen >50 kW <sup>2)</sup>	Hackholz (Kat. 12a, 14a, 16a)	79'959	124'750
	Restholz (Kat. 13, 15, 17)	43'601	
	Pellets (Kat. 12b, 14b, 16b)	1'190	
	Total		
Alle Holzfeuerungen	Total Stückholz		161'146
	Total Hackholz		89'611
	Total Stückholz und Hackholz		250'757
	Total Pellets		12'054
	Total Restholz		43'601
	Total		306'412

1) Schweizerische Holzenergiestatistik, Folgerhebung für das Jahr 2005, Basler und Hofmann AG, Zürich, Bundesamt für Energie, Bern, 2005

2) 50 kW Nennwärmeleistung entspricht (mit Jahrnutzungsgrad 71%): 70 kW Feuerungswärmeleistung

**Tabelle 4.2: Holzverbrauch gemäss Schweiz. Holzenergiestatistik Stand 2005<sup>1)</sup> für den Kanton Zürich in Kubikmeter feste Holzmasse (fm<sup>3</sup>)**

**Kommentar:** Gemäss Schweiz. Holzenergiestatistik werden im Kanton Zürich total 306'412 fm<sup>3</sup> Holz verbraucht. In Holzfeuerungen kleiner 50 kW beträgt der Anteil 181'662 fm<sup>3</sup> und in Anlagen grösser 50 kW 124'750 fm<sup>3</sup>.

Die Daten aus der Forststatistik des Kantons Zürich sind in Tabelle 4.3 enthalten.

Bereitstellung/Absatz	Holz-Kategorie	Teilmenge fm <sup>3</sup>	Total fm <sup>3</sup>
Bereitstellung aus öffentlichem Wald und geschätzter Anteil aus Privatwald	Stückholz <sup>2)</sup>	58'883	136'670
	Hackholz <sup>3)</sup>	77'788	
	Total Stückholz und Hackholz		
Zusätzliche Nutzung Privatwald	Stückholz <sup>4)</sup>	24'144	
Holzabsatz ausserhalb Kanton	Hackholz <sup>5)</sup>	-26'362	
Nutzung im Kanton Zürich	Total Stückholz		83'027
	Total Hackholz		51'426
	Total Stückholz und Hackholz		134'453

1) Amt für Landschaft und Natur, Forstkreiszentrum; 8003 Zürich

2) Anteil Nadel-/Laubholz: 32/68%; <sup>3)</sup> Anteil Nadel-/Laubholz: 56/44%;

4) Schätzung: aufgrund der Differenz zwischen Stückholzverbrauch (83'027 fm<sup>3</sup>) und Stückholzbereitstellung (58'883 fm<sup>3</sup>) wird angenommen, dass eine zusätzlich Nutzung im Privatwald von 24'144 fm<sup>3</sup> erfolgt

5) Schätzung: aufgrund der Differenz zwischen Hackholzverbrauch (51'426 fm<sup>3</sup>) und Hackholzbereitstellung (77'788 fm<sup>3</sup>) wird angenommen, dass Hackgutmenge von 26'362 fm<sup>3</sup> ausserhalb des Kantons ZH oder ausserhalb von Feuerungen genutzt wird.

**Tabelle 4.3: Forststatistik Kanton ZH Stand 2004<sup>1)</sup> in Kubikmeter feste Holzmasse (fm<sup>3</sup>)**

**Kommentar:** Laut Forststatistik des Kanton Zürich wurden im Jahr 2004 total 58'883 fm<sup>3</sup> Stückholz aufbereitet. In diesen Zahlen ist auch ein geschätzter Anteil für Privatwald enthalten. Im Jahre 2004 wurden zudem insgesamt 77'788 fm<sup>3</sup> Hackholz produziert. Aufgrund der Differenzen zwischen Holzbereitstellung (Tabelle 4.3) und geschätztem Verbrauch (Tabelle 4.1) wird davon ausgegangen, dass im Privatwald eine zusätzliche Nutzung von 24'144 fm<sup>3</sup> Stückholz erfolgt. Beim Hackholz werden vermutlich 26'362 fm<sup>3</sup> ausserhalb des Kantons Zürich oder für andere Zwecke (Kompost oder Streu für Stallungen) eingesetzt.

Tabelle 4.4 beschreibt die Eckdaten für ein nachhaltiges Energieholzpotential im Kanton Zürich.

Anlagengrösse Quelle	Maximales Potential fm <sup>3</sup>	Reduziertes Potential fm <sup>3</sup>
Holznutzung (12m <sup>3</sup> /ha)	600'000	480'000
Energieholz (50%)	300'000	240'000
Zusätzliches Energieholz (Landschaftspflege)	100'000	100'000
Totales Energieholzpotential	400'000	340'000

**Tabelle 4.4: Nachhaltiges Energieholzpotential in Kubikmeter feste Holzmasse (fm<sup>3</sup>) gemäss Anhang G**

**Kommentar:** Das nachhaltige Energieholzpotential des Kanton Zürich beträgt zwischen 340'000-400'000 fm<sup>3</sup>. Dabei ist auch Holz aus der Landschaftspflege enthalten.

**Fazit:** Gemäss der Schweiz. Holzenergiestatistik (306'412 fm<sup>3</sup>) ergibt sich im Vergleich mit dem Ergebnis der vorliegenden Untersuchung (189'324 fm<sup>3</sup>) ein um Faktor 1.6 erhöhter Holzverbrauch für den Kanton Zürich. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass der Holzverbrauch im Kanton Zürich für die vorliegenden Frachtabschätzungen konservativ eingeschätzt wird. Die heutige Holzbereitstellung im Kanton Zürich (136'670 fm<sup>3</sup>) könnte im Vergleich mit Daten des Energieholzpotentials (340'000 bis 400'000 fm<sup>3</sup>) um Faktor 2.5-2.9 erhöht werden.

## 5. Emissionsfaktoren

### 5.1 Feinstaub (PM10)

Für die Abschätzung der Emissionsfaktoren wurden die Resultate aus den Prüfberichten für das Qualitätssiegel von Holzenergie Schweiz ausgewertet [10]. Diese Werte sind in der Tabelle von Anhang A in der Spalte „Prüfstand“ dargestellt. Die Prüfverfahren sind in den einschlägigen EN-Normen festgelegt und umfassen folgendes Vorgehen:

**Wohnraumfeuerungen für Stückholz:** Die Geräte werden grundsätzlich im warmen Betriebszustand gemessen. Das Anfeuern und Anfahren wird nicht erfasst. Zudem ist es erlaubt, in mehreren Teilchargen zu beschicken. Diese bedeutet, dass die ganze Holzmenge nicht auf einmal eingefüllt wird, wie dies in der Praxis oft gemacht wird. Das Prüfverfahren für Staubmessungen an Wohnraumfeuerungen (Einzelraumheizungen) ist noch nicht einheitlich festgelegt.

**Stückholzkessel:** Die Messungen werden im warmen Betriebszustand (nach Abbrand einer Füllung) vorgenommen. Die Messresultate entsprechen dem Mittelwert aus zwei Abbränden. Jede Abbrandperiode wird in mindestens 2 gleiche Zeitabschnitte geteilt. Die Messungen zur Bestimmung des Staubgehaltes beginnen jeweils am Anfang eines Zeitabschnittes, wobei die erste Messung unmittelbar nach dem Auflegen des Brennstoffes und Schliessen der Fülltür beginnt. Die Absaugdauer je Filter wird mit 30 Minuten begrenzt. Der Staubgehalt wird aus mindestens 4 Halbstundenwerten gemittelt (diskontinuierliche, gravimetrische oder elektrostatische Messmethode). Für das Qualitätssiegel werden nur Staubmessungen bei Nennleistung verlangt (keine Staubmessung für Teillast).

**Automatisch beschickte Holzkessel (Hackholz und Pellets):** Die Geräte werden je während 6 h bei Nennleistung und bei Teillast (30 % der Nennleistung) gemessen. Die Emissionen während dem Anfahren und während dem Betrieb mit Schwachlast oder im „Stand-By“ werden nicht erfasst. Für die Prüfung dürfen ausgesiebte Sägereihackschnitzel (tiefer Feinanteil) verwendet werden (gemäss Norm ist ein handelsüblicher Brennstoff zu verwenden). Über die gesamte Messdauer müssen in regelmässigen Abständen total 4 Staubmessungen (diskontinuierliche, gravimetrische oder elektrostatische Messmethode) erfolgen, wobei die 1. Staubmessung mit dem Versuchsbeginn erfolgt. Eine Staubmessung dauert maximal 30 Minuten. Die kleinste Wärmeleistung kann von Hand oder durch eine automatische Steuer- oder Regeleinrichtung eingestellt werden. Für das Qualitätssiegel werden nur Staubmessungen bei Nennleistung verlangt (keine Staubmessung für Teillast).

Die Staubemissionen von Prüfstandmessungen weichen aus verschiedenen Gründen von den in der Praxis auftretenden Emissionen bei Holzfeuerungen ab:

**Stückholzfeuerungen:**

- Stückholzöfen werden bei der Prüfung in mehreren Teilchargen (bis 4) beschickt. In der Praxis wird aus Komfortgründen oft das gesamte Füllvolumen auf einmal beschickt. Zudem besteht bei gewissen Systemen die Gefahr, dass zu grosse Holzmen gen aufgelegt werden. Ein sehr schlechter Betriebszustand tritt dann ein, wenn Holz aufgelegt, jedoch zur Verlängerung der Abbranddauer die Luftzufuhr gedrosselt wird.
- Bei Stückholzkessel sind mit Kaltstart (nicht geprüft) erhöhte Emissionen zu erwarten. Ausserdem sind die Emissionen, wie bei allen Stückholzfeuerungen, stark von der Anfeuerungsmethode abhängig.

**Automatisch beschickte Holzfeuerungen (Hackholz und Pellets):**

- Automatische Holzfeuerungen werden im Dauerbetrieb ohne Anfahren gemessen.
- Automatische Holzfeuerungen können bei Teillast (gemäss EN 303-5: 30% der Nennleistung), bei Schwachlast (unter 30%) und im Stand-By-Betrieb höhere Emissionen aufweisen. Staubmessungen auf dem Prüfstand erfolgen in der Regel nur bei Nennlast.
- Für die Prüfung von automatischen Holzfeuerungen werden Prüfbrennstoffe verwendet, die geringere Feinanteile aufweisen, als in der Praxis verwendete Brennstoffsportimente. Die Staubemissionen können daher im Betrieb höher ausfallen.
- Gemäss Norm sind auch Geräte zugelassen, bei welchen die Umschaltung auf Teillast-Betrieb von Hand erfolgt. Im praktischen Betrieb dürften solche Geräte vermutlich ständig bei Vollast betrieben werden. Sinkt der Wärmeleistungsbedarf unter die Nennleistung gehen solche Geräte in EIN-/AUS-Betrieb und verursachen damit erhöhte Emissionen.

Die Auswertung von Messungen an Stückholzfeuerungen (Öfen und Kessel) bei denen Versuche in kritischen Betriebszuständen gefahren wurden zeigen, dass dabei die Staubemissionen in einem weiten Bereich streuen können [12, 13, 14]. Daher wurden die Emissionsfaktoren nach den Betriebsarten „gut“, „typisch“ und „schlecht“ unterschieden und in den Szenarien das Aufkommen dieser Betriebsarten angenommen (vgl. Anhang A).

**Restholzfeuerungen:** Weil entsprechende Daten fehlen, werden für Restholzfeuerungen die gleichen Emissionsfaktoren wie für die Verbrennung von naturbelassenem Holz aus dem Wald angenommen.

## 5.2 Stickoxide (NO<sub>x</sub>)

Stickoxide stammen bei der Holzverbrennung hauptsächlich aus dem Holzstickstoff. Die thermisch gebildeten Stickoxide sind von untergeordneter Bedeutung.

Die Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub> sind im Anhang B dargestellt.

## 6. Staubmessungen vor Ort für Holzfeuerungen <70 kW

Die Behörde verfolgt zur Minderung der Staubemissionen von Holzfeuerungen eine Doppelstrategie. Zum einen soll mit der Novellierung der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) neu auch eine Typenprüfung für Kleinf Feuerungsanlagen gefordert werden. Andererseits gilt es Wege zu finden, wie diese Geräte in ihrem Betrieb überwacht werden können. Analog der Öl- und Gasfeuerungskontrolle wäre dafür eine Überwachung von Holzgefeuerten Feuerstätten und Kesseln unter 70 kW aufzubauen.

### 6.1 Analysemöglichkeiten

Ein Verfahren zur unmittelbaren Messung der Staubemissionen vor Ort existiert nicht. Die verwendeten gravimetrischen Messverfahren erfordern eine Konditionierung und Wägung der beladenen Filter, was einen Zusatzaufwand mit entsprechender zeitlicher Verzögerung der Datenauswertung mit sich bringt.

Das Technologie- und Förderzentrum in Straubing/DE (TFZ) untersuchte, wie die Staubemissionen von handbeschickten und automatischen Holzfeuerungen über andere Messgrößen im Abgas wie beispielsweise Kohlenmonoxid (CO) definiert werden könnte. Kohlenmonoxid lässt sich auf vergleichsweise einfache Art und Weise im Abgas analysieren. Mit auf dem Markt verfügbaren Geräten lässt sich mit entsprechender Gasaufbereitung CO kontinuierlich messen. Das TFZ korrelierte die in einer Feldmesskampagne gewonnenen Staub- und CO-Werte verschiedenster Feuerungen. Dabei stellte sich heraus, dass bei 41% der Staubgrenzwertüberschreitungen (150 mg/m<sup>3</sup>) die CO-Werte den Grenzwert von 4'000 mg/m<sup>3</sup> nicht überschritten. In den Untersuchungen zeigte sich auch, dass sich die Treffersicherheit der indirekten Erfassung der Staubwerte mittels CO-Messung für tiefere CO-Grenzwerte verbessert. CO-Grenzwerten von 2'000 mg/m<sup>3</sup> reduzieren die Staubgrenzwertüberschreitung auf 24% und bei 1'500 mg/m<sup>3</sup> gar auf 11%. Als Einflussgrößen für die Varianz der Korrelation CO-Staub wurden Glutbetttemperatur, Luftüberschuss, Wärmeleistung, Asche- und Wassergehalt genannt.

**Fazit:** Bei CO-Grenzwerten <1'500 mg/m<sup>3</sup> lassen sich Staubschwellwerte von 150 mg/m<sup>3</sup> feststellen. Bei tieferen Staubschwellwerten (z.B. 100 mg/m<sup>3</sup>) muss der CO-Grenzwert entsprechend tiefer angesetzt werden (z.B. 1'000 mg/m<sup>3</sup>). Der CO-Wert ist als Schnellindikator im Felde prüfenswert bei CO-Grenzwerten unter 1'000 mg/m<sup>3</sup>. Bei Verdacht auf erhöhte Staubemissionen auf Grund des CO-Schnelltests wäre dann ein gravimetrischer Staubtest erforderlich.

## 6.2 Stand der Messtechnik

In Deutschland überprüfen Kaminfeger Feststofffeuerungen vor Ort mit einem Staubfilter-Messgerät. Das gravimetrische Staubmessprinzip ist in der VDI-Norm 2066 festgeschrieben. Das Messverfahren legt eine Messdauer von 15 Minuten fest, in der ein Probegasvolumen von 135 Normalliter dem Abgas entnommen wird. Das Messverfahren eignet sich für Staubwerte im Abgas  $>50 \text{ mg/m}_n^3$ . Hier zeigen sich denn auch die messtechnischen Limiten, findet man heute auf dem Markt Feuerungen, die diese Werte klar unterschreiten (siehe Kapitel Emissionsfaktoren). Das verwendete Verfahren hat den Nachteil, dass die Staubwerte nicht unmittelbar nach der Messung vorliegen. Die beladenen Filterhülsen müssen zur Analyse an speziell dafür eingerichtete Labors gesandt werden. Geräte zur Staubmessung nach VDI 2066 werden von der Firma Wöhler MGKG GmbH angeboten. Die Kosten eines Gerätes bewegen sich um CHF 6'400.– bis CHF 8'000.– (€ 4'000.– bis € 5'000.–).

**Fazit:** Da Feuerung mit hohen Staubemissionen lufthygienisch von Bedeutung ist, spielt die Einschränkung des gravimetrischen Messverfahrens nach VDI-Norm 2066 auf Staubemissionen  $> 50 \text{ mg/m}_n^3$  keine entscheidende Rolle.

### Ringelmann-Skala

In Deutschland werden die Emissionen von Anlagen kleiner 15 kW gemäss 1. BimSchV mit der Ringelmann-Skala beurteilt. Mit der Skala lässt sich die Opazität von Rauch oder Staub ermitteln. Die Messskala enthält in vier von sechs Feldern Grauwerte zwischen weiss und schwarz. Der Anteil schwarzer Färbung beträgt in den Feldern: Grauwert 1: 20%; Grauwert 2: 40%; Grauwert 3: 60%; Grauwert 4: 80%.

Das Verfahren ist einfach in der Handhabung und kostengünstig. Die Anwendung vor Ort erfolgt mittels einer Handpumpe. Mit einer definierten Anzahl von Hügen wird Abgas dem Abgasstrom genommen und über einen weissen Filter gezogen. Die Verfärbung des Filterpapiers wird mit der Ringelmann-Skala verglichen.

**Fazit:** Einfaches Verfahren zur Beurteilung von "staubunsicheren" Anlagen. Es wäre sinnvoll, das Verfahren in Reihen von Staubmessungen zu integrieren, um Anhaltspunkte über die Korrelation von Trübung und Staubkonzentration zu erhalten.

## 6.3 Neue Messverfahren

### Delta-p-Verfahren

Das gravimetrische Staubmessgerät der Firma Wöhler kann mit einem Differenzdruckmessgerät ergänzt werden. Die Idee der Entwicklung war, das aufwändige und durch die Auswägung der Filterhülsen mit zeitlichem Verzug der Resultate verbundene Messverfahren zu vereinfachen. Parallel zur Staubfilterbeladung wird der Differenzdruck über die Filterhülse kontinuierlich erfasst. Umfangreiche Messkampagnen an Holzfeuerungen zeigten eine gewisse Korrelation der Grenzwerte für Staub mit einem Druck-Schwellenwert. Mit Wahrscheinlichkeitsanalysen konnte ein Druck-Schwellenwert von 24 hPa definiert werden. Es zeigte sich bei den in einem Feldtest gemessenen 306 Anlagen, dass mit dem Delta-p-Verfahren nur noch etwa die Hälfte (47%) der Filterhülsen als "staubunsicher" gravimetrisch ausgewertet werden mussten. Lediglich 3.7% der auf Grund des Differenzdruck-Schwellenwertes als "staubsicher" detektierten Anlagen überschritten den zulässigen Staubgrenzwert. Das Verfahren erlaubt ein recht zuverlässiges Vorscreening der Messproben. Eine direkte Bestimmung des Staubwertes mit dem Differenzdruck ist jedoch nicht möglich. Die Ergänzung des Wöhler-Grundgerätes mit der Differenzdruckmessung kostet ca. CHF 580.– (€ 360.–).

Auf dem Hintergrund der Novellierung der Deutschen Luftreinhalte-Verordnung (BImSchV) sollen die bestehenden VDI-Messnormen mit dem Delta-p-Messverfahren ergänzt werden. Der Entwurf der neuen Norm wird auf Ende 2006 erwartet.

**Fazit:** Die Abschätzung des Differenzdruck-Schwellwertes für "staubsichere" und "staubunsichere" Anlagen beschleunigt und vereinfacht die Staubmessungen vor Ort. Damit fallen auch geringere Kosten an. Andererseits bedingt die Messmethode weiter eine Laborinfrastruktur für die Messfilterauswertung. Die gravimetrische Staubmessapparatur mit dem Zusatz der Druckdifferenzmessung bleibt insgesamt aufwändig.

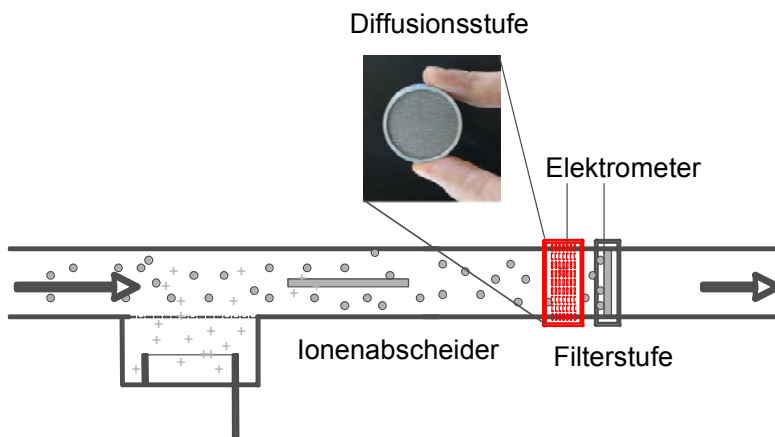
### On-line Partikelmessung

Mit den zu erwartenden Fortschritten in der Verbrennungs- und Abgasfiltertechnik stossen gravimetrische Staubmessverfahren an ihre Grenzen. Von zunehmendem Interesse dürfte das Erfassen der instationären Betriebszustände wie Anfeuern, Glutunterhalt oder automatische Zündvorgänge sein. Es gibt Analyseverfahren, die Messgrößen wie beispielsweise Partikelanzahlkonzentration oder Partikelkonzentration in den Abgasen direkt erfassen. Die Messprinzipien basieren u.a. auf der elektrischer Ladung oder der optischen Eigenschaften der Staubpartikel.

### Feinstaubmessung mit Diffusion Size Classifier (DiSC)

Das DiSC-Partikelmessgerät [26] ist ein einfach zu bedienendes, tragbares Gerät, das sowohl Partikelanzahlkonzentration ( $\#/m^3$ ) wie auch den mittleren Durchmesser von Feinstaub misst.

Das Messprinzip basiert auf der Diffusionsaufladung der Feinpartikel (Bild 6.1). Die partikelhaltigen Abgase strömen durch eine Messkammer. In einem Koronaauflader wird an einem dünnen Draht eine Hochspannung angelegt, die gross genug ist um eine elektrische Entladung zu bewirken. Durch diese wird das umgebende Abgas ionisiert. Wie jedes Gasmolekül führen diese Ionen eine Diffusionsbewegung (Brownsche Bewegung) aus und können bei dieser Bewegung mit Partikeln kollidieren und so ihre elektrische Ladung an die Partikel abgeben. Diese werden dabei aufgeladen. Nicht an Partikel angelagerte Ionen werden im Ionenabscheider entfernt. Die aufgeladenen Partikel strömen durch die Diffusionsstufe. Diese besteht aus einem Paket von Gittern. Da auch die Partikel eine Diffusionsbewegung ausführen, treffen sie mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf das Gitter und werden dort abgeschieden. Als nächstes folgt ein Filter, in dem alle Partikel, die nicht bereits in der Diffusionsstufe abgeschieden wurden, aus dem Gasstrom entfernt werden. Sowohl die Diffusionsstufe als auch die Filterstufe sind mit einem Elektrometerverstärker verbunden, mit dem die Ladung der abgeschiedenen Partikel gemessen werden kann. Da die kleinen Partikel vor allem bereits in der Diffusionsstufe, die verbleibenden grösseren dann in der Filterstufe abgeschieden werden, liefert das Verhältnis der in den beiden Stufen gemessenen Ladungen Information über die Partikelgrösse. Anhand der Gesamtladung kann deren Anzahl bestimmt werden.



**Bild 6.1:** Funktionsprinzip



**Bild 6.2:** Messgerät mit PDA

Technische Daten:

- Messbereich:  $10^3$  bis  $10^6$  Partikel/cm<sup>3</sup>
- Partikelgrößen: 10 - 300 Nanometer
- Messzeitauflösung: ca. 2 Sekunden

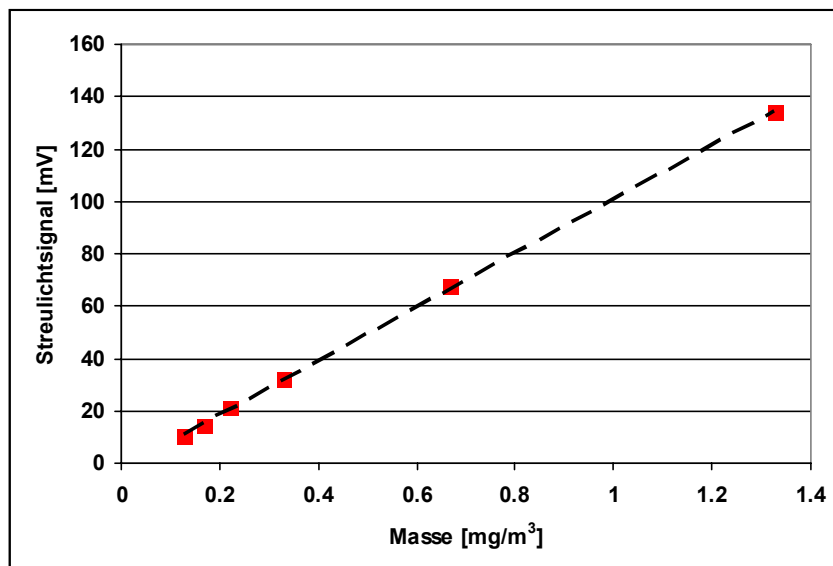
Anwendungsbereiche:

- Zur Zeit für mobile Immissionsmessungen
- Arbeitsplatzüberwachung
- In Verbindung mit einer speziellen Abgasaufbereitung auch Emissionsüberwachung möglich

**Fazit:** Das Messverfahren ist noch in der Entwicklungsphase. Die Messmethode vermag die Partikelanzahl zu ermitteln. Sie hat das Potenzial, mit einem Schwellenwert "staubunsichere" bzw. "staubsichere" Anlagen eruieren zu können. Die Werte werden allerdings nicht in Milligramm Staub ausgewiesen.

### Streulichtmessung

Die Streulichtmessung eines Lichtstrahls durch ein mit Partikel beladenen Gasstroms erlaubt eine hohe Messauflösung der Partikelkonzentration. Es besteht allerdings ein Einfluss auf die Konzentration durch die Partikelgröße. Es muss verhindert werden, dass Kondensataerosole im Probegas entstehen. Eine Forschergruppe in der FHNW-Windisch entwickelte einen ersten Prototypen mit Laserstrahl. Die Auswertung der Messdaten basiert auf der Näherung nach Rayleigh-Debye-Ganz (RDG). Erste Untersuchungen zeigten eine gute Korrelation des Streulichtes mit der Partikelmasse (Bild 6.3).



**Bild 6.3: Streulichtsignal in Funktion der Partikelmasse [26]**

Das Messverfahren birgt ein Potenzial zur Bestimmung der Partikelmasse. Weitere Entwicklungen der Technologie ist aber noch erforderlich.

**Fazit:** Das Verfahren ist noch in der Entwicklungsphase. Das Messverfahren hat neben der Möglichkeit einen Schwellenwert "staubunsicher" bzw. "staubsicher" für Holzfeuerungsanlagen zu liefern auch das Potenzial, einen gravimetrischen Staubwert angeben zu können.

Die Weiterentwicklung dieser Messgeräte ist im Hinblick auf die breite Kontrolle von Holzfeuerungen vor Ort von grossem Interesse.

## **6.4 Empfehlung für den praktischen Einsatz**

Kurzfristig wird vorgeschlagen die heute zur Verfügung stehenden Verfahren wie folgt einzusetzen:

- Stückholzfeuerungen:
  - Grobbeurteilung mit Ringelmann-Skala
  - Genauere Beurteilung anhand CO-Messung
- Automatisch beschickte Holzfeuerungen:
  - Beurteilung z.B. mit Wöhler Staubfilter-Messgerät
- Option für schnelle Resultate vor Ort: z.B Wöhler Staubfilter-Messgerät mit Differenzdruckmessung ergänzt

## 7. Massnahmen zur Reduktion von Feinstaub

### 7.1 Bedeutung der Betriebspraxis von Holzfeuerungen

Im Unterschied zu Oelfeuerungen sind die Emissionen von Holzfeuerungen auch abhängig vom Betreiberverhalten. In Tabelle 7.1 werden die Unterschiede dargestellt.

Merkmale der Feuerung	Einflussfaktoren		Massnahmen
	Oelfeuerungen	Holzfeuerungen	
<b>Geräte-Qualität</b>	Stand der Technik des Fabrikates	Stand der Technik des Fabrikates	<b>Typenprüfungen:</b> • Qualitätslabel
<b>Geräte-Einstellungen</b>	Qualität und Häufigkeit des Services	Qualität und Häufigkeit des Services	<b>Feuerungskontrolle:</b> • Messung
<b>Brennstoff</b>	Kein direkter Einfluss	<b>Brennstoffqualität:</b> • korrekte Lagerung • an Feuerungssystem angepasste Qualität (Feuchtigkeit, Stückigkeit etc) • keine illegale Abfallentsorgung	<b>Information:</b> • Betreiber-Instruktion  Feuerungskontrolle: • Brennstofflager • Asche
<b>Betrieb</b>	Kein direkter Einfluss	<b>Handbeschickte Geräte:</b> • korrektes Anfeuern  <b>Automatisch beschickte Geräte mit autom. Zündung:</b> • kein direkter Einfluss	<b>Information:</b> • Klare Bedienungsanleitung • Gute Betreiber-Instruktion  <b>Feuerungskontrolle:</b> • Praxisnahe Messung

**Tabelle 7.1: Einflussfaktoren für die Emissionen von Oel- und Holzfeuerungen im Vergleich und Massnahmen für Holzfeuerungen**

Dieser Unterschied zwischen Oel- und Holzfeuerungen hat für die Emissionen im praktischen Betrieb folgende Konsequenzen:

- Prüfstandmessungen und Messungen vor Ort bilden bei Oelfeuerungen die tatsächlichen Emissionen bedeutend besser ab, als bei Holzfeuerungen. Verschlechterungen ergeben sich bei Oelfeuerungen vor allem durch den mit der Betriebsdauer zunehmenden Verschmutzungsgrad des Gerätes.

- Stückholzfeuerungen (von Hand beschickt) mit guten Resultaten auf dem Prüfstand können in der Praxis wesentlich höhere Emissionen aufweisen, weil keine Gewähr für korrekten Brennstoff und fachgerechter Betrieb besteht. Ausserdem werden Prüfungen auf dem Prüfstand gemäss den einschlägigen EN-Normen nur im betriebswarmen Zustand der Holzfeuerungen vorgenommen. Besonders Stückholzfeuerungen können aber beim Anfeuern im kalten Betriebszustand über längere Phasen sehr hohe Emissionen verursachen. Auf dem Prüfstand werden Stückholzöfen mit sehr kleinen Holzmenge in mehreren Chargen betrieben. In der Praxis wird die gesamte Holzmenge in einer Charge aufgegeben. Oftmals werden die Geräte auch überfüllt. Qualitätsauszeichnungen (z.B. Qualitätssiegel von Holzenergie Schweiz) auf der Basis dieser Normen bieten daher keine Gewähr für tiefe Emissionen in der Praxis. Mit den aktuellen Prüfnormen bestehen bei den Herstellern keine Anreize für innovative Verbesserungen in den angesprochenen Problembereichen (konstruktive Massnahmen, Instruktion der Betreiber etc.). Dies widerspiegelt sich oft auch in der dürftigen Qualität von Bedienungsanleitungen. Wenn der Betreiber das Gerät gemäss Bedienungsanleitung betreibt, muss gewährleistet sein, dass keine übermässigen Emissionen auftreten können.
- Pellets- oder Holzsnitzelfeuerungen (automatisch beschickt) werden ebenfalls im warmen Betriebszustand (ohne automatisch Zündung) und bis Teilleistungen von 30% der Nennleistung (ohne Schwachlastbetrieb) geprüft. Fällt die Wärmenachfrage (z.B. in der Übergangszeit) unter 30% der Nennleistung, können auch bei automatischen Holzfeuerungen (EIN-AUS-Betrieb) erhöhte Emissionen auftreten.

## 7.2 Vorschläge für weitergehende Massnahmen

In Tabelle 7.2 werden Vorschläge für Massnahmen auf Kantonaler und Bundes-Ebene formuliert. Diese Vorschläge müssen teilweise anhand von Messversuchen verifiziert werden.

	Kanton	Bund
<b>Kurzfristige Massnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Holzfeuerungskontrolle</b> einführen (vgl. Kap. 7.3)</li> <li>• <b>Restholzfeuerungen für Stückholz &lt;70 kW:</b> nur noch naturbelassenes Holz in Form von Stückholz (keine Spanplatten und Stäube).</li> <li>• <b>Messempfehlung für Stückholzfeuerungen &lt;70 kW:</b> Zusätzlich werden Anforderung für den Kaltstart vorgegeben: CO nicht länger als 15 Minuten über 2'500 mg/m<sup>3</sup> (13% O<sub>2</sub>).</li> <li>• <b>Messempfehlung für automatisch beschickte Holzfeuerungen &lt;70 kW:</b> Vereinfachte Staubmessung</li> <li>• <b>Sanierungsfristen für Holzfeuerungen &lt;70 kW:</b> Für Geräte, welche die Anforderungen nicht erfüllen werden die Sanierungsfristen auf 3 Jahre angesetzt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>LRV-Revision 2006:</b> Nachweis der Konformität mit Produktnormen der EU bis 350 kW und strengere Staubgrenzwerte für Anlagen &gt;70 kW (vgl. unten)</li> <li>• <b>Messempfehlung für Holzfeuerungen &gt;70kW:</b> Die Messungen sollen in jenem Betriebszustand durchgeführt werden, in welchem die grössten Emissionen auftreten (gilt eigentlich schon heute gemäss Messempfehlung 1996 des BUWAL)</li> </ul>
<b>Mittelfristige Massnahmen</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Änderung der Prüfnormen</b> (bis 300 kW) zur verbesserten Erfassung der kritischen Betriebszustände (Kaltstart etc.) von Holzfeuerungen</li> </ul>

**Tabelle 7.2: Massnahmen zur Reduktion der Feinstaubemissionen von Holzfeuerungen kleiner 70 kW**

Im Rahmen des Aktionsplanes Feinstaub schlägt das Bundesamt für Umwelt (BAFU) Änderungen der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für Holzfeuerungen grösser 70 kW gemäss Tabelle 7.3 vor.

Anlagengrösse gültig ab	Staubgrenzwert in mg/m <sup>3</sup>	CO-Grenzwert in mg/m <sup>3</sup>
über 10 MW (11% O <sub>2</sub> ) ab Mitte 2007	10	150
über 1 MW (11% O <sub>2</sub> ) ab Mitte 2007	20	250
über 600 kW (13% O <sub>2</sub> ) ab 2009	30	500
über 350 kW (13% O <sub>2</sub> ) ab 2012	30	500
über 70 kW (13% O <sub>2</sub> ) ab 2015	30	500

**Tabelle 7.3: Grenzwerte für Staub und CO für Holzfeuerungen grösser 70 kW gemäss Vorschlag des BAFU zur Änderung der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) im Rahmen des Aktionsplanes Feinstaub, Stand April 2006**

Damit die vorgeschlagenen Anforderungen erreicht werden können, müssen Holzfeuerungen grösser 70 kW in Zukunft mit Filteranlagen ausgerüstet werden (Gewebe-, Elektro-Filter etc.). Dabei wird vom BAFU folgende Regelung für die Übergangfristen vorgeschlagen: Erfüllt eine Anlage die bisherigen Emissionsgrenzwerte nach LRV (aber nicht die neuen), gewährt die Behörde Sanierungsfristen von 6 bis 10 Jahren. Zudem werden nur Anlagen sanierungspflichtig, wenn sie älter als 15 Jahr sind.

In verschiedenen Kantonen werden zur Zeit an kleinen Stückholzöfen im Rahmen von Feldversuchen Klein-Elektrofilter getestet. Die Wirksamkeit solcher Rohrelektrofilter hängt insbesondere von folgenden offenen Fragen ab:

- Abscheidegrad bei hohem Luftüberschuss (hohe Abgasgeschwindigkeit)?
- Abscheidegrad während der Startphase (kalte Abgase)?
- Abscheidegrad für unverbrannte Kohlenstoff-Partikel im Abgas?
- Abreinigung der Rohrablagerungen?

Für eine aussagekräftige Beurteilung solcher Systeme müssen Messungen über den ganzen Abbrand von Stückholzfeuerungen (inkl. Kaltstart) erfolgen. Wichtig ist, dass dabei die Bedienung gemäss Bedienungsanleitung des Herstellers (Anfeuermethode, zulässige Füllmenge, Nachlegen) erfolgt.

### 7.3 Kontrolle von Holzfeuerungen unter 70 kW

Im Konzept der Arbeitsgruppe FairFeuern-Ost [11] wird aus Kostengründen die Kontrolle von Holzfeuerungen im Rahmen der periodischen Reinigung durch die Kaminfeger empfohlen (Variante A). Bei Variante B wurde berücksichtigt, dass im Kanton Zürich der Markt für Kaminfeger liberalisiert ist. Die Betriebe stehen somit in freier Konkurrenz und wollen Ihre Kunden nicht verärgern. Eine Variante auf der Basis einer freiwilligen Branchenvereinbarung wird nicht vorgeschlagen, weil die Durchsetzbarkeit nicht gegeben ist.

- Variante A      **Kontrolle durch den Kaminfeger bei der Reinigung:** Der Auftrag des Kaminfegers für die Reinigung von Holzfeuerungen im Rahmen des Brandschutzgesetzes wird bei dieser Variante ergänzt mit einem Kontrollauftrag auf der Basis der Luftreinhalte-Verordnung. Dieses Vorgehen bedingt eine neue Kompetenzzuordnung für Kaminfeger/ Feuerungskontrolleure durch die kantonalen Behörden. Das Konzept FairFeuern wird mit dieser Variante konsequent umgesetzt. Zudem sind maximale Kosteneinsparungen möglich, weil auf eine umfassende Administration verzichtet werden kann und Kontrolle sowie Reinigung gleichzeitig erfolgen. Dies setzt aber voraus, dass alle Kaminfeger/ Feuerungskontrolleure eingebunden werden können. Aufgrund von diversen Aussprachen in Kaminfegerkreisen muss damit gerechnet werden, dass Kaminfeger befürchten, ihre Kundschaft mit einer solchen Kontrolltätigkeit zu verärgern. Falls einzelne Kaminfeger die Kontrolle nicht oder nur ungenügend durchführen, würden auch die übrigen Kaminfeger schnell von solchen Kontrollen absehen. Der freie Wettbewerb lässt keine Benachteiligungen gegenüber der Kundschaft zu und nicht kontrollierende Kaminfeger sind billiger und haben einen Marktvorteil. Gemäss Mitteilung der Gebäudeversicherung Kanton Zürich und der Kantonalen Feuerpolizei fehlt im Kanton Zürich die rechtliche Grundlage für Variante A. Im Falle einer Verweigerung der Kontrolle, wären demnach keine Sanktionen möglich (Vereinbarung auf freiwilliger Basis).
- Variante B      **Unabhängige Feuerungskontrolle:** Bei dieser Variante wird der Anlagebetreiber vom kommunalen Feuerungskontrolleur schriftlich aufgefordert innert Frist seine Holzfeuerung entweder durch ihn oder allenfalls bei der nächsten Reinigung durch den Kaminfeger kontrollieren zu lassen (ähnlich wie bei der Kontrolle von Öl- und Gasfeuerungen). Die administrativen Kosten für diese Variante sind höher als bei Variante A. Administration und Kontrollen werden mit festgelegten Gebühren verrechnet. Die Reinigungsarbeit des Kaminfegers hingegen erfolgt in freier Konkurrenz zu Marktpreisen. Die Beauftragung des Feuerungskontrolleurs ist Sache der Anlagenbetreiber und die übergeordnete Überwachung wird den Organen der Feuerungskontrolle übertragen. Weil die Anlagen für die Kontrollen separat aufgesucht werden müssen, entstehen Mehrkosten für die Anlagenbetreiber. Diese können reduziert werden, wenn sich Anlagenbetreiber und Kaminfeger/Kontrolleur auf eine gleichzeitige Reinigung zusammen mit der Kontrolle einigen können. Andernfalls ist der Anlagenbetreiber gezwungen, für die Mehrkosten aufzukommen. Aufgrund eines entsprechenden Vorschlages des Luzerner Kaminfegermeisterverbandes wird diese Variante voraussichtlich im Kanton Luzern eingeführt.

Wie Feuerungskontrollen bei Öl- und Gasfeuerungen zeigen, werden technische Kontrollen (Resultate aus einer Messung) besser akzeptiert als Beanstandungen des persönlichen Benutzerverhaltens. Das Konzept FairFeuern bevorzugt aus diesem Grund technische Überwachungen anstelle von polizeiähnlichen Kontrollen. Allerdings müssen solche Kontroll- und Messverfahren einfach in der Handhabung und kostengünstig sein (vgl. Kap. 6).

In Tabelle 7.4 wird ein mögliches Vorgehen für die Organisation der Feuerungskontrolle für Anlagen unter 70 kW beschrieben. Es wird davon ausgegangen, dass Kontrolle und Reinigung gleichzeitig ausgeführt werden können. Für die Ausarbeitung der Details wird eine enge Zusammenarbeit mit dem Kaminfegermeister-Verband des Kantons Zürich vorgeschlagen.

Kontrollschritte	Ziel	Vorgehen
1 <b>Kontrolle von Asche und Feuerraum</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Rückstände von unerlaubten Brennstoffen</li> <li>keine übermässigen Ablagerungen im Feuerraum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Während der Reinigung wird auf die Qualität der Asche und der Ablagerungen im Feuerraum geachtet.</li> </ul>
2 <b>Kontrolle des Gerätes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rauch- und emissionsarme Verbrennung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kontrolleur feuert mit Kunde fachgerecht an und beurteilt 15 Min. nach dem Anzünden die Rauchbildung gemäss Ringelmannskala</li> <li>Im Zweifelsfall wird bei Stückholzfeuerungen eine Abgasmessung für CO durchgeführt. Bei autom. beschickten Geräten erfolgt eine vereinfachte Staubmessung.</li> <li>Falls die Beurteilung von Kontrollschritt 1 und 2 nicht erfüllt, wird auch Kontrollschritt 3 durchgeführt.</li> </ul>
3 <b>Kontrolle des Brennstoffes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Verbrennung unerlaubter Brennstoffe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mit einem Kontrollgang wird das Brennstofflager auf unerlaubte Brennstoffe überprüft.</li> </ul>

**Tabelle 7.4: Vorgehen für die Kontrolle Stückholzfeuerungen unter 70 kW**

Für Kontrollschritt 2 wird bei Stückholzfeuerungen eine Korrelation zwischen Staub- und CO-Emissionen vorausgesetzt. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und das Bundesamt für Energie (BFE) unterstützen zur Zeit Projekte, welche diese Zusammenhänge untersuchen. Bei automatisch beschickten Geräten (Holzfeuerungen für Hackholz oder Pellets) besteht diese Korrelation nicht, daher wird eine vereinfachte Staubmessung vorgeschlagen.

Das vorgeschlagene Kontrollkonzept stellt eine Erweiterung gegenüber den Kontrollmassnahmen zur Verhinderung der Abfallverbrennung gemäss FairFeuern [11] dar. Zusätzlich werden Holzfeuerungen bezüglich deren Emissionen überwacht. Das Kontrollkonzept kann stufenweise ausgebaut werden. In einer ersten Phase erfolgt die Kontrolle auf illegale Abfallentsorgung gemäss FairFeuern. Die Betreiber werden informiert, dass in einer nächsten Phase Emissionskontrollen folgen sollen und könnten sich entsprechend vorbereiten (Einholen von Anweisungen zum emissionsarmen Feuerungsbetrieb beim Lieferanten, Bedienungsanleitungen etc.).

Auch bei den Kontroll- und Messmethoden wird von einer abgestuften Umsetzung in der Vollzugspraxis ausgegangen. Dies bedeutet, dass für die kostengünstige Triage vor Ort vorerst möglichst einfache Verfahren verwendet werden. Im Bedarfsfall kann dann auf genauere Kontrollinstrumente zurückgegriffen werden. Voraussichtlich hat ein solches Vorgehen auch die besten Aussichten auf eine Verbreitung in mehreren Kantonen und wäre am ehesten geeignet für eine gesamtschweizerisch harmonisierte Ausbildung der Kaminfeger/Feuerungskontrolleure.

## 7.4 Kontrolle von Holzfeuerungen über 70 kW

Im Kanton Zürich werden messpflichtige Holzfeuerungen über 70 kW Leistung von privaten Messfirmen periodisch gemessen. Gemäss Messempfehlung des BAFU [23], müssen solche Messungen in der Regel in jenem Betriebszustand erfolgen, in welchem die grössten Emissionen auftreten. Die Praxis zeigt aber, dass die Messungen in der Regel in den Betriebszuständen mit den niedrigsten Emissionen durchgeführt werden und die tatsächlichen Emissionen somit nur ungenügend abgebildet werden. Es wird vorgeschlagen die Messempfehlungen des BAFU entsprechend zu konkretisieren.

## 8. Massnahmen zur Reduktion von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>)

Bei automatisch beschickten Holzfeuerungen sind heute folgende Reduktionsmassnahmen für Stickoxide möglich:

- Low-NO<sub>x</sub>-Verfahren (Primärmassnahme): durch die gestufte Verbrennung (Reduktionsstufe) wird die Stickoxidbildung vermindert. Dabei können Entstickungsgrade von 30-50% erreicht werden. Das Verfahren ist allerdings noch nicht Stand der Technik.
- Denox SNCR-Verfahren (Sekundärmassnahme): durch Eindüsen von Reduktionsmittel (Ammoniak oder Harnstoff) in die nachgeschaltete Reaktionskammer werden die Stickoxide reduziert. Es werden Entstickungsgrade von 50-75% erreicht. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist für Restholz ab Anlagen mit Bandlast ab 500 kW und bei Anlagen für Waldhackholz mit Bandlast ab 1 MW möglich.
- Denox SCR-Verfahren (Sekundärmassnahme): durch Eindüsen von Reduktionsmittel (Ammoniak oder Harnstoff) vor dem Katalysator werden die Stickoxide reduziert. Es können Entstickungsgrade bis 95% erreicht werden. Wirtschaftliche Anlagen sind ab 1 MW-Bandlast realisierbar.

## 9. Emissionsbilanzen

### 9.1 Feinstaub (PM 10)

Aufgrund der in Kap. 5 abgeschätzten Emissionsfaktoren und dem ermittelten Endenergieverbrauch aus den bearbeiteten Statistiken (vgl. Kap. 2-4) werden die Emissionsfrachten für Feinstaub (PM10) und NO<sub>x</sub> berechnet. Mit 4 Szenarien werden die Emissionsbilanzen für den Stand 2005 und mit Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen abgeschätzt.

Tabelle 9.1 enthält die Annahmen zu den Betriebsanteilen für die verschiedenen Szenarien.

Szenario	Betriebsanteil		
	gut	typisch	schlecht
<b>Holzfeuerungen &lt;70 kW</b>			
Szenario 1: Stand 2005	20%	50%	30%
Szenario 2: Mit LRV 2006 ohne Feuerungskontrolle	20%	50%	30%
Szenario 3: Mit LRV 2006 und Feuerungskontrolle	30%	65%	5%
Szenario 4: Mit Qualitätslabel-Plus und Feuerungskontrolle	30%	65%	5%
<b>Holzfeuerungen &gt;70 kW</b>			
Szenario 1: Stand 2005	30%	60%	10%
Szenario 2: Mit LRV 2006 ohne Feuerungskontrolle	30%	60%	10%
Szenario 3: Mit LRV 2006 und Feuerungskontrolle	30%	65%	5%
Szenario 4: Mit Qualitätslabel-Plus und Feuerungskontrolle	50%	45%	5%

**Tabelle 9.1: Betriebsanteile für die Szenarien der Emissionsbilanzen**

**Szenario 1:** Das Szenario beschreibt den Stand der Emissionen für das Jahr 2005.

**Szenario 2:** Bei diesem Szenario werden die im Rahmen des Aktionsplans Feinstaub vom BAFU vorgeschlagenen Änderungen zur LRV für Holzfeuerungen (Stand April 2006) umgesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass für kleine Holzfeuerungen unter 70 kW der Nachweis der Konformität mit den Produktnormen der EU und den neuen Emissionsanforderungen (entsprechend dem Qualitätssiegel von Holzenergie Schweiz) erbracht werden muss. Für Holzfeuerungen kleiner 70 kW wird bei diesem Szenario keine Feuerungskontrolle eingeführt.

**Szenario 3:** Die im Rahmen des Aktionsplans Feinstaub vom BAFU vorgeschlagenen Änderungen zur LRV (Szenarien 2a und 2b) werden ergänzt mit einer Holzfeuerungskontrolle für Anlagen kleiner 70 kW.

**Szenario 4:** Zusätzlich zu den Massnahmen von Szenario 3 wird für Anlagen bis 300 kW ein verbessertes Qualitätslabel-Plus eingeführt, welches auch die kritischen Betriebsphasen von Holzfeuerungen berücksichtigt. Bei den Anlagen grösser 70 kW wird zudem davon ausgegangen, dass die Kontrolle bei Betriebszuständen mit den grössten Emissionen erfolgen.

In Tabelle 9.2 werden die Feinstaubfrachten aus Holzfeuerungen im Kanton Zürich für verschiedene Szenarien dargestellt.

Anlagekategorie	Szenario 1: Stand 2005	Szenario 2: LRV 2006 ohne Feuko	Szenario 3: LRV 2006 mit Feuko	Szenario 4: LRV 2006 mit Feuko und QL-Plus
-----------------	---------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------------------------

**<70 kW**

Einzelofen und Etagenheizung*	120	100	44	33
Zentralheizung-Stückholz	202	64	29	22
Zentralheizung-Hackholz	19	16	12	8
Zentralheizung-Pellets	7	5	4	3
<b>Total</b>	<b>348</b>	<b>184</b>	<b>90</b>	<b>67</b>

**>70 kW**

Stückholz-Kessel	5	1	1	1
Hackgut-Kessel	47	16	11	100
Pellet-Kessel	0	0	0	0
Stückholz-Kessel mit Briketts	0	0	0	0
Holzessel für Restholz handbeschickt	1	0	0	0
Holzessel für Restholz automatisch beschickt	49	17	12	11
<b>Total</b>	<b>102</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>22</b>

**Alle Holzfeuerungen**

<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>219</b>	<b>115</b>	<b>89</b>
--------------	------------	------------	------------	-----------

\* Anlagekategorien gemäss Eidg. Gebäude- und Wohnregister

Legende:

LRV 2006: Anforderungen gemäss Vernehmlassungsvorschlägen zur Revision 2006 der Luftreinhalte-Verordnung des BAFU

Feuko: Einführung der Feuerungskontrolle bei Holzfeuerungen <70 kW und praxisgerechte Messungen für Anlagen >70 kW

QL-Plus: Verbessertes Qualitätslabel für Holzfeuerungen bis 300 kW, mit Berücksichtigung der Betriebspraxis (Kaltstart etc.)

**Tabelle 9.2: Feinstaubfrachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH in t/Jahr**

Tabelle 9.3 zeigt die prozentuale Verteilung der Feinstaubfrachten für die einzelnen Bau- oder Renovationsperioden.

Anlagekategorie Bau- oder Renovations- periode Gebäude	Szenario 1: Stand 2005	Szenario 2: LRV 2006 ohne Feuko	Szenario 3: LRV 2006 mit Feuko	Szenario 4: LRV 2006 mit Feuko und QL-Plus
<b>Einzelofen und Etagenheizung*</b>				
vor 1971	25	43	37	35
1971-80	0	0	0	0
1981-85	0	1	0	0
1986-90	0	0	0	0
1991-95	0	0	0	0
1996-05	0	1	1	1
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>39</b>	<b>37</b>
<b>Zentralheizung-Stückholz</b>				
vor 1971	37	22	19	18
1971-80	3	2	2	2
1981-85	1	1	1	1
1986-90	1	1	1	1
1991-95	1	1	1	1
1996-05	1	2	2	2
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>29</b>	<b>26</b>	<b>25</b>
<b>Zentralheizung-Hackholz</b>				
1981-85	0	1	1	1
1986-90	1	1	2	2
1991-95	1	2	3	3
1996-05	2	3	4	3
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>9</b>
<b>Zentralheizung-Pellets</b>				
1996-05	2	2	3	4
<b>&gt;70 kW</b>				
Stückholz-Kessel	1	1	1	1
Hackgut-Kessel	10	7	10	11
Pellet-Kessel	0	0	0	0
Stückholz-Kessel mit Briketts	0	0	0	0
Holzessel für Restholz handbeschickt	0	0	0	0
Holzessel für Restholz automatisch beschickt	11	8	11	13
<b>Total &gt;70 kW</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>21</b>	<b>25</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\* Anlagekategorien gemäss Eidg. Gebäude- und Wohnungsregister

Legende:

LRV 2006: Anforderungen gemäss Vernehmlassungsvorschlägen zur Revision 2006 der Luftreinhalte-Verordnung des BAFU

Feuko: Einführung der Feuerungskontrolle bei Holzfeuerungen <70 kW und praxisgerechte Messungen für Anlagen >70 kW

QL-Plus: Verbessertes Qualitätslabel für Holzfeuerungen bis 300 kW, mit Berücksichtigung der Betriebspraxis (Kaltstart etc.)

**Tabelle 9.3: Feinstaubfrachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH in %**

In den Tabellen 9.4 und 9.5 werden die Feinstaubfrachten für die verschiedenen Holzsortimente in t/Jahr und in %-Anteilen aufgelistet und mit Bild 9.6 illustriert.

Holzsortiment	Szenario 1: Stand 2005	Szenario 2: LRV 2006 ohne Feuko	Szenario 3: LRV 2006 mit Feuko	Szenario 4: LRV 2006 mit Feuko und QL-Plus
Wald-Stückholz	327	165	75	56
Wald-Hackholz	66	32	23	18
Restholz gehackt	49	17	12	11
Restholz stückig	1	0	0	0
Briketts	0	0	0	0
Pellets	7	5	4	4
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>219</b>	<b>115</b>	<b>89</b>

Legende:

LRV 2006: Anforderungen gemäss Vernehmlassungsvorschlägen zur Revision2006 der Luftreinhalte-Verordnung des BAFU  
 Feuko: Einführung der Feuerungskontrolle bei Holzfeuerungen <70 kW und praxisgerechte Messungen für Anlagen >70 kW  
 QL-Plus: Verbessertes Qualitätslabel für Holzfeuerungen bis 300 kW, mit Berücksichtigung der Betriebspraxis (Kaltstart etc.)

**Tabelle 9.4: Feinstaubfrachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH nach Holzsortimenten in t/Jahr**

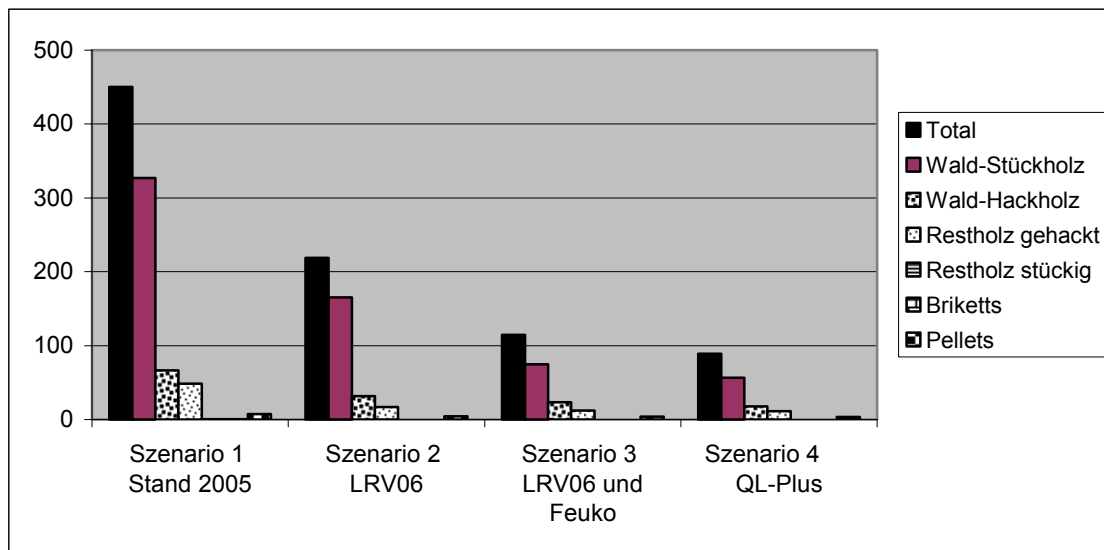
Holzsortiment	Szenario 1: Stand 2005	Szenario 2: LRV 2006 ohne Feuko	Szenario 3: LRV 2006 mit Feuko	Szenario 4: LRV 2006 mit Feuko und QL-Plus
Wald-Stückholz	73	76	65	63
Wald-Hackholz	15	15	20	20
Restholz gehackt	11	8	11	13
Restholz stückig	0	0	0	0
Briketts	0	0	0	0
Pellets	2	2	3	4
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Legende:

LRV 2006: Anforderungen gemäss Vernehmlassungsvorschlägen zur Revision2006 der Luftreinhalte-Verordnung des BAFU  
 Feuko: Einführung der Feuerungskontrolle bei Holzfeuerungen <70 kW und praxisgerechte Messungen für Anlagen >70 kW  
 QL-Plus: Verbessertes Qualitätslabel für Holzfeuerungen bis 300 kW, mit Berücksichtigung der Betriebspraxis (Kaltstart etc.)

**Tabelle 9.5: Feinstaubfrachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH nach Holzsortimenten in %**

In Bild 9.6 werden die Feinstaubfrachten nach Holzsortimenten graphisch dargestellt.



Legende:

LRV 2006: Anforderungen gemäss Vernehmlassungsvorschlägen zur Revision 2006 der Luftreinhalte-Verordnung des BAFU  
 Feuko: Einführung der Feuerungskontrolle bei Holzfeuerungen <70 kW und praxismässige Messungen für Anlagen >70 kW  
 QL-Plus: Verbessertes Qualitätslabel für Holzfeuerungen bis 300 kW, mit Berücksichtigung der Betriebspraxis (Kaltstart etc.)

**Bild 9.6: Feinstaubfrachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH nach Holzsortimenten in t/Jahr**

Tabelle 9.7 zeigt die Emissionen für Feinstaub und Stickoxide im Kanton Zürich gemäss Luftprogramm [25].

Emittenten	t/Jahr
<b>Feinstaub</b>	
Strassenverkehr Personen und Güter	1'040
Feuerungen Industrie und Gewerbe	102
Feuerungen Haushalte (Heizungen und Cheminée)	155
<i>Total Feuerungen</i>	<i>257</i>
<b>Stickoxide (NO<sub>x</sub>)</b>	
<b>Total</b>	<b>16'100</b>

**Tabelle 9.7: Emissionen im Kanton Zürich gemäss Luft-Programm Ergänzung 2002 [25]**

In Tabelle 9.8 werden die für die einzelnen Szenarien resultierenden Emissionsfaktoren für Feinstaub aufgelistet.

Anlagekategorie	Szenario 1: Stand 2005	Szenario 2: LRV 2006 ohne Feuko	Szenario 3: LRV 2006 mit Feuko	Szenario 4: LRV 2006 mit Feuko und QL-Plus
-----------------	---------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------------------------

**<70 kW**

Einzelofen und Etagenheizung*	473	393	175	131
Zentralheizung-Stückholz	336	107	49	37
Zentralheizung-Hackholz	132	109	85	53
Zentralheizung-Pellets	49	31	27	24
<b>Total</b>	<b>304</b>	<b>161</b>	<b>79</b>	<b>58</b>

**>70 kW**

Stückholz-Kessel	163	46	33	30
Hackgut-Kessel	121	41	29	26
Pellet-Kessel	44	30	27	27
Stückholz-Kessel mit Briketts	143	46	33	30
Holzessel für Restholz handbeschickt	163	46	33	30
Holzessel für Restholz automatisch beschickt	131	45	33	30
<b>Total</b>	<b>128</b>	<b>43</b>	<b>31</b>	<b>28</b>

**Alle Holzfeuerungen**

<b>Total</b>	<b>232</b>	<b>113</b>	<b>59</b>	<b>46</b>
--------------	------------	------------	-----------	-----------

\* Anlagekategorien gemäss Eidg. Gebäude- und Wohnregister

Legende:

LRV 2006: Anforderungen gemäss Vernehmlassungsvorschlägen zur Revision 2006 der Luftreinhalte-Verordnung des BAFU

Feuko: Einführung der Feuerungskontrolle bei Holzfeuerungen <70 kW und praxisgerechte Messungen für Anlagen >70 kW

QL-Plus: Verbessertes Qualitätslabel für Holzfeuerungen bis 300 kW, mit Berücksichtigung der Betriebspraxis (Kaltstart etc.)

**Tabelle 9.8: Emissionsfaktoren für Feinstaub von Holzfeuerungen in mg/MJ**

### **Kommentar:**

Gemäss Szenario 1 werden im Jahr 2005 total 450 t/Jahr (100%) an Feinstäuben emittiert (vgl. Tabelle 9.2). Dies entspricht fast der doppelten Feinstaubmenge aus Feuerungen (257 t/Jahr) gemäss Luftprogramm 2002 (vgl. Tabelle 9.7) und etwas weniger als der halben Fracht vom Verkehr (1'040 t/Jahr). Weil Heizungen nur im Winterhalbjahr betrieben werden, können Holzfeuerungen in dieser Zeit einen mit dem gesamten Verkehr gleichbedeutenden Anteil an den Feinstaubimmissionen verursachen.

Mit den vorgesehenen Massnahmen der LRV-Revision 2006 (Szenario 2), ohne Einführung einer Holzfeuerungskontrolle für Anlagen unter 70 kW, können die Feinstaubmengen auf 219 t/Jahr (49%) reduziert werden. Dabei wird angenommen, dass alle Holzfeuerungen die Anforderungen der LRV 2006 erfüllen. Von Bedeutung ist dabei vor allem der Ersatz alter Stückholzfeuerungen. Weil die Anforderungen der LRV bei Holzfeuerungen unter 70 kW (mit Ausnahme von Reklamationen) nicht überwacht werden, dürfte es aber Jahrzehnte dauern, bis die bei diesem Szenario berechneten Reduktionen der Feinstaubemissionen erreicht werden (nur neue kleine Holzfeuerungen erfüllen die strengeren Anforderungen).

Wird gemäss Szenario 3 zusätzlich eine Feuerungskontrolle für Holzfeuerungen unter 70 kW eingeführt, reduziert sich die Feinstaubmenge auf 115 t/Jahr (26%). Durch die gleichzeitige Einführung von strengeren LRV-Anforderungen und einer konsequenten Feuerungskontrolle können die Nachteile der verzögerten Auswirkungen gemäss Szenario 2 behoben werden. Vorallem bei den kleinern Stückholzöfen (Cheminéeöfen etc) können so die Feinstaubemissionen schnell und wirksam reduziert werden.

Mit dem Qualitätslabel-Plus und einer verbesserten Kontrolle bei den Anlagen grösser 70 kW resultiert gemäss Szenario 4 eine Feinstaubfracht von 89 t/Jahr (20%).

Gemäss Tabelle 9.3 stammen im Jahr 2005 (Szenarien 1) 27% der Feinstaubemissionen von Einzelofen- und Etagenheizungen. Zentralheizungen unter 70 kW erreichen einen Anteil von 50%. Kleine Holzfeuerungen leisten somit insgesamt einen Beitrag von 77% an die gesamten Feinstaubemissionen von Holzfeuerungen. Holzfeuerungen über 70 kW haben im Jahr 2005 einen Anteil 23%. Auch bei den Szenarien 3 und 4 erreichen die kleinen Anlagen unter 70 kW einen Anteil von 75-79% der gesamten Feinstaubfracht von Holzfeuerungen.

Im Jahr 2005 (Szenarien 1) stammen 327 t/Jahr an Feinstäuben aus der Verbrennung von Stückholz aus dem Wald (Tabelle 9.4). Stückholzfeuerungen erreichen damit heute einen Anteil von 73% der gesamten Feinstaubfrachten von Holzfeuerungen (Tabelle 9.5).

Verglichen mit den vom BAFU verwendeten Emissionsfaktoren [24] liegen die gemäss vorliegender Untersuchung im Szenario 1 (Stand 2005) geschätzten Emissionsfaktoren bedeutend höher. Bei den Einzelofen und Etagenheizungen sind Erhöhungen bis Faktor 4.7 zu verzeichnen (Tabelle 9.8).

Der hohe Anteil von Feinstaub aus kleinen Holzfeuerungen bekommt durch neuere Untersuchungen zusätzliche Bedeutung:

Der Staub im Abgas von Holzfeuerungen besteht fast ausschliesslich aus lungengängigem Feinstaub kleiner 10 Mikrometer (PM 10). Bei dessen Beurteilung ist allerdings zu beachten, dass sich der Staub aus Holzfeuerungen aus verschiedenen Komponenten zusammensetzt, welche im Wesentlichen auf drei Quellen zurückzuführen sind:

1. Anorganische, salzartige Feinstäube wie zum Beispiel Kaliumchlorid, welche aus Asche-komponenten gebildet werden.
2. Russ und organische Verbindungen, welche als Produkte unvollständiger Verbrennung emittiert werden.
3. Insbesondere bei Verbrennung unerlaubter Brennstoffe wie Abfall können Schwermetall-verbindungen als Feinstaub emittiert werden.

Daneben können auf allen Feststoffen auch kondensierbare Stoffe wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) angelagert sein. Untersuchungen zum Feinstaub aus Holzfeuerungen zeigen, dass der Staub aus automatischen Holzfeuerungen bei korrektem Betrieb und unter Verwendung von naturbelassenem Holz nur zu einem geringen Teil (in der Regel unter 5 Gew.-%) aus organischen Komponenten und zum überwiegenden Teil aus salzartigen Partikeln besteht. Demgegenüber weisen handbeschickte Holzfeuerungen meist nur geringe Emissionen an salzartigen Stäuben, jedoch erhebliche Konzentrationen an organischen Verbindungen auf. Nebst als Feststoff gebundenem organischem Kohlenstoff können bei unvollständiger Verbrennung zudem hohe Konzentrationen an Benzol und PAK emittiert werden. Zelltests verschiedener Stäube zeigen, dass der Staub aus unvollständiger Verbrennung von Holz in handbeschickten Holzfeuerungen eine um ein Mehrfaches höhere Toxizität aufweist als salzartiger Staub aus einer automatischen Holzfeuerung. Diese unterschiedliche Relevanz der Stäube wird anhand der Beurteilung der als Massen-konzentration angegebenen Staubemission nicht erfasst.

Beim Vergleich von handbeschickten und automatischen Holzfeuerungen ist zudem zu beachten, dass bei beiden Feuerungstypen durch unsachgemässen Betrieb erhöhte Emissionen als im Normalbetrieb auftreten können und dass in beiden Fällen durch unvollständige Verbrennung insbesondere der Gehalt an organischen Feststoffen und Kondensaten ansteigen kann. Allerdings beträgt der Anstieg der Staubemissionen durch unsachgemässen Betrieb bei automatischen Holzfeuerungen selten mehr als ein Faktor 2, während er bei handbeschickten Holzfeuerungen bis zu mehr als einen Faktor 100 ausmachen kann. Die Abschätzung der Staubemissionen der handbeschickten Holzfeuerungen im Praxisbetrieb wird durch diese grosse Bandbreite sehr unsicher, da der Anteil an schlecht betriebenen Holzfeuerungen nicht bekannt ist und der je nach Feuerungstyp und Brennstoff zu erwartende Anstieg ebenfalls einer grossen Bandbreite unterworfen ist.

## 9.2 Stickoxide (NO<sub>x</sub>)

In den nachfolgenden Tabellen werden die Stickoxidfrachten nach Anlagenkategorien und Holzsortimenten dargestellt.

Anlagekategorie	NO <sub>x</sub> -Fracht in t/Jahr	NO <sub>x</sub> -Fracht in %
<b>&lt;70 kW</b>		
Einzelofen und Etagenheizung	20	9
Zentralheizung-Stückholz	46	21
Zentralheizung-Hackholz	18	8
Zentralheizung-Pellets	8	3
<b>Total</b>	<b>91</b>	<b>41</b>
<b>&gt;70 kW</b>		
Stückholz-Kessel	2	1
Hackgut-Kessel	47	21
Pellet-Kessel	0	0
Stückholz-Kessel mit Briketts	0	0
Holzessel für Restholz handbeschickt	1	0
Holzessel für Restholz automatisch beschickt	80	36
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>59</b>
<b>Alle Holzfeuerungen</b>		
<b>Total</b>	<b>222</b>	<b>100</b>

**Tabelle 9.9: NO<sub>x</sub>-Frachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH Stand 2005 nach Anlagekategorien in t/Jahr**

Holzsortiment	NO <sub>x</sub> -Fracht in t/Jahr
Stückholz-Wald	68
Hackholz-Wald	65
Hackholz-Restholz	80
Stückholz-Restholz	1
Briketts	0
Pellets	8
<b>Total</b>	<b>222</b>

**Tabelle 9.10: NO<sub>x</sub>-Frachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH Stand 2005 nach Holzsortimenten in t/Jahr**

Holzsortiment	NO <sub>x</sub> -Fracht in %
Stückholz-Wald	31
Hackholz-Wald	29
Hackholz-Restholz	36
Stückholz-Restholz	0
Briketts	0
Pellets	3
Total	100

**Tabelle 9.11: NO<sub>x</sub>-Frachten aus Holzfeuerungen im Kanton ZH Stand 2005 nach Holzsortimenten in %**

**Kommentar:** Holzfeuerungen emittieren im Kanton Zürich 222 t/Jahr an Stickoxiden (vgl. Tabelle 9.9). Holzfeuerungen grösser 70 kW haben einen Anteil von 51%. In Holzfeuerungen unter 70 kW werden 41% an Stickoxiden ausgestossen. Die gesamte NO<sub>x</sub>-Ausstoss beträgt im Kanton Zürich 16'100 t/Jahr (vgl. Tabelle 9.8). Holzfeuerungen weisen einen Anteil von 1.4% am Gesamtausstoss auf.

## 10. Weiteres Vorgehen

**Kantonale Feuerungskontrolle bei kleinen Holzfeuerungen:** Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass durch den Ersatz alter kleiner Holzfeuerungen und die korrekte Betriebsweise bedeutende Reduktionen bei den Feinstaub-Emissionen erzielt werden können. Die Einführung der vorgeschlagenen Holzfeuerungskontrolle verhindert in einem ersten Schritt die illegale Altholz- und Abfallentsorgung. In einem zweiten Schritt werden Betreiber von Holzfeuerungen mit hohen Feinstaub-Emissionen veranlasst, ihre Anlagen besser zu betreiben oder (falls dies nicht möglich ist) zu ersetzen. Die rechtliche Basis für die Einführung von kantonalen Feuerungskontrollen bei kleinen Holzfeuerungen ist mit der aktuellen LRV gewährleistet. In Zusammenarbeit mit dem Kaminfegermeister-Verband des Kantons Zürich sollten die detaillierten Kontrollanweisungen ausgearbeitet werden. In einigen Kantonen sind solche Vorarbeiten bereits im Gang.

**LRV Revision 2006:** Die vom BAFU vorgeschlagenen Massnahmen im Bereich der kleinen Holzfeuerungen (Nachweis der Konformität für Holzfeuerungen bis 350 kW) unterstützen den Ersatz alter Feuerungsanlagen und sollten daher von den Kantonen unterstützt werden. Angesichts der langen Übergangsfristen bei grossen Anlagen und dem angestrebten Ausbau der Holzenergienutzung sind die gemäss LRV-Revision vorgeschlagenen Verschärfungen für Anlagen grösser 70 kW vermutlich vertretbar, obwohl diese Anlagen lediglich einen Anteil von 21 bis 26% an den gesamten Feinstaubemissionen von Holzfeuerungen aufweisen. Eine Neubeurteilung aufgrund des neusten Standes der Technik (Low-Particle-Verfahren) wird empfohlen.

**Emissionsfaktoren:** Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind mit verschiedenen Unsicherheiten behaftet. Zur Zeit sind nur wenige Messungen zu den Feinstaubemissionen von schlechtbetriebebenen und/oder alten, kleinen Holzfeuerungen verfügbar. Zudem entsprechen auch die Emissionsfaktoren der grossen Holzfeuerungen (inkl. Restholzfeuerungen) nicht der Betriebspraxis. In Zusammenarbeit mit dem BAFU, dem BFE und anderen Kantonen sollten die Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen im praktischen Betrieb daher breiter abgestützt werden.

**Anlagenbestand an kleinen Holzfeuerungen:** Aus den Daten der verfügbaren Statistiken können zuwenig exakte Daten über den Anlagebestand an kleinen Holzfeuerungen abgeleitet werden. In Zusammenarbeit mit dem Kaminfegermeister-Verband des Kantons Zürich sollte diese Datenbasis verbessert werden.

**Register der messpflichtigen Holzfeuerungen:** Die Register des AWEL sowie der Städte Zürich und Winterthur sollten einheitliche Kriterien der messpflichtigen Anlagen enthalten (Leistung, Baujahr, Brennstoffkategorien, Betriebsstunden etc.). Die Anlagen sollten ab dem Zeitpunkt der Abnahmemessung in das Register aufgenommen werden.

**Vereinfachte Messverfahren für Feinstaubemissionen:** Im Rahmen von Messungen an kleinen Stückholzfeuerungen sollten auch vereinfachte Messverfahren für Feinstaubemissionen ausgetestet werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] Abschätzung der Feststoffemissionen von Holzfeuerungsanlagen in der Stadt Zürich, Bericht Nr. 04030 vom 30. April 2004, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich, Heinz Jenal
- [2] Datenabgabe aus dem Eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregister, Amt für Raumordnung und Vermessung, ARV, Baudirektion Kanton Zürich
- [3] Register der messpflichtigen Holzfeuerungen für naturbelassenes Holz grösser 70 kW und für Restholz grösser 40 kW, Stand Mai 2005, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, AWEL, Kanton Zürich
- [4] Schleicher J.: Erhebung zu Betriebsstunden und Brennstoffverbrauch von messpflichtigen Holzfeuerungen im Kanton Zürich, AWEL Zürich, Mai 2006
- [5] Erhebung bei den Kaminfegerbetrieben des Kantons Zürich, Bundesamt für Energie (BFE) und Kaminfegermeisterverband des Kantons Zürich, Bern, 2006
- [6] Stahel R.: Energieholz-Nutzungen im Kanton Zürich der Jahre 1995-2004, Amt für Landschaft und Natur, Zürich, 2006
- [7] Alex Nietlisbach: Energiekennzahlen der Gebäude im Kanton Zürich, Kantonale Energiefachstelle Zürich, 2006
- [8] Primas A.: Umrechnungsfaktoren für Holz, Basler und Hofmann Zürich, Bundesamt für Energie Bern, 2006
- [9] Primas A.: Schweizerische Holzenergiestatistik, Daten für den Kanton Zürich, Basler und Hofmann Zürich, Bundesamt für Energie Bern, 2006

- [10] Messresultate von Prüfstandmessungen, Qualitätssiegel Holzenergie Schweiz, 8005 Zürich, 2005
- [11] Nussbaumer Th.: Kontrolle von Holzfeuerungen, Arbeitsgruppe FairFeuern-Ost, Verenum, 8006 Zürich, 2005
- [12] Gaegauf Ch. u.a.: Elemental and Organic Carbon in Flue Gas Particles of Various Wood Combustion Systems, Ökozentrum Langenbruck, Dezember 2005
- [13] Nussbaumer Th.: Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile, Verenum, Zürich, Februar 2006
- [14] Gaegauf Ch. u.a.: Partikelemissionen aus Holzfeuerungen, Feldmesskampagne, Ökozentrum Langenbruck, Juli 2001
- [15] Gaegauf Ch. u.a.: Wirksamkeit neuer Abscheidetechniken in Holzfeuerungsabgasen bezüglich Feinpartikeln, Ökozentrum Langenbruck, Juli 2003
- [16] Nussbaumer Th.: Emissionen von Holzfeuerungen, Schlussbericht NFP 12-Projekt 4.971.0.86.12, ETH Zürich 1988
- [17] Hasler Ph.; Nussbaumer Th.; Jenni A.: Praxiserhebung über Stickoxidemissionen automatischer Holzfeuerungen, Luftreinhalte, Haus-Systeme und Stromerzeugung, 6. Holzenergie-Symposium, 20. Oktober 2000, ETH Zürich, Bundesamt für Energie, Bern 2000
- [18] Hasler Ph.; Nussbaumer Th.; Herstellung von Holzpellets- Einfluss von Presshilfsmittel auf die Produktion, Qualität, Lagerung, Verbrennung sowie Energie- und Ökobilanz von Holzpellets, Bundesamt für Energie, Bern 2001
- [19] Nussbaumer Th.: Holzfeinstaub und Dieseleruss: Gleiche Korngrösse mit teilweise ganz unterschiedlicher Wirkung, HP Das Fachmagazin für Hafner und Plattenlager, Nr. 2 2006
- [20] Klippel N.; Nussbaumer Th.: Feinstaubbildung in Holzfeuerungen und Gesundheitsrelevanz von Holzstaub im Vergleich zu Dieseleruss, 9. Holzenergie-Symposium, 20. Oktober 2006, ETH Zürich, Verenum und Bundesamt für Energie, Zürich und Bern 2006 (in Vorbereitung)
- [21] Emissionsmessungen an Holzfeuerungen im Regelungsbereich der 1. BImSchV, Feldmessprogramm in Baden-Württemberg, Heizperiode 02/03, UMEG, Karlsruhe 2003
- [22] Hartmann et. al., Vereinfachte Überwachung der Staubemissionen bei Holz-Kleinf Feuerungsanlagen (Delta-p-Methode), Materialien Nr. 183, Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2005
- [23] Empfehlungen über die Emissionsmessungen von Luftfremdstoffen bei stationären Anlagen (Emissionsmessempfehlungen), BUWAL, Bern, 1996
- [24] Andreas Liechti, Arbeitsblatt Emissionsfaktoren Feuerungen, Aktualisierung 2005, BUWAL Sektion Industrie Gewerbe und Feuerungen, Neosys AG/Airmes AG, Bern, 2005
- [25] Luftprogramm, Ergänzung 2002, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, AWEL, Baudirektion Kanton Zürich, Zürich, 2002
- [26] Burtscher et al., DiSC-Partikelmessgerät, Fachhochschule Nordwestschweiz, Windisch, 2005

## Anhang A: Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen für Feinstaub (PM 10)

### Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen

Autor: Thomas Nussbaumer, Verenum Zürich, 18. Mai 2006

Projekt: Studie W. Vock et al., AWEL Kanton Zürich

Eingabedaten: <b>rot</b>	Umrechnungen:	Stückholz	mg/MJ <sub>end</sub> = <b>0.67</b>	mg/m <sup>3</sup> bei 13% O <sub>2</sub>	entspricht einem u von ca. 50%
Berechnete Werte: <b>blau</b>		Autom. F.	mg/MJ <sub>end</sub> = <b>0.69</b>	mg/m <sup>3</sup> bei 13% O <sub>2</sub>	entspricht einem u von ca. 25%
Berechnete Werte: <b>blau</b>		Stückh/Autom	mg/MJ <sub>end</sub> = <b>0.68</b>	mg/m <sup>3</sup> bei 13% O <sub>2</sub>	

Szenario	< 70 kW			> 70 kW		
	Betriebsanteil			Betriebsanteil		
	gut	typisch	schlecht	gut	typisch	schlecht
1) Heute	20%	50%	30%	30%	60%	10%
2) LRV 2006 ohne Feuko	20%	50%	30%	30%	60%	10%
3) LRV 2006 mit Feuko	30%	65%	5%	30%	65%	5%
4) QL-Plus mit Feuko	30%	65%	5%	50%	45%	5%

	Prüfstand	E m i s s i o n						Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3		Szenario 4		
		gut	typisch	schlecht	gut	typisch	schlecht	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	
		mg/m <sup>3</sup> bei 13% O <sub>2</sub>						mg/MJ <sub>end</sub>		mg/m <sup>3</sup>		mg/MJ <sub>end</sub>		mg/m <sup>3</sup>		
Stückholzöfen (Einzelöfen, Etagenheizung)	QL-Plus		100	140	1500	67	93	1000	121	80	121	360	196	131	196	131
	LRV 2006 (QL)	54	150	220	1500	100	147	1000	590	393	590	393	263	175	263	175
	96-05 (20% QL)		270	364	1500	180	243	1000	686	457	686	457	393	262	393	262
	vor 05 (ohne QL)		300	400	1500	200	267	1000	710	473	710	473	425	283	425	283
Stückholzkessel < 70 kW	QL-Plus		40	45	300	27	30	200	121	80	121	80	56	37	56	37
	LRV 2006 (QL)	26	50	60	400	33	40	267	160	107	160	107	74	49	74	49
	96-05 ohne QL		75	80	500	50	53	333	205	137	205	137	100	66	100	66
	96-05 (20% QL)		68	73	460	45	49	307	188	125	188	125	91	61	91	61
	81-95 vor 81		113	150	900	75	100	600	368	245	368	245	176	117	176	117
		225	300	1200	150	200	800	555	370	555	370	323	215	323	215	
Holzschnitzelkessel < 70 kW	QL-Plus		60	80	150	40	53	100	97	67	97	67	78	53	78	53
	LRV 2006 (QL)	30	100	125	250	67	83	167	158	109	158	109	124	85	124	85
	96-05 ohne QL		130	150	250	87	100	167	176	121	176	121	149	103	149	103
	96-05 (20% QL)		124	145	250	83	97	167	172	119	172	119	144	99	144	99
	81-95 vor 81		150	200	250	100	133	167	205	141	205	141	188	129	188	129
		150	200	250	100	133	167	205	141	205	141	188	129	188	129	
Pelletkessel < 70 kW	QL-Plus		30	35	60	20	23	40	42	29	42	29	35	24	35	24
	LRV 2006 (QL)	19	35	40	60	23	27	40	45	31	45	31	40	27	40	27
	96-05 ohne QL		60	70	100	40	47	67	77	53	77	53	69	47	69	47
	96-05 (20% QL)		55	64	92	37	43	61	71	49	71	49	63	43	63	43
	81-95 vor 81															
Stückholzkessel > 70 kW (inkl. Restholz und Briketts)	2005		100	150	1200	67	100	800	240	160	455	303	188	125	178	118
	LRV 06		30	50	150	20	33	100	54	37	76	51	49	33	45	30
Holzschnitzelkessel > 70 kW (inkl. Restholz)	über 10 MW 2005		50	100	250	33	67	167	100	69	135	93	93	64	83	57
	über 5 MW 2005		150	200	250	100	133	167	190	131	205	141	188	129	178	122
	über 1 MW 2005		150	200	250	100	133	167	190	131	205	141	188	129	178	122
	über 600 kW 2005		150	200	250	100	133	167	190	131	205	141	188	129	178	122
	über 350 kW 2005		150	200	250	100	133	167	190	131	205	141	188	129	178	122
	über 70 kW 2005		150	200	250	100	133	167	190	131	205	141	188	129	178	122
	über 10 MW LRV 06		10	20	150	7	13	100	30	21	57	39	24	16	22	15
	über 5 MW LRV 06		20	40	150	13	27	100	45	31	69	48	40	27	36	24
	über 1 MW LRV 06		20	40	150	13	27	100	45	31	69	48	40	27	36	24
	über 600 kW LRV 06		30	50	150	20	33	100	54	37	76	52	49	34	45	31
	über 350 kW LRV 06		30	50	150	20	33	100	54	37	76	52	49	34	45	31
	über 70 kW LRV 06		30	50	150	20	33	100	54	37	76	52	49	34	45	31
	Pelletkessel > 70 kW	96-05 (20% QL)		55	64	92	37	43	61	64	44	71	49	63	43	61
LRV 2006 (QL)		19	35	40	60	23	27	40	41	28	45	31	40	27	39	27

Legende:

- LRV 2006: Anforderungen gemäss Vernehmlassungsvorschlägen zur Revision 2006 der Luftreinhalte-Verordnung des BAFU
- Feuko: Einführung der Feuerungskontrolle bei Holzfeuerungen < 70 kW und praxisgerechte Messungen für Anlagen > 70 kW
- QL: Qualitätstabelle für Holzfeuerungen bis 300 kW
- QL-Plus: Verbessertes Qualitätstabelle für Holzfeuerungen bis 300 kW, mit Berücksichtigung der Betriebspraxis (Kaltstart etc.)
- 20%QL: 20% der Holzfeuerungen sind mit dem Qualitätstabelle ausgezeichnet

## Anhang B: Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen für Stickoxide (Nox)

### Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen

Autor: Thomas Nussbaumer, Verenum Zürich, 18. Mai 2006

Projekt: Studie W. Vock et al., AWEL Kanton Zürich

Eingabedaten: **rot** Vock:  $\text{mg/MJ}_{\text{end}} = 0.67 \text{ mg/m}^3 \text{ bei } 13\% \text{ O}_2$  entspricht einem  $\eta$  von ca. 50%  
 Berechnete Werte: **blau** Hasler/Nu:  $\text{Eta} = 0.75$

	Staub		NO <sub>x</sub>		mg/MJ <sub>nutz</sub>
	mg/m <sup>3</sup> bei 13% O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	mg/MJ <sub>end</sub>	NO <sub>x</sub>	
Handbeschickte Feuerungen					
Stückholzöfen	51	115	34	77	45
Stückholzkessel	51	115	34	77	45
Pelletfeuerungen					
Holzpellets	34	79	23	53	30
Automatische Holzfeuerungen					
Waldhackschnitzel	101	183	68	122	90
Restholz	105	325	70	217	93
Altholz	2	237	2	158	2

Hasler, Nussbaumer, Jenni 2000

Hasler & Nussbaumer, Pelletbericht

Daten für Staub von Stückholz und Pellets:  
 Reale Praxisdaten gemäss Abschätzung in Tabelle vorher

### Anhang C: Merkmale für die Auswertung des Eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters Datenabgabe aus GWR für Holzfeuerungen, Auftraggeber: AWEL

Alle Daten für Energieträger der Heizung: GENHZ 7205 (Holz)

Vorbereitung: Vorgängig sind die messpflichtigen Holzfeuerungen im Kanton ZH gemäss Register des AWEL auszublenden

Heizungsart (Total 5), je separate Daten-Tabelle

- 7101 (Einzelofenheizung)
- 7102 (Etagenheizung)
- 7103 (Zentralheizung für das Gebäude)
- 7104 (Zentralheizung für mehrere Gebäude)
- 7105 (Öffentliche Fernwärmeversorgung)

Gebäudekategorie (Total 5), je separate Daten-Tabelle

- 1021 (Einfamilienhaus)
- 1025 (Mehrfamilienhaus)
- 1030 Wohngebäude mit Nebennutzung
- 1040 Nicht-Wohngebäude mit Wohnungsnutzung
- 1060 Nicht-Wohngebäude ohne Wohnungsnutzung

Daten-Tabellen (Total 25) von ARV geliefert							wird vom AWEL bearbeitet					
Gemeinde	Bau- oder Renovations-Periode GBAUP/ GRENP	Anzahl Gebäude	Anzahl Wohnungen	Anzahl Zimmer WAZIM	Wohnungsfläche WAREA	Wohnungsfläche Warmwasser* GENWW	Energie-Kennzahl Raumwärme	Energie-Kennzahl Warmwasser	Energie-Verbrauch Raum+WW	Holverbrauch	Emissionsfaktor für Feinstaub	Staub-Fracht
		1	1	1	m2	m2	MJ/m2 Jahr	MJ/m2 Jahr	MJ	fm3	mg/MJ	Tonnen/Jahr
Aeugst	vor 1919	0	0	0	0	0						
	1919-45	0	0	0	0	0						
	1946-60	0	0	0	0	0						
	1961-70	0	0	0	0	0						
	1971-80	0	0	0	0	0						
	1981-90	0	0	0	0	0						
	1991-95	0	0	0	0	0						
	1996-00	0	0	0	0	0						
	2001-05	0	0	0	0	0						
	2006-10	0	0	0	0	0						
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
Affoltern	vor 1919	0	0	0	0	0						
	1919-45	0	0	0	0	0						
	1946-60	0	0	0	0	0						
	1961-70	0	0	0	0	0						
	1971-80	0	0	0	0	0						
	1981-90	0	0	0	0	0						
	1991-95	0	0	0	0	0						
	1996-00	0	0	0	0	0						
	2001-05	0	0	0	0	0						
	2006-10	0	0	0	0	0						
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
usw.												
<b>Total</b>	<b>vor 1919</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>1919-45</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>1946-60</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>1961-70</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>1971-80</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>1981-90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>1991-95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>1996-00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>2001-05</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>2006-10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						

\* Flächen aufaddiert, welche eine Zentrale Warmwasserversorgung haben (GWWV)  
(nur Energieträger für Warmwasser GENWW 7205, Holz)

## Anhang D: Erhebung zu den Betriebsstunden und Brennstoffverbrauch von Messpflichtigen Anlagen

Gmde/Vers-Nr	Betrieb	Wärme wird bereit- gestellt für	Brst.-Verbrauch			Betriebsstunden		Berechnete Jahresbetriebszeit (h)	Inst. Leistung (kW)	Wärmemenge/ Inst. Leistung
			Sm3/a	MWh/a	Sm3 /MWh	Gesamt	Messperiode seit			
22.0158	W	WV	2100	866	2.425	29864	01.09.1995	5275	1050	825
<b>42.0040</b>	<b>GJ</b>	WV	12000	4955	2.422	24612	10.12.2003	9877	2150	2305
38.0503	W	WV	1300	800	1.625	24772	26.01.2000	3886	700	1143
37.0678	W	WV	1650	1140	1.447	10825	25.11.2002	3418	700	1629
93.0122	W	WV	1600	0		59102	15.10.1992	4221	650	3)
<b>96.1054</b>	<b>GJ</b>	WV	12000	6500	1.846	13399	19.01.2005	10186	3600	1806
<b>194.0548</b>	<b>GJ</b>	WV	11783	8273	1.424	30259	17.06.1905	5465	4300	1924
231.1224	W	WV	1233	945	1.305	4060	28.02.2005	3747	580	1629
53.2660	W	WV	1400	1100	1.273	2670	07.12.2005	4272	900	1222
53.2048	W	WV	1050	697	1.506	10501	29.01.2004	5711	550	1267
177.2702	GJ	WV	8500	5500	1.545	65145	01.09.1995	5922	3300	1667

**Fett** Restholz  
**Fett/Kursiv** 10- 20% Restholz

Gmde/Vers-Nr	Betrieb	Wärme wird bereit- gestellt für	Brst.-Verbrauch			Betriebsstunden		Berechnete Jahresbetriebszeit (h)	Inst. Leistung (kW)	Wärmemenge/ Inst. Leistung
			Sm3/a	MWh/a	Sm3 /MWh	Gesamt	Messperiode seit			
38.0208	W	E	0	1518		10445	03.12.2003	4200	700	2169
<b>91.0159</b>	W	E	0	0		15490	01.06.1995	1550	900	3)
56.1641	W	E	3000	1537	1.952	27071	01.09.1997	3020	900	1708
<b>174.1990</b>	W	E 2)	750	530	1.415				700	757
117.1878	W	E	1010	0		47641	01.06.1993	3664	250	3)
176.0033	W	E	0	1765				4320	1200	1471

- 1) Annahme: 8Monate, tägliche Betriebszeit 18 h, Rest Gluterhaltung
  - 2) Im Winter (8 Monate) wird das während des Jahres anfallende Restholz verbrannt, keine weiteren Angaben
  - 3) Wärmemenge wird nicht gemessen
- W = Winter, in der Regel Sept. - April  
GJ = Ganzjahresbetrieb  
WV = Wärmeverbund  
E = Eigenbedarf

## Anhang E: Energiekennzahlen des Kantons Zürich

Baujahr Gebäude	Raumwärme und Warmwasser MJ/m2.Jahr	Warmwasser MJ/m2 Jahr
vor 1975	613	100
1976-80	540	100
1981-85	508	100
1986-90	436	100
1991-95	354	100
nach 1995	310	100

## Anhang F: Schweizerische Holzenergiestatistik, Abschätzung für den Kanton Zürich, Stand 2005

### Anlagenbestand (Anzahl)

Kat.	Anlagenkategorien	2005	Anteil	2005	Quelle Anteil Kanton Zürich
		gesamte Schweiz	Kanton Zürich	Kanton Zürich	
1	Offene Cheminéés	34'834	17.1%	5'943	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
2	Geschlossene Chemineés	131'328	17.1%	22'407	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
3	Cheminéeöfen	192'220	17.1%	32'796	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
4a	Zimmeröfen	48'786	7.5%	3'657	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
4b	Pelletöfen (Wohnbereich)	2'829	7.5%	212	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
5	Kachelöfen	120'751	7.5%	9'051	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
6	Holzkochherde	71'531	7.5%	5'362	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
7	Zentralheizungsherde	25'998	7.8%	2'035	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
8	Stückholzkessel < 50 kW	41'718	7.8%	3'265	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
9	Stückholzkessel > 50kW	2'988	7.8%	234	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
10	Doppel-/Wechselbrandkessel	13'351	7.8%	1'045	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
11a	Automatische Feuerungen < 50 kW	3'068	12.3%	377	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
11b	Pelletfeuerungen < 50 kW	4'297	12.3%	528	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
12a	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	2'208	14.6%	322	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
12b	Pelletfeuerungen 50 - 300 kW	83	14.6%	12	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
13	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	1'869	9.6%	180	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
14a	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	319	16.1%	52	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
14b	Pelletfeuerungen 300 - 500 kW	3	16.1%	0	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
15	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	300	10.7%	32	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
16a	Automatische Feuerungen > 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	295	16.2%	48	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
16b	Pelletfeuerungen > 500 kW	1	16.2%	0	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
17	Automatische Feuerungen > 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	291	7.2%	21	Anteil der Anlagenzahl aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
18	Holz-Wärmeleistungskopplungsanlagen	3	0.0%	0	Aus individueller Erhebung (keine der Anlagen steht im Kanton Zürich)
19	Anlagen für erneuerbare Abfälle	44	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt
20	Kehrichtverbrennungsanlagen	29	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt
A	Einzelraumheizungen (Kat. 1 - 6)	602'279	13.2%	79'429	
B	Gebäudeheizungen (Kat. 7 - 11)	91'420	8.2%	7'485	
C	Automatische Feuerungen (Kat. 12 - 18)	5'372	12.4%	667	
D	Spezialnutzungen (Kat. 19 - 20)	73	n.B.	n.B.	
Total	Alle Anlagenkategorien (Kat. 1 - 18)	699'071	12.5%	87'581	

## Anhang F: Schweizerische Holzenergiestatistik, Abschätzung für den Kanton Zürich, Stand 2005

### Installierte Leistung (kW)

Kat.	Anlagenkategorien	2005	Anteil	2005	Quelle Anteil Kanton Zürich
		gesamte Schweiz	Kanton Zürich	Kanton Zürich	
1	Offene Cheminéés	0	17.1%	0	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
2	Geschlossene Cheminéeés	1'313'280	17.1%	224'070	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
3	Cheminéeöfen	1'922'200	17.1%	327'962	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
4a	Zimmeröfen	487'860	7.5%	36'570	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
4b	Pelletöfen (Wohnbereich)	14'145	7.5%	1'060	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
5	Kachelöfen	1'811'265	7.5%	135'772	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
6	Holzkochherde	572'248	7.5%	42'896	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
7	Zentralheizungsherde	519'960	7.8%	40'699	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
8	Stückholzkessel < 50 kW	1'251'540	7.8%	97'963	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
9	Stückholzkessel > 50kW	298'800	7.8%	23'388	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
10	Doppel-/Wechselbrandkessel	934'570	7.8%	73'153	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
11a	Automatische Feuerungen < 50 kW	92'040	12.8%	11'739	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
11b	Pelletfeuerungen < 50 kW	85'940	12.8%	10'961	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
12a	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	219'082	14.4%	31'585	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
12b	Pelletfeuerungen 50 - 300 kW	7'937	14.4%	1'144	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
13	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	246'134	9.4%	23'143	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
14a	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	118'034	16.3%	19'274	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
14b	Pelletfeuerungen 300 - 500 kW	1'200	16.3%	196	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
15	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	113'396	10.1%	11'414	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
16a	Automatische Feuerungen > 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	303'510	16.7%	50'638	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
16b	Pelletfeuerungen > 500 kW	550	16.7%	92	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
17	Automatische Feuerungen > 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	325'430	9.3%	30'182	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
18	Holz-Wärmeerkraftkopplungsanlagen	10'036	0.0%	0	Aus individueller Erhebung (keine der Anlagen steht im Kanton Zürich)
19	Anlagen für erneuerbare Abfälle	452'700	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt
20	Kehrichtverbrennungsanlagen	-	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt
A	Einzelraumheizungen (Kat. 1 - 6)	6'120'998	12.6%	768'329	
B	Gebäudeheizungen (Kat. 7 - 11)	3'182'850	8.1%	257'904	
C	Automatische Feuerungen (Kat. 12 - 18)	1'345'309	12.5%	167'668	
D	Spezialnutzungen (Kat. 19 - 20)	452'700	n.B.	n.B.	
Total	Alle Anlagenkategorien (Kat. 1 - 18)	10'649'157	11.2%	1'193'901	

## Anhang F: Schweizerische Holzenergiestatistik, Abschätzung für den Kanton Zürich, Stand 2005

### Endenergie effektiv total (MWH)

Kat.	Anlagenkategorien	2005		2005		Werte in TJ gesamte CH
		gesamte Schweiz	Anteil Kanton Zürich	Kanton Zürich	Datenquelle für Anteil Kanton Zürich	
1	Offene Cheminéés	49'787	17.1%	8'495	Einwohnerproportionale Verteilung;	179
2	Geschlossene Chemineés	262'783	17.1%	44'836	Einwohnerproportionale Verteilung;	946
3	Cheminéeöfen	741'779	17.1%	126'561	Einwohnerproportionale Verteilung;	2'670
4a	Zimmeröfen	147'605	7.5%	11'064	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	531
4b	Pelletöfen (Wohnbereich)	12'036	7.5%	902	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	43
5	Kachelöfen	709'923	7.5%	53'216	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	2'556
6	Holzkochherde	375'574	7.5%	28'153	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	1'352
7	Zentralheizungsherde	718'436	7.8%	56'235	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	2'586
8	Stückholzkessel < 50 kW	1'380'097	7.8%	108'026	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	4'968
9	Stückholzkessel > 50kW	98'840	7.8%	7'737	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	356
10	Doppel-/Wechselbrandkessel	132'517	7.8%	10'373	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	477
11a	Automatische Feuerungen < 50 kW	207'440	12.8%	26'457	Anteil der inst. Leistung aus Datent	747
11b	Pelletfeuerungen < 50 kW	222'425	12.8%	28'368	Anteil der inst. Leistung aus Datent	801
12a	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	478'898	14.4%	69'042	Anteil der inst. Leistung aus Datent	1'724
12b	Pelletfeuerungen 50 - 300 kW	17'350	14.4%	2'501	Anteil der inst. Leistung aus Datent	62
13	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	365'603	9.4%	34'376	Anteil der inst. Leistung aus Datent	1'316
14a	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	244'597	16.3%	39'941	Anteil der inst. Leistung aus Datent	881
14b	Pelletfeuerungen 300 - 500 kW	2'487	16.3%	406	Anteil der inst. Leistung aus Datent	9
15	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	167'924	10.1%	16'903	Anteil der inst. Leistung aus Datent	605
16a	Automatische Feuerungen > 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	660'444	16.7%	110'190	Anteil der inst. Leistung aus Datent	2'378
16b	Pelletfeuerungen > 500 kW	1'197	16.7%	200	Anteil der inst. Leistung aus Datent	4
17	Automatische Feuerungen > 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	674'682	9.3%	62'573	Anteil der inst. Leistung aus Datent	2'429
18	Holz-Wärmekraftkopplungsanlagen	35'464	0.0%	0	Aus individueller Erhebung (keine d	128
19	Anlagen für erneuerbare Abfälle	720'607	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt	2'594
20	Kehrichtverbrennungsanlagen	917'215	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt	3'302
A	Einzelraumheizungen (Kat. 1 - 6)	2'299'488	11.9%	273'226		8'278
B	Gebäudeheizungen (Kat. 7 - 11)	2'759'755	8.6%	237'196		9'935
C	Automatische Feuerungen (Kat. 12 - 18)	2'648'646	12.7%	336'132		9'535
D	Spezialnutzungen (Kat. 19 - 20)	1'637'822	n.B.	n.B.		5'896
Total	Alle Anlagenkategorien (Kat. 1 - 18)	7'707'889	11.0%	846'554		27'748

## Anhang F: Schweizerische Holzenergiestatistik, Abschätzung für den Kanton Zürich, Stand 2005

### Endenergie effektiv total (MWH)

Kat.	Anlagenkategorien	2005		2005		Werte in TJ gesamte CH
		gesamte Schweiz	Anteil Kanton Zürich	Kanton Zürich	Datenquelle für Anteil Kanton Zürich	
1	Offene Cheminées	49'787	17.1%	8'495	Einwohnerproportionale Verteilung;	179
2	Geschlossene Chemineés	262'783	17.1%	44'836	Einwohnerproportionale Verteilung;	946
3	Cheminéeöfen	741'779	17.1%	126'561	Einwohnerproportionale Verteilung;	2'670
4a	Zimmeröfen	147'605	7.5%	11'064	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	531
4b	Pelletöfen (Wohnbereich)	12'036	7.5%	902	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	43
5	Kachelöfen	709'923	7.5%	53'216	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	2'556
6	Holzkochherde	375'574	7.5%	28'153	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	1'352
7	Zentralheizungsherde	718'436	7.8%	56'235	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	2'586
8	Stückholzkessel < 50 kW	1'380'097	7.8%	108'026	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	4'968
9	Stückholzkessel > 50kW	98'840	7.8%	7'737	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	356
10	Doppel-/Wechselbrandkessel	132'517	7.8%	10'373	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	477
11a	Automatische Feuerungen < 50 kW	207'440	12.8%	26'457	Anteil der inst. Leistung aus Datent	747
11b	Pelletfeuerungen < 50 kW	222'425	12.8%	28'368	Anteil der inst. Leistung aus Datent	801
12a	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	478'898	14.4%	69'042	Anteil der inst. Leistung aus Datent	1'724
12b	Pelletfeuerungen 50 - 300 kW	17'350	14.4%	2'501	Anteil der inst. Leistung aus Datent	62
13	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	365'603	9.4%	34'376	Anteil der inst. Leistung aus Datent	1'316
14a	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	244'597	16.3%	39'941	Anteil der inst. Leistung aus Datent	881
14b	Pelletfeuerungen 300 - 500 kW	2'487	16.3%	406	Anteil der inst. Leistung aus Datent	9
15	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	167'924	10.1%	16'903	Anteil der inst. Leistung aus Datent	605
16a	Automatische Feuerungen > 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	660'444	16.7%	110'190	Anteil der inst. Leistung aus Datent	2'378
16b	Pelletfeuerungen > 500 kW	1'197	16.7%	200	Anteil der inst. Leistung aus Datent	4
17	Automatische Feuerungen > 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	674'682	9.3%	62'573	Anteil der inst. Leistung aus Datent	2'429
18	Holz-Wärmekraftkopplungsanlagen	35'464	0.0%	0	Aus individueller Erhebung (keine d	128
19	Anlagen für erneuerbare Abfälle	720'607	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt	2'594
20	Kehrichtverbrennungsanlagen	917'215	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt	3'302
A	Einzelraumheizungen (Kat. 1 - 6)	2'299'488	11.9%	273'226		8'278
B	Gebäudeheizungen (Kat. 7 - 11)	2'759'755	8.6%	237'196		9'935
C	Automatische Feuerungen (Kat. 12 - 18)	2'648'646	12.7%	336'132		9'535
D	Spezialnutzungen (Kat. 19 - 20)	1'637'822	n.B.	n.B.		5'896
Total	Alle Anlagenkategorien (Kat. 1 - 18)	7'707'889	11.0%	846'554		27'748

## Anhang F: Schweizerische Holzenergiestatistik, Abschätzung für den Kanton Zürich, Stand 2005

### Effektiver Holzumsatz (t)

Kat.	Anlagenkategorien	2005		2005		Dichte t/m3	
		gesamte Schweiz	Anteil Kanton Zürich	Kanton Zürich	Quelle Anteil Kanton Zürich		
1	Offene Cheminéés	64'725	17.1%	11'043	Einwohnerproportionale Verteilung;	0.71	Wassergehalt 20% (Holzfeuchte 25%), Laubholzanteil 60%, spez. Heizwert: 4.06 MWh/t
2	Geschlossene Cheminéeés	182'704	17.1%	31'173	Einwohnerproportionale Verteilung;	0.71	Wassergehalt 20% (Holzfeuchte 25%), Laubholzanteil 60%, spez. Heizwert: 4.06 MWh/t
3	Cheminéeöfen	38'844	17.1%	6'627	Einwohnerproportionale Verteilung;	0.71	Wassergehalt 20% (Holzfeuchte 25%), Laubholzanteil 60%, spez. Heizwert: 4.06 MWh/t
4a	Zimmeröfen	3'134	7.5%	235	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	0.73	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
4b	Pelletöfen (Wohnbereich)	186'822	7.5%	14'004	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	0.68	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 30%, spez. Heizwert: 3.84 MWh/t
5	Kachelöfen	98'835	7.5%	7'409	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	0.73	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
6	Holzkochherde	189'062	7.5%	14'172	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	0.73	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
7	Zentralheizungsherde	363'183	7.8%	28'428	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	0.73	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
8	Stückholzkessel < 50 kW	26'011	7.8%	2'036	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	0.73	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
9	Stückholzkessel > 50kW	34'873	7.8%	2'730	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	0.73	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
10	Doppel-/Wechselbrandkessel	64'025	7.8%	5'011	Anteil mit Holz beheizter Wohneinh	0.73	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
11a	Automatische Feuerungen < 50 kW	57'923	12.8%	7'388	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.85	Wassergehalt 35% (Holzfeuchte 54%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
11b	Pelletfeuerungen < 50 kW	147'808	12.8%	18'852	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.68	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 30%, spez. Heizwert: 3.84 MWh/t
12a	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	4'518	14.4%	651	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.85	Wassergehalt 35% (Holzfeuchte 54%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
12b	Pelletfeuerungen 50 - 300 kW	95'209	14.4%	13'726	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.68	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 30%, spez. Heizwert: 3.84 MWh/t
13	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	75'493	9.4%	7'098	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.68	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 30%, spez. Heizwert: 3.84 MWh/t
14a	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	648	16.3%	106	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.85	Wassergehalt 35% (Holzfeuchte 54%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
14b	Pelletfeuerungen 300 - 500 kW	43'730	16.3%	7'141	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.68	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 30%, spez. Heizwert: 3.84 MWh/t
15	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	203'841	10.1%	20'518	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.68	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 30%, spez. Heizwert: 3.84 MWh/t
16a	Automatische Feuerungen > 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	312	16.7%	52	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.85	Wassergehalt 35% (Holzfeuchte 54%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
16b	Pelletfeuerungen > 500 kW	175'698	16.7%	29'314	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.68	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 30%, spez. Heizwert: 3.84 MWh/t
17	Automatische Feuerungen > 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	10'946	9.3%	1'015	Anteil der inst. Leistung aus Datenb	0.68	Wassergehalt 25% (Holzfeuchte 33%), Laubholzanteil 30%, spez. Heizwert: 3.84 MWh/t
18	Holz-WärmeKraftkopplungsanlagen	211'911	0.0%	0	Aus individueller Erhebung (keine d	0.85	Wassergehalt 35% (Holzfeuchte 54%), Laubholzanteil 50%, spez. Heizwert: 3.8 MWh/t
19	Anlagen für erneuerbare Abfälle	222'625	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt	0.75	
20	Kehrichtverbrennungsanlagen	0	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt	0.64	
A	Einzelraumheizungen (Kat. 1 - 6)	764'126	11.1%	84'663		5	
B	Gebäudeheizungen (Kat. 7 - 11)	693'823	9.3%	64'444		4	
C	Automatische Feuerungen (Kat. 12 - 18)	822'305	9.7%	79'621		7	
D	Spezialnutzungen (Kat. 19 - 20)	222'625	n.B.	n.B.		1	
Total	Alle Anlagenkategorien (Kat. 1 - 18)	2'280'254	10.0%	228'729		17	

## Bemerkung

Für Holzpellets

Quelle für Dichten / Heizwert von Holz: Bauer, C. (2003) Holzenergie. In: Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen:

Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz.

Final report ecoinvent 2000 No. 6-IX, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

## Anhang F: Schweizerische Holzenergiestatistik, Abschätzung für den Kanton Zürich, Stand 2005

### Effektiver Holzumsatz (fm3)

Kat.	Anlagenkategorien	2005	Anteil	2005	Quelle Anteil Kanton Zürich
		gesamte Schweiz	Kanton Zürich	Kanton Zürich	
1	Offene Cheminée	17'199	17.1%	2'934	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
2	Geschlossene Cheminée	90'778	17.1%	15'488	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
3	Cheminéeöfen	256'247	17.1%	43'720	Einwohnerproportionale Verteilung; Datenbasis: Bundesamt für Statistik prov. Stand 2005
4a	Zimmeröfen	52'993	7.5%	3'972	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
4b	Pelletöfen (Wohnbereich)	4'609	7.5%	346	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
5	Kachelöfen	254'873	7.5%	19'105	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
6	Holzkochherde	134'837	7.5%	10'107	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Einzel- oder Etagenheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
7	Zentralheizungsherde	257'929	7.8%	20'189	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
8	Stückholzkessel < 50 kW	495'475	7.8%	38'783	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
9	Stückholzkessel > 50kW	35'485	7.8%	2'778	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
10	Doppel-/Wechselbrandkessel	47'576	7.8%	3'724	Anteil mit Holz beheizter Wohneinheiten mit Zentralheizung; Datenbasis Volkszählung 2000
11a	Automatische Feuerungen < 50 kW	75'679	12.8%	9'652	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
11b	Pelletfeuerungen < 50 kW	85'181	12.8%	10'864	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
12a	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	174'714	14.4%	25'188	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
12b	Pelletfeuerungen 50 - 300 kW	6'644	14.4%	958	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
13	Automatische Feuerungen 50 - 300 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	140'013	9.4%	13'165	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
14a	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	89'235	16.3%	14'571	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
14b	Pelletfeuerungen 300 - 500 kW	952	16.3%	156	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
15	Automatische Feuerungen 300 - 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	64'309	10.1%	6'473	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
16a	Automatische Feuerungen > 500 kW ausserhalb Holzverarbeitungsbetrieben	240'947	16.7%	40'200	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
16b	Pelletfeuerungen > 500 kW	458	16.7%	76	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
17	Automatische Feuerungen > 500 kW innerhalb Holzverarbeitungsbetrieben	258'380	9.3%	23'963	Anteil der inst. Leistung aus Datenbank aut. Holzfeuerungen berechnet (Datenbankstand Mai 2006)
18	Holz-Wärme-Kraftkopplungsanlagen	12'938	0.0%	0	Aus individueller Erhebung (keine der Anlagen steht im Kanton Zürich)
19	Anlagen für erneuerbare Abfälle	282'547	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt
20	Kehrichtverbrennungsanlagen	348'942	n.B.	n.B.	nicht Berücksichtigt
A	Einzelraumheizungen (Kat. 1 - 6)	811'536	11.8%	95'674	

## Anhang G: Nachhaltiges Energieholzpotential Kanton Zürich

<b>Nachhaltiges Energieholzpotential Kanton Zürich</b>			
		<b>Maximal. Potenzial</b>	<b>Reduziert. Potenzial</b>
<b>Waldfläche Kt. ZH</b>	<b>ha</b>	<b>50'000</b>	<b>50'000</b>
minus 5 % Reservate	ha		-2'500
minus 15 % ungenutzt	ha		-7'500
<b>Genutzte Waldfläche</b>	<b>ha</b>	<b>50'000</b>	<b>40'000</b>
<b>Holznutzungen: 12 m3/ha</b>	<b>m3</b>	<b>600'000</b>	<b>480'000</b>
<b>davon 50 % Energieholz</b>	<b>m3</b>	<b>300'000</b>	<b>240'000</b>
<b>plus zusätzl. Energieholzpotenz.</b>	<b>m3</b>	<b>100'000</b>	<b>100'000</b>
<b>Total Energieholzpotenzial</b>	<b>m3</b>	<b>400'000</b>	<b>340'000</b>
<b>= Schnitzel-m3 (x Faktor 2.8)</b>	<b>Sm3</b>	<b>1'120'000</b>	<b>952'000</b>
<b>Energiegehalt (je 50 % Ndh./Lbh.)</b>			
Feuchte 50 % (waldfrisch)	kWh/Sm3	750	750
x Wirkungsgrad von 90 %	kWh/Sm3	675	675
<b>Wärmemenge</b>	<b>kWh</b>	<b>756'000'000</b>	<b>642'600'000</b>
	<b>MWh</b>	<b>756'000</b>	<b>642'600</b>
<b>Substitution Heizöl e.leicht</b>	<b>Liter</b>	<b>75'600'000</b>	<b>64'260'000</b>
1 MWh = 100 l Heizöl e.l.	<b>Liter</b>	<b>75 Millionen</b>	<b>64 Millionen</b>
23. Jan 06			
Erwin Schmid			