

Dicke Luft

Feuerwerk und seine Risiken

Während Feuerwerkskörper ein hübsches Lichtspiel an den nachtblauen Himmel zaubern, wird die Luft am Boden zunehmend ungesünder. Jeder Abschuss einer Silvesterrakete geht laut Umweltbundesamt (UBA) mit der Freisetzung erheblicher Mengen gefährlichen Feinstaubs einher. Laut einigen koreanischen Wissenschaftlern tragen gesundheitsschädliche Luftverunreinigungen, neudeutsch **Hazardous Air Pollutants (HAPs)**, einen erheblichen Teil dazu bei.

Wenn am Neujahrs-morgen der Kopf schwer und die Glieder bleiern waren, muss nicht notwendigerweise ein übermäßiger Alkoholgenuss schuld sein. Es kann vielleicht auch am Lärm liegen, dem man ausgesetzt war, aber ebenso an der Luft, die man zum Jahreswechsel geatmet hat und die zunehmend dicker und ungesünder wurde, je mehr Feuerwerkskörper detonierten und Silvesterraketen in den nachtblauen Himmel schossen.

Gleichgültig, ob die Augen brennen oder es im Hals kratzt – einer alten Tradition folgend, findet das Streichholz unzählige Male wie von selbst den Weg zur Lunte. Auch wenn oben die blühenden Feuerblumen am Firma-

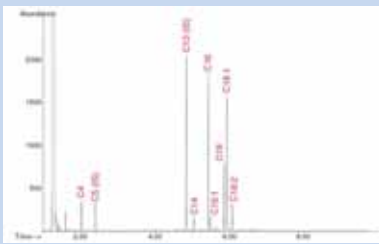


Prof. Gon Ok aus dem Wissenschaftsteam der Pukyong National University von Busan, Korea.

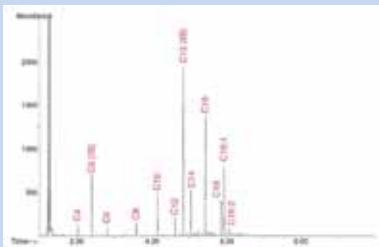
ment die Sinne betören und das Herz erfreuen mögen: Das Hantieren mit Feuerwerkskörpern hat seine Tücken, die, von den möglichen Folgen eines unsachgemäßen Gebrauchs einmal abgesehen, vor allem mit dem Qualm in Verbindung stehen, der beim Zündeln entsteht.

Feuerwerksqualm besteht zu einem Großteil aus Feinstaub; die

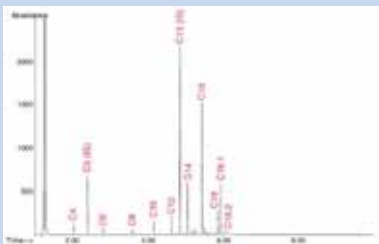
Größe der Staubpartikel (PM, Particulate Matter), die in der Regel für das menschliche Auge nicht sichtbar sind, beträgt mit bis zu 10 µm (PM₁₀) [1] nur den Bruchteil eines Millimeters. In einem Dokument [2] schreibt das Umweltbundesamt, es sei erwiesen, „dass Feinstaub negativ auf den Gesundheitszustand wirkt. Je klei-



Kalibrierung des FatAnalyzers mit einer Testmischung unterschiedlicher Fettsäuren.



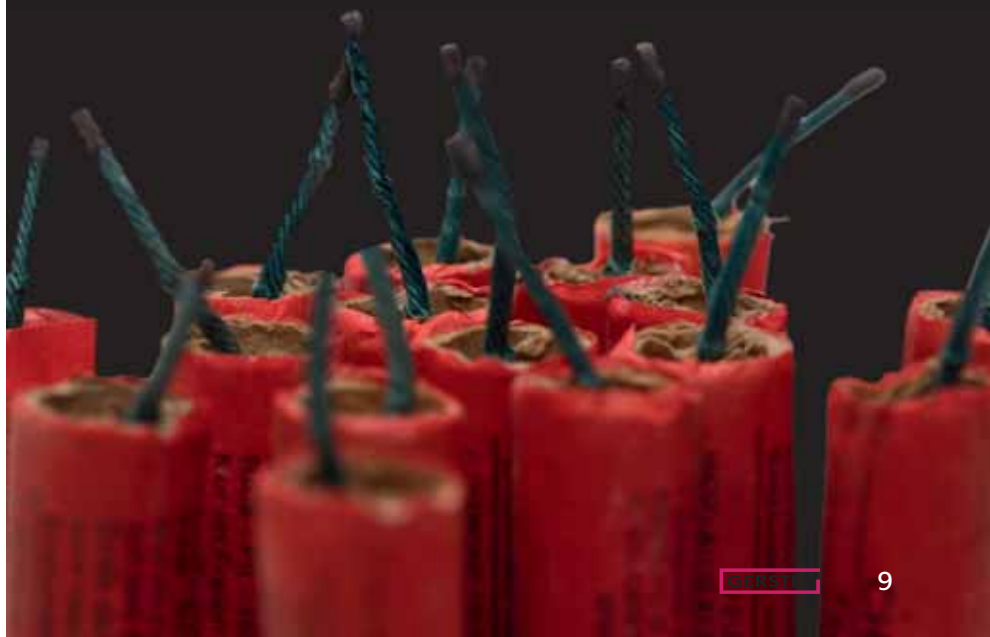
Ziegenkäse: Chromatogramm der Fettsäuren in Ziegenkäse. Der Gesamtfettgehalt liegt bei 28,3 %, der Milchfettanteil bei 26,3 %. Beide Werte wurden mit dem FatAnalyzer in einem Analysenlauf ermittelt; die gesamte Analyse, einschließlich Probenvorbereitung, dauerte keine 40 Minuten.



Apfelkuchen mit Cremefüllung: Für die Bestimmung des Gesamtfettanteils (26,1 %) und des Milchfettanteils (28,9 %) benötigte der FatAnalyzers eine halbe Stunde.

der GC-Lauf ist bereits nach 9 Minuten beendet. Aufgrund der parallelen Extraktion erfordert die Analyse von vier Proben lediglich 66 Minuten, das heißt einen Bruchteil der Zeit, die für die Fettbestimmung bisher erforderlich war.

Der resultierende Report gibt gezielt Auskunft über Gesamtfettgehalt und Milchfettanteil. Darüber hinaus lassen sich bei Bedarf einzelne Fettsäuren oder Summenparameter nach vorheriger Kalibrierung genau bestimmen. Ralf Bremer: „Für Anwender, deren Fokus auf einer effizienten Methode zur Fettbestimmung in Lebens- und Futtermitteln liegt, ist der GERSTEL-FatAnalyzer eine interessante, leistungsstarke und zukunftsichere Alternative.“



ner die Staubteilchen, umso größer das Gesundheitsrisiko.“

Laut aktuellen Untersuchungen ist die Belastung der Luft mit gesundheitsgefährdendem Feinstaub an Silvester vielerorts so hoch wie sonst im ganzen Jahr nicht: In den ersten Stunden des neuen Jahres wurden dem UBA zufolge in Großstädten PM_{10} -Werte von bis zu $4000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($4000 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 4000$ Mikrogramm PM_{10} pro Kubikmeter Luft) gemessen. Zum Vergleich: Im Jahr 2006 betrug die mittlere PM_{10} -Konzentration der städtischen Messstationen in Deutschland nur rund $30 \mu\text{g}$ pro Kubikmeter.

Technische Details und Analyse

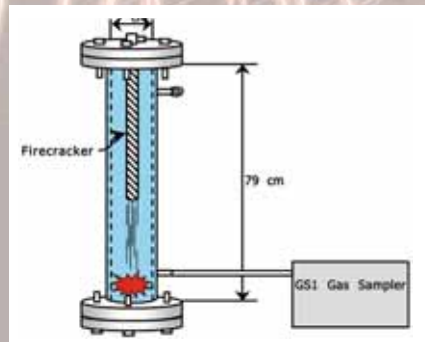
Ungeachtet der Belastung durch Feinstaub birgt der Qualm von abrauchenden Feuerwerkskörpern obendrein ein nicht unerhebliches Gesundheitsrisiko durch so genannte Hazardous Air Pollutants (HAPs), zu Deutsch: gefährliche Luftverunreinigungen. Zu diesem Schluss kommen Wissenschaftler der Pukyong National University in Busan, Korea, die sich angesichts der Tatsache, dass Feuerwerk zu des Koreaners liebsten Freizeitbeschäftigungen zählt, veranlasst sahen, die Belastung von Mensch und Umwelt mit möglichen Schadstoffen eingehender zu untersuchen und vor allen Dingen quantitative Daten über Ausstoß von HAPs zu ermitteln.

Prof. Gon Ok et al. vom Department of Earth Environmental Engineering der Pukyong National University gingen bei ihrer Arbeit wie folgt vor: Um den unterschiedlichen Einflussgrad der HAPs beim Spielen mit Feuerwerkskörpern zu untersuchen, nahmen sie in der Sommersaison Luftproben an einem Strand von Haeundae, an dem viele Touristen mit geschätzten 1000 bis 2000 Abschüssen pro Abend beziehungsweise 50.000 bis 100.000 pro Saison ihrem pyrotechnischem Hobby nachgingen.

Zum Vergleich zogen die Wissenschaftler Proben in der Umgebung ihrer stadtnahen Universität, in einer Region,

wo man die Art der explosiven Freizeitbeschäftigung wenig beziehungsweise gar nicht pflegt. Um eine quantitative Aussage treffen zu können, erklärt Prof. Gon Ok, „haben wir einen speziellen Reaktor entwickelt, in dem wir Feuerwerkskörper unter Laborbedingungen zur Explosion bringen und abbrennen lassen und anschließend die Rauchgase analysieren können.“

Vom resultierenden Abgas wurde gemäß EPA-Methode TO-17 („Bestimmung von VOC in der Außenluft mittels Aktivsammlung auf geeigneten Sorbentien“) eine Probe genommen, und zwar mit Hilfe des GERSTEL-GS1-GasSamplers, der unmittelbar an den Reaktor angeschlossen war. Unter nega-



Schematische Darstellung des Reaktorsystems, in dem die koreanischen Wissenschaftler Feuerwerkskörper zündeten, um die Rauchgase zu analysieren.

tivem Druck wurde die Gasprobe durch ein thermodesorbierbares Glasröhrchen geführt, das mit einer Packung aus drei verschiedenen Sorbensmaterialien auf Kohlenstoffbasis gefüllt war: Carbo-pack C, Carbo-pack B und Carbo-sive S-III. Die Röhrchen wurden entnommen, mittels ThermalDesorption System (TDS) desorbiert und die Analyten im KaltAufgabeSystem (KAS) cryofokussiert, der KAS-Injektor war in einem GC 6890 von Agilent Technologies eingebaut. Am Rande bemerkt: Bei der Probenahme am Strand von Haeundae

GERSTEL-GS 1 GasSampler



kamen die gleichen TDS-Röhrchen zum Einsatz, und auch ihre Desorption und Analyse verlief in gleicher Weise. Nach Art und Menge identifiziert wurden die Analyten mit einem Agilent MSD 5973.

Die Desorption der Analyten im TDS begann bei 30°C . Die Temperatur wurde unverzüglich mit $60^\circ\text{C}/\text{min}$ gesteigert und endete bei 220°C . Als Trägergas kam Helium zum Einsatz. Die Cryofokussierung erfolgte bei minus 50°C im KAS, das anschließend mit 8°C pro Sekunde auf 220°C aufgeheizt wurde. Hierbei erfolgte die Überführung der Analyten auf die GC-Säule (Supelco VOCOL, $60\text{ m} \times 320 \mu\text{m} \times 1,8 \mu\text{m}$). Gaschromatographisch getrennt wurde temperaturprogrammiert, beginnend bei 30°C . Nach fünf Minuten ging es mit $3^\circ\text{C}/\text{min}$ auf 60°C , mit $5^\circ\text{C}/\text{min}$ weiter auf 150°C und mit $2^\circ\text{C}/\text{min}$ auf 190°C ; die Endtemperatur wurde für zwei Minuten gehalten.

Ergebnis und Ausblick

Insgesamt detektierten die Wissenschaftler im Rauchgas der Feuerwerkskörper, das im Reaktor gewonnen wurde, rund 150 unterschiedliche HAPs, darunter 60 verschiedene Aromaten, 35 Isoparaffine, 20 Olefine und 30 Naphthine. Mit diesem Wissen gingen sie an die Analyse der realen Proben. Das Ergebnis der Untersuchung machte hellhörig: Die HAP-Konzentration variierte innerstädtisch, also in der Nähe der Pukyong National University, übers Jahr gesehen zwischen 2,5 ppb und 42 ppb, wobei BTEX-Verbindungen 99,9 Prozent der Aromaten-Gesamtkonzentration ausmachten. Die HAP-Konzentration am Strand hingegen, das heißt im Bereich der passionierten pyrotechnischen Frei-

zeitaktivisten, lag in der Regel stets um den Faktor 10 (für m- und p-Xylol) beziehungsweise 400 (für Benzol) höher. Der BTEX-Anteil betrug 69 Prozent und lag mit 1260 ppb weit über der Konzentration der Kontroll- beziehungsweise Vergleichsgebiete. „Das Abbrennen von Feuerwerkskörpern beeinflusst die Luftverunreinigung gewaltig“, schlussfolgern die Wissenschaftler.

Diese Erkenntnis ist für Professor Gon Ok und seine Kollegen eindeutig und kann nur eine Konsequenz nach sich ziehen: Die koreanischen Wissenschaftler fordern ein Gesetz, das den Umgang und den Gebrauch von Feuerwerkskörpern einschränkt, um die Gesundheit der Bevölkerung zu schützen.

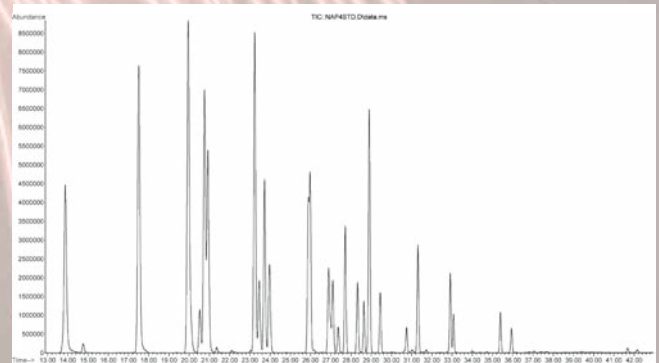
In Deutschland ist man so weit noch nicht. Hier geht man die Angelegenheit – trotz eindeutiger Ausgangslage – vorsichtiger, zurückhaltender an, insbesondere wohl weil Feuerwerkskörper bei uns vornehmlich Silvester zum Einsatz kommen. Das UBA appelliert auf seiner Homepage an die Vernunft und den gesunden Menschenverstand: „Traditionen und Bräuche sind Teil unseres Lebens und sollen dies auch bleiben. Wir bitten Sie jedoch, einen Beitrag zur Verminderung der Feinstaubbelastung in der Silvesternacht zu leisten: Schränken Sie Ihr persönliches Feuerwerk ein oder verzichten Sie sogar ganz darauf. Gleichzeitig würden Sie so auch helfen, die Müllmenge von Verpackung und Umhüllung der Feuerwerkskörper

und den Energieaufwand, der bei der Herstellung der Feuerwerkskörper erheblich ist, zu verringern.“

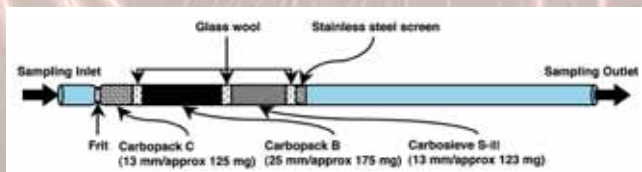
Weitere Informationen

- [1] www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/downloads/silvester_pm10.pdf
- [2] atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/luft/ik/qualitaet/pm10/pm10.htm

Total-Ionen-Chromatogramm von HAPs, aufgezeichnet mittels GC/MS.



Zusammensetzung der Sorbensmaterialien im TDS-Röhrchen zur Analyse der Rauchgase von Feuerwerkskörpern.



Konzentration der HAPs in der Luft am Strand von Haeundae während eines Feuerwerks.

Aromaten	ppb	Isoparaffine	ppb
Dichlormethan	476	2-Methylheptan	N.D.
Benzol	690	3-Methylheptan	N.D.
Toluol	557	2-Methyloctan	N.D.
Ethylbenzol	6,05	3-Methyloctan	N.D.
m,p-Xylol	4,66	Summe	-
o-Xylol	3,58	Olefine	ppb
Styrol	9,84	1-Penten	41,1
Isopropylbenzol	0,33	1-Hepten	12,2
n-Propylbenzol	0,93	1-Decen	8,56
1,3,5-Trimethylbenzol	1,04	Summe	61,9
1,2,4-Trimethylbenzol	3,27	Naphthene	ppb
1,4-Dichlorbenzol	1,51	Methylcyclopentan	9,90
Naphthalin	1,49	Methylcyclohexan	0,68
1,2,3-Trichlorbenzol	N.D.	t-1-Methyl-2-(4MP)cyclopentan	0,05
Summe	1760	Summe	10,6

Saisonale Konzentrationsschwankungen der HAPs in der Außenluft (Stadt).

Aromaten	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Benzol	2,50	1,70	N.D.*	0,84
Toluol	5,99	2,43	1,57	7,25
Ethylbenzol	9,80	0,39	0,25	1,19
m,p-Xylol	8,88	0,45	0,34	1,82
Styrol	1,94	0,11	N.D.*	1,18
o-Xylol	6,27	0,28	0,20	1,45
Brombenzol	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
n-Propylbenzol	0,90	0,03	N.D.	0,62
1,2,4-Trimethylbenzol	4,80	0,16	0,09	2,82
tert-Butylbenzol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
sec-Butylbenzol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
n-Butylbenzol	N.D.	N.D.	N.D.	0,28
Summe	41,1	5,55	2,45	17,5
BTEX	33,4	5,25	2,36	12,6