

# Energie aus Heizöl oder Holz?: eine vergleichende Umweltbilanz

Autor(en): **Ledergerber, Elmar / Müller, Matthias**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **109 (1991)**

Heft 24

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85960>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Energie aus Heizöl oder Holz?

Eine vergleichende Umweltbilanz

**Die Holzzuwächse in schweizerischen Wäldern würden eine weit grössere Nutzung als Brennholz erlauben. Diese bleibt aber nicht ohne Einfluss auf die Schadstoffemissionen. Um einen aussagefähigen Vergleich mit dem Heizöl zuzulassen, müssen die Emissionen und andere Auswirkungen längs der gesamten Prozesskette berücksichtigt werden.**

In der Schweiz werden pro Jahr etwa 1,7 Mio m<sup>3</sup> naturbelassenes Holz zu Heizzwecken verbrannt. Davon sind

VON ELMAR LEDERGERBER  
UND MATHIAS MÜLLER,  
ZÜRICH

0,7 Mio m<sup>3</sup> Abfälle aus Sägereien, der Rest fällt als Koppelprodukt bei der Stammholzgewinnung und bei Durchforstungsarbeiten an. Die in den schweizerischen Wäldern festgestellten Holzzuwächse würden aber eine zusätzliche Nutzung von einer weiteren Million m<sup>3</sup> Brennholz durchaus erlauben. Damit liesse sich ebensoviel Raumwärme erzeugen wie bei der Verbrennung von rund 200 000 t Heizöl «extra leicht».

Eine intensivierte Brennholznutzung bleibt aber nicht ohne Einfluss auf die Schadstoffemissionen. Die Substitution des Öls ergibt einerseits Entlastungen bei den Schwermetall-, den Schwefeldioxid- und vor allem den Kohlendioxidemissionen, die bekanntlich in hohem Masse zu dem Treibhauseffekt beitragen. Auf der anderen Seite muss aber auch mit Mehremissionen von Staub und Russ, Kohlenmonoxid und Stickstoffoxiden gerechnet werden. Es ist das Ziel einer vom Buwal veranlassten Studie [1], solche Veränderungen unter Berücksichtigung der Versorgungsketten abzuschätzen.

Um die Emissionen und andere Auswirkungen, die bei der Nutzung der beiden Energieträger entstehen, vergleichen zu können, mussten eine Anzahl von Prozessdaten für die relevanten Teilschritte der einzelnen Versorgungsketten und natürlich auch für den Verfeuerungsschritt erhoben werden.

## Berücksichtigte Prozessdaten

Als Daten, die sich auf die Eingangsseite der Teilprozesse beziehen, wurden die zur Umsetzung einer bestimmten Energiemenge notwendige Hilfsenergie, ferner die für die Installationen zu

erbringenden Energievorleistungen sowie der Arbeitsaufwand betrachtet.

Hilfsenergie muss zur Aufrechterhaltung der Prozesse investiert werden, z.B. für den Betrieb der Pumpen einer Pipeline, der Erzeugung der Prozesswärme in einer Raffinerie oder zum Antrieb eines Hackers. Energievorleistung ist jene Energie, die zur Herstellung der Anlagen und Maschinen aufgebracht werden muss. Der Löwenanteil davon entfällt auf die Herstellung des verwendeten Rohmaterials, also zur Hauptsache des Stahls. Die letzte der betrachteten eingangsseitigen Prozessdaten bezieht sich auf den zu leistenden Arbeitsaufwand zur Umsetzung einer bestimmten Menge an Brennstoff. Dieses Resultat sei bereits hier vorweggenommen: Für die Bereitstellung und Verfeuerung von Stückholz muss rund 20mal soviel Arbeit geleistet werden wie bei einer Ölheizung – bei einer Schnitzelheizung nur noch das dreifache. Diese Angaben beziehen sich auf den Durchsatz von soviel Brennstoff, dass damit unter Berücksichtigung aller Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade dieselbe Menge an Raumwärme produziert werden kann. Als Jahresnutzungsgrade sind 70% für Schnitzel-, 55% für Stückholz- und 85% für Ölheizungen zugrundegelegt.

Bei den Prozessen werden aber auch Stoffe freigesetzt. Dabei handelt es sich um Emissionen in die Luft, um Wasser- und Bodenbelastungen. Aus der Vielzahl von Luftfremdstoffen sind diejenigen zu berücksichtigen, die bei der Verbrennung von Holz bzw. Heizöl und in ihren Auswirkungen auf das Ökosystem eine Rolle spielen. Im weiteren Verlauf wird noch ausführlich auf die sieben betrachteten Luftfremdstoffe einzugehen sein.

## Versorgungskette Holz

Aus der Vielzahl der möglichen Bereitstellungswege für Brennholz werden die traditionelle Stückholzkette und die effiziente und kostengünstige Halbgrünschnitzelkette untersucht. Die fol-

genden Arbeitsschritte charakterisieren die Stückholzkette:

- fällen, entasten und einsägen,
- rücken und bis zur nächsten Waldstrasse transportieren
- grobspalten, aufschichten und rund ein Jahr lagern
- zum Verbraucher transportieren und
  - zersägen, feinspalten, aufschichten und ein weiteres Jahr lagern.

Diese Methode der Holzaufbereitung ist mit viel Handarbeit verbunden, was diesen Brennstoff teuer macht. In Zukunft dürfte daher eher die Schnitzelkette vermehrt eingesetzt werden. Es sind mehrere Varianten von Schnitzelketten denkbar. Da sie sich aber lediglich in Details voneinander unterscheiden, soll hier nur die sehr rationelle Halbgrünschnitzelkette betrachtet werden. Folgende Teilprozesse führen vom stehenden Baum in den Silo des Verbrauchers:

- fällen,
- rücken bis zur Rückegasse und dort
- hacken mit einem Mobilhacker.
- Die bereits gehackten Schnitzel müssen zur nächsten Waldstrasse transportiert und dort in grosse Transportcontainer umgeladen werden.
- Verführen der Transportcontainer und umladen der Schnitzel in den Silo des Verbrauchers.

In Gebieten mit extremen Tieftemperaturen kann diese Transport- und Zwischenlagermethode allerdings zu Problemen führen, weil die Schnitzel im Innern des Containers festfrieren können und der Auslad dadurch behindert wird.

## Versorgungskette Heizöl

Für das Heizöl «extra leicht» sind die folgenden Teilprozesse zwischen Vorkommen und Vorratstank des Verbrauchers zu betrachten:

- Prospektion,
- Förderung,
- Transport des Rohöls und
- Verarbeitung in Raffinerien.
- Transport des raffinierten Produktes zum Tanklager und Zwischenlagerung.
- Feinverteilung zum Endverbraucher.

## Emissionsverhalten der Feuerungen

Im Jahre 1987 wurden rund 3% des gesamten schweizerischen Heizenergiebe-

darfs mit Brennholz gedeckt, der Rest durch Heizöl EL (etwa 65%) und andere Energieträger.

Bezüglich Umweltbelastung ist die Verbrennung der bedeutsamste Teil der Prozesskette. Die für Stückholzkessel, automatische Schnitzelfeuerungen und Ölheizungen verwendeten Emissionsfaktoren reflektieren den heutigen Technologiestand für Neuanlagen. Allerdings sind die Kenntnisse über das Emissionsverhalten der Holzfeuerungen noch sehr unvollständig. Exakte Angaben fehlen vor allem über die Anfeuerungs- und die Ausbrandphase. Für eine vollständige Bilanzierung muss daher das Emissionsverhalten während Anfeuerungs- und Ausbrandphase abgeschätzt und den Werten der stationären Verbrennungsphase zugeschlagen werden.

**Ergebnisse**

Die Durchleuchtung der einzelnen vorgängig dargestellten Teilschritte hat zu den folgenden Resultaten geführt:

In Tabelle 1 sind die Emissionen von Kohlendioxid, Stickstoffoxiden, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Kohlenwasserstoffen sowie von Staub und Russ dargestellt, und zwar als Vergleich der beiden Versorgungsketten Holz-schnitzel und Heizöl. Die Daten beziehen sich auf eine Holzmenge von 1 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr bzw. das Äquivalent an Heizöl von rund 200 000 t. Beide Brennstoffmengen reichen aus, um 7,1 PJ Nutzenergie zu erzeugen. Dabei wird von einem mittleren Nutzungsgrad von 85% beim Öl und von 70% beim Holz ausgegangen. Wie eingangs erwähnt, lässt der Holzuwachs in den schweizerischen Wäldern eine zusätzliche Nutzung von 1 Mio m<sup>3</sup> im Jahr durchaus zu.

Betrachten wir als erstes Beispiel die Stickoxide. Für die Schnitzelfeuerung setzt sich die Gesamtemission von 1210 t/a zu einem knappen Fünftel aus den Emissionen, die vor allem beim Hacken und den Transportschritten der Versorgungskette anfallen, und zu vier Fünfteln aus den freiwerdenden Stickoxiden des Verbrennungsprozesses zusammen.

Die Versorgungskette für Heizöl ist in zwei Teile aufgespalten. In der ersten Zeile (Tabelle 1) finden sich die Emissionen, die im Ausland anfallen, und in der zweiten jene aus dem Inland. Dabei stellt sich methodisch die Frage, wie der Schadstoffanfall im Ausland gewertet werden soll. Luftfremdstoffe, die zum Treibhauseffekt beitragen, sind unabhängig von ihrem Entstehungsort für die Schweiz von Bedeutung, da sie nach

Emissionsquelle, Veränderung	CO <sub>2</sub> 1000 t/a	NO <sub>x</sub> t/a	CO t/a	SO <sub>2</sub> t/a	CxHy t/a	Partikel <sup>1</sup> t/a
Schnitzelfeuerung						
Versorgungskette	17,0	215	219	16,0	70,0	16,7
Verfeuerung	(0)	995	3057	164	24,2	611
Gesamtemission	17,0	1210	3277	179	94,2	628
Ölfeuerung						
Versorgungskette Ausland	55,8	299	46,2	661	179	10,0
Versorgungskette Inland	12,8	56,7	9,57	106	125	2,26
Verfeuerung	625	210	52,7	725	70,6	42,3
Gesamtemission Ausland und Inland	694	566	108	1492	374	54,6
Gesamtemission nur Inland	638	267	62,3	831	195	44,6
Veränderung durch zus. Holznutzung						
Emissionsdifferenz global	-677	644	3168	-1313	-280	574
Emissionsdifferenz im Inland	-621	943	3214	-651	-101	584

<sup>1</sup> Unter Partikel werden Staub und Russ verstanden

Tabelle 1. Vergleich der Emissionen bei der Nutzung von 1 Mio m<sup>3</sup> Brennholz in Schnitzelheizungen mit jenen der Bereitstellung und Verfeuerung von 195 000 t Heizöl «Extra leicht»

nahezu einmütiger wissenschaftlicher Auffassung (diesjährige Weltklimakonferenz in Genf) das globale Wetter- und Klimageschehen modifizieren können. Im Falle des Stickstoffoxides stellt man fest, dass rund 300 t jährlich im Ausland emittiert werden. Der inländische Anteil von 60 t/a entsteht bei der Feinverteilung und der zur Raffination notwendigen Prozesswärmeproduktion. Etwa ein Viertel des in der Schweiz verbrauchten Heizöls wird im Inland raffiniert. Schliesslich werden auch Stickoxide bei der Verbrennung frei. Da in diesen Untersuchungen aber von moderner Feuerungstechnologie ausgegangen wird, beträgt dieser Anteil an der Gesamtemission (Inland und Ausland) lediglich ein Drittel.

In den untersten beiden Zeilen schliesslich sind die Veränderungen durch zusätzliche Holznutzung ausgewiesen. Im Inland würde sich demnach die NO<sub>x</sub>-Bilanz bei zusätzlichem Verbrauch von 1 Mio m<sup>3</sup> Brennholz um knapp 1000 t/a verschlechtern. Auf eine Wertung bzw. Bewertung dieser Resultate wird im folgenden noch einzugehen sein.

Die zu erwartenden Emissionsveränderungen, wie sie in den untersten beiden Zeilen aufgeführt sind, sind in Bild 1 graphisch dargestellt. Schattierte Balken bedeuten die Veränderung im In- und Ausland bei der Substitution von rund 200 000 t/a Heizöl. Nach links weisende Balken veranschaulichen eine Verbesserung der Emissionsbilanz. Die «Ersparnis» bei den Schwermetallen

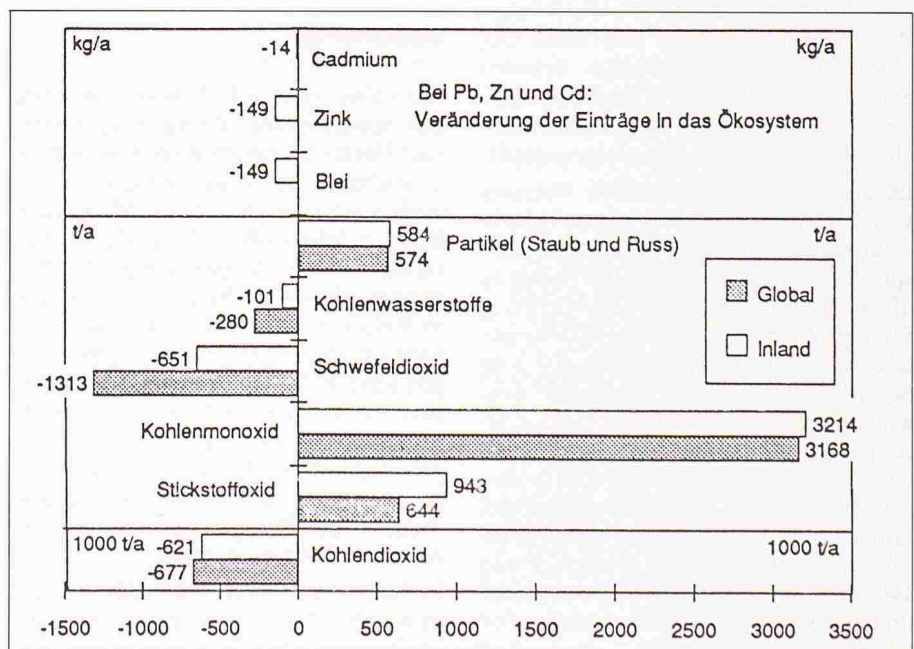


Bild 1. Veränderung der Emissionen bei der Substitution von 195 000 t Heizöl «extra leicht» durch 1 Mio m<sup>3</sup> in Schnitzelfeuerung eingesetztes Brennholz

Voraussetzungen	Holzschnitzel	Heizöl	Differenz
Zusätzliche Nutzung	1 Mio m <sup>3</sup> /a	195 000 t/a	
Schnitzelmenge	2,5 Mio m <sup>3</sup> /a		
Schnitzelpreis bei 19% Sägerei-restholzanteil	43,60 Fr./m <sup>3</sup>	360.- Fr./t	
Ölpreis		70 Mio Fr./a	
direkte Einnahmen	110 Mia Fr./a		40 Mio Fr./a
Auswirkungen	Holzschnitzel	Heizöl	Differenz
Zu erstellende Heizanlagen mit einer Nutzleistung von 500 kW	2200	2200	
Summe der jährlichen Kosten	190 Mio Fr./a	100 Mio Fr./a	90 Mio Fr./a
betroffene Arbeitsplätze	1800 AP	960 AP	840 AP

Zahlen gerundet

Tabelle 2. Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Ersatzes von Ölheizungen durch Holzfeuerungen

hat eine besondere Bedeutung. Es ist durchaus möglich, dass Schwermetalle aus der oberen Bodenschicht in die organische Substanz des Baumes eingebaut und bei seiner Verbrennung in die Luft emittiert werden. Dabei handelt es sich aber um Substanzen, die bereits früher in die Ökosphäre eingetragen wurden. Im Gegensatz dazu werden aber bei der Verbrennung fossiler Energieträger in Sedimenten immobilisierte Schwermetalle in die Ökosphäre freigesetzt.

Eine ähnliche Argumentation trifft auch auf das Kohlendioxid zu. Für die Bilanz ist wichtig, dass bei der aeroben Zersetzung von 1 Mio m<sup>3</sup> Holz ebensoviel CO<sub>2</sub> wie bei dessen Verbrennung freigesetzt wird. Damit ist die Holzverfeuerung CO<sub>2</sub>-neutral. Wie sich leicht aus der graphischen Darstellung herauslesen lässt, hat die um 1 Mio m<sup>3</sup> vermehrte Brennholznutzung weltweit eine Kohlendioxid-Einsparung von etwa 680 000 t/a zur Folge, eine Menge, die immerhin 1,4% der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emission des Quellgebietes Schweiz entspricht. In Tabelle 2 sind die wichtigsten erwarteten volkswirtschaftlichen Auswirkungen zusammengestellt.

Danach führt die zusätzliche Nutzung von 1 Mio m<sup>3</sup> Holz, was einem Schnitzelvolumen von rund 2,5 Mio m<sup>3</sup> entspricht, bei den aufgelisteten Preisen zu direkten Einnahmen von 110 Mio Fr./a für die Holzwirtschaft. Für das substituierbare Heizöl wären 70 Mio Fr./a zu bezahlen. Unter dem Abschnitt Auswirkungen sind die Anzahl der zu erstellenden Heizungen mit einer Nutzleistung von 500 kW aufgeführt. Bei 2200 betroffenen Anlagen ergeben sich jährliche Kosten für Versorgung, Abschreibung, Betrieb und Unterhalt von 190 Mio Fr. für Schnitzelfeuerungen und 100 Mio Fr. für Ölfeuerungen. Die Gegenüberstellung zeigt, dass rund 1800 Arbeitsplätze neu geschaffen und etwa 960 Arbeitsplätze im Ölsektor ver-

drängt werden. Von den neu geschaffenen Arbeitsplätzen dürften etwa 1100 in den Holz produzierenden und verwertenden Regionen liegen und 700 im übrigen Gebiet des Landes. Bei den verdrängten Arbeitsplätzen ist das Verhältnis anders, nur etwa 140 der etwa 960 verdrängten Arbeitsplätze befinden sich in den oben erwähnten Regionen.

Verteilt man die etwa 90 Mio Fr. Mehrkosten, die jährlich anfallen, auf die etwa 1000 neuen regionalen Arbeitsplätze Kosten von 90 000 Fr./a verursachen. Aus regionalwirtschaftlichen Gründen alleine wäre eine solche Summe nicht zu vertreten. Eine derartige Forderung der Holznutzung lässt sich wohl nur dann rechtfertigen, wenn daraus weitere volkswirtschaftliche Nutzen entstehen (z.B: Walderhaltung, Lawinenschutz, Entlastung der CO<sub>2</sub>-Bilanz).

### Bewertung

Eine abschliessende Wertung der beiden untersuchten Energieträger Holz und Heizöl bezüglich ihrer Umweltverträglichkeit ist nicht einfach. Sie ist auch nach rein objektiven Massstäben kaum möglich, gilt es doch, die Verbesserung bei verschiedenen Schadstoffen mit einer Verschlechterung bei anderen in Relation zu setzen und abzuwägen. Dies ist ohne Einführung von Wertungen nicht möglich. Wenn es z.B. darum geht, eine Verminderung der CO<sub>2</sub>-Fracht gegenüber einer damit verbundenen Zunahme der Stickoxid-Emissionen zu beurteilen, wird dieses Grundproblem der Bewertung in seiner ganzen Komplexität sichtbar.

Es hat sich gezeigt, dass die Ausdehnung der Emissionsbetrachtung von der Feuerung auf die ganze Prozesskette vor allem das Heizöl zusätzlich belastet. Im Rahmen der benutzten Berech-

nungsmodelle und Ausgangsdaten ergab sich, dass jede Tonne Heizöl «extra leicht», die in der Schweiz verfeuert wird, schon vorher im Ausland etwa gleichviel an NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> und C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-Emissionen verursacht hat. Obschon die Globalbetrachtung zu einer Verschlechterung der Emissionsbilanz zulasten des Heizöls führt, entsteht daraus keine massive Umgewichtung von Ergebnissen, die sich bei rein inländischer Betrachtung ergeben. Nach wie vor liegen die Hauptvorteile des Heizöls bei der geringeren Belastung mit NO<sub>x</sub>, CO und Staub, während das Energieholz deutliche Vorteile beim Ausstoss von CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Kohlenwasserstoffen und Schwermetallen besitzt. Diese je spezifischen Vorteile ergeben sich auch bei einer rein nationalen Betrachtung, nur steht das Heizöl noch etwas besser da.

Die Verringerung der Emission des an sich ungiftigen Kohlendioxides um 1,5% des gesamtschweizerischen Ausstosses ist wahrscheinlich die wichtigste Konsequenz einer verstärkten Energieholznutzung. Zwar ist diese Verbesserung weder aus der Sicht der heutigen Luftreinhaltepolitik noch der gültigen Luftreinhalteverordnung gefordert, der Druck auf alle Industrieländer, ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen massiv zu reduzieren, wird aber in den nächsten Jahren kräftig zunehmen. Die Klimakonferenz in Toronto hat beispielsweise 1989 bereits vorgeschlagen, alle Industrieländer sollten innerhalb von 15 Jahren ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoss um 20% reduzieren. Auf dem Hintergrund solcher Ziele und Notwendigkeiten bekäme die Holznutzung plötzlich einen ganz anderen Stellenwert und eine neue Bedeutung.

Der durch die LRV vorgeschriebene Jahresimmissionsgrenzwert von 30 mg/m<sup>3</sup> für Stickstoffdioxid wird heute praktisch in allen Städten, in dicht besiedelten Gebieten und entlang stark befahrener Verkehrsachsen zum Teil deutlich überschritten. Aus der Sicht der Lufthygieniker kommt daher eine vermehrte Holznutzung in grösserem Ausmass in Sanierungsgebieten nicht in Frage, solange die Grenzwerte überschritten sind bzw. solange nicht eine wesentliche Reduktion des NO<sub>x</sub>-Ausstosses realisierbar ist. Daraus sind ganz klar drei Konsequenzen ersichtlich:

- Eine wesentlich verstärkte energetische Holznutzung, die mit einer NO<sub>x</sub>-Emissionserhöhung von 0,5% in der Schweiz einhergeht, ist heute nur in Gebieten möglich, die lufthygienisch nicht stark vorbelastet sind und in denen vor allem die NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwerte eingehalten werden.
- Es sind Anstrengungen im Forschungs- und Entwicklungsbereich

**Literatur**

- [1] Buwal 1990: Energie aus Heizöl oder Holz? Eine vergleichende Umweltbilanz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 131 (Holz). 1185.

zu unternehmen, um auch in der Holzverbrennungstechnik ein verbessertes Emissionsverhalten anbieten zu können.

- Je nach Erfolg der heutigen Luftreinhaltepolitik kann es möglich werden, bis in ein paar Jahren auch in heute noch übermässig belasteten Gebieten vermehrt auch wieder Holz als Brennstoff unter Benutzung modernster Technologie einzusetzen.

Kohlenmonoxid ist der zweite Schadstoff, bei dem die Holzfeuerungen deutlich schlechter abschneiden als die Vergleichsenergie Öl. Der CO-Emissionsfaktor liegt, gemessen am LRV-Grenzwert für 1-5-MW-Anlagen, immer noch um das Doppelte zu hoch.

Gemäss den Berechnungen des Buwal werdem die gesamten CO-Emissionen zwischen 1990 und 1995 von heute fast 450 000 Tonnen pro Jahr auf etwa 333 000 t/a abnehmen. Eine Strategie der verstärkten Brennholznutzung würde diesen massiven Rückgang lediglich geringfügig verlangsamen. Gemessen an den heutigen Gesamtemissionen machen die 3000 t CO/a knapp 0,75% aus. Noch vor einigen Jahren wurde der LRV-Immissionsgrenzwert von 8 mg/m<sup>3</sup> in stark verkehrsbelasteten Gebieten häufig überschritten. In der Zwischenzeit hat sich die Situation aber wesentlich gebessert, und Messungen in der Stadt Zürich beispielsweise belegen, dass heute auch in verkehrsreichen städtischen Gebieten die CO-Grenzwerte eingehalten werden. CO ist somit im Sinne der LRV nicht ein «Sanierungs-Schadstoff».

Diese und weitere Überlegungen, insbesondere zur Toxikologie von CO, lassen den Schluss zu, dass die Erhöhung der CO-Emissionen durch eine Holz-Nutzungsstrategie zwar nicht er-

Leicht überarbeitete Fassung des Referates gehalten anlässlich des Seminars «Holz als Bau- und Brennstoff», Impulsprogramm Holz des Bundesamtes für Konjunkturfragen 1991, Bern, 23. Jan. 1991 und Zürich, 31. Jan. 1991.

wünscht ist, aber auch nicht die kritische Grösse darstellt. Die geringfügige Zunahme wäre zu verantworten.

Das Holzscenario würde die schweizerische Emissionsbilanz um mindestens 650 t Schwefeldioxid-Emissionen im Jahr entlasten. Zieht man die umliegenden Länder mit den Raffineriestandorten in die Bilanz mit ein, so vermindert sich der SO<sub>2</sub>-Eintrag in die Ökosphäre sogar um fast 1000 Tonnen pro Jahr.

Bei den Kohlenwasserstoffen weist das Holzscenario ebenfalls Vorteile gegenüber dem Öl auf. Die Verbesserung ist allerdings - gemessen am gesamten schweizerischen Ausstoss - gering und liegt im Promillebereich.

Die Partikel, die als staubförmige Mineralien und nicht vollständig verbranntes organisches Material anfallen, sind nicht nur z.T. sehr geruchsaktiv, sondern sie können auch kanzerogene Wirkungen haben. Bei Verwirklichung des Holzscenarios würde die gesamtschweizerische Emission um etwa 2,5% zunehmen. Durch Einsatz effizienter Filter könnte grundsätzlich die Emission von Staubeilchen vermindert werden. Bis heute sind jedoch die dafür verfügbaren und marktgängigen Zyklonabscheider nicht optimal wirksam. Die Staub- und Russproblematik dürfte den Hauptengpass für die erweiterte Holznutzung darstellen.

Bei den Schwermetallen besitzt die Holzstrategie eindeutige Pluspunkte. Die Verminderung der Einträge in die Ökosphäre als Folge der Substitution von rund 200 000 t/a des fossilen Brennstoffes Öl ist nicht zu vernachlässigen. Da Schwermetalle nicht abgebaut werden, akkumulieren sie sich in der Ökosphäre, insofern sind auch die jährlichen Mindereinträge von 14 kg/a beim Cadmium und je 150 kg/a bei Blei und Zink kumulativ wirksam.

Stickoxide, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe sind als Vorläufersubstanzen für die Bildung von Ozon zu betrachten. Wie sich das Holzscenario in dieser Hinsicht im Einzelfall auswirken würde, ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht vorauszusagen. Sicher ist nur, dass die zusätzlichen NO<sub>x</sub>-, CO- und Kohlenwasserstoff-Emissionen aus Holzfeuerungen zur Hauptsache im Winterhalbjahr anfallen, wenn die Gefahr der Ozonbildung nicht besonders gross ist.

**Ausblick**

Wenn man die einzelnen Punkte der Beurteilung nochmals durchgeht, so zeigt sich, dass das Hauptproblem der intensivierten Holznutzung einerseits bei den Stickoxiden und andererseits bei den Partikelemissionen liegt. Durch die Installation von Anlagen ausserhalb von Sanierungsgebieten lässt sich das Stickoxidproblem entschärfen. Auf der Partikelseite muss das Problem schwergewichtig mit Forschung und Entwicklung angegangen werden.

Somit reduziert sich die Frage nach der vermehrten Holznutzung im wesentlichen auf das Thema CO<sub>2</sub>- und Klimaschäden-Prävention. Die Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 600 000 bis 700 000 Tonnen pro Jahr für einen Aufwand von etwa 90 Mio Fr./a könnte in den kommenden Klimadiskussionen als durchaus lohnend eingestuft werden.

Die Umsetzung der Holzstrategie verlangt aber eine Reihe von intensiven und gründlichen Zusatzarbeiten:

- Der Aufbau von entsprechenden forstwirtschaftlichen Betriebseinheiten benötigt Zeit und ist sorgfältig zu planen.
- Die Mittel zur Förderung des Energieholzeinsatzes müssen von Bund und Kantonen bereitgestellt werden. Um dies zu realisieren, sind weitere Konkretisierungen des Szenarios unerlässlich.
- Forschung und Entwicklung - insbesondere bezüglich der Partikelabscheidung aus den Rauchgasen und der NO<sub>x</sub>-Reduktion - sind dringend notwendig.

Werden diese Anstrengungen unternommen, ist es möglich, dass mit der vermehrten Holznutzung nicht nur forst- und regionalwirtschaftliche Vorteile erzielt werden, sondern dass damit ein Beitrag zu einer schweizerischen Klimaschutzpolitik geleistet werden kann.

Adresse der Verfasser: E. Ledergerber, Dr. oec. HSG, Mathias Müller, dipl. phys. ETH, Infrac, Dreikönigstrasse 51, 8002 Zürich.