

Abschlussbericht
„Gefahrstoffexposition bei Saunaaufgüssen“
24.11.2016

Autoren:

Wolfgang Wegscheider (BGW), Andreas Albrecht (DGUV SG Bäder), Heinz Assenmacher (IFA), Dirk Fendler (BGETEM), Birgit Heinrich (IFA), Hans Kübler (DGUV SG Bäder), Günter Naujoks (BGW)

Zusammenfassung

Hintergrund: Um Saunagästen ein besonderes Erlebnis zu bieten, werden in gewerblichen Saunen häufig Aufgusszeremonien mit aromatisierten Aufgusswässern durchgeführt. Dazu werden konzentrierte Saunaaufgussmittel, dies sind überwiegend ätherische Öle, in der Regel gelöst in Ethanol und/oder 2-Propanol, mit Wasser zum Aufgusswasser verdünnt. Dieses wird im Saunaraum unter Anwesenheit der Saunagäste vom Personal auf heißen Steinen verteilt. Die Steine werden von Heizgeräten erhitzt und erreichen an der Oberfläche Temperaturen von 100-250 °C. Das Aufgusswasser verdampft beim Auftreffen auf die oben liegenden heißen Steine zum großen Teil, gelangt aber teilweise auch auf tiefer liegende, heißere Oberflächen (bis zu 450 °C). Die hohen Temperaturen bewirken bei den organischen Bestandteilen des Aufgusswassers pyrolytische Prozesse. Die Ausgangssubstanz des Aufgussmittels wird verändert und es entstehen u.a. diverse Aldehyde und Ketone. Die Freisetzung von Formaldehyd spielt wegen der Einstufung als Humankarzinogen (K1B), dem Verdacht auf mutagene Wirkung (M2) und wegen seiner hautsensibilisierenden Wirkung (H1) eine besondere Rolle bei der Beurteilung der beruflichen Gefahrstoffbelastung bei Saunaaufgüssen.

Methoden: Laboruntersuchungen stellten die Emissionen ausgewählter Aufgussmittel bei definierten Temperaturstufen zwischen 200 °C und 500 °C fest. Mit validierten Standard-Messmethoden wurden Arbeitsplatzmessungen auf Aldehyde und Ketone in acht Saunaräumen während der Durchführung von Aufgüssen unter betriebsüblichen und nachgestellten, kontrollierten Bedingungen durchgeführt und somit ein Expositionsspektrum der Saunabeschäftigten ermittelt. Es gab insgesamt drei Untersuchungsphasen:

- Phase 0: Betriebsübliche Bedingungen
- Phase 1: Das Aufgusswasser wurde nach Herstellerangabe angesetzt und der Aufguss nach den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen durchgeführt
- Phase 2: Das Aufgusswasser wurde abweichend von den Herstellerangaben angesetzt. Die Aufgüsse wurden schnell und langsam durchgeführt

Ergebnisse: Die Laboruntersuchungen haben nachgewiesen, dass ab 200° C deutlich ansteigende Aldehyd- und Ketonemissionen entstehen, während diese bei Raumtemperatur nicht nachweisbar waren. Die Arbeitsplatzmessungen haben gezeigt, dass Formaldehyd als Grundbelastung in den Saunaräumen vorhanden ist und durch die Aufgüsse zusätzlich Formaldehyd entsteht. Die Formaldehydkonzentration vor dem Aufheizen der Saunaräume lag zwischen <0,01 und 0,041 mg/m³ bei abgekühlter Sauna (ca. 40°C) und zwischen 0,06 und 0,37 mg/m³ bei aufgeheizter Sauna (ca. 100°C). Bei Einhaltung der Herstellerangaben zur Dosierung und der vom Deutschen Sauna-Bund erarbeiteten und von der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen (DGfDB) veröffentlichten Empfehlungen zum Ausbringen der Aufgussmittel ergaben sich zusätzliche Formaldehydkonzentrationen von bis zu 0,2 mg/m³. Rechnerisch ergeben sich aus beiden Emissionsquellen (Hölzer und Aufguss) Konzentrationen bis zu 0,5 mg/m³. Hohe Dosierungen über der Herstellerempfehlung und schnell durchgeführte, sogenannte harte Aufgüsse, erreichten höhere Formaldehydkonzentrationen, für das 10-minütige Aufgussritual bis zu 2 mg/m³.

Schlussfolgerung: Saunaaufgussmittel setzen bei hohen Temperaturen durch Pyrolyse Aldehyde und Ketone frei. Formaldehyd und Aceton stellen den Hauptanteil der Emissionen dar. Bei der Durchführung von Aufgusszeremonien mit Aufgusswasser wurden die Formaldehydgrenzwerte nach TRGS 900 (Arbeitsplatzgrenzwerte als 8h-Schichtmittelwert und Kurzzeitwert über maximal 15 Minuten) unter Beachtung der herstellereitigen Dosierangaben und der Empfehlungen der DGfDB für das Ausbringen der Aufgusswässer eingehalten. Dosierungen über der Herstellerempfehlung und schnelle Aufgüsse können zu Formaldehydkonzentrationen über den zulässigen Grenzwerten führen.

Einleitung

Von einem Mitgliedsbetrieb der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) wurden gesundheitliche Beschwerden beim Personal gemeldet. Es gab die Vermutung, dass Gefahrstoffe bei Saunaaufgüssen eine Ursache dieser Beschwerden sein können. Bereits vorliegende Arbeitsplatzmessungen und Informationen aus der Literatur ließen erkennen, dass die in Saunen eingebauten Materialien und zusätzlich bei Saunaaufgüssen verwendete Aufgussmittel Formaldehyd emittieren können [1]. Die BGW ließ zunächst im IFA-Analysenlabor Emissionsmessungen an einer Auswahl von Aufgussmitteln durchführen. Danach wurden unter üblichen betrieblichen Bedingungen Gefahrstoffmessungen in dem Saunabetrieb durchgeführt. Diese Labor- und Arbeitsplatzuntersuchungen werden nachfolgend einer Phase 0 zugeordnet. Die Ergebnisse der Phase 0 und der bereits vorliegenden Arbeitsplatzmessungen ließen vermuten, dass die Aufgusswässer unter bestimmten Rahmenbedingungen erhöhte Gefahrstoffemissionen von Zersetzungsprodukten verursachen. Das Sachgebiet (SG) Bäder im DGUV-Fachbereich Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (WoGes) griff die Thematik auf und initiierte das DGUV-Projekt „Aldehydexposition bei der Durchführung von Saunaaufgüssen“ mit folgenden Aufgaben laut Projektbeschreibung:

- Bestimmung des Profils der Oberflächentemperatur des Saunaofens mit einer Wärmebildkamera
- Durchführung von Saunaaufgüssen mit ausgewählten Duftessenzen in drei verschiedenen Saunaräumen
- Probenahme aus der Saunaraumluft im Bereich des Arbeitsplatzes des Beschäftigten vor und während des Aufgusses
- Bestimmung der Aldehyde und des Acetons in der abgesaugten Luftmenge
- Ermittlung und Bewertung der potentiellen Exposition des Beschäftigten
- Prüfen und ggf. Erarbeiten eines Vorschlags für umfassende repräsentative Untersuchungen
- Ableitung von ersten vorläufigen Handlungsempfehlungen zum Einsatz von Duftessenzen beim Saunaaufguss
- Veröffentlichung der Ergebnisse und der vorläufigen Handlungsempfehlungen

Die messtechnischen Untersuchungen wurden im Rahmen eines Messprogramms „Gefahrstoffexposition bei Saunaaufgüssen“ geplant und durchgeführt. Die Arbeitsplatzmessungen erfolgten bei nachgestellten, standardisierten Aufgusszeremonien in Saunen. Das Messprogramm beinhaltete über die Projektbeschreibung hinaus qualitative und quantitative Emissionsuntersuchungen im IFA-Analysenlabor.

Die Aufgabenverteilung im Messprogramm war wie folgt:

- Koordination des Messprogramms und Arbeitsplatzmessungen (MTD BGW¹)
- Analytik, Emissionsmessungen und Gerätetest (IFA²)
- Temperaturmessungen (MTD BGETEM³)

¹ Messtechnischer Dienst der BG für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW)

² Fachbereich Chemische Analytik und Fachbereich Gefahrstoffe des Institut für Arbeitsschutz (IFA)

³ Messtechnischer Dienst der BG für Energie, Textil, Elektro und Medien (BGETEM)

Ziele des Messprogramms

Ziele des Messprogramms waren die Ermittlung der Gefahrstoffemissionen ausgewählter Aufgussmittel bei festgelegten Temperaturen (angefangen bei Raumtemperatur und dann in verschiedenen Schritten bis 500°C) sowie die Ermittlung der Gefahrstoffkonzentration beim Ausbringen des Aufgusswassers auf die heißen Saunasteine im Saunaraum.

Gefahrstoffe

Die Inhaltsstoffe der Aufgussmittel reagieren auf den heißen Oberflächen der Saunasteine und der Heizgeräte und bilden Zersetzungsprodukte. Mit dem Messprogramm wurde untersucht, welche Aldehyde und Ketone in die Luft freigesetzt werden können und welche Exposition für die Beschäftigten daraus resultiert. Die Tabelle 1 zeigt die untersuchten Stoffe sowie deren Grenzwerte und Einstufungen.

Tabelle 1: Grenzwerte und Einstufungen der untersuchten Gefahrstoffe

| Bezeichnung CAS-Nummer | Grenzwert/ Beurteilungs- maßstab Art | ÜF | Bemerkung TRGS 900 | Bewertungen nach TRGS 905/TRGS 906 |
|----------------------------|--|----------|-----------------------|---|
| | | | | GHS-Einstufungen |
| Acetaldehyd 75-07-0 | 91 mg/m ³ AGW | 1;=2=(l) | Y | Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 1; H224 Karzinogenität, Kategorie 2; H351 Augenreizung, Kategorie 2; H319 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3; H335 |
| Acrylaldehyd 107-02-8 | 0,2 mg/m ³ AGW | 2(l) | H | Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 2; H225 Akute Toxizität, Kategorie 1, Einatmen; H330 Akute Toxizität, Kategorie 2, Verschlucken; H300 Akute Toxizität, Kategorie 3, Hautkontakt; H311 Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314 Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400 Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410 |
| Butyraldehyd 123-72-8 | 64 mg/m ³ AGW | 1(l) | | Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 2; H225 |
| Formaldehyd 50-00-0 | 0,37 mg/m ³ AGW | 2(l) | Y X, Sh | Karzinogenität, Kategorie 1B; H350 Keimzellmutagenität, Kategorie 2; H341 Akute Toxizität, Kategorie 3, Verschlucken *; H301 Akute Toxizität, Kategorie 3, Hautkontakt *; H311 Akute Toxizität, Kategorie 3, Einatmen *; H331 Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314 Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1; H317 * MindestEinstufung Der Stoff wurde eingestuft durch die EU-Verordnung Nr. 605/2014 |
| Propionaldehyd 123-38-6 | 48 mg/m ³ LIG | | | Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 2; H225 Augenreizung, Kategorie 2; H319 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3; H335 Reizwirkung auf die Haut, Kategorie 2; H315 |
| Aceton | 1200 mg/m ³ AGW | 2(l) | Y | Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 2; H225 Augenreizung, Kategorie 2; H319 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3; H336 |

Legende:

- AGW Arbeitsplatzgrenzwert
- LIG Liste internationaler Grenzwerte (Propionaldehyd-Grenzwert aus Belgien/ Canada/ Finnland)
- ÜF Überschreitungsfaktor für die Kurzzeitbeurteilung
- H hautresorptiv
- Y ein Risiko der Fruchtschädigung braucht bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts und des biologischen Grenzwerts nicht befürchtet zu werden
- X kanzerogener Stoff der Kat. 1A oder 1B, § 10 GefStoffV ist zu beachten
- Sh hautsensibilisierend

Der Fokus der Untersuchungen lag auf dem Stoff Formaldehyd wegen seiner besonderen, gefährlichen Eigenschaften und dem niedrigen Grenzwert.

Begriffe

In diesem Untersuchungsbericht werden saunaspezifische Begriffe wie in den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen verwendet [4]. Die nachfolgende Liste ist ein Auszug der Begriffe aus dieser Richtlinie, ergänzt durch den in diesem Bericht verwendeten Begriff „Aufgussmittel“.

Aufguss

Ein Aufguss ist das manuell dosierte Aufgießen von Wasser auf die heißen Steine des Heizgerätes mit dem Ziel eines zusätzlichen Hitzereizes, der zu einer verstärkten Beanspruchung der Thermoregulation und des Herz-Kreislaufsystems führt.

Aufgussmittel

Käuflich erwerbbares Produkt eines Herstellers, das den Duftstoff und einen Lösungsvermittler enthält.

Aufgusswasser

Gemischte Flüssigkeit aus Wasser, Duftstoff und Lösungsvermittler.

Aufgusszeremonie

Gesamtheit der Handlungen, die die physiologischen und psychoemotionalen Wirkungen einer Aufgusspräsentation umfasst.

Bänke

Drei- oder vierstufig angeordnete Sitz- und Liegeflächen im Schwitzraum.

Duftstoff

Flüchtige chemische oder natürliche Substanzen mit spezifisch ausgeprägtem mehr oder weniger starkem Geruch.

Haftschicht

Der Haut anhaftende Luftschicht mit thermisch isolierender Wirkung; im Ruhezustand 4-8 mm stark.

Heizgerät

Einrichtung zur Erzeugung der Betriebstemperatur durch Wärmestrahlung und Konvektion in Saunaräumen mit Regel und/oder Steuereinrichtung, Schutzeinrichtung und Steuertafel.

Saunameister/Saunameisterin

Erfüllungsgehilfe des Saunabetreibers mit Aufgaben der Aufsichtsführung, der Saunagastbetreuung, der Ersten Hilfe bei gesundheitlichen Zwischenfällen und Unfällen sowie technischer Pflichten, ausgebildet vom Deutschen Sauna-Bund.

Saunaraum

Der Saunaraum ist ein Raum aus Holz. Er ist mit aufsteigenden Bänken und einem typischerweise steingefüllten Heizgerät ausgestattet. Er hat ein festgelegtes Raumklima von etwa 90 bis 100 °C ca. 1,00 m über der obersten Bank gemessen und eine geringe Luftfeuchte, die durch einen Aufguss kurzzeitig erhöht werden kann.

Vorarbeit

Bereitstellung des Aufgusswassers, der Wedelutensilien und anderer Hilfsmittel (Aufgusseimer u.ä.).

Wasserdampf

Gasförmiger Aggregatzustand von Wasser. Anmerkung; Wasser im gasförmigen Aggregatzustand ist unsichtbar wie Luft; erst der Kontakt mit kühlerer Luft führt zur Kondensatbildung und somit zum sichtbaren Wasserdampf - auch Nassdampf genannt.

Wedelutensilien

Wedeltuch aus schwerem Zwirnfrottier, Fächer, Birkenzweige, Palmblätter, Fahnen o.ä. zur Verteilung des Wasserdampfes im Saunaraum und der Reduzierung der Haftsicht.

Untersuchungsablauf

Das Messprogramm war in drei Untersuchungsabschnitte (Phasen 0, 1, 2) eingeteilt, die sich in einigen Punkten unterschieden (Tabelle 2). Nachfolgend werden die drei Phasen des Messprogramms im Detail dargestellt.

Phase 0:

Die Untersuchungen in Phase 0 erfolgten in Kooperation mit der Sauna TT⁴. Die Sauna stellte für die Laboruntersuchungen 15 Proben von in der Sauna verwendeten Aufgussmitteln des Herstellers S2 sowie für die Arbeitsplatzmessungen drei Saunaräume zur Verfügung. Zudem wurden die vorliegenden Messberichte aus Untersuchungen ausgewertet, die von der Sauna TT in Auftrag gegeben worden waren.

Schwerpunkte der Arbeiten in Phase 0 waren:

- Emissionsermittlungen im IFA-Analysenlabor mit 15 Aufgussmitteln bei Raumtemperatur und mit einem ausgewählten Aufgussmittel bei 380°C.
- Auswertung der Messberichte externer Messstellen.
- Expositionsermittlung durch Arbeitsplatzmessungen unter nachgestellten Arbeitsbedingungen an realen Arbeitsplätzen in drei Saunaräumen.

Phase 1:

Die Untersuchungen in Phase 1 erfolgten bei drei Saunabetrieben und in drei Saunaräumen. Es wurden standardisierte Versuche durchgeführt.

Schwerpunkte der Arbeiten in Phase 1 waren:

- Planungen für erweiterte Arbeitsplatzmessungen nach standardisierten Verfahren
- Akquise kooperationsbereiter Saunen mit geeigneten Saunaräumen und Heizgeräten
- Versand von Fragebögen zur technischen Ausstattung und zu den Arbeitsverfahren an die drei kooperierenden Saunen
- Emissionsermittlung im IFA-Analysenlabor mit 12 Aufgussmitteln (drei Hersteller) bei 300 und 500 °C. Es handelte sich dabei um Essenzen, die von den drei befragten Saunen als Favoriten eingestuft wurden. Des Weiteren wurden die Emissionen beim Erhitzen der Alkohole Ethanol und 2-Propanol untersucht, die als Lösungsmittel in den Aufgussmitteln vorkommen.
- Expositionsermittlungen durch Arbeitsplatzmessungen in drei Saunaräumen (drei Saunabetriebe). Die Messungen wurden bei Aufgüssen mit jeweils 5 der oben genannten 12 Essenzen durchgeführt. Auswahlkriterium war eine vergleichsweise hohe Formaldehyd-

⁴ Die Saunen werden anonymisiert mit Buchstabenkürzeln dargestellt.

Emissionsrate im Laborversuch. Dosieranweisungen der Hersteller wurden beachtet. Hinzu kamen die für die Aufgussmittel häufig verwendeten alkoholischen Lösungsmittel Ethanol und 2-Propanol, die bei den Untersuchungen vergleichbar wie die Aufgusswässer mit Wasser verdünnt wurden. Die Aufgusswässer wurden langsam auf die heißen Steine aufgegossen.

Phase 2:

Die Untersuchungen in Phase 2 erfolgten bei einem Saunabetrieb und in einem Saunaraum. Es wurden wie in Phase 1 standardisierte Versuche durchgeführt, allerdings unter anderen Rahmenbedingungen.

Schwerpunkte der Arbeiten in Phase 2 waren:

- Akquise einer Sauna für umfangreiche, eventuell mehrtägige Untersuchungen
- Emissionsermittlung im IFA-Analysenlabor mit drei Aufgussmitteln von drei Herstellern für kleinere Temperaturschritte (50 Kelvin) zwischen 200 und 450°C.
- Expositionsermittlungen durch Arbeitsplatzmessungen mit den drei im Labor untersuchten Aufgussmitteln unter sehr günstigen und sehr ungünstigen Bedingungen. Es gab beabsichtigte Abweichungen von den Dosierempfehlungen der Hersteller. Aufgusswässer wurden geringer und höher dosiert als vom Hersteller angegeben. Die Aufgusswässer wurden langsam und schnell auf die heißen Steine aufgegossen.

Tabelle 2: Untersuchungsphasen im Überblick

| Phase | Laboruntersuchungen Emissionsmessungen | Arbeitsplatzmessungen: Gefahrstoffmessungen und Temperaturmessungen | Zusatzuntersuchungen | Bemerkung |
|-------|--|--|--|---|
| 0 | Emissionen bei Raumtemperatur und 380°C (Grapefruit, Hersteller F) | Arbeitsplatzmessungen unter betriebsüblichen Bedingungen in Sauna TT, drei Saunaräume | <ul style="list-style-type: none"> • Eignung der Probenahmepumpen • Eignung des direktanzeigenden Messgeräts | Pilotmessungen |
| 1 | Emissionen bei 300°C und 500°C, 12 Aufgussmittel plus Ethanol und 2-Propanol | Arbeitsplatzmessungen unter empfohlenen Bedingungen, Aufgusskonzentration nach Herstellerangabe, Aufgüsse nach Empfehlung DGfdB, drei Saunen (AT, FS, MM), drei Saunaräume | | Start Messprogramm mit Handlungsanleitung, Akquise Saunen, Versand Fragebögen |
| 2 | Emissionen bei 200-400°C in 50 K-Schritten, drei Aufgussmittel | Arbeitsplatzmessungen unter Extrembedingungen: Aufgusswässer sehr gering/ sehr hoch dosiert, Aufgussgeschwindigkeit langsam/ schnell; eine Sauna (AG), ein Saunaraum | | Akquise einer geeigneten Sauna, Versand Fragebogen |

Methoden

Die Methodenbeschreibung umfasst:

- die Ermittlung der betrieblichen Rahmenbedingungen und der üblichen Arbeitsabläufe mittels Befragung

- die Messverfahren (Probenahme und Analytik) bei den Emissions- und Arbeitsplatzmessungen
- die Messstrategie der Arbeitsplatzmessungen (Gefahrstoffmessungen und Temperaturmessungen)

Befragung

Die BGW versandte per Mail an die beteiligten Saunen jeweils einen Fragebogen mit Fragen zu technischen Rahmenbedingungen und zum Arbeitsablauf (Anhang 1). Die Saunabetreiber hatten die Möglichkeit den Fragebogen elektronisch zu beantworten und zurück zu senden.

Emissionsmessungen

Im Rahmen der Emissionsmessungen wurden analytische Bestimmungen für die fünf Aldehyde Formaldehyd, Acetaldehyd, Propionaldehyd, Butyraldehyd und 2-Propenal durchgeführt sowie für das Keton Aceton, das durch Oxidation aus dem Lösungsmittel 2-Propanol entstehen kann. Die Emissionen wurden bei Raumtemperatur und bei definierten höheren Temperaturen zwischen 200 und 500 °C ermittelt. Für die Probenahme kamen Sep-Pak XPoSure Kartuschen und eine geeignete Probenahmepumpe zum Einsatz. Die anschließende Analytik mittels HPLC wurde entsprechend den Vorgaben der Methode aus der IFA-Arbeitsmappe (Kennzahl 6045) durchgeführt.

Emissionsmessungen bei Raumtemperatur

Zur Ermittlung der Emissionen bei Raumtemperatur wurden jeweils 1,4 ml der Aufgussmittel in eine Petrischale mit einer Fläche von 72 cm² gegeben (ergibt eine Schichtdicke von 0,2 mm) und diese in einen Exsikkator mit 12 Liter Volumen gestellt. Nach Verschließen des Exsikkators wurde Luft mit 10 l/h durch zwei hintereinander geschaltete Waters Sep-Pak XPoSure Kartuschen gesaugt (Bild 1). Nach 1 Stunde wurden die Kartuschen gegen neue gewechselt und wieder 1 Stunde Luft gezogen. Die flächenspezifische Luftdurchflussrate betrug 1,4 m³/m²h.



Bild 1: Versuchsaufbau Emissionsmessungen bei Raumtemperatur

Emissionsmessungen bei Temperaturen ab 200 °C

Die Ermittlung der Emissionen bei höheren Temperaturen erforderte einen speziellen Versuchsaufbau. Ein Keramikschiffchen wurde in ein Keramikrohr gestellt und in einem Muffelofen bei definierten Temperaturen zwischen 200 und 500°C erhitzt. Mit Hilfe eines Spritzenmotors und einer gasdichten Mikroliterspritze wurden 200 µl des Aufgussmittels innerhalb von 4 Minuten in das Schiffchen dosiert. Durch das Keramikrohr wurde Luft mit 20 l/h über eine leere Waschflasche und 4 hintereinander geschaltete Sep-Pak XPoSure Kartuschen gesaugt (Bild 2). Anschließend wurde noch 16 Minuten Luft gezogen, um die gesamte emittierte Menge der Stoffe zu erfassen. Bei 500°C wurden 14 Kartuschen eingesetzt, die vorher noch zusätzlich mit insgesamt 6 ml DNPH-Lösung entsprechend 30 mg DNPH belegt wurden.

Die letzte Kartusche wurde zur Kontrolle eines möglichen Durchbruchs separat aufgearbeitet. Die restlichen Kartuschen wurden gemeinsam in Reihe gegen die Saugrichtung eluiert. Das Eluat der 500°C-Proben wurde 10-fach mit DNPH-Lösung (5 mg/ml) verdünnt.



Bild 2: Versuchsaufbau Emissionsmessungen bei höheren Temperaturen

Arbeitsplatzmessungen in Phasen 0 - 2

Aldehydmessungen am Arbeitsplatz

Die Aldehydmessungen am Arbeitsplatz erfolgten außerhalb des normalen Saunabetriebs ohne Saunagäste. Die Messungen erfolgten mit Laborverfahren (Tabelle 3). In Phase 2 wurde zusätzlich ein direktanzeigendes Messgerät eingesetzt (Bild 3 und Tabelle 4). Auf Grund der hohen Temperaturen wurde die Eignung des direktanzeigenden Messgeräts, der Probenahmepumpen und der Probenträger abgeklärt. Das Messgerät und die Probenahmepumpen befanden sich während der Messungen

außerhalb des Saunaraums. Die Umgebungstemperatur lag dort bei ca. 30 °C und somit unterhalb der maximal zulässigen Betriebstemperatur der Systeme (40°C). Zu klären war, ob die Temperatur der angesaugten Prüfluft einen Einfluss auf das Messergebnis haben kann. Laboruntersuchungen im IFA zeigten, dass die Temperatur der angesaugten heißen Luft bereits bei ca. 0,5 m Schlauchlänge außerhalb der Sauna von 100°C auf ca. 30°C Außentemperatur absinkt. Die Probenahmepumpen bzw. das direktanzeigende Messgerät (Phase 2) waren über ca. 5 m lange Schläuche, davon ca. 1,5 m außerhalb der Sauna und über eine Kühlfalle mit den Probenträgern bzw. der Messstelle verbunden. Eine Korrektur des Luftvolumens auf Normbedingungen war daher nicht erforderlich. Die Probenträger, die sich während der Probenahmen im Saunaraum befanden, sind laut Hersteller für Temperaturen bis 100°C geeignet.

Tabelle 3 MGU-Standardmessverfahren für Aldehyde (Phasen 0 – 2)

| Probenahme-system | Probenträgerart | Messbereich/ Bestimmungsgrenze für Formaldehyd | Analytisches Bestimmungsverfahren Kennzahl IFA-Arbeitsmappe Prüflabor |
|-------------------|---------------------------|---|---|
| PAS-Pumpe | Waters Sep-Pak XpoSure | 0,061 mg/m ³ bei 0,66 l/min oder 0,031 mg/m ³ bei 1,3 l/min (10 Minuten PN-Dauer) | Hochleistungsflüssigkeits- Chromatographie (HPLC) Kennzahl: 6045 Auf der mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin (DNPH) imprägnierten Kartusche zurückgehaltene Aldehyde reagieren zu den entsprechenden Hydrazonen, welche nach Elution mit Acetonitril flüssigchromatographisch aufgetrennt und mittels Diodenarray-Detektion quantifiziert werden. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) |

Tabelle 4 Direktanzeigendes Messverfahren für Formaldehyd (Phase 2)

| Messsystem | Messprinzip | Messbereich | Bemerkungen |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|
| Interscan 1166 Formaldehyd | Elektro-chemischer Sensor | Messbereich: 0,01 – 10 ppm | Querempfindlichkeiten gegenüber Ethanol (positives Signal) und gegenüber CO ₂ (negatives Signal); nicht quantifiziert |

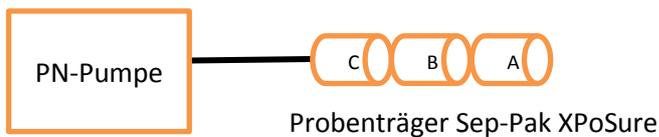


Bild 3: Direktanzeigendes Formaldehydmessgerät Interscan 1166

Für die Probenahme ohne Aufguss vor dem Aufheizen und nach dem Aufheizen des Saunaraums wurde das Standardmessverfahren mit einer Sep-Pak XPoSure Kartusche angewandt.

Während der Aufgüsse in den Saunaräumen in Phase 0 wurden sechs hintereinandergeschaltete Kartuschen eingesetzt. Damit sollte ein Durchbruch bei den erwarteten hohen Konzentrationen verhindert werden. Während der Aufgüsse in Phase 1 und Phase 2 wurde die Anzahl hintereinandergeschalteter Kartuschen auf drei reduziert, da die Messungen der Phase 0 und Laboruntersuchungen gezeigt hatten, dass dies ausreicht. Die Reihenfolge der Kartuschen wurde gekennzeichnet um Verwechslungen auszuschließen (Schema Probenahmesystem). Alle Probenträger wurden ausgewertet.

Schema: Probenahmesystem



Die Probenahmen im Saunaraum erfolgten stationär auf Stativen, eine Probenahme möglichst nahe am Atembereich eines Aufgießers, eine weitere Probenahme auf der mittleren Sitzreihe der Saunagäste, ca. 50 cm über der Sitzfläche (Fotos).



Bild 4: Messstelle Atembereich



Bild 5: Messstelle Bank

Temperaturmessungen

In Phase 0 wurden die Raumtemperaturen an den eingebauten Saunathermometern abgelesen. Die Oberflächentemperaturen an den Öfen wurden nicht ermittelt.

In Phase 1 und Phase 2 der Untersuchungen führte die BGETEM die Temperaturmessungen mit speziellen Messgeräten (Tabelle 5) durch. Die jeweils auf die spezifischen Oberflächen kalibrierte Wärmebildkamera zeichnete die Temperaturen der „sichtbaren“ Oberflächen an den Heizgeräten als

Temperaturprofile auf. Ein Kontaktthermometer erfasste einzelne Temperaturpunkte in tieferen Schichten in Richtung Heizung. Zusätzlich wurden die Lufttemperaturen an den Messstellen „Saunameister“ und „Bank“ aufgenommen.

Tabelle 5: Temperaturmessgeräte

| Messgerät/ Parameter | Messbereich |
|---|----------------------|
| Infrarotthermometer Amir 7814-20S mit Berührungsthermometer / Oberflächentemperatur Ofen | -30 bis 900°C |
| Wärmebildkamera Testo 880/ Oberflächentemperatur Ofen | -20 bis 350°C |
| Lufttemperatur/ Luftfeuchtemessgerät Ahlborn FH646-R/ Luftfeuchte/ Lufttemperatur in der Luft im Saunaraum | -30-100°C/ 5-98 % rH |

Abweichende Methoden in Phasen 0 - 2

Während die eingangs dargestellten Messmethoden für alle Untersuchungsphasen identisch waren, unterschieden sich die Arbeitsabläufe/ Arbeitsverfahren und die Messstrategien in einzelnen Phasen der Untersuchungen (Tabelle 6). Insbesondere gab es Unterschiede zwischen der Phase 0 (betriebsübliche Bedingungen) und den Phasen 1 und 2 (kontrollierte Bedingungen).

Tabelle 6 Arbeitsabläufe und Messstrategien in den Phasen 0-2

| Verfahrensparameter | Phase | | |
|---|-------------------|---|---|
| | 0 | 1 | 2 |
| Aufguss standardisiert | N | J | J |
| Aufgusswasser nach Herstellerangabe angesetzt | k.A. ⁴ | J | T |
| Aufgusswasser überdosiert | k.A. ⁵ | N | T |
| Aufgusswasser unterdosiert | k.A. ⁴ | T | T |
| Aufguss hart (schneller Austrag) | J | N | T |
| Aufguss soft (langsamer Austrag) | N | J | T |
| Messung vor dem Aufheizen | J | J | J |
| Messung nach dem Aufheizen vor dem ersten Aufguss | J | J | J |
| Messung der Grundbelastung zwischen den Aufgüssen | N | J | J |

N... Nein, J... Ja, T... teilweise, k.A. ... keine Angabe

Arbeitsablauf in Phase 0

Der Arbeitsablauf und die Arbeitsbedingungen während der Messungen in Phase 0 waren betriebsüblich. Es waren allerdings keine Saunagäste anwesend. Der Saunameister, der auch die Aufgusszeremonien durchführte, setzte das Aufgusswasser außerhalb des Saunaraums jeweils frisch an. 30 ml Aufgussmittel des Herstellers S1 wurden mit 5 Liter Wasser verdünnt. Die Herstellerangabe zur Dosierung bei 10 ml pro Liter. Der Saunameister brachte das Aufgusswasser zum jeweiligen Saunaraum.

- Sauna 3 (Yin Yang Sauna), zwei Aufgüsse: 1. Aufguss Eukalyptus/ 2. Aufguss Birke
- Sauna 5 (Aroma-Sauna), zwei Aufgüsse: Aufgussmittel: 1. Aufguss Kräutermischung/ 2. Aufguss Eisminze
- Sauna 8 Damensauna (Venus-Sauna), ein Aufguss: Aufgussmittel: Menthol

⁵ Der Hersteller gibt keine exakte Dosierempfehlung. Die betriebsübliche Dosierung wurde verwendet (30 ml Aufgussmittel auf 5 Liter Wasser).

Vor dem Aufguss auf die heißen Steine brachte der Saunameister durch Schwingen des Handtuchs bei geöffneter Saunatur frische Außenluft in den Saunaraum. Dieser Vorgang dauerte ca. ein bis zwei Minuten. Danach wurde die Saunatur geschlossen und das Aufgussmittel mit Hilfe einer Schöpfkelle über die heißen Steine gegossen. Unmittelbar danach verteilte der Saunameister den entstandenen Aufgussdampf durch intensives Handtuchschwingen im Saunaraum.

Jede Aufgusszeremonie bestand aus dreimaligem Ausgießen und Verteilen des Aufgusswassers. Der Saunameister blieb bis zum Ende der Aufgusszeremonie im Saunaraum. Pro Aufguss wurden ca. 3-4 Schöpfkellen aus dem Eimer ausgebracht. Im letzten Durchgang wurde der geringe Rest der Flüssigkeit über die Steine gegossen. Die gesamte Menge des Aufgusswassers (5 Liter) war damit verbraucht. Die Aufgusswässer wurden schnell ausgebracht (harte Aufgüsse). Der gesamte Vorgang dauerte zwischen 5 und 6,5 Minuten.

Messstrategie in Phase 0

Der MTD der BGW führte in Phase 0, gemeinsam mit dem IFA, Arbeitsplatzmessungen mit der in Abschnitt „Arbeitsplatzmessungen“ dargestellten Methode in drei Saunaräumen des Saunabetriebs TT durch. Die Messungen erfolgten vor Beginn der Öffnung für das Publikum. Somit waren die Saunaräume nicht mit Saunagästen besetzt. In jedem Saunaraum wurde die Grundbelastung ohne Aufguss vor dem Aufheizen und nach dem Aufheizen des Saunaraums ermittelt. Danach wurde die Expositionsmessung während der Aufgüsse im Atembereich und auf der Bank durchgeführt. Die Messdauer entsprach der Aufenthaltsdauer des Aufgießers im Saunaraum. Zwischen den Aufgusszeremonien wurde der jeweilige Saunaraum betriebsüblich vom Saunameister durch Handtuchschwingen belüftet. Eine Aldehydmessung zwischen den Aufgusszeremonien erfolgte nicht. Die Raumtemperaturen wurden an den eingebauten Saunathermometern abgelesen und dokumentiert, die Oberflächentemperaturen wurden nicht gemessen.

Arbeitsablauf in Phase 1 und Phase 2

im Gegensatz zu Phase 0 war der Arbeitsablauf in den Phasen 1 und 2 standardisiert, es gab aber Unterschiede bezüglich diverser Verfahrensparameter, wie die Art der eingesetzten Aufgussmittel, die Dosierung und die Geschwindigkeit des Auftrags der Aufgusswässer.

Bei jedem Aufguss wurde die Schöpfkelle bis zur Markierung gefüllt (500 ml) und der Inhalt über den Steinen verteilt (Schütthöhe ca. 5-10 cm, Dauer 10 Sekunden). Nach drei Aufgüssen war damit das angesetzte Aufgusswasser (4,5 Liter) verbraucht. Die spezifische ausgebrachte Menge betrug für die Sauna AG 15 g Aufgusswasser/ m³ Raumvolumen für die Sauna AT 17 g/ m³ und für die Saunen MM und FS ca. 30 g/m³ je Aufguss, entsprechend der maximalen Menge, die von der DGfdB empfohlen wird [4].

Arbeitsverfahren

Die Rahmenbedingungen zum Arbeitsverfahren unterschieden sich in den Phasen 1 und 2 hinsichtlich der Dosierung des Aufgussmittels im Aufgusswasser und hinsichtlich der Ausbringgeschwindigkeit. In Phase 1 wurden drei verschiedene Saunaräume genutzt und in Phase 2 ein weiterer Saunaraum.

Arbeitsverfahren Phase 1

In drei Saunaeinrichtungen wurde jeweils einen Tag ein Saunaraum gemietet. Die Aufgusswässer wurden von einem Saunameister/ einer Saunameisterin nach den Dosierempfehlungen der Hersteller angesetzt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Dosierung nach Herstellerangabe

| Hersteller | Dosierung [ml/l] (Herstellerangabe) | Dosiermenge [ml] pro Versuch (4,5 l) ⁶ |
|--------------------------|--|--|
| S2 | 15-30 | 90 ⁷ |
| F | 2-3 | 15 |
| J | 4-6 | 25 |
| Ethanol ⁸ | entfällt | 90 |
| Isopropanol ⁷ | entfällt | 90 |

Je Aufgusszeremonie wurden insgesamt 4,5 Liter Aufgusswasser in drei Einzelvorgängen ausgebracht. Für die Aufgusszeremonien wurden fünf Aufgussmittel von drei Herstellern ausgewählt. Das Sachgebiet „Bäder“ hatte aus einer Liste die in Deutschland meist verwendeten Duftrichtungen ausgewählt: Eukalyptus, Citrus, Eisminze

Für die Aufgüsse wurden die oben genannten Duftrichtungen verwendet:

- Eukalyptus (Hersteller S2)
- Citrus (Hersteller S2)
- Eukalyptus (Hersteller F)
- Citrus (Hersteller J)
- Eisminze (Hersteller J)

Die Reihenfolge für die Versuche wurde nach den erwarteten, aufsteigenden Konzentrationen festgelegt. Grundlage für die Einschätzung waren die vorangegangenen Laborversuche.

Ferner wurden Aufgusswässer mit verdünnten Alkoholen angesetzt und als Referenzmaterialien verwendet:

- Isopropanol
- Ethanol

Die Aufgusswässer mit den zugemischten reinen Alkoholen wurden in der höchsten Anwendungskonzentration der Aufgussmittel (90 ml) angesetzt. Die Dosierung erfolgte außerhalb der Saunaräume mit Hilfe von Messbechern mit geeigneter Skalierung.

Einflüsse der verwendeten Flächendesinfektionsmittel, in der Regel Ammoniumchlorid oder andere Ammoniumverbindungen, wurden nicht erwartet. Dennoch wurde der Saunaraum nach Absprache mit dem jeweiligen Saunabetreiber vor den Messungen, am Abend vorher und morgens vor Beginn der

⁶ Die Dosierung erfolgte im Rahmen der Ablesegenauigkeit der Dosierbecher (2 ml)

⁷ Der Hersteller S2 empfiehlt die höchste Dosiermenge; Die Dosierung blieb bei den Messungen unter der Maximalangabe des Herstellers (30 ml/l hätten 135 ml pro Versuch entsprochen und wurden von dem Personal als unrealistisch eingeschätzt)

⁸ Die Alkohole wurden identisch zu den Aufgussmitteln verdünnt und ausgebracht

Messungen, nicht gereinigt oder desinfiziert. Während der Messungen erfolgten ebenfalls keine Reinigungs- und Desinfektionsarbeiten.

Arbeitsverfahren Phase 2

Die Messungen der Phase 2 erfolgten in einem Saunaraum der Sauna AG. Die Aufgusswässer wurden nicht nach den Herstellerangaben angesetzt, sondern mit einer an den Herstellerangaben der verwendeten Aufgussmittel orientierten Minimalmenge bzw. Maximalmenge: 4 bzw. 30 ml Konzentrat/Liter Aufgusswasser. Diese extremen Bedingungen wurden gewählt, da nach Aussage einiger Saunabetreiber die Dosierempfehlungen der Hersteller nicht konsequent beachtet werden. Dies führt bei einigen Aufgussmitteln zu einer Unter-, bei anderen Aufgussmitteln zu einer Überdosierung im Vergleich zu den Herstellerangaben und wurde in den Versuchen nachgestellt.

Die Aufgussdurchführung wurde für eine Hälfte der Versuche nach den Vorgaben der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein langsames Ausbringen der Flüssigkeit auf die Steine. Die Versuchsvorgabe war, eine Schöpfkelle in 10 Sekunden zu entleeren. Dieses Verfahren wird nachfolgend als „soft“ bezeichnet. Bei der anderen Hälfte der Untersuchungen wird das Aufgusswasser schnell auf die Steine aufgetragen. Eine Schöpfkelle wurde in 3 Sekunden geleert. Diese Art wird nachfolgend als „hart“ bezeichnet. Somit wurden auch für das Ausbringen extreme Bedingungen untersucht. Damit sollte untersucht werden, ob sich die hohen Konzentrationen aus Phase 0 nachvollziehen lassen. Die Herstellerangaben und die verwendeten Dosierungen sowie die Art der Ausbringung der Aufgusswässer sind in Tabelle 8 dargestellt.

Das Heizgerät war ein Elektroofen und konstruktiv so gestaltet, dass Flüssigkeit nach dem Passieren der Steinschicht auf heiße Metalloberflächen (450 °C) durchfließen kann, allerdings nicht auf die Heizstäbe. Damit lagen technisch ungünstige Bedingungen vor.

Die insgesamt ausgebrachte Menge des Aufgusswassers für die Aufgusszeremonie lag wie bei den vorangegangenen Messungen bei 4,5 Liter. Dies entsprach 15 g Aufgusswasser /m³ Raumvolumen und Aufguss und lag somit bei ca. 50% der Empfehlungen des DGfdB.

Ausgewählt wurden zwei der fünf Aufgussmittel aus Phase 1 mit den höchsten Emissionen aus den Laborversuchen (S2 Citrus, J Citrus) sowie das Aufgussmittel S1 Kräutermischung, das bei der ersten Arbeitsplatzmessung in der Sauna TT (Phase 0) die höchsten Konzentrationen lieferte.

Tabelle 8: Dosierungen für Versuche mit weichen und harten Aufgüssen (Phase 2)

| Produkt | Herstellerempfehlung für die Dosierung des Aufgusswassers [ml /l] | Angewandte Dosierung des Aufgussmittels in dem Aufgusswasser ¹⁾ [ml/l] | Art des Aufgusses |
|-----------|---|---|-------------------|
| S2 Citrus | 30 | 4 | soft |
| S2 Citrus | | 30 | |
| S2 Citrus | | 4 | hart |
| S2 Citrus | | 30 | |
| J Citrus | 4 | 4 | soft |
| J Citrus | | 30 | |
| J Citrus | | 4 | hart |

| | | | |
|--------------------|----|----|------|
| J Citrus | | 30 | |
| S1 Kräutermischung | 10 | 4 | soft |
| S1 Kräutermischung | | 30 | |
| S1 Kräutermischung | | 4 | hart |
| S1 Kräutermischung | | 30 | |

¹⁾ Dosierung nach Herstellerangabe: geringste Konzentration: 4 ml Duftstoffkonzentrat/ Liter Aufgusswasser (J), höchste Konzentration: 30 ml Duftstoffkonzentrat/ Liter Aufgusswasser (S2)

Messstrategie Phase 1 und Phase 2

Die Messstrategie der Arbeitsplatzmessungen war in den Phasen 1 und 2 identisch.

Während einer Aufgusszeremonie wurden die Aldehydkonzentrationen im Atembereich des Beschäftigten und auf der Bank gemessen. Parallel wurden die Ofentemperaturen jeweils vor Beginn eines Aufgusses bestimmt (Grafik).

Nach Abschluss jeder Aufgusszeremonie wurde der Raum intensiv mehrere Minuten mit leistungsstarken Ventilatoren gelüftet. Zu Beginn der Folgemessung nach dem Wiederaufheizen erfolgte eine Formaldehydmessung zur Ermittlung der Grundbelastung (10 Minuten). Im Anschluss wurde der nächste Aufguss durchgeführt.

Grafik: Standardisierte Aufgusszeremonie mit Aldehyd- und Temperaturmessungen



Bild 6: Leistungsstarke Spezialventilatoren zur Lüftung der Saunaräume (unten Zuluft in den Saunaraum, oben Abluft aus dem Saunaraum)

Tabelle 9: Arbeitsvorgänge und Messungen

| Zeitpunkt | Arbeitsvorgang | Dauer des Vorgangs [Minuten] | Messungen |
|---|---|------------------------------|------------------|
| 1 | Lüften des Saunaraums (Tür öffnen) | 10 | |
| 2 | Aldehydmessungen vor dem Aufheizen | 30 | PAT _o |
| 3 | Aufheizen des Saunaraums | 60-120 | A |
| 4 | Messungen nach dem Aufheizen vor Aufgusszeremonie 1 | 10 | PAT _o |
| 5 | Aufgusszeremonie 1; Aldehydmessungen Atembereich, Bank | 10 | PA |
| 6 | Lüften | 10 | A |
| 7 | Aufheizen vor Aufgusszeremonie 2 | 10-15 | A |
| 8 | Messungen nach dem Aufheizen vor Aufgusszeremonie 2 | 10 | PAT _o |
| 9 | Aufgusszeremonie 2; Aldehydmessungen Atembereich, Bank | 10 | PA |
| 10 | Lüften | 10 | A |
| 11 | Aufheizen vor Aufgusszeremonie 3 | 10-15 | A |
| 12 | Messungen nach dem Aufheizen vor Aufgusszeremonie 3 | 10 | PAT _o |
| 13 | Aufgusszeremonie 3 Aldehydmessungen Atembereich, Bank | 10 | PA |
| 14 | Lüften | 10 | A |
| Weitere Versuche nach dem gleichen Schema | | | |

Legende:

P Probenahme mit Waters-Kartuschen

A Messung mit direktanzeigendem Analysator Interscan (Phase 2)

T_o Messung Oberflächentemperatur der Steine

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind aufgeteilt nach

- Publikationen
- Messberichte externer Messstellen (Sauna TT)
- Befragungen
- Laboruntersuchungen (Emissionsmessungen)
- Arbeitsplatzmessungen

Publikationen

Die nachfolgend beschriebene Literatur stellt ein ausgewähltes Spektrum der Publikationen dar, die einen Bezug zu Gefahrstoffemissionen, zur Gefahrstoffexposition und zum Arbeitsschutz bei Saunaaufgüssen haben.

Tappler et al. beschreiben in einem Positionspapier zur Schadstoffvermeidung in Saunaanlagen die Emissionen aus erhitztem Holz [1]. Während Rohholz bei Raumtemperatur nur vernachlässigbar geringe Mengen an Formaldehyd emittiert, belegen Messungen, dass in Saunaräumen eine deutliche, andauernde Formaldehydemission gegeben ist. Sowohl Vollholz als auch Leimholz kann zu Formaldehydfreisetzung führen. Die Autoren verweisen auf Luftuntersuchungen bei denen die Formaldehydkonzentrationen in 10 von 26 Saunaräumen („Finnische Saunen“) deutlich oberhalb von 0,1

mg/m³ (als Halbstundenmittelwert) lagen, ebenso in 4 von 6 Saunen mit Fichtenholz. In 5 von 7 Saunarräumen, in denen Holzwerkstoffe mittels konventionellen formaldehydabspaltenden Klebern verleimt wurden, zeigten sich ebenfalls Formaldehydkonzentrationen deutlich über 0,1 mg/m³, in einem Fall sogar über 0,5 mg/m³. Die Autoren halten einen Orientierungswert zur klaren Trennung zwischen für den Saunabau geeigneten und ungeeigneten Hölzern für notwendig, der laut Autoren an der EN 717-2 ausgerichtet sein kann. Darin wird ein höchst zulässiger flächenbezogener Emissionsgrenzwert für Formaldehyd von 0,4 mg/(m²*h) genannt. Bei diesem Wert sehen die Autoren unter der Voraussetzung eines normgerechten Luftwechsels (6 pro Stunde) keine Überschreitung von 0,1 mg/m³ Formaldehyd in der Innenraumluft von gewerblichem Saunen. Tappler et al. weisen auf die gesundheitlichen Aspekte vorrangig für die Saunagäste hin. Der WHO-Richtwert (WHO 2000) von 0,1 mg/m³ für eine kurzzeitige Exposition soll nicht überschritten werden. Eine Konzentration von 0,5 mg/m³ darf auf keinen Fall überschritten werden. Die Autoren schlagen einen für die Nutzer deutlichen Warnhinweis an der Sauna vor, wenn die Formaldehydkonzentration zwischen 0,1 und 0,5 mg/m³ liegt.

Positionspapier zu Schadstoffvermeidung in Saunaanlagen

Inhaltlich entspricht das österreichische Positionspapier 5 des Arbeitskreises Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft vom 27.03.2010 weitestgehend der ausführlichen Darstellung in [1] und wird daher nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Kalkowsky und Kampmann beschreiben aus arbeitsmedizinischer Sicht die Ergebnisse einer Fragebogenaktion, die im Auftrag des Sauna-Bundes im Jahr 2007 durchgeführt wurde [2]. Die Autoren stellen eine zunehmende Belastung des Saunapersonals durch Aufgüsse fest. Sie thematisieren diverse belastende Faktoren. Die Aufgusspraxis war wesentlicher Bestandteil der Befragung. Die Häufigkeit der im Fragebogen genannten Aufgüsse pro Schicht lag zwischen einem Aufguss und mehr als elf Aufgüssen. Die Autoren sprechen auch sogenannte „Megaaufgüsse“ an, die laut Erhebung mittlerweile zum normalen Repertoire eines Aufgussprogramms gehören, zum Beispiel als Spezialereignis. Die Länge des Aufgusses kann für einen Megaaufguss bis zu 20 Minuten dauern. Der Fokus der Publikation liegt auf den Belastungen durch Hitzearbeit. Es werden aber auch gesundheitliche Beschwerden angesprochen, die mit einer chemischen Belastung in Verbindung gebracht werden. Die befragten Beschäftigten nannten Beschwerden der Augen und der Haut. Sie wurden als Augenbrennen, vermehrte Tränenbildung mit dann verschwommenem Sehen und Augenrötung beschrieben. Sie traten oft auch im Zusammenhang mit speziellen Aufgüssen auf. Bei den Hautreaktionen wird über andauernde Hautrötung nach den Aufgüssen, Hitzepöckchen und die Entwicklung einer trockenen Haut geklagt. Zur Beurteilung der Symptome wären laut Autoren die Kenntnisse über die Zersetzungsprodukte der Aufgussmittel bei Kontakt mit den heißen Ofensteinen hilfreich.

Wilke et al. beschreiben in einer Publikation im Auftrag des Umweltbundesamts das Emissionsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen bei Raumtemperatur [3]. Diese Publikation kann Hinweise liefern, welche Holzprodukte bei Raumtemperatur höhere oder geringere Emissionen liefern. Anmerkung: Für die Formaldehydemission in Saunen sind höhere Temperaturen bis ca. 100°C entscheidend. Daher erscheinen die in dieser Publikation veröffentlichten Ergebnisse für den Zweck der hier durchgeführten Untersuchung nicht zielführend.

Der **Ausschuss Saunabetrieb des Deutschen Sauna-Bund e.V.** hat Richtlinien zur Durchführung von Saunaaufgüssen in öffentlichen Saunaanlagen erarbeitet, die von der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen e.V. (DGföB) im Mai 2011 publiziert wurden [4]. Zweck dieser Richtlinien ist es, Anforderungen für Aufgüsse in öffentlichen Saunaanlagen festzulegen, die eine gesundheitsfördernde, betriebssichere und hygienisch einwandfreie Durchführung für Saunagäste und Personal sicherstellen. Im Vorwort der Richtlinie wird darauf hingewiesen, dass „der Aufguss bis vor 20 Jahren beim Saunabaden in Deutschland nur eine untergeordnete Rolle spielte. Er dauerte in der Regel wenige Minuten und wurde auch von Saunagästen durchgeführt. Die Aufgussintensität richtete sich nach persönlichen Erfahrungen, Inzwischen hat sich die Aufgusspraxis grundlegend geändert. Heute zählt der Aufguss mit zu den wesentlichen Besuchsmotiven von Saunagästen. Der Aufguss wird in öffentlichen Saunaanlagen durch deren Personal vorgenommen. Die Aufgussintensität und die Zahl der Aufgüsse, an denen der Saunagast teilnimmt, haben sich erhöht. Daraus ergibt sich Regelungsbedarf und die Notwendigkeit, Standards für die qualifizierte Durchführung von Aufgüssen zu entwickeln. Diese sollen auch dem Schutz von Saunagästen, Mitarbeitern und Saunabetreibern dienen. Die Qualität des Aufgusses ist heute ein bedeutendes Marketinginstrument. Der Aufguss muss aber immer Bestandteil eines gesundheitsorientierten Saunabades sein.“

Die Richtlinien beschreiben unter anderem, dass das Aufgusswasser vorsichtig auf die heißen Steine des Heizgerätes verteilt werden soll. Zudem wird als maximale Menge an Aufgusswasser, die für einen Aufguss ausgebracht werden soll, 30 g Aufgusswasser/ m³ Saunaraum genannt. Bei den üblichen mittelgroßen Saunen hat man ein Raumvolumen von ca. 50 m³ ermittelt. Pro Aufguss errechnen sich daraus 1,5 Liter Aufgusswasser und 4,5 Liter pro Aufgusszeremonie bei drei Einzelaufgüssen. Die Aufenthaltsdauer des Aufgusspersonals im Saunaraum soll 10 Minuten nicht überschreiten.

Gensow berichtet in dem Artikel „Aufguss heute – Wirkungen und Praxis“ über das gleichnamige Tagesseminar aus einer Seminarreihe des Deutschen Sauna-Bundes [5]. Diverse Referenten stellten eine breite Themenvielfalt vor, bei der auch arbeitsschutzrelevante Risiken berücksichtigt wurden. Die Referenten nannten gesundheitliche Symptome wie Hustenreiz und Augenbrennen. Ebenso sei das Risiko einer Hautsensibilisierung für eine Hautallergie beim Aufgusspersonal aus dermatologischer Sicht nicht ganz auszuschließen, sofern man lange Tätigkeitszeiträume unterstellt und eine genetische Prädisposition gegeben ist. Zudem wurden die Risiken der Rahmenbedingungen zum Beispiel Aufguss-Marathon und Überdosierung erwähnt. Grundsätzlich hat die Bandbreite der Düfte zugenommen. In einer kleinen Studie (764 Aufgussdüften und deren 30 Hersteller/ Vertreiber) wurde festgestellt, dass es oftmals Fantasienamen gibt, die eine Duftzuordnung unmöglich machen. Duft- und Inhaltsstoffangaben fehlen. Aus Sicherheitsgründen sollen künftig nur noch speziell ausgebildete Personen Aufgüsse durchführen können („Fachkraft für Saunaaufgüsse“).

Die wesentlichen Ergebnisse aus der Auswertung obiger Publikationen sind:

- Eine Formaldehyd-Grundbelastung kann schon durch Emissionen aus den in Saunäräumen eingebauten Hölzern (Massivholz oder verleimtes Holzprodukt) entstehen. Grenzwerte für die Nutzer, die sich an den WHO-Richtwerten orientieren, werden vorgeschlagen [1].

- Gesundheitliche Effekte im Zusammenhang mit Aufgüssen wurden von Beschäftigten berichtet: Augentränen, Hautrötung, Hautpöckchen, trockene Haut [2], Augenbrennen [2,5] und Hustenreiz [5]. Aus dermatologischer Sicht ist ein Risiko der Hautsensibilisierung nicht auszuschließen [5].
- Die DGfdB gibt Empfehlungen für die Durchführung von Aufgüssen zum Zweck eines gesundheitsfördernden Saunabads. Dabei werden auch arbeitsschutzrelevante Themen angesprochen, wie die Art des Aufgusses, die maximal ausgebrachte Menge Aufgusswasser und die maximale Aufenthaltsdauer [4]
- Nur speziell ausgebildete Personen sollen Aufgüsse durchführen können [5].

Messberichte externer Messstellen (Sauna TT)

Auf Grund von Mitarbeiterbeschwerden beauftragte die Sauna TT im Jahr 2012 eine akkreditierte Messstelle mit Formaldehydmessungen in Saunaräumen. Die Messstelle (Messstelle 1) untersuchte zunächst mit der DNPH-Standardmethode zwei Saunaräume (5 und 6) mit jeweils zwei Messungen, im Abstand von 5-6 Stunden. Laut Messbericht wurde der Normalbetrieb untersucht und es wurden auch Aufgüsse durchgeführt. Die Art und die Dauer der Aufgüsse sowie das Aufgussmittel wurden nicht beschrieben. Die Konzentrationen lagen in Saunaraum 5 bei beiden Messungen bei $1,0 \text{ mg/m}^3$ und in Saunaraum 6 bei $0,12$ bzw. $0,24 \text{ mg/m}^3$. Zwei Monate später untersuchte die Messstelle in einer weiteren Messreihe alle Saunaräume der Sauna TT ebenfalls im Normalbetrieb. In drei Saunaräumen wurden Aufgüsse durchgeführt. Die Messungen ergaben ohne Aufguss in den Saunaräumen Formaldehydkonzentrationen zwischen $0,034$ und $0,2 \text{ mg/m}^3$ sowie mit Aufguss in den drei Saunaräumen 3; 5 und 8 Konzentrationen von $0,16$; $0,51$ und $0,35 \text{ mg/m}^3$. Eine zweite akkreditierte Messstelle (Messstelle 2) untersuchte anschließend mehrere Saunaräume mit zwei Probenahmeverfahren im Vergleich (DNPH und Acetylaceton). In allen Saunaräumen wurden Aufgüsse durchgeführt. Die Konzentrationen der Acetylaceton-Methode lagen über den DNPH-Werten (Tabelle). Dies wurde erklärt mit der Verdunstung der Adsorberflüssigkeit während der Probenahme. Grundsätzlich wurde eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Messstelle 1 festgestellt.

Tabelle: Vergleich zweier Probenahmeverfahren

| Saunaraum | DNPH-Methode Formaldehyd [$\mu\text{g/m}^3$] | Acetylaceton-Methode Formaldehyd [$\mu\text{g/m}^3$] |
|-----------|---|---|
| 3 | 369 | 420 |
| 5 | 704 | 990 |
| 6 | 719 | 1060 |
| 8 | 217 | 380 |
| 11 | 158 | 220 |

Die Messungen der beiden Messstellen zeigen, dass im Normalbetrieb in den Saunaräumen der Sauna TT Formaldehydkonzentrationen ohne Aufguss zwischen $0,034$ und $0,2 \text{ mg/m}^3$ und mit Aufguss zwischen $0,16$ und ca. 1 mg/m^3 entstehen können.

Ergebnisse der Befragungen

Die Befragungen durch die BGW unterstützten die messtechnische Planung. Die Antworten sollten zudem eine Grundlage für die Interpretation der Messergebnisse hinsichtlich betrieblicher Einflussfaktoren (z.B. Lüftung, Art des Heizgeräts etc.) sein.

Die Ergebnisse der Befragungen zu den betrieblichen Rahmenbedingungen bzw. zu den Arbeitsabläufen sind in den Tabellen 10 und 11 dargestellt.

Tabelle 10: Rahmenbedingungen der Saunen (Befragungsergebnisse)

| Sauna und Saunaraum | Bauform/ Innenausstattung | Raum- volumen [m ³] | Lüftung natürlich, technisch; Frischluft- volumenstrom; Luftführung | Heizgerät, Typ, Hersteller Heizleistung | Steinschichten/-arten, Auflage |
|--------------------------|---|---------------------------------------|---|---|---|
| Sauna TT Raum 3 | Innenliegender Saunaraum, Natursteinboden, Isolierung aus Kork, Decke aus Fichtenholz, Wände Holzrundstämme, Bänke aus Abachiholz | 85 | technisch; k.A.; k.A. | Elektroofen, EOS G36 2012, 36 KW | Schichten k.A., Steinart: Olivin Diabas kantig, geschlossenes Stahlblech mit Aufkantung |
| Sauna TT Raum 5 | Innenliegender Saunaraum, Natursteinboden, Isolierung aus Kork, Decke aus Fichtenholz, Wände Holzrundstämme, Bänke aus Abachiholz | 53 | natürlich; Fenster u. Türe | Elektroofen, EOS G36 2012, 36 KW | Schichten k.A., Steinart: Olivin Diabas kantig, geschlossenes Stahlblech mit Aufkantung |
| Sauna TT Raum 8 | Innenliegender Saunaraum, Natursteinboden, Isolierung aus Kork, Decke aus Fichtenholz, Wände gemauert mit Fichtenhalbrundbrettern verkleidet, Bänke aus Abachiholz | 22 | natürlich; Fenster u. Türe | Elektroofen, EOS Z6, 2015, 21KW | Schichten k.A., Steinart: Olivin Diabas kantig, geschlossenes Stahlblech mit Aufkantung |
| Sauna AT Eventsauna | freistehende Blockhütte im Außengelände/ Steinboden, 8 Vollholzwände und – decke, Holzarten: k.A. | 82 | k.A. | Elektroofen, Klafs Doppelofen | 8 Schichten, Steinart: Natursandstein Granit Steinauflage: geschlossenes Stahlblech mit Aufkantung |
| Sauna MM Aufgusssauna | gemauerter Raum mit Holzverkleidung innenliegend/ Steinboden, 4 Holzwände und –decke, Holzarten: k.A. | 46 | natürlich; Zuluft hinter dem Ofen; geringfügig technisch im Deckenbereich | Elektroofen EOS 346, 2001, 2 x 18kW | 2-3 Schichten, Steinart: Fa. Kerkes Steinauflage: nebeneinanderliegende Ablaufrinnen, maximale |

| | | | | | |
|--------------------------------|---|----|--|---|---|
| | | | (Lüftungs- öffnung d= 10 cm, Luftmenge unbekannt) | | Temperatur ca. 450°C auf der Ablaufrinne |
| Sauna FS Waldsauna | gemauertes Haus freistehend im Außenbereich/ Steinboden, 2 Vollholzwände und -decke, zwei große Glasflächen, Holzarten: k.A. | 50 | natürlich; Luftdurchlass Rückwand, Eingangstür | Gasofen Infra Heat Technik (NL), 1992, 48 kW | 2 -3 Schichten, Steinart: Olivin Diabas-Granit, Steinauflage: Blechgitter, maximale Temperatur auf der Heizfläche ca. 250°C |
| Sauna AG Baumhaus- sauna | Blockhütte freistehend im Außengelände, Steinboden, 3 Vollholzwände, eine Glasfläche, Holzarten: k.A. | 97 | technisch; k.A.; k.A. | k.A.: | 3 Schichten, Steinart: Granit Steinauflage: nebeneinanderliegende Ablaufrinnen, maximale Temperatur ca. 450°C auf der Ablaufrinne |

Tabelle 11: Arbeitsabläufe (Befragungsergebnisse)

| Verfahrensparameter | Sauna AT | Sauna FS | Sauna TT (3 Saunarräume) |
|--|---------------|-------------|-----------------------------|
| Dauer der Aufgusseremonie | 10-12 Minuten | 10 | 5-8 |
| Anzahl der Einzelaufgüsse pro Aufgusseremonie | 3 | 3 | 3 |
| Dauer eines Einzelaufgusses | k.A. | 1 Minute | 20 Sekunden |
| Anzahl Schöpfkellenleerungen pro Einzelaufguss | 3 | 3 | 3 |
| Dauer einer Schöpfkellenleerung | 5-7 Sekunden | 15 Sekunden | 20 Sekunden |
| Aufgusspause zwischen den Zeremonien | 1 Minute | 2 Minuten | 30 Sekunden |

Die beiden Saunen MM und AG äußerten sich mündlich und machten Angaben zum Arbeitsablauf, die in den oben genannten Bereichen lagen.

Ergebnisse der Laboruntersuchungen (Emissionsmessungen)

Die Messdaten der Laboruntersuchungen zu den Emissionsmessungen werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Das erste Datenkollektiv beschreibt Emissionsdaten für 15 Aufgussmittel aus Saunabetrieb TT bei Raumtemperatur und für ein Aufgussmittel bei 380 °C. Das zweite Datenkollektiv umfasst Emissionen von 12 Aufgussmitteln aus den Saunabetrieben AT, MM und FS bei 300°C und 500°C. Das dritte Datenkollektiv umfasst Emissionen zwischen 200°C und 400°C in 50 Kelvin-Schritten für drei ausgewählte Substanzen.

Emissionen aus Aufgussmitteln bei Raumtemperatur und 380°C

Die ersten Laboruntersuchungen von 15 Aufgussmitteln zeigten dass bei Raumtemperatur keine nennenswerten Aldehyd- und Acetonemissionen entstehen. Die maximalen Formaldehyd- Emissionen lagen im Bereich weniger Zehntel µg/ml Aufgussmittel, die Aceton-Emissionen bei wenigen µg/ml. Für viele Aufgussmittel lagen die Analysenergebnisse unter der Bestimmungsgrenze des Analysenverfahrens (Tabelle 18). Beim Ausbringen der Aufgüsse auf die heißen Steine traten wesentlich höhere Temperaturen auf. Daher wurde ein Aufgussmittel (Grapefruit) zusätzlich bei 380°C untersucht. Die Formaldehydemission lag für dieses Aufgussmittel bei Raumtemperatur unter der Bestimmungsgrenze von 0,28 µg/ml und die Acetonkonzentration unter 5,9 bzw. 2,9 µg/ml. Bei 380 °C lagen die Konzentrationen um bis zu vier Zehnerpotenzen höher, Formaldehyd 2,2 mg/ml und Aceton 16 mg/ml (Tabelle 19).

Emissionen aus Aufgussmitteln bei 300 °C und 500 °C

Die Laboruntersuchungen von 12 Aufgussmitteln sowie Ethanol und 2-Propanol bei 300°C und 500°C zeigten, dass die Konzentrate der Aufgussmittel bei Temperaturen von 300°C geringere Aldehyd- und Acetonmengen emittieren (je nach Aufgussmittel 0,04 bis 0,4 mg Formaldehyd /ml Essenz) als bei 500°C. Im Mittel wurde bei 500°C die ca. 30-fache Formaldehydmenge im Vergleich zu 300°C emittiert (Tabellen Statistik). Die reinen Alkohole Ethanol und 2-Propanol emittieren überwiegend geringere Formaldehydmengen als die Aufgussmittel, in denen sie als Lösungsmittel enthalten sind. 2-Propanol weist die höchste Acetonemission aller untersuchten Substanzen bei 500°C auf und Isopropanol die höchste Konzentration an Acetaldehyd.

Die Laborwerte sind im Anhang in Tabelle 20 „Aldehyd-/ Acetonemissionen bei Temperaturen von 300 und 500°C“ dargestellt.

Tabelle 12: Statistik über alle Aufgussmittel unter Einbeziehung der Emissionen aus Ethanol/Isopropanol (N=14)

| | mg Formaldehyd /ml Essenz bei 300°C | mg Formaldehyd/ ml Essenz bei 500°C |
|--------|--|--|
| Min | 0,02 | 0,60 |
| Mittel | 0,15 | 4,49 |
| Median | 0,07 | 3,40 |
| Max | 0,43 | 11,00 |

Tabelle 13: Statistik über alle Aufgussmittel ohne Einbeziehung der Emissionen aus Ethanol/Isopropanol (N=12)

| | mg Formaldehyd /ml Essenz bei 300°C | mg Formaldehyd/ ml Essenz bei 500°C |
|--------|--|--|
| Min | 0,02 | 0,65 |
| Mittel | 0,17 | 5,10 |
| Median | 0,10 | 5,80 |
| Max | 0,43 | 11,00 |

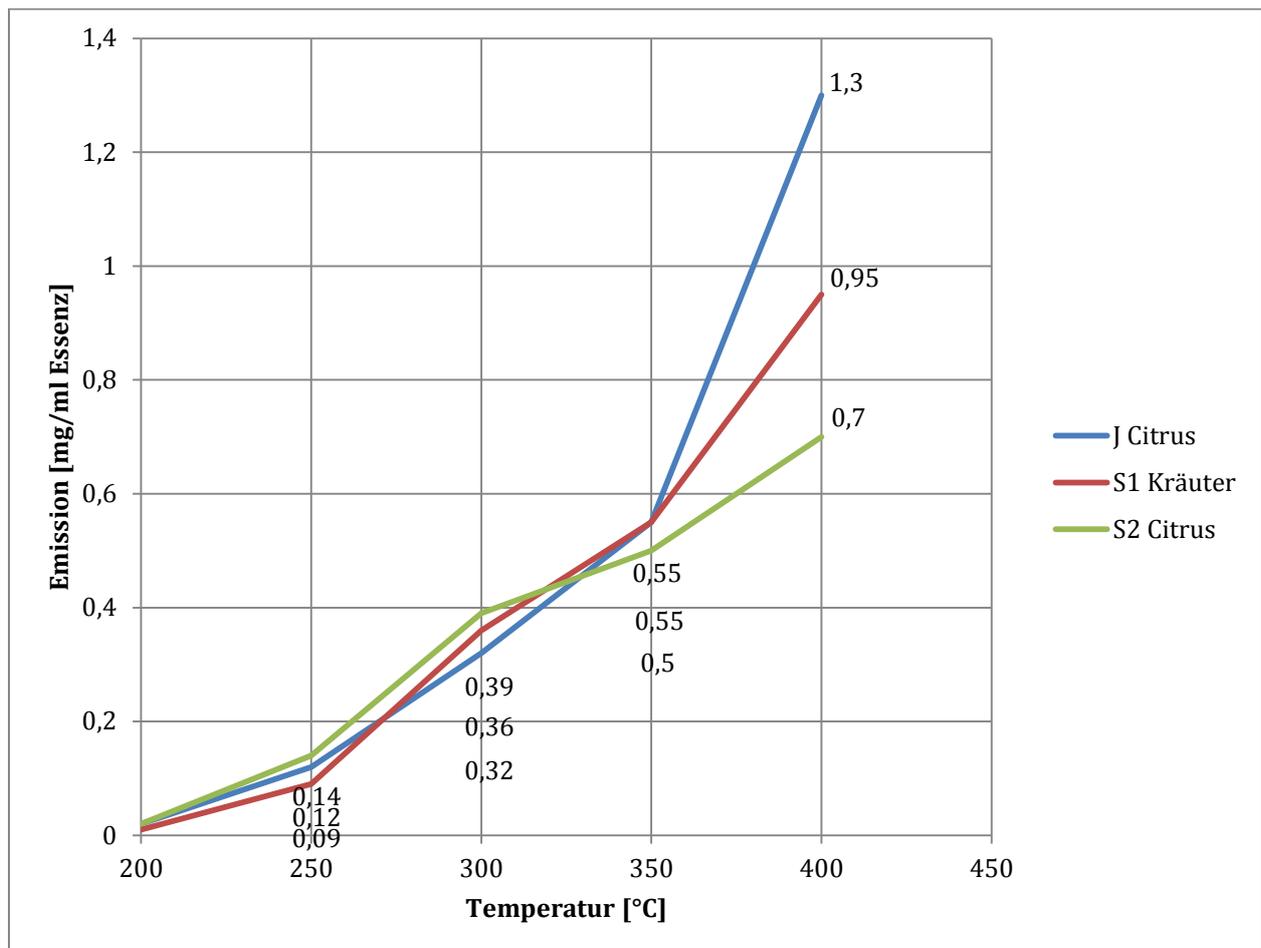
Emissionen aus Aufgussmitteln bei Temperaturen von 200 – 400°C

Die letzten Emissionsmessungen in der Untersuchung erfolgten in Temperaturschritten von 50 Kelvin zwischen 200 und 400 °C. Damit sollte herausgefunden werden, ob es einen Zusammenhang von Emission und Temperatur gibt.

Auf Grund der aufwändigen Methode wurde eine kleine Auswahl von drei Aufgussmitteln (J Citrus, S1 Kräutermischung und S2 Citrus) untersucht.

Die Laboruntersuchungen zeigten für jedes Produkt eine mit der Temperatur ansteigende Emission (Grafik). Von 200 bis 300 °C war schon ein deutlicher Anstieg der Emission zu erkennen, der sich ab ca. 350 °C noch einmal verstärkte. Das Produkt J Citrus zeigte den stärksten Anstieg ab ca. 350 °C.

Grafik 1: Formaldehydemission in Abhängigkeit von der Temperatur



Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen

Arbeitsplatzmessungen Phase 0

In Phase 0 wurden die Arbeitsplatzmessungen in den drei Saunaräumen 3, 5 und 8 der Sauna TT unter betriebsüblichen Bedingungen durchgeführt. Außer Formaldehyd lagen alle Aldehyde unter der analytischen Bestimmungsgrenze bzw. bei ca. 1% des jeweiligen Arbeitsplatzgrenzwerts.

Die Formaldehyd-Grundbelastung vor dem Aufheizen lag zwischen 0,012 und 0,018 mg/m³. Die Grundbelastung nach dem Aufheizen ohne Aufguss lag zwischen 0,18 und 0,37 mg/m³ also ca. 10-20 Mal so hoch.

Bei den Aufgüssen lagen die ermittelten Konzentrationen im Atembereich des Saunameisters zwischen 0,56 und 2 mg/m³ (Tabelle 23 bis 25).

Die Raumtemperaturen wurden an den Thermometern in den Saunaräumen zwischen 90 und 100°C abgelesen und geben daher nur einen groben Anhalt für die tatsächliche Temperatur.

Die Oberflächentemperaturen an den Öfen wurden messtechnisch nicht erfasst.

Die dokumentierten Rahmenbedingungen der Saunaräume:

Sauna 3 (Yin Yang Sauna), zwei Aufgüsse

Aufgussmittel: 1. Aufguss Eukalyptus/ 2. Aufguss Birke

Ausgussmenge: ca. 5 Liter

Grundfläche 37,49 m², Raumvolumen: ca. 100 m³

Lüftungstechnik: vorhanden – im Stand-by - Betrieb

Sauna 5 (Aroma-Sauna), zwei Aufgüsse

Aufgussmittel: 1. Aufguss Kräutermischung/ 2. Aufguss Eisminze

Ausgussmenge: ca. 5 Liter

Grundfläche: 19,55 m² Raumvolumen: ca. 50 m³

Lüftungstechnik: keine

Sauna 8 Damensauna (Venus-Sauna), ein Aufguss

Aufgussmittel: Menthol

Ausgussmenge: ca. 5 Liter

Grundfläche: 10,45 m², Raumvolumen: ca. 30 m³

Lüftungstechnik: keine

Tabelle 14: Formaldehydkonzentrationen in drei untersuchten Saunaräumen (Phase 0, Saunabetrieb TT)

| Sauna- raum | Duftessenz für den Aufguss | Formaldehydkonzentration [mg/m ³] | | | | Raumtemperatur/ Luftfeuchte rH |
|----------------|----------------------------------|---|--|--|--|-----------------------------------|
| | | Grund- belastung vor dem Aufheizen | Spalte 1: Grund- belastung nach dem Aufheizen vor erstem Aufguss | Spalte 2: Beim Aufguss (Dauer 5-6 Minuten) | Differenz Spalte 2- Spalte 1 Erhöhung durch Aufguss | |
| 3 | Eukalyptus | 0,012 | 0,18 | 0,79 | 0,61 | 90°C/ 23% |
| 3 | Birke | | | 1,1 | 0,92 | 90°C/ 23% |
| 5 | Kräuter- mischung | 0,013 | 0,25 | 2,0 | 1,75 | 100°C/ 25% |
| 5 | Eisminze | | | 0,95 | 0,7 | 95°C/ 25% |
| 8 | Menthol | 0,018 | 0,37 | 0,56 | 0,19 | 90°C/23% |

Aus der Differenz der Formaldehydkonzentrationen bei der Grundbelastung nach dem Aufheizen und beim Aufguss lässt sich ein durch das Aufgusswasser entstandener Formaldehydanteil abschätzen. Dabei wird angenommen, dass die Zwischenlüftung, die der Saunameister mit dem Handtuch durchführte, die Grundbelastung nach dem Aufheizen wieder hergestellt hat. Nicht ermittelt und nicht berücksichtigt wurde eine Restemission von vorangegangenen Versuchen. Dass dies möglich ist, wurde erst bei den Versuchen in Phase 2 nachgewiesen. Bei den zwei aufeinanderfolgenden Messungen in den Saunaräumen 3 und 5 ist die zweite Messung daher eventuell überschätzt, da vom vorangegangenen Aufguss noch Restkonzentrationen vorhanden sein können und damit die Grundbelastung theoretisch höher liegt.

Arbeitsplatzmessungen Phase 1

In Phase 1 wurden die Arbeitsplatzmessungen in drei verschiedenen Saunabetrieben und in drei Saunaräumen unter Beachtung der Herstellerangaben für die Dosierung und unter Beachtung der Richtlinien der DGfDB für Saunaaufgüsse durchgeführt. Die Dosierempfehlungen der Hersteller variierten von 4 ml/ Liter bis maximal 30 ml/ Liter. Die höchste Dosiermenge wurde nicht verwendet, da diese nach Meinung der Anwender zu hoch ist. Stattdessen wurden 20 ml/ Liter dosiert (Tabelle 7). Über die Konzentration der Duftstoffe in den Konzentraten liegen keine Informationen vor. Der Alkoholanteil (Ethanol oder 2-Propanol) liegt laut Sicherheitsdatenblättern überwiegend zwischen 50 und 95 %. Die höchste ermittelte Formaldehydkonzentration in den drei Saunen war 0,33 mg/m³. Darin ist der Anteil der Grundbelastung (Tabellen 34 bis 36) aus dem Raum bzw. von vorangegangenen Untersuchungen aus den Steinen enthalten. Die höchste ermittelte Differenz zwischen Aufguss und Leermessung war 0,19 mg/m³ (Tabellen 15 A-15 C).

Tabelle 15 A: Sauna AT: Formaldehydkonzentrationen bei Dosierung nach Herstellerangaben und soften Aufgüssen

Ofenart: Elektro, 8 Steinschichten

Temperaturbereich: 100-450 °C, höchster Temperaturbereich war vom Aufgusswasser nicht erreichbar

| Art der Messung | Raumtemperatur | Formaldehydkonzentration [mg/m ³] |
|------------------------------------|----------------|---|
| Grundbelastung vor dem Aufheizen | ca. 40°C | <0,12 ⁹ |
| Grundbelastung nach dem Aufheizen | 90-100°C | 0,081 |
| Leermessung zwischen den Aufgüssen | 90-100°C | 0,059 - 0,21 |
| Exposition bei Aufgüssen | 90-100°C | 0,11 - 0,22 |
| Differenz Aufguss-Leermessung | | 0,01 - 0,12 |

Tabelle 15 B: Sauna MM: Formaldehydkonzentrationen bei Dosierung nach Herstellerangaben und soften Aufgüssen

Ofenart: Elektro, 3 Steinschichten

Temperaturbereich: 150-450 °C, höchster Temperaturbereich war vom Aufgusswasser erreichbar

| Art der Messung | Raumtemperatur | Formaldehydkonzentration [mg/m ³] |
|------------------------------------|----------------|---|
| Grundbelastung vor dem Aufheizen | ca. 40°C | 0,041 |
| Grundbelastung nach dem Aufheizen | 90-100°C | 0,28 |
| Leermessung zwischen den Aufgüssen | 90-100°C | 0,13 – 0,17 |
| Exposition bei Aufgüssen | 90-100°C | 0,16 - 0,33 |
| Differenz Aufguss-Leermessung | | 0 – 0,19 |

Tabelle 15 C Sauna FS: Formaldehydkonzentrationen bei Dosierung nach Herstellerangaben und soften Aufgüssen

Ofenart: Gas, 1-2 Steinschichten

Temperaturbereich: 100-250 °C, höchster Temperaturbereich war vom Aufgusswasser erreichbar

| Art der Messung | Raumtemperatur | Formaldehydkonzentration [mg/m ³] |
|------------------------------------|----------------|---|
| Grundbelastung vor dem Aufheizen | ca. 40°C | < 0,031 |
| Grundbelastung nach dem Aufheizen | 90-100°C | 0,058 |
| Leermessung zwischen den Aufgüssen | 90-100°C | 0,052 – 0,11 |
| Exposition bei Aufgüssen | 90-100°C | 0,04 – 0,16 |
| Differenz Aufguss-Leermessung | | 0 - 0,078 |

Temperaturprofile an den Heizgeräten

Die Heizgeräte unterschieden sich durch ihre Bauform und ließen unterschiedliche Temperaturprofile erwarten. Als entscheidend für die Formaldehydemissionen wurden die Temperaturen an den Oberflächen erachtet, die von dem Aufgusswasser erreicht werden konnten. Dies sind die oberen Steinschichten, können aber je nach Aufgussmenge und -geschwindigkeit auch darunter liegende Oberflächen sein, wenn Teile des Aufgusswassers durchlaufen. Bei dem Heizgerät 1 mit den acht Steinschichten war dies nicht möglich. Bei den Heizgeräten Nr. 2 und Nr. 3 mit lediglich bis zu drei Steinschichten konnten auch die Auflageflächen der Steine unmittelbar über der Heizung von der

⁹ Die analytische Bestimmungsgrenze liegt mit 0,12 mg/m³ höher als die Konzentration nach dem Aufheizen. Dies ergab sich durch einen geringen Volumenstrom und eine kurze Probenahmedauer. In den Folgemessungen wurden die Probenahmeparameter angepasst, wodurch geringere Bestimmungsgrenzen möglich wurden.

Flüssigkeit erreicht werden. Bei dem Heizgerät 3 (Gasheizung) konnte die Heizfläche von der Flüssigkeit erreicht werden. Die oberste Steinschicht erreichte Temperaturen zwischen 100 und ca. 250 °C. Die maximale Temperatur wurde mit ca. 450°C bei den Elektroöfen an der Auflagefläche der Steine über der Heizung gemessen. Eine Ausnahme bildete der Gasofen, bei dem die höchste Temperatur auf dem Heizrohr im Saunaraum 250 °C betrug.

Tabelle 17: Temperaturen an den Heizgeräten

| Heizgerät Nr. | Heizung | Saunasteine | Temperatur °C Heizung | Temperatur °C Auflagefläche | Temperatur °C oberste Steinschicht |
|---------------|---------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 1 (AT) | Elektro | 8 Schichten Olivindiabar/Granit | ≥500 | 450 | 100-150 |
| 2 (MM) | Elektro | 3 Schichten Keramische Steine | ≥500 | 450 | 150-250 |
| 3 (FS) | Gas | 1-2 Schichten Olivindiabar Granit | 250 | 200 | 100-150 |

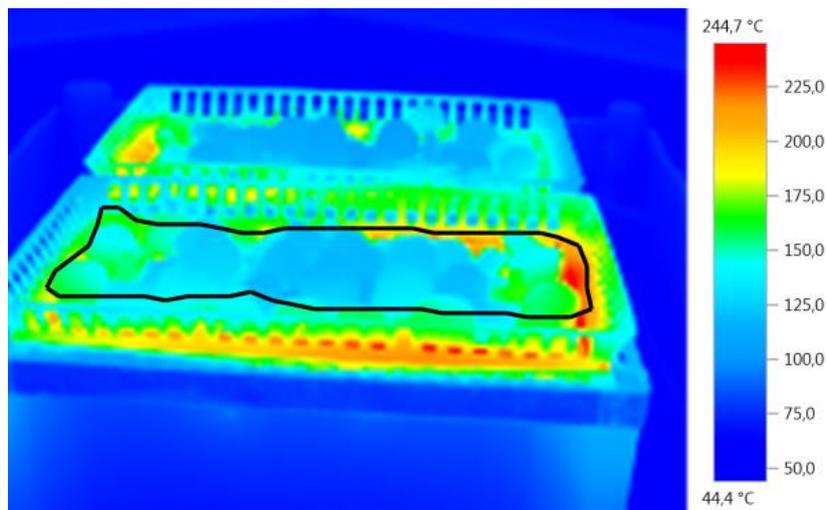


Abb. 1: Heizgerät 1, Sauna AT, Wärmebild mit Profilbereich

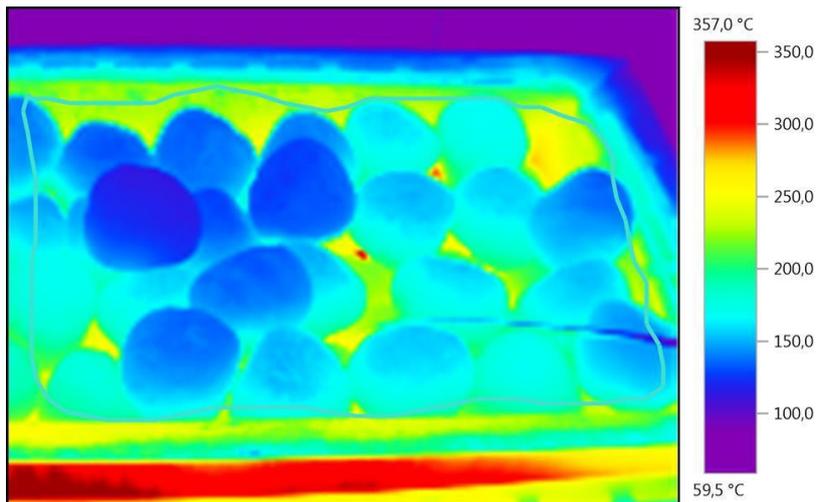


Abb. 2.: Heizgerät 2, Sauna MM, Wärmebild mit Profilbereich

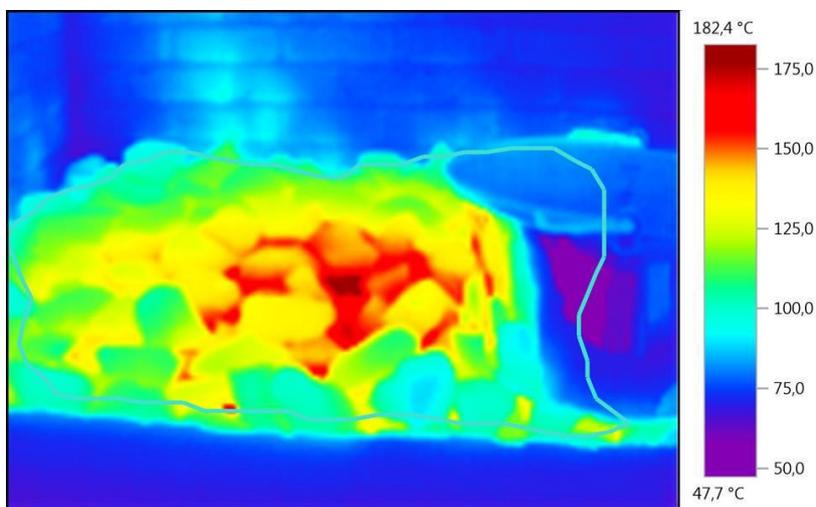


Abb. 3: Heizgerät 3, Sauna FS, Wärmebild mit Profilbereich

Arbeitsplatzmessungen Phase 2

Die Arbeitsplatzmessungen in Phase 2 wurden wie in Phase 1 unter standardisierten Arbeitsbedingungen durchgeführt. Die Rahmenbedingungen unterschieden sich bezüglich der Dosierung (gering und hoch) sowie der Art des Aufgusses (soft und hart). Alle Bedingungen wurden kombiniert. Zum Einsatz kamen die Aufgussmittel S2 Citrus, J Citrus, S1 Kräuter. Die Messungen fanden in einem Saunaraum verteilt über drei Tage statt. Messtag 1 und 2 lagen direkt hintereinander, zwischen Messtag 2 und 3 lagen 14 Tage. Im Folgenden wird nur auf die Formaldehydkonzentrationen eingegangen. Alle ermittelten Aldehyde und Aceton sowie die direktanzeigend ermittelten Konzentrationen sind im Anhang in den Tabellen 29 bis 33 dargestellt. Auch in Phase 2 wurden zwischen den einzelnen Aufgüssen Temperaturprofile der Saunaofensteinoberflächen mit der Wärmebildkamera aufgezeichnet. Die dabei ermittelten Temperaturen lagen im Bereich von 144 und 200° C.

Die Messung der Grundbelastung vor dem Aufheizen (Raumtemperatur ca. 40°C) wurde an Messtag 1 und Messtag 3 ermittelt. Die Formaldehydkonzentrationen lagen vor dem Aufheizen bei $\leq 0,01 \text{ mg/m}^3$. Nach dem Aufheizen lagen die Konzentrationen zwischen 0,053 und 0,13 mg/m^3 . Die geringste Formaldehydkonzentration bei einem Aufguss wurde für S2 Citrus mit einer Formaldehydkonzentration von 0,25 mg/m^3 ermittelt, wobei darin eine Grundbelastung von 0,05 bis 0,13 mg/m^3 enthalten ist. Bei

nahezu allen Messungen lag die Grundbelastung nach einem Aufguss höher als vorher. Nur bei einem Aufguss war dies umgekehrt. Die Grundbelastung lag mit $1,5 \text{ mg/m}^3$ im hohen Konzentrationsbereich. Beim nachfolgenden Aufguss lag die Konzentration niedriger ($0,7 \text{ mg/m}^3$). Die Ursache für die hohe Grundbelastung lag im vorangegangenen Aufguss, der mit einem stark überdosierten Aufgussmittel (J Citrus) erfolgte. Dieser Versuch brachte die höchsten Konzentrationen während eines Aufgusses (Bank: $2,2 \text{ mg/m}^3$, Atembereich $2,1 \text{ mg/m}^3$).

Der Ausgangszustand der Grundbelastung nach dem Aufheizen und vor den Aufgüssen konnte nach den Aufgüssen trotz intensiver Lüftung nicht mehr hergestellt werden.

Mit dem direktanzeigenden Messgerät wurden die Konzentrationsverläufe an den drei Messtagen aufgezeichnet. In einem Fall wurde mit dem direktanzeigenden Messgerät ca. die doppelte Konzentration gemessen wie mit dem Laborverfahren angegeben. Die Ursache konnte nicht geklärt werden. Die Ergebnisse während der Aufgüsse für die Probenahme im Atembereich und auf der Bank zeigten mit Abweichungen von maximal ca. 10% immer eine gute Übereinstimmung.

Interpretation der Emissionsmessungen und Arbeitsplatzbewertung

Für die Emissionsmessungen, die begleitend zu den Arbeitsplatzmessungen erfolgten gibt es keine Bewertungsgrundlagen. Die Ergebnisse wurden vom Labor des IFA aus chemisch fachlicher Sicht interpretiert. Die Bewertung von Messergebnissen erfolgt bei Arbeitsplatzmessungen auf der Grundlage Technischer Regeln für Gefahrstoffe (TRGS).

Interpretation der Emissionsmessungen

Die im Labor vorgenommenen Emissionsmessungen verfolgten die Zielsetzung, unabhängig von betrieblichen Rahmenbedingungen Gefahrstoffemissionen durch Aufgussmittel bei verschiedenen Temperaturen mit Hilfe der beschriebenen Versuchsanordnungen zu ermitteln und geeignete Aufgussmittel für die Arbeitsplatzmessungen zu finden. Die Ergebnisse zeigten kein einheitliches Bild, weder in Bezug auf die Produkte eines Herstellers noch auf eine konkrete Duftrichtung.

Generell sind die Formaldehydemissionen bei Raumtemperatur mit einem maximalen Wert von $0,4 \text{ µg/ml}$ pro Stunde gering. Erwartungsgemäß steigen die Emissionen von Aldehyden und Aceton mit zunehmender Temperatur in exponentiellen Kurvenverläufen, deren Steigungen ab circa 350 °C stark zunehmen.

Acetaldehyd und Aceton werden als Oxidationsprodukte der Lösungsmittel Ethanol und Isopropanol bei hohen Temperaturen in höherem Maße emittiert als Formaldehyd. Der Einfluss des Lösungsmittels auf die Formaldehydemission ist dagegen gering, bei der Pyrolyse spielen vermutlich katalytische Prozesse eine größere Rolle.

Auf Grundlage der durchgeführten Temperaturmessungen lässt sich ableiten, dass es beim Aufgussvorgang zur Bildung höherer Konzentrationen durch pyrolytische Zersetzungsprozesse kommt, wenn die Aufgusslösung in tiefere, heißere Bereiche des Ofens vordringt.

Arbeitsplatzbewertung

Die Arbeitsplatzbewertung ist ein wesentlicher Bestandteil der Gefährdungsbeurteilung, die als Arbeitgeberpflicht bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen in § 6 der Gefahrstoffverordnung [6] verankert ist. Zur Durchführung dieser gesetzlichen Verpflichtung kann der Arbeitgeber auf diverse Technische Regeln für Gefahrstoffe zurückgreifen. Die TRGS 400 [7] beschreibt eine Vorgehensweise für alle Expositionspfade, wobei die berufliche Exposition in der Regel dermal und inhalativ charakterisiert ist. Die dermale Exposition war nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchungen. Die inhalative Exposition wurde untersucht und wird nachfolgend auf der Grundlage spezifischer TRGS bewertet.

Bewertungsgrundlagen für die Gefahrstoffmessungen

Saunaaufgüsse sind Tätigkeiten mit Gefahrstoffen bei denen es Reaktionsprodukte gibt, die zu einer Exposition der Beschäftigten führen. Die Bewertungsgrundlagen für die Exposition am Arbeitsplatz sind die TRGS 402 [8] und die TRGS 900 [9]. Die TRGS 402 beschreibt Methoden und Verfahren für die Beurteilung der inhalativen Exposition. Die TRGS 900 führt die stoffbezogenen Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) auf, mit denen eine 8-stündige Arbeitsschicht bewertet wird. Bei Saunaaufgüssen ist Formaldehyd der einzige zu bewertende Stoff, da die anderen Stoffe im Bezug zum jeweiligen Grenzwert für die Bewertung vernachlässigt werden können. In der Regel lagen diese Konzentrationen weit unter 10% der jeweiligen Grenzwerte. Eine Summenbewertung für Stoffgemische wird daher nicht durchgeführt.

Zur Berechnung des Schichtmittelwerts C_S werden nach TRGS 402 alle Expositionsanteile in einer Arbeitsschicht zeitgewichtet addiert und in Bezug zur Schichtdauer gesetzt (Formel 1).

$$\text{Formel 1: } C_S = (C_1 \cdot T_1 + C_2 \cdot T_2 + C_3 \cdot T_3 + \dots + C_n \cdot T_n) / T_{\text{Schicht}}$$

C_n : Stoffkonzentration im Zeitraum T_n

T_{Schicht} : in der Regel acht Stunden

Zur Bewertung wird der Schichtmittelwert C_S durch den Grenzwert GW geteilt und somit ein Stoffindex I berechnet (Formel 2). Der maximal zulässige Index ist 1.

$$\text{Formel 2: } I = C_S / \text{GW}$$

Die TRGS 900 liefert zusätzlich Bewertungsgrundlagen für kurzzeitig erhöhte Expositionen, das heißt Konzentrationen über dem AGW, in Form von Kurzzeitwertbedingungen.

Formaldehyd hat einen AGW von $0,37 \text{ mg/m}^3$ und einen Kurzzeitwert von $0,74 \text{ mg/m}^3$. Hinzu kommt die Bedingung der Kategorie I (Stoffe bei denen die lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist oder atemwegssensibilisierende Stoffe), dass die erhöhte Exposition 15 Minuten nicht überschreiten darf und nicht häufiger als viermal pro Schicht vorkommen darf. Für die Intervalle zwischen den Kurzzeitwertphasen ist eine Dauer von einer Stunde anzustreben.

Bewertungsergebnis

Die Untersuchungen erfolgten unter nachgestellten Bedingungen, die in Phase 0 der betrieblichen Praxis entsprachen aber in den Phasen 1 und 2 zum Teil deutlich davon abweichen konnten. Die Ergebnisse von Befragungen dienten daher zur Einschätzung üblicher Arbeitsbedingungen. Demnach dauern die Aufgusszeremonien zwischen 5 und 12 Minuten und werden bis zu sechsmal pro Schicht durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurde ein Expositionsszenario erstellt. Setzt man eine Dauer von 10 Minuten für eine Aufgusszeremonie an und addiert sechs Aufgusszeremonien pro Schicht (8 Stunden), die von einem Saunameister durchgeführt werden, dann liegt die gesamte Expositionsdauer bei einer Stunde.

Bewertung Schichtmittelwert

Geht man von sechs gleichartigen Aufgüssen aus und unterstellt man im Sinne einer worst-case-Annahme die höchste gemessene Formaldehydkonzentration von ca. 2 mg/m^3 bei jedem Aufguss, so ergibt sich ein 8h-Schichtmittelwert von $0,25 \text{ mg/m}^3$ und ein Index von 0,67, also 67% des zulässigen Werts.

$$C_s = 6 \cdot (2 \text{ mg/m}^3 \cdot 10 \text{ min}) / 480 \text{ min} = 0,25 \text{ mg/m}^3$$

$$I = 0,25 / 0,37 = 0,67$$

Der zulässige Index ist 1.

Die Grenzwerte weiterer Stoffe liegen vergleichsweise hoch (z.B. Aceton: 1200 mg/m^3) und haben daher keinen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtexposition. Eine Bewertung dieser Stoffe und eine Aufsummierung der einzelnen Stoffindizes zur Ermittlung eines Bewertungsindex für ein Stoffgemisch werden daher nicht vorgenommen.

Bewertung Kurzzeitwert

Erhöhte Formaldehydkonzentrationen über dem Arbeitsplatzgrenzwert wurden bei zwei Arbeitsplatzmessungen in Phase 0 festgestellt. Damit kam die Kurzzeitwertbeurteilung zum Tragen. Auf Grund der Expositionsdauer von 10 Minuten wurde die zulässige Kurzzeitwerthöhe lediglich bei einem Aufguss überschritten. Der zulässige Kurzzeitwert für Formaldehyd wurde in den Phasen 1 und 2 in nahezu allen Fällen unterschritten. Die festgelegte Expositionsdauer lag mit 10 Minuten unterhalb der maximal zulässigen Dauer für die erhöhte Exposition. Bei zwei Aufgüssen in Phase 2 wurde unter Extrembedingungen die maximal zulässige Formaldehydkonzentration überschritten. Die im Atembereich gemessenen Konzentrationen von $2,0$ und $2,1 \text{ mg/m}^3$ entstanden mit einem stark überdosierten Aufgusswasser (30 ml/l). Das gleiche Aufgussmittel wies bei der Dosierung nach Herstellerangabe (4 ml/l) im Vergleich zu den anderen Aufgussmitteln zwar ebenfalls die höchsten Konzentrationen im Atembereich auf ($0,48$ - $0,56 \text{ mg/m}^3$), allerdings lagen diese Konzentrationen noch unterhalb der zulässigen Kurzzeitwerte. Die Konzentrationen zwischen der hohen und geringen Dosierung lagen damit ca. um den Faktor vier auseinander. Der Vergleich der Formaldehydkonzentrationen bei harten Aufgüssen und weichen Aufgüssen lieferte kein eindeutiges Ergebnis. In einigen Versuchen waren die Konzentrationen bei den harten Aufgüssen höher, in anderen geringer. Eine Schwierigkeit lag in den Ermittlungen der Grundbelastung vor den Aufgüssen (Leermessungen). Diese waren teilweise so hoch, dass einige nachfolgende Messungen nicht mehr verglichen werden konnten.

Ergebniszusammenfassung und Schlussfolgerung

Mit einem Messprogramm wurden in fünf gewerblichen Saunen Gefahrstoffemissionen und die Exposition der Beschäftigten beim Aufgießen von Aufgusswässern während Aufgusszeremonien systematisch ermittelt. Das Messprogramm wurde auf Initiative des DGUV-Sachgebietes Bäder von zwei gesetzlichen Unfallversicherungen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Arbeitsschutz organisiert und durchgeführt. Erste Laboruntersuchungen ausgewählter Aufgussmittel eines Herstellers ließen bei Raumtemperatur keine relevanten Aldehydemissionen erkennen. Eine exemplarische Laboruntersuchung bei 380 °C lieferte Hinweise auf hohe Formaldehyd- und Ketonemissionen. Physikalisch-chemisch war dies erklärbar, da durch pyrolytische Zersetzungsvorgänge bei hohen Temperaturen Aldehyde entstehen können. Heiße Oberflächen haben dabei eine katalytische Wirkung. Als Hypothese wurde in den Raum gestellt, dass die Duftstoffe oder andere Substanzen im Aufgussmittel einen verstärkenden Effekt haben könnten. Diese Hypothese wurde unterstützt durch die Laborversuche mit Aufgussmitteln und mit Alkoholen im Vergleich. Aufgussmittel lieferten höhere Aldehydemissionen als die reinen Alkohole, in denen die Duftstoffe gelöst waren. Es wurde vermutet, dass derselbe Effekt auftreten kann, wenn bei den Aufgüssen Aufgusswasser auf heiße Flächen der Heizgeräte in den Saunaräumen gelangt. Besonders im Fokus stand Formaldehyd, der wegen seiner gefährlichen Eigenschaften der kritischste der ermittelten Stoffe ist.

In der Pilotphase der Untersuchungen (Phase 0) wurden simulierte Arbeitsplatzmessungen unter Bedingungen durchgeführt, die in dem oben genannten Betrieb üblich waren. Zwei der verwendeten Duftstoffe ergaben Formaldehydkonzentrationen über dem zulässigen Kurzzeitwert. Auch die vorangegangenen Messungen externer Messstellen wiesen Überschreitungen des Kurzzeitwerts für Formaldehyd nach.

In einer weiteren Untersuchungsphase (Phase 1) wurden die Dosierempfehlungen der Hersteller der Aufgussmittel befolgt und die Richtlinien der DGfDB berücksichtigt. Dies bedeutete vorsichtige, langsame Aufgüsse und damit einhergehend ein geringes Risiko, dass Aufgusswasser durch die Steine auf die heißeren Heizoberflächen fließen konnte. Formaldehyd wurde bei den Untersuchungen in verhältnismäßig geringen Konzentrationen nachgewiesen. Vor dem Aufheizen der Sauna lag die Formaldehydkonzentration im Bereich der Bestimmungsgrenze des Messverfahrens (0,03-0,04 mg/m³). Bereits nach dem Aufheizen, vor den Aufgüssen, erhöhte sich die Grundbelastung ohne Aufguss ca. um den Faktor 7 bis auf 0,28 mg/m³. Bei den meisten Versuchen erhöhten sich die Formaldehydkonzentrationen durch die Aufgüsse noch weiter. Unter den gewählten Arbeitsbedingungen waren die Grenzwerte (Schichtmittelwert und Kurzzeitwert) für Formaldehyd aber durchgängig unterschritten. Die maximale gemessene Konzentration lag bei 0,33 mg/m³ wobei hier eine Grundkonzentration ohne Aufguss von 0,14 mg/m³ enthalten war. Die maximale Differenz zwischen der Grundbelastung in den Saunaräumen ohne Aufgüsse und den Formaldehydkonzentrationen beim Aufguss lag bei 0,19 mg/m³. Auf Grund der Ergebnisse in Phase 0 blieb aber der Verdacht, dass bei bestimmten ungünstigen Rahmenbedingungen, die durchaus in Saunen üblich sind, höhere Formaldehydkonzentrationen entstehen können. Zu den verdächtigsten Rahmenbedingungen gehörten harte, schnelle Aufgüsse sowie Überdosierungen.

Um potenziell ursächliche Rahmenbedingungen für höhere Konzentrationen simulieren zu können, wurde für einen weiteren Untersuchungsschritt (Phase 2) ein neues Konzept erstellt. Arbeitsplatzmessungen

erfolgten wieder unter standardisierten Rahmenbedingungen, allerdings diesmal mit vorsichtig, langsam ausgeführten Aufgüssen (soft) und schnell ausgeführten Aufgüssen (hart) sowie geringen und hohen Dosierungen (auch Überdosierungen). Der Vergleich der Konzentrationen unter verschiedenen Rahmenbedingungen erhärtet die Vermutung, dass die Dosierung der Aufgussmittel einen großen Einfluss auf die Höhe der Emission und damit auf die Exposition hat. Die ermittelten Formaldehydkonzentrationen erreichten für das 10-minütige Aufgussritual bei überdosierten Aufgusswässern bis zu 2 mg/m^3 . Ein Einfluss der Aufgussart, soft oder hart, konnte mit den Untersuchungen nicht eindeutig nachgewiesen werden. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Emissionsmessungen im Labor, so ist deutlich zu erkennen, dass höhere Temperaturen höhere Emissionen zur Folge haben. Für die Praxis bedeutet dies: je heißer die Oberflächen, auf die das Aufgusswasser gelangt, desto höher ist die zu erwartende Formaldehydkonzentration. Somit ist die Art des Aufgusses (hart oder soft) mit hoher Wahrscheinlichkeit doch ein wichtiger Faktor, wenn zum Beispiel bei harten Aufgüssen Flüssigkeit auf heiße Bauteile durchfließt. Die Bauart des Heizgeräts wird dabei eine Rolle spielen. Eine Tendenz zeigen die Arbeitsplatzmessungen in Phase 1. Hier wurden bei dem Elektroofen mit nur wenigen Steinschichten die höchsten Konzentrationen nachgewiesen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei der Durchführung von Saunaaufgüssen chemische Substanzen in den Saunaraum freigesetzt werden können, die sich von den Originalsubstanzen unterscheiden. Alle Aufgussmittel wiesen im Laborversuch bei Temperaturen ab ca. 200 °C ansteigende Formaldehydemissionen auf. Ab ca. $300\text{-}350 \text{ °C}$ steigen die Emissionen exponentiell an. Einzelne Aufgussmittel wiesen zwar höhere Emissionen auf, dies kann aber nicht als grundlegend gültiger Hinweis auf höhere Arbeitsplatzkonzentrationen gewertet werden. Die Verdünnung des Aufgusswassers spielt dabei voraussichtlich eine wesentliche Rolle. Für ein Produkt galt dieser Zusammenhang dennoch. Das Produkt J Citrus zeigte die höchsten Emissionswerte und trotz stärkster Verdünnung auch die höchsten Arbeitsplatzkonzentrationen.

Die Arbeitsplatzmessungen zeigten, dass die Arbeitsplatzgrenzwerte und Kurzzeitwerte nach TRGS 900 für alle ermittelten Stoffe und insbesondere auch für Formaldehyd bei Einhaltung der Dosiervorschriften der Hersteller und der Empfehlungen der DGfDB für die untersuchten Aufgussmittel unterschritten wurden. Überschreitungen des Kurzzeitwerts für Formaldehyd entstanden im Einzelfall bei Überdosierung der Aufgusswässer.

Literatur

- [1] Tappler, Damberger, Twardik, Schmöger. Formaldehyd in Saunen, Ergebnisse des 9. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 23. und 24. September 2010 in Nürnberg. S. 84-90
- [2] Kalkowsky und Kampmann. Arbeitsmedizinische Beurteilung der Belastungen heutiger Aufgusspraxis. Bernhard Kalkowsky und Priv.-Doz. Dr. Bernhard Kampmann
Sauna & Bäderpraxis 1/2008 Seite 25-28
- [3] Wilke, Wiegner, Jann, Brödner, Scheffer. Emissionsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung im Auftrag des Umweltbundesamtes 07/2012. Forschungskennzahl 3707 62 301. UBA-FB 001580. <http://www.uba.de/uba-info-medien/4262.html>
- [4] Richtlinien zur Durchführung von Saunaaufgüssen in öffentlichen Saunaanlagen
Deutsche Gesellschaft für das Badewesen (DGfdB) R26.30.04. Mai 2011
- [5] Gensow. Aufguss heute- Wirkungen und Praxis. Sauna und Bäderpraxis 1/2016 Seite 27-29
- [6] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010 (BGBl. I S 1643) zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 03. Februar 2015 (BGBl. I S 49)
- [7] TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“, Ausgabe: Dezember 2010, GMBI 2011 Nr. 2 S. 19-32 (31.01.2011), zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2012 S. 715 vom 13.09.2012 [Nr. 40]
- [8] TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ GMBI 2010 S. 231-253 (vom 25.02.2010) geändert und ergänzt: GMBI 2014 S. 254-257 vom 02.04.2014 [Nr. 12]
- [9] TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ Ausgabe: Januar 2006, BArBI Heft 1/2006 S. 41-55, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2016 S. 474 v. 24.6.2016 [Nr. 24]

Anhang

Anhang 1

Fragebogen zu technischen Rahmenbedingungen und zum Arbeitsverfahren

Bitte per Fax oder Mail zurück an
 Fachbereich Gefahrstoffe z.H. Herr Wegscheider
 Fax: 0221 3772 5346
 Mail: wolfgang.wegscheider@bgw-online.de



Vorinformationen zur Untersuchung der Gefahrstoffexposition bei Saunaaufgüssen

Betrieb: Name _____ Adresse: _____ PLZ; Ort: _____

Ansprechpartner: _____ Funktion im Betrieb: _____ Telefon: _____

Saunaraum: Bezeichnung _____ Abmessung (L/B/H) _____ Raumvolumen (m³): _____

Einbaumaterialien (Holzarten und andere Materialien z.B. Decke, Boden, Wände, Bänke, Isolation wenn vorhanden)

Lüftung: natürliche Lüftung

technische Lüftung:

Luftführung (woher kommt die Luft, wie kommt sie in den Raum, wohin geht sie)

Luftmengen (m³/h) Abluft _____ Zuluft _____ Umluft _____

Saunaofen: Elektro Gas Holz

Hersteller: _____ Baujahr: _____ Typenbezeichnung: _____ Herstellernummer: _____

Abmessungen (L/B/H): _____ Heizleistung: _____ KW

Abtrennung zwischen Heizung und Steinen:

Art der Abtrennung: Lochblech/ Gitter geschlossenes Stahlblech mit Aufkantung geschlossenes Stahlblech ohne Aufkantung

Andere Abtrennung _____

Saunasteine: Steinmasse (kg) _____ Art der Steine _____ Anzahl Steinschichten _____

Größe der Steine (jeweils maximaler Durchmesser) ≤ 10cm 11-20cm 21-30cm

Form der Steine: abgerundet kantig

Alter der Steine (Kaufdatum ca.) _____

Arbeitsablauf beim Aufguss

Ein Aufgussritual besteht aus mehreren Einzelaufgüssen, die wiederum mehrere Schöpfkellenleerungen umfassen. Nach jedem Einzelaufguss gibt es eine Aufgusspause, in der die Luft z.B. mit dem Handtuch verwirbelt wird.

| Parameter | Minimal | Mittel | Maximal |
|--|---------|--------|---------|
| Dauer eines Aufgussrituals (Minuten) =Gesamtdauer | | | |
| Anzahl der Einzelaufgüsse pro Ritual (i.d.R. 3) | | | |
| Aufgusspause zwischen den Einzelaufgüssen (Minuten) | | | |
| Dauer eines Einzelaufgusses (Sekunden) | | | |
| Anzahl Schöpfkellenleerungen pro Einzelaufguss | | | |
| Menge des Aufgussmittels pro Schöpfkelle (z.B. 500 ml) | | | |
| Dauer einer Schöpfkellenleerung (Sekunden) | | | |

Bemerkungen:

Emissionsmessungen bei Raumtemperatur

Unverdünnte ätherische Öle können drei bis fünf ppm Formaldehyd enthalten. Die Emissionen bei Raumtemperatur wurden zu Beginn der Untersuchungen beispielhaft für 15 ausgewählte Produkte des Herstellers S1 ermittelt.

Tabelle 18: Aldehyd-/Acetonemission bei Raumtemperatur, 15 Proben des Herstellers S1 (Sauna TT), Analysenbericht vom 26.3.2013

| Nr. | Duftessenz | Raumtemperatur 20°C | Formaldehyd [µg/ml Essenz] | Acetaldehyd [µg/ml Essenz] | Propionaldehyd [µg/ml Essenz] | Butyraldehyd [µg/ml Essenz] | 2-Propenal [µg/ml Essenz] | Aceton [µg/ml Essenz] |
|-----|---------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 1 | Eukalyptus | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / 0,37 | 1,9 / 1,6 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 26 / 16 |
| 2 | Salbei | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / 0,35 | 2,4 / 3,6 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 99 / 57 |
| 3 | Eisminze | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / <0,28 | 1,7 / 1,5 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 19 / 12 |
| 4 | Citrone | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / <0,28 | 2,9 / 3,1 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 69 / 40 |
| 5 | Mandarine | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / <0,28 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 31 / 18 |
| 6 | Latsche | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / <0,28 | 1,1 / 1,5 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 22 / 13 |
| 7 | Ciro Mint | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / <0,28 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 16 / 3,2 |
| 8 | Rhabarber-Apfel | 1.Stunde/ 2. Stunde | < 0,28 / <0,28 | <0,57 / 1,0 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 1,5 / 1,3 |
| 9 | Kräuter-mischung | 1.Stunde/ 2. Stunde | 0,34 / <0,28 | 7,7 / 11 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 3,9 / 8,9 |
| 10 | Limone | 1.Stunde/ 2. Stunde | < 0,28 / <0,28 | 1,3 / 1,4 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 31 / 16 |
| 11 | Birke | 1.Stunde/ 2. Stunde | < 0,28 / <0,28 | 1,2 / 1,4 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 2,6 / 1,6 |
| 12 | Kamille | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / 0,37 | 2,4 / 2,2 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 34 / 18 |
| 13 | Blutorange | 1.Stunde/ 2. Stunde | < 0,28 / <0,28 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 3,1 / 1,9 |
| 14 | Lavendel | 1.Stunde/ 2. Stunde | <0,28 / 0,43 | 2,1 / 1,6 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 18 / 11 |
| 15 | Grapefruit* ¹⁰ | 1.Stunde/ 2. Stunde | < 0,28 / <0,28 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,57 / <0,57 | <0,28 / <0,28 | 5,9 / 2,9 |

¹⁰ für die Duftessenz Grapefruit wurden Emissionswerte bei 380°C ermittelt (siehe Tabelle 19)

Emissionsmessung bei 380°C

Ein erster Versuch zur Ermittlung der Emission bei hohen Temperaturen wurde für die Grapefruitessenz unternommen (Tabelle 19).

Tabelle 19: Aldehyd-/Acetonemissionen eines Aufgussmittels (Grapefruit) bei 380 °C

| Freigesetzte Aldehyde und Aceton in mg/ml Essenzkonzentrat | | | | | | | |
|--|------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------|
| Substanz | Temperatur | Form- aldehyd | Acet- aldehyd | Propion- aldehyd | Butyr- aldehyd | 2-Pro- penal | Aceton |
| | [°C] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] |
| Schreiber Grapefruit | 380 | 2,2 | 13,4 | 2,4 | 0,044 | 0,44 | 16 |

Emissionsmessung bei 300 und 500°C

Tabelle 20: Aldehyd-/Acetonemissionen ausgewählter Aufgussmittel bei Temperaturen von 300 und 500°C
Laboruntersuchungen 07/2015

| Freigesetzte Aldehyde und Aceton in mg/ml Essenzkonzentrat | | | | | | | | | |
|--|---|------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|---------------------|---------|------------|
| Hersteller und Duftstoff | Ethanol (E) Isopropanol (P) [%] ¹¹ | | Form- aldehyd | Acet- aldehyd | Butyr- aldehyd | 2-Pro- penal | Propion- aldehyd | Aceton | Summe |
| | | [°C] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] |
| Ethanol | 100 % E | 300 | 0,02 | 0,06 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | 0,09 |
| | | 500 | 0,6 | 61 | 0,04 | 0,05 | 0,14 | 0,75 | 63 |
| Isopropanol | 100% P | 300 | 0,02 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,07 | 0,1 |
| | | 500 | 1,6 | 24 | 0,05 | 0,29 | 0,8 | 160 | 187 |
| J Kamille Melisse | ? | 300 | 0,06 | 0,13 | <0,01 | <0,01 | 0,06 | 0,12 | 0,37 |
| | | 500 | n.b. | n.b. | n.b. | n.b. | n.b. | n.b. | n.b. |
| J Citrus | 50% E | 300 | 0,28 | 0,75 | 1,2 | 0,06 | 0,1 | 0,46 | 2,9 |
| | | 500 | 7 | 38 | 2 | 0,31 | 7 | 12 | 66 |
| J Eisminze | 80% E | 300 | 0,07 | 0,15 | <0,01 | <0,01 | 0,06 | 0,06 | 0,34 |
| | | 500 | 11 | 43 | 0,8 | 0,44 | 10 | 17 | 82 |
| S2 Saunamed | Pinen, Campher | 300 | 0,35 | 0,14 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,7 | 1,2 |
| | | 500 | 6,4 | 8,1 | 0,15 | 0,26 | 0,38 | 15 | 30 |
| S2 Citrus | 95% P | 300 | 0,43 | 0,09 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | 0,5 | 1 |
| | | 500 | 2,6 | 6,8 | 0,12 | 0,06 | 0,45 | 23 | 33 |
| S2 Eisminze | 94,5% P | 300 | 0,3 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | 0,3 | 0,65 |

¹¹ Herstellerangabe

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|
| | | 500 | 3,4 | 8,9 | 0,09 | 0,05 | 0,39 | 55 | 68 |
| S2 Eukalyptus | 46% P | 300 | 0,27 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,18 | 0,47 |
| | | 500 | 1,3 | 7,5 | 0,18 | 0,16 | 0,25 | 48 | 57 |
| S2 Lavendel Kumquat | 92,5 P | 200 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,22 | 0,23 |
| | | 300 | 0,02 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,38 | 0,43 |
| | | 500 | 6 | 3,6 | 0,07 | 0,15 | 0,24 | 49 | 59 |
| P Mandarine- Myrte | wahrsch. EtOH | 300 | 0,07 | 0,29 | 0,01 | <0,01 | 0,02 | 0,26 | 0,65 |
| | | 500 | 0,65 | 48 | 0,09 | 0,17 | 0,75 | 3,4 | 53 |
| F Mango | k.A. | 300 | 0,13 | 0,28 | <0,01 | <0,01 | 0,11 | 0,18 | 0,7 |
| | | 500 | 2 | 31 | 0,14 | 0,28 | 13 | 43 | 89 |
| F Eukalyptus | 50% E 6% P | 300 | 0,06 | 0,11 | 0,03 | <0,01 | 0,57 | 0,05 | 0,82 |
| | | 500 | 5,8 | 31 | 0,19 | 0,16 | 2,8 | 5,7 | 46 |
| F Citrus- Orange | k.A. | 300 | 0,04 | 0,1 | <0,01 | <0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,2 |
| | | 500 | 10 | 46 | 0,26 | 0,31 | 1,8 | 3,2 | 62 |

Tabelle 21: Formaldehydemissionen bei 300 und 500°C im Vergleich; Laboruntersuchungen 07/2015

| Hersteller und Duftstoff | Lösungsmittel Angabe aus SDB | mg Formaldehyd/ ml Essenz bei 300°C | mg Formaldehyd/ ml Essenz bei 500°C | Faktor Konz ₅₀₀ /Konz ₃₀₀ |
|--------------------------|---------------------------------|---|---|--|
| Ethanol | entfällt | 0,02 | 0,6 | 30 |
| Isopropanol | entfällt | 0,02 | 1,6 | 80 |
| J Citrus | 50% E | 0,28 | 7 | 25 |
| J Eisminze | 80% E | 0,07 | 11 | 157 |
| S2 Saunamed | Pinen, Campher | 0,35 | 6,4 | 18 |
| S2 Citrus | 95% P | 0,43 | 2,6 | 6 |
| S2 Eisminze | 94,5%P | 0,3 | 3,4 | 11 |
| S2 Eukalyptus | 46% P | 0,27 | 1,3 | 5 |
| S2 Lavendel Kumquat | Keine Angabe | 0,02 | 6 | 300 |
| P Mandarine-Myrte | wahrscheinlich E | 0,07 | 0,65 | 9 |
| F Mango | k.A. | 0,13 | 2 | 15 |
| F Eukalyptus | 50% E, 6% P | 0,06 | 5,8 | 97 |
| F Citrus-Orange | k.A. | 0,04 | 10 | 250 |
| | Min | 0,02 | 0,60 | |
| | Mittel | 0,15 | 4,49 | |
| | Max | 0,43 | 11,00 | |

Emissionsmessung zwischen 200 und 400°C in 50 K- Schritten

Tabelle 22: Aldehyd- und Actonemissionen in Abhängigkeit von der Temperatur (200-400°C¹²)

| Hersteller und Duftstoff/ Bemerkung | Lösungsmittel Angabe aus SDB | Temperatur | Form aldehyd | Acet aldehyd | Butyr aldehyd | 2-Pro penal | Propion aldehyd | Aceton |
|--|------------------------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|---------|
| | % | [°C] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] | [mg/ml] |
| J Citrus | EtOH | 200 | 0,02 | 0,08 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,05 |
| | ~ 50 | 250 | 0,12 | 0,20 | 0,01 | <0,01 | 0,04 | 0,11 |
| | | 300 | 0,32 | 0,85 | 0,05 | <0,01 | 0,13 | 0,43 |
| | | 350 | 0,55 | 1,6 | 0,11 | 0,03 | 0,50 | 0,80 |
| | | 400 | 1,3 | 5,9 | 0,31 | 0,07 | 1,3 | 2,2 |
| Messung 7/2015 | | 500 | 7 | 38 | 2 | 0,31 | 7 | 12 |
| S2 Citrus | IPA | 200 | 0,02 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,13 |
| | 95 | 250 | 0,14 | 0,05 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | 0,21 |
| | | 300 | 0,39 | 0,12 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | 0,55 |
| Messung 7/2015 | | 300 | 0,43 | 0,09 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | 0,5 |
| | | 350 | 0,50 | 0,35 | 0,01 | <0,01 | 0,04 | 1,7 |
| | | 400 | 0,70 | 1,2 | 0,03 | 0,01 | 0,11 | 5,2 |
| Messung 7/2015 | | 500 | 2,6 | 6,8 | 0,12 | 0,06 | 0,45 | 23 |
| S1 Kräuter | 50-55% | 200 | 0,01 | 0,05 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,06 |
| | | 250 | 0,09 | 0,06 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,15 |
| | | 300 | 0,36 | 0,12 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | 0,43 |
| | | 350 | 0,55 | 0,44 | 0,01 | <0,01 | 0,09 | 0,85 |
| | | 400 | 0,95 | 1,6 | 0,02 | 0,01 | 0,24 | 2,6 |

¹² Aus einer vorangegangenen Untersuchung (7/2015, Emissionen aus Aufgussmitteln bei 300°C und 500°C) lagen bereits Werte für J Citrus und S2 Citrus zu 300°C und 500°C vor. Die Werte für 300 °C entsprachen den neu ermittelten Werten und wurden beibehalten. Die Werte für 500 °C wurden aus der vorangegangenen Untersuchung ergänzt.

Ergebnisse aus Arbeitsplatzmessungen

Die Arbeitsplatzmessungen wurden mit Aufgussmitteln des Herstellers S1 in drei Saunen mit insgesamt 5 Aufgusswässern durchgeführt.

Tabelle 23: Phase 0, 08.08.2013, Sauna TT, Saunaraum 3, Aldehydkonzentrationen

| Zeitpunkt der Messung, Duftstoff, Rahmenbedingungen | Formal- dehyd | Acetal- dehyd | Acrylal- dehyd | Butyral- dehyd | Glutaral (Glutar- dialdehyd) | Propion- aldehyd | Valer- aldehyd |
|---|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|
| | [mg/m ³] | | | | | | |
| vor dem Aufheizen ca. 36°C, Luftfeuchte ca.35% | 0,012 | < 0,018 | < 0,009 | < 0,018 | < 0,018 | < 0,018 | < 0,018 |
| nach dem Aufheizen ca. 95°C, Luftfeuchte ca.18% | 0,18 | 0,15 | 0,015 | < 0,019 | < 0,019 | 0,10 | < 0,019 |
| Beim Aufguss Eukalyptus, ca. 90°C, Luftfeuchte ca.23% | 0,79 | < 0,40 | < 0,20 | < 0,40 | < 0,40 | < 0,40 | < 0,40 |
| Aufguss Birke ca. 90°C, Luftfeuchte ca.23% | 1,1 | 1,1 | < 0,19 | < 0,37 | < 0,37 | < 0,37 | < 0,37 |

Tabelle 24: Phase 0, 08.08.2013, Sauna TT, Saunaraum 5, Aldehydkonzentrationen

| Zeitpunkt der Messung, Duftstoff, Hersteller, Rahmenbedingungen | Formal- dehyd | Acetal- dehyd | Acrylal- dehyd | Butyral- dehyd | Glutaral (Glutar- dialdehyd) | Propion- aldehyd | Valer- aldehyd |
|--|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|
| | [mg/m ³] | | | | | | |
| vor dem Aufheizen ca. 40°C, Luftfeuchte ca.35% | 0,013 | < 0,019 | < 0,010 | < 0,019 | < 0,019 | < 0,019 | < 0,019 |
| nach dem Aufheizen ca. 110°C, Luftfeuchte ca.18% | 0,25 | 0,24 | 0,023 | < 0,018 | < 0,018 | 0,18 | < 0,018 |
| Messwert Sauna 5 Aufguss 1 Kräutermischung ca. 100°C, Luftfeuchte ca.25% | 2,0 | 1,5 | < 0,24 | < 0,48 | < 0,48 | < 0,48 | < 0,48 |
| Messwert Sauna 5 Aufguss 2 Eisminze ca. 95°C, Luftfeuchte ca.25% | 0,95 | 0,82 | < 0,20 | < 0,40 | < 0,40 | < 0,40 | < 0,40 |

Tabelle 25: Phase 0, 08.08.2013, Sauna TT, Saunaraum 8, Aldehydkonzentrationen

| Zeitpunkt der Messung, Duftstoff, Hersteller, Rahmenbedingungen | Formaldehyd | Acetaldehyd | Acrylaldehyd | Butyraldehyd | Glutaral (Glutaraldehyd) | Propionaldehyd | Valeraldehyd |
|--|----------------------|-------------|--------------|--------------|--------------------------|----------------|--------------|
| | [mg/m ³] | | | | | | |
| vor dem Aufheizen ca. 37°C, Luftfeuchte ca.30% | 0,018 | < 0,018 | < 0,009 | < 0,018 | < 0,018 | < 0,018 | < 0,018 |
| nach dem Aufheizen ca. 90°C, Luftfeuchte ca.18% | 0,37 | 0,64 | 0,052 | 0,024 | < 0,020 | | |
| Messwert Sauna 8 Aufguss Menthol ca. 90°C, Luftfeuchte ca.23% | 0,56 | < 0,48 | < 0,24 | < 0,48 | < 0,48 | < 0,48 | < 0,48 |

Tabelle 26: Phase 1, 7.9.2015, Messung Saunaraum Eventsauna, Sauna AT

| Probenbezeichnung | Zeitpunkt der Messung und Duftstoff | Formaldehyd | Acetaldehyd | Propionaldehyd | Butyraldehyd | 2-Propenal | Aceton | Formaldehyd Differenz Aufguss Leermessung |
|-------------------|---|----------------------|-------------|----------------|--------------|------------|---------|---|
| | | [mg/m ³] | | | | | | |
| GLK1 | Leermessung vor Aufheizen | < 0,12 ¹³ | < 0,24 | < 0,24 | < 0,24 | < 0,12 | < 0,24 | |
| GLH2 | Leermessung nach Aufheizen | 0,081 | < 0,12 | < 0,12 | < 0,12 | < 0,061 | < 0,12 | |
| 3 | Aufguss 1 Atembereich (S2 Eukalyptus) | 0,11 | 0,11 | < 0,11 | < 0,11 | < 0,055 | 0,19 | 0,029 |
| 4 | Aufguss 1 vor der Bank (S2 Eukalyptus) | 0,1 | 0,11 | < 0,11 | < 0,11 | < 0,055 | 0,19 | 0,019 |
| GLH5 | Leermessung vor Aufguss 2 | 0,1 | < 0,12 | < 0,12 | < 0,12 | < 0,061 | < 0,12 | |
| 6 | Aufguss 2 Atembereich (S2 Citrus) | 0,22 | 0,35 | < 0,12 | < 0,12 | < 0,061 | 1,2 | 0,12 |
| 7 | Aufguss 2 vor der Bank (S2 Citrus) | 0,22 | 0,34 | < 0,12 | < 0,12 | < 0,061 | 1,1 | 0,12 |
| GLH8 | Leermessung vor Aufguss 3 | 0,12 | 0,098 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 | |
| 9 | Aufguss 3 Atembereich (F Eukalyptus) | 0,14 | 0,24 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,11 | 0,02 |
| 10 | Aufguss 3 vor der Bank (F Eukalyptus) | 0,14 | 0,23 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,1 | 0,02 |
| GLH11 | Leermessung vor Aufguss 4 | 0,12 | 0,11 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 | |
| 12 | Aufguss 4 Atembereich (J Citrus) | 0,19 | 0,5 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,1 | 0,07 |
| 13 | Aufguss 4 vor der Bank (J Citrus) | 0,2 | 0,52 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,11 | 0,08 |
| GLH14 | Leermessung vor Aufguss 5 | 0,21 | 0,31 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 | |

¹³ Die Bestimmungsgrenze wurde durch den Probenahmenvolumenstrom vorgegeben. Die Volumenströme wurden bei den Folgemessungen erhöht, wodurch geringere Bestimmungsgrenzen möglich wurden.

| | | | | | | | | |
|-------|---|-------|-------|---------|---------|---------|--------|-------|
| 15 | Aufguss 5 Atembereich (J Eisminze) | 0,21 | 0,44 | < 0,060 | < 0,060 | <0,031 | 0,068 | 0 |
| 16 | Aufguss 5 vor der Bank (J Eisminze) | 0,19 | 0,4 | < 0,060 | < 0,060 | <0,031 | 0,063 | -0,02 |
| GLH17 | Leermessung vor Aufguss 6 | 0,15 | 0,16 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | <0,060 | |
| 18 | Aufguss 6 Atembereich (Ethanol) | 0,15 | 0,26 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | <0,060 | 0 |
| 19 | Aufguss 6 vor der Bank (Ethanol) | 0,13 | 0,23 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | <0,060 | -0,02 |
| GLH20 | Leermessung vor Aufguss 7 | 0,059 | 0,066 | < 0,060 | < 0,060 | <0,031 | <0,060 | |
| 21 | Aufguss 7 Atembereich (Isopropanol) | 0,088 | 0,11 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,11 | 0,029 |
| 22 | Aufguss 7 vor der Bank (Isopropanol) | 0,086 | 0,1 | < 0,060 | < 0,060 | <0,031 | 0,1 | 0,027 |

AT, Formaldehydkonzentration: Maximale Differenz Aufguss-Leermessung: 0,12 mg/m³ (S2 Citrus)

Tabelle 27: Phase 1, 09. Sept. 2015, Messung Saunaraum Aufguss sauna (MM),

| Probenbezeichnung | Zeitpunkt der Messung und Duftstoff | Formaldehyd | Acetaldehyd | Propionaldehyd | Butyraldehyd | 2-Propenal | Aceton | Formaldehyd Differenz Aufguss-Leermessung |
|-------------------|---|----------------------|-------------|----------------|--------------|------------|---------|---|
| | | [mg/m ³] | | | | | | |
| GLK1 | Leermessung vor Aufheizen | 0,041 | < 0,060 | <0,060 | < 0,060 | < 0,031 | <0,060 | |
| GLH2 | Leermessung nach Aufheizen | 0,28 | 0,4 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 | |
| 3 | Aufguss 1 Atembereich (S2 Eukalyptus) | 0,32 | 0,47 | 0,1 | < 0,060 | < 0,031 | 0,7 | 0,04 |
| 4 | Aufguss 1 vor der Bank (S2 Eukalyptus) | 0,32 | 0,46 | 0,1 | < 0,060 | < 0,031 | 0,68 | 0,04 |
| GLH5 | Leermessung vor Aufguss 2 | 0,15 | 0,28 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,2 | |
| 6 | Aufguss 2 Atembereich (S2 Citrus) | 0,23 | 0,48 | 0,11 | < 0,060 | < 0,031 | 1,8 | 0,08 |
| 7 | Aufguss 2 vor der Bank (S2 Citrus) | 0,21 | 0,45 | 0,11 | < 0,060 | < 0,031 | 1,7 | 0,06 |
| GLH8 | Leermessung vor Aufguss 3 | 0,15 | 0,26 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,38 | |
| 9 | Aufguss 3 Atembereich (F Eukalyptus) | 0,16 | 0,29 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,26 | 0,03 |
| 10 | Aufguss 3 vor der Bank (F Eukalyptus) | 0,16 | 0,29 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,25 | 0,01 |
| GLH11 | Leermessung vor Aufguss 4 | 0,14 | 0,24 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,12 | |

| | | | | | | | | |
|-------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 12 | Aufguss 4 Atembereich (J Citrus) | 0,33 | 0,9 | 0,076 | < 0,060 | < 0,031 | 0,16 | 0,19 |
| 13 | Aufguss 4 vor der Bank (J Citrus) | 0,32 | 0,86 | 0,073 | < 0,060 | < 0,031 | 0,15 | 0,18 |
| GLH14 | Leermessung vor Aufguss 5 | 0,17 | 0,35 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,09 | |
| 15 | Aufguss 5 Atembereich (J Eisminze) | 0,17 | 0,51 | 0,062 | < 0,060 | < 0,031 | 0,11 | 0 |
| 16 | Aufguss 5 vor der Bank (J Eisminze) | 0,16 | 0,48 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,096 | -0,01 |
| GLH17 | Leermessung vor Aufguss 6 | 0,13 | 0,32 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,065 | |
| 18 | Aufguss 6 Atembereich (Ethanol) | 0,26 | 1,3 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,076 | 0,13 |
| 19 | Aufguss 6 vor der Bank (Ethanol) | 0,23 | 1 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,07 | 0,1 |
| GLH20 | Leermessung vor Aufguss 7 | 0,17 | 0,59 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 | |
| 21 | Aufguss 7 Atembereich (Isopropanol) | 0,16 | 0,35 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,72 | -0,01 |
| 22 | Aufguss 7 vor der Bank (Isopropanol) | 0,15 | 0,32 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,69 | -0,02 |
| GLH23 | Leermessung vor Aufguss 8 | < 0,031 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 | |
| 24 | harter Aufguss 8 Atembereich (J Eisminze) | 0,031 | 0,068 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,088 | |
| 25 | harter Aufguss 8 vor der Bank (J Eisminze) | 0,033 | 0,071 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,077 | |

MM, Formaldehydkonzentration: Maximale Differenz Aufguss-Leermessung 2: 0,19 mg/m³ (J Citrus)

Tabelle 28: Phase 1, 10. Sept. 2015, Messung Saunaraum Waldsauna (FS),

| Probenbezeichnung | Zeitpunkt der Messung und Duftstoff | Formaldehyd | Acetaldehyd | Propionaldehyd | Butyraldehyd | 2-Propenal | Aceton | Formaldehydkonzentration Differenz Aufguss-Leermessung |
|-------------------|--|----------------------|-------------|----------------|--------------|------------|---------|--|
| | | [mg/m ³] | | | | | | |
| GLK1 | Leermessung 1 vor Aufheizen | < 0,031 | < 0,060 | <0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 | |
| GLH2 | Leermessung 2 nach Aufheizen | 0,058 | 0,093 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,21 | |
| 3 | Aufguss 1 Atembereich (S2 Eukalyptus) | 0,046 | 0,071 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,75 | -0,012 |
| 4 | Aufguss 1 Bank (S2 Eukalyptus) | 0,042 | 0,066 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,75 | -0,016 |
| GLH5 | Leermessung vor Aufguss 2 | 0,055 | 0,08 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,22 | |
| 6 | Aufguss 2 Atembereich (S2 Citrus) | 0,041 | 0,14 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 1,3 | -0,014 |
| 7 | Aufguss 2 Bank (S2 Citrus) | 0,038 | 0,13 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 1,2 | -0,017 |
| GLH8 | Leermessung vor Aufguss 3 | 0,067 | 0,12 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,33 | |
| 9 | Aufguss 3 Atembereich (F Eukalyptus) | 0,095 | 0,23 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,58 | 0,028 |
| 10 | Aufguss 3 Bank (Finesse Eukalyptus) | 0,09 | 0,22 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,55 | 0,023 |
| GLH11 | Leermessung vor Aufguss 4 | 0,082 | 0,18 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,1 | |
| 12 | Aufguss 4 Atembereich (J Citrus) | 0,16 | 0,47 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,17 | 0,078 |
| 13 | Aufguss 4 Bank (J Citrus) | 0,15 | 0,42 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,17 | 0,068 |
| GLH14 | Leermessung vor Aufguss 5 | 0,11 | 0,25 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,084 | |
| 15 | Aufguss 5 Atembereich (J Eisminze) | 0,073 | 0,19 | < 0,060 | < 0,060 | <0,031 | 0,092 | -0,037 |
| 16 | Aufguss 5 Bank (J Eisminze) | 0,07 | 0,18 | < 0,060 | < 0,060 | <0,031 | 0,09 | -0,04 |
| GLH17 | Leermessung vor Aufguss 6 | 0,061 | 0,11 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,062 | |
| 18 | Aufguss 6 Atembereich (Ethanol) | 0,065 | 0,23 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,09 | 0,004 |
| 19 | Aufguss 6 Bank (Ethanol) | 0,061 | 0,22 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,088 | 0 |
| GLH20 | Leermessung vor Aufguss 7 | 0,052 | 0,1 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,062 | |
| 21 | Aufguss 7 Atembereich (Isopropanol) | 0,04 | 0,1 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,55 | -0,012 |
| 22 | Aufguss 7 Bank (Isopropanol) | 0,042 | 0,11 | < 0,060 | < 0,060 | <0,031 | 0,51 | -0,01 |

FS, Formaldehydkonzentration: Maximale Differenz Aufguss-Leermessung 2: 0,078 mg/m³ (J Citrus)

Tabelle 29: Phase 2, 25. Febr. 2016, Messung AG

| Pr. | Zeitpunkt der Messung | Dosierung .. | Luft Vol. | Formaldehyd | Formaldehyd direkt-anzeigend | Acetaldehyd | Propionaldehyd | Butyraldehyd | 2-Propenal | Aceton |
|-----|---|--------------|--------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | ml/l | Liter | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] |
| 1 | Leermessung vor Aufheizen | | 42,6 | < 0,010 | - | < 0,019 | < 0,019 | < 0,019 | < 0,010 | < 0,019 |
| 2 | Leermessung nach Lüften+Aufheizen | | 16,0 | 0,13 | 0,13 | 0,16 | < 0,050 | < 0,050 | < 0,025 | 0,11 |
| 3 | Aufguss 1 soft Atembereich (S2 Citrus) | 4 | 13,0 | 0,25 | 0,26 | 0,49 | < 0,062 | < 0,062 | < 0,031 | 1,6 |
| 4 | Aufguss 1 soft vor der Bank (S2 Citrus) | 4 | 13,0 | 0,25 | - | 0,48 | < 0,062 | < 0,062 | < 0,031 | 1,7 |
| 5 | Leermessung vor Aufguss 2 | | 13,3 | 0,050 | 0,09 | 0,074 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,10 |
| 6 | Aufguss 2 soft Atembereich (J Citrus) | 4 | 12,0 | 0,56 | 0,29 | 1,6 | < 0,067 | < 0,067 | < 0,034 | 0,19 |
| 7 | Aufguss 2 soft vor der Bank (J Citrus) | 4 | 12,0 | 0,58 | - | 1,9 | < 0,067 | < 0,067 | < 0,034 | 0,20 |
| 8 | Leermessung vor Aufguss 3 | | 13,3 | 0,30 | 0,31 | 0,58 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 |
| 9 | Aufguss 3 soft Atembereich (S1 Kräuter) | 4 | 10,0 | 0,35 | 0,48 | 0,83 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 0,31 |
| 10 | Aufguss 3 soft vor der Bank (S1 Kräuter) | 4 | 10,0 | 0,32 | - | 0,77 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 0,30 |

Tabelle 30: Phase 2, 26. Febr. 2016, Messung AG

| Pr. | Zeitpunkt der Messung | Dosierung g.. | Luft vol. | Formaldehyd | Formaldehyd direkt-anzeigend | Acetaldehyd | Propionaldehyd | Butyraldehyd | 2-Propenal | Aceton |
|-----|---|---------------|--------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | ml/l | Liter | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] | [mg/m³] |
| 1 | Leermessung nach Lüften+Aufheizen | | 13,3 | 0,053 | 0,05 | 0,072 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 |
| 2 | Aufguss 4 soft Atembereich (S2 Citrus) | 30 | 10,0 | 0,55 | 0,47 | 1,0 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 6,6 |
| 3 | Aufguss 4 soft vor der Bank (S2 Citrus) | 30 | 10,0 | 0,61 | - | 1,2 | 0,081 | < 0,080 | < 0,040 | 7,2 |
| 4 | Leermessung vor Aufguss 5 | | 13,3 | 0,14 | 0,24 | 0,20 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,49 |
| 5 | Aufguss 5 soft Atembereich (J Citrus) | 30 | 12,0 | 2,1 | 1,38 | 7,0 | 0,29 | < 0,067 | < 0,034 | 0,93 |
| 6 | Aufguss 5 soft vor der Bank (J Citrus) | 30 | 12,0 | 2,2 | - | 7,2 | 0,31 | < 0,067 | < 0,034 | 0,90 |
| 7 | Leermessung vor Aufguss 6 | | 13,3 | 1,5 | 1,13 | 2,2 | 0,10 | < 0,060 | < 0,031 | 0,12 |
| 8 | Aufguss 6 soft Atembereich (S1 Kräuter) | 30 | 12,0 | 0,70 | 1,52 | 3,4 | 0,18 | < 0,067 | < 0,034 | 1,5 |
| 9 | Aufguss 6 soft vor der Bank (S1 Kräuter) | 30 | 12,0 | 0,70 | - | 3,5 | 0,19 | < 0,067 | < 0,034 | 1,5 |
| 10 | Leermessung vor Aufguss 7 | | 13,3 | 0,63 | 0,66 | 0,96 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,31 |
| 11 | Aufguss 7 hart Atembereich (S2 Citrus) | 4 | 10,0 | 0,47 | 0,78 | 1,1 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 0,63 |
| 12 | Aufguss 7 hart vor der Bank (S2 Citrus) | 4 | 10,0 | 0,45 | - | 1,0 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 0,64 |

Tabelle 31: Phase 2, 10. März 2016, Messung AG

| Pr. | Zeitpunkt der Messung | Dosierung.. | Luft vol. | Formaldehyd | Direkt-anzeigend | Acetaldehyd | Propionaldehyd | Butyraldehyd | 2-Pro-penal | Aceton |
|-----|---|-------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | ml/l | Liter | [mg/m ³] |
| 1 | Leermessung vor Aufheizen | | 39,9 | 0,010 | - | < 0,020 | < 0,020 | < 0,020 | < 0,010 | < 0,020 |
| 2 | Leermessung nach Lüften+Aufheizen | | 13,3 | 0,078 | 0,07 | 0,070 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,066 |
| 3 | Aufguss 8 hart Atembereich (J Citrus) | 4 | 10,0 | 0,48 | 0,37 | 1,4 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 0,30 |
| 4 | Aufguss 8 hart vor der Bank (J Citrus) | 4 | 10,0 | 0,47 | - | 1,4 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 0,29 |
| 5 | Leermessung vor Aufguss 9 | | 13,3 | 0,27 | 0,28 | 0,41 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,068 |
| 6 | Aufguss 9 hart Atembereich (S1 Kräuter) | 4 | 10,0 | 0,86 | 0,86 | 1,8 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 1,2 |
| 7 | Aufguss 9 hart vor der Bank (S1 Kräuter) | 4 | 10,0 | 0,84 | - | 1,8 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 1,2 |
| 8 | Leermessung vor Aufguss 10 | | 13,3 | 0,24 | 0,26 | 0,38 | < 0,080 | < 0,060 | < 0,031 | 0,10 |
| 9 | Aufguss 10 hart Atembereich (S2 Citrus) | 30 | 10,0 | 0,60 | 0,59 | 1,1 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 3,4 |
| 10 | Aufguss 10 hart vor der Bank (S2 Citrus) | 30 | 10,0 | 0,54 | - | 1,0 | < 0,080 | < 0,080 | < 0,040 | 3,1 |
| 11 | Leermessung vor Aufguss 11 | | 13,3 | 0,27 | 0,32 | 0,35 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,56 |
| 12 | Aufguss 11 hart Atembereich (S1 Kräuter) | 30 | 10,0 | 0,66 | 0,51 | 3,2 | 0,13 | < 0,080 | < 0,040 | 4,2 |
| 13 | Aufguss 11 hart vor der Bank (S1 Kräuter) | 30 | 10,0 | 0,57 | - | 3,0 | 0,13 | < 0,080 | < 0,040 | 3,9 |
| 14 | Leermessung vor Aufguss 12 | | 13,3 | 0,74 | 0,64 | 1,0 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,26 |
| 15 | Aufguss 12 hart Atembereich (J Citrus) | 30 | 10,0 | 2,0 | 2,98 | 10 | 0,54 | 0,085 | 0,043 | 1,9 |
| 16 | Aufguss 12 hart vor der Bank (J Citrus) | 30 | 10,0 | 1,9 | - | 9,5 | 0,52 | 0,081 | 0,042 | 1,8 |

Tabelle 32: Unterschiede zwischen „soft“ und „hart“ für Formaldehyd und Aceton bei geringer Dosierung (4 ml/m³)

| Zeitpunkt der Messung | Dosierung.. | Formaldehyd | Direkt-anzeigend | Aceton | 2016/539 | Formaldehyd | Direkt-anzeigend | Aceton |
|---|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | ml/l | [mg/m ³] | [mg/m ³] | [mg/m ³] | | [mg/m ³] | [mg/m ³] | [mg/m ³] |
| 25.2.2016 | | | | | 26.2.2016: | | | |
| Leermessung vor Aufheizen | | < 0,010 | - | < 0,019 | Mehrere Aufgüsse soft, Dosierung 30 ml/ Liter | Siehe Tabelle 26.2.2016 | Siehe Tabelle 26.2.2016 | Siehe Tabelle 26.2.2016 |
| Leermessung nach Lüften+Aufheizen | | 0,13 | 0,13 | 0,11 | Leermessung vor Aufguss 7 | 0,63 | 0,66 | 0,31 |
| Aufguss 1 soft Atembereich (S2 Citrus) | 4 | 0,25 | 0,26 | 1,6 | Aufguss 7 hart Atembereich (S2 Citrus) | 0,47 | 0,78 | 0,63 |
| Aufguss 1 soft vor der Bank (S2 Citrus) | 4 | 0,25 | - | 1,7 | Aufguss 7 hart vor der Bank (S2 Citrus) | 0,45 | - | 0,64 |
| # | # | # | # | # | 10.03.2016 | | | |
| # | # | # | # | # | Leermessung vor Aufheizen | 0,010 | - | < 0,020 |
| Leermessung vor Aufguss 2 | | 0,050 | 0,09 | 0,10 | Leermessung nach Lüften+Aufheizen | 0,078 | 0,07 | 0,066 |
| Aufguss 2 soft Atembereich (J) | 4 | 0,56 | 0,29 | 0,19 | Aufguss 8 hart Atembereich (J) | 0,48 | 0,37 | 0,30 |

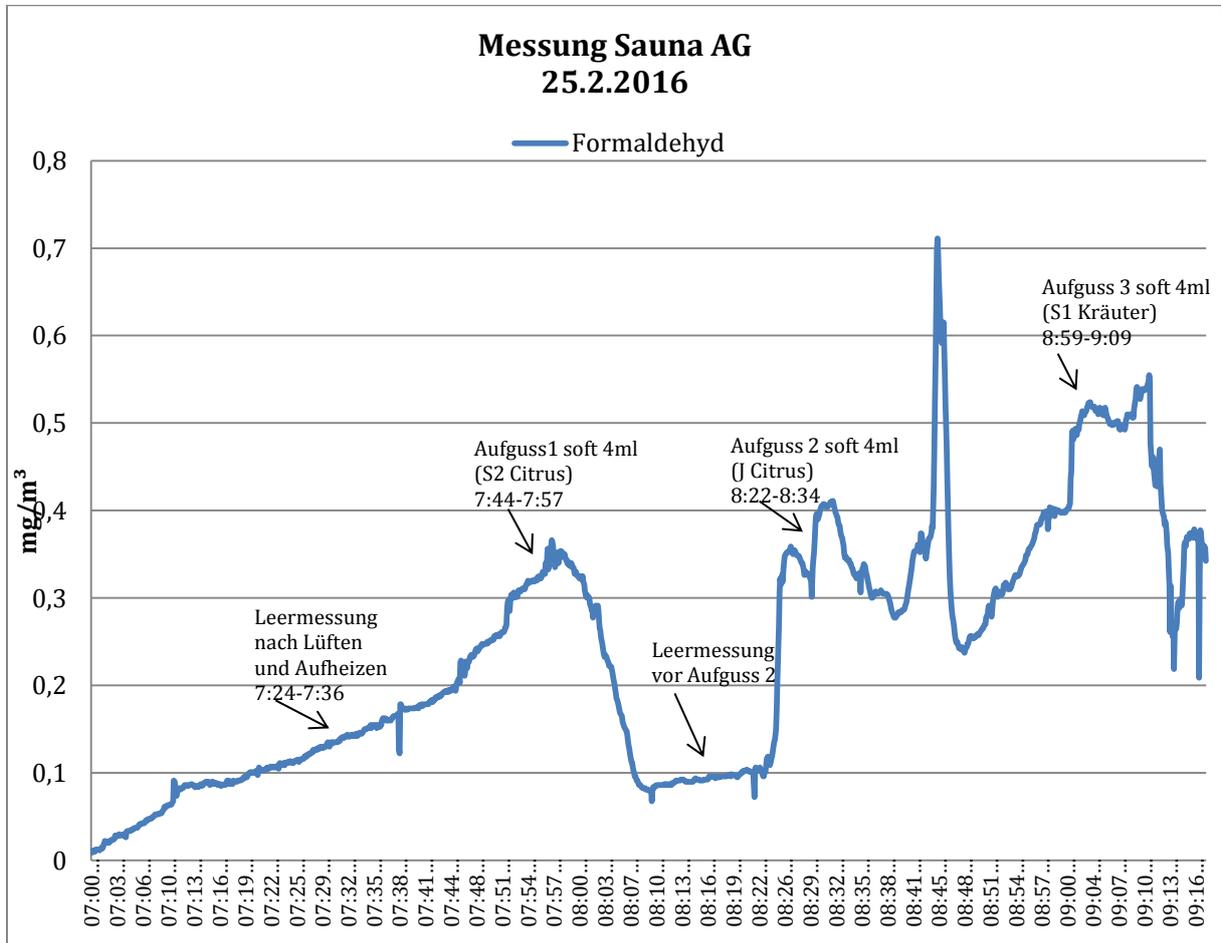
| | | | | | | | | |
|--|---|------|------|--------|--|------|------|-------|
| Citrus) | | | | | Citrus) | | | |
| Aufguss 2 soft vor der Bank (J Citrus) | 4 | 0,58 | - | 0,20 | Aufguss 8 hart vor der Bank (J Citrus) | 0,47 | - | 0,29 |
| Leermessung vor Aufguss 3 | | 0,30 | 0,31 | <0,060 | Leermessung vor Aufguss 9 | 0,27 | 0,28 | 0,068 |
| Aufguss 3 soft Atembereich (S1 Kräuter) | 4 | 0,35 | 0,48 | 0,31 | Aufguss 9 hart Atembereich (S1 Kräuter) | 0,86 | 0,86 | 1,2 |
| Aufguss 3 soft vor der Bank (S1 Kräuter) | 4 | 0,32 | - | 0,30 | Aufguss 9 hart vor der Bank (S1 Kräuter) | 0,84 | - | 1,2 |

Tabelle 33: Vergleich der Aufgussart „soft“ und „hart“ für Formaldehyd und Aceton bei hoher Dosierung

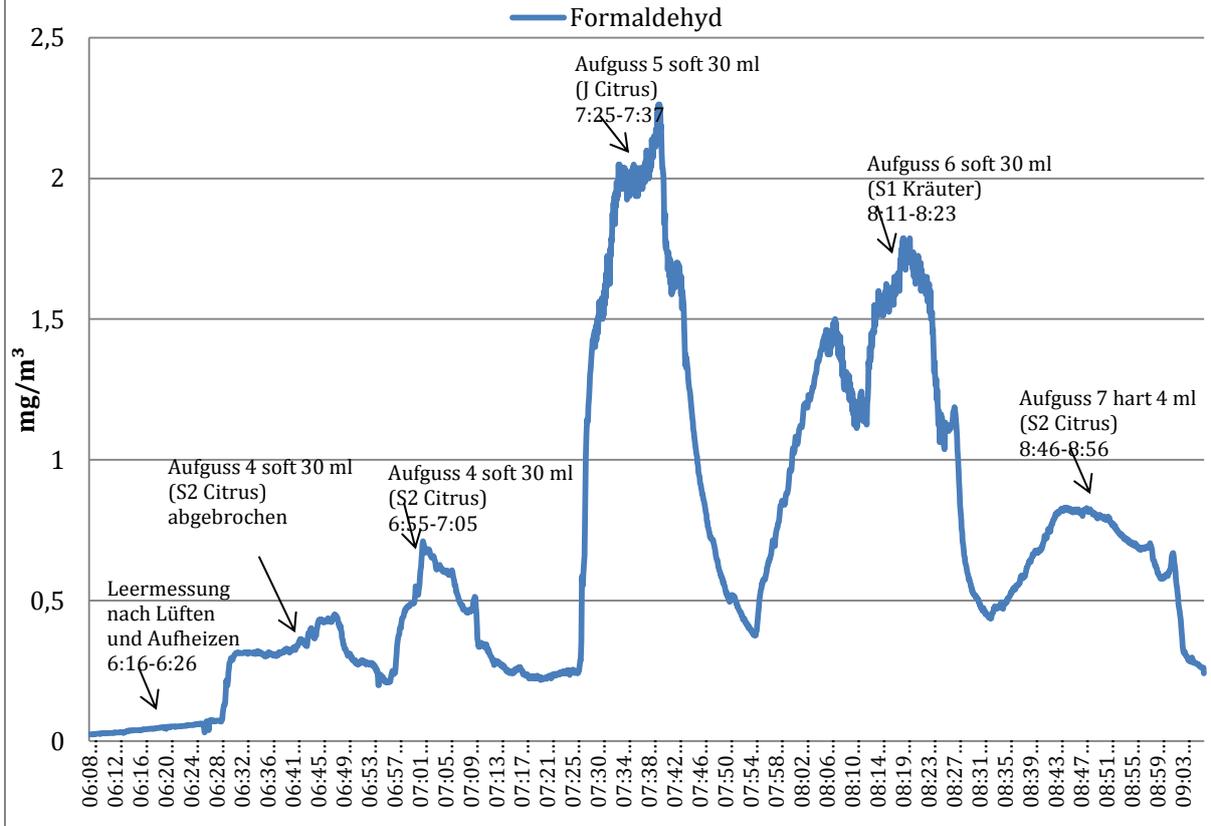
| Zeitpunkt der Messung | Dosierung | Formaldehyd [mg/m ³] | Direkt-anzeigend [mg/m ³] | Aceton [mg/m ³] | 2016/539 | Formaldehyd [mg/m ³] | Direkt-anzeigend [mg/m ³] | Aceton [mg/m ³] |
|--|-----------|-------------------------------------|--|--------------------------------|---|-------------------------------------|--|--------------------------------|
| 26.02.2016 | | | | | 10.03.2016 | | | |
| | | | | | Mehrere Aufgüsse hart Dosierung 4 ml/ Liter | Siehe Tabelle 10.032016 | Siehe Tabelle 10.032016 | Siehe Tabelle 10.032016 |
| Leermessung nach Lüften+Aufheizen | | 0,053 | 0,05 | < 0,060 | Leermessung vor Aufguss 10 | 0,24 | 0,26 | 0,10 |
| Aufguss 4 soft Atembereich (S2 Citrus) | 30 | 0,55 | 0,47 | 6,6 | Aufguss 10 hart Atembereich (S2 Citrus) | 0,60 | 0,59 | 3,4 |
| Aufguss 4 soft vor der Bank (S2 Citrus) | 30 | 0,61 | - | 7,2 | Aufguss 10 hart vor der Bank (S2 Citrus) | 0,54 | - | 3,1 |
| Leermessung vor Aufguss 5 | | 0,14 | 0,24 | 0,49 | Leermessung vor Aufguss 11 | 0,27 | 0,32 | 0,56 |
| Aufguss 5 soft Atembereich (J Citrus) | 30 | 2,1 | 1,38 | 0,93 | Aufguss 11 hart Atembereich (S1 Kräuter) | 0,66 | 0,51 | 4,2 |
| Aufguss 5 soft vor der Bank (J Citrus) | 30 | 2,2 | - | 0,90 | Aufguss 11 hart vor der Bank (S1 Kräuter) | 0,57 | - | 3,9 |
| Leermessung vor Aufguss 6 | | 1,5 | 1,13 | 0,12 | Leermessung vor Aufguss 12 | 0,74 | 0,64 | 0,26 |
| Aufguss 6 soft Atembereich (S1 Kräuter) | 30 | 0,70 | 1,52 | 1,5 | Aufguss 12 hart Atembereich (J Citrus) | 2,0 | 2,98 | 1,9 |
| Aufguss 6 soft vor der Bank (S1 Kräuter) | 30 | 0,70 | - | 1,5 | Aufguss 12 hart vor der Bank (J Citrus) | 1,9 | - | 1,8 |

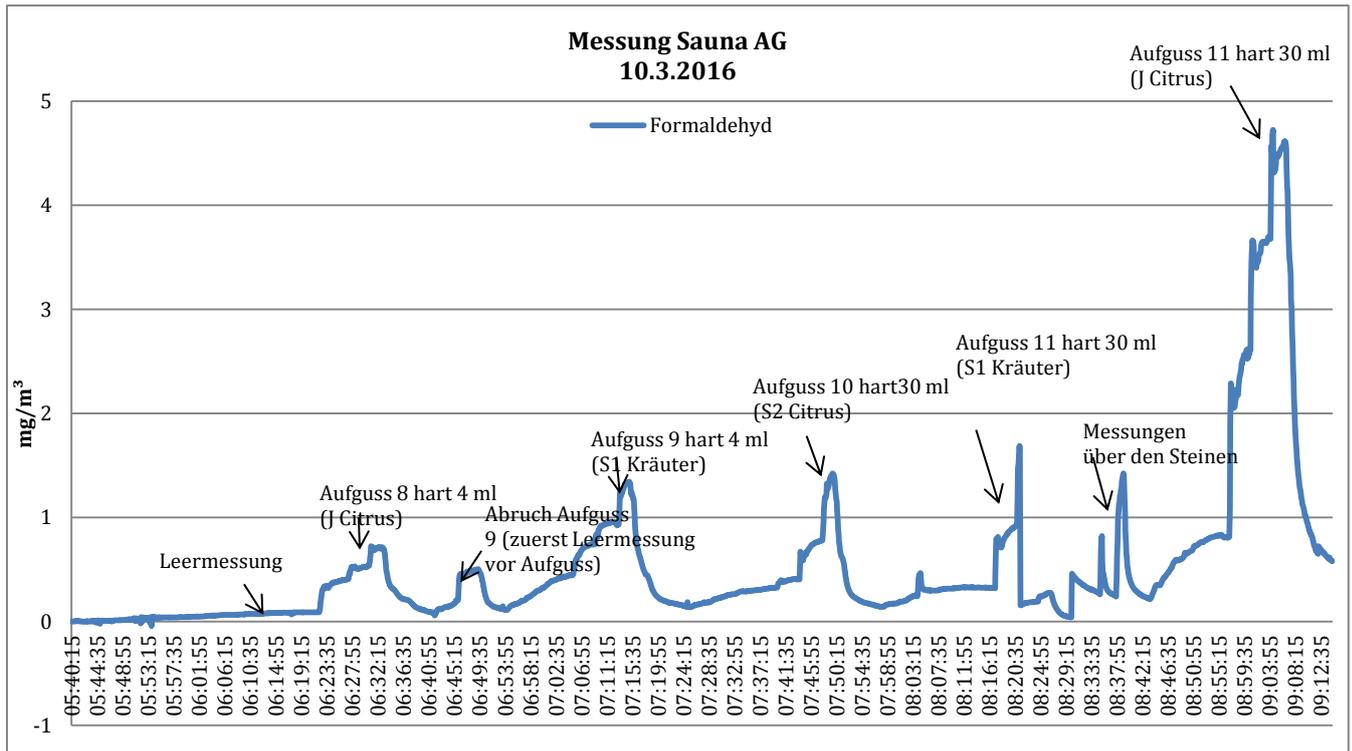
Anmerkung zu grünen und gelben Markierungen: am 10.3. wurden die beiden letzten Aufgüsse der Reihe „hart, 30ml“ in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt. Grund waren die hohen Konzentrationen die sich bei J Citrus in den vorangegangenen Versuchen zeigten. Die Reihenfolge wurde in der Originaltabelle beibehalten, um die Grundbelastungen (Leermessungen) richtig zuordnen zu können.

Konzentrationsverläufe der direktanzeigenden Messungen mit InterScan 1166 in der Sauna AG am 25.2, 26.2. und 10.3.2016



Messung Sauna AG 26.2.2016





Zusätzliche Auswertungen und Messungen

Tabelle 34: Vergleich der Aldehydkonzentrationen bei den Leermessungen vor dem ersten Aufguss (Phase 1 und Phase 2)

Zeitpunkt der Messungen: vor dem Aufheizen

| Datum | Sauna | Formaldehyd | Acetaldehyd | Propionaldehyd | Butyraldehyd | 2-Propenal | Aceton |
|-------------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | [mg/m ³] |
| 7.9.2015 | AT ¹⁴ | < 0,12 | < 0,24 | < 0,24 | < 0,24 | < 0,12 | < 0,24 |
| 9.9.2015 | MM | 0,041 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 |
| 10.9.2015 | FS | < 0,031 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 |
| 25.2.2016 | AG | < 0,010 | < 0,019 | < 0,019 | < 0,019 | < 0,010 | < 0,019 |
| 26.2.2016 ¹⁵ | # | # | # | # | # | # | # |
| 10.3.2016 | AG | 0,010 | < 0,020 | < 0,020 | < 0,020 | < 0,010 | < 0,020 |

¹⁴ Die Bestimmungsgrenze wurde durch den Probenahmevolumenstrom vorgegeben. Die Volumenströme wurden bei den Folgemessungen erhöht, wodurch geringere Bestimmungsgrenzen möglich wurden.

¹⁵ Am 26.2.2016 wurde keine Messung vor dem Aufheizen durchgeführt

Tabelle 35: Vergleich der Aldehydkonzentrationen bei den Leermessungen vor dem ersten Aufguss (Phase 1 und Phase 2)

Zeitpunkt der Messungen: nach dem Aufheizen

| Datum | Sauna | Formaldehyd | Formaldehyd direktanzeigend | Acetaldehyd | Propionaldehyd | Butyraldehyd | 2-Propenal | Aceton |
|-----------|-------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | [mg/m ³] | [mg/m ³] | [mg/m ³] | [mg/m ³] | [mg/m ³] | [mg/m ³] | [mg/m ³] |
| 7.9.2015 | AT | 0,081 | Nicht ermittelt | < 0,12 | < 0,12 | < 0,12 | < 0,061 | < 0,12 |
| 9.9.2015 | MM | 0,28 | Nicht ermittelt | 0,4 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 |
| 10.9.2015 | FS | 0,058 | Nicht ermittelt | 0,093 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,21 |
| 25.2.2016 | AG | 0,13 | 0,13 | 0,16 | < 0,050 | < 0,050 | < 0,025 | 0,11 |
| 26.2.2016 | AG | 0,053 | 0,05 | 0,072 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | < 0,060 |
| 10.3.2016 | AG | 0,078 | 0,07 | 0,070 | < 0,060 | < 0,060 | < 0,031 | 0,066 |

Tabelle 36: Vergleich der Formaldehydkonzentrationen bei den Leermessungen zwischen den Aufgüssen (Phase 1 und Phase 2)

Zeitpunkt der Messungen: Leermessungen nach dem Lüften und Aufheizen, vor dem nächsten Aufguss, in der Reihenfolge des Auftretens

| Datum/Phase | Sauna | Formaldehyd | Formaldehyd direktanzeigend |
|-------------------|-------|---|-----------------------------|
| | | [mg/m ³] | [mg/m ³] |
| 7.9.2015/Phase 1 | AT | 0,1; 0,12; 0,12; 0,21; 0,15; 0,059 | Nicht ermittelt |
| 9.9.2015/Phase 1 | MM | 0,15; 0,15; 0,14; 0,17; 0,13; 0,17; < 0,031 | Nicht ermittelt |
| 10.9.2015/Phase 1 | FS | 0,055; 0,067; 0,082; 0,11; 0,061; 0,052 | Nicht ermittelt |
| 25.2.2016/Phase 2 | AG | 0,050; 0,30 | 0,09; 0,31 |
| 26.2.2016/Phase 2 | AG | 0,053; 0,14; 1,5; 0,63 | 0,05; 0,24; 1,1; 0,66 |
| 10.3.2016/Phase 2 | AG | 0,27; 0,24; 0,27; 0,74 | 0,28; 0,26; 0,32; 0,64 |