

Analyse flüchtiger organischer Substanzen in Böden und Sedimenten unter Verwendung des Agilent 8697 Headspace-Probengebers

Autor

Jie Zhang
Agilent Technologies
(Shanghai) Co., Ltd, China

Zusammenfassung

Diese Application Note beschreibt die Analyse flüchtiger organischer Substanzen in Böden und Sedimenten unter Verwendung des Agilent 8697 Headspace-Probengebers mit dem 8860 GC- und dem 5977B GC/MSD-System. Die Leistung des Systems in Bezug auf Reproduzierbarkeit, Linearität, Nachweisgrenze, Quantifizierungsgrenze und Wiederfindungsrate der Methode wurde untersucht und zeigte gute Ergebnisse. Die Flächenreproduzierbarkeit lag im Bereich von 1,0 bis 4,3 %; die Nachweisgrenze in der Quarzsand-Blindprobe lag bei 0,51 bis 1,21 µg/kg und die Quantifizierungsgrenze bei 1,7 bis 4,1 µg/kg. Die Wiederfindungsrate für Bodenproben, die mit 50 bzw. 125 µg/kg Standard versetzt waren, betrug 78,2 bis 125,9 % bzw. 71,7 bis 108,7 %. Die Linearität über den untersuchten Konzentrationsbereich hinweg ist hervorragend mit R²-Werten für alle Komponenten über 0,996. Die Testergebnisse erfüllten oder übertrafen die Anforderungen des chinesischen Standards HJ 642-2013.

Einleitung

Flüchtige organische Substanzen (VOC) werden in vielen Branchen als Lösemittel oder chemische Zwischenprodukte verwendet. Werden diese Substanzen emittiert oder gelangen sie in den Industrieabfall, verschmutzen sie Böden und Sedimente, durch die das Abwasser fließt. Im Hinblick darauf, dass viele flüchtige organische Substanzen eine schädliche Wirkung auf die Umwelt haben und dass die Bodensanierung teuer ist, müssen Entscheidungen in Bezug auf die Signifikanz der Kontamination und die Reinigung auf genauen Messungen der flüchtigen organischen Substanzen basieren. In China wurde das Gesetz zur Bodenverschmutzungsprävention vom Nationalen Volkskongress am 31. August 2018 als erstes umfassendes Rahmengesetz verabschiedet, das sich der Problematik der Bodenverschmutzung annimmt und neue Verpflichtungen und potenzielle Verbindlichkeiten für Besitzer von Landnutzungsrechten schafft. Das Gesetz verpflichtet Besitzer von Landnutzungsrechten dazu, den Bodenzustand zu untersuchen, wenn die Regierung die Gefahr einer Bodenverschmutzung erkennt.

Für die Messung der Kontamination von Böden und Sedimenten mit flüchtigen organischen Substanzen werden Headspace- und Purge & Trap-Methoden verwendet, wobei die eingesetzte Methode von der Probenkonzentration abhängt. Die statische Headspace-Methode ist einfach durchzuführen und verfügt über eine gute Reproduzierbarkeit. Sie erlaubt den Einsatz eines automatischen Probengebers und minimiert die Verschleppung.

Der chinesische Standard HJ 642-2013 ist ein Umweltschutzstandard für die Bestimmung von flüchtigen organischen Substanzen in Böden und Sedimenten mittels Headspace-GC/MS. Er gibt Richtlinien für die Handhabung von flüchtigen organischen Substanzen in Böden und Sedimenten bei der Verwendung einer Headspace-Methode vor.

Der 8697 Headspace-Probengeber ist eine Plattform, die flüchtige organische Substanzen aus Böden und Sedimenten einer GC- oder GC/MSD-Plattform zur Analyse zuführen kann, wie dies die Standardmethode HJ 642-2013 erfordert. Der 8697 Headspace-Probengeber verfügt über intelligente Funktionen, die entwickelt wurden, um die

Benutzererfahrung zu verbessern und die Diagnosemöglichkeiten zu erweitern. Der 8697 Headspace-Probengeber kann mit intelligenten GC-Systemen von Agilent wie beispielsweise dem 8860 GC, dem 8890 GC und dem Intuvo 9000 GC mittels integrierter Kommunikation verbunden werden. Nutzer können auf die Browser-Schnittstelle des intelligenten GC-Systems oder der Workstation zugreifen, um die Headspace-Parameter zu konfigurieren oder einzustellen. Im Vergleich zu früheren Headspace-Produkten verfügt der 8697 Headspace-Probengeber über mehr automatisierte Diagnosefunktionen, die in der Browser-Schnittstelle des GC ausgeführt werden können. Mit der Hilfe dieser bedienereinitiierten Diagnostik kann man einfach feststellen, ob der 8697 Headspace-Probengeber in gutem Zustand und bereit für die Durchführung von Analysen ist. Eine klare Navigation in der Browser-Schnittstelle im Text- oder Bildformat macht die Wartung und die Fehlersuche am Headspace-Probengeber einfacher. Neben den intelligenten Wartungs- und Diagnosefunktionen bietet der 8697 Headspace-Probengeber eine Kapazität für 48 Probenflaschen und einen Probenflaschenofen mit 12 Positionen mit Luftbad für eine genaue Temperatursteuerung jeder Probe während der gesamten Äquilibrationszeit, was die Anforderungen der meisten kommerziellen Prüflabore an den Routineprobendurchsatz erfüllt.

In dieser Application Note wurden flüchtige organische Substanzen in Bodenproben mit der 8697 Headspace/8860 GC/5977B GC/MSD-Plattform gemäß der chinesischen Standardmethode HJ 642-2013 analysiert. Die Linearität, Reproduzierbarkeit, Nachweisgrenze und Quantifizierungsgrenze für 36 Zielverbindungen wurden untersucht und zeigten die hervorragende Leistung des Systems für die Analyse von flüchtigen organischen Substanzen.

Experimentelles

Chemikalien und Standards

Stammlösung: Eine Mischung aus 36 flüchtigen organischen Substanzen (VOC) in Methanol mit einer Konzentration von 1000 mg/l, interne Kalibrierungsstandards von Fluorbenzol, Chlorbenzol-d₅ und 1,2-Dichlorbenzol-d₄ in Methanol mit einer Konzentration von 2000 mg/l sowie Ersatzstandards von Toluol-d₈ und 4-Bromfluorbenzol in

Methanol mit einer Konzentration von 2000 mg/l wurden verwendet.

Matrixmodifizier: 500 ml von organischen Stoffen freies Wasser wurden mittels Phosphorsäure auf einen pH-Wert von ≤ 2 eingestellt und mit Natriumchlorid in Analysenqualität gesättigt.

Arbeitslösung: Die Stammlösungen der flüchtigen organischen Substanzen sowie der Ersatzverbindungen wurden gemischt und mit Methanol auf 10 mg/l verdünnt. Die erhaltene Lösung diente als Arbeitslösung. Die Stammlösung des internen Standards wurde für den späteren Gebrauch mit Methanol auf 50 mg/l verdünnt.

Vorbereitung der Kalibrierungsstandards und der Bodenproben

2 g Quarzsand wurden abgewogen. Der Sand und 5 ml des Matrixmodifiziers wurden in eine 20-ml-Headspace-Probenflasche gegeben. Aliquote der Arbeitslösungen von VOC/Ersatzstandards und internem Standard wurden schnell mit der Modifizierlösung versetzt. Die Probenflaschen wurden sofort verschlossen und geschüttelt, um den Standard gut mit dem Rest zu vermischen. Die endgültigen Kalibrierungsstandards wurden mit 4, 10, 20, 50 und 100 $\mu\text{g/l}$ vorbereitet und die internen Standards wurden mit einer Konzentration von 50 $\mu\text{g/l}$ versetzt.

2 g der Bodenprobe wurde in eine 20-ml-Probenflasche eingewogen. 5 ml Matrixmodifizier wurden zugegeben, danach wurde die Probe mit internem Standard versetzt, sodass sich eine Konzentration von 50 $\mu\text{g/l}$ ergab. Die Probenflasche wurde dann schnell verschlossen und zur Vermischung geschüttelt.

Geräte und Analysenbedingungen

Das 8860 GC-System war mit einem Split/Splitless-Einlass ausgerüstet. Der 8697 Headspace-Probengeber wurde verwendet, um die flüchtigen organischen Substanzen aus der Probe zu extrahieren und sie dem GC-System zuzuführen. Das Gas im Headspace der Probenflaschen strömte durch die Übertragungsleitung des 8697 Headspace-Probengebers und trat in den Split/Splitless-Einlass ein, bevor die Trennung auf einer analytischen Säule durchgeführt wurde. Die Probe wurde dann mit einem 5977B GC/MSD-System, das mit einer inerten Extraktor-Ionenquelle konfiguriert war, analysiert.

Die Datenerfassung erfolgte mit der Agilent MassHunter Acquisition Software Version 10.0. Für die Peakidentifikation bzw. die Quantifizierung wurde die MassHunter Qualitative Analysis Software Version B.08.00 bzw. die MassHunter Quantitative Analysis Software Version B.08.00 verwendet.

Die Analysenbedingungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Gemäß HJ 642-2013 sollte die MSD-Leistung täglich überprüft werden, um die Validität und Zuverlässigkeit der MS-Daten zu gewährleisten. Der MSD wurde abgeglichen und das Abgleichergebnis wurde durch die Analyse des Headspacegases in einer 20-ml-Probenflasche mit 5 µl BFB-Standard mit einer Konzentration von 100 µg/ml gemäß den Anforderungen von HJ 642-2013 an die Qualität des Massenspektrums verifiziert. Tabelle 2 zeigt das Ergebnis der Abgleichprüfung.

Tabelle 1: Analysenbedingungen des Systems aus 8697 Headspace-Probengeber/8860 GC/5977B GC/MSD.

Parameter	Sollwerte
Einlasstemperatur	250 °C
Liner	Ultra Inert Einlass-Liner, 4 mm ID, Split, (Best.-Nr. 5190-2295), Glaswolle entfernt
Säulenfluss	Konstanter Fluss, 1,2 ml/min
Splitverhältnis	10:1
Temperaturprogramm Ofen	40 °C (2 min), 8 °C/min bis 90 °C (4 min), dann 6 °C/min bis 200 °C (10 min)
Säule	Agilent J&W DB-624 GC-Säule, 60 m × 0,25 mm, 1,40 µm (Best.-Nr. 122-1364)
MSD-Übertragungsleitung	230 °C
MS-Quelle	280 °C
MS Quad	150 °C
Gain-Faktor	1
Drawout-Platte	6 mm
Volumen der Probenschleife (8697 Headspace-Probengeber)	1 ml
Druckgas für Probenflaschen	He
HS-Schleifentemperatur	100 °C
HS-Ofentemperatur	80 °C
HS-Übertragungsleitungs-temperatur	110 °C
Äquilibrierungszeit für Probenflaschen	50 min
Probenflaschengröße	20 ml, PTFE/Silikon-Septa (Best.-Nr. 8010-0413)
Schütteln der Probenflaschen	Level 7, 136 Schüttelbewegungen/min mit einer Beschleunigung von 530 cm/s ²
Probenflaschen-Füllmodus	Standard
Probenflaschen-Fülldruck	15 psi
Schleifen-Füllmodus	Anwendungsspezifisch
Anstiegsrate der Schleife	20 psi/min
Enddruck der Schleife	9 psi
Äquilibrierungszeit für die Probenschleife	0,1 min
Trärgas-Steuerungsmodus	GC Trärgas-Steuerung
Belüftung nach Extraktion	Ein

Tabelle 2: Konformitätsbewertung der MSD-Etune-Ergebnisse.

Zielsubstanz-masse	Rel. zur Masse	Untere Grenze in %	Obere Grenze in %	Rel. Abundanz in %	Rohabundanz	bestanden/nicht bestanden
95	95	100	100	100	96 889	bestanden
96	95	5	9	7,3	7109	bestanden
173	174	--	2	0	0	bestanden
174	95	50	--	64,3	62 325	bestanden
175	174	5	9	7,4	4612	bestanden
176	174	95	105	96,3	60 018	bestanden
177	176	5	10	6,6	3981	bestanden

Die Daten der Kalibrierungsstandards wurden im SIM-Modus (Selected Ion Monitoring) aufgenommen. Das Totalionen-Chromatogramm (TIC) in Abbildung 1 zeigt die Trennung und die Zuordnung für den Standard mit 20 µg/l.

Die Reproduzierbarkeit des Geräts wurde mit Hilfe der absoluten Response der Analyten verifiziert. Die Linearität des Systems wurde auf der Grundlage der quantifizierten Konzentrationen der Analyten anstelle der absoluten Flächen verifiziert, da der Standard HJ 642-2013 zur Quantifizierung eine Methode

mit internem Standard verwendet. Für die Bewertung der Reproduzierbarkeit wurden sechs Probenflaschen mit 20 µg/l Kalibriersubstanz analysiert. Die relative Standardabweichung der Response der 38 VOC (d. h. 36 Analyten und 2 Ersatzstandards) lag im Bereich von 1,0 bis 4,3 % (Abbildung 2), was die hervorragende Präzision der Probenerfassung und -detektion aufzeigt. Die Linearität des Geräts wurde in einem Bereich von 4 bis 100 µg/l in 5 ml Matrixmodifizier mit 2 g Quarzsand als Kontrollmatrix, was 10 bis 250 µg/kg Analyt in realen Proben entspricht, untersucht.

Alle untersuchten Komponenten zeigten eine gute Linearität, wobei die Korrelationskoeffizienten (R^2) der Regressionsformel über 0,996 lagen. Die Kalibrierungskurven für vier repräsentative Verbindungen, die zu Beginn, in der Mitte und am Ende des Chromatogramms eluieren, sind in Abbildung 3 gezeigt. Die Ergebnisse der Linearitätsuntersuchung wurden mit einer 6-mm-Drawout-Platte am MSD erzielt. Bei der Verwendung einer 3-mm-Drawout-Platte hatten einige Verbindungen einen R^2 -Wert von weniger als 0,99, was nicht die Anforderungen des HJ-Standards erfüllt.

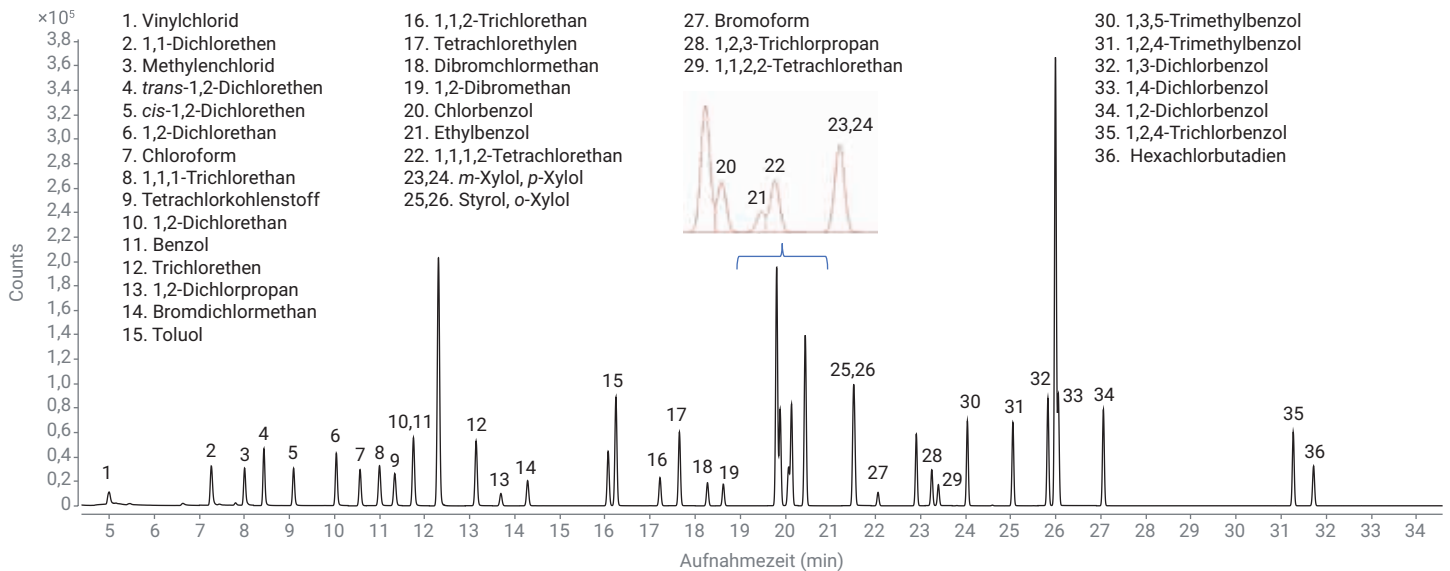


Abbildung 1: Totalionen-Chromatogramm (SIM-Modus) von VOC-Standards mit 20 µg/l in 5 ml Matrixmodifizier.

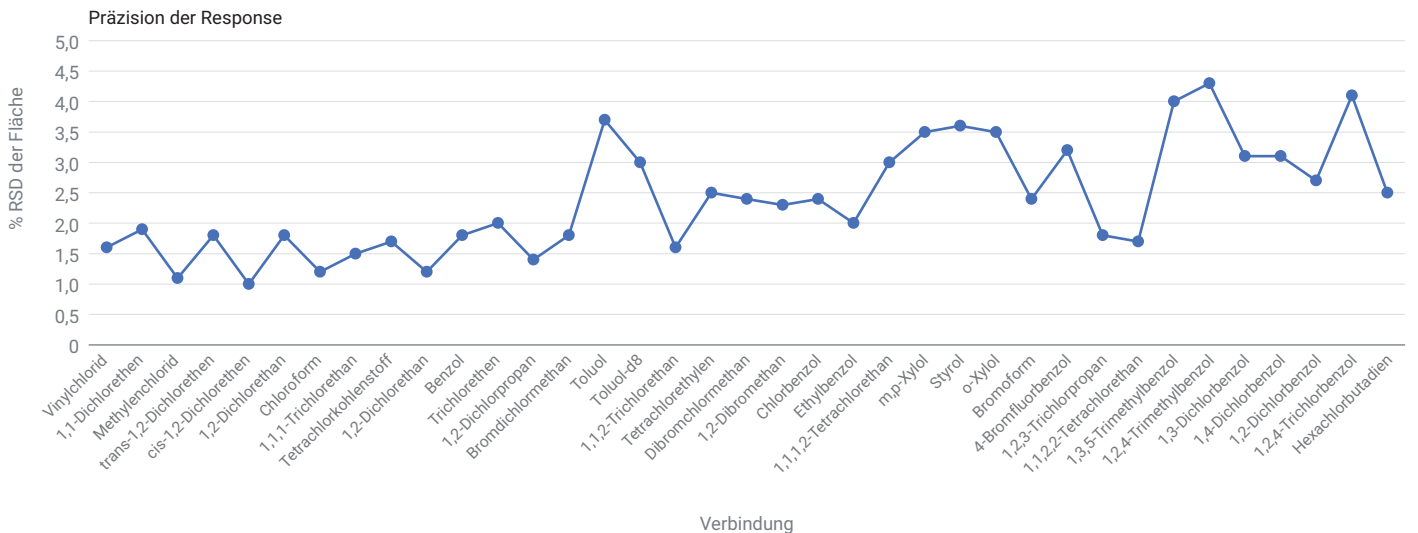


Abbildung 2: Flächengenauigkeit der Messungen von sechs Probenflaschen der Kalibrierungsstandards mit 20 µg/l in 5 ml Matrixmodifizier.

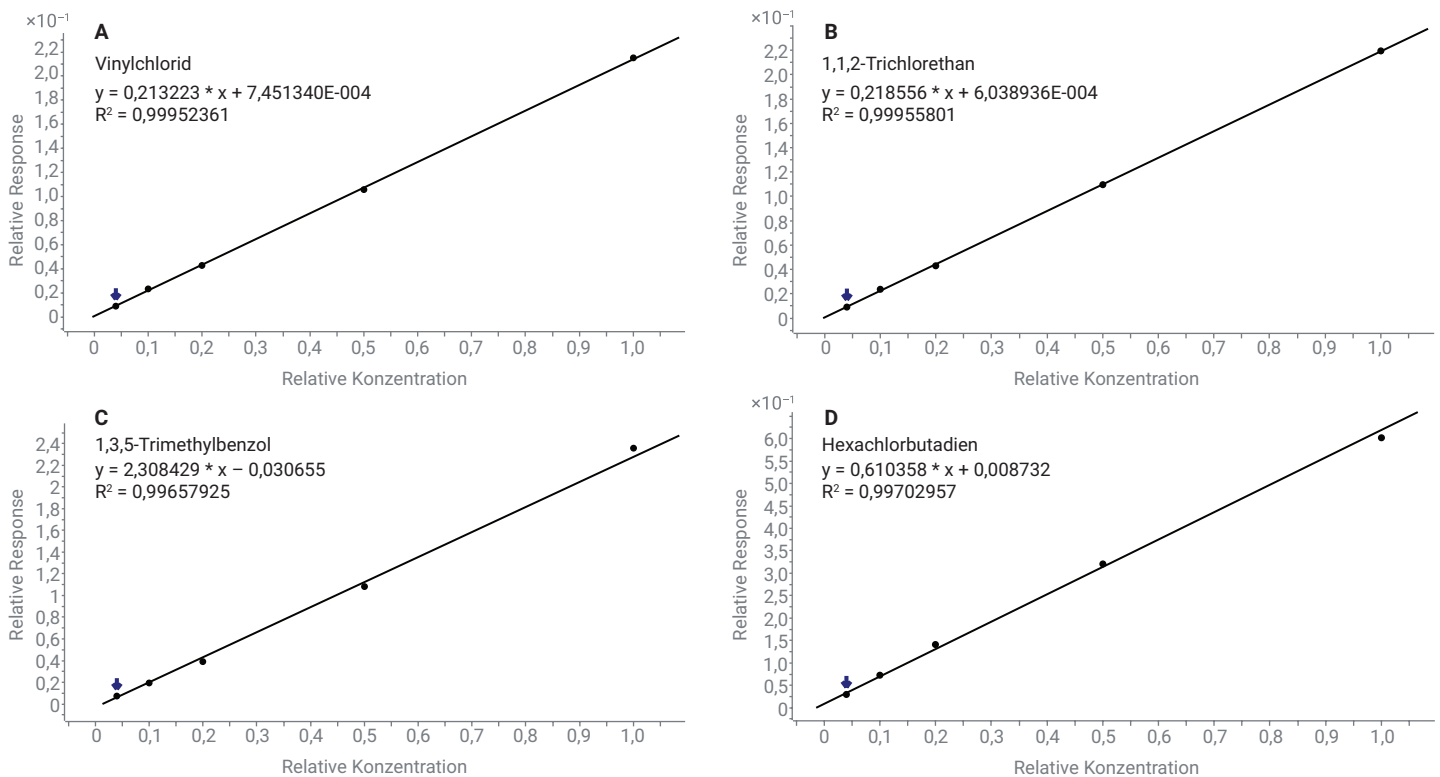


Abbildung 3: Kalibrierungskurven für repräsentative Verbindungen: (A) Vinylchlorid mit $R^2 = 0,9995$; (B) 1,1,2-Trichlorethan mit $R^2 = 0,9995$; (C) 1,3,5-Trimethylbenzol mit $R^2 = 0,9965$; (D) Hexachlorbutadien mit $R^2 = 0,9970$.

Die Wiederfindung der Methode wurde mit 2 g einer realen Bodenprobe, die mit 20 und 50 µl des Kalibrierungsstandards mit 10 mg/l (entsprechend 50 und 125 µg/kg VOC in der Bodenprobe) versetzt wurde, überprüft. Es wurde die Bodenprobe ohne Zugabe als Blindprobe getestet und dann der Unterschied zwischen der versetzten Probe und der Blindprobe für die Berechnung der Wiederfindungsrate verwendet. Die Chromatogramme einer Bodenblindprobe und von zwei Bodenproben mit Zugabe sind in Abbildung 4 gezeigt. Die Wiederfindungsrate für die Ersatzstandards lag bei:

- 103,5 % für Toluol- d_8 und 109,7 % für 4-Bromfluorbenzol bei 50 µg/kg
- 93,6 % für Toluol- d_8 und 95,9 % für 4-Bromfluorbenzol bei 125 µg/kg

Diese Werte erfüllten die Anforderungen des Standards in Bezug auf die Wiederfindung von Ersatzstandards in realen Proben. Die Wiederfindungsraten der 36 Zielverbindungen lagen zwischen 78,2 und 125,9 % bei 50 µg/kg und zwischen 71,7 und 108,7 % bei 125 µg/kg (Abbildung 5). Die Wiederfindungsraten zeigten eine zu den Referenzergebnissen des Standards HJ 642-2013 äquivalente Leistung.

Die instrumentelle Nachweisgrenze (IDL) wurde für 36 Zielverbindungen und zwei Ersatzstandards auf der Grundlage der Quantifizierungspräzision von Standards mit 4 µg/l in acht Probenflaschen berechnet. Die entsprechenden Nachweis- bzw. Quantifizierungsgrenzen (in µg/kg) in der Quarzsand-Blindprobe auf der Grundlage der instrumentellen Nachweisgrenze werden in Tabelle 3

(im Anhang) als Referenz für die Nachweis- bzw. Quantifizierungsgrenzen in realen Boden- und Sedimentproben gezeigt. Die Nachweisgrenze bzw. die Quantifizierungsgrenze der flüchtigen organischen Substanzen in Quarzsand lag zwischen 0,51 und 1,21 µg/kg bzw. zwischen 1,7 und 4,1 µg/kg. Dies reicht aus, um die Zielverbindungen, wie in der Standardmethode HJ 642-2013 angegeben, im einstelligen µg/kg-Bereich nachzuweisen.

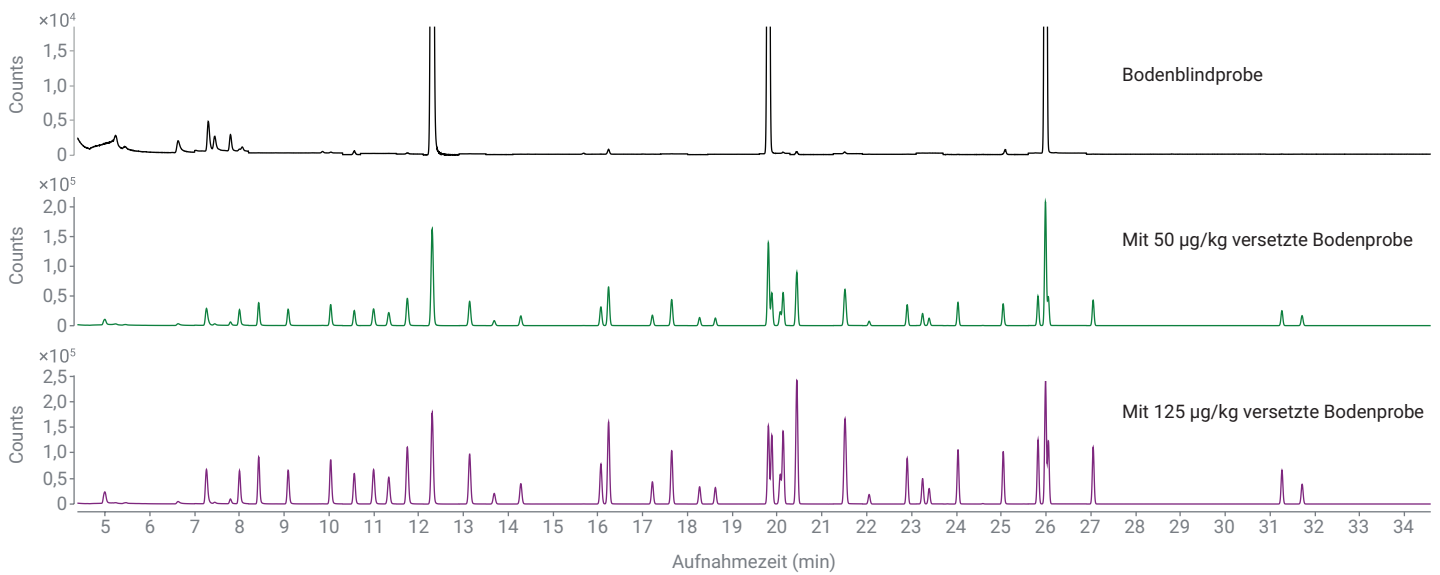


Abbildung 4: Totalionen-Chromatogramme der Bodenblindprobe und von mit Standard versetzten Bodenproben.

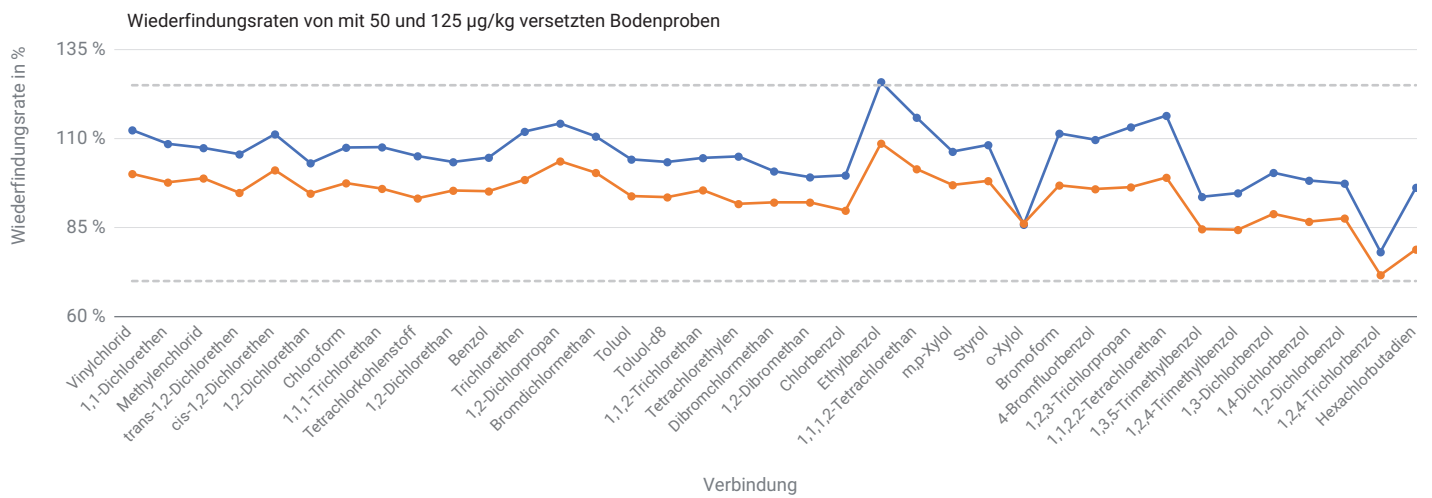


Abbildung 5: Wiederfindungsraten von mit Standard versetzten Bodenproben.

Schlussfolgerungen

Diese Application Note zeigt, dass der 8697 Headspace-Probengeber hervorragend dafür geeignet ist, flüchtige organische Verbindungen, die in Bodenproben und Sedimenten eingeschlossen sind, dem GC-System zur Identifizierung und Quantifizierung zuzuführen. Die Kombination des 8697 Headspace-Probengebers mit dem 8860 GC- und dem 5977B GC/MSD-System lieferte eine gute Reproduzierbarkeit, wie durch die Präzision der Response von 1,0 bis 4,3 % für 38 VOC gezeigt wurde. Die Kalibrierungskurven der Zielverbindungen im untersuchten Konzentrationsbereich (4 bis 100 µg/l) zeigte eine zufriedenstellende Linearität, bei der alle Korrelationskoeffizienten über 0,996 lagen. Die mit dem beschriebenen System erzielten Nachweis- und Quantifizierungsgrenzen ergaben eine Leistung, die mit der im Standard HJ 642-2013 gezeigten Leistung äquivalent ist. Die Wiederfindungsraten von mit 50 und 125 µg/kg versetzten Bodenproben lagen bei 78,2 bis 125,9 % bzw. bei 71,7 bis 108,7 %. Dies zeigt, dass der 8697 Headspace-Probengeber zusammen mit dem intelligenten 8860 GC-System eine zuverlässige und genaue Analyse von flüchtigen organischen Verbindungen in realen Boden- und Sedimentproben liefern kann.

Literatur

1. Chinesischer Umweltschutz-Industriestandard HJ 642-2013: Soil and Sediment–Determination of Volatile Organic Compounds–Headspace-Gas Chromatography/Mass Method. Chinesisches Umweltschutzministerium (veröffentlicht am 21. Januar 2013).

Anhang

Tabelle 3: Linearitätswerte des Geräts, Nachweisgrenzen, Flächengenaugigkeiten und Wiederfindungsraten bei den verwendeten Betriebsbedingungen.

Verbindung	RT/min	CF-Gleichung	CF R ²	% RSD der Response	LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)	Wiederfindungsrate	
							50 µg/kg	125 µg/kg
Vinylchlorid	4,997	$y = 0,213223 * x + 7,451340E-004$	0,9995	1,6	1,22	4,05	112,4 %	100,1 %
1,1-Dichlorethen	7,271	$y = 0,280056 * x + 0,002079$	0,9994	1,9	0,62	2,06	108,5 %	97,7 %
Methylenchlorid	8,004	$y = 0,251349 * x + 0,002364$	0,9992	1,1	0,73	2,43	107,4 %	98,9 %
trans-1,2-Dichlorethen	8,435	$y = 0,287348 * x + 0,002651$	0,9991	1,8	0,83	2,77	105,6 %	94,8 %
cis-1,2-Dichlorethen	9,093	$y = 0,397743 * x + 0,003192$	0,9994	1	0,62	2,05	111,3 %	101,2 %
1,2-Dichlorethan	10,040	$y = 0,297696 * x + 0,002091$	0,9994	1,8	0,75	2,48	103,1 %	94,6 %
Chloroform	10,566	$y = 0,369739 * x + 0,005035$	0,9992	1,2	0,60	1,99	107,5 %	97,5 %
1,1,1-Trichlorethan	10,999	$y = 0,329690 * x + 0,002463$	0,9995	1,5	0,62	2,06	107,6 %	96,0 %
Tetrachlorkohlenstoff	11,336	$y = 0,318289 * x + 0,002059$	0,9996	1,7	0,57	1,89	105,1 %	93,3 %
1,2-Dichlorethan	11,746	$y = 0,193792 * x + 0,001507$	0,9993	1,2	0,74	2,45	103,4 %	95,4 %
Benzol	11,750	$y = 1,051625 * x + 0,006656$	0,9996	1,8	0,72	2,41	104,7 %	95,2 %
Trichlorethen	13,141	$y = 0,360773 * x + 0,002391$	0,9996	2	0,65	2,15	112,0 %	98,5 %
1,2-Dichlorpropan	13,689	$y = 0,291754 * x + 8,914385E-004$	0,9998	1,4	0,65	2,16	114,3 %	103,7 %
Bromdichlormethan	14,281	$y = 0,338244 * x + 0,001356$	0,9997	1,8	0,65	2,15	110,6 %	100,4 %
Toluol	16,069	$y = 1,164353 * x + 0,001734$	0,9997	3,7	0,85	2,85	104,2 %	93,9 %
Toluol-d ₈	16,243	$y = 0,883187 * x - 1,193050E-004$	0,9995	3	0,83	2,76	103,5 %	93,6 %
1,1,2-Trichlorethan	17,217	$y = 0,218556 * x + 6,038936E-004$	0,9996	1,6	0,67	2,24	104,6 %	95,5 %
Tetrachlorethylen	17,652	$y = 0,384694 * x + 0,002042$	0,9997	2,5	0,68	2,26	105,0 %	91,7 %
Dibromchlormethan	18,272	$y = 0,287628 * x + 6,739824E-004$	0,9992	2,4	0,71	2,38	100,8 %	92,1 %
1,2-Dibromethan	18,622	$y = 0,236576 * x + 2,992586E-004$	0,9991	2,3	0,82	2,74	99,2 %	92,1 %
Chlorbenzol	19,884	$y = 1,062315 * x + 0,003659$	0,9997	2,4	0,68	2,28	99,7 %	89,8 %
Ethylbenzol	20,071	$y = 0,587171 * x + 0,002820$	0,9995	2	0,61	2,04	125,9 %	108,7 %
1,1,1,2-Tetrachlorethan	20,135	$y = 2,915519 * x - 0,001669$	0,9997	3	0,62	2,06	115,9 %	101,5 %
m,p-Xylol	20,442	$y = 2,580795 * x - 0,023563$	0,9983	3,5	0,70	2,34	106,4 %	97,0 %
Styrol	21,510	$y = 1,204945 * x - 0,009297$	0,9989	3,6	0,69	2,29	108,2 %	98,1 %
o-Xylol	21,537	$y = 1,637392 * x - 0,019908$	0,9974	3,5	0,79	2,64	85,9 %	86,2 %
Bromoform	22,055	$y = 0,350684 * x + 1,159518E-005$	0,9990	2,4	0,78	2,61	111,5 %	96,9 %
4-Bromfluorbenzol	22,902	$y = 0,892720 * x + 0,002945$	0,9998	3,2	0,75	2,49	109,7 %	95,9 %
1,2,3-Trichlorpropan	23,249	$y = 0,801680 * x + 0,002143$	0,9994	1,8	0,75	2,48	113,2 %	96,4 %
1,1,2,2-Tetrachlorethan	23,397	$y = 0,617940 * x + 0,001429$	0,9995	1,7	0,74	2,48	116,5 %	99,1 %
1,3,5-Trimethylbenzol	24,037	$y = 2,308429 * x - 0,030655$	0,9966	4	0,72	2,41	93,7 %	84,6 %
1,2,4-Trimethylbenzol	25,046	$y = 2,284967 * x - 0,033058$	0,9963	4,3	0,82	2,74	94,7 %	84,4 %
1,3-Dichlorbenzol	25,823	$y = 1,737283 * x + 0,007524$	0,9997	3,1	0,68	2,26	100,4 %	88,9 %
1,4-Dichlorbenzol	26,054	$y = 1,710684 * x + 0,009649$	0,9997	3,1	0,73	2,45	98,2 %	86,7 %
1,2-Dichlorbenzol	27,052	$y = 1,626089 * x + 0,010158$	0,9995	2,7	0,64	2,12	97,4 %	87,6 %
1,2,4-Trichlorbenzol	31,265	$y = 1,080196 * x + 0,006445$	0,9996	4,1	0,95	3,17	78,2 %	71,7 %
Hexachlorbutadien	31,715	$y = 0,610358 * x + 0,008732$	0,9995	2,5	0,51	1,69	96,3 %	78,9 %

www.agilent.com/chem

DE4429.2920023148

Änderungen vorbehalten.

© Agilent Technologies, Inc. 2021
Gedruckt in den USA, 10. März 2021
5994-3073DEE