Zur Problematik der Verbrennung von mit Schutzmitteln behandeltem Holz *

E. Graf

EMPA, Abt. Biologie, Unterstr. 11, St. Gallen

Der Entwurf zur Änderung der Luftreinhalte-Verordnung von 1990 ist Anlaß, eine Übersicht zu geben über die in der Schweiz anfallenden Holzrest- und -abfallstoffe, über die bei der Verbrennung relevanten Wirkstoffe sowie über die Herkunft und mögliche Belastung des behandelten Holzes. Das Verhalten einiger Wirkstoffe beim Verbrennen wird aufgezeigt. Aus der Situationsanalyse wird für die Entsorgung eine Trennung in oberflächengeschütztes und in Druckverfahren imprägniertes Holz vorgeschlagen. Dabei sollte das erste zu den Holzbrennstoffen gezählt werden.

Problems regarding the combustion of wood treated with preservatives

The draft, intended to modify the "Air Protection Ordinance" of 1990, is the occasion to present a survey about the occurring wood residues, waste products, relevant active ingredients emanating from combustion and also the origin of the treated wood and its possible environmental load in Switzerland. The combustion behaviour of certain active ingredients is specified. Based on the situation analysis regarding waste disposal, a separation between surface treated and pressure impregnated wood has been advanced. In this relation, the former should fall into the "wood combustible range".

1 Einleitung

Die Entsorgung von mit Holzschutzmitteln behandeltem Holz sowie von Holzabfällen, wie sie beim Abbruch von Gebäuden anfallen, ist in der Schweiz gemäß dem Entwurf zur revidierten Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom März 1990 nur noch möglich durch Verbrennen in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) oder in einer Anlage zur Klinkerherstellung in der Zementindustrie. In der schweizerischen Holzwerkstoff-Industrie sind mit Schutzmitteln verunreinigte Resthölzer unerwünscht (Leukens 1990). Eine Entsorgung durch Verbrennen im Freien oder in einer anderen Anlage als den genannten oder in einer Deponie ist nicht erlaubt. Es ist nur der höchste Verbrennungsstandard zulässig. Diese Vorschrift basiert wohl auf der Befürchtung des Gesetzgebers, daß bei der Verbrennung von mit Holzschutzmitteln behandeltem Holz in besonderem Maße gefährliche Schadstoffe an die Umwelt abgegeben werden.

Aus der Sicht des mit Schutzmitteln behandelten Holzes ist der Entsorgungsweg geregelt. Es haben sich daher nur noch die Fachleute um die optimale Verbrennung, die Reinigung der Gase und die Entsorgung der Aschen und Filterstäube zu kümmern. Dennoch sind bei der Forst- und Holz-

wirtschaft noch verschiedene Fragen offen, da sie neue Pflanzenbehandlungs-, Holzschutz-, Sortier-, Wärmegewinnungs- und Entsorgungskonzepte erarbeiten müssen, um der Luftreinhalte-Verordnung zu genügen. Bei dieser Arbeit sind ökologisch und wirtschaftlich vertretbare Lösungen zu suchen, die bei einer Revision dieser Verordnung Eingang finden können und zu einer gleichwertigen Beurteilung aller Werkstoffe führen sollen.

2 Problematik

2.1 Herkunft behandelter Holzreststoffe

Im Wald wird teilweise das in Rinde gelagerte Rundholz mit Insektiziden behandelt. Säger schützen vorwiegend frisch eingeschnittenes Kiefern Schnittholz gegen Primärbläue und frisch gefällte Rundhölzer gegen Borken- und Werftkäfer. Zimmerleute führen nur an tragenden Bauteilen, nur auf Verlangen des Bauherrn oder oft gar keine Holzschutzbehandlung durch. Einen bioziden Oberflächenschutz weisen in der Regel Bauteile auf, die der Witterung ausgesetzt sind (z. B. Fenster, Fensterläden, Fassadentäfer). Die SIA-Bau-norm 164 enthält aber keine verpflichtenden Forderungen bezüglich eines notwendigen chemischen Schutzes des Holzes im Bauwesen. Druckimprägnierte Hölzer werden in Park- und Gartenanlagen sowie bei Erd-, Wasser- und Lawenverbauungen eingesetzt. Bei den Möbeln weisen höchstens Importprodukte aus südeuropäischen Ländern eine gegen Splintholzkäfer vorbeugende sowie antike Objekte eine gegen Nagekäfer bekämpfende Behandlung auf. In Altbauten wird gelegentlich bei einer Renovation eine bekämpfende Behandlung gegen den Hausbock oder den Echten Hauschwamm durchgeführt.

Dabei ist bei den 3860 öffentlichen Forstbetrieben, bei privaten Waldbesitzern und bei den ca. 10 000 Holzverarbeitenden Betrieben mit unterschiedlichen Mengen an unbehandelten und behandelten Holzreststoffen zu rechnen (Tabelle 1). Sie fallen an bei der Entrindung der Bäume, der Be- und Verarbeitung des Holzes sowie bei Renovation und Abbruch von Bauwerken. Dabei handelt es sich um Restholz wie z. B. Rinde, Schwarten, Spreißel, Späne, Sägemehl, Abschnitte sowie um Altholz wie z. B. Bauteile, Möbel, Verpackungen, Masten, Zäune u. a.

Diese Holzreststoffe wurden 1980 zu 45% als Industrie- rohstoffe, zu 40% als Energieträger in Betrieben und bei Privaten sowie zu 15% für diverse Zwecke wie z. B. Streu-Ersatz in der Landwirtschaft und als Rindenhumus im Gartenbau verwendet (Steinmann 1982). Aufgrund des Entwurfs zur

* Vortrag beim Forst- und Holzwirtschaftlichen Kolloquium an der ETH Zürich vom 28. 1. 1991

Tabelle 1. Verarbeitete Holzmen gen und anfallende Holzabfälle in der Schweiz (In Anlehnung an: Steinmann 1982)

Betrieb	Verarbeitetes Holz m ³	Abfallmenge	
		%	m ³
Forstwirtschaft:	4400 000	nb	nb ^a
1. Verarbeitungsstufe (Halbfabrikate):			
Sägerei	2 000 000	30	670 000
Zellstoffwerke	750 000	10	75 000
Plattenwerke	800 000	10	80 000
Fournierwerke	80 000	50	40 000
2. Verarbeitungsstufe (Fertigprodukte):			
Baufirmen ^b	190 000	100	190 000
Zimmereien	300 000	10	30 000
Schreinerei	900 000	25	225 000
Holzverpackungen	300 000	25	75 000
Holzwaren	60 000	40	24 000
Entsorgungsstufe:			
Altholz ^c			900 000 t

^a nb = nicht bekannt^b Baustellen- und Hilfsmaterial^c Gewisse Abfälle wohl bereits in 2. Stufe enthalten (siehe: Bau)

Änderung der Luftreinhalte-Verordnung (1990) muß hier eine wesentliche Nutzungsänderung eintreten, da alles mit Holzschutzmitteln behandelte Holz zu den „Abfällen“ und nicht mehr zu den „Holzbrennstoffen“ gezählt werden darf.

2.2 Schutzmittel und ihre Wirkstoffe

Beim Holzschutz werden Pflanzenbehandlungs- und Holzschutzmittel unterschieden. Unter Holzschutzmitteln werden gemäß Stoffverordnung (1986) „Erzeugnisse und Gegenstände, die zum Schutz von Holz verwendet werden und zu diesem Zweck Stoffe gegen holzerstörende und holzverfärbende Organismen, gegen Feuer oder andere Beeinträchtigungen enthalten“, verstanden. Darunter fallen auch Schutzmittel gegen Nutzholzborkenkäfer und Schnittholzbläue. Wird ein entsprechendes Produkt im Wald auf Rundholz gesprüht, so wird es als Pflanzenbehandlungsmittel angesprochen.

Als Holzschutzmittel werden auf Wasser basierte und organische Produkte eingesetzt. Je nach Schutzmitteltyp enthalten sie neben Wirkstoffen Bindemittel, Emulgatoren, Stabilisatoren, Pigmente und weitere Begleitstoffe. In den Lösemittelbasierten Produkten werden heute moderne Biozide eingesetzt, die z. T. auch im Pflanzen- und Vorratsschutz Anwendung finden (z. B. Pyrethroide und Triazole). In diesen Wirkstoffen kommen kritische Elemente wie z. B. Chlor und Schwefel etwa zu 10–20% und Stickstoff zu 5% vor. Die Begleitstoffe weisen oft eine höhere Konzentration auf als die Wirkstoffe.

Steinkohlenteeröl, das vorwiegend für Geleiseschwellen sowie für Lawinen- und Wasserverbauungen eingesetzt wird, enthält diverse polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, die eine gute Langzeitwirkung gegen Insekten und Pilze aufweisen.

Der Einsatz von Lindan, Dieldrin, Endrin und Arsen zum Schutz des Holzes ist seit 1971 gemäß der Verordnung über verbotene giftige Stoffe in der Schweiz verboten. Pentachlorphenol wird für Bauholz seit 10 Jahren nicht mehr eingesetzt. Seit dem 1. September 1989 sind die Übergangsfri-

sten gemäß Stoffverordnung (1986) abgelaufen. Seit diesem Zeitpunkt darf Holz weder mit Pentachlorphenol noch mit seinen Salzen gegen Schnittholzbläue behandelt werden. Die letzten beiden Betriebe, die Pfähle und Rebsticke mit Quecksilbersublimat behandelt hatten, mußten diese Produktion einstellen. Holz, das mit den obengenannten Wirkstoffen behandelt ist (z. B. tropisches Rund- und Schnittholz, Bauholz, Masten, Palisaden u. a.), darf nicht mehr importiert werden. In der Schweiz ist somit nur noch beim Altholz mit Altlasten dieser Wirkstoffe zu rechnen.

2.3 Wirkstoffbelastung des Holzes

Je nach Gefährdung des Holzes und geforderter Wirkungsdauer wird das Schutzmittel durch eine Oberflächenbehandlung wie Streichen, Spritzen, Tauchen oder mittels eines Druckverfahrens auf resp. in das Holz gebracht.

Im Wald und in der Sägerei wird durch eine Oberflächenbehandlung ein kurzfristiger Schutz des gelagerten Holzes bis ca. 6 Monate angestrebt. Zimmermann, Schreiner, Maler und Dachdecker haben in der Regel einen mittelfristigen Oberflächenschutz von 3 bis 15 Jahren zum Ziel. Muß ein Holzbauteil im Freien der Witterung ausgesetzt, in Erde eingegraben oder im Wasserbau eine Lebensdauer von mehr als 12 Jahren garantieren, kann dies nur noch durch eine industrielle Druckimprägnierung mit einer Eindringtiefe von ca. 30 mm erreicht werden. Liegt ein aktiver biogener Schaden vor oder ist bei Masten eine Nachpflege durchzuführen, so wenden Sanierungsfirmen und Konservatoren lokal Verfahren mit Depotwirkung an.

Diese verschiedenen Anforderungen führen zu unterschiedlicher Belastung des frisch behandelten Holzes mit Wirk- und Begleitstoffen des Schutzmittels (Tabelle 2). Dabei sind Reststoffe von frisch behandeltem Holz pro Kubikmeter oft mit Wirkstoffen höher belastet als die ganzen Bauteile. Sie stammen meist von den am intensivsten behandelten Bereichen, z. B. von den Holzoberflächen und den Hirnenden.

Für die gesamte schweizerische Rundholz-Behandlung wird mit ca. 1,2 t Permethrin gerechnet, was etwa einer zweimaligen Behandlung von 6–10% des Rundholzes eines Jahres entspricht. Nach dem Entrinden dürfte das Holz noch maximal bis 5% des ursprünglichen Permethrin-Gehaltes aufweisen (MAAG 1991). Bei Chlorpyrifos liegt der entsprechende Wert bei ca. 1%.

Der jährliche Einsatz von druckimprägniertem Holz wird auf 60 000–80 000 m³ geschätzt. Hier liegen keine Daten vor über den Schutzmittelgehalt zum Zeitpunkt des durch Fäulnis bedingten Ersatzes der Holzbauteile. Es werden aber zur Zeit entsprechende Voruntersuchungen an der EMPA in St. Gallen durchgeführt.

Je nach Wirkstoff und Zeitraum zwischen letzter Behandlung und Entsorgung muß beim Altholz mit einer wesentlich geringeren Belastung durch Wirkstoffe gerechnet werden als beim frisch behandelten Holz. Zwischen Behandlung und Entsorgung liegen meist mehrere Jahre der Alterung. Durch Auslaugung, Verdunstung, photochemischen und biologischen Abbau ist der Wirkstoffgehalt vermindert oder keiner mehr nachweisbar (siehe Fassadentäfer, Fensterläden u. a.). Nach ersten Untersuchungen der Firma Dr. MAAG (1991) wird auf behandeltem Holz, das an einem besonnten Standort der freien Bewitterung ausgesetzt ist, innerhalb eines Jahres der Permethrin-Gehalt um ca. 84% und jener von Chlorpyrifos um 75% reduziert. Auf Rinde beträgt der entsprechende Abbau ca. 35 resp. 45%.

Tabelle 2. Mögliche Schutzmittelbelastung von frisch behandeltem Holz (In Anlehnung an: Willeitner 1990 und Graf 1990)

Produkte	Schutzmittel	Einbringmenge in kg/m ³ Holz
Industrielle Druckverfahren		
Buchen-Schwellen	Teeröl	150
Palisaden (Fi/Ta)	Teeröl	80
Masten/Palisaden	CKB-Salze ^a	15
(Fi/Ta)	CFK-Salze	11
Bauholz (Fi/Ta)	Salze	min. 6
Gewerbliche Oberflächenbehandlung:		
Pfähle, Stickle	Quecksilbersublimat ^b	0,7
Bauholz ^c	Bor	0,2 – 0,8
Bauholz ^c	PCP ^d	0,3 – 1,2
	neue Fungizide	0,1 – 0,5
	Lindan ^e	0,07 – 0,3
	Permethrin ^f	0,003–0,01
Schnittholz (Bläue) ^g	neue Fungizide	0,01
Rundholz	Permethrin	0,006
(Borken-/Werftkäfer)		

^a Salz-Zusammensetzung: Chrom: 13–25%; Kupfer: 8–10%; Bor: 1–4%; Fluor: 10% oder Arsen: 13–15%. Arsen ab 1971 nur in Importholz (ab 1989 verboten)

^b Quecksilbersublimat: In geringen Mengen bis zum generellen Verbot 1989 in 2 Werken verwendet und mit behandeltem Holz importiert

^c Angenommene Holzquerschnitte: Balken: 120 × 120 mm; Fassadenbretter: 20 × 120 mm (Voraussetzung alle Flächen behandelt)

^d PCP seit ca. 1980 am Bauholz und seit 1989 am Schnittholz nicht mehr im Einsatz (seit 1989 in Schutzmitteln und auf Importholz verboten)

^e Lindan seit 1971 nur noch auf Importholz (seit 1989 in Schutzmitteln und auf Importholz verboten)

^f Permethrin-Gehalt bei bekämpfender Behandlung ca. Faktor 4 höher

^g Angenommener Brettquerschnitt: 40 × 260 mm (Voraussetzung alle Flächen behandelt)

Tabelle 3. Gehalt einiger chemischer Elemente im Restholz in Abhängigkeit vom Sortiment (Anonym, 1990) (Angaben in g/t)

Element	Bauholz SA ^a	Bauholz MMS ^b	Möbel	Verpak- kungen	Wald- schnittel
n-Proben	2	5	2	1	1
Schwefel	3800	nd	nd	0,4	< 0,2
Chlor	3005	663	1490	200	72
Fluor	115	96	150	< 20	< 20
Bor	14	nd	< 5	< 6	8
Kupfer	6387	12	31	2	3
Chrom	175	18	19	0,5	0,7
Zinn	89	7	9	< 1	< 1
Arsen	1,5	1,3	1,3	< 0,1	< 0,1
Quecksilber	1	0,2	0,1	1,0	0,02

^a Bauholz aus Sortieranlage

^b Bauholz aus Mehrmuldensystem

Entsprechend den Resultaten der vielen von der EMPA geprüften Schutzmittel sind die heute gebräuchlichen Isothiazole, Triazole und Jodocarbamate als Fungizide nur so lange beständig, als sie durch einen Deckanstrich vor einer direkten Bewitterung geschützt sind.

Erste Analysen von Bühler (1990) zeigen (Tabelle 3), daß die in Schutzmitteln enthaltenen Elemente Fluor, Chlor, Kupfer und Chrom bei zwei Bauholzsortimenten nicht in re-

Tabelle 4. Pentachlorphenol(PCP)- und Lindan-Gehalt von Altholz-Hackschnitzeln (in Anlehnung an Schriever 1989)

Wirkstoff A. i.	Gehalt in g/t Hackschnitzel			
	x ^a	Min.	Max.	Sollwert ^b
PCP	1,62	0,42	3,9	600–2400
Lindan	0,88	n. n. ^c	2,6	140– 600

^a x = Mittelwert aus 7 Hackschnitzelpuben

^b Sollwert: wenn alles Holz bei der Herstellung behandelt worden wäre und kein Abbau stattgefunden hätte

^c n. n. = nicht nachweisbar

Tabelle 5. Konzentrationen ausgewählter Elemente in Holz und Hausmüll (Werte in g/t) (Vehlow 1990)

Element	Holz ^a	Holz ^b	Müll ^c
S	–	500	1 000
Cl	10 – 100	400	7 700
K	100 – 1 000	700	4 700
Cu	0,1– 1	20	630
Zn	10 – 100	50	1 200
Cd	1 – 10	–	8

^a Analyse Fengel

^b Analyse Vehlow

^c Analyse Schneider

levanten Mengen vorkommen. Der Chloridgehalt liegt bei den Möbeln, welche in der Regel nicht mit Schutzmitteln behandelt sind, wesentlich höher als beim Bauholzsortiment. Dies deutet auf eine geringe Wirkstoff-Grundlast beim Bauholz hin. Bei dieser Abfallgruppe besteht keine Korrelation zwischen Kupfer und Chrom, die auf einen wesentlichen Anteil von druckimprägniertem Holz schließen ließe. Auch Altholz-Hackschnitzel-Analysen aus Deutschland, wo die DIN 68 800 gilt, zeigen, daß der Wirkstoff-Gehalt des Holzes wesentlich tiefer liegt als bei frisch behandeltem Holz zu erwarten wäre (Tabelle 4).

Nach Untersuchungen verschiedener Autoren (Vehlow 1990) sind die kritischen Konzentrationen von Chlor und Kupfer im Holz mindestens zehnmals geringer als im Müll (Tabelle 5). Es können zwar nicht generell im Ausland gewonnene Daten übertragen werden, da in der Schweiz im Bauwesen nie eine Pflicht für einen chemischen Holzschutz bestand und bestimmte Produkte oder Verfahren nie angewendet wurden. Es wurden hier z. B. weder im Druckverfahren mit Pentachlorphenol (PCP) behandelte Masten und Rundhölzer eingesetzt, noch wurde das Bauholz mit Bifluoriden gegen Hausbock behandelt.

Aus diesen Betrachtungen folgt, daß die Holzreststoffe sehr dezentral anfallen. In den meisten Einsatzbereichen des Holzes ist dabei nur ein Teil des Holzes behandelt. Statistische Angaben über den Anteil des behandelten Rest- und Abfallholzes liegen zur Zeit keine vor. Somit müßte die Menge des behandelten Holzes und seiner Belastung geschätzt werden nach den einzelnen Einsatzbereichen des Holzes, seiner Gefährdung (prEN 335-1), der Anzahl Renovationen und dem jährlichen Verbrauch an Schutzmitteln minus dem Verlust an Wirkstoffen durch Verdunstung, Auslaugung, photochemischen und biologischen Abbau.

2.4 Sortierung des behandelten Holzes

Der unterschiedliche Anteil an behandelten Holzresten in den verschiedenen Anwendungsbereichen und die variable

Schutzmittel-Belastung des Holzes zum Zeitpunkt der Entsorgung machen die Schwierigkeit deutlich, im Bereich der Forst-, Holz- und Bauwirtschaft nach dem Oberflächenverfahren behandelte von unbehandelten Holzreststoffen zu trennen. Es liegen keine einfachen Nachweismethoden für eine Sortierung vor.

Die Motivation zur Sortierung dürfte den Betrieben schwerfallen, da gemäß dem Entwurf zur Änderung der Luftreinhalte-Verordnung (1990) „gestrichenes, lackiertes oder beschichtetes Holz sowie daraus anfallende Reste, soweit keine Holzschutzmittel aufgetragen resp. keine Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen (z. B. PVC) enthalten sind“, zu den normalen Holzbrennstoffen zählen. Alles mit Schutzmitteln behandelte Holz wird aber dem „Abfall“ zugeordnet, für welchen ein höherer Verbrennungsstandard gefordert wird. Dies würde bedeuten, daß alle Mischsortimente von behandeltem und unbehandeltem Holz nicht mehr im eigenen Betrieb zur Energiegewinnung genutzt oder z. B. für Holzwerkstoffe weiterverwendet werden könnten, sondern direkt als „Abfall“ über eine Kehrichtverbrennungsanlage oder die Zementindustrie entsorgt werden müßten.

2.5 Verbrennung

Hauptproblem bei der Verbrennung von Holzabfallstoffen ist, daß noch sehr wenig Analysedaten vorliegen über die Belastung von Holzrest- und -altstoffen mit Schutzmitteln sowie über deren Verhalten bei der Verbrennung unter Praxisbedingungen in Kehrichtverbrennungsanlagen, Öfen der Zementindustrie und Betriebsöfen der Holzwirtschaft. Daß die Verbrennung von Holzreststoffen und Altholz in Industrie und Gewerbe besonders umweltbelastend sei, da die dort anfallenden Brennstoffe holzfremde Bestandteile enthalten, ist in dieser verallgemeinerten Form sicher nicht richtig. Es muß zwischen stark und wenig umweltrelevanten Stoffen und Konzentrationen der behandelten Hölzer unterschieden sowie der prozentuale Anteil von behandeltem zu unbehandeltem Holz berücksichtigt werden. Die Holzabfallstoffe müssen auch im Zusammenhang mit dem Gesamtmüll betrachtet werden, der entsorgt werden muß.

2.5.1 Organische Wirkstoffe

Viele organische Schutzmittel lassen sich bei üblichen Brennbedingungen zerstören. Der thermische und oxidative Abbau der Wirk- und Begleitstoffe ist abhängig von der Ofentemperatur bei der Beschickung, von der Verbrennungstemperatur und damit auch von der Geschwindigkeit der Verbrennung sowie der Verweilzeit der Holzschnitzel im Ofen.

Die Umweltrelevanz der Emissionen von Halogenen, Halogenwasserstoffen und Schwefeloxid dürfte gering sein, da entsprechende Schutzstoffe nur in geringen Mengen im Holz enthalten sind und die relevanten Elemente nur Bruchteile der Molekülmasse bilden. Bei einem Vergleich von Biozidanalysen aus Rinde und Holz ist stets zu berücksichtigen, daß Chlor in 3–5mal und Schwefel in 10–22mal höheren Dosierungen in Rinde vorkommt als im Holz (Marutzky 1990a).

Wird Rinde, die gegen Borken- und Werftkäfer mit Lindan resp. mit Chlорpyrifos behandelt worden war, schnell bei 600 °C verbrannt, so werden beide Wirkstoffe thermisch und oxidativ vollkommen zersetzt. Es ist mit keinen Emissionen zu rechnen. Steigt aber die Temperatur nur langsam in 30 min auf 500 °C an, so werden 43% des Lindans resp. 28%

des Chlорpyrifos emittiert (Bush 1987). Da nach viermonatiger Freilandlagerung der behandelten Stämme der Wirkstoffgehalt wesentlich reduziert war, schloß Bush, daß unter Berücksichtigung des ADI-Wertes der WHO und unter den schlechtesten Bedingungen beim Verbrennen im Hausbrand keine Gefährdung des Menschen besteht. Eine Studie von McMahon (1985) an mit fünf Herbiziden, Lindan und Chlорpyrifos behandelten Baumstämmen zeigte, daß bei schneller Verbrennung bei 600 °C 95% der Biozide zersetzt waren. Die Emissionen bei 500 resp. 600 °C betrugen bei Lindan und Chlорpyrifos 7 resp. 0,5%. Bei den modernen Wirkstoffen dürfte mindestens mit den gleichen Zerfallsraten zu rechnen sein.

Bei der Verbrennung bestimmter mit Pentachlorphenol (PCP) behandelter Hölzer können unter Umständen erhöhte Dioxin-Emissionen erwartet werden. Dabei liegt die optimale Bildungstemperatur bei 300 °C (Thoma 1988). Sheffield (1985) schätzt, daß in Kanada, wo PCP in wesentlich größeren Mengen eingesetzt wird als in der Schweiz, bei der Müllverbrennung pro Jahr ca. 0,25–13,7 kg und bei der Altholzverbrennung 0–30 kg Dibenzo-p-dioxine emittiert werden. Andere Autoren verweisen, daß bei Brennversuchen mit imprägnierten Hölzern und anderen Biomassen nur eine geringe bis mäßige Zunahme der Dioxin-Emission gegenüber unbehandeltem Holz zu verzeichnen ist (Rappe 1978; Olie 1983). Bei Temperaturen oberhalb von 500 °C und mit Sauerstoff im Überschuß werden chlorierte Aromaten wie andere Aromaten oxidiert.

Noch unveröffentlichte Messungen aus Deutschland und Holland weisen darauf hin, daß die Dioxin-Emissionen bei der Verbrennung von Holz viel stärker von der Verbrennungsqualität abhängig sind als von der Belastung mit chemischen Verunreinigungen (Nussbaumer 1990).

Mit Teeröl imprägnierte Hölzer führen unter unzulänglichen Brennbedingungen zu deutlich höheren Kohlenwasserstoff-Emissionen als unbehandelte Hölzer. Dabei besteht vor allem die Gefahr der Emission von polycyclischen Verbindungen. Daher ist bei den mit Teeröl imprägnierten Hölzern neben der kontrollierten Verbrennung in Kehrichtverbrennungsanlagen auch die Kompostierung in Betracht zu ziehen (s. Kap. 3.6).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß sich Emissionen toxischer organischer Stoffe durch einen guten Ausbrand oder durch Nachoxidation minimieren lassen. Die Asche selbst verändert sich insgesamt bei der Verbrennung von Spanplatten, Faserplatten und anderen Holzwerkstoffen unter dem Gesichtspunkt der Umwelt- und Entsorgungsrelevanz gegenüber naturbelassenem Holz nur wenig (Marutzky 1990b).

2.5.2 Anorganische Wirkstoffe

Die Elemente Phosphor und Bor sind aus ökologischer Sicht nach dem heutigen Kenntnisstand relativ unbedenklich (Marutzky 1990c). Bei Anfall in größeren Mengen kann Bor den Schmelzpunkt der Asche wesentlich verringern und evtl. zu Korrosionen führen.

Elemente oder Verbindungen mit relativ niedrigem Siedepunkt wie Arsen, Quecksilber, Zinn und Zink reichern sich im Rauchgas und damit in besonderem Maße in der Flugasche an. In einem Praxisversuch in einer Industrieanlage, wo bis 400 kg CCA-behandeltes Holz pro Stunde verbrannt wurden, konnten bis 45 mg Arsen/m³ Gas gemessen werden (Dobbs 1976). Unter Brennbedingungen von 400–1000 °C können auch 6–22% des vorhandenen Kupfers und Chroms abgegeben werden (McMahon 1986). Während von Kupfer

Tabelle 6. Übersicht gebräuchlicher anorganischer Wirkstoffe in Holzschutzmitteln und ihre Bedeutung bei der Verbrennung (Marutzky 1990d)

Element	Verbindungen	Umwelt-relevant	Auftreten in		
			Asche	Flugasche	Gas
Phosphor	Phosphate	—	++	++	—
Bor	H ₃ BO ₃ , Na ₂ B ₄ O ₇	—	++	+	—
Fluor	NaF, (NH ₄) ₂ HF ₂	+	+	+	(+)
Quecksilber	HgCl ₂ ^a	+++	?	+	++
Arsen	As ₂ O ₃ , Na ₃ AsO ₄ ^a	+++	+	++	++
Chrom	Na ₂ Cr ₂ O ₇ , K ₂ Cr ₂ O ₇	++	++	+	—
Kupfer	CuSO ₄	+	++	+	—
Zinn ^b	Tributylzinn	+	++	+	—
Zink	ZnCl ₂	+	++	+	—

^a Quecksilber und Arsen seit 1986 in CH verboten, Arsen seit 1971 in CH nur noch in Importholz, Quecksilber seit 1971 bis 1987 nur noch in zwei Anlagen eingesetzt

^b Wirksam nur als metallorganische Verbindung

und Chrom der größte Teil in der Asche vorliegt, ist dort von Arsen nur ca. 5–10% zu finden (Anonym 1980). Da Kupfer, Chrom und Bor vorwiegend in den Aschen und Schlacken verbleiben, kommt bei Anwesenheit guter Staubabscheider ihrer Emission weniger Bedeutung zu als den alten Wirkstoffen Arsen und Quecksilber. Das Kupfer, welches zum Hauptteil aus dem Müll und nicht aus dem Holz stammt (Hofer 1990), kann wohl eine katalytische Wirkung bei der Dioxin-Bildung ausüben (Anonym 1988). Nach Bühler (1990) sind aber die lufthygienisch relevanten Stoffe im Altholz Blei, Zink und Cadmium, die alle nicht Grundbestandteile von Holzschutzmitteln sind.

Als erster versuchte Marutzky (1990d), in einer Übersicht die relative Umweltrelevanz einiger Holzschutzmittel-Wirkstoffe beim Verbrennen darzustellen (Tabelle 6).

3 Lösungsansätze zur Entsorgung

Es ist Ziel, behandelte Resthölzer und Holzabfälle zu vermeiden, zu verringern und zu verwerten. Daher darf für Altholz und Restholz die Verbrennung nicht als einziger Weg offenbleiben.

3.1 Verminderung und Ersatz

Problematische Wirkstoffe in Holzschutzmitteln sollten ersetzt werden, wenn echte Alternativen vorliegen, die das Holz wirksam schützen, toxikologisch weniger bedenklich und für die Umwelt nicht nur beim Verbrennen, sondern auch bei der Anwendung und am Einsatzort weniger belastend sind. Zollbehörden und die kantonalen Laboratorien haben darauf zu achten, daß kein Holz mehr importiert wird, welches mit verbotenen Wirkstoffen behandelt ist.

Gleichzeitig ist die Anwendung von Holzschutzmitteln und Wirkstoffen da zu vermindern, wo sie nicht notwendig sind. Als Beispiel mögen gut belüftete Bauteile mit einer Dicke von weniger als 25 mm, z. B. Fassadentäfer, dienen, die weder mit Wirkstoffen gegen Insekten noch gegen holzerstörende Pilze zu behandeln sind. Bei Anstrichen mit einer ästhetischen Funktion genügen Wirkstoffe zur Verlängerung des Witterungsschutzes gegen Sekundärbläupilze. Holz für witterungsgeschützte Konstruktionen sollte vor dem Einbau auf mindestens 18% getrocknet werden, um Pilzprobleme zu vermeiden. Damit könnte im Hochbau auf

den Einsatz von Wirkstoffen gegen Primärbläue und Schimmel verzichtet werden.

Bei der Sanierung biogener Schäden besonders bei Altbauten ist darauf zu achten, daß nur aktiv befallene Bauteile und keine gesunden Hölzer mit bekämpfenden Schutzmitteln behandelt werden (Graf 1989a).

3.2 Kennzeichnung

Im Hochbau wäre z. B. bei Dachkonstruktionen eine Aufschrift mit einem Vermerk auf eine vorbeugende oder bekämpfende Behandlung, das Schutzmittel und das Behandlungsjahr möglich, die einen Hinweis für die spätere Sortierung und Entsorgung geben könnte.

3.3 Wiederverwertung und Recycling

Druckimprägnierte Hölzer wie Leitungs-Masten und Geleise-Schwellen können für Zäune, Palisaden, Gartenanlagen u. a. weiterverwendet werden. Dadurch kann der Verbrauch an Schutzmitteln und die Menge der zu entsorgenden Hölzer reduziert werden, weil weniger Holz imprägniert werden muß (Graf 1989b). Bei den mit Teeröl imprägnierten Hölzern kommt hinzu, daß sie mit der Zeit abbaubar sind.

Eine weitgehende Wiederverwertung von Reststoffen in der Holzwerkstoff-Industrie ist nur möglich, wenn mit Schutzmitteln gering belastetes Holz nicht vorher aussortiert werden muß [CH-Bedarf: ca. 150 000 m³ (Leukens 1990)]. Den Verwenden von Rest- und Altholz kann nicht zugemutet werden, eine Eingangskontrolle auf Holzschutzmittel durchzuführen. Sollen gar geschützte Holzwerkstoffe hergestellt werden, würde es sich empfehlen, intensiv mit Salzen behandelte Holzabfälle zu verwenden, um den Gesamtverbrauch an Schutzmitteln zu reduzieren.

Eine Weiterverwendung auch von mit Pyrethroiden behandeltem Rinden-Mulch und -Humus sollte möglich sein. Die Rinde fällt in der Regel erst einige Monate nach der Behandlung der frei bewitterten Stämme an. Pyrethroide werden sowohl photochemisch und in Erdkontakt auch biologisch abgebaut (Agnihotri 1986). Bei einer Verrottung von im Oberflächenverfahren behandeltem Holz wird Permethrin bei 26 °C innerhalb von drei Wochen zu ca. 50% abgebaut (Yoshimura 1989). Dabei ist auch zu berücksichtigen,

daß Rinde ohnehin erst nach einer Kompostierung in Form von Humus als Bodenverbesserer eingesetzt werden kann (Grantzau 1990).

3.4 Sortierung

Eine Gleichbehandlung aller mit Holzschutzmitteln belasteten Hölzer dürfte wohl aus ökologischen Gründen nicht vertretbar sein (Graf 1990). Eine undifferenzierte Beschränkung dürfte sich auch insofern negativ auswirken, daß kein Anreiz mehr bestünde, umweltfreundlichere Schutzmittel und Verfahren zu entwickeln und einzusetzen sowie Holzreststoffe und -abfälle zu sortieren. Bis weitere Grundlagenkenntnisse vorliegen, sollte daher für Holzrest- und -altstoffe ein gesamtschweizerisches Konzept entworfen werden, das eine Sortierung erlaubt, z. B. in:

- a) Holzbrennstoffe
(= unbehandeltes und in Oberflächenverfahren behandeltes Holz),
- b) Holzabfälle
(= problematische Holzabfälle und intensiv in Druckverfahren behandeltes Holz).

Mit entsprechenden Sortierungsklassen könnte das Mehrmuldensystem für Altholz, wie es das Konzept des Kantons Luzern vorsieht, gefördert werden. Das Altholz käme dabei auch nicht mehr in Kontakt mit Schadstoffen von anderen Abfällen. Denn erst bei einer Bauspergut-Sortieranlage kann in der Regel nicht mehr eruiert werden, ob die chemische Belastung des Holzes von einer Oberflächenbehandlung, einer Beschichtung, einer Holzschutz-Behandlung oder auf andere Bauabfälle zurückzuführen ist (Tabelle 3).

3.5 Verbrennung

Gering belastete Holzrest- und -abfallstoffe sollten der Klasse der Holzbrennstoffe zugeordnet werden. Damit könnte eine Sortierung erleichtert, umweltbelastende Transporte vermindert und dezentrale Wärmegegewinnung gefördert werden. Nach Marutzky (1990e) lassen sich auch die meisten Aschen von Holzreststoff-Feuerungen ohne besondere Anforderungen entsorgen oder weiterverwenden, z. B. als Dünger in der Forstwirtschaft (Kofman 1987).

Durch intensive Holzschutzbehandlung stark belastete Hölzer (= Holzabfälle) sind zur Zeit in Anlagen mit dem höchsten Ausrüstungsstandard zu verbrennen. Dabei ist die Art der Entsorgung der Filterstäube und Aschen von der Zusammensetzung abhängig. Nicht in jedem Fall dürfte die Entsorgung der behandelten Rückstände als Sondermüll notwendig sein. Es ist aber zu beachten, daß Flugaschen und Filterstäube wesentlich stärker mit Schwermetallen, Halogeniden und organischen Substanzen belastet sein werden, als Aschen und Schlacken aus Brennkammern (Marutzky 1990e).

Gemäß dem Entwurf zur revidierten Luftreinhalte-Verordnung (1990) ist das Verbrennen von Holz im Freien nur unter Einschränkungen möglich. In der Forstwirtschaft sollte aber während Käferjahren zur Vorbeugung einer stärkeren Ausbreitung dieser Insekten das Verbrennen von Rinde im Wald gestattet sein.

3.6 Kompostierung

Bei den thermisch sehr stabilen Teerölen stellt sich die Frage, ob die mit diesen Schutzmitteln behandelten Hölzer nicht

besser kompostiert oder am Einsatzort (siehe Lawinenverbauungen) verfaulen sollen. Teeröle sind biologisch abbaubar (Kerner-Gang 1976), und der Abbau des behandelten Holzes ist erst möglich, wenn auch die fungiziden Komponenten des Schutzmittels abgebaut sind. Hier besteht auch keine Gefahr einer Schwermetallbelastung des Bodens.

4 Ausblick

In nächster Zeit werden die Umweltschutz-Gesetzgebung und die daraus folgenden Verordnungen einen wesentlichen Einfluß ausüben auf den Holzschutz und damit auch auf die möglichen Anwendungsbereiche des Holzes. Es ist nun Aufgabe der Forst- und Holzwirtschaft, nicht in defensiver abwartender Stellung zu verharren, sondern aktiv und konstruktiv an der Zukunft des Werkstoffes Holz und seinen Einsatzmöglichkeiten durch Forschung, Entwicklung und neue Konzepte zu arbeiten. Es ist aber auch Pflicht der Politiker und Behörden, den verschiedenen Stoffen und Materialien angepaßte, ökologisch optimierte Umweltschutz- und Entsorgungskonzepte mit Hilfe von Forschungs- und Entwicklungsmitteln, durch steuerliche Anreize sowie durch eine stärker differenzierte Gesetzgebung zu fördern.

Zum Thema Holzschutz und behandeltes Holz bedarf es für eine objektive und umfassende Beurteilung mehr Kenntnisse über die mögliche Belastung der Umwelt bei der Herstellung der Schutzmittel, bei der Behandlung des Holzes in Abhängigkeit vom Verfahren, am Lager- und Einsatzort des geschützten Holzes, bei der Entsorgung des behandelten Rest- und Altholzes und bei der eventuellen Wiederaufbereitung resp. Rückgewinnung von Stoffen und Elementen. Dazu ist es notwendig, den Anteil des behandelten Holzes und seinen Gehalt an Schutzmitteln in den verschiedenen Holzverarbeitenden Betrieben und den diversen Anwendungsbereichen zu kennen. Aus dem Schutzmittelverbrauch allein kann nicht auf die Menge des behandelten Holzes geschlossen werden, da durch Renovationen Mehrfachbehandlungen gleicher Hölzer möglich sind. Es sind aber auch Untersuchungen anzustellen, die Auskunft geben über die bei Rest- und Altholz anfallenden Schutzmittelrückstände sowie über den biologischen und photochemischen Abbau der Schutzmittel am und im behandelten Holz.

Bei einer weitsichtigen Holzpolitik ist zu beachten, daß unserem einheimischen Rohstoff Holz bestimmte Anwendungsbereiche nur erschlossen werden können, wenn ein adäquater Holzschutz mit Produkten möglich ist, die durch ihre Wirksamkeit die Dauerhaftigkeit, Tragfähigkeit und damit Sicherheit der Konstruktionen sichern und ein möglichst geringes Risiko für Mensch und Umwelt bedeuten.

5 Literatur

- Agnihotri, N.P. et al. 1986: Persistence of some synthetic pyrethroid insecticides in soil, water and sediment. Part. 1. J. ent. Res. 10(2):147-151
- Anonym, 1980: Wood-preserving wastes – a technical memorandum on arisings, treatment and disposal including a code of practice. Waste Management Paper No 16. Dep. of the Environment. London Her Majesty's Stationery Office: 31 s
- Anonym, 1988: Dioxin-Entstehung bei der Müllverbrennung. Kernforschungszentrum Karlsruhe. Neue Zürcher Zeitung (75), 30.3.1988, s.88
- Anonym, 1990: Altholzkonzent Kanton Zürich. Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich. Zürich (Kurzfassung), 37 s

- Bühler, R. 1990: Altholzpotalential in der Schweiz und Konzepte zur Nutzung von belastetem Holz: 129–153. In: Nussbaumer, T. (Ed.) *Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz*. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern (173 s)
- Bush, P.B. et al. 1987: Residues of lindane and chlorpyrifos in firewood and woodsmoke. *J. Entomol. Sci.* 22 (2):131–139
- Dobbs, A.J.; Grant, C. 1976: Report on the burning of wood treated with wood preservatives containing cooper, chromium and arsenic. CP 63/76. Building Research Establishment, Dep. of the Environment, Garston, Watford: 9 s
- Graf, E. 1990: Probleme beim Verbrennen von Holz. Vortrag, gehalten beim Seminar der Interessengemeinschaft Holzschutz (IGH), 15. 5. 1990 in Bern
- Graf, E. 1989a: Ökologische Aspekte zur chemischen Hausbock-Bekämpfung. *Holz Roh- Werkstoff* 47:383–387
- Graf, E. 1989b: Ökologische Aspekte des technischen Holzschutzes. *Bulletin SEV/VSE* 80(4):170–172
- Grantzau, E. 1990: Verwertung von Rinden im Gartenbau: 73–102. In: Marutzky, R. (Ed.) *Verwertung, Vermeidung und Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen in der Forst- und Holzwirtschaft*. Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung, Braunschweig, WKI-Bericht Nr. 22:235 s
- Hofer, P. 1990: Mündliche Mitteilung, EMPA, Dübendorf
- Kerner-Gang, W. 1976: Einwirken von Mikroorganismen auf Steinkohlenteeröl. *Material und Organismen*, Beiheft 3:319–330
- Kofman, P.D. 1987: Aske Fra Flisfyrede Varmevaerker. Bericht 3, 1987. Danish Institute of Forest Technology. Eigenverlag, Frederiksberg
- Leukens, U. 1990: Reststoffanfall und Nutzung in der Holzwerkstoff-Industrie: 113–128. In: Nussbaumer, T. (Ed.) *Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz*. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern: 173 s
- MAAG, 1991: Persönliche Mitteilung der Fa. Dr. R. MAAG, Dielsdorf
- McMahon, C.K. et al. 1985: Pesticides released from burning treated wood: 145–154. In: *Proceedings of the 8th Conference on Fire and Forestry Meteorology*. Detroit
- McMahon, C.K. et al. 1986: How much arsenic is released when CCA treated wood is burned? *For. Prod. J.* 36 (11/12):45–50
- Marutzky, R. 1990a: Verwertung, Vermeidung und Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen in der Forst- und Holzwirtschaft. Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung, Braunschweig, WKI-Bericht Nr. 22:235 s
- Marutzky, R. 1990b: Rauchgasemissionen und Ascherückstände bei der Verbrennung von Holzresten aus Industrie und Gewerbe: 87–112. In: Nussbaumer, T. (Ed.): *Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz*. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern: 173 s
- Marutzky, R. 1990c: Entsorgung von mit Holzschutzmitteln behandelten Hölzern – Möglichkeiten und Probleme. *Holz Roh- Werkstoff* 48:19–24
- Marutzky, R. 1990d: Entsorgung von kesseldruckimprägniertem Holz – Probleme und Lösungsmöglichkeiten. Vortrag beim Deutschen Holzschutz-Verband (DHV) am 29. 9. 1990 in Regensburg: 16 s
- Marutzky, R. 1990e: Zur Entsorgung und Verwertung von Aschen und Filterstäuben von Holzfeuerungen: 213–230. In: Marutzky, R. (Ed.) *Verwertung, Vermeidung und Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen in der Forst- und Holzwirtschaft*. Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung, Braunschweig, WKI-Bericht Nr. 22:235 s
- Nussbaumer, T. 1990: Grundlagen der Holzverbrennung: 7–30. In: Nussbaumer, T. (Ed.) *Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz*. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern (173 s)
- Olie, K. et al. 1983: Formation of fate of PCDD and PCDF from combustion processes. *Chemosphere* 12:627–636
- Rappe, C. et al. 1978: Formation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and Dobenzofurans (PCDFs) by burning or heating chlorophenates. *Chemosphere* 3:269–281
- Schriever, E. 1989: Gehalte an Pentachlorphenol (PCP) und Lindan in Holz, Holzwerkstoffen, Holzspänen aus Möbeln und Spanplattenindustrie sowie in Altholzhacksnitzeln. WKI-Kurzbericht Nr. 43/89. Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung, Braunschweig, 2 s
- Sheffield, A. 1985: *Chemosphere* 14:811
- Steinmann, P. 1982: Holzabfälle in den Holzverarbeitenden Betrieben. *SAH Bulletin* 10(2):4–29
- Thoma, H. 1988: PCDD/F-concentrations in chimney soot from house heating systems. *Chemosphere* 17 (7):1369–79
- Vehlow, J. 1990: Auftreten von Dioxinen bei der Holzverbrennung und Möglichkeiten der Minimierung. In: Marutzky, R. (Ed.) *Verwertung, Vermeidung und Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen in der Forst- und Holzwirtschaft*: 191–212. Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung, Braunschweig, WKI-Bericht Nr. 22:235 s
- Willeitner, H. 1990: Entsorgung von schutzmittelhaltigen Hölzern – eine kritische Übersicht: 139–162. In: Marutzky, R. (Ed.) *Verwertung, Vermeidung und Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen in der Forst- und Holzwirtschaft*. Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung, Braunschweig, WKI-Bericht Nr. 22:235 s
- Yoshimura, T. et al. 1989: Effects of soil burial on the termiticidal performance of pyrethroids. *Material und Organismen* 24(3):227–236
- Verordnung über verbotene giftige Stoffe, 1971. EDMZ 814.839, Bern: 3 s
- Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung), 1986. EDMZ-Nr. 814.013, Bern: 86 s
- Luftreinhalte-Verordnung (LRV), 1985 (Stand: 1. 10. 1987) EDMZ-Nr. 814.013, Bern: 66 s
- Entwurf zur Änderung der Luftreinhalte-Verordnung (LRV), März 1990. Bundesamt für Umwelt, Wald, Landschaft (BUWAL): Bern
- SIA 164: Holzbau. Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich: 79 s
- prEN 335 Teil 1: Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall – Vollholz (April 1990). Europäisches Komitee für Normung, Brüssel: 15 s