

Untersuchungen über die Belastung des Menschen durch Formaldehyd in Schul- und Wohnräumen

von H.J. Einbrodt und Danuta Prajsnar

Wie aus Arbeiten von M. Deimel [1] hervorgeht, hängt die Höhe der Formaldehydabgabe aus den Spanplatten und der Konzentrationsanstieg in den Räumen ganz entscheidend von Luftaustausch und der Luftführung und den klimatischen Größen, wie Temperatur und relative Luftfeuchte ab. Wenn man sich in den Tabellen die aufgetragenen Temperaturen und relative Luftfeuchte ansieht, so muß man feststellen, daß diese Werte nicht der DIN 18031 "Hygiene im Schulbau" [2] entsprechen, von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen. Ohne hier auf diese oder entsprechende Vorschriften der Schulhygiene im Detail eingehen zu wollen, möchte ich einige wenige Vergleiche anstellen, die meines Erachtens zur Beurteilung der gesundheitlichen Situation in den hier vorgestellten Schulen von ganz entscheidender Bedeutung sind, möglicherweise Kernstück der Beschwerden überhaupt sind.

Im allgemeinen ist eine Zwangsbelüftung oder gar eine aufwendige klimatische Anlage für Schulbauten nicht erforderlich. Wenn man jedoch wie bei den hier zur Diskussion stehenden Schulgebäuden einen Grundriß akzeptiert, der gar keine andere Wahl als eine Zwangsbelüftung zuläßt, etwa bei Innenräumen oder ungenügenden Fensterflächen, dann müssen hygienische und technische Grundforderungen erfüllt sein, wie sie die DIN 1946/5 vorschreibt [3]. Unter anderem ist es unzulässig, mit Umluft zu fahren oder Luft aus dem Luftraum der Flure zu entnehmen, wie es in einigen Bereichen dieser Schulen geschieht. Wenn man sich aber aus Gründen der Folgekosten entschließt, die DIN außer acht zu lassen, dann muß man sich auch gefallen lassen, wenn von Planungsfehlern gesprochen wird, egal zu welchem Zeitpunkt der Planung diese Fehler aufgetreten sind.

Im normalen Schulbetrieb reicht eine Fensterlüftung aus, die gleichzeitig zur Lüftererneuerung in den Pausen gedacht ist. Die bereits erwähnte DIN 18031 "Hygiene im Schulbau" schreibt nun vor, daß während des Unterrichts eine zugfreie Dauerlüftung feinstufig einstellbar sein muß, um einen dauernden Luftwechsel zu garantieren. In den vorgenannten Schulen ist auch diese Forderung der DIN übergangen worden. Wie sehr sie aber gerade in diesen Bauten erforderlich gewesen wäre, geht aus den Messungen von M. Deimel [1] hervor, wonach durch einmalige, kurzfristige Lüftungen die Formaldehyd-Konzentrationen auf Werte zurückgedrückt wurden, die teilweise unterhalb der Wahrnehmbarkeitsgrenze lagen. Auch eigene Messungen machten das deutlich.

In der nicht vorhandenen zugfreien Dauerlüftung in den Klassenräumen und damit in der Nichteinhaltung der DIN 18031 sehen wir eine der wesentlichen Ursachen, die zu den teilweise erheblichen Belästigungen in den Schulen führten. Daß dies nicht nur eine bloße Behauptung ist, soll an einem Beispiel demonstriert werden. Im gleichen Jahr, in dem die zur Debatte stehenden Schulbauten erstellt wurden, wurde eine Grund- und Hauptschule (Schule S) errichtet, die nicht nur mit Spanplattenmöbeln ausgestattet wurde, sondern auch mit Deckenplatten der gleichen Fabrikation wie in den Kölner Gesamtschulen. Allerdings sind in der Schule S keine zwangsbelüfteten Unterrichtsräume und kein Textilfußboden vorhanden. Dafür besitzen alle Klassenräume zugfreie, einstellbare Dauerlüftungsleisten, die entsprechend der DIN 18031 auch während des Unterrichts den Anforderungen der Hygiene entsprechen. Im Gegensatz zu einigen Kölner Gesamtschulen waren in diesem Schulkomplex niemals Beschwerden über Reizungen der Augen oder des Atemtraktes aufgetreten. Vier Wochen vor den Sommerferien 1976 war der Absentismus der Schulkinder dieser Schule S nicht höher als in anderen Schulen des Amtsbezirkes, was übrigens für die Kölner Gesamtschulen meines Wissens nie vergleichend untersucht wurde.

In der gleichen Zeit, in der die Kölner Gesamtschulen untersucht wurden (s. [1], Tab. 2), d.h. bei gleichen Außentemperaturbedingungen und ohne Schulbetrieb, untersuchten wir die Schule S. Während in den Kölner Schulen in der Zeit vor den Messungen keine Lüftung der Schulräume stattgefunden hatte, war in der Schule S (einbruchssichere) Dauerlüftung in Betrieb gewesen. Lediglich in einem Raum hatten wir bei Ferienbeginn die Dauerlüftung schließen lassen (Raum C 11, Tab. 1), vor der Raumluftmessung war dieser Raum mehr als 14 Tage nicht belüftet worden. Ansonsten herrschten die gleichen Versuchs- und methodischen Bedingungen wie bei den Kölner Gesamtschulen; die Formaldehyd-Konzentrationen wurden ebenfalls mit dem Sulfid-Pararosanilinderivativverfahren [4] bestimmt, wie wir überhaupt unsere Verfahren (etwa zu entnehmende Luftmenge/Zeit) mit [1] abgestimmt und die Ergebnisse verglichen haben. Es sollen hier nur die Messungen aus drei Unterrichtsräumen wiedergegeben werden.

Dieser Versuch macht deutlich, daß bei vorschriftsmäßiger Dauerlüftung der für Schulräume erforderliche Luftwechsel eintritt, der, wie der Vergleich der Tabelle 1 mit den Werten der Tabelle 2 in [1] zeigt, nicht nur die Raumklimawerte, wie die Temperatur im Bereich des Behaglichkeitsklima hält, sondern auch die Formaldehyd-Konzentrationen stark reduziert. In Unterrichtsräumen, in denen Temperaturen von über 25 °C oder gar über 30 °C wie in Köln herrschen – die DIN 18031 schreibt übrigens 21 °C vor – ist ein Unterricht ohnehin nicht möglich, gleich ob dabei noch Formaldehyd auftritt oder nicht.

Deshalb sind wir der Auffassung, daß es sich bei den diskutierten Gesamtschulen in erster Linie um Lüftungsprobleme handelt, und zwar nicht, wie mir immer in den

Tab. 1: Formaldehyd-Konzentrationen in Schulräumen (Schule S) mit und ohne Dauerlüftung und unterschiedlicher Ausstattung

Raumart	T [°C]	Raumluft rel.F. [%]	HCHO [ppm]
A 104 Südseite intensive Sonneneinstrahlung Decke : Spanplatten Möbel : Spanplatten Wand : Spanplatten	mit Dauerlüftung; Fenster geschlossen 23	43	0,10
	zusätzlich 10 min. Fensterlüftung 24	40	0,02
	danach 10 Min. mit Dauerlüftung, Fenster geschlossen 24	44	0,02
B 308 Nordseite Decke : Spanplatten Möbel : Massivholz Wände : Massivholz	mit Dauerlüftung 21	51	0,06
	zusätzlich 10 Min. Fensterlüftung 23	42	0,01
C 11 Südseite Decke : Spanplatten Möbel : Spanplatten Wände : Massivholz	ohne Dauerlüftung; Fenster geschlossen 20	62	0,44
	10 Min. Fensterlüftung 20	54	0,34

Mund gelegt wurde, um eine *zusätzliche*, sondern um eine den Bau- und DIN-Vorschriften *entsprechende* Dauerlüftung.

Soweit zu den Problemen der Kölner Gesamtschulen. Ich meine, diese Ausführungen sind besonders auch im Hinblick auf eine in der Diskussion stehende Grenzwertfindung für Formaldehyd in Wohn- und Schulräumen wichtig, daß nämlich ein Grenzwert nur im Zusammenhang mit den klimatischen Randbedingungen, den Anforderungen der Hygiene bei Schulbauten allgemein, zu diskutieren sein kann. Wir stehen hier vor einer grundsätzlich anderen Situation als bei der Grenzwertfestlegung in der Umwelthygiene, wo wir praktisch keine Möglichkeit der Klimabeeinflussung haben und daher auch extreme Wetterverhältnisse in der Beurteilung berücksichtigen müssen.

Das Problem der Formaldehydabgabe, besonders aus Spanplatten, aber auch aus anderen Materialien, die als Bindemittel Formaldehydharze enthalten, stellt sich aber nicht nur im Schulbau mit entsprechend hohen gesetzlichen Anforderungen, sondern auch im Wohnbau, in der Möbelindustrie, sogar in der Spielwarenherstellung.

Deshalb ist es unerlässlich, über Belästigungen und gesundheitliche Gefährdung Untersuchungen anzustellen.

Formaldehyd ist eine Substanz, die in weiten Bereichen der Industrie, aber auch in der Medizin zur Anwendung kommt. Gegen bestimmte Arten von Mikroorganismen ist Formaldehyd eine der wirksamsten Substanzen und er ist als Desinfektionsmittel in Klinikräumen mit hohen hygienischen Anforderungen oder bei Säuberung und Desinfektion von Instrumenten, etwa bei künstlichen Nieren, kaum wegzudenken. Formaldehyd kommt häufig in Putzmitteln und medizinischen Hautcremes zur Anwendung, ebenso in vielen Sprays, etwa beim Absprühen von Textilien. In den einschlägigen Arzneimittellisten sind eine Reihe von Präparaten aufgeführt, die als wirksamen Bestandteil Formaldehyd enthalten, und zwar nicht nur als Dermatologica oder als Desodoranzien, sondern auch als Mund- und Rachentherapeutika bei Anginen und als Inhalationstherapeutika bei Bronchitis und zur Verbesserung der Bronchialtoilette. Auch in der gynäkologischen Praxis findet Formaldehyd Anwendung, etwa bei Portioerosionen, Fluor Vaginalis oder Vaginitis. Und so könnte es dann passieren, daß möglicherweise einer schwangeren Lehrkraft eine Schwangerschaftsunterbrechung ärztlich angeraten wird, weil sie während eines Unterrichtstages bei 0,5 ppm Formaldehyd in 6 Stunden und vollständiger Resorption maximal etwa 3 mg HCHO aufnimmt, der gleiche Arzt jedoch mit Vaginalzäpfchen die hundertfache Menge und mehr Formaldehyd täglich zuführt, ohne daß eine Gravidität ausdrücklich als Kontraindikation genannt wird. Es ist richtig, daß bei dieser Applikation keine Reizungen der oberen Luftwege und der Augenbindehaut auftreten, dafür entfällt auch die Warnwirkung für den Organismus, obwohl er die 100fache Menge Formaldehyd resorbiert und stoffwechselt.

Wir haben Untersuchungen über die Belastung durch formaldehydhaltige Arzneimittel an Versuchspersonen angestellt und werden an anderer Stelle darüber berichten.

In der Lebensmittelindustrie wurden bis vor wenigen Jahren Zusatzstoffe zur Haltbarmachung benutzt, die instand waren, Formaldehyd abzugeben.

Formaldehyd wird weiter zur Konservierung von Leichenteilen gebraucht, jeder Mediziner kennt das aus der Selbsterfahrung seiner Studienzeit aus der Anatomie und Pathologie, wobei er nicht selten semesterlang täglich Konzentrationen über 1 ppm HCHO ausgesetzt gewesen war und heute noch ist.

Trotz dieser weiten Verbreitung von Formaldehyd sind ernste akute Zwischenfälle so gut wie nie beschrieben worden, abgesehen von echten Unglücksfällen, wenn etwa wässrige Formaldehydlösungen versehendlich injiziert oder in suicidalen Absicht verwendet wurden [5]. Auch Vergiftungen bei normaler Inhalation sind in der Literatur nicht bekannt, wohl bei Zwangsinhalationen von 50 oder 100 ppm.

Ein Grund für praktisch unbekanntes Vergiftungen ist in der ausgesprochenen Warnwirkung des Reizgases Formaldehyd zu sehen, die sich als stechender Geruch

mit lokaler Reizwirkung auf die Konjunktiva und Schleimhaut der oberen Luftwege bemerkbar macht. Tränenfluß und Kratzen im Hals sind die Folgen, Reizungen der unteren Luftwege sind dagegen nicht bekannt.

Ein weiterer Grund für praktisch nicht vorhandene Formaldehydvergiftungen bei normalem Umgang mit dieser Substanz liegt in der schnellen Entgiftung des HCHO im Organismus. Um keine Wiederholung dieses Vorgangs zu bringen, verweise ich auf frühere Arbeiten [6]. Diese Entgiftung, die nach *Malorny* u.a. [7] sofort nach Aufnahme im Blut einsetzt und nach 1 1/2 bis 2 Stunden abgeschlossen ist, führt u.a. zu dem Oxidationsprodukt Ameisensäure, die sowohl im Blut als auch im Urin nachgewiesen werden kann [8]. Dadurch haben wir eine Möglichkeit, nicht nur den zeitlichen Ablauf dieser Reaktion zu messen, sondern auch die Höhe der Belastung mit dem Reizgas zu bestimmen. Es gibt andere methodische Wege, um zu dem gleichen Ziel zu kommen, etwa die Atemgasanalyse.

Wir haben uns für den ersten Weg entschieden und vier Erwachsene untersucht, die sich in Wohnräumen eines Neubaus mit Formaldehyd-Konzentrationen von 0,50 und 0,58 ppm aufhielten, und zwar wurde der Urin sowohl unter der Formaldehyd-Exposition als auch nach einem expositionsfreien Intervall von 17 Stunden untersucht.

Dieser Wohnungsneubau, in dem wie gesagt maximale HCHO-Konzentrationen bis zu 0,6 ppm und Raumtemperaturen von 26 °C gemessen wurden, war mit Spanplatten-Möbeleinbauten versehen, die mit Formaldehydharzen hergestellt waren. Diese hohen Konzentrationen kamen zustande, wenn rund 12 Stunden die Räume nicht gelüftet worden waren. Bei kurzer (10 Minuten) Fensterlüftung sanken die Werte auf 0,2 ppm ab, auch die Temperaturen gingen auf 24 °C zurück. Die relative Luftfeuchte, die vorher zwischen 34 und 42 % betragen hatte, stieg auf Normalwerte von 53 %. Auch hier sieht man den Einfluß der Lüftung auf die HCHO-Konzentrationen im Raum. Die untersuchten Personen hatten unterschiedlich stark über Brennen an den Augen mit Tränenfluß und Hustenreiz geklagt. Diese Klagen hörten auf, als innerhalb von drei Monaten die Raumkonzentration auf 0,07 bis 0,10 ppm HCHO abgesunken war.

Ferner untersuchten wir 37 Kinder (Alter zwischen 12 und 16 Jahren) der bereits genannten Schule S, in der bei eingestellter Dauerlüftung normalerweise Formaldehyd-Konzentrationen von 0,10 und 0,06 ppm vorlagen (s. Tab. 1).

Die Personen aus der formaldehydbelasteten Wohnung wurden auf dem Höhepunkt der Beschwerden untersucht. Wir fanden unter der 7stündigen Exposition mit 0,75 mg HCHO/m³

- zwischen 2,3 und 6,7 mg % HCOOH
 - und
 - zwischen 0,06 und 0,07 mg % HCHO
- im Urin.

Während des sich anschließenden 17stündigen expositionsfreien Intervalls schieden die Personen aus

- zwischen 2,3 und 4,1 mg % HCOOH
- und
- zwischen 0,07 und 0,12 mg % HCHO.

Nimmt man ein Atemvolumen von 5 m³ während der 7stündigen Exposition an, so könnten bei 0,75 mg HCHO/m³ rund 3,75 mg HCHO aufgenommen werden, bei vollständiger Resorption und vollständiger Oxidation würden dann maximal 5,7 mg Ameisensäure ausgeschieden werden können. Eine vollständige Oxidation ist aber nicht anzunehmen, immerhin wurden bereits unter der Exposition, besonders aber im expositionsfreien Intervall 2–3 % der errechneten maximal aufgenommenen Formaldehydmenge als Formaldehyd wieder ausgeschieden (bei normalen, nicht exponierten Personen haben wir Formaldehydmengen von < 0,01 mg/100 ml Urin gemessen).

Setzt man die von uns ermittelte normale Ameisensäureausscheidung mit bis zu 3 mg % an, so kann man feststellen, daß die errechnete aufgenommene Formaldehydmenge im Normalbereich im Urin erschien, lediglich eine Person hatte eine höhere Ausscheidung; diese Person muß entweder höher belastet gewesen sein oder eine normalerweise höhere Ameisensäureausscheidung aufweisen. Normalwerte konnten wir wegen der ständigen Formaldehydexposition bei diesen Personen nicht bestimmen. Auffallend war, daß der pH-Bereich des Urins unter Exposition von 8,3 bis 9,0 reichte, also erheblich über der Norm lag, im expositionsfreien Intervall zwischen 5,4 und 6,8 betrug, sich also im Normbereich befand.

Die Beschwerden, die zu Beginn der 7stündigen Exposition am stärksten waren, waren in der expositionsfreien Zeit völlig abgeklungen.

Das Kollektiv ist mit vier Personen selbstverständlich zu klein, um allgemein gültige Schlüsse zu ziehen, sie zeigen aber, daß eine erhöhte Formaldehydbelastung auch in Wohnräumen biologisch nachweisbar ist, wenn die Formaldehyd-Konzentrationen über der Wahrnehmbarkeitsgrenze liegen, aber unter dem MAK-Wert.

Die Frage, die wir jedoch untersuchen sollten, ist: kann man biologisch eine Formaldehydaufnahme auch dann noch nachweisen, wenn die angebotenen Formaldehyd-Konzentrationen unter der Wahrnehmbarkeitsgrenze liegen? Hierzu untersuchten wir die Ausscheidung von 37 Schulkindern, die Konzentrationen von 0,1 und 0,06 ppm während der Schulzeit ausgesetzt gewesen waren und diese Konzentrationen nie wahrgenommen hatten.

Wir fanden bei den Kindern, die während der Schulstunden 0,12 mg/m³ Formaldehyd ausgesetzt gewesen waren (n = 17)

- zwischen 1,8 und 5,2 mg % HCOOH (im Mittel 3,5 ± 0,9)
- und

– bis zu 0,05 mg % HCHO (im Mittel 0,02)
im Urin.

Die Kinder, die während der Schulstunden etwa der halben Formaldehyd-Konzentration, nämlich 0,07 mg/m³ ausgesetzt gewesen waren, schieden im Urin aus (n = 20):

– zwischen 1,5 und 5,9 mg % HCOOH (im Mittel 3,1 ± 1,4)
und
– bis zu 0,07 mg % HCHO (im Mittel 0,03).

Die Ausscheidungen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, der Formaldehyd liegt an der Grenze der Nachweisbarkeit. Die Ameisensäureausscheidung der Schulkinder lag im Mittel an der oberen Grenze der Norm.

Betrachtet man in beiden Kollektiven die Gesamtausscheidung der Ameisensäure über 24 Stunden, so erhält man Werte, die ebenfalls nicht signifikant voneinander verschieden sind bzw. unter den Ausscheidungswerten nicht exponierter Erwachsener liegen.

– Kinderkollektiv (belastet mit 0,12 mg HCHO/m³)
 \bar{x} = 17,8 mg HCOOH/24 Stundenurin
s = 4,5
– Kinderkollektiv (belastet mit 0,07 mg HCHO/m³)
 \bar{x} = 15,7 mg HCOOH/24 Stundenurin
s = 6,9
– Erwachsenenkollektiv (unbelastet)
 \bar{x} = 23,0 mg HCOOH/24 Stundenurin
s = 5,9

Daß in beiden Kinderkollektiven praktisch keine Belastung abgelesen werden kann, ist eigentlich nicht verwunderlich, wenn man die tatsächliche Belastung betrachtet. Selbst unter Annahme eines hohen Atemvolumens von 5 m³ während einer 6stündigen Expositionszeit würden bei 0,1 ppm Formaldehyd maximal 0,62 mg Formaldehyd aufgenommen werden können, die, unter der Voraussetzung eines vollständigen oxidativen Umsatzes eine Erhöhung des Ameisensäurespiegels um 0,19 mg/100 ml Urin (bei im Mittel 510 ml/24 Std) bringen könnten. Bei 0,06 ppm Formaldehyd würde sich diese Menge noch einmal halbieren. Solche maximalen Erhöhungen sind bei der 10 bis 20 mal höheren möglichen Normalausscheidung an Ameisensäure nicht mehr nachweisbar.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: während eine Formaldehyd-belastung von 0,5 ppm und täglich mehr als 5 Stunden an der Ameisensäure- und Formaldehydausscheidung im Urin nachweisbar ist, kann eine Belastung von

0,1 ppm mit diesen Parametern biologisch nicht mehr nachgewiesen werden. Unseres Erachtens sollte in diesem Bereich zwischen 0,1 und 0,5 ppm dann auch ein Grenzwert für Schulen oder Wohnräume liegen, um Belästigungen durch Formaldehyd auszuschließen, unter der Voraussetzung selbstverständlich, daß die übrigen Vorschriften und DIN-Normen zur Hygiene in Schulbauten eingehalten werden.

Literatur

- [1] *Deimel, Maria*: Dieses Buch, S. 416 – 427.
- [2] *DIN 18031*: Hygiene im Schulbau. Ausgabe Oktober 1963, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.
- [3] *DIN 1946/Blatt 5*: Lüftungstechnische Anlagen – Lüftung von Schulen. Ausgabe August 1967, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.
- [4] *Lahmann, E. und K. Jander*: *Gesundh.-Ing.* 89 (1968) 18.
- [5] *Formaldehyd*, in: *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe – Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten*. Hrsg. D. Henschler, Verlag Chemie, Weinheim/Bergstr., 1972. Lose-Blatt-Sammlung.
- [6] *Einbrodt, H.J., D. Prajsnar und J. Erpenbeck*: *Zbl. Arbeitsmed.* 26 (1976) 154.
- [7] *Malorny, G., N. Riebrock und M. Schneider*: *Arch. exp. Pathol. Pharmakol.* 250 (1965) 419.
- [8] *Riebrock, N. und W.-D. Hinrichs*: *Klin. Wschr.* 42 (1964) 981.