

Luftbelastungen durch Pyrolyseprodukte bei Behandlungsmethoden der Traditionellen Chinesischen Medizin

U. Eickmann, M. Kaul, Q. Zhang, E. Schmidt

Zusammenfassung Die Untersuchung der Verbrennungsprodukte von Beifußkraut, das zur Moxibustion, einer Wärmebehandlung im Rahmen der Traditionellen Chinesischen Medizin (TCM) eingesetzt wird, ergab Emissionen, die mit den bekannten Verbrennungsprodukten in Tabakrauch vergleichbar sind. Es werden flüchtige Substanzen freigesetzt wie Benzol, Toluol, Acetaldehyd, Acrolein, Aceton und 1,3-Butadien. Bei modellhaften Untersuchungen in einer TCM-Behandlungskabine wurden hohe Spitzenwerte für die entstehenden Rauchpartikel gemessen: Partikelanzahlkonzentrationen von fast 1 Mio. Partikel/cm³ und Massenkonzentrationen von bis zu 15 000 µg/m³. Dabei handelte es sich fast ausschließlich um alveolengängige Partikel. Die Belastungen hängen von der Art des verwendeten Moxakrautes ab, aber auch von der Art und Intensität der individuellen Behandlung sowie den räumlichen und arbeitsorganisatorischen Bedingungen. Modellberechnungen der zu erwartenden Partikelbelastungen bei verschiedenen Behandlungsszenarien belegen allerdings, dass es zu einer Rauchbelastung für die Beschäftigten kommt, die mit dem Passivrauchen in Kneipen und Diskotheken vergleichbar ist.

Air pollution by pyrolysis products from Traditional Chinese Medicine treatment methods

Abstract An investigation of the products of combustion of mugwort herb employed in moxibustion, a heat treatment belonging to Traditional Chinese Medicine (TCM), showed emissions comparable to the familiar products of combustion in tobacco smoke. Volatile substances such as benzene, toluene, acetaldehyde, acrolein, acetone and 1,3-butadiene are released. In model tests in a TCM treatment cubicle, high peak values for released smoke particles were measured, with particle number concentrations of almost 1 million particles/cm³ and mass concentrations of up to 15.000 µg/m³. These are almost exclusively respirable particles. The levels depend on the type of the moxa herb employed as well as on the type and intensity of the individual treatment, the room conditions and the organization of treatment. Model calculations of the anticipated particulate pollution in different treatment scenarios nevertheless demonstrate that employees are exposed to smoke on a scale comparable to passive smoking in pubs and discotheques.

1 Problemstellung

Die Traditionelle Chinesische Medizin (TCM) ist ein Jahrtausende altes Heilsystem, das zunehmend auch in westlichen Staaten an Attraktivität gewinnt [1]. In der europäischen Öffentlichkeit ist TCM als eine Erfahrungsmedizin bekannt, die in großen Teilen neben der Schulmedizin steht

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Udo Eickmann,

Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und
Wohlfahrtspflege (BGW), Köln.

Dipl.-Ing. Matthias Kaul, Dipl.-Ing. Quian Zhang,
Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Schmidt,

Bergische Universität Wuppertal, Abteilung Sicherheitstechnik/
Umweltschutz, Campus Freudenberg.

und mit Begriffen der Akupunktur, der Heilpflanzenmedizin (Phytotherapie), der chinesischen Ernährungsberatung (Diätetik) oder Qi Gong, einer Bewegungs- und Konzentrationstechnik, bzw. Tuina, einer speziellen Massagetechnik, verknüpft ist.

Die Techniken der TCM werden auch außerhalb Asiens in vielen Arztpraxen und Kliniken eingesetzt; in Europa dürfte sich die Zahl der entsprechend spezialisierten Praxen und Kliniken auf mehrere Tausend belaufen.

Die TCM arbeitet u. a. mit der Moxibustion, einer Wärmebehandlung, die verschiedene Akupunkturpunkte des Körpers stimuliert. Bei dieser Technik wird ein spezielles „Moxakraut“ verbrannt und die Wärme auf die Stimulationspunkte geleitet. Das Abbrennen des Moxakrautes ist mit der Entstehung von Rauch verbunden, vergleichbar mit Zigaretten- oder Zigarrenrauch, der ebenfalls durch Verbrennung von (Tabak-)Kraut entsteht.

Aufgrund von Mitarbeiterbeschwerden über die Belästigung und Belastung durch den Rauch in Behandlungsräumen von TCM-Praxen hat die Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) zusammen mit der Abteilung Sicherheitstechnik/Umweltschutz der Bergischen Universität Wuppertal die Exposition in diesen Einrichtungen untersucht mit dem Ziel, quantitative Aussagen zur Belastung der Beschäftigten mit Pyrolyseprodukten zu erhalten.

2 Moxibustion im Rahmen der TCM

Der Begriff Moxibustion setzt sich zusammen aus dem japanischen „mogusa“, einem Begriff für „Kraut“, und dem lateinischen Begriff „bustion“ für „brennen“. Bei dieser Technik wird ein „Moxakraut“ (*Artemisia vulgaris* [lat.]; mugwort [engl.]; Beifuß [deutsch]) nach verschiedenen Methoden verbrannt [2]:

● Direkte Moxibustion

Ein schmales, konisch geformtes Stückchen des Moxakrautes wird auf einen Akupunkturpunkt gesetzt und direkt auf der Haut abgebrannt. Diese Methode gilt als sehr wirksam, allerdings auch verletzend und schmerzhaft, da die Gefahr der Blasenbildung auf der Haut und der direkten Verbrennung besteht. Um dies zu vermeiden, werden oft auch eine Salzschiebe oder dünne Ingwerscheiben zwischen Haut und die Glut gelegt.

● Indirekte Moxibustion

Bei dieser Methode entzündet der behandelnde Praktiker ein Ende eines Moxasticks, der in der Regel die Form und die Größe einer Zigarre besitzt, und hält es in die Nähe (ca. 2 bis 5 cm) des Akupunkturpunktes, um milde Wärme in die zu stimulierende Hautregion zu bringen, ohne Gefahr einer Verbrennung. Die Intensität der Wärme wird an die Bedürfnisse des Patienten angepasst. Der Abstand der Glut von der Haut kann auch über technische Hilfsmittel wie z. B. einen sog. Moxakasten, gewährleistet werden. Dabei werden entzündete Stücke einer Moxazigarre in den kleinen Kasten

Tabelle 1. Hauptkomponenten nachgewiesener flüchtiger Stoffe aus dem Rauch von Moxizigarren.

| Substanz | CAS-Nr. | CMR-Einstufung | Arbeitsplatzgrenzwert (D) in mg/m ³ |
|--------------|----------|------------------|------------------------------------------------|
| Benzol | 71-43-2 | K1, M2 | – |
| Toluol | 108-88-3 | R _E 3 | 190 |
| Acetaldehyd | 75-07-0 | K3 | 91 |
| Acrolein | 107-02-8 | – | 0,2 |
| Aceton | 67-64-1 | – | 1200 |
| 1,3-Butadien | 106-99-0 | K1, M2 | – |
| Furan | 110-00-9 | K2, M3 | – |
| Propen | 115-07-1 | – | – |

gelegt, der nach unten einen Zwischenboden aus Stahldraht besitzt, sodass keine Gefahr besteht, dass die heiße Glut auf die Haut fällt.

● Moxibustion mit Erhitzung von Akupunkturnadeln

Hier wird ein Stückchen Moxakraut auf eine Akupunkturnadel aufgesteckt und angezündet. Die Wärme wird in diesem Falle weniger über die Nadel in den Körper geleitet, vielmehr handelt es sich hier wie bei der indirekten Moxibustion um Strahlungswärme, die allerdings schlechter kontrolliert werden kann.

Der Anteil der Moxibustion an den TCM-Behandlungen wird unterschiedlich angegeben und reicht von 10 bis 15 % bis über 50 % der Behandlungen.

3 Entstehung von Pyrolyseprodukten bei der Moxibustion

Eine gaschromatographische Analyse der Rauchemissionen des Moxakrautes im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) in Sankt Augustin zeigte eine Vielzahl von flüchtigen Substanzen im Rauch, z. B. Benzol, Toluol, Acetaldehyd, Acrolein, Aceton, 1,3-Butadien, Furan, Propen etc., darunter auch Substanzen mit CMR-Eigenschaften (Tabelle 1).

Die Menge (Masse) des entstehenden partikulären Rauches ist mindestens vergleichbar mit derjenigen bei der Verbrennung von Tabak, wenn nicht gar deutlich höher.

4 Gefährdungen der Beschäftigten durch die Pyrolyseprodukte

Obwohl die Moxibustion in Asien schon millionenfach eingesetzt wurde, sind dokumentierte „adverse events“ bei Patienten eher selten. Während eines Sechs-Jahres-Zeitraums wurden z. B. an einer japanischen nationalen Klinik bei insgesamt 65 482 Akupunktur- und Moxibustionsbehandlungen nur in 0,14 % aller Behandlungen negative Effekte gemeldet. Darunter fielen z. B. Fehler beim Entfernen von Nadeln (27 Fälle), Ecchymosis oder Hämatom (17 Fälle), Verbrennungen (sieben Fälle) oder Verdacht auf eine Kontaktdermatitis (drei Fälle). Atemwegsbeschwerden durch Rauch wurden nicht gemeldet [3].

Die Publikationen über negative Effekte auf die behandelnden Personen sind ebenfalls rar. Hinweise kommen aus den westlichen Ländern, in denen die Akzeptanz der ständigen Exposition gegenüber intensivem Moxarauch nicht so hoch ist wie in asiatischen Ländern. So berichten Behandelnde u. a. über geschwollene (Lymph-)Drüsen, einen rauen Hals oder geschwollene Augen, also über akute Reaktionen, die

mit dem intensiven Kontakt gegenüber Zigarettenrauch vergleichbar sein sollen [4]. Die öffentlichen Kampagnen gegen das aktive und passive Rauchen in Europa haben zudem die Sensibilität der Bevölkerung für dieses Thema erhöht. So ist es auch nicht verwunderlich, dass in westlichen Ländern Möglichkeiten propagiert werden, den Moxarauch durch Ersatzstoffe und -verfahren zu umgehen [5].

Gefährdungen durch eine chronische Exposition gegenüber Pyrolyseprodukten mit CMR-Eigenschaften wurden in der bisher gefundenen Literatur nicht angesprochen, obwohl dies wesentliche Gefahren z. B. der Tabakrauche sind. Bei einem Vergleich der Inhaltsstoffe von Tabakrauch mit denjenigen in Tabelle 1 findet man viele Schadstoffe wieder, z. B. Acetaldehyd, Benzol, 1,3-Butadien oder Toluol [6].

mit dem intensiven Kontakt gegenüber Zigarettenrauch vergleichbar sein sollen [4]. Die öffentlichen Kampagnen gegen das aktive und passive Rauchen in Europa haben zudem die Sensibilität der Bevölkerung für dieses Thema erhöht. So ist es auch nicht verwunderlich, dass in westlichen Ländern Möglichkeiten propagiert werden, den Moxarauch durch Ersatzstoffe und -verfahren zu umgehen [5].

5 Einflussgrößen auf die Höhe der Rauchexposition

Die Exposition der Patienten und der Beschäftigten gegenüber dem Moxarauch hängt von vielen Einflussgrößen ab, etwa von

● der Art des entzündeten Moxastücks:

Während das klassische Moxakraut eine starke Rauchentwicklung aufweist, ist inzwischen schon eine raucharme „Moxakohle“ entwickelt worden, die deutlich weniger Rauch produziert (siehe Abschn. 6)

● der Größe der Glut am rauchenden Moxakegel/-stück:

Die Größe der Glut entscheidet über die Geschwindigkeit des Verbrennungsvorgangs. Allerdings wird die Dauer einer individuellen Behandlung nicht von der Dauer der Moxaverbrennung abhängen. Insofern beeinflusst die Geschwindigkeit der Verbrennung zwar die momentane Rauchbelastung am Patienten, nicht aber die Gesamtmenge des entstehenden Rauches.

● der Anzahl parallel brennender Moxastücke je Patient:

Bei einer Akupunkturbehandlung werden nicht nur einzelne Moxastückchen verbrannt, sondern auch mehrere Stücke an verschiedenen Nadeln.

● der Dauer des eigentlichen Brennvorgangs je Behandlung:

Die Dauer des eigentlichen Brennvorgangs kann mit ca. fünf bis zehn Minuten abgeschätzt werden.

● der Patientenanzahl in einem Behandlungsraum:

Während in Europa die Patienten meist in einzelnen individuellen Behandlungskabinen/-räumen betreut werden, kann es in China und anderen Ländern vorkommen, dass ein Arzt mehrere Patienten in einem Raum parallel versorgt.

● der Größe des Behandlungsraums:

Da sich der Rauch in der Luft des Behandlungsraums verteilt, hat das Raumvolumen einen Einfluss auf die zeitliche Geschwindigkeit der Veränderung der Rauchkonzentration im Raum.

● der Lüftungssituation im Behandlungsraum:

Kann der entstehende Rauch nicht aus dem Behandlungsraum abziehen, sammeln sich die Emissionen mehrerer Behandlungen im Raum und belasten die Luft. Technische Lüftungseinrichtungen können dafür sorgen, dass der Rauch schnell aus dem Raum entfernt wird.

- der Lüftungsdauer und -intensität zwischen den Behandlungen:

Auch dies hat Einfluss auf die Rauchkonzentrationen im Arbeitsbereich. Eine gute Lüftung zwischen den Behandlungen reduziert die Rauchbelastung.

- der Aufenthaltsdauer der Beschäftigten:

Die gesamte Dosis an Rauch, die Beschäftigte bei der Behandlung von Patienten mit TCM-Methoden einatmen, hängt sowohl von der Höhe der Rauchkonzentrationen als auch von der Aufenthaltsdauer der Beschäftigten in den Behandlungsräumen ab.

6 Messung der Rauchkonzentration bei der Moxibustion

Da bisher keine Bestimmungen der quantitativen Rauchbelastung bei der Moxibustion bekannt sind, fanden in einer TCM-Abteilung eines deutschen Krankenhauses Messungen zum Verlauf der Partikelkonzentrationen in der Raumluft während der Moxibustion statt. Dies erfolgte in den Behandlungsräumlichkeiten und unter Verwendung der Originalmaterialien zur Moxibustion [7]. Dabei wurden drei verschiedene Behandlungsmethoden nachgestellt:

1. Abbrand von Moxa im Moxakasten (klassische Wärmebehandlungen),
2. Abbrand von Moxakohle im Moxakasten (raucharm),
3. Akupunktur mit abbrennenden Moxastücken auf Akupunkturnadeln.

Die Messungen der Partikelanzahlkonzentration zur Erstellung einer anzahlbezogenen Partikelgrößenverteilung erfolgten mit einem System Grimm 5.403 SMPS+C, das die Partikelanzahlkonzentration im Größenbereich von 10 bis 1 100 nm in 44 Größenklassen ermittelt. Die Dauer einer Messung (Scan) über den kompletten Größenbereich betrug 3 min 18 s plus 10 s Pause.

Die Massenkonzentration der Partikelfractionen zur Bewertung der gesundheitsbezogenen Schwebstaubbelastung (gemäß DIN ISO 7708) wurde mit dem Laser-Aerosol-Spektrometer Grimm Dust Monitor 1.108, das die Partikelkonzentration im Größenbereich von 0,3 bis 20 µm in 15 Größenklassen im Sechs-Sekunden-Takt misst, kontinuierlich überwacht.

Die Partikelanzahlkonzentration wurde zusätzlich mit dem Kondensationspartikelzähler TSI 3007, der die gesamte Partikelanzahlkonzentration (bis zu 10⁵ P/cm³) im Größenbereich von 10 nm bis 1 µm im Sekundentakt ermittelt, überwacht. Aufgrund hoher Partikelanzahlkonzentrationen im vorliegenden Fall wurde das Gerät nur zum Detektieren

einer raschen Änderung der Partikelkonzentration nach dem Anzünden einer Moxazigarre verwendet.

Die Angaben zu den verwendeten Moxazigarren bzw. Moxamaterialien sind in **Tabelle 2** zusammengefasst.

Die Messung bei der klassischen Moxibustion im Moxakasten führte zu massebezogenen Rauchbelastungen bis zu ca. 10 000 µg/m³ (siehe **Bild 1**). Der größte Teil der freigesetzten Partikel war alveolengängig, der Modalwert der Verteilung der Partikelgröße lag weit unter 100 nm. Nach dem Ende des eigentlichen Verbrennungsvorgangs nahm die Konzentration der Partikel in der Luft nicht allein durch den Luftaustausch im Raum, sondern insbesondere durch Adsorptionsvorgänge an den Oberflächen ab. Das Diagramm rechts in **Bild 1** zeigt die Partikelgrößenverteilung zu Beginn der Messungen (Modalwert < 100 nm) und die Verschiebung der Verteilung während des Messvorgangs zu größeren Partikeln. Die maximal gemessene Partikelanzahlkonzentration liegt bei 448 895 P/cm³ (Kurve hier nicht gezeigt).

Bei der Verwendung von Moxakohle im Moxakasten kam es zu einer deutlich geringeren Rauchentwicklung. Die massenbezogene Luftkonzentration wurde bei dieser Messung nur wenig durch den Verbrennungsvorgang erhöht, da besonders kleine Partikel unter 10 nm freigesetzt wurden, die zur Massenkonzentration in der Raumluft fast nichts mehr beitragen (siehe **Bild 2**). Dementsprechend liegen die verschiedenen Partikelfractionen (einatembar, thorakal, alveolengängig) nicht so eng zusammen wie in den Bildern 1 oder 3. Das Diagramm rechts in **Bild 2** zeigt die Partikelgrößenverteilung zu Beginn der Messungen (Modalwert < 100 nm) und die Verschiebung der Verteilung während des Messvorgangs auf Modalwerte um 50 nm. Die maximal gemessene Partikelanzahlkonzentration liegt bei 181 463 P/cm³.

Bei der Akupunktur mit Moxibustion kommt es durch dreimaliges Anzünden von je fünf „Moxa-Coins“ zu einem starken Anstieg der Partikelkonzentration in der Raumluft des Behandlungsraums, die im Maximum fast 15 000 µg/m³ erreicht. Auch hier sind fast alle Partikel alveolengängig (siehe **Bild 3**). Ebenso nimmt die Partikelkonzentration nach dem Abbrennen des Beifußes zügig ab. Das Diagramm rechts in **Bild 3** zeigt die Partikelgrößenverteilung zu Beginn der Messungen (Modalwert < 40 nm) und die Verschiebung der Verteilung während des Messvorgangs auf Modalwerte um 300 nm. Die maximal gemessene Partikelanzahlkonzentration liegt bei 956 925 P/cm³ (Scan hier nicht abgebildet).

7 Modellierung der Moxaemissionen

Die im Abschn. 6 beschriebenen Messungen fanden unter

Tabelle 2. Angaben über die bei den Messungen verwendeten Moxaprodukte [7].

| | |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichnung | Moxa-A (Zigarre, Stick) |
| Beschreibung | FENG SHOU I Medicated Moxibustion Stick |
| Spezifisches Gewicht | 10,98 g/Stück bzw. 1,15 g/cm |
| Hersteller/Exporteur | Changle Acupuncture & Moxibustion Supples Factory Fujian China |
| Bezeichnung | Moxa-B (raucharmes Moxa) |
| Beschreibung | Beschreibung HUA TUO Pure Moxa Rolls For Mild Moxibustion |
| Spezifisches Gewicht | 20,36 g/Stück bzw. 0,98 g/cm |
| Hersteller/Exporteur | China National Medicines & Health Products Imp. & Exp. Corp., Hunan Branch |
| Bezeichnung | Moxa-C (Coin für Akupunktur) |
| Beschreibung | HUA FENG Chinese Moxa Coin |
| Spezifisches Gewicht | 0,21 g/Stück. bzw. 0,21 g/cm |
| Hersteller/Exporteur | China Beijing Huafeng Medical Equipment |

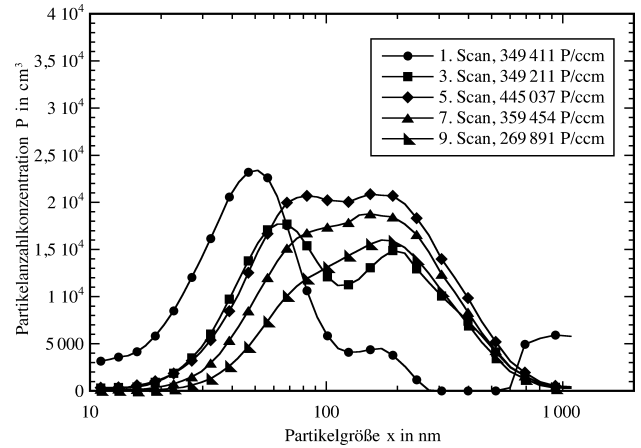
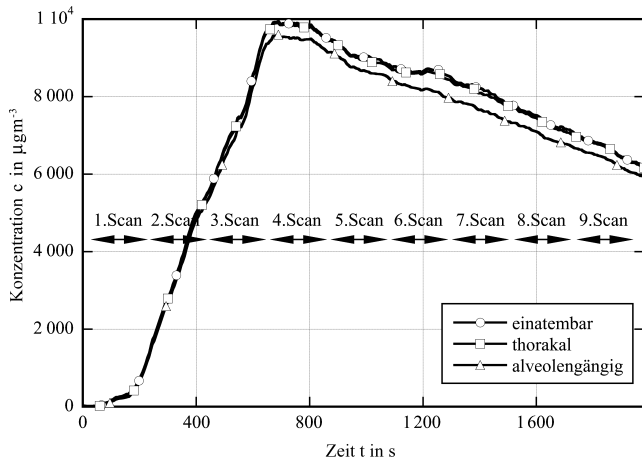


Bild 1. Zeitlicher Verlauf der gesundheitsbezogenen Schwebstaubbelastung gemäß DIN ISO 7708 bei der Messreihe zur Moxibustion mit Moxa im Moxakasten (klassische Wärmebehandlung); rechts: Scanintervalle mit dem SMPS-System.

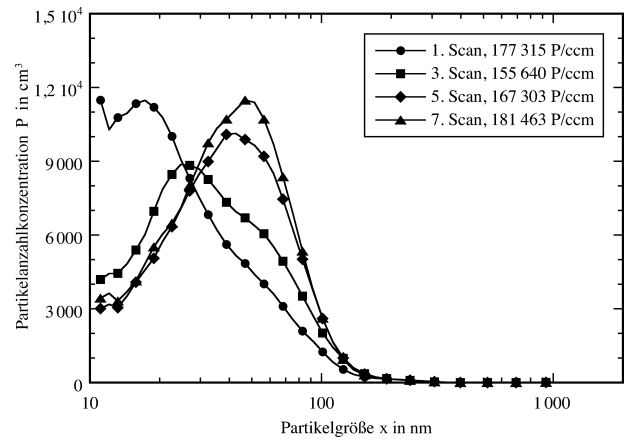
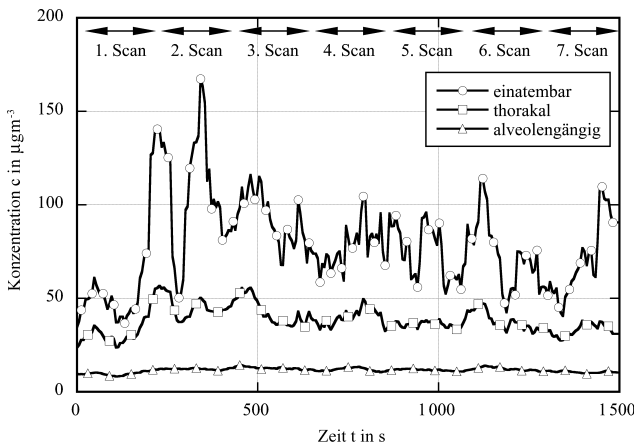


Bild 2. Zeitlicher Verlauf der gesundheitsbezogenen Schwebstaubbelastung gemäß DIN ISO 7708 bei der Messreihe zur Moxibustion mit Moxakohle (raucharmes Moxa) im Moxakasten; rechts: Scanintervalle mit dem SMPS-System.

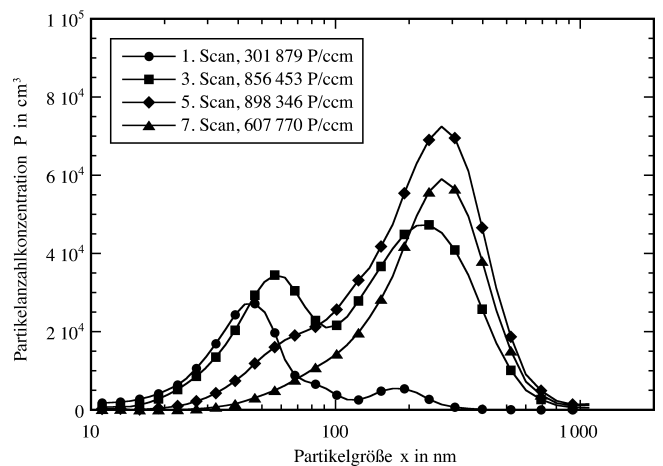
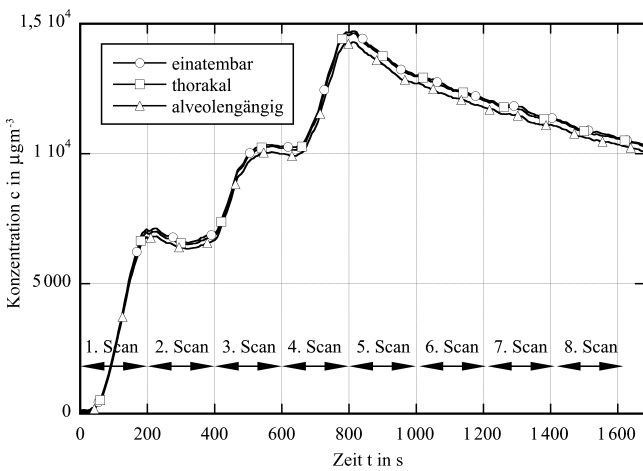


Bild 3. Zeitlicher Verlauf der gesundheitsbezogenen Schwebstaubbelastung gemäß DIN ISO 7708 bei der Messreihe zur Moxibustion bei der Akupunktur; rechts: Scanintervalle mit dem SMPS-System.

ganz speziellen Versuchsbedingungen statt. Daher sind die getroffenen Aussagen zur Luftbelastung nur für diese spezifische Situation der Moxibustion gültig. Allerdings kann man die erhobenen Messdaten dazu nutzen, um unter Anwendung eines Expositionsmodells die partikulären Emissionen der Moxastücke aus den ermittelten Luftkonzentrationen zu bestimmen [8]. Dazu wird Berechnungs-

gleichung (1) eines instationären Ein-Zonen-Modells verwendet.

Die aktuelle Konzentration eines Stoffes i , in diesem Falle an inerten festen Partikeln in einem homogen vermischten Bilanzraum, berechnet sich zu [8]:

$$x_i = \frac{\dot{m}_i}{V_{\text{air}}} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot (t_1 - t_0)}) + x_{i,0} \cdot e^{-\lambda \cdot (t_1 - t_0)} \quad (1)$$

Tabelle 3. Berechnete Rauchkonzentrationen zum Szenario 1 nach 5 h.

| Lüftungsvariante | Mittlere Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
|------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|
| | Mittlere Konzentration | Maximale Konzentration |
| a) | 1 030 | 1 737 |
| b) | 441 | 690 |
| c) | 170 | 443 |

Tabelle 4. Berechnete Rauchkonzentrationen zum Szenario 2.

| Lüftungsvariante | Mittlere Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
|------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|
| | Mittlere Konzentration | Maximale Konzentration |
| Nach 5 h | | |
| a) | 833 | 1 433 |
| b) | 364 | 450 |
| c) | 191 | 286 |
| Nach 8 h | | |
| a) | 1 143 | 1 810 |
| b) | 399 | 456 |
| c) | 196 | 288 |

Tabelle 5. Berechnete Rauchkonzentrationen zum Szenario 3.

| Lüftungsvariante | Mittlere Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
|------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|
| | Mittlere Konzentration | Maximale Konzentration |
| Nach 5 h | | |
| a) | 1 665 | 2 866 |
| b) | 729 | 906 |
| c) | 378 | 572 |
| Nach 8 h | | |
| a) | 2 285 | 3 639 |
| b) | 798 | 912 |
| c) | 380 | 575 |

mit

x_i = Konzentration des Schadstoffes i im Bilanzraum in mg/m^3

\dot{m}_i = Massenstrom des emittierten Schadstoffes i in mg/h

\dot{V}_{air} = Volumenstrom an Frischluft in den Bilanzraum in m^3/h

$x_{i,\text{ex}}$ = Konzentration des Schadstoffes i in der Außenluft mg/m^3

$x_{i,0}$ = Konzentration des Schadstoffes im Bilanzraum bei $t = 0$ in mg/m^3

t = Zeit in h

λ = Luftwechselzahl in h^{-1}

Sind die Luftkonzentration, der Frischluftstrom und die anderen Einflussgrößen bekannt, kann Gl. (1) nach \dot{m}_i aufgelöst werden. Die Berechnung unter den Randbedingungen der Messungen ergaben somit Partikelemissionen aus den Moxastücken von ca. 15 bis 22 mg/Moxa-Coin. 7 bis 10 % der Moxamasse werden somit in Rauchpartikel umgesetzt. Die weitere Anwendung des o. g. Ein-Zonen-Modells auf andere Rahmenbedingungen der Moxibustion, die in drei verschiedenen Expositionsszenarien beschrieben wurden, ergab folgende Partikelbelastung in der Atemluft.

● Szenario 1 (vgl. Tabelle 3)

Kleine Behandlungskabine (15 m^3). Behandlungsfolge: 20 min Moxibustion = 22,8 mg/Moxa-Coin, 40 min Pause, für insgesamt 5 h. Luftwechsel (LW) in der Kabine:

a) gut isoliertes, modernes Gebäude, Fenster/Türen geschlossen: $\text{LW} = 0,2 \text{ h}^{-1}$, entspricht $3 \text{ m}^3/\text{h}$.

b) schlecht isolierter Altbau, Fenster/Türen geschlossen: $\text{LW} = 1,0 \text{ h}^{-1}$, entspricht $15 \text{ m}^3/\text{h}$.

c) schlecht isolierter Altbau, Fenster zwischen Anwendungen gekippt. $\text{LW} = 1,0 \text{ h}^{-1}$, entspricht $15 \text{ m}^3/\text{h}$ (Fenster geschlossen); $\text{LW} = 5,0 \text{ h}^{-1}$, entspricht $75 \text{ m}^3/\text{h}$ (Fenster gekippt).

● Szenario 2 (vgl. Tabelle 4)

Großer Raum (100 m^3) mit insgesamt fünf kleinen Behandlungskabinen ($\text{à } 15 \text{ m}^3$), lüftungstechnisch nicht voneinander getrennt. Behandlungsfolge: ständig zwei Anwendungen mit Moxibustion, für insgesamt 5 bzw. 8 h. Stündlicher Luftwechsel (LW) im gesamten Raum:

a) gut isoliertes, modernes Gebäude, Fenster/Türen geschlossen: $\text{LW} = 0,2 \text{ h}^{-1}$, entspricht $20 \text{ m}^3/\text{h}$;

b) schlecht isolierter Altbau, Fenster/Türen geschlossen: $\text{LW} = 1,0 \text{ h}^{-1}$, entspricht $100 \text{ m}^3/\text{h}$;

c) schlecht isolierter Altbau, Fenster für 20 min pro Stunde gekippt. $\text{LW} = 1,0 \text{ h}^{-1}$, entspricht $100 \text{ m}^3/\text{h}$ (Fenster geschlossen); $\text{LW} = 5,0 \text{ h}^{-1}$, entspricht $500 \text{ m}^3/\text{h}$ (Fenster gekippt).

● Szenario 3 (vgl. Tabelle 5):

Großer Raum (100 m^3) mit insgesamt fünf Liegen. Behandlungsfolge: ständig vier Anwendungen mit Moxibustion, für insgesamt 5 bzw. 8 h. Stündlicher Luftwechsel (LW) im gesamten Raum: wie in Szenario 2.

Das Szenario 1 beschreibt die Expositionssituation in einer einzelnen Behandlungskabine, die mit anderen Bereichen der Praxis nicht im Stoffaustausch steht. Unter sehr schlechten, aber im Winter durchaus denkbaren Lüftungsbedingungen ($\text{LW} = 0,2 \text{ h}^{-1}$) kann allein das regelmäßige Abbrennen einzelner Moxa-Coins je Behandlung nach 5 h eine mittlere Partikelkonzentration von $1 030 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. eine Spitzenkonzentration von $1 737 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verursachen. Diese Werte sinken bei besserer Lüftung (z. B. Altbau, $\text{LW} = 1,0 \text{ h}^{-1}$) auf $441 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittel) bzw. $690 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Spitze) ab bzw. auf $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittel) und $443 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Spitze), falls zwischen den einzelnen Behandlungen gelüftet wird (Fenster gekippt, $\text{LW} = 5,0 \text{ h}^{-1}$).

Findet in einer größeren Praxis mit fünf Behandlungskabinen, die in einem gegenseitigen Luftaustausch stehen, regelmäßig Moxibustion statt (Szenario 2), in diesem Fall ständig zwei Behandlungen gleichzeitig, stellt sich ein insgesamt etwas niedrigeres Expositionsniveau ein (Tabelle 4). Während bei einer Verlängerung der Behandlungszeit von 5 auf 8 h im Falle einer schlechten Lüftung die partikuläre Belastung noch ansteigt (Lüftungsvariante a und b), hat sich bei der regelmäßigen Belüftung zwischen den Behandlungen (Lüftungsvariante c) nach 5 h schon ein quasi stationärer Zustand eingestellt.

Insbesondere im außereuropäischen Kulturbereich kann es vorkommen, dass in einem großen Behandlungsraum

mehrere Liegen parallel von einem einzelnen Arzt gleichzeitig betreut werden. Dann gibt es weder eine räumliche noch

eine lüftungstechnische Trennung der einzelnen Behandlungsstellen. Szenario 3 gibt exemplarisch diese Expositionssituation wider. Man erkennt, dass in diesem Falle die Luftbelastung der Beschäftigten in der gleichen Größenordnung liegt wie in Szenario 2. Eine Verdopplung der parallel durchgeführten Anwendungen von 2 (Szenario 2) auf 4 (Szenario 3) führt zu einer Verdopplung der Luftkonzentrationen.

Eine stoffbezogene Ermittlung der Konzentrationen flüchtiger Substanzen in der Atemluft über die Bestimmung der partikulären Belastung hinaus ist im Falle der Moxibustion nicht hilfreich, da die meisten flüchtigen Substanzen entweder in so geringen Konzentrationen in die Luft gelangen, dass sie weit unter den Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) bleiben, oder für sie als CMR-Substanzen kein gesundheitsbasierter AGW vorliegt (siehe Tabelle 1). Dies war auch das Ergebnis einer Studie von *Bolte et al.* [9], die in 28 Gastronomiebetrieben Messungen zur Belastung durch Rauchen durchgeführt hatten und dabei Nikotinwerte von 15 bis ca. 400 µg/m³ fanden, PAK-Werte von 215 bis 375 µg/m³, TVOC-Werte von 425 bis 831 µg/m³, Cadmium von 2,6 bis 9,7 ng/m³ und Feinstaub (PM_{2,5}) von 178 bis 808 µg/m³. Bei diesen Werten handelt es sich um die Mediane für verschiedene Branchen (Cafés, Kneipen, Diskotheken), wobei in der Regel Cafés die geringste und Diskotheken die höchste Belastung aufweisen. Auch hier konnten die einzelnen flüchtigen Substanzen wegen des vorliegenden komplexen Stoffgemisches nicht anhand von AGW beurteilt werden.

Vergleicht man allerdings die partikulären Belastungen in den verschiedenen Szenarien der Moxibustion mit den Rauchbelastungen in den Gastronomiebetrieben, so liegen die gemessenen und berechneten Massenkonzentration von Partikeln in der Größenordnung oder gar weit oberhalb der Rauchbelastungen in Kneipen oder Diskotheken.

8 Folgerungen

Aufgrund der vorliegenden Informationen zum Ablauf der Moxibustion und der ermittelten Partikelbelastungen in der Raumluft lassen sich verschiedene Folgerungen ziehen:

- Die Moxibustion setzt eine große Menge alveolengängiger Partikel frei, einen großen Teil davon als Nanopartikel ($d < 100$ nm).
- Die massenbezogene Luftbelastung (Modalwert) lag während der dokumentierten Messungen bei ca. 10 bis 15 mg/m³. Die fast ausschließlich alveolengängigen Partikel lagen somit in Konzentrationsbereichen oberhalb der Allgemeinen Staubgrenzwerte von 3 mg/m³ für die alveolare Staubfraktion bzw. 10 mg/m³ für die einatembare [10].
- Bei der TCM-Behandlung mit Moxibustion entsteht somit eine Rauchbelastung für Patienten und Beschäftigte, die oberhalb derjenigen von Passivrauchern in Gaststätten, Kneipen oder Diskotheken liegen kann [9].
- Hinzu kommt die Belastung durch flüchtige Stoffe, wie Benzol, Acrolein, Furan etc.
- Raucharmes Moxa (Moxakohle) produziert sehr feine Rauchpartikel, aber wesentlich weniger luftgetragene Masse. Dieses Produkt stellt daher, bezogen auf die absolute Raucherentwicklung, schon ein empfehlenswertes Ersatzprodukt dar.

- Die Luftbelastung variiert mit den Behandlungsbedingungen. Die wesentlichen Expositionsdeterminanten sind aber bekannt und führen zu verschiedenen Empfehlungen für die Prävention:

– Moxibustion sollte in Behandlungsräumen durchgeführt werden, die lüftungstechnisch von den anderen Bereichen einer Praxis/Abteilung abgetrennt sind.

– Moxibustion sollte mit raucharmem Moxa (Moxakohle) erfolgen.

– Nach jeder Behandlung sollte intensiv gelüftet werden, um das gesamte Expositionsniveau für die Beschäftigten niedrig zu halten. Die einzelne Lüftung sollte mindestens zu fünf Luftwechseln im Behandlungsraum geführt haben.

– Die Beschäftigten sollten sich nur so kurz wie möglich in verrauchten Bereichen aufhalten.

Eine kritische Diskussion der Rauchbelastung bei TCM-Behandlungen erscheint aufgrund der hier beschriebenen Partikelkonzentrationen in den Behandlungsräumen nötig, findet bisher aber noch nicht statt. Für die verschiedenen flüchtigen Substanzen, die ein Vielstoffgemisch sind mit den verschiedensten schädigenden Eigenschaften, auch CMR-Eigenschaften, fehlen AGW in der Regel und es kann nur das Minimierungsgebot des Gefahrstoffrechts herangezogen werden mit den bekannten Präventionsschritten Substitution (Wahl von Verfahren mit geringeren Schadstofffreisetzungen), technische Schutzmaßnahmen (Absaugung, Lüftung), organisatorische Schutzmaßnahmen (z. B. Trennung von Beschäftigten und Patienten während der Behandlung) und persönliche Schutzmaßnahmen.

Literatur

- [1] *Greten, H. J.*: Kursbuch Traditionelle Chinesische Medizin. TCM verstehen und richtig anwenden. 2. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme 2007.
- [2] *Hötting, H.*: Die Moxa-Therapie. 5. Aufl. Stuttgart: Haug 2006.
- [3] *Yamashita, H.; Tsukayama, H.; Tanno, Y.; Nishijo, K.*: Adverse events in acupuncture and moxibustion treatment: A six-year survey at a national clinic in Japan. *J. Altern. Complement. Med.* 5 (1999), S. 229-236.
- [4] *Peck, G.*: Moxa smoke and the acupuncturist. *J. Chin. Med.* 41 (1993), S. 10-11.
- [5] *Dharmananda, S.*: Moxibustion – Practical considerations for modern use of an ancient technique. *itm Online* (2001), S. 26-29.
- [6] *Tabakrauch – ein Giftgemisch.* Hrsg.: Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg 2008.
- [7] *Kaul, M.; Zhang, Q.; Schmidt, E.*: Partikelmessungen in einer klinischen TCM-Abteilung. Abschlussbericht, erstellt im Auftrage der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), 2009. Verfügbar unter www.bgw-online.de
- [8] *Eickmann, U.*: Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen. Landsberg am Lech: Hüthig Jehle Rehm, *ecomед MEDIZIN*, 2008.
- [9] *Bolte, G.; Kiranoglu, M.; Fromme, H.; Heitmann, D.; Diemer, J.; Körner, W.; Schierl, R.*: Exposure to environmental tobacco smoke in German restaurants, pubs and discotheques. *J. Expo. Sci. Environm. Epidemiol.* 18 (2008), S. 262-271.
- [10] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). *Ausg. 1/2006. BArbBl.* (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. *GMBL.* (2010) Nr. 5-6, S. 111.