



Forschungsvorhaben

Untersuchung von Innenraumluft und von Materialien in Saunen

Herleitung von Richtwerten für Formaldehyd

Juni 2010

**Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft**

GZ UW 1.3.4/0016-V/4/2008

DI Peter Tappler
Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie

DI Bernhard Damberger, DI Felix Twrdik, DI Claudia Schmöger
IBO Innenraumanalytik OG

OA DI tech. nat. Dr. med. Hans-Peter Hutter
ÄrztInnen für eine gesunde Umwelt, Institut für Umwelthygiene, Medizinische
Universität Wien

Ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi
Institut für Umwelthygiene, Medizinische Universität Wien

Doz. Dr. Hanns Moshhammer
ÄrztInnen für eine gesunde Umwelt, Institut für
Umwelthygiene, Medizinische Universität Wien

Dr. Peter Wallner
ÄrztInnen für eine gesunde Umwelt; ExpertInnengruppe Medizin und Umweltschutz

Ing. Alexander Myslik
Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 15 Umwelt

Titel: Untersuchung von Innenraumluft und von Materialien in Saunen
Herleitung von Richtwerten für Formaldehyd

Auftraggeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft
GZ UW 1.3.4/0016-V/4/2008
A-1012 Wien, Stubenring 1

Durchführung: **IBO-Innenraum Mess- & Beratungsservice**
Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie
1090 Wien, Alserbachstraße 5/8
Dipl. Ing. Peter Tappler
1150 Wien, Brunhildengasse 1/2 Tel. 0664-300 80 93
email: p.tappler@innenraumanalytik.at

Chemisches Laboratorium – Technisches Büro für Physik
IBO-Innenraumanalytik OG
1150 Wien, Stutterheimstraße 16-18/2
Dipl. Ing. Bernhard Damberger
Dipl. Ing. Felix Twrdik
Dipl. Ing. Claudia Schmöger
Tel. +43-(0)664-300 80 93 Tel. +43-(0)1-983 80 80
Fax:+43-(0)1-983 80 80-15
email: office@innenraumanalytik.at
Home: <http://www.innenraumanalytik.at>

Institut für Umwelthygiene/ Medizinische Universität Wien
A-1090 Wien, Kinderspitalgasse 15
Ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi
Doz. Dr. Hanns Moshammer
Dipl. Ing. Dr. Hans-Peter Hutter

Tel. +43-(0)1-4277-64701
email: hans-peter.hutter@meduniwien.ac.at

**ÄrztInnen für eine gesunde Umwelt/ ExpertInnengruppe Medizin
und Umweltschutz**
Dr. Peter Wallner

Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 15 Umwelt
Ing. Alexander Myslik

Datum des Endberichtes: 25.06.2010

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	6
2	EINLEITUNG UND ALLGEMEINES	9
2.1	Vorbemerkungen	9
2.2	Regulatorische Vorgaben	10
2.3	Begriffe	11
2.4	Zielsetzung der Studie	11
2.5	Vorgangsweise, Messstrategie	12
3	UNTERSUCHUNGEN DER INNENRAUMLUFT VON KAMMERN.....	13
3.1	Vorgangsweise	13
3.2	Analytik.....	14
3.2.1	Untersuchung des Luftwechsels	14
3.2.2	Untersuchung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit.....	15
3.2.3	Untersuchung der Raumluft der Kammer auf Formaldehyd	15
3.3	Ergebnisse der Luftuntersuchungen in Saunakammern.....	16
3.3.1	Ergebnisse der Messungen bei Inbetriebnahme einer Sauna in Bad Hall.....	16
3.3.2	Ergebnisse der Messungen bei Inbetriebnahme einer Sauna in Wien.....	17
3.3.3	Ergebnisse von punktuell durchgeführten Messungen	18
3.3.4	Messungen in neuen Saunakammern in Ausstellungsräumen.....	23
3.4	Interpretation der Ergebnisse der Luftuntersuchungen	24
3.4.1	Saunakammern	24
3.4.2	Infrarotkabinen, „Biosaunen“ und Dampfbäder.....	24
4	MATERIALUNTERSUCHUNGEN	25
4.1	Vorgangsweise und Probepvorbereitung.....	25
4.2	Analytik.....	25
4.3	Ergebnisse der Materialuntersuchungen	27
4.3.1	Ergebnisse der Materialuntersuchungen bei 60°C	27
4.3.2	Ergebnisse der Materialuntersuchungen bei 90°C	28
4.4	Interpretation der Ergebnisse der Materialuntersuchungen	31
5	GRUNDLAGEN ZUR FORMALDEHYDEMISSION AUS VOLLHOLZ UND HOLZWERKSTOFFEN	32
5.1	Allgemeines zur Formaldehydemission aus Vollholz und Holzwerkstoffen.....	32
5.2	Formaldehydemission aus Holzwerkstoffen.....	32
5.3	Formaldehydemission aus Vollholz.....	34
5.4	Formaldehydemission aus Saunawerkstoffen	37

6	VORGANGSWEISE BEI PRÜFUNGEN VON MATERIALIEN UND KAMMERN MIT ERHÖHTER TEMPERATUR	38
6.1	Allgemeines zu Materialprüfungen und Prüfungen von Kammern.....	38
6.2	Produktprüfungen	38
6.2.1	Prüfkammermethode für Produktprüfungen	38
6.2.2	Abgeleitete Methoden für Produktprüfungen	39
6.3	Prüfung der Unbedenklichkeit der Saunakammer	42
6.3.1	Allgemeine Vorgangsweise	42
6.3.2	Abschätzung der zu erwartenden Kammerkonzentration aus der Emissionsrate der Materialien	43
6.3.3	Offene Fragen.....	49
7	UMWELTMEDIZINISCHE EXPERTISE.....	50
7.1	Fragestellung	50
7.2	Saunaraum und Saunabesuch aus medizinischer Sicht	50
7.2.1	Allgemeines	50
7.2.2	Raumklima im Saunaraum	50
7.2.3	Physiologische Effekte des Saunabades auf den Organismus	51
7.2.4	Therapeutische Indikationen.....	52
7.3	Toxikologische Grundlagen von Formaldehyd	53
7.3.1	Endogene Produktion, Aufnahme und Verteilung.....	53
7.3.2	Metabolismus und Elimination	53
7.3.3	Gesundheitliche Wirkungen – Allgemeines	54
7.3.4	Schleimhautreizungen	54
7.3.5	Systemische Wirkungen	55
7.3.6	Allergene Wirkungen	56
7.3.7	Kanzerogenität.....	57
7.3.8	Wahrnehmung	59
8	BEURTEILUNG VON FORMALDEHYD-KONZENTRATIONEN	60
8.1	Begriffe	60
8.2	Ableitung von Richtwerten und Festlegung von Grenzwerten	60
8.3	Beurteilung von Formaldehyd-Konzentrationen in Innenräumen	61
8.4	Beurteilung von Formaldehyd-Konzentrationen in Saunakammern	62
9	POSITIONSPAPIER FÜR SCHADSTOFFVERMEIDUNG IN SAUNEN	63
10	DANKSAGUNG	65
11	LITERATUR	66

1 ZUSAMMENFASSUNG

Schadstoffmessungen des Parameters Formaldehyd in den Jahren 2008 bis 2010 zeigten, dass in Saunakammern, die zum Teil mit unbehandeltem Holz ausgestattet wurden, über einen längeren Zeitraum erhöhte Konzentrationen an Formaldehyd in der Raumluft der Kammern nachweisbar waren, es waren auch ältere Kammern betroffen. Dies erlangte deshalb Relevanz, da Saunaanlagen bewilligungspflichtig sind und einerseits laut Bäderhygienegesetz keine Gefährdung der Gesundheit der Badegäste oder der Gäste der Sauna-Anlagen, Warmluft- oder Dampfbäder, insbesondere in hygienischer Hinsicht zu erwarten sein darf, andererseits laut Bäderhygieneverordnung in der Saunakammer verwendete Materialien in betriebsüblichen Temperaturbereichen keine negativen Auswirkungen auf die Saunabesucher haben dürfen.

Die Ergebnisse der Luftuntersuchungen in Saunakammern („Finnische Saunen“) zeigen in 10 von 26 der stichprobenartig untersuchten Kammern Konzentrationen an Formaldehyd, die deutlich oberhalb von $0,1 \text{ mg/m}^3$ (als Halbstundenmittelwert) liegen. Tendenziell zeigen sich niedrige Werte, wenn formaldehydfreie Holzwerkstoffe oder die Holzart Hemlock eingesetzt wurden, sämtliche Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft lagen bei diesen Saunen im Bereich oder unter dem Wert von $0,1 \text{ mg/m}^3$. In einer neuen Saunaanlage, die mit formaldehydfreien Holzwerkstoffen ausgestattet war, war in den über einen Zeitraum von zwei Monaten untersuchten Saunakammern keine Abnahme der (generell nicht erhöhten) Konzentration an Formaldehyd festzustellen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass bei unterschiedlichen Temperaturen und Luftwechselraten gemessen wurde. Durchwegs erhöhte Werte zeigen sich bei Einsatz von Holzwerkstoffen, die mittels konventionellen, Formaldehyd abspaltenden Klebern (Leimen) verleimt wurden. In 5 von 7 untersuchten Saunakammern, in denen derartige Holzwerkstoffe eingesetzt wurden, zeigten sich Formaldehydkonzentrationen deutlich oberhalb von $0,1 \text{ mg/m}^3$. Eine Überschreitung des Wertes von $0,5 \text{ mg/m}^3$ wurde allerdings nur in einer Sauna festgestellt. In 4 von 6 untersuchten Saunakammern, in denen Fichtenholz eingesetzt wurde, zeigten sich ebenfalls Konzentrationen an Formaldehyd, die deutlich oberhalb von $0,1 \text{ mg/m}^3$ lagen. Im Durchschnitt lag jedoch die Formaldehydkonzentration in Fichtensaunen deutlich unterhalb jener, die in Saunen mit konventionellen, nicht formaldehydfreien Holzwerkstoffen gemessen wurde.

Die Ergebnisse der Luftuntersuchungen in Infrarotkabinen, sogenannten „Biosaunen“ und Dampfbädern zeigten Formaldehydkonzentrationen, die mit einer Ausnahme unterhalb von $0,1 \text{ mg/m}^3$ lag.

Die primäre Ursache der erhöhten Formaldehydkonzentrationen war in Emissionen der in den Kammern verwendeten Materialien anzunehmen. Daten aus dem Bereich Holz Trocknung belegen, dass Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen bei erhöhten Temperaturen schon lange bekannt sind. Es ist daher davon auszugehen, dass eine solche Abgabe von Formaldehyd aus Materialien neuer Saunakammern schon immer vorhanden war, diese aber erst in den letzten Jahren durch Messungen erkannt wurde.

Die Ergebnisse der Materialuntersuchungen an diversen Holz- und Holzwerkstoffproben zeigten stark unterschiedliche Emissionsraten. Generell zeigten sich bei Holzwerkstoffen, die mittels konventionellen, Formaldehyd abspaltenden Klebern (Leimen) produziert wurden, hohe Werte und bei Holzwerkstoffen, die mit formaldehydfreien Klebern (Leimen) produziert wurden, tendenziell niedrige Werte. Eine weiter gehende Interpretation ist auf Grund der geringen Probenzahlen nicht möglich, wären aber bei Prüfung größerer Mengen an Holzwerkstoffen möglich.

Bei Verwendung von formaldehydfrei verklebten Holzwerkstoffen oder Vollholz ist davon auszugehen, dass die Emission an Formaldehyd ausschließlich von thermischen Zersetzungsvorgängen stammt. Eine Abnahme über die Zeit ist auf Grund der Art der chemischen Reaktion nicht anzunehmen. Untersuchungen des Emissionsverlaufes an einem ausgewählten Prüfkörper (Holzart Hemlock) zeigten einen schwankenden Verlauf ohne klare Tendenzen. Eine Abnahme der Emissionsraten über die Zeit konnte bei dieser Einzelprüfung nicht festgestellt werden.

Wenn Materialtemperaturen vorliegen, die etwa 60°C unterschreiten, sind bei Verwendung formaldehydfrei verklebter Holzwerkstoffe und auch bei Vollholz niedrige Emissionen an Formaldehyd und dadurch auch niedrige Kammerkonzentrationen zu erwarten. Bei höheren Temperaturen kann es bei diesen Holzwerkstoffen und auch bei Vollholz zu relevanten Emissionen kommen. Dies kann mitunter zu erhöhten Formaldehydkonzentrationen in den Kammern führen, vor allem dann, wenn die Luftwechselrate niedrig und das Flächen-Volumsverhältnis groß ist bzw. wenn stärker emittierende Hölzer eingesetzt werden.

Tendenziell zeigte sich unter Berücksichtigung der Materialuntersuchungen und der Raumlufuntersuchungen in realen Saunakammern, dass die Holzart Hemlock vergleichsweise geringere Mengen und die Holzart Fichte vergleichsweise höhere Mengen an Formaldehyd emittierte. Welche Bandbreite die Emission an Formaldehyd aus einzelnen Holzarten aufweist, kann auf Grund der geringen Anzahl untersuchter Hölzer nur vermutet werden, generelle abschließende Aussagen sind derzeit noch nicht möglich.

Werden Holzwerkstoffe eingesetzt, die eine dünne Decklage besitzen, ist zu erwarten, dass die Emission der weiter unten liegenden Schichten durch die jeweilige Kleberschicht gemindert wird. Stichprobenartige Untersuchungen von zwei Typen formaldehydfreier Holzwerkstoffe zeigten niedrige Emissionen, die unter der Emission der bisher untersuchten Hölzer liegen.

Bei Verwendung von Holzwerkstoffen, die mit Formaldehyd abspaltenden Klebern verleimt wurden, ist zusätzlich zur thermischen Zersetzung des Holzes vor allem am Anfang der Nutzung (Inbetriebnahme) mit deutlich erhöhten Emissionen an Formaldehyd auf Grund der Hydrolyse des Klebers zu rechnen. Hier ist eine Abnahme der Emissionsraten über die Zeit zu erwarten. Nimmt man auch bei Temperaturen, wie sie in Saunakammern vorliegen, einen ähnlichen Mechanismus an, der bei Raumtemperatur ermittelt wurde, wird sich die Emissionsrate vermutlich nach einer Phase der stärkeren Abnahme auf einem relativ konstanten Niveau einpendeln.

In einer umweltmedizinischen Expertise wurden die Grundlagen zu einer Bewertung von Formaldehydkonzentrationen in Saunakammern und Infrarotkabinen erarbeitet. Im Vordergrund einer medizinischen Beurteilung stehen daher kurzfristige akute Effekte. Diese sind im Wesentlichen Reizungen der Schleimhäute der oberen Atemwege (Nase, Rachen, Kehlkopf, Luftröhre) und der Augenbindehäute.

Ab Konzentrationen von 0,5 ppm (0,62 mg/m³) bis 1,0 ppm (1,25 mg/m³) finden sich im allgemeinen Hinweise aus Studien über irritative Reizungen an Augenbindehäuten und Nasenschleimhaut. Da die Empfindlichkeit gegenüber Formaldehyd individuell jedoch sehr unterschiedlich ist, finden sich in der Literatur auch niedrigere Werte. Basierend auf diesen speziellen Bedingungen werden für die Raumluft von Saunen folgende Richtwerte vorgeschlagen:

Für die Beurteilung von Formaldehyd-Konzentrationen in Saunakammern ist ein Richtwert von 0,1 mg/m³ (arithmetischer Mittelwert der Halbstunden-Mittelwerte der Probenahmen) heranzuziehen. Bei Überschreitung dieses Wertes sind bei empfindlichen Personengruppen gesundheitliche Effekte nicht auszuschließen.

Eine Formaldehyd-Konzentration von 0,5 mg/m³ (Halbstundenmittelwert als Einzelwert einer Probenahme) darf in Saunakammern jedoch in keinem Fall überschritten werden. Bei Konzentrationen über 0,5 mg/m³ sind auch unter Berücksichtigung der kurzen Aufenthaltszeit verschiedene Reizerscheinungen selbst bei normal empfindenden Personen nicht auszuschließen. Es ist damit möglich, dass es zu einer Gefährdung der Gesundheit der Anlagennutzer kommt. In diesem Fall sind (1) die Einrichtungen nicht zu nutzen und (2) Maßnahmen zu treffen, die die Formaldehydkonzentration der Raumluft dauerhaft reduzieren.

Wenn zu erwarten ist, dass in einer Saunakammer die Formaldehyd-Konzentration zwischen 0,1 mg/m³ und 0,5 mg/m³ liegt, so können bei empfindlichen Personen irritative Effekte auftreten. Daher sind die Nutzer deutlich sichtbar auf mögliche Wirkungen mittels Hinweistafel aufmerksam zu machen. Folgender Text kann aus ärztlicher Sicht vorgeschlagen werden: „Frisches natürliches Vollholz und Holzwerkstoffe können bei Erhitzen Stoffe abgeben, die bei empfindlichen Menschen Reizungen der Schleimhaut auslösen. Solche Personen sollten daher die Saunakammer nicht benützen oder den Aufenthalt zeitlich stark einschränken“. Zusätzlich werden Maßnahmen zur Reduktion der Raumluftkonzentration von Formaldehyd empfohlen (z.B. verstärkte Lüftung).

2 EINLEITUNG UND ALLGEMEINES

2.1 Vorbemerkungen

Der Schadstoff Formaldehyd trat ab Ende der 1970er Jahre ins Zentrum der Aufmerksamkeit (BGA 1984) und wurde seit dieser Zeit als Innenraumschadstoff wahrgenommen. In Innenräumen wurden zahlreiche Untersuchungen sowohl der Raumlufthkonzentrationen als auch der Formaldehydemission von Materialien durchgeführt (ECA 1990; Tappler und Gann 1992; Tappler et al. 1997). Ab etwa Mitte der 1980er Jahre verringerte sich die Emission der für die hohen Raumlufthkonzentrationen verantwortlichen Holzwerkstoffe (vor allem Spanplatten) deutlich. In den letzten Jahren wurden in Innenräumen wie Wohnungen oder Büros nur mehr wenige Überschreitungen von Grenz- bzw. Richtwerten festgestellt.

Am Beginn der Beschäftigung mit der Problematik von Formaldehyd in Saunakammern stand die Beschwerde eines Gastes einer gewerblichen Sauna in Kärnten über gesundheitliche Beeinträchtigungen nach dem Besuch einer Sauna. Im Zuge der Ermittlungen über mögliche Ursachen wurde die Raumlufthkonzentration an Formaldehyd in der Saunakammer von einem Mitarbeiter der Kärntner Landesregierung bestimmt. Die Werte lagen auf der unteren Ebene in Atemhöhe deutlich über $0,1 \text{ mg/m}^3$ Formaldehyd. In der Folge wurden zahlreiche Saunakammern unterschiedlichen Alters und diverser Hersteller untersucht, wobei punktuell Werte bis über $0,5 \text{ mg/m}^3$ ermittelt wurden. Die erste Vermutung in Bezug auf die Emissionsquelle bezog sich auf verleimte Plattenwerkstoffe, die in mehreren der Kammern eingebaut waren.

Weitere Schadstoffmessungen im Zeitraum ab 2008 zeigten, dass auch in Saunakammern, die mittels unbehandeltem Vollholz ausgestattet wurden, über einen längeren Zeitraum erhöhte Konzentrationen an Formaldehyd in der Raumlufth der Kammern nachweisbar waren. Messungen belegten, dass auch ältere Kammern betroffen waren. Die primäre Ursache der erhöhten Formaldehydkonzentrationen war, da die Zuluft zu den Kammern keine auffälligen Konzentrationen zeigte, in Emissionen der in den Kammern verwendeten Materialien anzunehmen. Es ist davon auszugehen, dass eine solche Abgabe von Formaldehyd aus Materialien in Saunakammern schon immer vorhanden war, diese aber erst in den letzten Jahren durch Messungen belegt wurde.

Von der Kärntner Landesregierung wurden in der Folge diverse Vorgaben formuliert, die sich auf die zu dieser Zeit noch geltende, alte (zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nicht mehr gültige) ÖNORM M 6219 bzw. auf das Bäderhygienegesetz bezogen. Es wurde vor Inkrafttreten der neuen Saunanorm vor allem gefordert, einen normgerechten Zustand (dies bedeutet keine Verwendung von Plattenwerkstoffen) herzustellen und es sollte ausgeschlossen werden, dass gesundheitsschädliche Formaldehydkonzentrationen vorliegen. Diesbezüglich wurde in Ermangelung eines gesetzlichen Grenzwertes für die Raumlufth in Innenräumen bzw. in Saunakammern auf eine Empfehlung des Arbeitskreises Innenraumlufth des österreichischen Umweltministeriums (BMLFUW 2009b) zurückgegriffen, die sich wiederum auf den WHO-Richtwert für Innenräume von $0,1 \text{ mg/m}^3$ bezieht.

2.2 Regulatorische Vorgaben

Aus den entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen ist zu entnehmen, dass:

- laut übergeordnetem Bäderhygienegesetz keine Gefährdung der Gesundheit der Badegäste oder der Benutzer von Sauna-Anlagen, Warmluft- und Dampfbädern, insbesondere in hygienischer Hinsicht zu erwarten sein darf.
- laut Bäderhygieneverordnung die in der Saunakammer verwendeten Materialien in betriebsüblichen Temperaturbereichen keine negativen Auswirkungen auf die Saunabesucher haben dürfen.

Für die Einhaltung dieser Voraussetzungen ist laut § 5 Abs. 3 Bäderhygienegesetz ein Nachweis zu erbringen.

Auszug aus dem Bäderhygienegesetz:

§ 5. (1) Der Betrieb von Bädern an Oberflächengewässern, von Sauna-Anlagen und Warmluft- und Dampfbädern bedarf einer Betriebsbewilligung der Bezirksverwaltungsbehörde.

(2) Dem Ansuchen um Erteilung einer Betriebsbewilligung gemäß Abs. 1 sind die zur Beurteilung erforderlichen Unterlagen, wie eine genaue Beschreibung der Anlage samt Plänen unter besonderer Berücksichtigung der vorgesehenen Hygienemaßnahmen und Angaben über die vorgesehene Besucherkapazität, in dreifacher Ausfertigung beizuschließen.

(3) Eine Betriebsbewilligung gemäß Abs. 1 ist, erforderlichenfalls unter Vorschreibung bestimmter geeigneter Auflagen, zu erteilen, wenn beim ordnungsgemäßen Betrieb keine Gefährdung der Gesundheit der Badegäste oder der Gäste der Sauna-Anlagen, Warmluft- oder Dampfbäder, insbesondere in hygienischer Hinsicht, zu erwarten ist.

§ 6. Jede Änderung oder Erweiterung von Bädern, Sauna-Anlagen, Warmluft- oder Dampfbädern oder Kleinbadeteichen, durch die sich Gefährdungen für die Gesundheit der Badegäste oder der Gäste der Sauna-Anlagen, Warmluft- oder Dampfbäder, insbesondere in hygienischer Hinsicht, ergeben können, bedarf einer Bewilligung im Sinne der vorstehenden Bestimmungen; sie hat auch die bereits bewilligte Anlage zu umfassen, soweit sich die Änderung auf diese auswirkt.

Auszug aus der Bäderhygieneverordnung:

§ 34. (4) Die einwandfreie Be- und Entlüftung einer Saunakabine muss bei geschlossener Tür gewährleistet sein. Dem Luftwechsel einer Saunakabine ist eine mittlere Luftwechselzahl von mindestens sechsmal pro Stunde zugrundelegen.

(5) Für den Innenausbau sind harzarme, nicht schiefernde Hölzer zu verwenden. Auflagerabstände und Holzdicken der Sitz- und Liegebänke, Auftritte und Schutzverkleidungen müssen so gestaltet sein, dass sie den betriebsüblichen Belastungen standhalten können. Sonstige in der Saunakabine verwendete Materialien müssen hitze- und korrosionsbeständig sein und dürfen in betriebsüblichen Temperaturbereichen keine negativen Auswirkungen auf die Saunabesucher haben.

2.3 Begriffe

Im Folgenden wird als „Kammer“ sowohl eine Saunakammer als auch der Innenraum von Dampfbädern und Infrarotkabinen bezeichnet. In der Bäderhygieneverordnung wird die Saunakammer als „Saunakabine“ bezeichnet.

Saunakammern, die mit höheren Temperaturen bis 105°C betrieben werden und in denen ein Aufguss stattfindet, werden als „Finnische Saunen“ bezeichnet. Als „Biosaunen“ werden Saunakammern bezeichnet, die mit Temperaturen unter 60°C betrieben werden und in denen keine Aufgüsse stattfinden.

2.4 Zielsetzung der Studie

Ziel der gegenständlichen Studie ist, den derzeitigen Stand des Wissens in Bezug auf den Themenkreis Formaldehyd in der Raumlufth von Saunakammern, Dampfbädern und Infrarotkabinen darzustellen.

Ein vordringliches Ziel der Studie ist es, Maßnahmen in Planung und Ausführung von Kammern zu ermitteln, die die Emission an Formaldehyd aus erhitztem Vollholz und aus Holzwerkstoffen beim Betrieb von Kammern verringern können. Aufgrund des bekannten Mechanismus der Freisetzung von Formaldehyd bei Raumtemperatur wurde vermutet, dass die Formaldehydabgabe über die Zeit abnimmt. Ob dies zutrifft, sollte im Rahmen der vorliegenden Studie abgeklärt werden. Die Dauer bis zum Erreichen hygienisch akzeptabler Werte ist, wenn es einen derartigen Zeitraum gibt, ebenfalls im Rahmen der vorliegenden Studie abzuschätzen.

Im „Positionspapier zu Schadstoffvermeidung in Saunen, Ausgabe 2009“ (BMLFUW 2009b) wurden aufgrund der Dringlichkeit des Themas Maßnahmen angesprochen, deren Wirksamkeit durch messtechnisch erzielte Ergebnisse zu untermauern waren. Die angewandte Methodik zur Messung der Konzentration an Formaldehyd in Kammern war ebenfalls einer Überprüfung zu unterziehen. Weiters sollten die vorläufigen Richtwerte, die im Positionspapier angeführt sind, durch eine toxikologische Bewertung überprüft und gegebenenfalls verändert werden.

Ein wichtiger Punkt zur primären Vermeidung von Emissionen ist weiter die Auswahl geeigneter Werkstoffe. Im Rahmen der Studie soll abgeklärt werden, welche Unterschiede in der Formaldehyd-Belastung der Saunakammer-Innenluft bei Verwendung verschiedener Holzarten bzw. verleimter Holzwerkstoffe auftreten. Dazu wird eine Modellrechnung durchgeführt. Weiters sollen, wenn möglich, Abhängigkeiten der Konzentration von Formaldehyd in den Saunakammern von verschiedenen Randparametern wie Temperatur, Luftfeuchte und dem Luftwechsel festgestellt werden.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Studie ist es, Grundlagen für maximale Emissionswerte für im Saunabau eingesetzter Materialien zu liefern, die in den im März 2010 veröffentlichten neuen Teilen der ÖNORM M 6219 – Anforderungen an öffentliche und gewerbliche Saunaanlagen, Infrarot-, Dampf- und sonstige Wärmekabinen, Teil 1: Planung und Betrieb von Saunas in Kombination mit Infrarot-Wärmequellen bzw. Teil 2: Planung und Betrieb von Infrarotkabinen verwendet wurden.

2.5 Vorgangsweise, Messstrategie

Im Rahmen der Studie wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Untersuchung der Emission an Formaldehyd aus Vollholz und Holzwerkstoffen mittels der Methode der Gasanalyse in Anlehnung an EN 717-2 ¹ auf unterschiedlichen Temperaturniveaus
- Darstellung der Ergebnisse der Emissionsmessungen unter Berücksichtigung der Vorstudie, beauftragt vom Fachverband der Holzindustrie, bei der diverse Holzarten untersucht wurden (Tappler et al. 2009)
- Untersuchung der Raumlufte von in Betrieb gehenden, öffentlichen Saunen über einen längeren Zeitraum auf Formaldehyd und Beurteilung der Ergebnisse
- Auflistung der anonymisierten Ergebnisse von im Zuge von Auftragsarbeiten durchgeführten Untersuchungen der Innenraumlufte in realen Saunakammern, Dampfbädern und Infrarotkabinen (hier werden auch die Ergebnisse der von der Kärntner Landesregierung beprobten Kammern aufgelistet)

Um die im Zusammenhang mit dem Themenkreis Formaldehyd in der Raumlufte von Saunakammern, Dampfbädern und Infrarotkabinen gegebenen Fragen abzuklären, wurden folgende weitere Arbeiten durchgeführt:

- Literaturrecherche zum Thema Formaldehyd aus Vollholz und Holzwerkstoffen bei höheren Temperaturen
- Bewertung und Erarbeiten von Grundlagen zur Neuformulierung einzelner Passagen des „Positionspapier zu Schadstoffvermeidung in Saunen“ des BMLFUW.

¹ DIN EN 717-2 bzw. ÖNORM EN 717-2: Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 2: Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode

Die Untersuchung der Emission an Formaldehyd mittels der Methode der Gasanalyse an unterschiedlichen Holzarten und Holzwerkstoffen erfolgte im Labor der Fa. IBO-Innenraumanalytik OG, wobei eine modifizierte Gasanalyse-Apparatur, mit der Temperaturen bis zu 130°C erreichbar sind, eingesetzt wurde. Es wurden unterschiedliche Holzarten und Holzwerkstoffe untersucht. Ein Holzprüfkörper (Hemlock) wurde über einen Zeitraum von etwa zwei Monaten untersucht, wobei der Prüfling im ersten Monat mit bei Raumtemperatur befeuchteter Luft und im zweiten Monat mit trockener Luft beaufschlagt wurde.

Die Untersuchung des Verlaufes der Formaldehydkonzentration von in Betrieb gehenden Saunen über einen längeren Zeitraum erfolgte in mehreren Saunakammern, die sich in einem öffentlichen Bad in Wien sowie in Bad Hall befanden. Weiters wurden neu errichtete Saunakammern, Dampfbäder und Infrarotkabinen im gesamten Bundesgebiet punktuell (an einem Tag) untersucht.

Die Untersuchungen fanden in den Jahren 2008 bis 2010 statt.

3 UNTERSUCHUNGEN DER INNENRAUMLUFT VON KAMMERN

3.1 Vorgangsweise

Die Messungen in bestehenden bzw. in den Betrieb aufnehmenden Saunaanlagen, Warmluft- oder Dampfbädern erfolgten im Auftrag unterschiedlicher Auftraggeber, zusätzlich wurden im Rahmen der vorliegenden Studie auch Messungen an zwei Saunaanlagen bei Inbetriebsetzung durchgeführt. Die Ergebnisse beziehen sich zum Teil auf in Betrieb stehende Kammern (Nr 1 bis 34, Nr. 46 bis 47, nicht durchgehend nummeriert) und zum Teil auf Ausstellungsstücke (Nr. 35 bis 45, nicht durchgehend nummeriert). Die Probenahmen wurden zum Teil von der Kärntner Landesregierung durchgeführt. Es wurden zufällig, nicht nach statistischen Kriterien ausgewählte Kammern im simulierten Betrieb untersucht.

In Bad Hall wurde die Inbetriebnahme einer öffentlichen Saunaanlage messtechnisch begleitet, wobei die Messungen im Zeitraum zwischen 28.11.2008 und 02.12.2008 erfolgten.

In Wien wurde ebenfalls die Inbetriebnahme einer Saunaanlage begleitet, wobei an 5 Messtagen jeweils eine Messserie sowohl in der alten, bereits bestehenden Saunakammer (bezeichnet als Herrensauna HS1) als auch in den beiden neuen Saunakammern (bezeichnet als Herrensauna HS2 und Damensauna DS) durchgeführt wurde. In der alten Saunakammer wurde die Holzart Hemlock eingesetzt, die neuen Saunakammern wurden mit einem speziellen Holzwerkstoff für Saunen (formaldehydfreie Verleimung) ausgestattet. Diese Messungen erstreckten sich von 24.09.2009 bis 26.11.2009, die Probenahmen erfolgten etwa alle 2 Wochen. Punktuell wurde hier auch der Luftwechsel mit erfasst.

3.2 Analytik

3.2.1 Untersuchung des Luftwechsels

Die Untersuchungen der Luftwechselrate wurden unter Zugrundelegung der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 7 „Messen von Innenraumlufteverunreinigungen: Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen“ durchgeführt.

Zur Bestimmung des Luftwechsels wurde der Raumlufte der Saunakammer ein inertes Tracergas (SF_6) in geeigneter Konzentration beigemischt und mit einem Ventilator gleichmäßig verteilt. Das Dosieren des Indikatorgases für die Einmal-Injektionsmethode erfolgte über eine Gasflasche mit Druckminderer in den mittleren Bereich der Saunakammer.

Die Konzentration des Tracergases wurde mit Hilfe eines Detektors nach dem Funktionsprinzip der photoakustischen Infrarotspektroskopie mit selektivem Filter [Bruel & Kjaer Single Gas Monitor] gemessen und aufgezeichnet. Es wurde die Abnahme der Tracergaskonzentration über einen Zeitraum von mehreren Stunden gemessen und aufgezeichnet. Aus der Abnahmekurve wurde die Luftwechselzahl rechnerisch ermittelt (Marutzky 1993). Aus der gemessenen Luftwechselzahl kann das zugeführte Luftvolumen pro Zeiteinheit berechnet werden. Die ersten erzielten Werte unmittelbar nach Aufbau der Messapparatur wurden jeweils verworfen, da erst ab einem bestimmten zeitlichen Abstand zum Zudosierzeitpunkt von einer ausreichenden Vermischung des Tracergases mit der Raumlufte ausgegangen werden konnte.

Für die Tracergas-Abklingkurve gilt folgende Exponentialfunktion:

$$y = f(x) = A * e^{-x * LW} \text{ [mg/m}^3\text{]}$$

y	Tracergaskonzentration zum Zeitpunkt x [mg/m ³]
A	Konstante (unterschiedlich in jedem betrachteten Messzeitraum)
x	Zeit [h]
LW	Luftwechselzahl [h ⁻¹]

In den jeweiligen Messreihen (Dauer etwa eine halbe Stunde) wurde über ein Regressionsverfahren (Minimierung der Abweichungsquadrat-Summe zwischen Messwert und Rechenwert durch Optimierung von A und LW – LSF-Verfahren²) die Luftwechselzahl ermittelt. Die Methode wurde deshalb gewählt, um Auswirkungen zufälliger Schwankungen des Messwertes der Tracergaskonzentration auf die errechnete Luftwechselzahl hinten zu halten.

² Least Square Fit-Verfahren

3.2.2 Untersuchung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Die Messung der Raumlufttemperatur sowie der relativen Luftfeuchtigkeit erfolgte mittels kalibrierter aufzeichnender elektronischer Messgeräte (E+E Humlog 10), wobei die Daten bei den Probenahmestellen in der Kammer bzw. neben dem Probenahmegerät vor der Kammer erfasst wurden.

3.2.3 Untersuchung der Raumluft der Kammer auf Formaldehyd

Die Probenahme erfolgte bei Normalbetrieb der jeweiligen Kammer, wobei jeweils wiederkehrende Nutzungszyklen von einer halben Stunde angenommen wurden. Da die Messungen unter ungünstigen, jedoch realistischen Bedingungen durchgeführt werden sollten, wurde angenommen, dass die Kammer von lediglich zwei Personen genutzt wurde. Der Normalbetrieb wurde unter der Annahme, dass während des halbstündigen Betriebes die Kammer von zwei Personen betreten und wieder verlassen wird, durch Öffnen und unmittelbar darauf folgendes Schließen der Türe simuliert. Um ungünstige Bedingungen zu simulieren, wurde keine gesonderte Lüftung durch längeres Öffnen der Türen durchgeführt. Es wurde dort, wo Aufgüsse vorgesehen waren, etwa 10 Minuten nach jeweiligem Untersuchungsbeginn ein Aufguss durchgeführt, wobei zweimalig in einem Abstand von wenigen Minuten jeweils zwei Schöpfkellen Wasser am Saunaofen zur Verdampfung gebracht wurden.

Die jeweils untersuchte Kammer wurde laut Aussagen des Betriebspersonals vor der Probenahme mehrere Stunden bei Betriebstemperatur betrieben, ein vorhandener Lüftungsventilator war in Betrieb. Die Messung von Formaldehyd erfolgte nach den Vorgaben der Empfehlungen des Arbeitskreises Innenraumluft am BMLFUW „Positionspapier zu Schadstoffvermeidung in Saunen“ (BMLFUW 2009b). Eine Bestimmung des Luftwechsels erfolgte nur fallweise. Die Probenahme erfolgte im Mittelbereich der Kammern (Atemhöhe einer sitzenden Person auf mittlerer Bank, Höhe etwa 1,4 m).

Die Sammlung für die Bestimmung von Formaldehyd erfolgte durch Absorption des Aldehyds in einer wässrigen Lösung, welche Ammoniumacetat enthält, wobei ein definiertes Luftvolumen durch eine Gasprobenahmeapparatur gesaugt wurde (Acetylaceton-Methode beschrieben in ÖNORM EN 717-1³, VDI 3484 Bl. 2⁴). Das Sammelvolumen ist auf trockene Luft und auf die bei der Messung herrschenden Temperatur- und Luftdruckbedingungen bezogen.

Zur analytischen Bestimmung wurde die Lösung mit Pentan-2,4-dion (Acetylaceton) versetzt, wobei Formaldehyd mit Pentan-2,4-dion in Anwesenheit von Ammoniumacetat unter Bildung von 3,5-Diacetyl-1,4-dihydrolutinidin reagiert. Die Absorption des gebildeten Farbstoffs, dessen Farbintensität proportional zur Konzentration in der Probe ist, wurde mit Hilfe eines

³ ÖNORM EN 717-1 Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode - 2007 02 01

⁴ VDI 3484 Blatt 2- Messen von gasförmigen Immissionen - Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach der Acetylaceton-Methode – 11/2001

Spektralphotometers [Shimadzu UV 1202] gemessen (in Anlehnung an ÖNORM EN 120⁵). Die Bestimmungsgrenze liegt bei 0,010 ppm bzw. 0,013 mg/m³ Formaldehyd. Die Ergebnisse sind in mg/m³ (Milligramm pro Kubikmeter) beziehungsweise in ppm (parts per million) angegeben und werden auf zwei signifikante Stellen gerundet. Die Konzentration in mg/m³ ist auf die bei der Messung herrschende Temperatur in der Saunakammer bzw. den Luftdruck bezogen. Die Messunsicherheit wird mit +/- 20% abgeschätzt.

3.3 Ergebnisse der Luftuntersuchungen in Saunakammern

3.3.1 Ergebnisse der Messungen bei Inbetriebnahme einer Sauna in Bad Hall

Das Diagramm zeigt die Ergebnisse (Mittelwerte) der in einer Saunakammer (Material Hemlock) in Bad Hall durchgeführten Messungen.

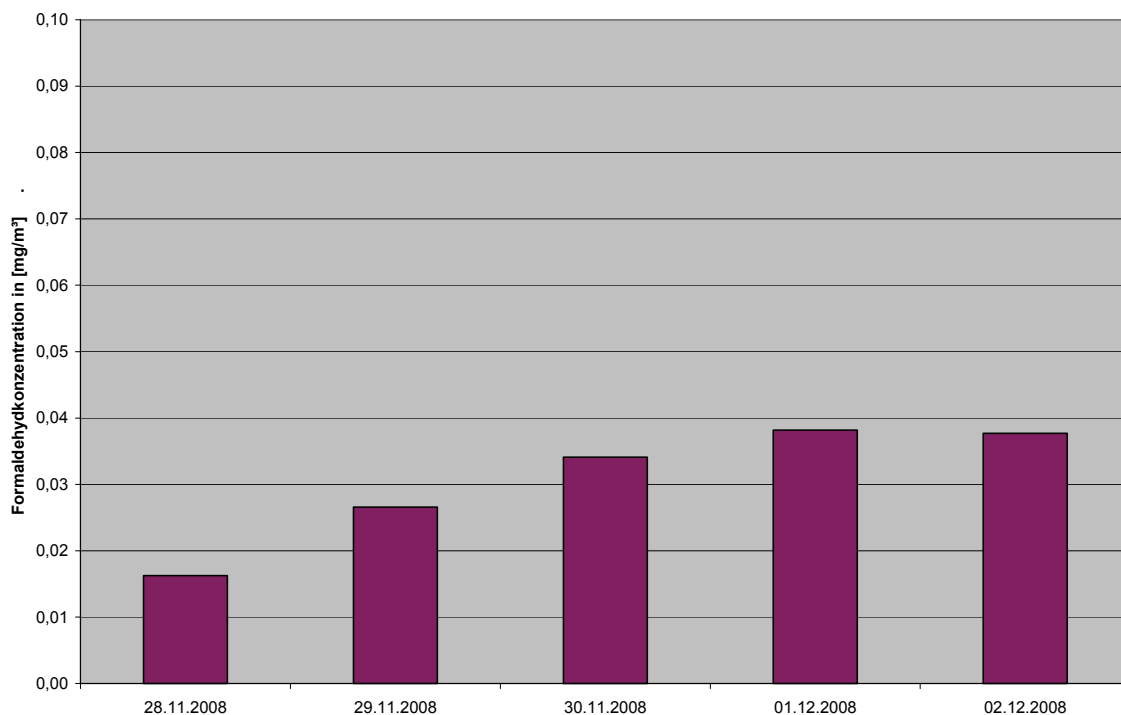


Abbildung 3.1: Verlauf der Konzentrationen an Formaldehyd in einer Saunakammer über den Zeitraum von einigen Tagen – Angaben in mg/m³

⁵ ÖNORM EN 120 - Holzwerkstoffe - Bestimmung des Formaldehydgehaltes - Extraktionsverfahren, genannt Perforator-methode - 1993 02 01

3.3.2 Ergebnisse der Messungen bei Inbetriebnahme einer Sauna in Wien

Das Diagramm zeigt die Ergebnisse (Mittelwerte) der in den einzelnen Saunakammern durchgeführten Messungen.

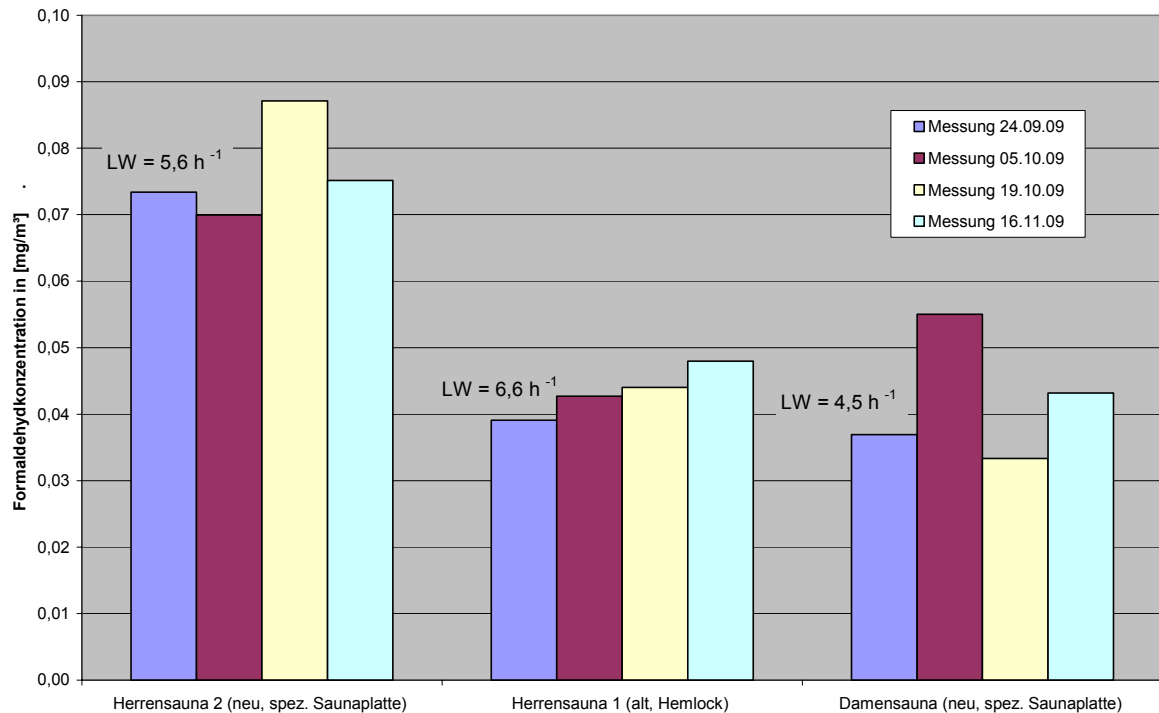


Abbildung 3.2: Verlauf der Konzentrationen an Formaldehyd in Saunakammern über den Zeitraum von etwa zwei Monaten – Angaben in mg/m³

3.3.3 Ergebnisse von punktuell durchgeführten Messungen

Tabelle 3.1: Ergebnisse der Raumluftmessungen in Saunakammern (ohne „Biosaunen“), nach Konzentration geordnet

Bezeichnung, für Wände und Decke eingesetzter Holzwerkstoff/Holzart	LW	Temperatur	Konzentration	Anmerkungen
	[h ⁻¹]	[°C]	[mg/m ³]	
S 11, Fichte	-	75	0,04	Private Sauna, ~ 9 Jahre, selten beheizt
B 21, Hemlock	8	64	0,04	
S 43, 3-Schichtplatte	-	60	0,04	keine mech. Entlüftung
S 25, Hemlock	~4,5	78	0,04	> 10 Jahre in Betrieb
S 26, Hemlock-Sperrholz FA-frei	~6,6	65	0,04	Neue entwickelte, FA-frei verleimte Platten
S 16, Hemlock	-	74	0,05	neu
S 33, Hemlock	-	65	0,06	Private Sauna, ~ 6 Jahre, fallweise beheizt
S 46, Zeder	-	72	0,07	
S 24, Hemlock-Sperrholz FA-frei	~5,6	77	0,08	Neue entwickelte, FA-frei verleimte Platten
S 28B, Hemlock	-	87	0,08	Fichte durch Hemlock ersetzt
S 22, Hemlock-Sperrholz FA-frei	9	75	0,09	Neue entwickelte, FA-frei verleimte Platten
S 44, Fichte	-	72	0,10	Lüftungsventilator in Betrieb (i.B.)
S 23, Hemlock	15	75	0,11	
S 1, Hemlock-Sperrholz	2,4	86	0,11	> 1 Jahr in Betrieb
S 17, Hemlock-Sperrholz FA-frei	2,3	88	0,11	< 1 Monat
S 45, Erle	-	69	0,13	Lüftungsventilator i.B.
S 10, Hemlock-Sperrholz	4,4	82	0,16	> 1 Jahr in Betrieb
S 27, Fichte	9	82	0,21	
S 28A, Fichte	-	57	0,21	
S 34, Fichte	-	65	0,25	Ausstellungsstück, keine mech. Entlüftung
S 19, Sperrholz	10	82	0,26	
S 38, Erle	-	58	0,30	Ausstellungsstück, keine mech. Entlüftung
S 37, Birken-Sperrholz	-	72	0,33	Lüftungsventilator i.B.
S 20, Fichte	-	81	0,40	neu, im Freien
S 39, Birken-Sperrholz	-	65	0,41	Ausstellungsstück, keine mech. Entlüftung
S 40, Sperrholz	-	61	0,78	Lüftungsventilator i.B.

Untersuchung von Innenraumlufth und von Materialien in Saunen

In Saunakammer S 28 (Fichte) wurde nach der Erstmessung (S 28a) die Innenausstattung entfernt und die Kammer neu mit Hemlock ausgestattet. Die in dieser Ausstattung bei laut Angaben des Auftraggebers gleichem Luftwechsel ermittelten Werte (S 28b) lagen bei etwa der Hälfte der ursprünglichen Werte.

Saunakammer S 10 wurde einige Monate nach der Erstmessung neuerlich untersucht (nicht in Tabelle enthalten). Es ergab sich keine relevante Abnahme der Konzentration (Wert nach einigen Monaten 0,17 mg/m³).

Tabelle 3.2: Ergebnisse der Raumlufthmessungen in Infrarotkabinen, aufsteigend nach Konzentration geordnet

Bezeichnung, für Wände und Decke eingesetzter Holzwerkstoff/Holzart	LW	Temperatur	Konzentration	Anmerkungen
	[h ⁻¹]	[°C]	[mg/m ³]	
I 29, Hemlock	-	41	0,03	
I 42, 3-Schichtplatte	-	48	0,09	keine mech. Entlüftung
I 35, Fichte 3-Schichtplatte	-	34	0,11	Ausstellungsstück, keine mech. Entlüftung
I 36, Birken-Sperrholz	-	33	0,11	Ausstellungsstück, keine mech. Entlüftung

Tabelle 3.3: Ergebnisse der Raumlufthmessungen in Dampfbädern und „Biosaunen“, nach Konzentration geordnet

Bezeichnung, für Wände und Decke eingesetzter Holzwerkstoff/Holzart	LW	Temperatur	Konzentration	Anmerkungen
	[h ⁻¹]	[°C]	[mg/m ³]	
B 46, Holzwerkstoff	-	49	0,03	Kräutersauna
B 3, Hemlock-Sperrholz	1,4	55	0,05	> 1 Jahr in Betrieb
B 18, Hemlock	-	50	0,07	< 1 Monat
B 5 Dampfbad, Seidenkiefer	-	40	0,08	Dampfbad
B 2, Hemlock-Sperrholz	3,6	59	0,08	> 1 Jahr in Betrieb
B 41, Sperrholz	-	50	0,15	mit Lüftungsventilator, Kräutersauna

LW = Luftwechsel

Untersuchung von Innenraumluft und von Materialien in Saunen

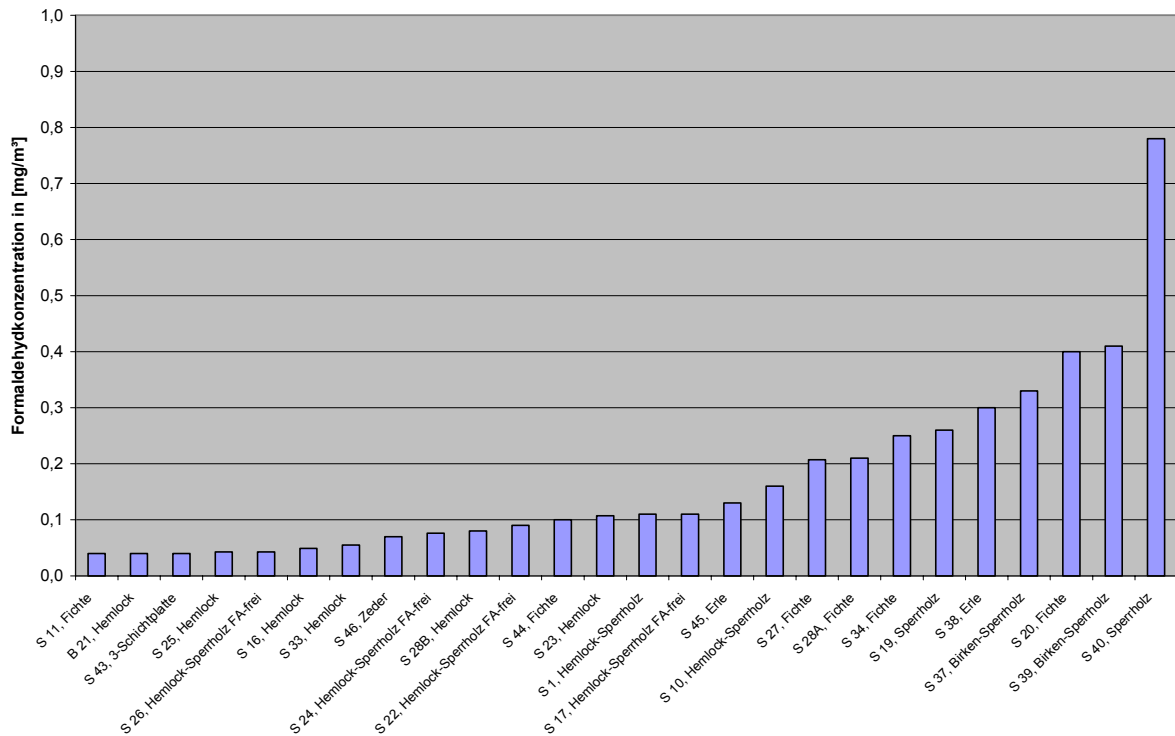


Abbildung 3.3: Zusammenfassende Ergebnisse der Messungen von Formaldehyd in Saunakammern (ohne „Biosaunen“)

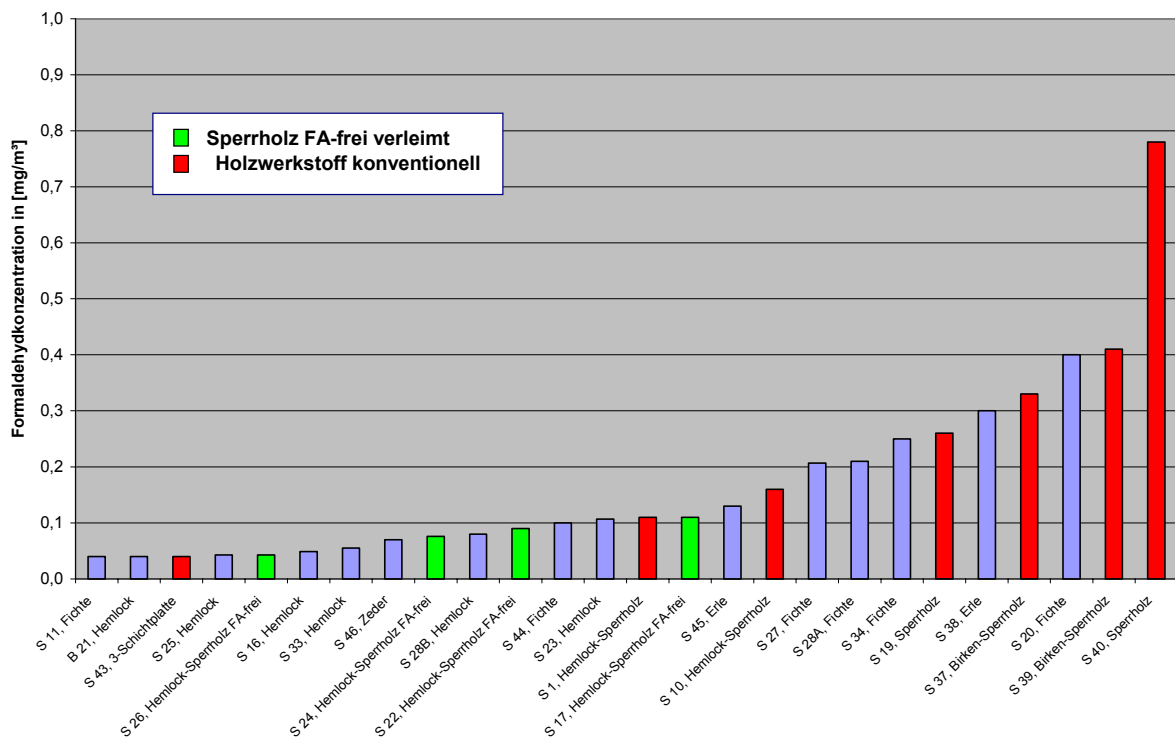


Abbildung 3.4: Zusammenfassende Ergebnisse der Messungen von Formaldehyd in Saunen (ohne „Biosaunen“, Holzwerkstoffe rot bzw. grün gekennzeichnet)

Untersuchung von Innenraumluft und von Materialien in Saunen

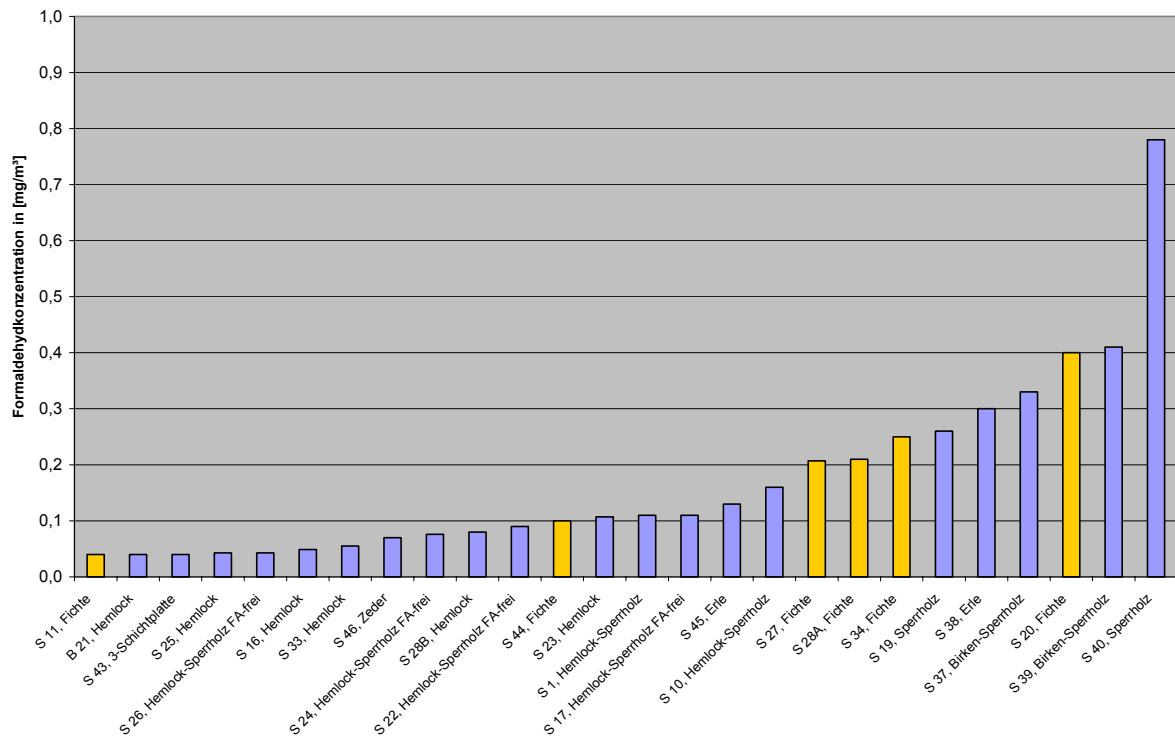


Abbildung 3.5: Zusammenfassende Ergebnisse der Messungen von Formaldehyd in Saunen (ohne „Biosaunen“, Fichte orange gekennzeichnet)

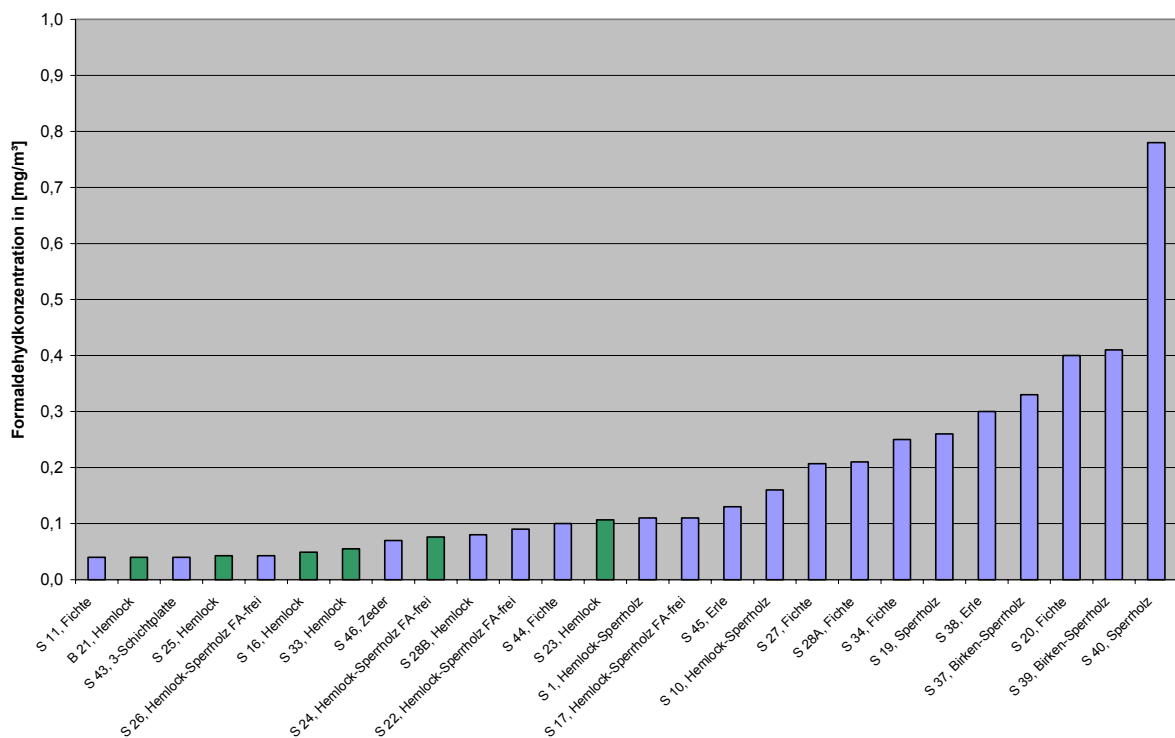


Abbildung 3.6: Zusammenfassende Ergebnisse der Messungen von Formaldehyd in Saunen (ohne „Biosaunen“, Hemlock grün gekennzeichnet)

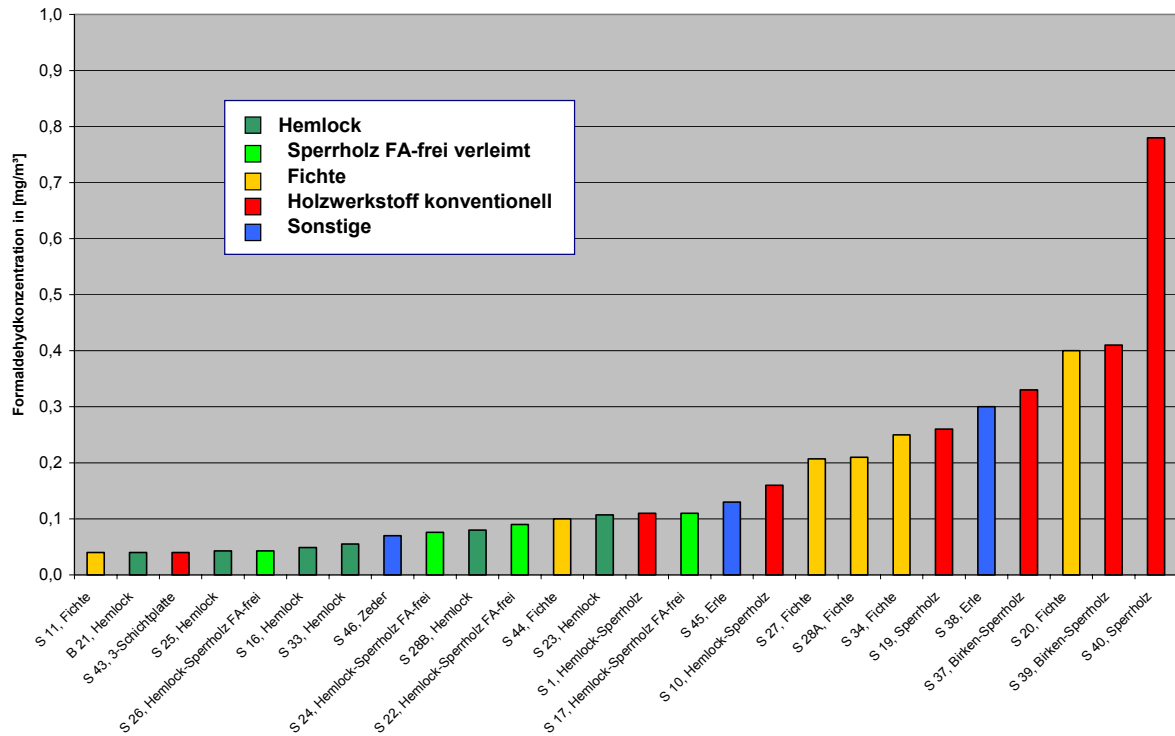


Abbildung 3.7: Zusammenfassende Ergebnisse der Messungen von Formaldehyd in Saunen (ohne „Biosaunen“)

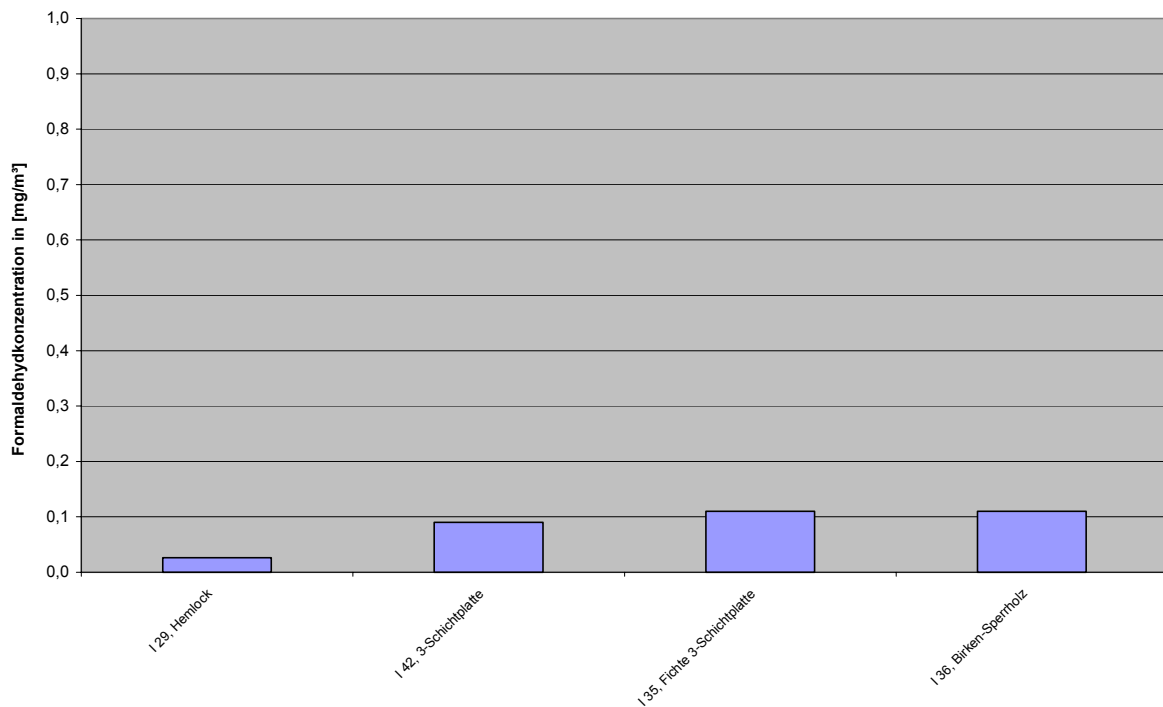


Abbildung 3.8: Zusammenfassende Ergebnisse der Messungen von Formaldehyd in Infrarotkabinen

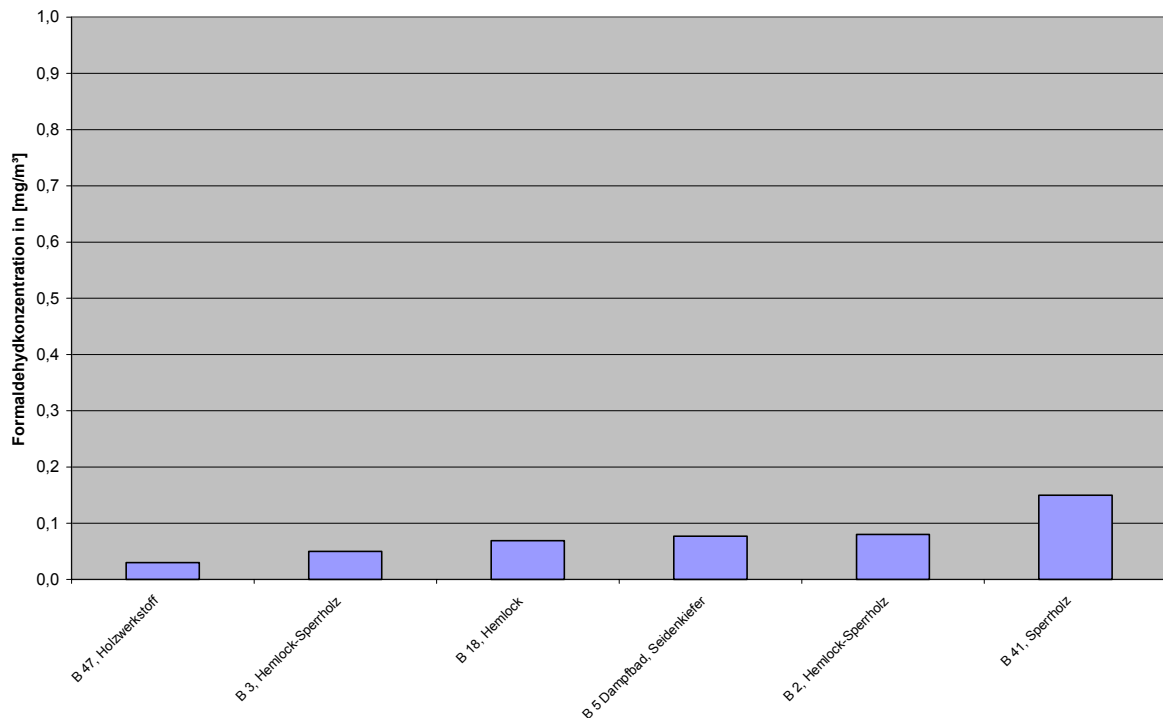


Abbildung 3.9: Zusammenfassende Ergebnisse der Messungen von Formaldehyd in „Biosaunen“ und Dampfbädern

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass bei unterschiedlichen Temperaturen und Luftwechselraten gemessen wurde. Die entsprechenden Werte sind, wenn vorhanden, den Tabelle 3.1 bis Tabelle 3.3 zu entnehmen.

3.3.4 Messungen in neuen Saunakammern in Ausstellungsräumen

Messungen in neuen Saunakammern in Ausstellungsräumen, die als Information für Hersteller ermittelt wurden, zeigten zum Teil erhöhte Werte, wenn konventionelle, nicht formaldehydfreie Holzwerkstoffe eingesetzt wurden. Punktuell zeigten sich auch in „Biosaunen“ und Infrarotkabinen erhöhte Werte, wenn nicht formaldehydfreie Holzwerkstoffe eingesetzt wurden. Eine Sauna, die eine Flächenwandheizung aufwies, die das Holz auf Temperaturen über 90°C erhitze, zeigte sehr hohe Emissionen.

Mehrere Parallelmessungen mit der Acetylacetonmethode und einer anderen Analyseverfahren (DNPH-Methode) sowie Auswertung durch ein deutsches Labor führten zu ähnlichen Ergebnissen.

Die Ergebnisse dieser Messungen werden nicht publiziert, da die gemessenen Werte nicht repräsentativ waren und nur zur internen Information der jeweiligen Firmen ermittelt wurden.

3.4 Interpretation der Ergebnisse der Luftuntersuchungen

3.4.1 Saunakammern

Die Ergebnisse der Luftuntersuchungen in Saunakammern zeigten in 10 von 26 der stichprobenartig untersuchten Kammern Konzentrationen an Formaldehyd, die deutlich oberhalb von $0,1 \text{ mg/m}^3$ liegen. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass in den Kammern unterschiedliche Luftwechselzahlen vorlagen.

Tendenziell zeigten sich niedrige Werte, wenn formaldehydfreie Holzwerkstoffe sowie die Holzart Hemlock eingesetzt wurden, sämtliche Luftkonzentrationen lagen im Bereich oder unter dem Wert von $0,1 \text{ mg/m}^3$. In neuen, im Zuge der Inbetriebnahme einer Saunaanlage über einen Zeitraum von zwei Monaten untersuchten Saunakammern konnten keine Tendenzen der (generell nicht erhöhten) Konzentration an Formaldehyd festgestellt werden, eine Abnahme der Konzentration war jedenfalls nicht feststellbar. Ob eine relevante Abnahme der Konzentration über die Zeit gegeben war, wurde in der Regel nicht ermittelt, die Ergebnisse einer Messreihe (S 10) zeigten keine relevante Abnahme.

Durchwegs erhöhte Werte zeigten sich bei Einsatz von Holzwerkstoffen, die mittels konventionellen, Formaldehyd abspaltenden Klebern (Leimen) produziert wurden. In 5 von 7 untersuchten Saunakammern, in denen derartige Holzwerkstoffe eingesetzt wurden, zeigten sich Konzentrationen an Formaldehyd, die deutlich oberhalb von $0,1 \text{ mg/m}^3$ liegen, in einer untersuchten Saunakammer lag der Wert im Bereich von $0,1 \text{ mg/m}^3$, in einer deutlich darunter. Bei allen untersuchten Saunen handelt es sich um gewerbliche Saunen. Überschreitungen des Wertes von $0,5 \text{ mg/m}^3$ wurden in einer dieser Saunakammern festgestellt. Es wird angenommen, dass die Emissionen der Holzwerkstoffe zum Teil auf den verwendeten, Formaldehyd abspaltenden Leim zurückgeführt werden können.

In 4 von 6 untersuchten Saunakammern, in denen Fichte eingesetzt wurde, zeigten sich Konzentrationen an Formaldehyd, die deutlich oberhalb von $0,1 \text{ mg/m}^3$ liegen, in einer untersuchten Fichtensauna lag der Wert im Bereich von $0,1 \text{ mg/m}^3$. Bei diesen Saunen handelte es sich um gewerbliche Saunen. In einer privaten Sauna, die nur fallweise beheizt wurde, lag die Konzentration an Formaldehyd deutlich darunter. Im Durchschnitt lagen die Konzentrationen in Fichtensaunen jedoch unterhalb derer von Saunakammern, die mit konventionellen, nicht formaldehydfreien Holzwerkstoffen ausgestattet waren.

3.4.2 Infrarotkabinen, „Biosaunen“ und Dampfbäder

Die Ergebnisse der Luftuntersuchungen in Infrarotkabinen, „Biosaunen“ und Dampfbädern zeigten Konzentrationen an Formaldehyd, die mit einer Ausnahme unterhalb von $0,1 \text{ mg/m}^3$ lagen. In einer mit Sperrholz ausgestatteten „Biosauna“ wurde ein Wert von $0,15 \text{ mg/m}^3$ ermittelt. Es wird angenommen, dass die Emissionen auf den verwendeten, Formaldehyd abspaltenden Leim zurückgeführt werden können.

4 MATERIALUNTERSUCHUNGEN

4.1 Vorgangsweise und Probevorbereitung

Die Prüfkörper der verschiedenen Holzarten und Holzwerkstoffe wurden vor der Prüfung bei Raumtemperatur gelagert.

Diverse Holzprüfkörper wurden im Rahmen einer Vorstudie, beauftragt vom Fachverband der Holzindustrie, (Tappler et al. 2009) nach EN 717-2 geprüft, diese Ergebnisse fließen in die gegenständliche Studie ein. Zusätzlich wurden zusätzliche Holzproben aus bestehenden Saunen und Holzwerkstoffe untersucht.

Einer der im Rahmen dieser Vorstudie geprüften Holzprüfkörper mit typischen Emissionsraten (Hemlock Probe C, Emission $0,21 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ vor der Lagerung) wurde für die Prüfung über einen längeren Zeitraum ausgewählt. Nach der Vorstudie, bei der der Holzprüfkörper 14 Tage konstant bei 90°C gelagert wurde (Emission $0,22 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ nach der Lagerung), wurde der Holzprüfkörper bei Raumtemperatur über einen Zeitraum von 14 Tagen gelagert. Anschließend erfolgte Messreihe 1 der Untersuchung über den Zeitraum von etwa einem Monat, wobei der Prüfapparat bei Raumluft befeuchtete Luft zugeführt wurde. Es erfolgten zum Teil mehrere Messungen pro Tag. Unmittelbar anschließend erfolgte Messreihe 2 der Untersuchung, wobei der Prüfapparat über Silikagel getrocknete Luft zugeführt wurde. Der Holzabschnitt befand sich während der Messreihen 1 und 2 ununterbrochen in der Prüfkammer bei einer Temperatur von 90°C . An den Wochenenden (Tage ohne Ergebnisse) fiel die Befeuchtungs- und Temperaturregeleinheit zum Teil aus, am Beginn der Messungen (Tag 5, 14, 19 und 26) ergaben sich daher unregelmäßige Temperaturen und Luftfeuchten in der Kammer.

Die Reinigung der Prüfkammer-Zuluft sowie gegebenenfalls die Befeuchtung erfolgte bei allen Messungen mittels von mit Wasser gefüllten Gaswaschflaschen, durch die die gesamte Zuluft geleitet wurde. Bei Messreihe 1 der längerfristigen Untersuchung des Hemlock-Abschnitts wurde die Zuluft anschließend nicht, wie von der EN 717-2 vorgeschrieben, getrocknet.

4.2 Analytik

Die zur Untersuchung des Emissionsverhaltens eingesetzte Methode wird in EN 717-2⁶ beschrieben, wobei bei gegenständlicher Untersuchung die Temperatur im Unterschied zur Norm zum Teil auf 90°C eingestellt wurde. Das Volumen der Absorptionslösung wurde zur Erhöhung der Empfindlichkeit auf 20 Milliliter reduziert.

Die eingesetzte Edelstahl-Doppelmantel- Prüfkammer hat einen Rauminhalt von 4 Liter. Die Temperaturregelung auf $\pm 0,5^\circ\text{C}$ erfolgte durch einen die Kammer umschließenden Flüssigkeitsmantel. Die Erwärmung der Kammer erfolgte mittels eines Ölbad unter

⁶ DIN EN 717-2 bzw. ÖNORM EN 717-2: Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 2: Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode

Verwendung von Silikonöl. Die zuströmende Luft wurde gereinigt und entfeuchtet. Die Abmessungen der Prüfkörper betragen 400 mm x 50 mm. Die zu untersuchenden Prüfkörper wurden auf solche Weise in die zylindrische Prüfkammer eingebracht, dass sie von allen Seiten von Luft umspült werden konnten. Die Kanten der Prüfkörper wurden gasdicht verschlossen. Die Prüfkörper wurden pro Messreihe viermal in Folge untersucht.



Abbildung 4.1: Ansicht der Prüfkammer

Bei definierter Luftwechselzahl in der Kammer wurde die Prüfkammer-Abluft auf Formaldehyd untersucht. Die Sammlung des Formaldehyds erfolgte durch Absorption des Aldehyds in einer wässrigen Lösung über zwei Gaswaschflaschen, welche Ammoniumacetat enthielten, wobei ein definiertes Luftvolumen durch eine Gasprobenahmeapparatur strömte (Acetylaceton-Methode).

Die analytische Bestimmung des Formaldehyds erfolgte mittels Pentan-2,4-dion (Acetylaceton), wobei der Formaldehyd mit Pentan-2,4-dion in Anwesenheit von Ammoniumacetat und Essigsäure unter Bildung von 3,5-Diacetyl-1,4-dihydrolutinidin reagiert. Die Absorption des gebildeten Farbstoffes, dessen Farbintensität proportional zur Konzentration des Formaldehyds in der Probe ist, wurde mit Hilfe eines Spektralphotometers bei einer Wellenlänge von 412 nm gemessen. Die Methode ist spezifisch für Formaldehyd und wird in diversen Normen als Referenz angegeben.

Die flächenbezogene Emission von Formaldehyd in Milligramm pro Quadratmeter und Stunde [$\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$] wurde, wie in der EN 717-2 beschrieben, als arithmetischer Mittelwert der

ersten drei Einzelbestimmungen berechnet. Wenn das Ergebnis der jeweils ersten Bestimmung der Messreihe niedriger lag als das Ergebnis der zweiten Bestimmung, wurde das zweite bis vierte Ergebnis der Messreihe zur Ermittlung des Mittelwertes herangezogen. Die Bestimmungsgrenze lag bei $0,03 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Messungen in der oben beschriebenen Prüfapparatur ergeben Maßzahlen der Quellstärken von Formaldehyd unter bestimmten genau definierten Rahmenbedingungen. Die Emissionsrate eines Materials unter Praxisbedingungen wird jedoch von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst und kann von den angegebenen Werten abweichen.

4.3 Ergebnisse der Materialuntersuchungen

Die Bezeichnungen der einzelnen Materialien bzw. Holzarten wurden von den Lieferanten mitgeteilt und nicht überprüft.

4.3.1 Ergebnisse der Materialuntersuchungen bei 60°C

Die Ergebnisse der Emissionsversuche werden in Diagrammform dargestellt.

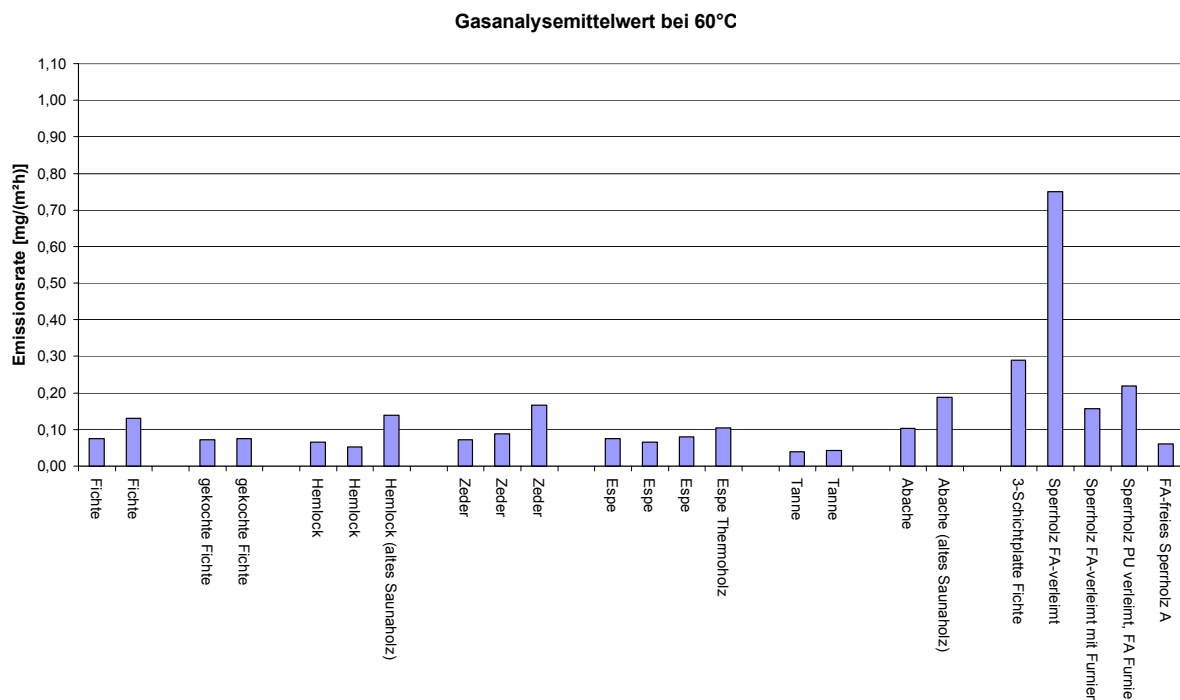


Abbildung 4.2: Gasanalysemittelwert nach EN 717-2 bei 60°C, geordnet nach Holzarten

Die Decklage des in obiger Abbildung erwähnten Sperrholzes mit der Bezeichnung „Sperrholz PU-verleimt furniert“ wurde laut Aussagen des Lieferanten mit einem Formaldehyd abspaltenden Kleber verleimt.

4.3.2 Ergebnisse der Materialuntersuchungen bei 90°C

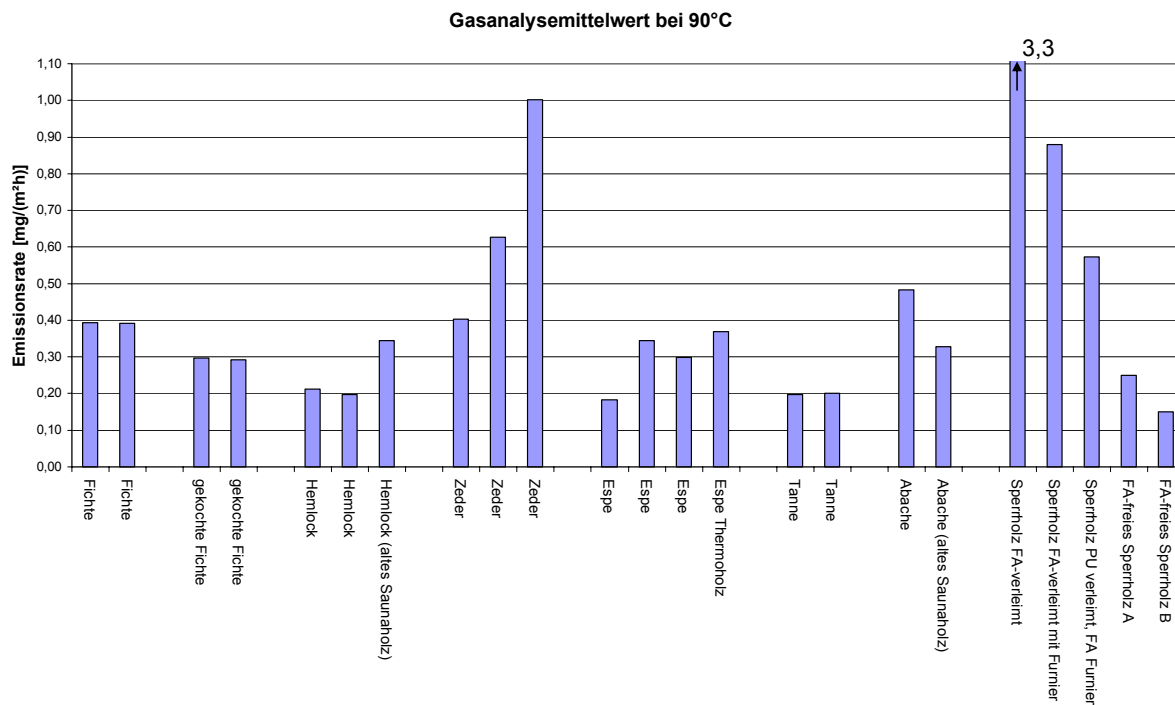


Abbildung 4.3: Gasanalysemittelwert nach EN 717-2 bei 90°C, geordnet nach Holzarten

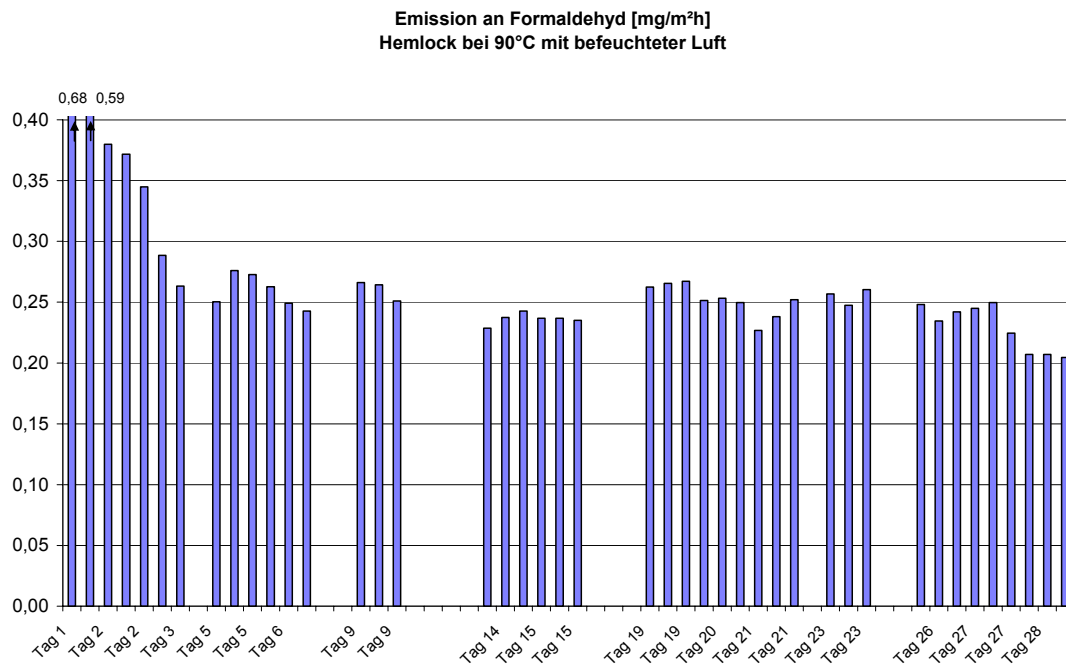


Abbildung 4.4: Verlauf der Emission an Formaldehyd über etwa ein Monat (befeuchtete Zuluft) – Messreihe 1 nach Vorversuch Lagerung

Mehrere Parallelmessungen mit der Acetylacetonmethode und einer anderen Analyse­methode (DNPH-Methode), wobei die Auswertung der DNPH-Kartuschen unabhängig durch ein deutsches Labor erfolgte, führten zu ähnlichen Ergebnissen.

4.4 Interpretation der Ergebnisse der Materialuntersuchungen

Die Ergebnisse der Materialuntersuchungen an diversen Holz- und Holzwerkstoffproben zeigten sehr unterschiedliche Emissionsraten. Generell zeigten sich bei der Untersuchung von Holzwerkstoffen, die mittels konventionellen, Formaldehyd abspaltenden Klebern (Leimen) produziert wurden, deutlich erhöhte Emissionsraten. Untersuchungen von zwei Typen von Holzwerkstoffen, die mittels formaldehydfreien Klebern (Leimen) produziert wurden, zeigten niedrige Emissionen. Die Ergebnisse der aus der Arbeit Tappler et al (2009) stammenden Holzproben werden in dieser Publikation interpretiert (Auszug daraus siehe Kapitel 5.3). Eine weiter gehende Interpretation ist auf Grund der geringen Probenzahlen nicht möglich. Weiter gehende Aussagen wären nur bei Prüfung größerer Mengen an Holzwerkstoffen möglich.

Untersuchungen des Emissionsverlaufes an einem ausgewählten Prüfkörper (Holzart Hemlock) zeigten einen schwankenden Verlauf ohne klare längerfristige Tendenzen. Sichtbar ist in Messreihe 2 der Untersuchung ein leichter Anstieg der Emissionsrate nach den jeweiligen Wochenenden, an denen keine Prüfungen stattfanden. Ein deutlicher Anstieg war zu Beginn der Messreihe 1 nach der Lagerungsphase von 14 Tagen feststellbar.

Bei Verwendung von formaldehydfrei verklebten Holzwerkstoffen oder Vollholz ist davon auszugehen, dass die Emission an Formaldehyd ausschließlich von thermischen Zersetzungs Vorgängen stammt. Eine Abnahme über die Zeit ist auf Grund der Art der chemischen Reaktion nicht anzunehmen. Wenn Materialtemperaturen vorliegen, die etwa 60°C unterschreiten, sind bei Verwendung formaldehydfrei verklebter Holzwerkstoffe und auch bei Vollholz niedrige Emissionen an Formaldehyd und dadurch auch niedrige Kammerkonzentrationen zu erwarten. Bei höheren Temperaturen kann es bei diesen Holzwerkstoffen und auch bei Vollholz zu relevanten Emissionen kommen. Dies kann mitunter zu erhöhten Formaldehydkonzentrationen in den Kammern führen, vor allem dann, wenn die Luftwechselrate niedrig und das Flächen-Volumsverhältnis groß ist bzw. wenn stärker emittierende Hölzer eingesetzt werden.

5 GRUNDLAGEN ZUR FORMALDEHYDEMISSION AUS VOLLHOLZ UND HOLZWERKSTOFFEN

5.1 Allgemeines zur Formaldehydemission aus Vollholz und Holzwerkstoffen

Bei genauer Betrachtung der physikalisch-chemischen Zusammenhänge wurde der Emissionsvorgang von Formaldehyd aus Holzwerkstoffen modellhaft als zusammengesetzter Prozess mit den folgenden Einzelschritten betrachtet (Marutzky 1992):

1. Produktion von Formaldehyd aus dem Holzwerkstoff
2. Transport durch die Matrix des Materials
3. Transport durch eventuelle Hindernisse (Barrieren)
4. Diffusion in die Raumlufth

Diese Schritte sind auch für die Emission von Formaldehyd aus Holz anzunehmen. Die Emissionsrate wird durch viele unterschiedliche Schritte bestimmt. Der begrenzende Schritt ist derjenige, der die Stärke und Geschwindigkeit der Emission bestimmt. Viele andere Faktoren (Temperatur, rel. Luftfeuchte, Formaldehydkonzentration in der Raumlufth etc.) beeinflussen wiederum die einzelnen Schritte.

Die Emission an Formaldehyd von formaldehydfrei verleimten Holzwerkstoffen bei höheren Temperaturen ist ein komplexer Vorgang, da zu erwarten ist, dass einerseits von einer relevanten Emission der unteren Lagen ausgegangen werden muss, dass jedoch andererseits der Transport durch die Kunststoff-Zwischenschicht der Verleimung ein Hindernis darstellt. Relevant für die letztendliche Emission werden dann vermutlich die Kanten sowie die Emission der Decklage des Holzwerkstoffes, diesbezügliche Untersuchungen der Emission bei höheren Temperaturen fehlen jedoch vollständig.

5.2 Formaldehydemission aus Holzwerkstoffen

In Spanplatten ist Formaldehyd als Komponente im Kunstharz, das zur Bindung der Späne benötigt wird, enthalten. Die sich bei der Vernetzung ergebenden Polymere können sich beim Einwirken von Luftfeuchtigkeit unter Freisetzung von Formaldehyd zurückbilden. Mit steigender Temperatur wird der Rückbildungsprozess begünstigt, insbesondere aber unterstützt auch Feuchte diesen Prozess. Die Freisetzung von Formaldehyd aus Klebern und anderen polymeren Materialien steigt also stark mit einer erhöhten Luftfeuchte und auch mit höheren Temperaturen an. Von besonderer Bedeutung ist bei dieser Art der Formaldehydfreisetzung, dass es sich dabei um einen Prozess handelt, der während der gesamten Lebensdauer des Produktes zu beachten ist. So klingt die Anfangsemission neu produzierter Spanplatten zwar rasch ab, nähert sich dann aber einem über lange Zeit nahezu konstanten Wert und selbst nach vielen Jahren gehen beispielsweise von Spanplatten noch Formaldehydemissionen aus (Tappler et al. 1997). Es sind also zum einen bauphysikalische und raumklimatische Bedingungen, die die Formaldehydemission von Werkstoffen bedingen, zum anderen sind es aber die Materialeigenschaften der Produkte selbst. Diese sind durch die Wahl der Einsatzstoffe, durch die Art der Produktion und durch die produktionstechnische Sorgfalt zu beeinflussen (Pluschke 1996).

Spanplatten werden im Saunabau nicht eingesetzt. Die für Spanplatten zutreffenden Aussagen treffen jedoch eingeschränkt auch für andere plattenförmige Holzwerkstoffe, die zwar in der bis März 2010 gültigen alten Saunanorm M 6219⁷ ausgeschlossen waren, aber dennoch schon weitgehend in Verwendung standen, zu. Bei Holzwerkstoffen, die im Saunabau eingesetzt wurden (Schichtholz- und Sperrholzplatten), kam es bei Verwendung formaldehydhältiger Kleber zu einer relevanten Emission an Formaldehyd, die stark von der Temperatur und der Luftfeuchte abhängig ist.

Sind Sink-Effekte (Adsorption, Bindung oder Abbau von Formaldehyd an Oberflächen) vernachlässigbar, ist der Luftwechsel der Hauptmechanismus zum Abtransport der Emissionen. Modelle, die das Emissionsverhalten von organischen Verbindungen aus Baumaterialien beschreiben, sind sehr komplex. Wenn die Emissionsrate der Probe jedoch unabhängig von der Formaldehydkonzentration in der Gasphase ist, kommt es zu einem proportionalen Anstieg oder Abfall der Konzentration bei variierendem Luftwechsel, so dass Konzentrationen bei unterschiedlichen Luftwechselraten und Raumbeladungen leicht zu vergleichen sind. Die ÖNORM EN ISO 16000-9⁸ verwendet dieses Modell zur Bestimmung der spezifischen Emissionsrate.

Zur Freisetzung von Formaldehyd wurden in den 1970er-Jahren umfangreiche Versuche durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Freisetzung von Formaldehyd aus den damals untersuchten Spanplatten hauptsächlich diffusionskontrolliert stattfindet. Dies bedeutet, dass bei einer Zunahme der Formaldehydkonzentration in der Raumlufte als Folge eines abnehmenden Luftwechsels die Emissionsrate sinkt. Mit abnehmender Formaldehydkonzentration der Raumlufte steigt die Emissionsrate. Aufgrund dieser Annahmen beschreiben Hawthorne und Matthews ein Emissionsraten-Modell für Formaldehyd (Hawthorne und Matthews 1987). Aufgrund der Komplexheit des Modells ist dieses in der Praxis jedoch praktisch nicht handhabbar. Deswegen versuchte man durch andere Ansätze, das Problem der Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen statistisch zu beschreiben. Ein Beispiel für diese statistische Herangehensweise ist die Andersen-Gleichung (Andersen et al. 1974, 1979). Diese Gleichung fand Eingang in die Richtlinie zur Durchführung von Formaldehydmessungen in Häusern aus Holz und Holzwerkstoffen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (Marutzky 1993). In der später eingeführten VDI-Richtlinie 4300 Blatt 3, Messstrategie für Formaldehyd in Innenräumen, findet diese Richtlinie jedoch keine Berücksichtigung mehr.

Bei modernen Spanplatten und vor allem bei Sperrholz bzw. 3-Schichtplatten, wie sie im Saunabau verwendet werden, ist deshalb aufgrund der modifizierten chemischen Zusammensetzung des Kunstharzes (in der Regel Phenoplaste) eine andere Emissionscharakteristik zu erwarten. Ob bei diesen Holzwerkstoffen immer noch die Diffusion der geschwindigkeitsbestimmende Schritt ist, und dementsprechend die Emissionsrate bei steigender Formaldehydkonzentration der Raumlufte in dem Maße wie von Andersen postuliert sinkt, ist bisher nicht überprüft worden. Bekannt ist, dass bei der Verarbeitung von Phenoplasten unter erhöhter Temperatur relevante Emissionen auftreten (BGA 1984). Es ist

⁷ ÖNORM M 6219 (1998): Anforderungen an öffentliche und gewerbliche Saunanlagen - Planung, Betrieb

⁸ ÖNORM EN ISO 16000-9 (2006): Innenraumlufteverunreinigungen - Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfkammer-Verfahren

zu erwarten, dass die Emission an Formaldehyd aus dem Leim bei saunaüblichen Temperaturen über die Zeit abnimmt, ein Prozess, wie er auch bei Raumtemperatur stattfindet und vielfältig belegt ist (ECA 1990).

5.3 Formaldehydemission aus Vollholz

Eine Literaturrecherche zum Thema Holz und Formaldehydabgabe bei höheren Temperaturen zeigte, dass sich bisher offenbar nur wenige Expertengruppen mit dem Thema beschäftigt haben, diese behandelten vor allem das Thema von nach industriellen Trockenprozessen auftretenden Emissionen und Emissionen bei der Herstellung von Spanplatten (Young 2009).

Vollholz gibt bei Raumtemperatur nur sehr geringe Mengen an Formaldehyd ab (Meyer und Boehme 1997). Die vorhandenen Informationen sowie in der Vergangenheit durchgeführte punktuelle Messungen belegen allerdings, dass eine deutliche und wahrscheinlich über einen längeren Zeitraum andauernde Emission von Formaldehyd aus erhitztem Rohholz gegeben ist, die sich dadurch erklärt, dass bei der Trocknung des Holzes durch die Spaltung von Lignin, Cellulose und Hemicellulosen Formaldehyd entsteht (Schäfer und Roffael 2000). Bei höheren Temperaturen treten deutlich gesteigerte Emissionen unter anderem an Formaldehyd auf (Schäfer und Roffael 1999a,b; 2000a,b).

Über den Einfluss verschiedener Holzarten auf die Formaldehydabgabe bei höheren Temperaturen existierten nur wenige Fachbeiträge (Dunky und Niemz 2002; Young 2009). In der neuseeländischen Studie von Young zeigte sich eine starke Abhängigkeit der Emission von der Trocknungstemperatur (Maximum bei etwa 120°C), der Holzart sowie der Position des Holzes im Stamm (siehe Abbildung 5.1 bis Abbildung 5.3).

Site	Number of Trees Tested	1.4 Meter Sap (mg/L/3.75)	1.4 Meter Heart (mg/L/3.75)	15 Meter Sap (mg/L/3.75)	15 Meter Heart (mg/L/3.75)
Athenree	10	0.06 (0.024)	0.04 (0.013)	0.08 (0.027)	0.06 (0.022)
Ruatoria	10	0.11 (0.036)	0.11 (0.043)	0.13 (0.030)	0.12 (0.034)
Aupouri	10	0.13 (0.007)	0.11 (0.017)	0.14 (0.015)	0.13 (0.013)
Southland	5	0.14 (0.013)	0.17 (0.051)	0.14 (0.013)	0.14 (0.014)

Abbildung 5.1: Abhängigkeit der Formaldehydabgabe der Holzart pinus radiata (Radiatakiefer) von unterschiedlichen Standorten in Neuseeland und von der Lage im Stamm, ermittelt mit einer in Österreich nicht gebräuchlichen Analyseverfahren (aus Young 2009)

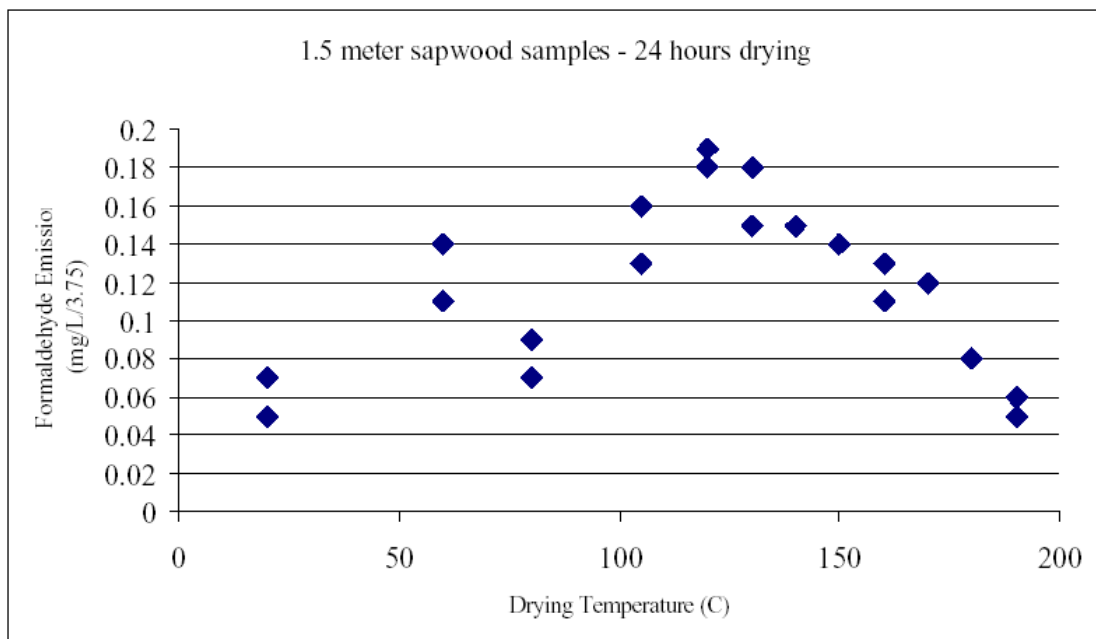


Abbildung 5.2: Abhängigkeit der Formaldehydabgabe der Holzart pinus radiata (Radiatakiefer) von unterschiedlichen Trocknungstemperaturen (aus Young 2009)

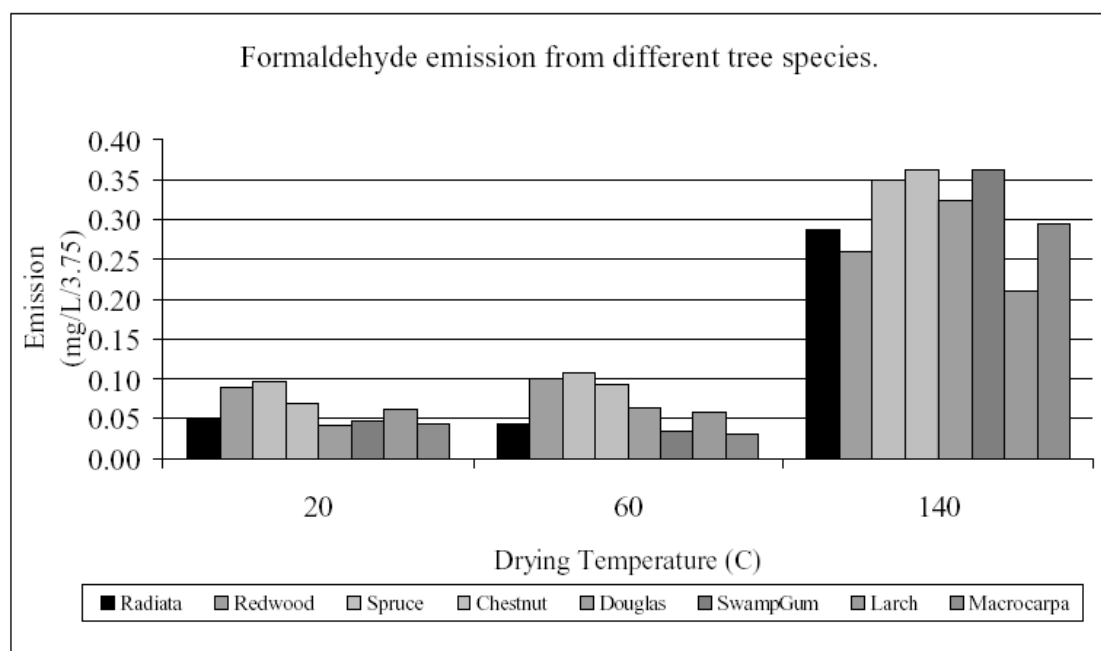


Abbildung 5.3: Abhängigkeit der Formaldehydabgabe verschiedener Holzarten bei unterschiedlichen Trocknungstemperaturen (aus Young 2009)

In der Pilotstudie von Tappler et al. (2009) wurden insgesamt 6 Holzarten auf die Emission an Formaldehyd untersucht. Auf Grund der geringen Anzahl untersuchter Holzarten konnten von den Autoren keine generellen Aussagen getroffen werden.

Von jeder Holzprobe wurden vier Prüfkörper untersucht, es war allerdings nicht bekannt, ob die einzelnen Prüfkörper aus dem gleichen Baumstamm bzw. aus der gleichen Wuchsregion herrührten. Die Formaldehyd-Emission wurde bei zwei unterschiedlichen Prüfkammertemperaturen (60°C und 90°C) vor und nach unterschiedlichen definierten Lagerbedingungen der Prüfkörper erhoben. Die untersuchten Proben zeigten in Bezug auf die zu erwartende Emission bei Raumtemperatur eine vernachlässigbar geringe Emission an Formaldehyd. Der im 6. Durchführungserlass zum Österreichischen Chemikaliengesetz festgelegte Material-Kennwert für Holzwerkstoffe von 3,5 mg Formaldehyd pro m² und Stunde wurde bei allen Proben deutlich unterschritten⁹. Alle untersuchten Holzproben zeigten bei 60°C vor und nach der Lagerung Emissionsraten im Bereich bzw. unter 0,1 mg m⁻²h⁻¹. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Proben und Holzarten waren bei 60°C gering.

Dennoch zeigte es sich, dass die flächenbezogene Emission an Formaldehyd aus Vollholz bei hohen Temperaturen, wie sie in einer Saunakammer („finnische Sauna“) vor allem im oberen Bereich vorherrschen, in Bezug auf eine Formaldehydbelastung der Raumlufte einer Saunakammer nicht zu vernachlässigen ist. Bei Raumlufte Temperaturen, wie sie in Dampfbädern und Infrarotkabinen zu finden sind (< 60°C) ist dagegen nur dann eine relevante Raumluftebelastung möglich, wenn der Luftwechsel gering ist bzw. wenn Holz direkt durch Flächenheizungen auf höhere Temperaturen erhitzt wird.

Die Holzarten Hemlock und Tanne zeigten bei 90 °C vor der Lagerung Emissionsraten im Bereich bzw. unter 0,2 mg m⁻²h⁻¹. Die Holzarten Fichte und Gekochte Fichte zeigten Emissionsraten zwischen 0,29 und 0,39 mg m⁻²h⁻¹, die Holzart Espe zwischen 0,17 und 0,34 mg m⁻²h⁻¹ und die Holzart Zeder Emissionsraten zwischen 0,40 und 0,63 mg m⁻²h⁻¹.

Bezüglich der Wirkung der Lagerung im Zuge des Versuchs auf das Emissionsverhalten der Prüfkörper ließ sich keine einheitliche Tendenz ableiten. Nur bei den Holzarten Fichte, Espe und Gekochte Fichte wurde eine signifikante Verringerung der Emissionsraten nach der Lagerung festgestellt. Bei der Holzart Zeder wurde bei 90°C dagegen eine deutliche Erhöhung der Emission nach der Lagerung festgestellt.

Bezüglich des Einflusses der beiden Lagervarianten auf das Emissionsverhalten der Prüfkörper lässt sich ebenfalls keine einheitliche Tendenz ableiten. Nur bei der Holzart Fichte bewirkte die Simulation des Saunabetriebs (alternierende Lagerung) verglichen mit der konstanten Lagerung eine etwas erhöhte Emissionsrate. Bei der Holzart Gekochte Fichte bewirkte die Simulation des Saunabetriebs (alternierende Lagerung) verglichen mit der konstanten Lagerung dagegen eine niedrigere Emissionsrate.

Weiter führende systematische Untersuchungen von für den Saunabau relevanten Holzarten sind nicht bekannt.

⁹ Eine direkte Vergleichbarkeit ist streng genommen nicht gegeben, da die Proben etwas abweichend gegenüber der EN 717-2 geprüft wurden, da die Zuluft nicht entfeuchtet wurde

5.4 Formaldehydemission aus Saunawerkstoffen

Bei Verwendung von formaldehydfrei verklebten Holzwerkstoffen oder Vollholz ist davon auszugehen, dass die Emission an Formaldehyd ausschließlich von thermischen Zersetzungsvorgängen stammt. Eine Abnahme über die Zeit ist auf Grund der Art der chemischen Reaktion nicht anzunehmen. Wenn Materialtemperaturen vorliegen, die etwa 60°C unterschreiten, sind bei Verwendung formaldehydfrei verklebter Holzwerkstoffe und auch bei Vollholz niedrige Emissionen an Formaldehyd und dadurch auch niedrige Kammerkonzentrationen zu erwarten. Bei höheren Temperaturen kann es bei diesen Holzwerkstoffen und auch bei Vollholz zu relevanten Emissionen kommen. Dies kann mitunter zu erhöhten Formaldehydkonzentrationen in den Kammern führen, vor allem dann, wenn die Luftwechselrate niedrig und das Flächen-Volumsverhältnis groß ist bzw. wenn stärker emittierende Hölzer eingesetzt werden.

Tendenziell zeigte sich unter Berücksichtigung der Materialuntersuchungen und der Raumlufteuntersuchungen in realen Saunakammern, dass die Holzart Hemlock vergleichsweise geringere Mengen und die Holzart Fichte vergleichsweise höhere Mengen an Formaldehyd emittierte. Welche Bandbreite die Emission an Formaldehyd aus einzelnen Holzarten aufweist, kann auf Grund der geringen Anzahl untersuchter Hölzer nur vermutet werden, generelle abschließende Aussagen sind derzeit noch nicht möglich.

Werden Holzwerkstoffe eingesetzt, die eine dünne Decklage besitzen, ist zu erwarten, dass die Emission der weiter unten liegenden Schichten durch die jeweilige Kleberschicht gemindert wird. Stichprobenartige Untersuchungen von zwei Typen formaldehydfreier Holzwerkstoffe zeigten niedrige Emissionen, die unter der Emission der bisher untersuchten Hölzer liegen. Auch hier sind jedoch auf Grund der geringen Anzahl untersuchter Prüfkörper generelle abschließende Aussagen derzeit nicht möglich

Bei Verwendung von Holzwerkstoffen, die mit Formaldehyd abspaltenden Klebern verleimt wurden, ist zusätzlich zur thermischen Zersetzung des Holzes vor allem am Anfang der Nutzung (Inbetriebnahme) mit deutlich erhöhten Emissionen an Formaldehyd auf Grund der Hydrolyse des Klebers zu rechnen. Auch im Laborversuch zeigten sich bei der Untersuchung von Holzwerkstoffen, die mittels Formaldehyd abspaltenden Klebern (Leimen) produziert wurden, generell deutlich erhöhte Emissionsraten (siehe Kapitel 4.3). Relevante Emissionen aus dieser Quelle sind auch bei Temperaturen unter 60°C nicht auszuschließen. Hier ist allerdings eine Abnahme der Emissionsraten über die Zeit zu erwarten. Nimmt man auch bei Temperaturen, wie sie in Saunakammern vorliegen, einen ähnlichen Mechanismus an, der bei Raumtemperatur ermittelt wurde, wird sich die Emissionsrate vermutlich nach einer Phase der stärkeren Abnahme auf einem relativ konstanten Niveau einpendeln.

6 VORGANGSWEISE BEI PRÜFUNGEN VON MATERIALIEN UND KAMMERN MIT ERHÖHTER TEMPERATUR

6.1 Allgemeines zu Materialprüfungen und Prüfungen von Kammern

Um eine Raumluftmessung auf Formaldehyd bei jeder Neuerrichtung von Saunakammern, Dampfbädern oder Infrarotkabinen (die einen zusätzlichen Kostenaufwand bedeutet) vermeiden zu können, ist zu überlegen, ob die in Materialprüfungen von für Kammern vorgesehenen, großflächig eingesetzten Materialien (Holz bzw. Holzwerkstoffe) ermittelten Emissionsraten zur Modellierung von real in den Kammern zu erwartenden Formaldehyd-Konzentrationen dienen können.

Das Ziel dabei ist es nachzuweisen, dass bei Verwendung bestimmter Materialien festgelegte Richtwerte in realen Kammern sicher unterschritten bzw. nicht überschritten werden.

6.2 Produktprüfungen

6.2.1 Prüfkammermethode für Produktprüfungen

6.2.1.1 Allgemeines

Um die Formaldehydabgabe von für Kammern mit erhöhter Temperatur vorgesehene Materialien zu testen, können Produktprüfungen in einer entsprechend geeigneten Prüfkammer laut EN 717-1¹⁰ durchgeführt werden, wobei allerdings die Prüftemperatur abweichend von der Norm der in der Kammer zu erwartenden Temperatur entsprechen muss und der Luftwechsel ebenfalls zu adaptieren wäre. Derartige Untersuchungen wurden im Zuge vorliegender Arbeit nicht durchgeführt.

Als kostengünstigste Möglichkeit einer Prüfung mittels einer Prüfkammer bzw. einem Prüfraum wäre eine in Hinblick auf erhöhte Temperaturen entsprechend adaptierte Prüfkammer mit dem Volumen von 0,225 m³ laut EN 717-1, Anhang A Option 3 vorstellbar.

6.2.1.2 Offene Fragen

Folgende Punkte (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) müssen hier noch geklärt werden:

- welche Adaptierungen zur EN 717-1 bei der Prüfung von für Kammern mit erhöhter Temperatur vorgesehene Materialien vorzunehmen sind
- bei welchem Luftwechsel die Untersuchungen durchzuführen sind
- unter welchen Bedingungen das Material zu prüfen ist: Insbesondere ist zu klären, bei welchen Luftfeuchten die Prüfungen durchzuführen sind. Es ist bekannt, dass die

¹⁰ DIN EN 717-1 bzw. ÖNORM EN 717-1 (2005): Holzwerkstoffe – Bestimmung der Formaldehydabgabe. Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammermethode

Luftfeuchte einen entscheidenden Einfluss auf die Zersetzung von Leimen hat, eventuell ist dies auch bei der Zersetzung von Holzinhaltsstoffen der Fall, eventuell wäre die Luftfeuchte bzw. die Temperatur während der Prüfung zu variieren, um zu praxisnahen Aussagen zu gelangen

- welche Beladung der Prüfkammer realistischen Verhältnissen entspricht
- wie lange ein Material zu untersuchen ist bzw. nach welcher Prüfdauer der Messwert zur Beurteilung herangezogen werden soll, um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu kommen. Insbesondere ist abzuklären, ob sich analog zu bei Raumtemperatur geprüften Materialien nach einer gewissen Zeit eine Ausgleichskonzentration einstellt
- ob sich die Prüfung auch auf Rohholz beziehen soll, da von diesem höhere Emissionen ausgehen können als von mit formaldehydfreien Klebern verleimten Holzwerkstoffen (bei denen die Kleberschicht vermutlich eine Barriere für Zersetzungsprodukte darstellt)
- welche Unterschiede in der Emissionscharakteristik zwischen Holzwerkstoffen und Vollholz bestehen

6.2.2 Abgeleitete Methoden für Produktprüfungen

6.2.2.1 Allgemeines

Da Produktprüfungen in Prüfkammern und -räumen laut EN 717-1 mit erheblichem Aufwand verbunden sind und es nicht zu erwarten ist, dass in absehbarer Zeit belastbare, umfassende Untersuchungsergebnisse vorliegen, ist es sinnvoll, analog zu den Bestimmungen der Durchführungsverordnung zur österreichischen Formaldehydverordnung abgeleitete, kostengünstigere Prüfmethode zu etablieren. Dazu bietet sich die z.B. die bei der Prüfung von Plattenwerkstoffen nach der Formaldehydverordnung zugelassene Gasanalysemethode laut EN 717-2¹¹ an, bei der schon nach wenigen Stunden Prüfzeit Aussagen möglich sind. Es muss beachtet werden, dass Adaptierungen der Temperatur zur EN 717-2 bei der Prüfung von in Kammern mit erhöhter Temperatur eingesetzten Materialien vorzunehmen sind. Bei vorliegenden Untersuchungen wurde für Saunakammern eine Temperatur von 90°C gewählt, die auch Eingang in die Richtwerte für Materialien in der seit März 2010 gültigen ÖNORM M 6219 Teil 1 fand.

Es wäre bei der Beurteilung der Ergebnisse wünschenswert, dass gesicherte Korrelationen der Ergebnisse aus der Gasanalysemethode nach ÖNORM EN 717-2 zu Werten nach der in EN 717-1 beschriebenen Prüfkammermethode bestehen. Die Ermittlung derartiger Korrelationen würde allerdings einen nicht unbeträchtlichen analytischen Aufwand bedeuten, da diese Korrelation sowohl für unterschiedliche Plattenwerkstoffe als auch für verschiedene Rohholzarten jeweils gesondert ermittelt werden müsste.

¹¹ DIN EN 717-2 bzw. ÖNORM EN 717-2 (1995): Holzwerkstoffe – Bestimmung der Formaldehydabgabe. Teil 2: Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode

6.2.2.2 Offene Fragen

Folgende Punkte müssen hier noch geklärt werden, um zu abschließenden Aussagen zu gelangen:

- wie sich die bei 90°C ermittelten Emissionsraten in einer kleineren Prüfkammer in Anlehnung an EN 717-2 zu den Emissionsraten des gleichen Materials bei Prüfung nach der in EN 717-1 beschriebenen Prüfkammermethode verhalten
- wie sich die Emissionsraten in Anlehnung an EN 717-2 zu Raumluft-Konzentrationen in realen Kammern verhalten
- welchen Einfluss die Luftfeuchte der Zuluft der Prüfkammer auf die Prüfergebnisse hat, vor allem in Hinblick auf die Korrelation zu Raumluft-Konzentrationen in realen Kammern

6.2.2.3 Diskussion der Ergebnisse der in vorliegender Studie ermittelten Werte

Im Zuge vorliegender Untersuchung wurde bei unterschiedlichen Temperaturniveaus geprüft. Es ergab sich erwartungsgemäß eine starke Abhängigkeit der Emissionsrate vom gewählten Temperaturniveau. In realen Saunakammern liegt ein starker Temperaturgradient vor, der erwarten lässt, dass die Emissionsraten im unteren Bereich der Saunakammer relativ gering sind und nach oben hin zunehmen. In jedem Fall ist zu erwarten, dass die Emissionsraten stark voneinander abweichen. Für Standarduntersuchungen wird eine Temperatur von 90°C empfohlen, die der Temperatur im bzw. oberhalb des Atembereichs der obersten Sitzreihe in realen Saunakammern entspricht (siehe auch Tabelle 6.1).

Bei Messreihe 2 der längerfristigen Messung des Hemlock-Prüfkörpers ergaben sich durch Ausfälle der Befeuchtungs- und Temperaturregeleinheit Schwankungen der Emissionsrate. Die im Zuge vorliegender Studie ermittelten, allerdings nicht repräsentativen Ergebnisse lassen vermuten, dass nur unwesentliche Einflüsse der Luftfeuchte bestehen, die aus praktischen Gründen bei Prüfungen von in Saunen zu verwendenden Materialien eine Abweichung von den Vorgaben der EN 717-2 nicht rechtfertigen.

Um die Empfindlichkeit des Verfahrens zu erhöhen, kann abweichend von den Vorgaben der EN 717-2 das Flüssigkeitsvolumen in den beiden Gaswaschflaschen, in dem der Formaldehyd absorbiert wird, verringert werden.

In mehreren Messreihen zeigten sich bei Prüfung nach EN 717-2 im Lauf der zeitlich hintereinander folgenden Probenahmen der Messreihe deutlich absinkende Emissionswerte, weiters wurde beobachtet, dass in Einzelfällen der erste Wert kleiner ist als der zweite Wert einer Messreihe (was möglicherweise auf eine noch nicht vollständige Erwärmung des Prüfkörpers hindeutet). Es wird daher empfohlen, das arithmetische Mittel der Einzelwerte (Beurteilungswert) so zu berechnen, wie dies in EN 717-2 vorgeschrieben ist – dies bedeutet, den jeweilig ersten Wert einer Messreihe zu verwerfen, wenn er vom Zahlenwert her kleiner als der zweite Messwert ist.

6.2.2.4 Orientierungswert für Materialuntersuchungen

Auf Grund der Erfahrungen aus Untersuchungen in realen Saunakammern und den bisher durchgeführten Produktprüfungen kann die Einführung eines Orientierungswertes für die Formaldehydemission von Materialien, die großflächig im Saunabau eingesetzt werden, erwogen werden. Dieser Wert kann bei Normungsvorhaben eingesetzt werden, er kann jedoch auch dazu dienen, Voraussetzungen für den Nachweis in Hinblick auf die Unbedenklichkeit einer bestimmten Konstruktion zu liefern.

Als Orientierungswert ist grundsätzlich ein Wert im Bereich zwischen $0,3$ und $0,5 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ vorstellbar (Beurteilungswert nach EN 717-2, ermittelt bei 90°C). Wird beispielsweise der Wert von $0,4 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ herangezogen, würde die Formaldehydemission der üblicherweise im Saunabau verwendeten, im Zuge der vorliegenden Studie dargestellten Holzarten wie Hemlock, Tanne, Espe oder gekochte Fichte unterhalb dieses Orientierungswertes liegen. Die Emissionen der beiden Proben der speziell für den Saunabau hergestellten Sperrholzplatten lägen ebenfalls deutlich unter diesem Orientierungswert. Die beiden untersuchten Fichtenproben wären allerdings schon als grenzwertig anzusehen, der Orientierungswert wäre allerdings noch nicht überschritten¹². Zum Teil deutlich oberhalb dieses Orientierungswertes würden die im Zuge der vorliegenden Studie geprüften Proben der Holzart Zeder sowie alle mit formaldehydhaltigen Klebern verleimten Sperrholzplatten liegen.

Wie allerdings praktisch mit der aus Holz-Trocknungsversuchen (Young 2009) bekannten und auch im Zuge der vorliegenden Studie beobachteten großen Variabilität der Formaldehydabgabe unterschiedlicher Proben bei gleicher Holzart umzugehen ist, ist noch unbefriedigend geklärt.

¹² Unter Berücksichtigung der Rundungsregeln nach DIN 1333 (1992) ist bei der Beurteilung von Ergebnissen zu beachten, dass ein Gasanalysewert von bis zu $0,44 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (gerundet $0,4 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$) noch nicht als Überschreitung eines allfälligen Richtwertes gelten würde.

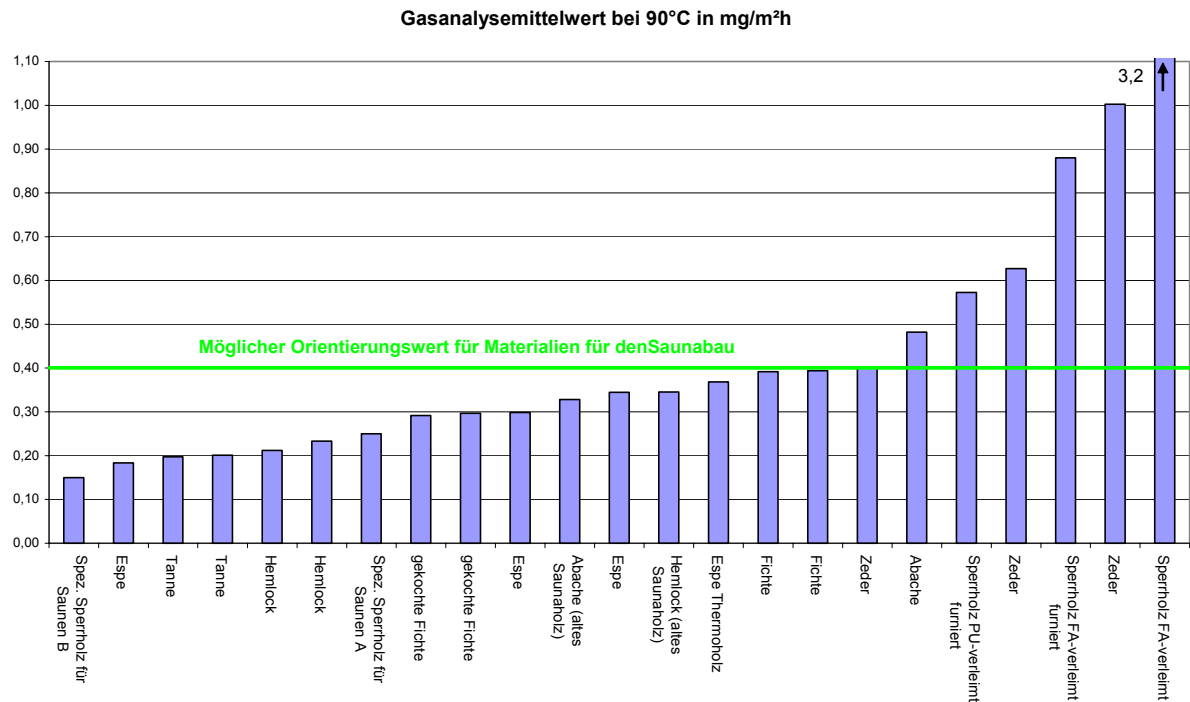


Abbildung 6.1: Gasanalysemittelwert nach EN 717-2 unterschiedlicher Materialien bei 90° C, Reihung nach Emissionsrate

6.3 Prüfung der Unbedenklichkeit der Saunakammer

6.3.1 Allgemeine Vorgangsweise

Um sicherzustellen, dass laut Bäderhygienegesetz keine Gefährdung der Gesundheit der Gäste von Sauna-Anlagen und Warmluft- oder Dampfbädern, insbesondere in hygienischer Hinsicht zu erwarten ist, wird eine alleinige Prüfung der Materialien vermutlich nicht ausreichen.

Um zu vermeiden, dass jede neu installierte Kammer gesondert zu prüfen ist, wäre daher nachzuweisen, dass immer wieder eingesetzte Baumuster bei Verwendung geprüfter Materialien einen bestimmten Richtwert nicht überschreiten. Dazu könnten Baumusterprüfungen von Kammern aus bekannten, geprüften Materialien durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen dieser Emissionskonzentrationen müssen in einem Bereich liegen, der von den beurteilenden Instanzen (Amtsärzte) als tolerabel angesehen wird.

Es empfiehlt sich zur Bewertung der gemessenen Konzentrationen die im Kapitel „Toxikologische Grundlagen von Formaldehyd“ dargestellten Vorgaben (keine Überschreitung von 0,1 mg/m³ als Zielwert und keine Überschreitung von 0,5 mg/m³ als Mindestanforderung) anzuwenden, die dem aktuellen Positionspapier für Schadstoffvermeidung in Saunen des BMLFUW entsprechen.

6.3.2 Abschätzung der zu erwartenden Kammerkonzentration aus der Emissionsrate der Materialien

Eine Modellberechnung zur Abschätzung der Kammerkonzentration von Formaldehyd aus der Emissionsrate der Materialien kann mittels Berechnung der je Höhe über Fußboden unterschiedlichen Emissionsraten erfolgen. Als Beispiel dient die Berechnung der Kammerkonzentration der Luft einer Saunakammer:

Zur Berechnung werden den einzelnen Höhenniveaus flächenbezogene Emissionsraten zugeordnet. Die Emission eines Flächeninkrements der Kammer mit der Höhe von jeweils 0,1 m wird durch Multiplikation der Fläche der Inkremente mit den zugeordneten flächenbezogene Emissionsraten gebildet. Zur Ermittlung der Gesamtemission der Kammer werden die Emissionen der Flächeninkremente addiert. Hierbei werden Einbauten wie Bänke berücksichtigt, die Emission der Decke wird gleich der Emission des obersten Flächeninkrements angenommen.

Um zu den Emissionen der einzelnen Inkremente zu gelangen, müssen den Höhen über Fußboden durchschnittliche Temperaturen zugeordnet werden (siehe Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1: Beispiel von Messwerten (Lufttemperatur und Luftfeuchte) in verschiedenen Höhen einer Saunakammer (ÖSF 2002)

	Höhe über Fußboden	Temperatur	Relative Feuchte
	[cm]	[°C]	[%]
Decke	235	100	2 - 5
Über der 3. Bank	150	80	3 - 10
3. Bank	135	70	5 - 15
2. Bank	90	60	8 - 23
1. Bank	45	k.A.	k.A.
Fußboden	0	40	k.A.

k.A. keine Angabe

Die Raumlufttemperaturen abhängig von der Höhe über Fußboden in einer Saunakammer lassen sich auf Basis der Angaben laut Tabelle 6.1 mittels folgender Formel abschätzen:

$$t_h = 0,25h + 40 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Formel (1)}$$

Dabei ist:

t_h höhenabhängige Raumlufttemperatur in der Saunakammer [°C]

h Höhe über Fußbodenniveau [m]

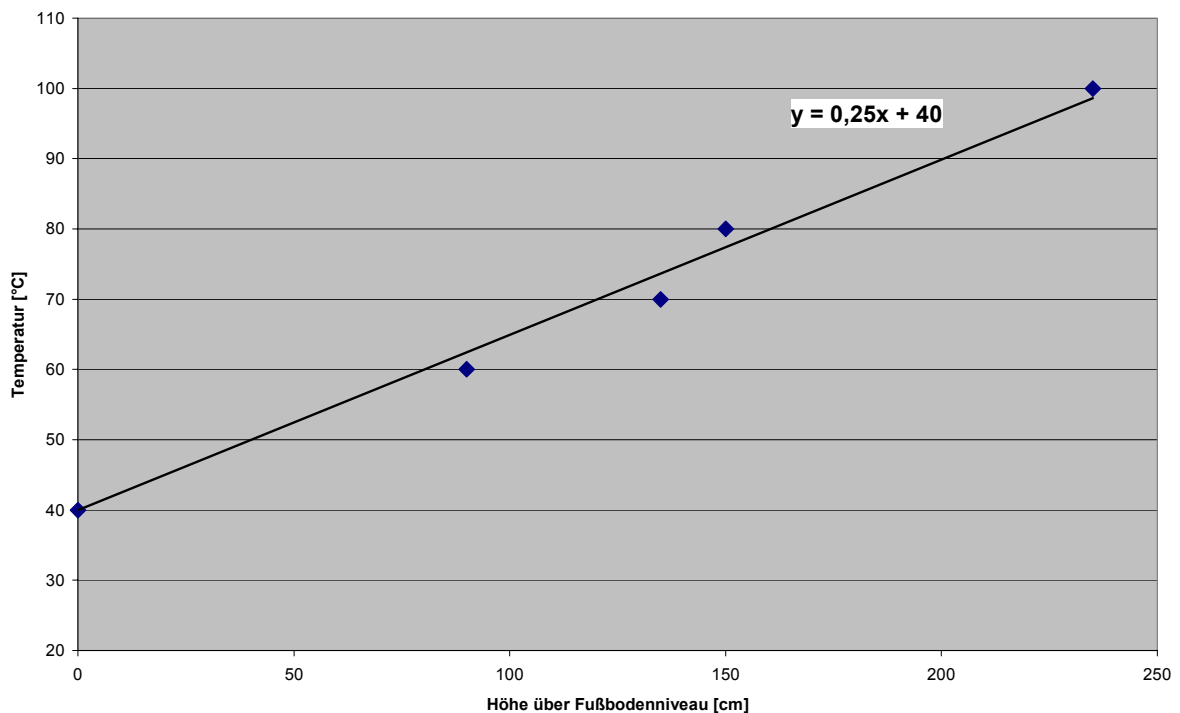


Abbildung 6.2: Berechnete Abhängigkeit der Temperatur von der Höhe über Fußbodenniveau in einer Saunakammer

Der Gasanalysewert (Emissionsraten nach EN 717-2) der Holzart Hemlock (arithmetischer Mittelwert von 2 Proben) lag bei 90°C bei 0,21 mg m⁻²h⁻¹. Bei 60°C ergaben sich mit 0,06 mg m⁻²h⁻¹ etwa 30% der bei 90°C gemessenen Emissionsrate, bei anderen Hölzern wurden ähnliche Verhältnisse ermittelt (siehe Kapitel 4.3). Wenn man nun annimmt, dass der durch Messung nach EN 717-2 bei 90°C ermittelte Wert bei 0,44 mg m⁻²h⁻¹ liegt (maximale Emissionsrate, die laut Rundungsregel noch nicht als Überschreitung des Zielwertes von 0,4 mg m⁻²h⁻¹ gilt) sowie unter Voraussetzung eines Verhältnisses von 10:3 der Emission bei 90°C zu 60°C, lässt sich die Emission an Formaldehyd bei einer bestimmten Temperatur unter Annahme einer Funktion 2. Grades mit folgender Formel abschätzen:

$$E_t = 0,0000731t^2 - 0,0007t - 0,089 \text{ [mg m}^{-2}\text{h}^{-1}\text{]} \quad \text{Formel (2)}$$

Dabei ist:

E_t Formaldehyd-Emissionsrate des verwendeten Materials bei Temperatur t [mg m⁻²h⁻¹]
 t Lufttemperatur [°C]

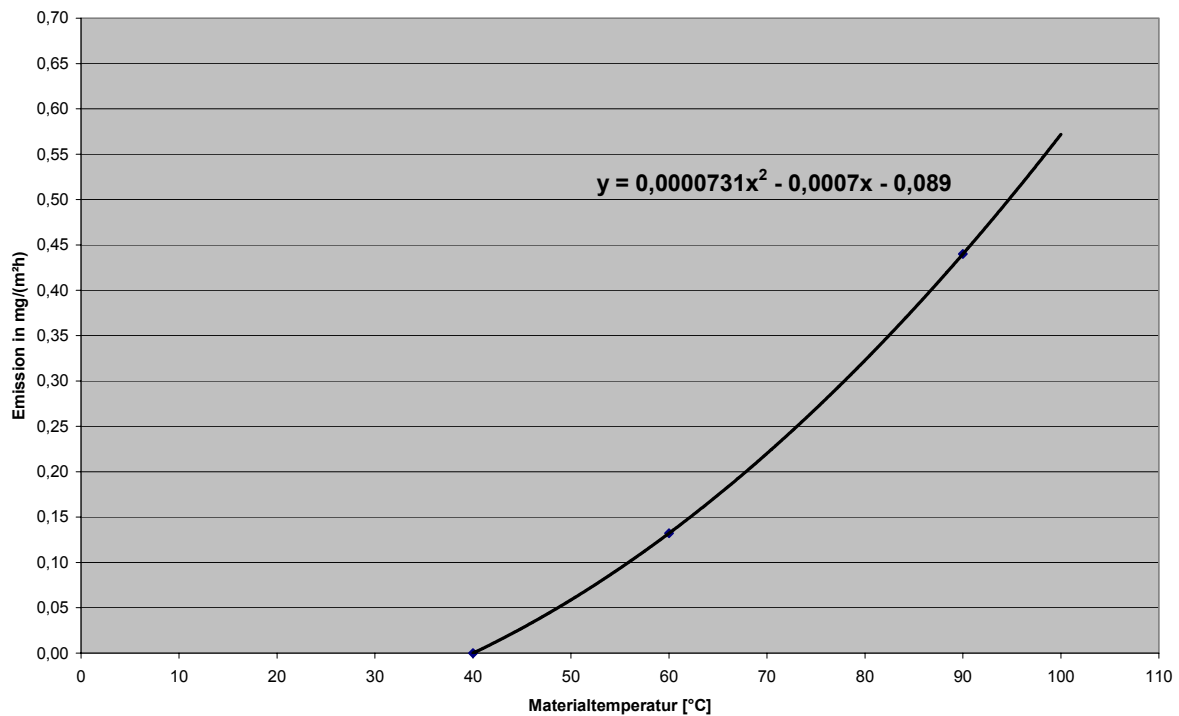


Abbildung 6.3: Berechnete Abhängigkeit der Emission von Holz von der Materialtemperatur, vorausgesetzt der durch Messung nach EN 717-2 bei 90°C ermittelte Wert liegt bei 0,44 mg m⁻²h⁻¹, der Wert bei 60°C bei 30% dieses Wertes

Folgende Annahmen wurden zur Berechnung der mittleren Kammerkonzentration getroffen:

- Die Emissionsrate des in der Kammer eingesetzten Holzes liegt bei 0,44 mg m⁻²h⁻¹ (durch Messung nach EN 717-2 bei 90 °C ermittelter Maximalwert, der laut Rundungsregel nach DIN 1333¹³ noch nicht zu einer Überschreitung des Zielwertes von 0,4 mg m⁻²h⁻¹ führt)
- Die Emission bei 60°C liegt bei 30% der Emission bei 90°C
- Es wird hilfsweise eine Funktion 2. Grades zur Charakterisierung des Zusammenhanges zwischen Materialtemperatur und Emissionsrate angenommen, bei einer Temperatur von 40°C wird eine Emission von 0 angenommen
- Die Kammer weist eine Temperaturverteilung auf, wie sie in Tabelle 6.1 dargestellt ist. Allfällig erhöhte Temperaturen in Ofennähe werden nicht berücksichtigt
- Die Materialtemperatur der Oberflächen entspricht der Lufttemperatur
- Das Oberflächen-Volumsverhältnis liegt bei 3,3 m² pro m³ (entspricht einer Kammer mit den Maßen 2 x 3 x 2,35 m, entspricht daher einem Volumen von 14,1 m³)
- Die Sauna enthält 3 Bänke an der Längsseite mit einer Breite von 0,8 m, wobei die Ober- und Unterseite der Bänke als Emittenten angenommen werden. Die Bänke sind in einer Höhe angenommen, wie sie in Tabelle 6.1 dargestellt ist
- Die Türe wird gleich den Wänden als Emittent angenommen

¹³ DIN 1333 (1992): Zahlenangaben

Untersuchung von Innenraumlufte und von Materialien in Saunen

- Der Luftwechsel in der Kammer liegt bei 6 h^{-1} mit homogener Verteilung des Luftalters (ideale Durchmischung der Kammerluft)

Die Raumluftekonzentration an Formaldehyd in der Saunakammer berechnet sich bei idealer Durchmischung der Kammerluft mittels folgender Formel:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n E_i * A_i}{V * LW} \quad [\text{mg}/\text{m}^3] \quad \text{Formel (3)}$$

Dabei ist:

C Raumluftekonzentration an Formaldehyd in der Saunakammer $[\text{mg}/\text{m}^3]$

E_i Formaldehyd-Emissionsrate der Flächeninkremente i $[\text{mg} \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}]$

A_i Oberfläche der Flächeninkremente i in der Saunakammer $[\text{m}^2]$

V Kammervolumen $[\text{m}^3]$

LW Luftwechsel $[\text{h}^{-1}]$

Tabelle 6.2: Berechnung der Emission der Flächeninkremente mit einer Höhe von jeweils 0,1 m und der Gesamtemission (Ergebnisse gerundet)

Höhe			Temp	Flächen			Flächenbez. Emission	Emission Inkrement	Anteil an Ges.
von	bis	MW		Wand/Türe	Sitze/Decke	Gesamtfläche			
[m]	[m]	[m]	[°C]	[m²]	[m²]	[m²]	[mg m⁻² h⁻¹]	[mg h⁻¹]	[%]
0,0	0,1	0,05	41,3	1,2	0	1,2	0,007	0,00	0,0
0,1	0,2	0,15	43,8	1,2	0	1,2	0,020	0,02	0,2
0,2	0,3	0,25	46,3	1,2	0	1,2	0,035	0,04	0,4
0,3	0,4	0,35	48,8	1,2	0	1,2	0,051	0,06	0,5
0,4	0,5	0,45	51,3	1,2	4,8	6,0	0,067	0,40	3,5
0,5	0,6	0,55	53,8	1,2	0	1,2	0,085	0,10	0,9
0,6	0,7	0,65	56,3	1,2	0	1,2	0,103	0,12	1,1
0,7	0,8	0,75	58,8	1,2	0	1,2	0,122	0,15	1,3
0,8	0,9	0,85	61,3	1,2	4,8	6,0	0,142	0,85	7,3
0,9	1,0	0,95	63,8	1,2	0	1,2	0,163	0,20	1,7
1,0	1,1	1,05	66,3	1,2	0	1,2	0,185	0,22	1,9
1,1	1,2	1,15	68,8	1,2	0	1,2	0,208	0,25	2,1
1,2	1,3	1,25	71,3	1,2	0	1,2	0,232	0,28	2,4
1,3	1,4	1,35	73,8	1,2	4,8	6,0	0,257	1,54	13,2
1,4	1,5	1,45	76,3	1,2	0	1,2	0,283	0,34	2,9
1,5	1,6	1,55	78,8	1,2	0	1,2	0,309	0,37	3,2
1,6	1,7	1,65	81,3	1,2	0	1,2	0,337	0,40	3,5
1,7	1,8	1,75	83,8	1,2	0	1,2	0,365	0,44	3,8
1,8	1,9	1,85	86,3	1,2	0	1,2	0,394	0,47	4,1
1,9	2,0	1,95	88,8	1,2	0	1,2	0,425	0,51	4,4
2,0	2,1	2,05	91,3	1,2	0	1,2	0,456	0,55	4,7
2,1	2,2	2,15	93,8	1,2	0	1,2	0,488	0,59	5,0
2,2	2,3	2,25	96,3	1,2	6	7,2	0,521	3,75	32,2
Summen						48,0		11,7	100,0

Bei einer Gesamtemission von $11,7 \text{ mg h}^{-1}$ Formaldehyd als Summe der Emissionen der einzelnen Inkremente ergibt sich laut Formel (3) eine berechnete Raumlufkonzentration an Formaldehyd in der Saunakammer von etwa $0,14 \text{ mg/m}^3$ (siehe Tabelle 6.2). Bei alternativer Annahme anderer, noch realistischer Verhältnisse der Emission bei 90°C zu der Emission bei 60°C ergeben sich Werte in der gleichen Größenordnung. Bei Verwendung des Wertes von $0,4 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ als Orientierungswert, wie er schon Eingang in die Richtwerte für Materialien in der ab 2010 gültigen ÖNORMen-Serie M 6219 fand, wäre unter Voraussetzung eines normgerechten Luftwechsels nach dem bei der Erstellung der Studie vorhandenen Wissen zu erwarten, dass bei Verwendung dieser Materialien im Saunabau unter Voraussetzung einer durchschnittlichen Beladung die Mehrzahl der Ergebnisse von Luftmessungen in der Größenordnung des Zielwertes von $0,1 \text{ mg/m}^3$ oder darunter liegen würden.

In der Realität werden die Werte dann niedriger liegen, wenn die Saunakammer ein größeres Volumen als die für die Modellrechnung angenommene, für gewerbliche Saunen eher kleine Saunakammer aufweist. Einflüsse durch stärker erwärmtes Holz in Nähe des Saunaofens können dagegen die Emission dieser Flächen und damit die Gesamtemission erhöhen. Nicht kalkulierbare Einflüsse ergeben sich durch Inhomogenitäten der verwendeten Materialien, vor allem aber durch die in der Praxis immer gegebene nicht ideale Durchmischung der Kammerluft (Lüftungskurzschlüsse, „tote Ecken“).

Abbildung 6.4 zeigt die berechnete prozentuelle Emission der höhenabhängigen Flächeninkremente an Formaldehyd. Auffallend ist der hohe Anteil des obersten Flächenbereiches unterhalb der Decke inklusive der Decke an der Gesamtemission (etwa 37%).

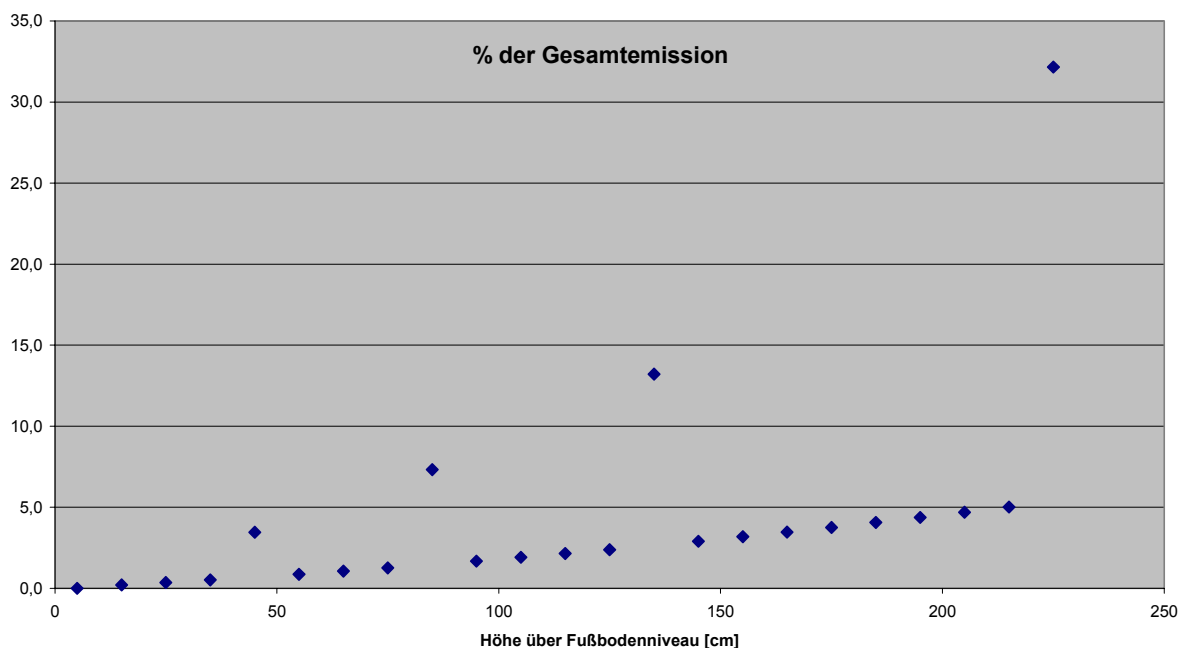


Abbildung 6.4: Berechnete prozentuelle Emission an Formaldehyd der höhenabhängigen Flächeninkremente bezogen auf die Gesamtemission

6.3.3 Offene Fragen

Folgende Punkte müssen hier noch geklärt werden:

- welcher Luftwechsel bei der Baumusterprüfung vorgegeben wird
- ob die in der Realität sich einstellende Formaldehydkonzentration in der Mitte einer Saunakammer mit meist inhomogener Wärmequelle über die Ergebnisse von Prüfkammeruntersuchungen von Materialien modelliert werden kann
- welche Abweichungen der zu prüfenden Saunakammer von einem Baumuster toleriert werden können, um zu den gleichen Aussagen, wie sie für das Baumuster getroffen wurden, zu gelangen

7 UMWELTMEDIZINISCHE EXPERTISE

7.1 Fragestellung

Erhöhte Formaldehydkonzentrationen in Saunakammern sind relevant, da diese speziellen Innenräume im Unterschied zu privaten Innenräumen den Vorgaben des Bäderhygiene-gesetzes (BGBl. Nr. 254/1976) unterliegen. Darin wird vorgeschrieben, dass es durch die Verwendung von in Saunen eingesetzten Materialien zu keiner Gesundheitsschädigung von Saunanutzern kommen darf. Weiters ist davon auszugehen, dass sich Saunen in einer Reihe von Randbedingungen wie Aufenthaltszeit, Temperatur und Nutzungsfrequenz signifikant von sonstigen Innenräumen unterscheiden. Die Konzentration an Formaldehyd, ab der Gesundheitsschäden auftreten können, ist im Bäderhygiene-gesetz nicht präzisiert.

Im Folgenden werden Grundlagen zur speziellen Innenraumsituation Sauna und zur Toxikologie von Formaldehyd dargestellt sowie ein Richtwert für Saunakammern aus medizinischer Sicht vorgeschlagen.

7.2 Saunaraum und Saunabesuch aus medizinischer Sicht

7.2.1 Allgemeines

Das Besuchen einer Sauna fand in den letzten Jahren im Zuge des Wellness-Trends auch in Österreich immer stärkere Verbreitung. Laut Befragungen reichen die Gründe für das Saunieren von Entspannung und Erholung über Abhärtung und Leistungssteigerung bis hin zu therapeutischen Zwecken (ÖSF 2002).

Es gibt eine Reihe von Saunavarianten wie das Dampfbad (Hamam), Saunarium und Rauchsauna. Die folgenden Ausführungen beziehen sich einzig auf die klassische finnische Sauna. Diese ist laut finnischer Sauna-Gesellschaft definiert als „ein hauptsächlich mit Holz ausgekleideter, belüfteter, mit Wasserzufuhr und -abfluss versehener und ausreichend beleuchteter Raum, in dem sich Sitzbretter und ein beheizbarer Saunaofen befinden und dessen Luftfeuchtigkeit gering ist. Die typische Temperatur der Sauna ist mindestens 70 Grad Celsius.“ (Helsingin Sanomat 2003).

7.2.2 Raumklima im Saunaraum

Unter dem Saunaklima werden die künstlich geschaffenen Luft-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse in einer Saunakammer verstanden. Maßgeblich werden die „Klimaverhältnisse“ im Saunaraum durch Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit bestimmt.

Charakteristisch für das Saunaklima ist ein starkes Temperaturgefälle (Raumlufte). Bei einer Sauna mit dreistufiger Saunabank und einer Deckentemperatur von 100°C beträgt die Temperatur in Höhe der obersten Bank ca. 70°C und in Fußbodenhöhe nur noch etwa 40°C. In Tabelle 1 finden sich Messwerte einer Sauna mit einer dreistufigen Bank. Weiters spielen die Temperaturen der Holzflächen der Decke, der Wände und der Bänke eine Rolle (Wärmestrahlung).

Das Temperaturgefälle entsteht dadurch, dass sich die von außen in die Saunakammer hereingeführte Luft über dem Saunaofen stark erwärmt, sich ausdehnt und dadurch zur Decke des Saunaraumes aufsteigt. Die hohe Lufttemperatur führt dann dazu, dass sich die Luft, die den Saunabadenden umgibt, an der schwitzenden Haut abkühlt. Dadurch wird sie wieder schwerer und sinkt zum Fußboden ab. Von dort wird sie über die Entlüftung aus der Kabine abgeführt.

Ebenso bedeutend für das Saunaklima ist die Luftfeuchtigkeit (Wasserdampfgehalt). Bei zu geringem Wasserdampfgehalt in der Saunaluft trocknen die Schleimhäute der Atemwege aus, und es kann zu irritativen Effekten kommen. Bei zu hoher Luftfeuchtigkeit wird die Kühlung des Körpers durch eine unzureichende Verdunstung des Schweißes behindert: Die hohen Temperaturen in der Sauna werden dann als unangenehm empfunden.

Bei einer wünschenswerten absoluten Luftfeuchte von 10 bis 30 g/m³ im Saunaraum beträgt die relative Feuchte an der Decke (bei 100°C) 2-5%, in Höhe der Sitzfläche der oberen Bank (bei 70°C) 5 bis 15% und unmittelbar über dem Fußboden (bei 40°C) 20 bis 60% (siehe Tabelle 6.1). Bei diesen Angaben ist jedoch zu beachten, dass die relative Feuchte das prozentuale Verhältnis der tatsächlich in der Luft vorhandenen Feuchte zu der Feuchte, die die Luft maximal aufnehmen könnte, angibt (Sättigungsfeuchte). Da das Feuchteaufnahmevermögen der Luft umso größer ist, je höher deren Temperatur ist, kommt es aufgrund des Temperaturgradienten in der Saunakammer zu unterschiedlichen relativen Feuchten.

Zur Erzeugung bzw. Erhaltung des Saunaklimas ist eine gut funktionierende Lüftung des Saunaraumes mit ausreichendem Luftaustausch von großer Bedeutung. Der Wasserdampfgehalt der Luft bleibt dadurch begrenzt, und die Verdunstung des Schweißes wird nicht beeinträchtigt. Auch die plötzliche, starke Zunahme der Luftfeuchtigkeit bei einem Aufguss wird bei einem ausreichenden Luftwechsel rasch kompensiert. Dazu trägt in begrenztem Maß auch die Wasserdampf-Aufnahmefähigkeit der verwendeten Hölzer bei.

7.2.3 Physiologische Effekte des Saunabades auf den Organismus

Die physiologischen Reaktionen des Körpers auf die Wärme/Hitze zielen darauf ab, den thermalen Stress zu kompensieren (Kauppinen 1997). Die Reaktionen finden hauptsächlich in der Haut, im Herzkreislaufsystem und in den Atemorganen statt. In der Haut erweitern sich die Hautgefäße und die Schweißsekretion nimmt zu. Die Herzrate steigt (Pulsfrequenz zwei Mal so hoch wie in Ruhe), das Schlagvolumen und der systolische Blutdruck bleiben praktisch unverändert (nur ein leichter Anstieg), der diastolische Blutdruck nimmt ab.

Dabei ist anzumerken, dass die gesteigerte Herzarbeit und die Hauttemperatur nicht nur von der Temperatur, sondern auch von der Luftfeuchtigkeit, der Luftbewegung, der Aufenthaltszeit und der Körperhaltung in der Saunakammer abhängen (Kukkonen-Harjula et al. 1998). Die Hauttemperatur kann bis zu 40°C annehmen. In Bezug auf die Kerntemperatur (Messung im Oesophagus) beträgt der Anstieg 0,07°C pro Minute bis zu 38°C. Anschließend beschleunigt sich der Anstieg mit 0,4°C pro Minute bis 39°C. Nach der Exposition kehren die Werte rasch zu den Ausgangswerten zurück.

Die heiße Luft gelangt durch das Einatmen in die Atemwege und breitet sich dort aus. Das Gewebe wird auf über 40°C erwärmt und damit besser durchblutet und aktiviert. Weiters entspannt sich die glatte Muskulatur der Bronchien und in Folge erweitern sich die Atemwege. Die Atmung wird flacher, die Atemfrequenz steigt. Insgesamt erhöht sich das totale Atemminutenvolumen (Produkt aus Atemzugvolumen und Atemfrequenz). Änderungen bestimmter Messgrößen der Lungenfunktion - wie Vitalkapazität, Höchste (Peak) expiratorische Flussrate (PEF) und das Forcierte Expirationsvolumen in einer Sekunde (FEV1) - zeigen eine verbesserte pulmonale Ventilation an. Insgesamt sind diese Änderungen als eher gering zu bezeichnen und betragen rund 10% (Kiss et al. 1994, Laitinen et al. 1988).

Um das thermische Gleichgewicht im Körper aufrecht zu erhalten, kommt es zu einer Aktivierung des hypothalamisch-adrenalen Systems und des vegetativen Nervensystems (Kauppinen u. Vuori 1986, Kukkonen-Harjula u. Kauppinen 1988). Im Bezug auf hormonelle Änderungen stehen eine gesteigerte Wasserretention und die Auslösung einer Kampf- oder Fluchtreaktion (manifestiert sich in verminderter Schmerzempfindlichkeit und gesteigerten Wachheit) im Vordergrund.

Weiters wurde in einigen Studien gezeigt (Kukkonen-Harjula et al. 1998, Jezová et al. 1994, Kauppinen et al. 1989), dass die Sekretion von ACTH, Kortisol, Noradrenalin, Wachstumshormon und Prolactin während des Saunazyklus ansteigt.

7.2.4 Therapeutische Indikationen

Saunabesuche können für eine Reihe von chronischen Erkrankungen therapeutisch eingesetzt werden. So konnte in Studien für verschiedene Erkrankungen eine Besserung/Linderung der Beschwerden nachgewiesen werden (Kukkonen-Harjula u. Kauppinen 2006):

- Herzkreislauferkrankungen (essentielle Hypertonie, Hypotonie, Nachbehandlung bei Herzinfarkt)
- Atemwegserkrankungen (Chronisch obstruktive pulmonale Erkrankungen, Asthma bronchiale)
- Depression und Müdigkeit
- Krankheiten des Bewegungsapparates (Rheumatische Arthritis)

7.3 Toxikologische Grundlagen von Formaldehyd

7.3.1 Endogene Produktion, Aufnahme und Verteilung

Physiologisch entsteht Formaldehyd im menschlichen Organismus als Intermediärprodukt des Fremdstoffmetabolismus (Phase I-Zytochromoxidasen). Die entsprechenden Stoffwechselschritte finden allerdings in speziellen Zellkompartimenten statt, welche durch antioxidative Faktoren in der Regel ausreichend vor der Einwirkung aggressiver Intermediärprodukte geschützt sind.

Die endogene Entstehung von Formaldehyd führt zu einer geringen Konzentration im Blut von etwa 2-4 µg/ml. Der Verweis auf diesen körpereigenen Formaldehyd entbindet aber nicht von der Aufgabe, exogenen Formaldehyd hinsichtlich möglicher systemischer Wirkungen gesondert zu bewerten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Formaldehyd wahrscheinlich zu den phylogenetisch ältesten Zwischenprodukten des Stoffwechsels zählt (Kalapos 1999) und im gesunden Organismus daher ausreichende Schutzmechanismen gegen systemische Formaldehydbelastungen in physiologischer Höhe bestehen.

Inhalativ aufgenommener Formaldehyd wird aufgrund seiner guten Wasserlöslichkeit überwiegend im oberen Respirationstrakt deponiert und absorbiert. Beim Menschen als Mund-Nase-Atmer erfolgt dies sowohl in der Mund-, Rachen- und Nasenschleimhaut als auch in Trachea und proximalen Bronchien, während bei obligaten Nasenatmern (wie Mäusen und Ratten) hauptsächlich die Nasenpassage betroffen ist. Das ist bei der Bewertung von Tierversuchen zu berücksichtigen.

7.3.2 Metabolismus und Elimination

Ein geringer Teil (< 10%) des eingeatmeten Formaldehyds wird wieder ausgeatmet. Gelangt es an die Schleimhäute, wird es bereits am Ort der Einwirkung entweder reaktiv verbraucht oder aktiv durch verschiedene Enzyme abgebaut. Dabei spielt die Formaldehyd-Dehydrogenase die bedeutendste Rolle, die nach Konjugation von Formaldehyd mit Glutathion diesen zu Methansäure (Ameisensäure) abbaut, die überwiegend als Formiat über die Niere ausgeschieden wird. Die Halbwertszeit für Formaldehyd beträgt weniger als eine Minute.

Beim Menschen ist ein Anstieg von Formiat im Harn ab einer inhalativen Formaldehydbelastung von 0,5 ppm (0,6 mg/m³) feststellbar (Einbrodt et al. 1976). Bei niedrigeren Belastungen erfolgt eine nahezu vollständige Einschleusung in den Stoffwechsel der „Ein-Kohlenstoff-Moleküle“ (C₁-Pool). Teilweise erfolgt aus diesem Pool die Neusynthese körpereigener Stoffe, teilweise ein vollständiger Abbau zu CO₂ und H₂O.

Bei inhalativer Aufnahme höherer Konzentrationen (bis ca. 7 mg/m³ [5,6 ppm]) ändert sich die Blutkonzentration von Formaldehyd nicht (WHO 2002). Dies beruht auf seiner raschen Metabolisierung. Diese Verstoffwechslung ist allerdings eine aktive Leistung des Organismus, welche unter anderem mit einem Verbrauch an antioxidativen Substanzen einhergeht.

7.3.3 Gesundheitliche Wirkungen – Allgemeines

Formaldehyd ist ein Reizgas, das wegen seiner guten Wasserlöslichkeit seine die Schleimhäute irritierenden Wirkungen zuerst bzw. bereits bei niedriger Konzentration an den oberen Atemwegen respektive an den Augenbindehäuten entfaltet. Wegen seiner raschen Verstoffwechslung stehen bei Exposition über den Luftweg Effekte am Ort der Einwirkung im Vordergrund.

In seltenen Fällen kann bei hoher Exposition (am Arbeitsplatz) eine Überempfindlichkeitsreaktion des Bronchialsystems im Sinne eines Berufsasthmas entstehen. Hohe Luftkonzentrationen können asthmatische Reaktionen auslösen, wobei auch dabei die Reizwirkung im Vordergrund zu stehen scheint. Insgesamt gesehen ist aber die Faktenlage zur Frage der Empfindlichkeit asthmatischer Personen gegenüber Formaldehyd-Expositionen widersprüchlich. Ob Formaldehyd bei relativ niedrigen Konzentrationen (etwa im Wohnbereich) Allergien hervorrufen kann, ist umstritten.

In wässriger Lösung ist Formaldehyd (z.B. als Formalin) eine häufige Ursache von Kontaktdermatiden. Im Folgenden wird aber nur die inhalative Aufnahme behandelt.

Die IARC (International Agency for Research on Cancer) hat die Kanzerogenität von Formaldehyd neu bewertet und es den Stoffen zugeordnet, die für den Menschen kanzerogen sind (Gruppe 1-Kanzerogen) (IARC 2006).

7.3.4 Schleimhautreizungen

Über irritative Reizungen an Augenbindehäuten und Nasenschleimhaut wird im Allgemeinen ab Konzentrationen von 0,5 bis 1,0 ppm berichtet. Allerdings ist die Empfindlichkeit gegenüber Formaldehyd individuell sehr unterschiedlich. Dementsprechend finden sich in der Literatur auch niedrigere Werte.

Bei Konzentrationen über 1 ppm (1,25 mg/m³) werden bei kurzzeitiger Exposition zunehmend objektiv feststellbare Anzeichen einer irritativen Schleimhautreizung wie verstärkte Schleimsekretion, Tränenfluss und erhöhte Lidschlussfrequenz beobachtet. Bei längerer Exposition (4-5 Stunden) sind schon unter 1 ppm (1,25 mg/m³) Formaldehyd messbare Effekte aufgetreten. Andersen und Molhave (1983) konnten bereits bei 0,25 ppm (0,3 mg/m³) eine Abnahme der mukoziliären Clearance im vorderen Teil der Nasenhöhle feststellen. Subtile Effekte auf die offene Weite der Nasenhöhle sowie den Gehalt des Nasensekrets an Lysozym und eosinophilem kationischem Protein konnten bereits bei noch niedrigeren Konzentrationen nachgewiesen werden (Norbäck et al. 2000). Die klinische Relevanz dieser frühen Anzeichen irritativer Effekte ist allerdings schwer einzuschätzen.

In kontrollierten Untersuchungen am Menschen wurden überwiegend Expositionen über 0,5 ppm (0,6 mg/m³) Formaldehyd geprüft. Unter 1 ppm (1,25 mg/m³) treten subjektive Reizwirkungen auf das Auge auf, wobei dies aber erst nach zwei Stunden Expositionszeit der Fall ist. Bei höheren Konzentrationen steigt der Anteil der Personen mit Beschwerden

und diese treten bereits bei kurzfristiger Exposition auf (Andersen u. Molhave 1983). Bei Konzentrationen über 1 ppm (1,25 mg/m³) wird auch über Reizwirkungen auf Nase und Rachen berichtet. Diese Reizwirkungen waren im Wesentlichen bei Personen mit früherer chronischer Formaldehydexposition und vorher nicht gegenüber Formaldehyd exponierten Personen gleich, sodass ein langfristiger Gewöhnungseffekt nicht angenommen werden kann (Green et al. 1987). Es fanden sich auch keine Unterschiede hinsichtlich der Reizwirkung zwischen Asthmatikern und gesunden Probanden (Schachter et al. 1987).

Untersuchungen von langfristig an Arbeitsplätzen gegenüber Formaldehyd exponierten Personen bestätigen die experimentellen Befunde. Horvath et al. (1988) untersuchten 109 gegenüber Formaldehyd (0,5-1,3 mg/m³ [0,4-1 ppm]) exponierte Arbeiter im Vergleich zu 254 Kontrollpersonen (mit Expositionen unter 0,06 mg/m³ [0,05 ppm]). Die exponierte Gruppe berichtete signifikant häufiger über Halsentzündungen, brennende Nase und andere irritative Effekte.

In einer Untersuchung der häuslichen Exposition an etwa 2000 Kindern und Erwachsenen fanden sich unter Berücksichtigung von Störvariablen (z.B. Rauchen) klare Dosisabhängigkeiten der irritativen Symptome, wobei sich die 10%-Dosis (jene Dosis, ab der 10% der Personen Symptome aufweisen) aus den Angaben mit ca. 0,19-0,22 mg/m³ (0,15-0,18 ppm) errechnet (Ritchie und Lehnen 1987).

Histopathologische Veränderungen (Hyperplasie der Nasenschleimhaut, dysplastische Läsionen, Umwandlung der Schleimhaut in Plattenepithel, Zilienverlust) ließen sich in mehreren Untersuchungen nach chronischer Exposition nachweisen (Edling et al 1988, Holmström et al. 1989, Boysen 1990, Reiche et al. 1992). Die niedrigste Konzentration an Formaldehyd, ab der signifikante histologische Veränderungen auftraten, betrug bei Holmström et al. (1989) im Mittel 0,3 mg/m³ (0,24 ppm).

7.3.5 Systemische Wirkungen

Die hohe Reaktivität von Formaldehyd in wässriger Lösung in Kontakt mit jeglichem organischen Material bedingt einerseits dessen hohes irritatives Potenzial und lässt andererseits eine systemische Wirkung niedriger inhalativer Belastungen nicht sehr wahrscheinlich erscheinen. Studien mit radioaktiv markiertem Formaldehyd haben zwar eine rasche Verteilung des Markers im Organismus und etwa auch über die Plazentaschranke hinweg gezeigt (Katakura et al. 1993); es ist jedoch zu bedenken, dass dieses Untersuchungsverfahren nicht zwischen dem Transport des ursprünglichen Moleküls und dessen Abbauprodukten unterscheiden kann.

Die Anreicherung des radioaktiven Markers (¹⁴C) gerade in stoffwechselaktiven Geweben (Leber) spricht eher für rasche Metabolisierung als für den Ferntransport des ursprünglichen Moleküls. Die Inhalation von Formaldehyd im ppm-Bereich erhöht dessen Konzentration im Blut von freiwilligen Versuchspersonen jedenfalls nicht (Heck et al. 1985). Die gleiche Arbeitsgruppe hat dies auch an Ratten und Rhesus-Affen gezeigt (Casanova et al. 1988).

7.3.6 Allergene Wirkungen

Formaldehyd ist bekanntermaßen ein Kontaktallergen, was seinen Einsatz als Desinfektionsmittel in der Haut- und Flächendesinfektion, aber auch als Konservierungsstoff z.B. in Kosmetika, enge Grenzen setzt. Bei Sensibilisierten können schon geringe Spuren von Formaldehyd in der Kleidung allergisch-irritative Dermatiden hervorrufen. Auch anaphylaktische Reaktionen nach Hautkontakt einer sensibilisierten Person mit Formaldehyd wurden beschrieben. Trotz langjähriger kritischer Stellungnahmen zu Formaldehyd in Konsumentenprodukten bleibt die Rate der Sensibilisierten auf hohem Niveau (2 bis 2,5%) stabil (Wilkinson et al. 2002).

Umstritten allerdings ist die Frage, ob durch Formaldehyd auch inhalative Allergien vom Typ I hervorgerufen werden können. Einzelne Fallberichte von Atemnot unter Formaldehyd-Exposition lassen jedenfalls an eine Form atopischen Asthmas denken. Kontrollierte Provokationsexperimente konnten dies jedoch nur teilweise bestätigen (Korn et al. 2003).

Dies schließt allerdings nicht aus, dass allergische Reaktionen (etwa im beruflichen Umfeld) auf atmosphärische Reaktionsprodukte des Formaldehyds auftreten, welche unter der kontrollierten Begasung im Experiment nicht reproduziert werden können. Immunologische Reaktionen, vor allem im Sinne der Bildung spezifischer IgG-, aber auch IgE-Antikörper (gegen Protein-Formaldehyd-Komplexe), wurden zumindest nach höherer Exposition (Medizinstudenten im Sezierraum) beobachtet, wobei allerdings diese Bildung von Immunglobulin nicht unbedingt mit den berichteten klinischen Symptomen korrelierte (Wantke et al. 1996b, 2000). Anlass für die im Sezierraum durchgeführten Studien war eine Untersuchung in einer Schule, bei der Zusammenhänge zwischen der Bildung von Antikörpern und der erhöhten Raumluf-Konzentrationen an Formaldehyd vermutet wurden (Wantke et al. 1996a). Andererseits konnten Doi et al. (2003) in Japan keine so hohen Sensibilisierungsraten bei Kindern gegenüber Formaldehyd-Albumin bestätigen. Dennoch fanden die japanischen Autoren unter 122 asthmatischen Kindern 2 Fälle mit IgE gegen Formaldehyd-Albumin, unter 33 Kontrollkindern jedoch keinen. Sie geben nicht an, wie viele der 122 Asthmatiker unter allergischem Asthma litten. Mindestens bei einem der Kinder mit Formaldehydallergie wiesen die Symptome auf eine klinische Bedeutung der Allergie hin (schweres Asthma mit Verstärkung an Orten mit vermutet höherer Formaldehyd-Belastung). Unspezifische Stimulierung allergischer Reaktionen auf typische Inhalationsallergene wäre eine andere These, um Formaldehyd mit Asthma zu assoziieren. Eventuell sind epidemiologisch feststellbare Zusammenhänge zwischen Formaldehydbelastung im Wohnbereich (Garrett et al. 1999, Rumchev et al. 2002, Wieslander et al. 1997) oder in der Schule (Smedje und Norbäck 2001) darauf zurückzuführen. Die Prävalenz ärztlicher Diagnosen von chronischer Bronchitis und Asthma nahm im Expositionsbereich zwischen 60 und 140 ppb (72-168 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) bei 298 Kindern zu (besonders deutlich bei solchen, die auch gegenüber Zigarettenrauch exponiert waren). Der Spitzenfluss bei der Expiration nahm dosisabhängig ab (Krzyzanowski et al. 1990). In einer australischen Studie an 148 Kindern im Alter von 7-14 Jahren in 80 Wohnungen erfolgten innerhalb eines Jahres 4 Formaldehyd-Messungen (Passivsammler über 4 Tage). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Atopie und Formaldehydkonzentration fand sich bei Kindern ohne elterliches Asthma. Eine allergische Sensibilisierung nahm dosisabhängig mit steigender Formaldehyd-Exposition zu, wobei die Zunahme des Risikos 40% pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ betrug (allerdings war diese Zunahme

statistisch nur tendenziell zu sichern; $p=0,06$). Die mittlere Zahl der positiven Haut-Prickteste war in der Expositionsgruppe ($20-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 17-43 ppb) im Vergleich zur Gruppe $< 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ signifikant erhöht (Garrett et al. 1999). In einer australischen Fall-Kontroll-Studie an 88 Kleinkindern im Alter von 0,5-3 Jahren mit einem ärztlich diagnostizierten Bronchialasthma und 104 Kontrollkindern zeigte sich ein erhöhtes Risiko für Asthma ab einer Formaldehyd-Konzentration von 50 ppb ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Rumchev et al. 2002).

Neben der Beteiligung an der Entwicklung oder Auslösung des allergischen Asthmas wäre noch an chemisch-toxisches Asthma zu denken. Nordman et al. (1985) unterschieden nicht, ob die von ihnen gefundenen Fälle, die durch Formaldehyd am Arbeitsplatz bzw. bei einem Provokationstest eine Symptomverschlechterung zeigten, dem Asthma des atopischen oder nicht-atopischen Formenkreises zuzuordnen sind.

7.3.7 Kanzerogenität

Formaldehyd ist chemisch äußerst reaktiv und daher in der Lage, in der Zell- oder Bakterienkultur chromosomale Schäden zu setzen. Im Tierversuch werden Tumoren an den Schleimhäuten der oberen Atemwege, bei der Ratte als obligatem Nasenatmer vor allem an der Nasenschleimhaut, allerdings bei hohen Expositionen und im Zusammenhang mit Nekrosen und reaktiver Hyperproliferation beobachtet. Chromosomenschäden finden sich an Schleimhautzellen exponierter Tiere (Casanova et al. 1991, 1994, Heck u. Casanova 1999) ebenso wie bei Beschäftigten in der Schuhindustrie und in Seziersälen von Anatomie und Pathologie (Burgaz et al. 2001, 2002). Die Genotoxizität von Formaldehyd dürfte auf der Quervernetzung von Protein und DNA beruhen. Formaldehyd ist aber auch zytotoxisch. Die dadurch bedingte Zellproliferation ist ein wichtiger Schritt bei der Krebsentstehung. Conolly et al. (2003) haben auf Basis tierexperimenteller Studien und humaner Vergleichsdaten als Wirkungsschwelle für zytotoxische Effekte beim Menschen eine Formaldehyd-Konzentration von $0,8-1,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($0,64-1 \text{ ppm}$) abgeschätzt.

In tierexperimentellen Untersuchungen zeigt sich ein steiler Anstieg der Tumorrates ab einer Formaldehydkonzentration von etwa 6 ppm ($7,5 \text{ mg}/\text{m}^3$). Dieser Anstieg könnte mit der Sättigung der auf Glutathion-Konjugation beruhenden Entgiftung durch die Formaldehyd-Dehydrogenase im Nasenepithel ab etwa $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (4 ppm) zusammenhängen (Casanova und Heck 1987).

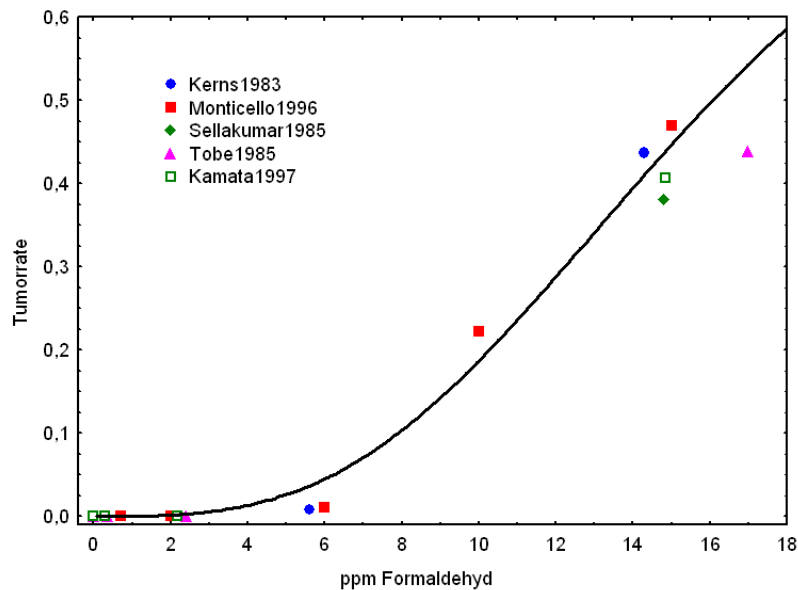


Abbildung 7.1: Zusammenhang zwischen Formaldehydexposition und Tumorrare in verschiedenen tierexperimentellen Studien

Im Jahr 2004 hat die IARC die Kanzerogenität von Formaldehyd neu bewertet (IARC 2006). Aufgrund von Follow-up-Ergebnissen dreier großer Kohortenstudien und dreier neuer Fall-Kontroll-Studien wurde die Evidenz für den Zusammenhang mit Krebs des Nasopharynx beim Menschen als ausreichend angesehen. Ebenso wurde die Evidenz für solche Karzinome im Tierversuch als ausreichend betrachtet. Deshalb wurde die Klassifikation für Formaldehyd auf Gruppe 1 (karzinogen für den Menschen) geändert.

Insgesamt liegen nun über 30 Studien zur Kanzerogenität beim Menschen vor. Am umfangreichsten ist das Datenmaterial zu Nasen-Rachenkrebs, ungünstiger ist die Datenlage bei anderen Karzinomen des Respirationstraktes (sinonasale Tumore, Lungenkrebs) und Leukämien. Man muss hervorheben, dass die exponierten Gruppen bei einem Vielfachen des derzeit gültigen MAK-Wertes (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) exponiert waren. Trotz der aus den Ergebnissen der Tierversuche nahe gelegten Existenz einer Effektschwelle ist aber die Annahme einer solchen Schwelle aus den Daten nicht eindeutig zu begründen. Selbst wenn die DNA-Protein-Quervernetzung eine Schwelle besitzen sollte, ist der Beitrag der Zellschädigung und chronischen Entzündung bei der Kanzerogenese zu berücksichtigen; ebenso wie der Verbrauch an Antioxidantien, der einen kokanzerogenen Effekt nach sich ziehen kann.

Die Kohortenstudien in verschiedenen Gruppen beruflich exponierter Personen (Anatomen, Bestatter, Textilindustrie, chemische Industrie, Kunststoffherstellung etc.) zeigen zwar (schon wegen der Seltenheit der untersuchten Tumoren) kein einheitliches Bild, aber die Zusammenschau der Studien mit der größten Fallzahl und längsten Beobachtungsdauer ergibt für Karzinome des Nasen-Rachenraums ein mäßig erhöhtes Risiko (Blair et al. 1986,

1987, 1990, Stayner et al. 1988, Hayes et al. 1986, 1990, Gardner et al. 1993, Hansen u. Olsen 1995, Coggon et al. 2003, Hauptmann et al. 2003). Die Inzidenz sinonasaler Tumore, von Lungenkrebs und myeloischer Leukämie war in einigen Studien erhöht, die Evidenz ist aber für diese Tumore bzgl. der Stützung durch Tierexperimente und Daten zum Mechanismus der Tumorgenese nicht ausreichend (siehe ausführliche Übersicht in IARC 2006).

Auf Basis der vorliegenden epidemiologischen Ergebnisse und der Tierversuche zu nasopharyngealen Tumoren errechnet sich die untere 95%-Konfidenzgrenze für die TC05 (jene Konzentration, bei der in 5% der Exponierten ein Tumor auftritt) zu 4,8 ppm (6 mg/m³) Formaldehyd. Daraus ergibt sich ein Unit-Risk für 1 ppm von $3,2 \times 10^{-7}$. Für ein im Allgemeinen als akzeptabel angesehenes Risiko von $1:10^6$ würde daher ein Richtwert von ca. 3 ppm (3,8 mg/m³) folgen. Bei einem Vergleich dieser Werte mit den Konzentrationsbereichen, die irritative Effekte auslösen können, zeigt sich, dass sich für Akutwirkungen ein um Größenordnungen niedrigerer Richtwert ergibt.

7.3.8 Wahrnehmung

Formaldehyd hat einen stechenden Geruch, wobei die Literaturangaben zu Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle in einem sehr weiten Bereich streuen. Dies hängt einerseits mit der geringen Stabilität von Formaldehyd (vor allem in „normaler“, das heißt nicht „trockener“) Mischluft zusammen, welche die Bestimmung bzw. genaue Einstellung niedriger Konzentrationen in olfaktometrischen Untersuchungen erschwert. Andererseits gibt es Hinweise auf starke Gewöhnungseffekte bei längerer Exposition gegenüber niedrigen Konzentrationen mit entsprechenden Schwellenwertverschiebungen. Zuletzt erfolgt die sensorische Wahrnehmung von Formaldehyd niedriger Konzentration wenigstens zum Teil nicht über den Riechnerv, sondern über freie Nervenendigungen des Trigemini. Die Wahrnehmung einer subklinischen irritativen Wirkung oder eventuell einer neurogenen Inflammation (Sorg und Hochstatter 1999; Bell et al. 1999) unterliegt jedoch ebenfalls einer großen individuellen Schwankungsbreite. Unspezifische irritative Effekte etwa durch die trockene Luft im Expositionsversuch sind unter Umständen nicht auszuschließen. Diese Umstände sind bei den Literaturangaben zur Geruchsschwelle zu beachten, die von 0,05 bis 1 ppm (0,06-1,3 mg/m³) reichen (Zusammenstellung bei Deutsche Forschungsgemeinschaft, 1988; siehe auch WHO 2000). Im Durchschnitt liegt die Geruchsschwelle bei 0,18 mg/m³ (0,14 ppm). Das 10. Perzentil der Geruchswahrnehmung von Formaldehyd liegt bei 0,03 mg/m³ (0,02 ppm) (WHO 2002).

8 BEURTEILUNG VON FORMALDEHYD-KONZENTRATIONEN

8.1 Begriffe

Zu beachten ist, dass sich die Bevölkerung aus Personengruppen zusammensetzt, die unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber Umweltexpositionen aufweisen. Besonders sensitive Gruppen sind gewöhnlich z.B. Kinder, ältere Personen und Kranke. Diese Variabilität ist daher auch bei der Richt- und Grenzwertfestlegung zu berücksichtigen. Hinsichtlich Formaldehyd sind insbesondere Personen mit chronischen Atemwegserkrankungen zu berücksichtigen.

Richtwerte sind auf wissenschaftlicher Basis (Risikoabschätzung) abgeleitete Werte. Auch bei der Ableitung von Richtwerten gehen jedoch Bewertungen und Konventionen und damit außerwissenschaftliche Überlegungen ein. Aufgrund der Begrenztheit des Wissens und des hypothetischen Charakters erfahrungswissenschaftlicher Erkenntnis ist jeder Richtwert als ein Kondensat eines zu einer bestimmten Zeit aktuellen Kenntnis- und Diskussionsstandes anzusehen. Die Richtwerte werden anschließend einem administrativ-politischen Prozess einer Bewertung unterzogen und fließen so in Grenzwerte ein.

Grenzwerte sind gesetzlich festgelegt und gehören zu den Instrumentarien des Umweltrechts, mit dessen Hilfe umweltpolitische Ziele in die Praxis umgesetzt werden. Sie können zur Vermeidung unmittelbarer Gesundheitsgefahren, zur Vorsorge oder zur Minderung von Belastungen der Umwelt ausgelegt sein. Grenzwerte sind keine ausschließlich wissenschaftlich bestimmten oder abgeleiteten Größen. Sie haben den Charakter von Konventionen und stellen gesellschaftliche Kompromisse über die Vertretbarkeit von Risiken und Resultate der Abwägungen von Nutzen und Risiko dar.

Unter **Zielwert** ist ein Wert (z.B. in einem Gesetz) zu verstehen, der mit dem Ziel festgelegt wird, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt langfristig zu vermeiden, und der – so weit wie möglich – in einem bestimmten Zeitraum erreicht werden muss.

8.2 Ableitung von Richtwerten und Festlegung von Grenzwerten

Bei der Risikoabschätzung und der Ableitung von Richtwerten haben sich im Laufe der Zeit bestimmte Verfahrensweisen herausgebildet, um bestehenden Unsicherheiten und Kenntnislücken in transparenter Weise Rechnung zu tragen.

Die Festlegung von Richtwerten erfolgt meist auf der Basis experimentell ermittelter Schwellendosen. Richtwerte sollen nach dem Stand der Wissenschaft eine negative Wirkung auf den menschlichen Organismus ausschließen (für den Schutz der Ökosysteme und der Vegetation gibt es z.T. eigene Werte, die allerdings in der öffentlichen Diskussion oft weniger Beachtung finden). Dabei wird versucht, die existierenden Unsicherheiten durch die rechnerische Einführung von „Sicherheitsfaktoren“, durch welche die ermittelte noch unwirksame Dosis zu teilen ist, abzumildern.

Die Sicherheitsfaktoren sollen unter anderem berücksichtigen, dass (1) Tierversuche nicht ohne Weiteres auf den Menschen übertragbar sind, (2) unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber Schadstoffen (z.B. bei Vorgeschiedigten, Säuglingen etc.) existieren und (3) die Auswirkungen mehrerer Schadstoffe zusammen (Kombinationswirkungen) meist nicht ermittelt werden kann. Die Wirkung von mehreren Schadstoffen ergibt sich oft nicht aus der Summe der Einzelwirkungen, da es etwa auch zu einer Wirkungspotenzierung bzw. Vervielfachung kommen kann.

Einen Sonderfall stellen Schadstoffe dar, die keine Wirkungsschwelle besitzen. Hierzu werden vor allem krebserregende Substanzen gezählt. Bei solchen Substanzen besteht im Prinzip ein Minimierungs- bzw. Vermeidungsgebot. Weiters können „akzeptable“ Konzentrationen aus Dosis-Wirkung-Beziehungen abgeleitet werden (etwa mithilfe des „Unit Risk“ – diese Größe ist ein Schätzwert für das zusätzliche Krebsrisiko pro Doseinheit bei lebenslanger Exposition gegenüber einem Schadstoff). Dabei muss ein „akzeptables Risiko“ festgelegt werden, wobei die Höhe des akzeptablen Risikos de facto eine gesellschaftspolitische Entscheidung darstellt. So wird von der Europäischen Kommission und der amerikanischen Umweltschutzbehörde für dieses zusätzliche Risiko ein zusätzlicher Krebsfall pro einer Million angesetzt.

Das „Unit Risk“ wird auf der Basis epidemiologischer Untersuchungen, meistens bei an Arbeitsplätzen exponierten Personen sowie mithilfe tierexperimenteller Daten abgeleitet. Es handelt sich um ein hypothetisches Risiko, das durch Extrapolation von Effekten bei relativ hohen Konzentrationen in den niedrigen Bereich ermittelt wird.

Sollen in einem nächsten Schritt aus Richtwerten in einem administrativ-politischen Prozess (Gesetzgebung) verbindliche normative Grenzwerte geschaffen werden, so werden (gesellschaftliche) Risiko-Nutzen-Abwägungen (Arbeitsplätze etc.) vorgenommen, die zu höheren oder niedrigeren Unsicherheitsfaktoren führen können, als sie bei einer ausschließlich wissenschaftlichen Ableitung eingeführt würden.

8.3 Beurteilung von Formaldehyd-Konzentrationen in Innenräumen

Aufgrund der Unsicherheiten hinsichtlich der Reizwirkung im oberen Respirationstrakt bei sehr niedrigen Formaldehydkonzentrationen bei empfindlichen Erwachsenen und bei Kindern ist eine formelle Ableitung eines Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes (WIR) derzeit nicht sinnvoll. Daher wurde vom Innenraum-Arbeitskreis des Lebensministeriums und der Österr. Akademie der Wissenschaften im Richtlinienenteil „Formaldehyd“ der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (BMLFUW 2009a) festgelegt, den Richtwert der WHO (1983) als Wert mit keinem oder nur geringem Anlass zur Sorge für die menschliche Gesundheit bzw. für die Kurzzeitexposition den Wert der WHO-Air Quality Guidelines for Europe (2000) heranzuziehen.

Tabelle 8.1 Empfohlene Richtwerte für Formaldehyd (BMLFUW 2009)

Beurteilungszeitraum	Empfehlung	Wesentliche Endpunkte
24-Stunden-Mittelwert	0,06 mg/m ³	Reizwirkung im oberen
½-Stunden-Mittelwert	0,10 mg/m ³	Respirationstrakt

Auch die deutsche Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraum-Richtwerte stellte 2006 fest, „dass die Neueinstufung durch die IARC keine Änderung des Richtwertes für Formaldehyd in der Innenraumlufte von 0,1 ppm erforderlich macht.“

Wenn die empfohlenen Werte überschritten werden, sind Maßnahmen zu ergreifen, die nach dem heutigen Stand der Technik geeignet sind, eine Reduktion der Formaldehydkonzentration in der Raumlufte herbeizuführen. Es können Maßnahmen in den betroffenen Innenräumen selbst oder in der Umgebung des betroffenen Raumes notwendig werden. Unabhängig davon sind den Nutzern Empfehlungen hinsichtlich Maßnahmen zur Reduktion der Raumluftekonzentration (z.B. Erhöhung des Luftwechsels) mitzuteilen.

Liegt eine Überschreitung der oben angeführten Werte vor, so wird empfohlen, mehrere hintereinander folgende Messungen in ausreichendem zeitlichen Abstand durchzuführen, um den Verlauf der Konzentration zu bestimmen. Daraus ist abzuschätzen, ob und in welchem Zeitraum die Konzentration unter den empfohlenen Wert absinken wird. Sollte sich keine Tendenz zeigen, die eine Unterschreitung dieses Wertes innerhalb absehbarer Zeit erwarten lässt, dann werden (weitere) Sanierungsmaßnahmen empfohlen.

8.4 Beurteilung von Formaldehyd-Konzentrationen in Saunakammern

Die Innenraumverhältnisse in einer Saunakammer weichen von anderen Innenräumen stark ab und sind bei der Erarbeitung eines Richtwertes daher wie folgt zu berücksichtigen:

Expositionszeit: In einer Saunakammer sind in der Regel die Aufenthaltszeiten kurz. Laut den Empfehlungen verschiedener Saunagesellschaften (z.B. ÖSF 2002) sollte die Länge eines Saunaganges zwischen acht und 12 Minuten, höchstens bei 15 Minuten liegen (inklusive Aufwärmphase vor dem Aufguss). Insgesamt werden nicht mehr als drei solcher Saunagänge empfohlen.

Betroffene Personen: Neben gesunden Erwachsenen ist auch mit bestimmten Risikogruppen wie vorgeschädigten, älteren Personen sowie mit Kindern zu rechnen. Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass auch für chronisch kranke Personen ein Saunabesuch indiziert sein kann.

Spezielle physiologische Gegebenheiten: Der thermale Stress löst verschiedene Anpassungsreaktionen des Organismus aus. Neben der Aktivierung des Herzkreislaufsystems kommt es zu einer Steigerung der Atemfrequenz bei flacher Atmung. Aufgrund der erhöhten Ventilation kann es vergleichsweise zu einer höheren Resorption von Schadstoffen kommen. Im Vordergrund einer medizinischen Beurteilung von Formaldehydkonzentrationen in Saunakammern stehen daher kurzfristige akute Effekte. Diese sind im

Wesentlichen Reizungen der Schleimhäute der oberen Atemwege (Nase, Rachen, Kehlkopf, Luftröhre) und der Augenbindehäute.

Ab Konzentrationen von 0,5 ppm (0,62 mg/m³) bis 1,0 ppm (1,25 mg/m³) finden sich im allgemeinen Hinweise aus Studien über irritative Reizungen an Augenbindehäuten und Nasenschleimhaut. Da die Empfindlichkeit gegenüber Formaldehyd individuell jedoch sehr unterschiedlich ist, finden sich in der Literatur auch niedrigere Werte. Anzumerken ist allerdings, dass die Expositionszeiten in den Experimenten zumeist einige Stunden betragen.

Basierend auf diesen speziellen Bedingungen wird vorgeschlagen, für die Raumlufth von Saunen folgende Richtwerte einzuhalten:

Für die Beurteilung von Formaldehyd-Konzentrationen in Saunakammern ist ein Richtwert von 0,1 mg/m³ (arithmetischer Mittelwert der Halbstunden-Mittelwerte der Probenahmen) heranzuziehen. Bei Überschreitung dieses Wertes sind bei empfindlichen Personengruppen gesundheitliche Effekte nicht auszuschließen.

Eine Formaldehyd-Konzentration von 0,5 mg/m³ (Halbstundenmittelwert als Einzelwert einer Probenahme) darf in Saunakammern jedoch in keinem Fall überschritten werden. Bei Konzentrationen über 0,5 mg/m³ sind auch unter Berücksichtigung der kurzen Aufenthaltszeit verschiedene Reizerscheinungen selbst bei normal empfindenden Personen nicht auszuschließen. Es ist damit möglich, dass es zu einer Gefährdung der Gesundheit der Anlagennutzer kommt. In diesem Fall sind (1) die Einrichtungen nicht zu nutzen und (2) Maßnahmen zu treffen, die die Formaldehydkonzentration der Raumlufth dauerhaft reduzieren.

Wenn zu erwarten ist, dass in einer Saunakammer die Formaldehyd-Konzentration zwischen 0,1 mg/m³ und 0,5 mg/m³ liegt, so können bei empfindlichen Personen irritative Effekte auftreten. Daher sind die Nutzer deutlich sichtbar auf mögliche Wirkungen mittels Hinweistafel aufmerksam zu machen. Folgender Text kann aus ärztlicher Sicht vorgeschlagen werden: „Frisches natürliches Vollholz und Holzwerkstoffe können bei Erhitzen Stoffe abgeben, die bei empfindlichen Menschen Reizungen der Schleimhaut auslösen. Solche Personen sollten daher die Saunakammer nicht benützen oder den Aufenthalt zeitlich stark einschränken“. Zusätzlich werden Maßnahmen zur Reduktion der Raumlufthkonzentration von Formaldehyd empfohlen (z.B. verstärkte Lüftung).

Die Richtwerte bzw. Ausführungen können auch für alle anderen Einrichtungen, die der Bäderhygieneverordnung unterliegen, herangezogen werden, sofern die maßgeblichen zeitlichen Bedingungen (Aufenthaltsdauer unter einer halben Stunde) ebenfalls gelten.

9 POSITIONSPAPIER FÜR SCHADSTOFFVERMEIDUNG IN SAUNEN

Die im Positionspapier für Schadstoffvermeidung in Saunen des BMLFUW (2009b) angeführte Methodik zeigte sich als gut geeignet, die Exposition der Saunanutzer darzustellen. Auf Grund der in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen wurden folgende

Textänderungen bzw. Textvorschläge vorgeschlagen, die Eingang in die aktualisierte Fassung des Positionspapieres (BMLFUW 2010) fanden:

Zur Messung der Raumlufthkonzentration an Formaldehyd in Saunakammern werden diese mindestens 2 Stunden vor der Messung in Betrieb gesetzt. Sie müssen bei Beginn und während der Messung die übliche Betriebstemperatur und den üblichen Luftwechsel aufweisen. Die verwendeten Betriebsparameter müssen dokumentiert werden.

Die Messung erstreckt sich über drei unmittelbar aufeinander folgende Probenahmen von je 30 Minuten (Halbstundenmittelwerte). Bei Saunakammern, in denen Aufgüsse stattfinden, wird nach jeweils 10 Minuten ein Aufguss mit reinem Leitungswasser durchgeführt. Der Aufguss erfolgt durch zweimaliges Aufbringen von je zwei Schöpfkellen Wasser auf den Saunaofen und anschließender Verwirbelung der Luft.

Für den Umbau der Messapparatur zwischen den Probenahmen und die Durchführung des Aufgusses wird die Kammer betreten und dabei die Türe kurz geöffnet. Dadurch wird eine übliche Nutzung unter ungünstigen Bedingungen simuliert.

Die Messung erfolgt in Anlehnung an die Acetylaceton-Methode, beschrieben in ÖNORM EN 717-1¹⁴ bzw. VDI 3484 Bl. 2¹⁵. Abgeleitete Methoden, wie sie im Richtlinienteil „Formaldehyd“ der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufth beschrieben sind, sind ebenfalls zulässig. Einfache Methoden wie Absorptionsröhrchen oder Test auf enzymatischer Basis sind für die Messung von Formaldehyd in Saunen nicht geeignet.

Die Waschflasche ist in der Kammer in Atemhöhe eines auf der mittleren Sitzbank sitzenden Erwachsenen zu positionieren (etwa 0,8 m über Ebene der Sitzbank), wobei der horizontale Abstand zu den Seitenwänden gleich sein sollte. Sollte es eine ungerade Anzahl an Sitzbänken geben, ist im Zweifelsfall die jeweils höhere Sitzbank zu wählen. Die Waschflasche muss während der Probenahme z.B. mittels Wasserbad auf Temperaturen unter 30 °C gekühlt werden. Die Probenahmegeschwindigkeit ist mit 2 l/Minute zu begrenzen.

Die Gasvolumenzählung ist außerhalb der Kammern anzuordnen. Das Probenahmenvolumen zur Ermittlung des Beurteilungswertes ist nicht auf durchschnittliche Innenraumlufthbedingungen in Bezug auf Temperatur und Luftdruck umzurechnen. Um die Analysenwerte auf die Betriebstemperatur der Kammern zu beziehen, sind die Temperaturen an der Probenahmestelle in der Kammer und bei der Gasvolumenzählung mehrmals während der Probenahme zu dokumentieren.

Da die Messungen in Anlehnung an die Formaldehydverordnung mittels der Acetylaceton-Methode (beschrieben in ÖNORM EN 717-1¹⁶, VDI 3484 Bl. 2¹⁷) empfohlen werden, war die

¹⁴ ÖNORM EN 717-1 Holzwerkstoffe – Bestimmung der Formaldehydabgabe – Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode – 01/2005

¹⁵ VDI 3484 Blatt 2 – Messen von gasförmigen Immissionen – Messen von Innenraumlufthverunreinigungen – Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach der Acetylaceton-Methode – 11/2001

¹⁶ ÖNORM EN 717-1: Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode - 2005 02 01

¹⁷ VDI 3484 Blatt 2 Messen von gasförmigen Immissionen - Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach der Acetylaceton-Methode – 11/2001

Frage zu klären, ob es etwaige relevante Querempfindlichkeiten der Methode zu anderen Luftschadstoffen geben könnte. Dies konnte jedoch weitgehend ausgeschlossen werden, da Parallelmessungen mit einer anderen Analyseverfahren (DNPH-Methode) und Auswertung dieser Proben durch ein deutsches Labor zu mit der Standardmethode vergleichbaren Ergebnissen führten. Auch aus der Literatur ist ersichtlich (Salthammer 2009), dass die Methode als spezifisch für Formaldehyd gilt.

10 DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich bei der zuständigen Abteilung 5/4 Immissions- und Klimaschutz des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft für die Beauftragung und Haupt-Finanzierung der Studie, dem Österreichischen Saunaforum sowie dem Fachverband der Holzindustrie für die Bereitstellung von Daten sowie dem Österreichischen Institut für Baubiologie und -ökologie für die Co-Finanzierung.

11 LITERATUR

Ad-hoc Arbeitsgruppe (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsblatt 39: 422-426

Ad-hoc-AG aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und Vertretern der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (2006): Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 49: 1169.

Andersen I, Lundquist GR, Molhave L (1974): Formaldehydafspaltung fra spanplader i klimakammer, Ugeskr Laeg 136: 2140-2145, zit. nach Pluschke 1996

Andersen I, Lundqvist GR, Molhave L (1979): Formaldehyd – Formaldehydafgivelse fra spanplader – en matematik model. Ugeskrift for Laeger 136: 2145-2150, zit. nach Marutzky 1992

Andersen I, Mølhav L (1983): Controlled human studies with formaldehyde. In: Gibson JE (ed.): Formaldehyde Toxicity. Hemisphere Publishing Corp., New York .

Bäderhygienegesetz (1976): Bundesgesetz über Hygiene in Bädern, Warmsprudelwannen (Whirlwannen), Saunaanlagen, Warmluft- und Dampfbädern sowie Kleinbadeteichen und über die Wasserqualität von Badegewässern (Bäderhygienegesetz - BHygG) StF: BGBl. Nr. 254/1976 in der Fassung vom 23.12.2009

Bäderhygieneverordnung (1998): Verordnung des Bundesministers für Gesundheit über Hygiene in Bädern, Saunaanlagen, Warmluft- und Dampfbädern sowie Kleinbadeteichen (Bäderhygieneverordnung - BHygV) (CELEX-Nr.: 376L0160, 390L0656, 391L0692) StF: BGBl. II Nr. 420/1998 in der Fassung vom 23.12.2009

Bell IR, Baldwin CM, Fernandez M, Schwartz G (1999): Neural sensitization model for multiple chemical sensitivity: overview of theory and empirical evidence. Toxicol Ind Health 15:295-304.

BGA (1984): Formaldehyd. Gemeinsamer Bericht des BGA, der BAU und des UBA, 1.10.1984. Deutsches Bundesgesundheitsamt

Blair A, Stewart P, O'Berg M, Gaffey W, Walrath J, Ward J, Bales R, Kaplan S, Cubit D (1986): Mortality among industrial workers exposed to formaldehyde. J Natl Cancer Inst 76:1071-1084.

Blair A, Stewart PA, Hoover RN, Fraumeni JF Jr, Walrath J, O'Berg M, Gaffey W (1987). Cancers of the nasopharynx and oropharynx and formaldehyde exposure. J Natl Cancer Inst 78:191-193.

Blair A, Saracci R, Stewart PA, Hayes RB, Shy C (1990): Epidemiologic evidence on the relationship between formaldehyde exposure and cancer. Scand J Work Environ Health 16:381-393.

BMLFUW (2009a): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Hrsg: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Akademie der Wissenschaften – Kommission Reinhaltung der Luft. Eigenverlag des BMLFUW, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung). Aktuelle Fassung

- BMLFUW (2009b): Positionspapier zu Schadstoffvermeidung in Saunen. Beschluss des Arbeitskreises Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) Januar 2009. Zurückgezogen
- BMLFUW (2010): Positionspapier zu Schadstoffvermeidung in Saunen. Beschluss des Arbeitskreises Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) März 2010. Aktuelle Fassung
Internet: <http://www.innenraumanalytik.at/pdfs/possauna.pdf>
- Boysen M, Zadig E, Digernes V, Abeler V, Reith A (1990): Nasal mucosa in workers exposed to formaldehyde: a pilot study. *Br J Ind Med* 47:116-121.
- Burgaz S, Cakmak G, Erdem O, Yilmaz M, Karakaya AE (2001): Micronuclei frequencies in exfoliated nasal mucosa cells from pathology and anatomy laboratory workers exposed to formaldehyde. *Neoplasma* 48:144-147.
- Burgaz S, Erdem O, Cakmak G, Erdem N, Karakaya A, Karakaya AE (2002): Cytogenetic analysis of buccal cells from shoe-workers and pathology and anatomy laboratory workers exposed to n-hexane, toluene, methyl ethyl ketone and formaldehyde. *Biomarkers* 7:151-61.
- Casanova M, Heck HD (1987): Further studies of the metabolic incorporation and covalent binding of inhaled [3H]- and [14C]formaldehyde in Fischer-344 rats: effects of glutathione depletion. *Toxicol Appl Pharmacol* 89:105-121.
- Casanova M, Heck HD, Everitt JI, Harrington WW Jr, Popp JA (1988): Formaldehyde concentrations in the blood of rhesus monkeys after inhalation exposure. *Food Chem Toxicol* 26:715-716.
- Casanova M, Morgan KT, Steinhagen WH, Everitt JI, Popp JA, Heck HD (1991): Covalent binding of inhaled formaldehyde to DNA in the respiratory tract of rhesus monkeys: pharmacokinetics, rat-to-monkey interspecies scaling, and extrapolation to man. *Fundam Appl Toxicol* 17:409-428.
- Casanova M, Morgan KT, Gross EA, Moss OR, Heck HA (1994): DNA-protein crosslinks and cell replication at specific sites in the nose of F344 rats exposed subchronically to formaldehyde. *Fundam Appl Toxicol*. 23:525-536.
- Coggon D, Harris EC, Poole J, Palmer KT (2003): Extended follow-up of a cohort of British chemical workers exposed to formaldehyde. *J Natl Cancer Inst.* 95:1608-1615.
- Conolly RB, Kimbell JS, Janszen DB, Miller FJ (2003): Dose response for formaldehyde-induced cytotoxicity in the human respiratory tract. *Regul Toxicol Pharmacol* 35:32-43.
- Doi S, Suzuki S, Morishita M, Yamada M, Kanda Y, Torii S, Sakamoto T (2003): The prevalence of IgE sensitization to formaldehyde in asthmatic children. *Allergy* 58:668-671.
- Dunky M, Niemz P (2002): *Holzwerkstoffe und Leime*. Springer Verlag
- ECA (1990): *Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries*, ECA-Report No 7. Commission of the European Communities – Directorate-General. Luxembourg.
- Edling C, Hellquist H, Odkvist L (1988): Occupational exposure to formaldehyde and histopathological changes in the nasal mucosa. *Br J Ind Med* 45:761-765.
- Einbrodt HJ, Pragsnar D, Erpenbeck J (1976): Der Formaldehyd- und Ameisensäurespiegel im Blut und Urin beim Menschen nach Formaldehydexposition. *Zbl Arbeitsmed* 26:154-158.

- Gardner MJ, Pannett B, Winter PD, Cruddas AM (1993): A cohort study of workers exposed to formaldehyde in the British chemical industry: an update. *Br J Ind Med* 50:827-834.
- Garrett MH, Hooper MA, Hooper BM, Rayment PR, Abramson MJ (1999): Increased risk of allergy in children due to formaldehyde exposure in homes. *Allergy* 54:330-337.
- Green DJ, Sauder LR, Kulle TJ, Bascom, R (1987): Acute response to 3.0 ppm formaldehyde in exercising healthy nonsmokers and asthmatics. *Am Rev Resp Dis* 135:1261-1266.
- Hansen J, Olsen JH (1995): Formaldehyde and cancer morbidity among male employees in Denmark. *Cancer Causes Control* 6:354-360.
- Hauptmann M, Lubin JH, Stewart PA, Hayes RB, Blair A (2004): Mortality from solid cancers among workers in formaldehyde industries. *Am J Epidemiol* 159:1117-1130.
- Hawthorne und Matthews (1987): Modells for estimating organic emissions from building materials: formaldehyde example. *Atmospheric Environment* 21, 321-329, zit. nach Marutzky 1992.
- Hayes RB, Raatgever JW, deBruyn A, Gerin M (1986): Cancer of the nasal cavity and paranasal sinuses, and formaldehyde exposure. *Int J Cancer* 37:487-492.
- Hayes RB, Blair A, Stewart PA, Herrick RF, Mahar H (1990): Mortality of U.S. embalmers and funeral directors. *Am J Ind Med* 18:641-652.
- Heck HD, Casanova-Schmitz M, Dodd PB, Schachter EN, WitekTJ, Tosun T (1985): Formaldehyde (CH₂O) concentrations in the blood of humans and Fischer-344 rats exposed to CH₂O under controlled conditions. *Am Ind Hyg Assoc J* 46:1-3.
- Heck HD, Casanova M (1999): Pharmacodynamics of formaldehyde: applications of a model for the arrest of DNA replication by DNA-protein cross-links. *Toxicol Appl Pharmacol* 160:86-100.
- Helsingin Sanomat (2003): Internet von 18.03.2009. <http://www.schneeland.com/sauna.html>
- Holmström M, Wilhelmsson B, Hellquist H, Rosen G (1989): Histological changes in the nasal mucosa in persons occupationally exposed to formaldehyde alone and in combination with wood dust. *Acta Otolaryngol* 107: 120-129.
- Horvath EP Jr, Anderson H Jr, Pierce WE, Hanrahan L, Wendlick JD (1988): Effects of formaldehyde on the mucous membranes and lungs. A study of an industrial population. *JAMA* 259: 701-707.
- IARC (2006): Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans. IARC Monographs Volume 88. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Internet vom 15.06.2009. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/index.php>.
- Jezová D, Kvetnanský R, Vigaš M (1994): Sex differences in endocrine response to hyperthermia in sauna. *Acta Physiol Scand* 150: 293-298.
- Kalapos MP (1999): A possible evolutionary role of formaldehyde. *Experimental and Molecular Medicine* 31: 1-4.
- Katakura Y, Kishi R, Okui T, Ikeda T, Miyake H (1993): Distribution of radioactivity from ¹⁴C-formaldehyde in pregnant mice and their fetuses. *Br J Ind Med* 50: 176-182.
- Kauppinen K, Vuori I (1986): Man in the sauna. *Ann Clin Res* 18: 173-185.

- Kauppinen K (1989): Sauna, shower, and ice water immersion. Physiological responses to brief exposures to heat, cool, and cold. Part II. Circulation. *Arctic Med Res* 48: 64-74.
- Kauppinen K, Pajari-Backas M, Volin P, Vakkuri O (1989): Some endocrine responses to sauna, shower and ice water immersion. *Arctic Med Res* 48: 131-139.
- Kauppinen K (1997): Facts and fables about sauna. *Ann N Y Acad Sci* 813: 654-662.
- Kiss D, Popp W, Wagner C, Zwick H, Sertl K (1994): Effects of the sauna on diffusing capacity, pulmonary function and cardiac output in healthy subjects. *Respiration* 61: 86-88.
- Korn M, Gutwinski E, Mensing T, Merget R, Fricke H, Brüning T (2003): Entwicklung eines standardisierten Expositionstests mit Formaldehyd. Beitrag zur Jahrestagung von GHU und ISEM, 28.9.-1.10.2003 Tübingen.
- Kryzanowski M, Quakenboss JJ, Lebowitz MD. (1990): Chronic respiratory effects of indoor formaldehyde exposure. *Environ Res* 52: 17-125.
- Kukkonen-Harjula K, Kauppinen K (1988): How the sauna affects the endocrine system. *Ann Clin Res* 20: 262-266.
- Kukkonen-Harjula K, Oja P, Laustiola K et al. (1998): Haemodynamic and hormonal responses to heat exposure in a Finnish sauna bath. *Eur J Appl Physiol* 58:543-550.
- Kukkonen-Harjula K, Kauppinen K (2006): Health effects and risks of sauna bathing. *Int J Circumpolar Health* 65: 195-205.
- Laitinen LA, Lindqvist A, Heino M (1988): Lungs and ventilation in the sauna. *Ann Clin Res* 20: 244-248.
- Marutzky R (1993): Formaldehydprüfrichtlinie für Häuser aus Holz und Holzwerkstoffen, Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München
- Meyer B, Boehme C (1997): Formaldehyd emission from solid wood. *Forest Products Journal* Vol. 47, No. 5
- Norbäck D, Walinder R, Wieslander G, Smedje G, Erwall C, Venge P (2000): Indoor air pollutants in schools: nasal patency and biomarkers in nasal lavage. *Allergy* 55: 163-170.
- Nordman H, Keskinen H, Tuppurainen M (1985): Formaldehyde asthma – rare or overlooked? *J Allergy Clin Immunol* 75:91-99.
- ÖSF (2002): Alles über Saunabaden. Eine Einführung von Dr. med. I. Fritsche und W. Fritsche. 22. Auflage, Österreichisches Saunaforum Dez. 2002.
- Pluschke P (1996): Luftschadstoffe in Innenräumen: ein Leitfaden, Springer Berlin, Heidelberg
- Reiche K, Müller C, Borngen K (1992): Partial reversibility of morphological and functional changes of the nasal mucosa after termination of long-term exposure to formaldehyde. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Prophylaxe und Ergonomie* 42:182-186.
- Ritchie IM, Lehnen RG (1987): Formaldehyde-related health complaints of residents living in mobile and conventional homes. *Am J Public Health* 77:323-328.
- Rumchev KB, Spickett JT, Bulsara MK, Phillips MR, Stick SM (2002): Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children. *Europ Respir J* 20:403-408.

- Schachter EN, Witek TJ Jr, Brody DJ, Tosun T, Beck GJ, Leaderer BP (1987): A study of respiratory effects from exposure to 2.0 ppm formaldehyde in occupationally exposed workers. *Environ Res* 44:188-205.
- Schäfer M, Roffael E (1999a): Proc. 3rd Europ. Panel Products Symp. Llandudno, Wales 136 zitiert in Dunky M, Niemz P (2002).
- Schäfer M, Roffael E (1999b): *Holz Roh. Werkst.* 57. 340. zitiert in Dunky M, Niemz P (2002).
- Schäfer M, Roffael E (2000a): *Holz Roh. Werkst.* 58. 258. zitiert in Dunky M, Niemz P (2002).
- Schäfer M, Roffael E (2000b): On the formaldehyde release of wood. *Holz Roh. Werkst.* 58. 259-264
- Smedje G, Norbäck D (2001): Incidence of asthma diagnosis and self-reported allergy in relation to the school environment – a four-year follow-up study in schoolchildren. *Int J Tuberc Lung Dis* 5:1059-1066.
- Sorg BA, Hochstatter T (1999): Behavioral sensitization after repeated formaldehyde exposure in rats. *Toxicol Ind Health* 15:346-355.
- Stayner LT, Elliott L, Blade L, Keenlyside R, Halperin W (1988): A retrospective cohort mortality study of workers exposed to formaldehyde in the garment industry. *Am J Ind Med* 13:667-681.
- Tappler P, Gann M (1992): Formaldehydbelastung in österreichischen Innenräumen im Zeitraum 1990-1992. In: Tagungsband der 12. Jahrestagung des IBO "Sick Building Syndrom": 153-160
- Tappler P, Sulzner M, Scheidl K, Damberger B, Burtscher I (1997): Formaldehyd und Luftwechsel in österreichischen Fertigteilhäusern. IBO Eigenverlag
- Tappler P, Damberger B, Twrdik F, Schmöger C, Hutter HP (2009): Untersuchung von Holzproben auf Formaldehydmissionen bei erhöhter Temperatur. Studie im Auftrag des Fachverbandes der Holzindustrie. Internet vom 15.04.2010.
<http://www.innenraumanalytik.at/documents/holzformaldehydmissionen.pdf>
- Wantke F, Demmer C-M, Tappler P, Gotz M, Jarisch R (1996a): Exposure to gaseous formaldehyde induces IgE-mediated sensitization to formaldehyde in school-children. *Clin Exp Allergy* 26:276-280.
- Wantke F, Focke M, Hemmer W, Tschabitscher M, Gann M, Tappler P, Gotz M, Jarisch R (1996b): Formaldehyde and phenol exposure during an anatomy dissection course: a possible source of IgE-mediated sensitization? *Allergy* 51:837-841.
- Wantke F, Focke M, Hemmer W, Bracon R, Wolf-Abdolvahab S, Gotz M, Jarisch R, Gotz M, Tschabitscher M, Gann M, Tappler P (2000): Exposure to formaldehyde and phenol during an anatomy dissecting course: sensitizing potency of formaldehyde in medical students. *Allergy* 55:84-87.
- Wieslander G, Norbäck D, Bjornsson E, Janson C, Boman G (1997): Asthma and the indoor environment: the significance of emissions of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *Int Arch Occup Environ Health* 69:115-124.
- Wilkinson JD, Shaw S, Andersen KE, Brandao FM, et al. (2002): Monitoring levels of preservative sensitivity in Europe. *Contact Dermatitis* 46:207-210.

WHO (2000): Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. World Health Organisation (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen.

WHO (2002): Weltgesundheitsorganisation: Formaldehyde. Concise International Chemical Assessment Document, No 40. WHO Genf. ISBN: 92 4 153040 5.

Young S (2009): Formaldehyde emission from solid wood – will it become an issue? Internet vom 14.07.2009. www.timbertest.co.nz/docs/EmissionFromRadiata_BC2.pdf