

## Erfahrungen über Formaldehyd-Raumluftkonzentrationen in Schulneubauten

von Maria Deimel

### Einleitung

In einer von drei gleichzeitig in Betrieb genommenen Kölner Gesamtschulen häuften sich im vergangenen Jahr vier bis sechs Wochen nach der Eröffnung durch Geruchsbelästigung hervorgerufene Beschwerden. Die Zahl der Beschwerden von Lehrern und Schülern nahm in dieser Schule überdurchschnittlich zu. Die Symptome waren ähnlich: Kopfschmerzen, Übelkeit, Augen- und Rachenreizung.

Bei der Untersuchung der Schulraumluft in klimatisierten und nicht klimatisierten Räumen wurden neben Kohlenwasserstoffen aus Lösungsmitteln – beispielsweise von Farben und Klebern – Konzentrationen von Formaldehyd in Höhe der maximalen Arbeitsplatzkonzentration, die zur Zeit 1 ppm beträgt, ermittelt.

Als Emissionsquellen kamen mit Harnstoff-Formaldehyd-Harz gebundene Akustik-Deckenplatten und Möbel infrage. Dieses Bindemittel spaltet im Herstellungsverfahren beim Aushärten der Spanholzplatten Formaldehyd ab. Vielfach kommt es auch nach der Aushärtung zu nachhaltiger Formaldehyd-Abgabe, die zu erheblicher Belästigung in Wohn- und Aufenthaltsräumen führen kann [1,2].

Die Abspaltung von Formaldehyd nach der Aushärtung wird von zahlreichen Parametern wie Preßzeit, Preßtemperatur, Menge des Festharzauftrages, Molverhältnis der Harnstoff-Formaldehyd-Harze, Feuchtigkeit, Härterart und Härtermenge beeinflusst [3,4].

Eine Verringerung des Formaldehyd-Gehaltes in den Schulräumen konnte durch starkes Aufheizen und anschließende Lüftung erzielt werden. Da die Formaldehyd-Konzentrationen nach Einstellung zusätzlicher Lüftungsmaßnahmen relativ rasch wieder anstiegen, wurden die Klassenräume über Monate täglich 2 Stunden vor Schulbeginn mit Ausnahme der Wochenenden und Ferien belüftet.

### Ergebnisse der Formaldehyd-Konzentrationsmessungen in Schulräumen

Zur Bestimmung der Formaldehyd-Konzentrationen in Raumluft wurde das Sulfit-Pararosanilin-Verfahren angewandt [5]. In der Tabelle 1 ist am Beispiel eines Klassenraums der Formaldehyd-Konzentrationsverlauf von September 1975 bis Juli 1976 wiedergegeben. Insgesamt konnten die Konzentrationen während der zusätzlichen Lüftung niedrig gehalten werden, nur an den Wochenenden und in den

Ferien stiegen sie an. Bei Einstellung der zusätzlichen Lüftung Anfang April 1976 schien die Belästigung durch Formaldehyd beseitigt zu sein. Jedoch führten die hohen Außentemperaturen Anfang Juni 1976 zu erneuten Beschwerden und schließlich zum Schulstreik. Messungen erbrachten in nichtklimatisierten Räumen Konzentrationen zwischen 0,3 und 0,7 ppm, in klimatisierten Räumen waren die Konzentrationen niedrig. Zur Aufrechterhaltung des Unterrichts wurden schließlich in 20 Klassenräumen die Deckenplatten entfernt.

Tab. 1: Formaldehyd-Konzentrationen in einem Klassenraum der Schule A von September 1975 – Juli 1976

Datum	T [°C]	HCHO [ppm]	Bemerkungen
Do 25. 9.75	22	0,43	
Di 30. 9.75	23	0,87	
Mi 1.10.75	20	0,05	Heizen und Lüften
Mi 8.10.75	23	0,40	zusätzl. Heizen und Lüften eingestellt
Di 21.10.75	13	0,02	Lüftungsaktion fortgesetzt
Mi 22.10.75	12	0,02	
So 26.10.75	18	0,14	nicht gelüftet
Do 30.10.75	18	0,02	
Mi 5.11.75	20	0,09	November und Dezember zusätzlich gelüftet
Do 20.11.75	17	0,06	
Mo 24.11.75	13	<0,01	
Do 27.11.75	18	0,12	
Di 16.12.75	16	0,03	keine Lüftung während der Weihnachtsferien bis 7.1.76
Di 30.12.75	14	0,07	
Di 6. 1.76	19	0,24	
Mo 19. 1.76	12	0,03	Fortsetzung der zusätzlichen Lüftung an Wochentagen bis 2.4.76
Do 12. 2.76	15	0,02	
So 15. 2.76	17	0,42	ohne Lüftung am Wochenende Wochenende
Mi 18. 2.76	18	0,13	
Fr 2. 4.76	20	0,08	
Di 8. 6.76	28	0,30	
Mo 14. 6.76	24	0,29	am 11.6. Möbel entfernt
Fr. 18. 6.76	23	0,13	
Di 22. 6.76	25	0,45	
Di 29. 6.76	30	0,57	
Do 1. 7.76	31	0,60	

Zum gleichen Zeitpunkt kamen Beschwerden auch aus den anderen Gesamtschulen und aus einer ebenfalls mit Akustik-Deckenplatten ausgestatteten Grundschule.

Daraufhin wurden in den Sommerferien 1976 Messungen in großem Umfang in allen genannten Schulen durchgeführt. In jeder Schule wurde durchschnittlich in 20 Räumen, wobei möglichst alle Raumtypen erfaßt wurden, der Formaldehyd-Gehalt ermittelt.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die in den drei Gesamtschulen gemessenen Raumluftkonzentrationen, die zwischen 0,3 und 0,7 ppm, in einem wenig benutzten Raum bei ca. 1 ppm, Formaldehyd lagen. Die Grundschule E wies wesentlich höhere Konzentrationen auf: in 75% aller untersuchten Räume wurde mehr als 1 ppm, maximal bis 1,9 ppm Formaldehyd festgestellt.

Tab. 2: Formaldehyd-Konzentrationen in 4 Schulen, gemessen in den Sommerferien 1976

Schule A				Schule B			
Raum	T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]	Raum	T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]
A 111	26	43	0,53	B 003	25	44	0,97
C 102 K	26	43	0,37	C 016 K	26	44	0,47
C 112	24	45	0,31	A 101	29	42	0,56
B 113	26	45	0,40	B 133	27	45	0,48
C 209	24	43	0,38	C 118 K	27	41	0,31
B 206	26	44	0,51	D 110	27	47	0,63
A 210	26	44	0,61	A 213	27	46	0,58
B 216	24	46	0,43	D 214	27	45	0,73

Schule C				Schule E			
Raum	T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]	Raum	T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]
M 026 K	25	41	0,63	GK 02	21	46	0,97
014 K	26	43	0,52	GK 07	20	46	0,64
V 016	26	38	0,46	G 003	21	46	1,19
V 010	26	38	0,40	G 023	30	40	1,37
V 006	24	39	0,37	G 028	21	45	1,05
A 104	22	43	0,42	G 031	22	44	1,30
A 143	31	45	0,50	G 106	28	45	1,90
A 222	25	50	0,35	G 117	28	46	1,58

K = klimatisiert (Klimaanlage außer Betrieb)

Im Vergleich dazu ist die Belastung durch Formaldehyd in der Außenluft mit einer mittleren Konzentration im Winter von 0,002 ppm und einer maximalen Konzentration von 0,01 ppm – gemessen an einem Kölner Verkehrsknotenpunkt – gering (Tab. 3). Nach Lahmann und Jander [6] erhöhen sich die Konzentrationen der Außenluft im Sommer auf etwa das Fünffache, d.h. als maximale Belastung könnte 0,05 ppm auftreten, also ein Zehntel der im Juli 1976 in den Schulräumen gemessenen mittleren Formaldehyd-Konzentrationen.

Tab. 3: Häufigkeitsverteilung der Formaldehyd-Immissionen am Neumarkt  
Stundenmittelwerte 6 – 20 Uhr (Meßperiode 1. – 15.12.1975)

$\mu\text{g} / \text{m}^3$	Anzahl der Werte	% Gesamt- zahl
< 2	86	61,86
2 – 4	36	25,90
4 – 6	5	3,60
6 – 8	3	2,16
8 – 10	4	2,88
10 – 12	3	2,16
12 – 14	1	0,72
16 – 18	1	0,72
	<u>139</u>	<u>100,00</u>
Mittelwert	= 2,3 $\mu\text{g} / \text{m}^3$	(0,002 ppm)
95-Perzentil	= 8,5 $\mu\text{g} / \text{m}^3$	(0,006 ppm)

**Ergebnisse der Ammoniak-Begasung der Schulräume zwecks Beseitigung der Formaldehyd-Immissionen**

Durch Lüftung allein konnte in den Sommermonaten keine Abhilfe mehr geschaffen werden, wie aus Tabelle 4 zu ersehen ist. Intervall-Lüftungen von 10 min Dauer brachten eine Verringerung der Ausgangskonzentration um 50 – 90% innerhalb der ersten halben Stunde. Nach 45 min stiegen die Konzentrationen jedoch wieder auf 60 – 70% der Ausgangskonzentration an. Nach drei Stunden war im allgemeinen die Ausgangskonzentration wieder erreicht.

Es wurde daher nach anderen Wegen zur Beseitigung der Formaldehyd-Immissionen gesucht. Zur Diskussion standen Anstriche mit formaldehydbindendem Anstrichmittel sowie die Begasung der Schulräume mit Ammoniak. In Vorversuchen konnte ermittelt werden, daß die aufwendigen und auch kostspieligen Anstriche der Platten etwa den gleichen Erfolg brachten wie die  $\text{NH}_3$ -Behandlung der Klassenräume. Formaldehyd reagiert mit Ammoniak vorwiegend zu dem

Tab. 4: Verringerung der Formaldehyd-Konzentration durch Intervall-Lüftung (Die Räume waren ca. 16 – 20 Std. vor der 1. Messung ungelüftet, die 2. Messung fand nach einer Lüftung von 10 Min., die 3. Messung 45 Min. nach dem Schließen der Fenster statt)

Schule B	T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]	% der Ausgangskonz.
B 133 1. Messung	18	55	0,44	–
B 133 2. Messung	17	55	0,23	52,3
B 133 3. Messung	19	52	0,32	72,7
A 101 1. Messung	30	50	0,38	–
A 101 2. Messung	31	42	0,14	36,8
A 101 3. Messung	33	38	0,24	63,2
D 214 1. Messung	19	51	0,32	–
D 214 2. Messung	20	48	0,06	18,8
D 214 3. Messung	20	48	0,18	56,3
C 224 1. Messung	21	47	0,30	–
C 224 2. Messung	21	45	0,03	10,0
C 224 3. Messung	21	45	0,17	56,7

praktisch geruchlosen Hexamethylentetramin. Die Ergebnisse dieser Behandlung sind am Beispiel einer Schule in Tabelle 5 wiedergegeben.

In den Gesamtschulen nahm die Konzentration im Mittel um 60 – 70 % ab, in der Grundschule E, die die höchsten Formaldehyd-Konzentrationen aufwies, sogar um 80 %. Die Werte wurden ca. 10 Tage nach der NH<sub>3</sub>-Behandlung gemessen. Nach 4 – 6 Wochen betrug die Verringerung der Ausgangskonzentration im Mittel nur noch 45 – 50 %.

Tab. 5: Formaldehyd-Konzentrationen in Schule B vor und nach NH<sub>3</sub>-Behandlung (NH<sub>3</sub>-Behandlung vom 4. – 10.8.1976 (Die Räume waren mindestens 16 Stunden vor der Messung ungelüftet)

Raum	Vor der NH <sub>3</sub> -Behandlung Meßdatum: 20. 7. 76			Nach der NH <sub>3</sub> -Behandlung Meßdatum: 19. 8. 76			Abnahme der HCHO-Konz. [%]	Nach der NH <sub>3</sub> -Behandlung Meßdatum: 19. 9. 76			Abnahme der HCHO-Konz. [%]
	T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]	T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]		T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]	
B 003	25	44	0,97	22	47	0,15	85	18	48	0,36	63
C 016 K	26	44	0,47	24	45	0,24	49	–	–	–	–
A 101	29	42	0,56	29	42	0,21	63	30	50	0,38	32
B 133	27	45	0,48	–	–	–	–	18	55	0,44	8
C 118 K	27	41	0,31	22	44	0,17	45	23	46	0,24	23
D 110	27	47	0,63	28	48	0,11	83	–	–	–	–
A 208 K	28	45	0,36	20	48	0,18	50	–	–	–	–
A 213	27	46	0,58	20	48	0,13	78	–	–	0,15	74
C 215 K	22	47	0,47	–	–	–	–	20	50	0,20	57
C 224	21	46	0,56	25	45	0,20	64	21	47	0,30	46
D 206	26	45	0,36	20	48	0,15	58	–	–	–	–
D 214	27	45	0,73	26	47	0,32	56	19	51	0,32	56

K - klimatisiert (Klimaanlage während der Messung außer Betrieb)

**Formaldehyd-Raumluftkonzentrationen in einer Schule ohne Spanholzdeckenplatten**

Von großem Interesse war, festzustellen, in welchem Maße Platten und Möbel als Verursacher der Raumluftkonzentrationen an Formaldehyd beteiligt waren. Bei der Auslagerung von Schulmöbeln in unbelastete Räume waren maximale Konzentrationen von 0,25 ppm gemessen worden. Ein Überblick über die durch Möbel hervorgerufenen Formaldehydgehalte der Raumluft konnte durch Messungen in einer ebenfalls seit einem Jahr in Benutzung befindliche Schule, in der keine Spanholzdeckenplatten verwendet worden waren, erhalten werden. Die Formaldehyd-Konzentrationen lagen in den mehrere Wochen ungelüfteten Räumen zwischen 0,07 und 0,25 ppm (Tab. 6).

Tab. 6: Formaldehyd-Konzentration in einer neuen Schule ohne Spanholzdeckenplatten Datum der Messung: 3.8.1976 Die ausgewählten Räume waren seit Beginn der Schulferien am 15.7.1976 nur einmal kurzfristig durch Kippen der Fenster gelüftet worden

Raum	T [°C]	rel.F. [%]	HCHO [ppm]	Raumgröße [m <sup>2</sup> ]	Möbeloberfläche [m <sup>2</sup> ]
U 21	16	53	0,07	23	30
U 14	16	53	0,18	64	sehr viel
A 012	16	53	0,12	27	45
A 013	17	53	0,11	70	35
A 102	20	50	0,25	140	120
C 103	20	53	0,22	67	6 + Tische u. Stühle
C 104	21	51	0,25	36	47
A 118	20	51	0,17	36	60
D 112	21	49	0,08	65	80
B 206	20	50	0,13	67	10 + Tische u. Stühle

**Untersuchungen über Formaldehyd-Abgabe von Spanholz-Deckenplatten und Möbelplatten**

*a) Perforatormethode*

Um einen Einblick in das Verhalten der Platten zu gewinnen, wurden diese verschiedenen Prüfungen unterworfen. Als erstes wurde die Formaldehyd-Abgabe nach der Perforatormethode, einem in der Holzindustrie üblichen Verfahren, untersucht [7]. Hierbei wird das Formaldehyd mittels siedendem Toluol extrahiert. In Tabelle 7 sind die Perforatorwerte von Platten aus verschiedenen Schulen zusammengestellt. Sie schwankten zwischen 10 und 25 mg Formaldehyd/100 g atro bei Plattenfeuchten zwischen 6 und 8 % und stiegen bei erhöhter Plattenfeuchte an. Die Perforatorwerte der Möbelplatten lagen bei normaler Holzfeuchte 4 – 7 mal über denen der Deckenplatten. Deckenplatten aus den mit NH<sub>3</sub> behandelten Räumen hatten einen 30 – 50 % niedrigeren Perforatorwert (Tab. 8). Auch hier zeigte sich ein Zusammenhang zwischen Formaldehyd-Abgabe und Plattenfeuchte.

Tab. 7: Bestimmung der Formaldehydabgabe nach der Perforatormethode

Plattenherkunft	Probennummer	Plattenfeuchte [%]	mg HCHO pro 100 g atro	Bemerkungen
Schule A	1	7,2	14,4	verschiedene Proben aus einer ca. 1 m <sup>3</sup> großen Platte
Schule A	2	7,3	18,7	
Schule A	3	7,4	16,5	
Schule A		7,4	18,1	
Schule A		7,4	18,9	
Schule B	4	6,1	11,6	
Schule B	5	6,8	15,5	
Schule D	6	6,2	9,8	
Schule D	7	8,0	24,5	
Schule A	3	13,7	30,6	
Schule D	6	13,0	14,8	
Schule D	6	29,6	47,8	
Möbel		10,7	73,1	

Tab. 8: Bestimmung der Formaldehydabgabe nach der Perforatormethode

Probenherkunft	Vor NH <sub>3</sub> -Behandlung		Nach NH <sub>3</sub> -Behandlung		Abnahme der HCHO-Konz. [%]
	Plattenfeuchte [%]	mg HCHO pro 100 g atro	Plattenfeuchte [%]	mg HCHO pro 100 g atro	
Schule B	6,8	15,5	8,6	10,3	30
Schule D	6,2	9,8	6,9	5,3	46
Schule D	6,2	9,8	15,3	17,7	behandelte Platte in feuchter Kammer gelagert

b) Prüfkammerversuche

Da die Untersuchung der Formaldehydabgabe von Spanplatten mittels der Perforatormethode nach den bisherigen Erfahrungen keine eindeutige Aussage über evtl. zu erwartende Raumluftkonzentrationen bei Verwendung dieser Platten zuläßt, wurden ergänzend Prüfkammerversuche durchgeführt. In zwei nach eigenen Angaben aus verzinktem Stahlblech gefertigten Prüfkammern mit einem Rauminhalt von 54 l wurden Deckenplatten eingebracht. Das Verhältnis der Plattenoberfläche zum Rauminhalt der Kammer entsprach ungefähr dem in der Schule herrschenden. 12 – 24 Stunden nach Einwirkung ausgewählter klimatischer Bedin-

Tab. 9: Formaldehydabgabe der Deckenplatten (Prüfkammerversuche) (Verhältnis Plattenoberfläche/Rauminhalt = V entspricht ungefähr den Schulverhältnissen)

Plattenherkunft	Plattennummer	g H <sub>2</sub> O · m <sup>-3</sup>	T [%]	Plattenoberfl. [cm <sup>2</sup> ]	V [m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup> ]	HCHO [ppm]
A	6	10,0	20	320	0,6	0,46
B	1	11,0	22	360	0,7	0,64
B	2	11,5	22	370	0,7	0,63
B	2	12,0	24	370	0,7	0,67
B	2	12,0	35	370	0,7	1,33
B	3	11,5	22	360	0,7	0,35
B	3	11,5	23	360	0,7	0,43
B	3	12,0	34	360	0,7	0,83
D	1	10,0	20	380	0,7	0,20

gungen in einem Klimaraum wurden aus den Prüfkammern Luftproben mit der Geschwindigkeit von zwei Luftwechseln pro Stunde entnommen. Die Ergebnisse in Tabelle 9 zeigen, daß bei Temperaturen von 20 – 24 °C und einer Luftfeuchte von 10 – 12 g H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>, was einer relativen Luftfeuchte von ca. 55 – 60 % entspricht, die gemessenen Konzentrationen in der Größenordnung der in Schulräumen ermittelten lagen. Bei einem Temperatur-Anstieg um 10 °C stiegen die Konzentrationen erheblich an (vergl. B 2 und B 3 bei verschiedenen Temperaturen).

Prüfkammerversuche mit NH<sub>3</sub>-behandelten Platten ergaben wie die Messungen in den Schulräumen eine Abnahme der Formaldehyd-Konzentrationen um 60 – 70 % (Tab. 10). Die aus den untersuchten Spanplatten abgegebene Formaldehydmenge war der Lufttemperatur und -feuchte direkt proportional [8].

Tab. 10: Formaldehydabgabe vor und nach der NH<sub>3</sub>-Behandlung (Rauminhalt der Prüfkammer 0,054 m<sup>3</sup>)

Plattennummer	Plattenoberfl.	g H <sub>2</sub> O · m <sup>3</sup>	T [°C]	HCHO [ppm]		Abnahme der HCHO-Konz. [%]
				vor NH <sub>3</sub> -Behandlung	nach NH <sub>3</sub> -Behandlung	
B 1	360	8,9	22	0,65	0,23	65
B 1	1300	8,9	22	0,78	0,31	60
D 1	1300	10,0	22	0,28	0,10	64
D 1	1300	12,0	25	0,57	0,20	65
D 1	1300	24,0	34	0,85	0,49	42

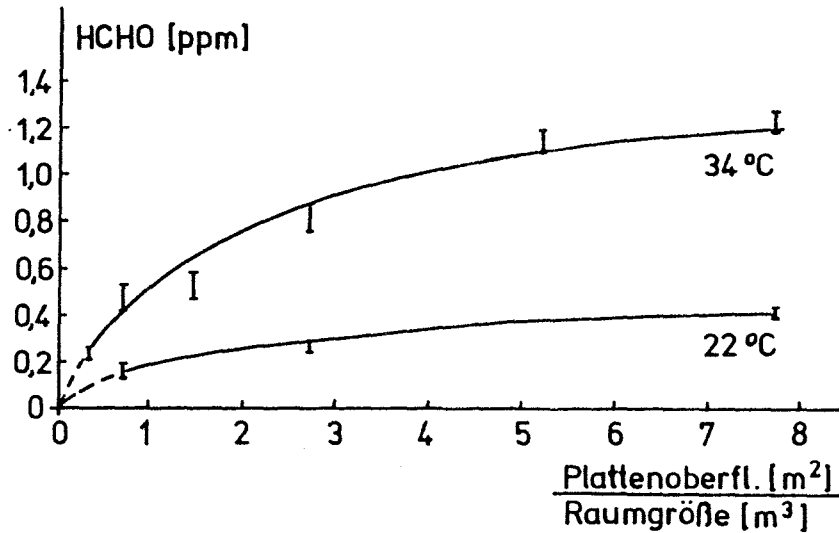


Abb. 1: Formaldehydabgabe bei unterschiedlichen Verhältnissen von Plattenoberfläche zu Raumgröße

Bei der Vergrößerung der Plattenoberfläche im Verhältnis zum Rauminhalt auf das Vierfache erhöhte sich die Formaldehyd-Konzentration auf etwa das Doppelte. In Abbildung 1 ist die Formaldehydabgabe bei zwei verschiedenen Temperaturen und gleichbleibendem Feuchtegehalt in Abhängigkeit von dem Verhältnis der Plattenoberfläche zum Rauminhalt wiedergegeben. Verwendet wurde eine mit NH<sub>3</sub> begaste Deckenplatte, deren Perforatorwert 5,9 mg pro 100 g atro betrug. Die Formaldehyd-Konzentrationen liegen bei den die Schulverhältnisse simulierenden Prüfkammerversuchen am Ende des steilen Kurvenanstiegs. Vergrößert man die Plattenoberfläche bei gleichbleibendem Rauminhalt, so steigt die Kurve nicht mehr wesentlich an. Am Endpunkt der Kurve ist das Verhältnis der Plattenoberfläche zum Rauminhalt mit 7,7 etwa 12 mal größer als in Schulen, die Formaldehyd-Konzentrationen erhöhten sich jedoch nur um den Faktor 3.

Analog zu den Deckenplatten wurden die Möbel Prüfkammerversuchen unterworfen. Hierbei stellte sich heraus, daß frische Schnittkanten von Möbelplatten hohe Mengen an Formaldehyd emittierten, während gealterte Kanten wesentlich niedrigere Formaldehyd-Konzentrationen ergaben. Durch volles Abkleben der Schnittkanten mit Tesaband konnte die Formaldehyd-Emission auf nicht mehr meßbare Werte gesenkt werden.

Zur Feststellung der von Platten und Möbeln in die Raumluft abgegebenen Formaldehydmengen wurden beide zuerst getrennt und anschließend zusammen in die Prüfkammern gebracht. Das Verhältnis der Deckenplattenoberfläche zum Rauminhalt entsprach wieder dem in Schulen herrschenden. Die furnierte Möbel-

oberfläche, die nach vorangegangenen Versuchen kein Formaldehyd emittiert, war doppelt so groß wie die Deckenplattenoberfläche, 5 cm<sup>2</sup> gealterter freier Kante lagen frei. Der Anteil freier Kantenoberfläche war mit Absicht ca. doppelt so groß gewählt wie das im Normalfall in Schulen vorliegende Verhältnis der freien Kanten zur Schrankoberfläche.

Der bei zwei verschiedenen Temperaturen durchgeführte Versuch zeigte, daß die durch Möbel hervorgerufenen Formaldehyd-Konzentrationen denen in einer Schule

Tab. 11: Formaldehydabgabe von Decken- und Möbelplatten (Rauminhalt der Prüfkammer 0,054 m<sup>3</sup>)

	Oberfl. [cm <sup>2</sup> ]	freie gealterte Kante [cm <sup>2</sup> ]	g H <sub>2</sub> O m <sup>-3</sup>	T [°C]	HCHO [µgm]	HCHO Mö + De / HCHO Decke
Möbelplatten	700	5	11,2	24	0,16	
Deckenplatten	360	-	11,4	24	0,55	
Decke + Möbel	1060	5	11,2	24	0,62	1,1
Möbelplatten	700	5	11,3	29	0,38	
Deckenplatten	360	-	12,0	29	0,84	
Decke + Möbel	1060	5	12,0	29	0,98	1,2

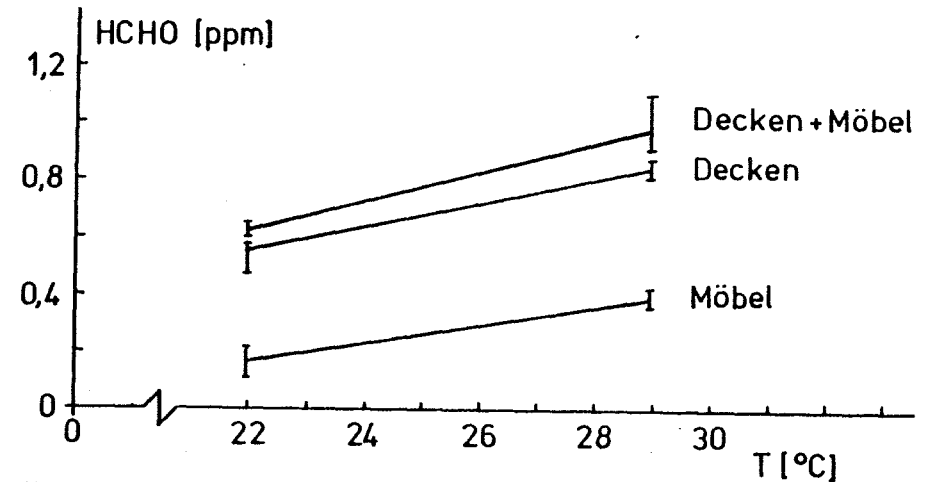


Abb. 2: Formaldehydabgabe von Decken- und Möbelplatten

$$\frac{\text{Oberfläche Decken}}{\text{Oberfläche Möbel}} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\text{freie Kante Möbeloberfläche [m}^2\text{]}}{\text{Rauminhalt [m}^3\text{]}} = \frac{1}{100}$$

ohne Spanholzdeckenplatten entsprachen. Dort waren 0,07 – 0,25 ppm festgestellt worden. Das Hereinbringen der Möbel in die bereits mit Deckenplatten belegte Prüfkammer erhöhte die Formaldehyd-Konzentration nur um den Faktor 1,1 bzw. 1,2 (Tab. 11, Abb. 2).

Daraus kann gefolgert werden, daß sich in Schulräumen die bei alleiniger Anwesenheit von Möbeln oder Deckenplatten einstellenden Formaldehyd-Konzentrationen nicht linear addieren, sondern die Formaldehyd-Abgabe der Möbel nur zu einer Erhöhung der durch Deckenplatten verursachten Formaldehyd-Konzentration um maximal 10 – 15 % führt.

### Zusammenfassung

In neuen Schulbauten wurden ein Jahr nach Benutzung in den heißen Sommermonaten 1976 Formaldehyd-Konzentrationen zwischen 0,3 und 0,9 ppm gemessen, in einer weiteren Schule lag die durchschnittliche Konzentration fast aller Räume über der maximalen Arbeitsplatzkonzentration von 1 ppm.

Verursacht wurden die hohen Formaldehyd-Konzentrationen durch Deckenplatten und Möbel, bei denen Harnstoff-Formaldehydharze als Bindemittel verwendet worden waren.

Die Höhe der auftretenden Konzentrationen war von Luftfeuchte, Temperatur und Luftwechsel in den Räumen abhängig.

Formaldehydbindende Anstrichstoffe sowie NH<sub>3</sub>-Begasung senkten die Formaldehyd-Konzentrationen um 60 – 70 %. Vier bis sechs Wochen nach der NH<sub>3</sub>-Begasung stiegen die Raumluft-Konzentrationen wieder auf 50 – 60 % der Ausgangskonzentrationen an.

Möbel verursachten in einer Schule ohne Deckenplatten ein Jahr nach Benutzung Konzentrationen von 0,07 – 0,25 ppm Formaldehyd.

Die Untersuchungen der Formaldehyd-Abgabe der Decken- und Möbelplatten nach der Perforatormethode ließ keine eindeutige Aussage über evtl. zu erwartende Raumluftkonzentrationen zu.

Prüfkammerversuche führten zu folgenden Ergebnissen:

- Die von Deckenplatten abgegebenen Formaldehyd-Emissionen bestimmten vorwiegend die Raumluftkonzentration.
- 4fache Vergrößerung der Plattenoberfläche zum Rauminhalt brachte eine maximale Erhöhung der Formaldehyd-Konzentration um den Faktor 2, 12fache Vergrößerung um den Faktor 3.
- Möbel – Alter wenigstens ein Jahr – emittieren mit abgeklebten Schnittflächen praktisch kein Formaldehyd.

- Frische Schnittkanten von Möbeln gaben hohe Mengen Formaldehyd ab.
- Gealterte Schnittkanten verursachten eine Formaldehyd-Konzentration von 0,2 ppm bei einer Raumtemperatur von 24 °C und von 0,4 ppm bei 29 °C, wenn das Verhältnis der freien Kante zur Möbeloberfläche etwa das Doppelte des durchschnittlich in Schulen liegenden betrug.
- Möbelemmissionen erhöhten die durch Deckenplatten hervorgerufenen Formaldehyd-Raumluftkonzentrationen um maximal 10 – 15 %.

Die Untersuchungen ließen erkennen, daß durch Furnieren oder Abkleben der offenen Schnittkanten die Formaldehyd-Abgabe aus Möbeln unterbunden werden kann. Formaldehydbindender Anstrich und NH<sub>3</sub>-Behandlung verringerten zwar die Formaldehyd-Abspaltung aus Deckenplatten, brachten sie jedoch – offenbar aufgrund der Porösität des Materials – bisher nicht zum Stillstand.

### Literatur

- [1] Schulze, H.-D.: Z. ges. Hyg. 21 (1975) 311.
- [2] Andersen, I.B., G.R. Lundquist und L. Møllhave: Atmospheric Environment 9 (1975) 1121.
- [3] Plath, L.: Holz als Roh- und Werkstoff 24 (1966) 312, 25 (1967) 63, 169, 231, 26 (1968) 125.
- [4] Petersen, H., W. Reuter, W. Eisele und O. Wittmann: Holz als Roh- und Werkstoff 30 (1972) 4219, 31 (1973) 463, 32 (1974) 402.
- [5] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft: Messen gasförmiger Immissionen, Messen von Aldehyden, Bestimmen der Formaldehyd-Konzentration nach dem Sulfit-Pararosanilin-Verfahren. Richtlinie 3483, Bl. 1, Beuth-Verlag, Berlin und Köln, September 1976 (Entwurf).
- [6] Lahmann, E. und K. Jander: Gesundheitsingenieur 89 (1968) 18.
- [7] FESVP, Europäische Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie: Formaldehyd-Bestimmungen bei Spanplatten, Perforatormethode und Gasanalysenmethode, Giessen, Juli 1975.
- [8] Deimel, M. und C. Jantze: Untersuchungen der Formaldehydabgabe von Spanplatten in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Luftfeuchte. Veröffentlichung in Vorbereitung.