



Flüssigkeiten in Kondensatoren

Bestimmung von Flüssigkeiten in elektrischen Kondensatoren
mit Definition und Zuordnung von bedenklichen Stoffen

Aktualisierter Schlussbericht

Sons
eRecycling

SWICO

Version 2 – Zürich, 19. August 2020

Autoren

Daniel Savi, Dipl. Umweltnaturwissenschaftler ETH ¹⁾

Ueli Kasser, lic. phil. nat. (Chemiker) ¹⁾

Rolf Widmer, wissenschaftlicher Mitarbeiter ²⁾

Zugehörigkeit zu Organisationen:

¹⁾ Büro für Umweltchemie, Schaffhauserstrasse 21, CH-8006 Zürich

²⁾ Empa, Abteilung Technologie und Gesellschaft,
Lerchenfeldstrasse 5, CH-9014 St. Gallen

Auftraggeber

Stiftung SENS, Obstgartenstrasse 28, 8006 Zürich

Swico Recycling, Lagerstrasse 33, 8004 Zürich

Begleitgruppe

Andreas Buser, BAFU Sektion Industriechemikalien, Bern

Markus Zennegg, EMPA Lab. for Adv. Analytical Technologies, Dübendorf

Rolf Widmer, EMPA, Auditor Swico, St. Gallen

Emil Franov († 2017), Auditor SENS Carbotech AG, Basel

Gerit Hug, Auditor SENS IPSO ECO AG, Rothenburg

Mitarbeit TK SENS-Swico

Anahide Bondolfi, Abeco, Aïre

Heinz Böni, Empa St. Gallen

Flora Conte, Carbotech AG, Basel

Roman Eppenberger, SENS, Zürich

Michael Gasser, EMPA, St. Gallen

Roger Gnos, Swico, Zürich

Arthur Haarmann, EMPA, St. Gallen

Niklaus Renner, IPSO ECO AG, Rothenburg

Danksagung

Wir danken folgenden Experten für Ihre Mitarbeit:

KEZO, Daniel Böni, Hinwil

Wir danken den teilnehmenden Recyclern und Zerlegebetrieben für die Unterstützung der Studie:

Altola AG, Olten

E. Flückiger AG, Rothrist

LZR Leistungs Zentrum Rheintal GmbH, Rheineck

OEKO-Service Schweiz AG, Rheinfelden

1 Zusammenfassung

1.1 Fragestellung

Den Anlass zur vorliegenden Studie lieferte der Umstand, dass PCB-haltige Kondensatoren einen immer geringeren Anteil an den gesammelten Kondensatoren aus Elektroaltgeräten ausmachen. Nach Ergebnissen anderer Studien, wonach gewisse Gerätekategorien inzwischen frei von PCB-haltigen Kondensatoren seien, sollten diese Ergebnisse für die Elektroaltgeräte in der Schweiz geprüft werden. Für PCB-freie Kondensatoren lag noch keine systematische Arbeit dazu vor, welche flüssigen Inhaltsstoffe darin enthalten sind. Gemäss den Vorgaben der gültigen Normen und Vorschriften wird auch eine Entfrachtung von PCB-freien Kondensatoren aus Elektrogeräten gefordert, falls darin bedenkliche Stoffe vorkommen. Daraus ergab sich die weitere Fragestellung, wie bedenkliche Stoffe zu definieren sind. Für die bedenklichen Stoffe in Kondensatoren wurden Fragen zum Verhalten im Recycling und der Umwelt abgeklärt. Zudem präsentieren wir Vorschläge, wie diese Kondensatoren im Recycling gehandhabt werden sollen.

1.2 Literaturrecherche

In der Literaturrecherche zu Beginn der Studie werteten wir das zugängliche Wissen über flüssige Inhaltsstoffe in Kondensatoren aus. Zunächst wurde versucht, aus der Literatur und mit Herstellerbefragungen zu erschliessen, welche Bauformen von Kondensatoren Flüssigkeiten enthalten. Es ergab sich, dass Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren und die selten verwendeten Tantal-Folienkondensatoren immer Flüssigkeiten enthalten, ungepolte zylindrische Kondensatoren Flüssigkeiten enthalten können, jedoch nicht müssen, währenddessen andere Bauformen immer vollständig trocken sind. Die Recherche der flüssigen Inhaltsstoffe stellte sich als anspruchsvoll heraus. Es gibt von Herstellerseite keine detaillierte Deklaration der Flüssigkeiten in Kondensatoren. Die möglichen Inhaltsstoffe wurden über Laboranalysen früherer Studien, Patentschriften und Grundlagenwerke zur Elektronik erschlossen.

Zum Begriff der «bedenklichen Stoffe» wurden die bestehenden Richtlinien der EU und die nationale Gesetzgebung der Schweiz durchsucht. Es zeigte sich, dass der Begriff rechtlich nicht definiert ist und für die Anwendung im Recycling eine Definition erarbeitet werden muss.

1.3 Methoden

In einer umfangreichen Sammelkampagne wurden über 5'000 Kondensatoren gesammelt, die in mindestens einer Dimension grösser als 2.5 cm sind. Diese wurden pro Gerätekategorie ausgewertet bezüglich ihrer Hersteller, Modellnummer, ihres Produktionsjahres, Bautyps und PCB-Gehalts gemäss des Kondensatorenverzeichnisses von chemsuisse. Für 21 Kondensatormodelle, die nicht klassiert werden konnten, wurden im Labor die PCB-Gehalte bestimmt.

Aus den gesammelten Proben wurden zunächst acht Mischproben aus PCB-freien Kondensatoren für die Laboranalyse der flüssigen Inhaltsstoffe erstellt. Kondensatoren aus mehreren Gerätekategorien wurden für jeweils eine Mischprobe zusammengefasst. Beispielsweise wurden die Kondensatoren aus Laptop-Netzteilen und Desktop-Computern zu einer Mischprobe kombiniert. Zusätzlich wurden fünf Einzelmodelle aus den ungepolten zylindrischen Kondensatoren gewählt. Aus diesen wurden Flüssigkeitsproben pro Modell erstellt. Die Inhaltsstoffe der Proben wurden im Labor einerseits mittels GCMS und im Fall von Elektrolytkondensatoren mittels LCMS chemisch analysiert. Aus den Chromatogrammen der GCMS-Analysen wurden jeweils die zwanzig grössten Peaks ausgewertet.

Der Flüssigkeitsanteil am Kondensatorengehalt wurde für Elektrolyt-Kondensatoren, ungepolte zylindrische Kondensatoren und Mikrowellenkondensatoren bestimmt. Aufgrund der Analyseresultate wurden Stoffflussabschätzungen für PCB-Frachten und Frachten bedenklicher Stoffe in der Schweiz vorgenommen. Zudem wurde der Stofffluss der Flüssigkeiten im Recycling anhand eines Musterprozesses modelliert und kritische Wege für die Freisetzung bedenklicher Stoffe identifiziert.

1.4 Resultate und Diskussion

Für die Einstufung der Stoffe in bedenkliche und unbedenkliche erarbeiteten wir ein Beurteilungsschema, das auf den H-Sätzen des global harmonisierten Systems (GHS) basiert. Die Stoffe, welche aus der Analyse oder der Literaturrecherche bekannt waren, wurden mithilfe des Beurteilungsschemas klassiert. In ungepolten zylindrischen Kondensatoren wurden neun, in Elektrolytkondensatoren sechs und in Mikrowellenkondensatoren vier bedenkliche Stoffe festgestellt.

In sämtlichen Geräten der IT und der Unterhaltungselektronik wurden keine PCB-haltigen Kondensatoren gefunden. In diesen Geräteklassen dominieren die Elektrolytkondensatoren, die nie PCB-haltig sind. In Kühl-, Klima- und Gefriergeräten waren keine Kondensatoren PCB-haltig. In den Haushaltsgrossgeräten waren 0.5 % der Kondensatoren PCB-haltig und 1.7 % der Kondensatoren PCB-verdächtig. Kondensatoren aus Leuchten sind nach wie vor stark PCB-haltig. In unserer Untersuchung waren 55 % der Kondensatoren PCB-haltig und weitere 21 % PCB-verdächtig. Die PCB-haltigen Kondensatoren führen nach wie vor zu einer bedeutenden PCB-Fracht von 300-350 kg/a in der Schweiz.

Die Resultate für SENS-Kleingeräte waren wenig plausibel und können nicht als repräsentativ für die SENS-Kleingeräte im Rücklauf angesehen werden. Es ist zu vermuten, dass der hohe Anteil PCB-haltiger Kondensatoren dadurch zustande kommt, dass irrtümlich Kondensatoren aus Haushalts-Fluoreszenzleuchten in die Sammlung gelangt sind.

Der Flüssigkeitsanteil am Kondensatorengehalt beträgt rund 15 % für ungepolte zylindrische und Elektrolyt-Kondensatoren, sowie rund 10 % für Mikrowellenkondensatoren.

Aus dem Datenmaterial konnten weitere Auswertungen vorgenommen werden. Bestimmt wurden zum Beispiel der Anteil trockener Kondensatoren an den ungepolten zylindrischen, die Gewichtsanteile der Elektrolytkondensatoren in Geräten der IT und Unterhaltungselektronik, die Aufteilung der Elektrolytkondensatoren in solche grösser als 2.5 cm in einer Dimension und kleinere. Für alle Kondensatorentypen wurden die Durchschnittsgewichte berechnet.

1.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Für bedenkliche Stoffe wurde im Rahmen dieser Studie eine Definition erarbeitet, deren Anwendung wir empfehlen. Die Stabilität und das Umweltverhalten der identifizierten bedenklichen Stoffe wurde mithilfe von Literaturdaten weiter abgeklärt. Es konnte abgeschätzt werden, dass die bedenklichen Stoffe als Anhaftungen auf brennbaren Materialien in thermischen Verwertungsprozessen zerstört werden sollten.

Alle Flüssigkeiten der analysierten Kondensatorkategorien können bedenkliche Stoffe im Sinne der erarbeiteten Definition enthalten. Die festgestellten Konzentrationen bedenklicher Stoffe waren gering, ausser in Mikrowellenkondensatoren. Aus den Daten wurde die Jahresfracht bedenklicher Stoffe in PCB-freien Kondensatoren auf 0.5-5 t/a abgeschätzt.

Das Entfernungsgebot aus der CENELEC-Norm 50625 und der WEEE-Direktive sollte überarbeitet werden, damit es alle Kondensatoren umfasst, die Flüssigkeiten enthalten. Das Grössenkriterium für Elektrolyt-Kondensatoren sollte geprüft werden, da sich die Hälfte der Flüssigkeiten in Kondensatoren kleiner als 2.5 cm befindet. Die Autoren erreichten in dieser Frage keinen Konsens. PCB-haltige Kondensatoren, die nach wie vor in Haushaltgrossgeräten und Leuchten vorkommen, müssen weiterhin vor einer mechanischen Verarbeitung aus den Elektroaltgeräten entfernt werden. Für PCB-freie Kondensatoren ist eine Entfernung in einen unterscheidbaren Strom zu fordern, der überwacht werden kann, wie dies die CENELEC-Norm 50625 vorsieht.

Die Entfernung in einen unterscheidbaren Strom nach einer mechanischen Verarbeitung hat mit der Problematik zu kämpfen, dass Kondensatoren im Schredder zerstört werden können. Wir beschreiben dieses Verhalten mit einer Bruchrate und zeigen anhand der Verarbeitung von Haushaltkleingeräten auf, welche Bruchraten zu kritischen Flüssen bedenklicher Stoffe in der Folgebehandlung führen können. Weitere Studien sind nötig, um die Frage nach dem Verbleib der Flüssigkeiten in den Fraktionen und zulässigen Verarbeitungstechnologien zu klären.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ZUSAMMENFASSUNG | 4 |
| 1.1 | Fragestellung | 4 |
| 1.2 | Literaturrecherche | 4 |
| 1.3 | Methoden | 4 |
| 1.4 | Resultate und Diskussion..... | 5 |
| 1.5 | Schlussfolgerungen und Empfehlungen | 6 |
| 2 | FRAGESTELLUNG UND VORGEHEN | 14 |
| 2.1 | Fragestellung | 14 |
| 2.2 | Interpretation des Entfernungsgebots für Kondensatoren | 15 |
| 2.3 | Der Entfernungsbegriff in der CENELEC-Norm 50625-1 | 16 |
| 2.4 | Vorgehen..... | 17 |
| 3 | BEGRIFFE | 19 |
| 3.1 | Ungepolte zylindrische Kondensatoren..... | 19 |
| 3.2 | Elektrolyt | 20 |
| 3.3 | Elektrolyt-Kondensatoren..... | 20 |
| 3.4 | Dielektrikum | 21 |
| 3.5 | Mikrowellen-Kondensatoren..... | 21 |
| 4 | LITERATURRECHERCHE | 22 |
| 4.1 | Klassierung der Kondensatoren | 22 |
| 4.2 | Flüssige Inhaltsstoffe | 24 |
| 4.3 | Klassierung der Inhaltsstoffe..... | 26 |
| 5 | METHODEN | 30 |
| 5.1 | Probenahme der Kondensatoren | 30 |
| 5.2 | Analyse der Inhaltsstoffe | 39 |
| 5.3 | Laboranalyse PCB-verdächtiger Kondensatoren..... | 44 |
| 5.4 | Gewichtsanteil der Flüssigkeiten in Kondensatoren | 45 |
| 5.5 | Stofffluss der Flüssigkeiten aus Kondensatoren im Recyclingprozess | 47 |
| 5.6 | Recherche der Stabilität und Risiken der bedenklichen Stoffe | 49 |
| 6 | RESULTATE | 51 |
| 6.1 | Definition bedenklicher Stoffe | 51 |
| 6.2 | Analyseergebnisse flüssige Inhaltsstoffe | 53 |
| 6.3 | Literaturangaben zu flüssigen Inhaltsstoffen..... | 68 |
| 6.4 | Beurteilung der Stabilität und Risiken der bedenklichen Stoffe | 70 |
| 6.5 | Anteil PCB-haltiger Kondensatoren | 74 |
| 6.6 | Anteile der Kondensatoren mit Flüssigkeiten..... | 77 |
| 6.7 | Gewichtsanteil der Flüssigkeit in Kondensatoren | 79 |
| 6.8 | Berechnung von Jahresfrachten für Kondensatoren und Flüssigkeiten..... | 81 |
| 6.9 | Fluss der Kondensatoren-Flüssigkeit im Recyclingprozess | 84 |
| 6.10 | Sammelergebnis | 88 |
| 7 | DISKUSSION..... | 93 |
| 7.1 | Klassierung der Flüssigkeiten in Kondensatoren | 93 |
| 7.2 | Bedenkliche Stoffe mit auffälligen Eigenschaften bezüglich der Ökotoxizität | 97 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7.3 | Verhalten der bedenklichen Stoffe im Recyclingprozess | 99 |
| 7.4 | Flüssige Inhaltsstoffe PCB-freier Kondensatoren | 100 |
| 7.5 | Anteil PCB-haltiger Kondensatoren | 104 |
| 7.6 | Durchschnittsgewichte | 106 |
| 7.7 | Gewichtsauswertung Elektrolytkondensatoren in Geräten | 108 |
| 7.8 | Weitere Interpretationen der Analyseergebnisse | 110 |
| 8 | SCHLUSSFOLGERUNGEN | 112 |
| 8.1 | Neue Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie | 112 |
| 8.2 | Kunststoffe in die Wiederverwertung als kritischer Pfad | 112 |
| 8.3 | Flüssigkeitsanteil geringer als bisher gedacht | 113 |
| 8.4 | Jahresfracht bedenklicher Stoffe..... | 113 |
| 8.5 | PCB-Fracht aus Kondensatoren nach wie vor bedeutend | 114 |
| 8.6 | Gewichtsbestimmungen für Kondensatoren in Geräten | 115 |
| 8.7 | Unterscheidung von Kondensatoren nach Herkunft in der Praxis schwierig umsetzbar..... | 115 |
| 8.8 | Chemisch-analytische Resultate | 116 |
| 8.9 | Genauigkeit und Repräsentativität der Ergebnisse | 116 |
| 9 | EMPFEHLUNGEN | 117 |
| 9.1 | Definition «bedenkliche Stoffe»..... | 117 |
| 9.2 | Auffälligste Substanzen als Leitsubstanzen für Analysen..... | 118 |
| 9.3 | Vorentfrachtung vor der mechanischen Verarbeitung nötig für PCB-haltige- und Mikrowellen-Kondensatoren | 118 |
| 9.4 | Regel zur Entfernung aller Kondensatoren mit Flüssigkeiten | 118 |
| 9.5 | Weitere Modellrechnungen zum Flüssigkeitsfluss im Recycling für Haushaltgrossgeräte und Swico-Geräte | 119 |
| 9.6 | Weitere Untersuchungen zur Freisetzung und Verteilung bedenklicher Stoffe im Recycling .. | 120 |
| 9.7 | Analyse bedenklicher Stoffe in Kunststoffen zur Verwertung | 120 |
| 10 | LITERATUR | 121 |
| A | CHEMISCH-TOXISCHE EIGENSCHAFTEN DER BEDENKLICHEN STOFFE | 124 |
| B | STOFFLISTEN FÜR DIE LABORANALYSE | 147 |
| B.1 | Erläuterungen zu den Stofflisten für die Analyse | 147 |
| B.2 | Ungepolte zylindrische Kondensatoren..... | 147 |
| B.3 | Elektrolytkondensatoren..... | 148 |
| B.4 | Mikrowellenkondensatoren | 149 |
| B.5 | Kondensatortyp unbekannt | 150 |
| C | LABORBERICHTE DER ANALYSEN..... | 151 |
| C.1 | Probenbezeichnungen, Resultate PCB- und Elementaranalysen..... | 151 |
| C.2 | Beschrieb Probenaufbereitung..... | 156 |
| C.3 | Laborberichte der Mischproben | 159 |
| C.4 | Laborberichte der Einzelproben | 192 |
| C.5 | Analyseergebnisse der PCB-Analysen | 208 |
| D | BILDER DER UNGEPOLTEN ZYLINDRISCHEN KONDENSATOREN, DIE EINZELN ANALYSIERT WURDEN..... | 217 |
| E | H-SÄTZE FÜR EINE KLASSIERUNG ALS BEDENKLICHER STOFF IM RECYCLING..... | 220 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Klassierung der Kondensatoren | 23 |
| Tabelle 2: GHS-Einstufung der flüssigen Inhaltsstoffe von Kondensatoren..... | 28 |
| Tabelle 3: Gerätekategorien für die Sammlung der Kondensatoren | 30 |
| Tabelle 4: Grössenordnung PCB-Gehalt – Daten Kondensatoren-Studie 2007 | 33 |
| Tabelle 5: Grössenordnung PCB-Gehalt – Daten Leuchten-Studie 2009..... | 33 |
| Tabelle 6: Abschätzung PCB-haltige Kondensatoren in Stückzahlen für alle Gerätekategorien | 34 |
| Tabelle 7: Geplante Probengrössen pro Gerätekategorie..... | 35 |
| Tabelle 8: Bei den Vorversuchen zerlegte Geräte und gefundene Kondensatoren | 36 |
| Tabelle 9: Vorgehen zur Separation der Flüssigkeiten pro Kondensatortyp | 39 |
| Tabelle 10: Durchgeführte Laboranalysen pro Mischprobe..... | 41 |
| Tabelle 11: Mischprobenziele und -strategien..... | 42 |
| Tabelle 12: Anteil der Kondensatoren, welche in der Mischprobe vertreten sind..... | 43 |
| Tabelle 13: Erstellte Proben für Einzelmodelle ungepolter zylindrischer Kondensatoren | 44 |
| Tabelle 14: Grenzwerte für die Halbwertszeit in Tagen pro Umweltkompartiment für die Klassierungen als persistent oder sehr persistent gemäss REACH-Verordnung der EU | 50 |
| Tabelle 15: H-Sätze flüssiger Inhaltsstoffe und Klassierung als bedenklicher Stoff..... | 52 |
| Tabelle 16: Analyseergebnisse GCMS Haushaltgrossgeräte (Probe-Nr. 6 HHG) | 56 |
| Tabelle 17: Analyseergebnisse GCMS Kühl-, Klima- und Gefriergeräte (Probe-Nr. 1 KG)..... | 56 |
| Tabelle 18: Analyseergebnisse GCMS SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.1 HKG)..... | 56 |
| Tabelle 19: Analyseresultate PCB in Mischproben PCB-freier Kondensatoren | 57 |
| Tabelle 20: Qualitative Einstufung der Probenfarbe und Konsistenz | 57 |
| Tabelle 21: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 311 (Probe-Nr. HHGG1) | 58 |
| Tabelle 22: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 109 (Probe-Nr. HHGG2) | 59 |
| Tabelle 23: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 126 (Probe-Nr. HHGG3) | 60 |
| Tabelle 24: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 90 (Probe-Nr. HHGG4) | 60 |
| Tabelle 25: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 95 (Probe-Nr. HHGG5) | 60 |
| Tabelle 26: Summe und Anteile der identifizierten Substanzen in der Kondensatorenflüssigkeit..... | 61 |
| Tabelle 27: Analyseergebnisse GCMS Elko Flachbildschirme PC und TV (Probe-Nr. 2 LCD)..... | 62 |
| Tabelle 28: Analyseergebnisse LCMS Elko Flachbildschirme PC und TV (Probe-Nr. 2 LCD)..... | 62 |
| Tabelle 29: Analyseergebnisse GCMS Elko Laptop-Netzteile und Desktop-PCs (Probe-Nr. 7 Netz)... | 63 |
| Tabelle 30: Analyseergebnisse LCMS Elko Laptop-Netzteile und Desktop-PCs (Probe-Nr. 7 Netz).... | 63 |
| Tabelle 31: Analyseergebnisse GCMS Elko SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.2 HKG)..... | 63 |
| Tabelle 32: Analyseergebnisse LCMS Elko SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.2 HKG) | 64 |
| Tabelle 33: Ergebnisse Elementaranalyse Al-Elko auf Wolfram und Bor..... | 64 |
| Tabelle 34: Analyseergebnisse GCMS Mikrowellen Hersteller BiCai (Probe-Nr. 3.1 MW) | 65 |
| Tabelle 35: Analyseergebnisse GCMS Mikrowellen andere Hersteller (Probe-Nr. 3.2 MW)..... | 66 |
| Tabelle 36: Analyseresultate PCB in Mischproben PCB-freier Kondensatoren | 66 |
| Tabelle 37: Aus der Literatur unbekannt analysierte Inhaltsstoffe von Kondensatoren | 67 |
| Tabelle 38: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe ungepolter zylindrischer Kondensatoren..... | 68 |
| Tabelle 39: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe von Elektrolytkondensatoren..... | 68 |
| Tabelle 40: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe von Mikrowellenkondensatoren | 69 |
| Tabelle 41: Stoffeigenschaften mit Relevanz für die thermische Stabilität bedenklicher Stoffe | 70 |
| Tabelle 42: Stoffeigenschaften mit Relevanz für die Stoffverteilung im Recyclingprozess | 71 |
| Tabelle 43: Stoffeigenschaften mit Relevanz für die Toxizität..... | 71 |
| Tabelle 44: Spannweite der Biokonzentrationsfaktoren der bedenklichen Stoffe..... | 72 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 45: Bedenkliche Stoffe im Recycling, die gemäss Modellwerten möglicherweise bioakkumulierbar sind | 72 |
| Tabelle 46: Bedenkliche Stoffe, die gemäss Wasserrahmenrichtlinie «prioritäre Stoffe» sind..... | 73 |
| Tabelle 47: Bekannte Abbauprodukte bedenklicher Stoffe aus Kondensatoren | 73 |
| Tabelle 48: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Haushaltgrossgeräten | 74 |
| Tabelle 49: Anteile von PCB-haltigen Kondensatoren in HHGG mit Konfidenzintervallen..... | 74 |
| Tabelle 50: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Kühl-, Klima- und Gefriergeräten | 74 |
| Tabelle 51: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Vorschaltgeräten | 75 |
| Tabelle 52: Anteile PCB-haltiger Kondensatoren in Vorschaltgeräten mit Konfidenzintervallen..... | 75 |
| Tabelle 53: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in SENS-Kleingeräten | 76 |
| Tabelle 54: Anteile PCB-haltiger Kondensatoren Haushal Kleingeräten mit Konfidenzintervallen | 76 |
| Tabelle 55: Anteile trockener an den ungepolten zylindrischen Kondensatoren..... | 78 |
| Tabelle 56: Klassierung Flüssigkeitsaustritt bei der Probenahme von ungepolten zylindrischen Kondensatoren | 78 |
| Tabelle 57: Massen aus der Zerlegung eines Elektrolytkondensatoren..... | 79 |
| Tabelle 58: Massen aus der Trennung der Kondensatoren in flüssige und feste Bestandteile..... | 79 |
| Tabelle 59: Verteilung der Flüssigkeiten und Feststoffe in ungepolten zylindrischen Kondensatoren.. | 80 |
| Tabelle 60: Anteil der Flüssigkeiten, Feststoffe und Verluste pro Kondensatormodell | 80 |
| Tabelle 61: Anteil der Flüssigkeiten, Feststoffe und Verluste pro Kondensatormodell | 80 |
| Tabelle 62: Verteilung der Flüssigkeiten und Feststoffe in ungepolt zylindrischen Kondensatoren..... | 81 |
| Tabelle 63: Anteil der Flüssigkeiten, Feststoffe und Verluste pro Kondensatormodell | 81 |
| Tabelle 64: Jahresfrachten Kondensatoren nach Gerätekategorie | 82 |
| Tabelle 65: Abschätzung der PCB-Jahresfracht | 83 |
| Tabelle 66: Analytisch gefundene bedenkliche Stoffe mit Abschätzung der Jahresfracht | 84 |
| Tabelle 67: Vergleich zwischen Sammelplanung und effektiv gesammelten Kondensatoren..... | 89 |
| Tabelle 68: Sammelergebnis der Kondensatoren kleiner als 2.5 cm | 90 |
| Tabelle 69: Anzahl und Gewicht der Geräte, aus welchen die Kondensatoren entfernt wurden | 91 |
| Tabelle 70: Bedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren..... | 93 |
| Tabelle 71: Möglicherweise bedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren | 95 |
| Tabelle 72: Substanzen in Flüssigkeiten von Kondensatoren, die nicht eingestuft werden konnten | 95 |
| Tabelle 73: Unbedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren..... | 96 |
| Tabelle 74: Bedenkliche Stoffe in ungepolt zylindrischen Kondensatoren mit besonders problematischen Eigenschaften | 98 |
| Tabelle 75: Bedenkliche Stoffe in Mikrowellen-Kondensatoren mit besonders problematischen Eigenschaften..... | 99 |
| Tabelle 76: Bedenkliche Stoffe in Elektrolyt-Kondensatoren mit besonders problematischen Eigenschaften..... | 99 |
| Tabelle 77: Bekannte Inhaltsstoffe in ungepolten zylindrischen Kondensatoren | 101 |
| Tabelle 78: Bekannte Inhaltsstoffe in Elektrolytkondensatoren..... | 101 |
| Tabelle 79: Bekannte Inhaltsstoffe in Mikrowellenkondensatoren..... | 103 |
| Tabelle 80: Durchschnittsgewichte der ungepolten zylindrischen Kondensatoren nach Gerätekategorien..... | 106 |
| Tabelle 81: Durchschnittsgewichte der Elektrolytkondensatoren nach Gerätekategorien | 106 |
| Tabelle 82: Durchschnittsgewichte der Mikrowellenkondensatoren nach Gerätekategorien | 107 |
| Tabelle 83: Anzahl und Gewicht der Geräte, aus welchen die Kondensatoren entfernt wurden | 107 |
| Tabelle 84: Gewichtsanteile der Elektrolyt-Kondensatoren am Gerätegewicht..... | 108 |
| Tabelle 85: Vergleichende Darstellung der Analyseergebnisse für Mikrowellen-Kondensatoren | 111 |
| Tabelle 86: Liste der H-Sätze, welche eine Substanz als bedenklichen Stoff qualifizieren..... | 117 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 87: Möglicherweise in ungepolten zylindrischen Kondensatoren vorhandene Substanzen gem. Literatur | 147 |
| Tabelle 88: Möglicherweise in Al-Elkos vorhandene Substanzen gem. Literatur..... | 148 |
| Tabelle 89: Möglicherweise in Mikrowellenkondensatoren vorhandene Substanzen gem. Literatur .. | 149 |
| Tabelle 90: Möglicherweise in nicht näher bezeichneten Kondensatoren vorkommende Stoffe | 150 |
| Tabelle 91: Proben zur PCB-Analyse..... | 208 |
| Tabelle 92: H-Sätze flüssiger Inhaltsstoffe und Klassierung als bedenklicher Stoff..... | 220 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Abbildung 1: Ungepolte zylindrische Kondensatoren mit Plastik- oder Alugehäuse | 19 |
| Abbildung 2: Elektrolytkondensatoren verschiedener Bauformen | 20 |
| Abbildung 3: Mikrowellen-Kondensatoren aus ausgedienten Mikrowellen..... | 21 |
| Abbildung 4: Beispiel zweier Kondensatoren mit Modellbezeichnung MAB MKP 10/500..... | 31 |
| Abbildung 5: Mikrowelle mit typischem Kondensator im Bild unten rechts..... | 37 |
| Abbildung 6: Interne Netzteile aus Elektro- oder Elektronikgeräten | 37 |
| Abbildung 7: Externes Netzteil für den Betrieb eines Laptops | 37 |
| Abbildung 8: Platinen eines Grosskopierers..... | 38 |
| Abbildung 9: Innenleben einer Dampfbügelstation..... | 38 |
| Abbildung 10: Rotor des Bürstenmotors eines elektrischen Rasenmähers | 38 |
| Abbildung 11: Flüssigkeitsaustritt aus ungepoltem zylindrischem Kondensator nach dem Aufschneiden | 39 |
| Abbildung 12: Anstechen des Elkos und trockene Behälter nach 13 Tagen Versuchsdauer..... | 40 |
| Abbildung 13: Aluminium-Elko, Deckel entfernt. Blick auf Bitumensiegel und Wickel..... | 46 |
| Abbildung 14: Bestandteile des zerlegten Al-Elkos..... | 46 |
| Abbildung 15: Separierte Probe des Kondensatormodells Nr. 109 | 47 |
| Abbildung 16: Chromatogramm der Mischprobe aus Kondensatoren aus Kühlgeräten | 55 |
| Abbildung 17: Ein Teil der gesammelten Kondensatoren aus SENS-Kleingeräten | 57 |
| Abbildung 18: Chromatogramm der GCMS-Analyse des Kondensators 311..... | 58 |
| Abbildung 19: Chromatogramm der GCMS-Analyse des Kondensators 109..... | 59 |
| Abbildung 20: Chromatogramm der Mischprobe aus Kondensatoren des Herstellers BiCai | 65 |
| Abbildung 21: Geöffneter KS-Kondensator ohne flüssige Inhaltsstoffe..... | 77 |
| Abbildung 22: Motorstart-Elektrolyt-Kondensatoren in schwarzen Kunststoffgehäusen | 78 |
| Abbildung 23: Flussabschätzung der Flüssigkeiten aus PCB-freien Kondensatoren im Elektroaltgeräte- Recycling mit einer Bruchrate von 15 % pro Tonne Input an Haushalt-Elektroaltgeräten | 85 |
| Abbildung 24: Flussabschätzung der Flüssigkeiten aus PCB-freien Kondensatoren im Elektroaltgeräte- Recycling mit einer Bruchrate von 30 % pro Tonne Input an Haushalt-Elektroaltgeräten | 86 |
| Abbildung 25: Flussabschätzung der Flüssigkeiten aus PCB-freien Kondensatoren im Elektroaltgeräte- Recycling mit einer Bruchrate von 40 % pro Tonne Input an Haushalt-Elektroaltgeräten | 87 |
| Abbildung 26: Gesammelte Kondensatoren > 2.5 cm pro Gerätekategorie | 88 |
| Abbildung 27: Stückzahlen der gesammelten Kondensatorklassen pro Gerätekategorie..... | 91 |
| Abbildung 28: Anteile der PCB-haltigen Kondensatoren an den Gerätekategorien in Stück | 104 |
| Abbildung 29: Gewichtsanteile der Elektrolytkondensatoren in den Geräten..... | 109 |
| Abbildung 30: Anteile der Elektrolytkondensatoren nach Stückzahlen in den Geräten..... | 110 |
| Abbildung 31: Modell-Nr. 311 | 217 |
| Abbildung 32: Modell-Nr. 109 | 217 |
| Abbildung 33: Modell-Nr. 126 | 218 |
| Abbildung 34: Modell-Nr. 90 | 219 |
| Abbildung 35: Modell-Nr. 95 | 219 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------------|---|
| Al-Elko | Aluminium-Elektrolytkondensator |
| BCF | Biokonzentrationsfaktor |
| CAS | Chemical Abstracts Service |
| C&L-Inventar | Engl. C&L-Inventory, Datenbank der ECHA zur Klassierung von Substanzen gemäss der europäischen Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (1272/2008) |
| CMR | Bezeichnung für Substanzen mit kanzerogenen (C), mutagenen (M), oder reproduktionstoxischen (R) Eigenschaften |
| ECHA | Europäische Chemikalienagentur |
| Elko | Elektrolytkondensator |
| GHS | Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals: Klassierung der Stoffeigenschaften gemäss dem Klassierungsschema der Vereinten Nationen, das durch die Wirtschaftskommission für Europa (UNECE) entwickelt wurde |
| H-Satz | Deklaration der Gefährdung (engl. hazard), die durch einen Stoff ausgelöst wird, gemäss dem GHS |
| KVA | Kehrichtverbrennungsanlage, schweizerisch für Müllverbrennungsanlage |
| PCB | Polychlorierte Biphenyle, Stoffgruppe von 209 Kongoneren |
| REACH | Europäische Verordnung EG 1907/2006, Abkürzung von: <u>r</u> egistration, <u>e</u> valuation, <u>a</u> uthorisation and restriction of <u>c</u> hemicals, dt. Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe. |
| SDB | Sicherheitsdatenblatt |

Zahlenformat

| | |
|---------|-------------------------|
| 2'000.5 | Zweitausend Komma fünf. |
| ' | Tausendertrennzeichen |
| . | Dezimalpunkt |

2 Fragestellung und Vorgehen

2.1 Fragestellung

Gemäss den technischen Vorschriften von SENS und Swico (SENS et al., 2012), der CENELEC-Normenserie EN 50625, wie auch Anhang VII der WEEE-Direktive (Europäisches Parlament, 2012) müssen zwei Typen von Kondensatoren aus Elektro- und Elektronik-Altgeräten entfernt werden:

1. PCB-haltige Kondensatoren
2. Elektrolyt-Kondensatoren, die bedenkliche Stoffe enthalten (Höhe > 25 mm; Durchmesser > 25 mm oder proportional ähnliches Volumen)

In der Praxis in der Schweiz und vielen europäischen Ländern hat sich die Regel durchgesetzt, dass alle Kondensatoren mit einer Dimension grösser als 25 mm aus allen Elektrogeräten zerstörungsfrei entfernt werden: PCB-haltige können in der Verarbeitung nicht zuverlässig von PCB-freien Kondensatoren unterschieden werden.

Seit dem PCB-Verbot im Jahr 1986 sind über 30 Jahre vergangen. Es stellt sich die Frage nach dem Anteil PCB-haltiger Kondensatoren im heutigen Rücklauf von Elektroaltgeräten. Zwei Studien durch SENS und Swico in der Schweiz (Eugster et al., 2007; Gasser, 2009) haben gezeigt, dass der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren stetig abnimmt und in gewissen Gerätekategorien nicht mehr nachweisbar ist. Eine Ausnahme bildeten die FL-Leuchten, deren Vorschaltgeräte nach wie vor einen grossen Anteil PCB-haltiger Kondensatoren aufwiesen. Im Auftrag des niederländischen Rücknahmesystems für Elektrogeräte wurde eine neuere Studie über den Anteil PCB-haltiger Kondensatoren durchgeführt (Groen, 2013). Die Flüssigkeiten der gesammelten Kondensatoren wurden einzeln extrahiert und deren PCB-Gehalt bestimmt. Die Studie kommt zum Ergebnis, dass Grossgeräte praktisch frei seien von PCB-haltigen Kondensatoren. Allerdings erscheint die Probegrösse von 268 Stück für diese Aussage zu klein. Bei den Leuchten enthielten noch 10 % der untersuchten Geräte PCB-haltige Kondensatoren.

Für die Zukunft wird die Frage wichtig werden, ob auch PCB-freie Kondensatoren zerstörungsfrei entfernt werden sollen. Es ist also zu definieren, was «bedenkliche Stoffe» sind und ob diese in Elektrolyt-Kondensatoren vorkommen. Zudem zeigte sich im Verlauf dieser Studie, dass sich dieselbe Frage auch für ungepolte Kondensatoren stellt, die Flüssigkeiten enthalten. Für das Recycling von Elektrogeräten stellt sich auch die Frage, in welchen Gerätekategorien Kondensatoren vorkommen, die separat entfernt werden müssen.

Damit Swico und SENS, sowie die Kontrollexperten der Technischen Kontrollstellen der beiden Organisationen über die Grundlagen verfügen, um die künftigen Richtlinien im Umgang mit Kondensatoren festzulegen, soll der Anteil PCB-haltiger und die Inhaltsstoffe der flüssigen Elektrolyte und Dielektrika PCB-freier Kondensatoren in der Entsorgung abgeklärt werden. Es soll eine umfassende Aufstellung der möglichen Inhaltsstoffe der flüssigen Elektrolyte und Dielektrika erarbeitet werden.

Folgende Fragen sollen mit der Studie geklärt werden:

- Welcher Anteil der heute aus Elektroaltgeräten entfernten Kondensatoren ist PCB-haltig?
- Welche Stoffe enthalten die flüssigen Elektrolyte und Dielektrika in PCB-freien Kondensatoren?
- Wie gross ist der Gewichtsanteil der Flüssigkeiten in den Kondensatoren?
- Welche dieser Stoffe müssen als bedenklich im Sinne der Chemikaliengesetzgebung eingestuft werden?
- Gibt es in den heutigen Elektroaltgeräten in der Schweiz Kondensatoren mit flüssigen Elektrolyten und Dielektrika, die als «bedenklich» klassiert werden müssen?

Wenn ja:

- In welchen Gerätekategorien und -typen?
- Wie stabil sind die bedenklichen Stoffe aus Kondensatoren in den Entsorgungsprozessen?
- Welche Umweltgefährdungen gehen von den bedenklichen Stoffen aus?
- Wie verteilt sich die Flüssigkeit aus Kondensatoren im Recyclingprozess?
- Ergeben sich dadurch neue Empfehlungen für die Durchführung der Schadstoffentfrachtung?

Die wichtige Frage, wie sich die bedenklichen Stoffe im Recyclingprozess verhalten, konnte nur theoretisch bearbeitet werden. Aufgrund eines typischen Stoffflusses für das Elektrogeräterecycling wurde eine mögliche Verteilung der Flüssigkeit modelliert. Empirische Untersuchungen zu diesem Thema konnten nicht im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführt werden.

2.2 Interpretation des Entfernungsgebots für Kondensatoren

Aus Sicht der Entsorgung interessieren diejenigen Kondensatoren speziell, die Flüssigkeiten enthalten. Diese sind nicht deckungsgleich mit den Elektrolytkondensatoren. Unter den Elektrolytkondensatoren weisen die Aluminium-Elkos flüssige Elektrolyte auf. Für Spezialanwendungen existieren auch Fest-Alu-Elkos, die keinen flüssigen Elektrolyten enthalten. Die Tantalkondensatoren enthalten üblicherweise keine Flüssigkeiten, lediglich Tantalkondensatoren für medizinische und militärische Spezialanwendungen werden mit flüssigen Elektrolyten gefertigt. Weiterhin enthalten zahlreiche ungepolte zylindrische Kondensatoren flüssige Ölimprägungen als Dielektrikum. Es sind dies gemäss Literaturangaben die Typen FK, MPK, MP, MK, MKV und MKK (vergleiche zu den Abkürzungen Tabelle 1). Diese Kondensatoren sind gemäss technischer Klassierung keine Elektrolytkondensatoren. Legt man die in der Elektrotechnik übliche Klassierung von Kondensatoren zugrunde, dann müssten diese Kondensatoren gemäss den technischen Vorschriften (SENS et al., 2012), der CENELEC-Norm EN 50625-1 und der WEEE-Direktive (Europäisches Parlament, 2012) nicht aus den Elektroaltgeräten entfernt werden, wenn sie keine PCB enthalten. Diese Auslegung mag formal korrekt sein, macht jedoch aus Sicht einer umweltfreundlichen Entsorgung und des Gesundheitsschutzes keinen Sinn. Es ist zu verhindern, dass bedenkliche Stoffe aus Kondensatoren auslaufen und im Recyclingprozess unkontrolliert über alle Fraktionen verteilt werden.

Kondensatoren mit ausschliesslich festen Inhaltsstoffen stellen in der Elektronik keine Exoten dar. Feste Inhaltsstoffe mit vergleichbaren toxischen Eigenschaften werden

auch in anderen Elektronikbauteilen verwendet. Somit ist eine Vorentfrachtung von Kondensatoren mit festen Inhaltsstoffen vor der Behandlung von Elektrogeräten zur Sicherstellung einer umweltfreundlichen Entsorgung nicht zielführend. Das Augenmerk sollte vielmehr auf den flüssigen Inhaltsstoffen liegen, die in der mechanischen Zerkleinerung unkontrolliert als Anhaftungen über sämtliche Fraktionen verteilt werden können. Die vorliegende Studie untersucht deshalb die Flüssigkeiten in PCB-freien Kondensatoren ungeachtet dessen, ob es sich um Elektrolyt-Kondensatoren oder ungepolte Kondensatoren handelt.

2.3 Der Entfernungsbegriff in der CENELEC-Norm 50625-1

Der Begriff der Entfernung von Bauteilen wird im Anhang A der CENELEC-Norm 50625-1 wie folgt definiert:

«Stoffe, Gemische und Bauteile müssen so entfernt werden, dass sie als unterscheidbarer Strom oder unterscheidbarer Teil eines Stroms am Ende des Behandlungsprozesses erhalten werden. Stoffe, Gemische oder Bauteile gelten dann als unterscheidbar, wenn sie überwacht werden können, um ihre umweltgerechte Behandlung zu überprüfen.»

Dann fordert die Norm an gleicher Stelle, dass Kondensatoren, die PCB enthalten, «in einem eigenständigen Vorgang während der Behandlung entfernt und (...) vor der Zerkleinerung und Trennung in einem unterscheidbaren Strom enthalten sein» müssen.

Für Elektrolyt-Kondensatoren (> 25 mm oder proportional ähnliches Volumen), die bedenkliche Stoffe enthalten, lautet das Entfernungsgebot weniger scharf: sie sind lediglich «als unterscheidbarer (Teil eines) Strom(s) während der Behandlung zu entfernen».

2.4 Vorgehen

2.4.1 Übersicht

Das Projekt wurde in Etappen gegliedert: Zunächst wurden die flüssigen Inhaltsstoffe PCB-freier Kondensatoren aus der Literatur und aus Herstellerinformationen abgeklärt. In der ersten Etappe erarbeiteten wir zudem eine Definition des Begriffs der «bedenklichen Stoffe». Aufgrund des so erhaltenen Knowhows wurde ein Konzept für die Sammlung von Kondensatoren aus Elektroaltgeräten erstellt. Für die gesammelten Kondensatoren stellten wir die Herstellernamen und wo möglich Modellnamen fest. Mithilfe des Kondensatoren-Verzeichnisses der chemsuisse (Arnet et al., 2011) wurden die Kondensatoren hinsichtlich ihres PCB-Gehalts klassiert. Die Inhaltsstoffe der PCB-freien Kondensatoren wurden chemisch-analytisch bestimmt. Dazu wurden Mischproben für eine Auswahl von Gerätekategorien erstellt, die dann im Labor untersucht wurden. Die Stofflisten aus der Literaturstudie dienten dafür als Grundlage. Die identifizierten Inhaltsstoffe wurden mithilfe der Definition der «bedenklichen Stoffe» klassiert.

2.4.2 Literaturstudie und Planung Bestandsaufnahme und Typologisierung

In der Studie «PCB in Kleinkondensatoren aus Elektro- und Elektronikaltgeräten» (Eugster et al., 2007) wurden die Inhaltsstoffe der Kondensatoren in Screening-Tests qualitativ analysiert. Damals wurden Stoffgruppen identifiziert, die in den flüssigen Inhaltsstoffen erwartet werden können.

In der Fachliteratur fanden sich weitere Hinweise auf die eingesetzten Elektrolyte und Dielektrika in modernen Kleinkondensatoren. Patentschriften waren eine weitere wichtige Quelle für die Suche nach eingesetzten Substanzen. Zudem wurden Hersteller angefragt.

2.4.3 Definition der «bedenklichen Stoffe»

Die Fachliteratur wurde nach Kriterien für den Begriff «bedenkliche Stoffe» durchsucht. Mithilfe der Ergebnisse daraus und Überlegungen zur Klassierung von Substanzen unter dem GHS (globally harmonised system) (Europäisches Parlament, 2008; UN, 2011) wurde eine möglichst präzise Abgrenzung zwischen bedenklichen und unbedenklichen Stoffen vorgenommen.

2.4.4 Bestandsaufnahme und Typologisierung

Die Kondensatoren aus Elektroaltgeräten wurden getrennt nach Gerätekategorien gesammelt. Die so erhaltene Stichprobe wurde händisch vorsortiert nach Kondensatorherstellern und wo möglich -modellen. Die Modelle klassierten wir als PCB-haltige, PCB-verdächtige und PCB-freie Kondensatoren.

2.4.5 Chemische Analyse

Für die PCB-freien Kondensatoren wurden die flüssigen Inhaltsstoffe pro Gerätekategorie in Mischproben für ungepolte und Elektrolytkondensatoren analysiert. Die Flüssigkeiten aus fünf Modellen ungepolter zylindrischer Kondensatoren wurden zusätzlich einzeln analysiert. In ungepolten Kondensatoren liegen die Flüssigkeiten frei

fließend vor. Diese Kondensatoren konnten aufgeschnitten werden und die enthaltene Flüssigkeit floss aus. Mit dieser Methode wurden Mischproben aus den Flüssigkeiten für die Analyse erstellt. Elektrolytkondensatoren enthalten getränkte Papiere. Die Flüssigkeiten sind darin weitgehend gebunden und können nicht mit einfachen Mitteln ausgetrieben werden. Für diesen Kondensatortyp wurden die Wickel aus den Gehäusen entfernt und zahlreiche Wickel zu Mischproben zusammengefasst. Für die Laboranalyse wurden die flüssigen Inhaltsstoffe der Wickel einmal in Cyclohexan und für identische Zweitproben in Wasser gelöst.

2.4.6 Auswertung der Inhaltsstoffe

Die Inhaltsstoffe, welche aus der Literatur oder den Analysen bekannt waren, wurden pro Kondensatortyp dargestellt. Sie wurden gemäss der erarbeiteten Stoffklassierung in «bedenkliche Stoffe» oder «unbedenkliche Stoffe» im Recycling eingeteilt. Daraus wurden Schlussfolgerungen gezogen, welche Richtlinien künftig für den Umgang mit Kondensatoren im Recycling gelten sollten.

2.4.7 Abklärung der chemisch-toxischen Eigenschaften der bedenklichen Stoffe

Die chemischen und umwelttoxischen Eigenschaften der bedenklichen Stoffe wurde in einer Literaturrecherche abgeklärt. Diese Abklärungen umfassten Angaben zur thermischen Stabilität, Grössen über die Stoffverteilung in der Umwelt, Angaben zur Toxizität für Säugetiere, Fische, Krustentiere und Algen, sowie die Abbaubarkeit und Akkumulierbarkeit in der Umwelt.

3 Begriffe

3.1 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Die ungepolten Kondensatoren bilden eine grosse Gruppe unterschiedlicher Bauarten. Vergleiche dazu auch Tabelle 1. Als ungepolte zylindrische Kondensatoren bezeichnen wir Kleinkondensatoren, die nicht gepolt und in einem zylindrischen Gehäuse untergebracht sind. Diese Kondensatoren enthalten einen Wickel der entweder aus zwei leitenden Folien besteht, die durch eine Dielektrikumsfolie voneinander getrennt sind, oder aus zwei Folien, auf die jeweils einseitig eine leitende Schicht aufgebracht wird. Je nach Bauart können sie Flüssigkeiten enthalten. Alle ungepolten zylindrischen Kondensatoren, die wir in Elektroaltgeräten antrafen, waren in mindestens einer Dimension grösser als 2.5 cm.



Abbildung 1: Ungepolte zylindrische Kondensatoren mit Plastik- oder Alugehäuse

3.2 Elektrolyt

Ein Elektrolyt ist im weiteren Sinne eine Flüssigkeit, die Ionen enthält und somit den elektrischen Strom leitet. Hergestellt werden Elektrolyte durch die Lösung von Salzen oder stark dissoziierenden Säuren oder Basen in Wasser oder einem organischen Lösungsmittel.

Im engeren Sinn bezeichnet der Begriff Elektrolyt eine Substanz, welche die beweglichen Ionen bereitstellt. Ausgangsstoffe für Elektrolyte in Kondensatoren können organische oder anorganische Säuren oder deren Salze oder Ester sein. Zusätzlich werden basische Hilfsstoffe zugemischt, beispielsweise Ammoniak, um den pH-Wert der Gesamtmischung nahe dem neutralen Bereich zu halten.

3.3 Elektrolyt-Kondensatoren

Elektrolytkondensatoren sind in der Regel gepolte Bauteile mit einem Minus- und einem Pluspol. Für Spezialanwendungen besonders im Audibereich sind auch ungepolte Elektrolytkondensatoren erhältlich. Diese bestehen im Prinzip aus zwei gepolten Elektrolyt-Kondensatoren in Reihenschaltung. Den Elektrolytkondensatoren werden Alu-Elektrolytkondensatoren und Tantal-Kondensatoren zugeteilt. Der Begriff «Elektrolytkondensator» wird oft als «Elko» abgekürzt. Siehe auch die Tabelle 1.



Abbildung 2: Elektrolytkondensatoren verschiedener Bauformen

3.4 Dielektrikum

Ein Stoff, der die Elektrizität nicht oder nur schlecht leitet. Ein Dielektrikum ist ein elektrischer Isolator. Dielektrika können fest, flüssig oder gasförmig sein.

3.5 Mikrowellen-Kondensatoren



Abbildung 3: Mikrowellen-Kondensatoren aus ausgedienten Mikrowellen

Mit dem Begriff der «Mikrowellen-Kondensatoren» bezeichnen wir imprägnierte Kunststofffolien-Kondensatoren von charakteristischer Bauform, wie sie typischerweise in Mikrowellen verwendet werden. Diese ungepolten Kondensatoren sind in einem ca. handgrossen Aluminiumgehäuse untergebracht und sind vollständig mit Flüssigkeit gefüllt. Die Kondensatoren bestehen aus Aluminiumfolien, die durch mehrere Lagen Kunststofffolien getrennt sind. Gemäss dem Klassierungsschema in Tabelle 1 handelt es sich um Kondensatoren mit Metall- und Dielektrikumsfolie des Typs FK mit flüssiger Imprägnierung.

4 Literaturrecherche

4.1 Klassierung der Kondensatoren

Kondensatoren sind elektrische Bauteile, die elektrische Energie kurzzeitig speichern und wieder abgeben können. Sie bestehen aus zwei unterschiedlich geladenen leitenden Platten, die einen bestimmten Abstand voneinander besitzen. Die Kapazität des Kondensators hängt von der Plattenfläche und dem Material im Zwischenraum zwischen den Platten ab. (Kuchling, 1996)

In der technischen Anwendung sind zahlreiche unterschiedliche Bauformen für Kondensatoren möglich. In der Fachliteratur über elektronische Bauteile werden diese in verschiedene Klassen eingeteilt. Diese Klassierung stützt sich auf die verwendeten Materialien und die Herstellungsweise. Die Tabelle 1 zeigt die Klassierung der Kondensatoren nach Hering (Hering et al., 2014). Fehlende Angaben besonders zu Tantalkondensatoren wurden aus Herstellerdokumenten ergänzt. Für die vorliegende Studie von Interesse sind Kondensatoren mit flüssigem Elektrolyten oder mit Öl-Imprägnierung. Das Literaturwissen über deren Vorkommen ist in der Spalte «Dielektrikum» aufgeführt.

Wie sich im Verlauf der Studie gezeigt hat, sind die verwendeten Kurzzeichen nicht immer eindeutig. Herstellerbezeichnungen können vom hier gezeigten Schema abweichen.

Der Sprachgebrauch in der Recyclingbranche nützt ein wesentlich einfacheres Klassierungsschema für die Kondensatortypen, das wir auch für unsere Studie verwenden:

- Erstens sprechen wir von ungepolten zylindrischen Kondensatoren für alle Kondensatoren, die eine mehr oder weniger zylindrische Bauform aufweisen und elektrisch nicht gepolt sind.
- Zweitens sprechen wir von Elektrolyt-Kondensatoren für alle Aluminium-Elektrolytkondensatoren. Diese sind zylindrisch und weisen eine Polung auf.
- Drittens sprechen wir von Mikrowellenkondensatoren für ungepolte Kondensatoren mit Aluminiumgehäuse, wie sie in Mikrowellen verwendet werden. Diese Mikrowellen-Kondensatoren sind systematisch eine Teilmenge der ungepolten zylindrischen Kondensatoren. Die Klassierung in einer eigenen Gruppe aufgrund des Gerätetyps, in dem sie vorkommen, erzeugt einen Bruch in der Systematik. Gerechtfertigt wird dieser durch die charakteristische Flüssigkeit und Bauform, die sich von allen anderen Kondensatoren unterscheidet.

Tabelle 1: Klassierung der Kondensatoren

| Aufbau | Plattenmaterial | Kurzzeichen | Weitere Einteilung | Dielektrikum | Kondensator- typ Recycling |
|--------------------------------------|----------------------------------|-------------|---|---|----------------------------------|
| Metall- und Dielektrikumsfolie | Metallfolie | K | <i>Nach Material der Kunststoffolie:</i> KC: Polycarbonat, KI: Polyphenylsulfid, KP: Polypropylen, KS: Polystyrol, KT: PET, LEI-KO: Leistungskond. | Kunststoffolie zwischen Metallfolie (meist Alu), Kurzzeichen bezeichnet Typ der Dielektrikumsfolie | Ungepolt zylindrisch |
| | Metallfolie | FK | | Zwei Folien zwischen Metallfolie: Kunststoffolie und Papier- oder Kunststoffolie <i>Ölimprägnierung</i> | |
| Metallpapier- und Dielektrikumsfolie | Metallisier-tes Papier | MPK | | Kunststoffolie zwischen bedampftem Papier <i>Ölimprägnierung</i> | Ungepolt zylindrisch |
| Metallisierte Dielektrikumsfolie | Metallisier-tes Papier | MP | | Imprägniertes Papier, Metallschicht aufgedampft. Bei Leistungskond. zusätzlich imprägniertes Papier dazwischen <i>Hartwachs- und Ölimprägnierung</i> | |
| | Beidseitig metallisiertes Papier | MKV MKK | | Polypropylenfolie <i>Ölimprägnierung</i> | |
| | Metallisierte Kunststoffolie | MK | <i>Nach Material der Kunststoffolie:</i> MKC: Polycarbonat, MKI: Polyphenylsulfid, MKP: Polypropylen, MKS: Polystyrol, MKT: PET, MKU: Celluloseacetat (historisch) | Kunststoffolie, Metallschicht aufgedampft, keine Zwischenfolie <i>Hartwachs- oder Ölimprägnierung</i> möglich. | |
| Elektrolyt | Aluminium | Al-Elko | | <i>Mit flüssigem Elektrolyten:</i> Salzlösung getränktes Fließpapier zwischen Aluminiumfolie In der Regel gepoltes Bauteil, für Spezialanwendungen (Audio) auch ungepolt | Elektrolyt |
| | Fest-Alu | SAL | Hersteller Vishay | Mangandioxid (Braunstein) auf Glasfasergewebe | |
| | Tantal flüssig | | Historisch & militärisch: Folienkondensatoren mit flüssigem Elektrolyten | Historisch & militärisch: Mit 55% Schwefelsäure imprägnierter Papierstreifen zwischen Tantalfolien Aktuell: Tantalsinterkörper umgeben von Schwefelsäure als Elektrolyt, Teflon-Isolator (Wikipedia, 2016) | |

| Aufbau | Plattenmaterial | Kurzzeichen | Weitere Einteilung | Dielektrikum | Kondensatortyp Recycling |
|---------------------|---|-------------|--|---|--------------------------|
| Elektrolyt / Sinter | Tantal fest | | | Tantalsinterkörper eingegossen in Mangandioxid oder leitfähiges Polymer; Polypyrrol (PPy) oder Poly-3,4-ethylenedioxythiophen PEDOT | |
| Sinter | Keramik | | Klasse 1 NDK: niedrige, Klasse 2 HDK: hohe, Klasse 3: höchste Dielektrizitätskonstante | Titandioxid, Bariumoxid | |
| einstellbar | Drehkondensator | | | Je nach Ausführung: Vakuum, Schutzgas SF ₆ oder Luft | |
| | Luft-/Keramiktrimmer | | | Je nach Ausführung: Luft, Kunststofffolien, Keramik | |
| | Integrierter Kondensator, MOS-Kondensator | | MIS: Metall-Isolator-Halbleiter-Struktur | Siliziumdioxid | |

4.2 Flüssige Inhaltsstoffe

4.2.1 Literaturquellen

Die flüssigen Inhaltsstoffe in Kondensatoren wurden aus mehreren Datenquellen erschlossen. Die Kondensatorenstudie von (Eugster et al., 2007) im Auftrag von SENS und Swico lieferte eine Zusammenstellung von Stoffen und Stoffgruppen, die in PCB-freien Kondensatoren vorkommen können. Die Studie von (Chappot et al., 2007) lieferte im Anhang D mögliche Verbindungen und Stoffgruppen der Inhaltsstoffe aus der Screening-Analyse der gemahlten Kondensatorproben aus Elektroaltgeräten. Ein Untersuchungsbericht des Analyselabors Bachema im Rahmen der Voruntersuchung zu oben erwähnter Studie (Gloor, 2007) liefert Analyseergebnisse für Verbindungen aus der GCMS-Analyse von zerkleinerten Mikrowellenkondensatoren. Aus der Erarbeitung der Studie von (Eugster et al., 2007) stand eine interne Zusammenstellung des Anhangs D von (Chappot et al., 2007) zur Verfügung, mit weiteren Analyseergebnissen für Mikrowellenkondensatoren (Eugster, 2007). Diese stammen zum Teil aus (Gloor, 2007). In der Tabelle enthalten sind jedoch auch weitere Substanzen, für die keine Analyseberichte vorliegen. Das Standardwerk «Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler» (Hering et al., 2014) führt zu drei weiteren möglichen Elektrolyten in Aluminium-Elkos. Im Auftrag des niederländischen Rücknahmesystems für Elektrogeräte führte (Groen, 2013) eine Studie über den Anteil PCB-haltiger Kondensatoren.

satoren durch. Die Studie bestimmte jedoch keine Inhaltstoffe der PCB-freien Kondensatoren. In Frankreich führte das Clearing-House aller Rücknahmesysteme «OCAD3E» eine gross angelegte Kondensatorenstudie durch (eco-systèmes, 2012). Die Resultate umfassen eine Klassierung der Kondensatoren nach Aussehen und Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von PCB oder anderen Schadstoffen in jeder Kategorie. Als wichtigste Gefahrstoffe in PCB-freien Film-Kondensatoren führt die Studie Biphenyl, Naphthalin, Dibutylphthalat und Dimethylbiphenyl auf. Für Elektrolyt-Kondensatoren listet die Studie Borsäure, Ethylenglykol, Dimethylacetamid und Schwefelsäure als Gefahrstoffe auf. Bei dieser Auflistung stellt sich die Frage, ob damit die Stoffgruppen oder Einzelsubstanzen gemeint sind. Die starke Säure Schwefelsäure scheint gemäss unserer eigenen Literaturrecherche lediglich in selten für Spezialanwendungen verwendeten Tantalfolien-Kondensatoren als Hauptkomponente vorzukommen. In einer weiteren Studie analysierten (Mauro et al., 1999) flüssige Dielektrika in Grosskondensatoren im Auftrag des Electric Power Research Institute in Kalifornien. Ob die Inhaltsstoffe dieser Gemische auch in Kleinkondensatoren verwendet werden, geht aus der Literatur nicht hervor, sie wurden deshalb nicht in die Liste der Inhaltsstoffe von Kleinkondensatoren aufgenommen.

4.2.2 Herstellerangaben

Die Hersteller deklarieren teilweise Inhaltsstoffe ihrer Kondensatoren. EPCOS/TDK listet in ihren Materialdatenblättern Lösemittel, Basen und Säuren in den Elektrolyten von Aluminium-Elkos auf, wobei keine vollständige Deklaration erfolgt. Als Lösemittel werden Ethylenglykol und γ -Butyrolacton, als schwache Base N-Methylpyrrolidon und als Säuren werden unspezifisch Carbonsäuren deklariert (TDK, 2014). Ein weiterer Hersteller von Spezialkondensatoren deklarierte seine Elektrolyte ebenfalls als γ -Butyrolacton und Ethylenglykol (Mundorf, 2016).

Es erwies sich als schwierig, bei den Herstellern von Kondensatoren kompetente Ansprechpersonen zu finden. Eine Anfrage bei den Kontaktpersonen, die der Hersteller EPCOS in seinen technischen Datenblättern angegeben hat, führte zu einer Rückmeldung des Produktingenieurs des chinesischen Werks (Werner, 2016). Die Rückmeldung ergab, dass auch Kondensatoren mit metallisierten Kunststofffolien flüssige Imprägnierungen enthalten können. Genauere Angaben könnten gemäss der Rückmeldung nur für konkrete Kondensatormodelle gemacht werden.

4.2.3 Patentschriften

Ein deutsches Patent (Güntner et al., 1991) listet Dimethylformamid, γ -Butyrolacton, N-Methylpyrrolidon und Ethylenglykol als typische Lösemittel für Elektrolyte auf. Als Elektrolyte im engeren Sinne werden aromatische Carbonsäuren erwähnt, spezifisch Pikrinsäure, Salicylsäure, Di- und Trihydroxybenzoesäure und Phthalsäure. Zudem werden drei Beispielmischungen für Elektrolyte angegeben, die jeweils aus 5-6 Bestandteilen bestehen. Patentinhaber ist eine Fabrik für Kondensatoren der Starkstromtechnik. Somit bleibt unklar, ob die beschriebenen Mischungen auch in Kleinkondensatoren verwendet werden. Ein älteres Patent aus den USA beschreibt einen Elektrolyten aus Dimethylformamid als Lösemittel und Phosphorwolframsäure als Ionendonator (Hand, 1970). Diese Säure gehört zu den Heteropolysäuren. Aus dieser Stoffgruppe können auch andere Stoffe in Elektrolytmischungen eingesetzt werden, beispielsweise Silikonwolframsäure oder Molybdänwolframsäure (Alwitt, 1977). In einem internationalen Patent werden detailliert zwei Elektrolytmischungen aus über einem Dutzend Komponenten beschrieben: Die Hauptanteile machen Ethylenglykol,

Polyethylenglycol, Ammoniumpentaborat, Ammoniumsalze von Methylbenzoesäuren und Diammoniumsalze diverser organischer Säuren aus (Ebel, 2002).

Kondensatoren mit metallisierten Papierfolien und Folienzwischenlagen zur Isolation werden mit Flüssigkeiten imprägniert, die besonders gut isolierend und stabil bis zu Temperaturen im Bereich von 150 °C sein sollen. Diese Funktion erfüllten PCB in praktisch idealer Weise. Als Ersatzstoffe sind einerseits pflanzliche Öle einsetzbar. Ein US-Patent verwendet Sojabohnenöl mit 0.05-10 % Butylhydroxyanisol und ca. 10 % « α -dodecene-tetradodecene» (Shedigian, 1985). Vermutlich bezieht sich der Autor auf ein technisches Gemisch von 1-Dodecen und 1-Tetradecen. Ein weiteres Patent mischt Triacetin mit epoxidiertem Sojabohnenöl (Shedigian, 1987). Auf Kondensatoren deklariert ist die Verwendung von Rizinusöl. Andererseits kommen auch mineralische Öle in Frage. In einem Patent wird speziell für Kunststoffkondensatoren eine Mischung aus aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen beschrieben (Sato et al., 1979). Diese wird direkt aus dem Cracking von Erdöl erhalten und umfasst zahlreiche nicht näher bestimmte Substanzen. Weitere mögliche Imprägniermittel umfassen polymerisierte Butene und Silikonöl (Eustance, 1970), sowie Phthalate (Jay et al., 1979). (Schulz et al., 1980) beschreiben ein Isolationsöl aus Paraffinölen und Diarylalkanen. Der Begriff Diarylalkane bezeichnet eine Stoffgruppe bestehend aus Molekülen mit zwei Benzolringen, die über ein Kohlenstoffatom verbunden sind. Sowohl an den beiden Ringen als auch am Verbindungs-Kohlenstoff hängt eine Atomgruppe. Für diese kommen laut Patentschrift Kohlenstoff-Ketten mit bis zu acht Kohlenstoffen in Frage (Alkylgruppen). Als bevorzugte Diarylalkane werden 1,1-Di(4-methylphenyl)ethan und 1,1-Di(3,4-dimethylphenyl)ethan genannt (Schulz et al., 1980). Mikrowellenkondensatoren sind teilweise mit der Aufschrift Diarylalkane versehen, was auf die Verwendung der oben genannten Stoffe in dieser Produktgruppe hinweist. Die Analyseergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diese Vermutung, siehe dazu das Kapitel 6.2.5.

4.3 Klassierung der Inhaltsstoffe

4.3.1 Begriff der bedenklichen Stoffe in der Literatur

Gemäss den technischen Vorschriften von SENS und Swico (SENS et al., 2012), der CENELEC-Norm EN50625-1, wie auch des Anhangs VII der WEEE-Direktive (Europäisches Parlament, 2012) müssen «Elektrolyt-Kondensatoren, die *bedenkliche Stoffe* enthalten (Höhe > 25 mm; Durchmesser > 25 mm oder proportional ähnliches Volumen)» aus E&E-Altgeräten entfernt werden. Der Begriff der bedenklichen Stoffe ist in den Grundlagen nicht weiter definiert. In der englischen Fassung der WEEE-Direktive (European Parliament, 2012) werden sie als «substances of concern» bezeichnet. Auch die englische Fassung definiert diesen Begriff nicht weiter.

Eine Volltextsuche in der europäischen Gesetzgebung nach «substances of concern» ergibt Treffer in zwei Verordnungen und vier Richtlinien (EU, 2016). Es sind dies die REACH-Verordnung 1907/2006 und die Biozidproduktverordnung 528/2012. Bei den Richtlinien handelt es sich um die WEEE-Richtlinie 2012/19/EU, die Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, die Richtlinie 98/8/EG über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten und die Richtlinie 86/469/EWG über die Untersuchung von Tieren und von frischem Fleisch auf Rückstände.

Keine der erwähnten Verordnungen oder Richtlinien definiert den Term «substance of concern». Der Begriff wird unterschiedlich verwendet. Zum einen im Sinne von «gefährlicher Stoff», zum anderen als «interessierender Stoff» z. B. in einem Tierversuch.

In der Schweiz enthält die ChemRRV im Anhang 1 «Bestimmungen für bestimmte Stoffe» (Schweizerischer Bundesrat, 2017). Diese Bestimmungen umfassen Verbote, Ausnahmen und Einschränkungen für Stoffgruppen oder Einzelsubstanzen. Weiterhin sind in Anhang 2 «Bestimmungen für Gruppen von Zubereitungen und Gegenständen» geregelt. Anhang 2.14 wiederum definiert schadstoffhaltige Kondensatoren, die weder in Verkehr gebracht noch eingeführt werden dürfen. Als schadstoffhaltige Kondensatoren gelten solche, die «PCB, halogenierte Diarylalkane oder halogenierte Benzole» enthalten. Zudem sind auch Kondensatoren schadstoffhaltig, die «Stoffe oder Zubereitungen enthalten, die mit mehr als 500 ppm monohalogenierten oder mehr als 50 ppm polyhalogenierten aromatischen Stoffen verunreinigt sind» (Schweizerischer Bundesrat, 2017). Der Begriff «bedenkliche Stoffe» wird in der ChemRRV jedoch nicht verwendet. Zudem definiert die PIC-Verordnung (Schweizerischer Bundesrat, 2016) «in der Schweiz verbotene oder strengen Beschränkungen unterliegende Stoffe» sowie «dem PIC-Verfahren unterliegende Stoffe und sehr gefährliche Pestizidformulierungen».

Die REACH-Verordnung (Europäisches Parlament, 2006) spricht von Beschränkungen für «gefährliche Stoffe und Zubereitungen», in der englischen Fassung von «dangerous substances and preparations». Zudem werden «besonders besorgniserregende Stoffe» identifiziert, für die dann Zulassungsbeschränkungen erlassen werden. In der englischen Version heissen diese «substances of very high concern (SVHC)».

Für die Nutzung in der Praxis ist es unumgänglich, den Begriff der «bedenklichen Stoffe» für die Anwendung im Elektroaltgeräte recycling eigens zu definieren. Eine solche Definition wird in Kapitel 6.1 vorgeschlagen.

4.3.2 Klassierung der Inhaltsstoffe gemäss GHS

Die identifizierten Inhaltsstoffe gemäss der Diskussion in 7.1 werden hinsichtlich ihrer Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt klassiert. Dazu wurden die H-Sätze des GHS für alle Inhaltsstoffe recherchiert. Als Quelle verwendeten wir vorzugsweise die europäisch harmonisierte Klassierung gemäss Anhang VI der europäischen Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (Europäisches Parlament, 2008), wobei wir jeweils die aktuelle Einstufung der Europäischen Chemikalien-Agentur (ECHA, 2016) benutzten. Falls keine harmonisierte Klassierung eines Stoffes vorliegt, verwenden wir die Herstellerklassierungen, wie sie im C&L-Inventar rapportiert wurden. Oft klassieren nicht alle Hersteller einen bestimmten Stoff mit denselben H-Sätzen. Für jeden Einzelfall wurden diejenigen H-Sätze in die Tabelle 2 übernommen, welche die überwiegende Mehrheit der erfassten Hersteller-Meldungen erwähnte. Für einzelne Substanzen wurden die Klassierungen aus Sicherheitsdatenblättern (SDB) der Hersteller übernommen. Zum Vergleich enthält die Tabelle 2 auch die Klassierung der polychlorierten Biphenyle (PCB), die definitionsgemäss in PCB-freien Kondensatoren nicht vorkommen.

Tabelle 2: GHS-Einstufung der flüssigen Inhaltsstoffe von Kondensatoren

| Trivialname | CAS-Nr. | GHS-Kennzeichnung nach ECHA |
|---|-----------------------|--|
| (Z)-4-decenal | 21662-09-9 | meistens keine Klassierung, 23 von ca. 200: H315, H319, H335, 13 von ca. 200: H412 |
| 1-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline) | 90-13-1 25586-43-0 | H302, H315, H319, H335, evtl. H400 in 27 von 35 Herstellermeldungen |
| 1-Decen | 872-05-9 | H226, H304, H400, H410 |
| 1-Dodecen | 112-41-4 | H304, H315, H411 |
| 1-methyl-4-(phenylmethyl)benzol | 620-83-7 | H315, H319, H335 |
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | H302, H304, H315, H319, H334, H335 (Lungs, respiratory tract), H411 |
| 1-Tetradecen | 1120-36-1 | H304, H315, (H411) |
| 1,1-di(3,4-dimethylphenyl)ethan | 1742-14-9 | Keine Klassierung |
| 1,1-Di(4-methylphenyl)ethan | 530-45-0 | Keine Klassierung, im Anhang III-Verzeichnis der REACH-Verordnung |
| 1,1-Diphenylethan, Diarylethan | 612-00-0 | Keine Informationen |
| 1,1'-(1-Methylethylidene)bis[4-methylbenzol] | unbekannt | Keine Informationen |
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | 88-99-3 | H315, H319, H335 |
| 1,2-dimethyl-4-(phenylmethyl)benzol | 13540-56-2 | Keine Informationen |
| 1,2,3-trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin | 26137-53-1 | Keine Informationen |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | 121-91-5 | Keine Klassierung |
| 1,3,5-Cycloheptatriene, 6-methyl-1-(6-methyl-1,3,5-cycloheptatrien-1-yl)- | unbekannt | Keine Informationen |
| 1,5,6,7-Tetramethyl-3-phenylbicyclo[3.2.0]hepta-2,6-dien | 126584-00-7 | Keine Informationen |
| 13-Hexyloxacyclotridec-10-en-2-on | 127062-51-5 | Keine Informationen |
| 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | H315, H319, H332, H335 |
| 2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure | 69-72-7 | H302, H312, H315, H318, H319, H335 |
| 2-Hydroxyethylbenzoat | 94-33-7 | Keine Informationen |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | H302, H400, H410 |
| 2-Nitroanisol / 1-Methoxy-2-nitrobenzol | 91-23-6 | H302, H350 |
| 2,2'-Dimethylbiphenyl | 605-39-0 | Keine Klassierung (SDS Sigma-Aldrich) |
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 3075-84-1 | H302, H319, H400, H410 |
| 2,3,4,4a-Tetrahydro-1 α ,4 β -dimethyl-9(1H)-phenantron | 94571-08-1 | Keine Informationen |
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | 89-86-1 | H315, H319, H335 |
| 2,6-Diisopropyl-naphthalin | 24157-81-1 | H302, H400, H410 |
| 3-Nitroacetophenon | 121-89-1 | H412 |
| 4-Isopropylbiphenyl | 7116-95-2 | Keine Klassierung, im Anhang III-Verzeichnis der REACH-Verordnung |
| 4-Nitrobenzylalkohol | 619-73-8 | H302, H315, H319, H332 |
| 4-Nitrophenol | 100-02-7 | H302, H312, H332, H373 |
| 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) | 102177-18-4 | Keine Informationen |
| Ammoniumpentaborat | 12046-04-7 | H361 |
| andere alkylierte Biphenyle | – | – |
| Benzoessäure | 65-85-0 | H315, H318, H372 |

| Trivialname | CAS-Nr. | GHS-Kennzeichnung nach ECHA |
|--|--------------------------|--|
| Benzylalkohol | 100-51-6 | H302, H332 |
| Benzyltoluole (p- und m-) | 27776-01-8 | H304, H315, (p-,o-: H319), H332, (p-,o-: H335), H400, H410 |
| Biphenyl | 92-52-4 | H315, H319, H335, H400, H410 |
| Bis(2-ethylhexyl) adipat | 103-23-1 | Keine Klassierung in der grossen Mehrzahl der REACH-Dossiers |
| Bis(7-methyloctyl)phthalat | 20548-62-3 | Keine Klassierung (SDS Sigma-Aldrich) |
| Borsäure | 11113-50-1 10043-35-3 | H360FD |
| Butyldiglycol | 112-34-5 | H319, H411, H336 |
| Butylhydroxyanisol | 25013-16-5 | H315, H319, H351, H361, H411 |
| Di-p-tolyl-methan | 4957-14-6 | H302, H330, H413 |
| Dibutylphthalat | 84-74-2 | H360Df, H400, (H410/H411/H412) |
| Diethylamin | 109-89-7 | H225, H302, H312, H314, H318, H332, H335 |
| Diethylenglycol | 111-46-6 | H302, H373 (Kidney)(Oral) |
| "Diethylhexylphthalat Bis(2-ethylhexyl)phthalat | 117-81-7 | H360FD (H400, H410) |
| Diethylphthalat | 84-66-2 | Nicht klassiert, bis zu H 400 in 7 von über 1000 Einträgen |
| Diisobutylphthalat | 84-69-5 | H360Df |
| Diisodecylphthalat | 26761-40-0 | Nicht erlaubt in Kinderartikeln (ANNEX XVII REACH, Eintrag 52), evtl. H400, H410 oder H411 |
| Diisononylphthalat | 28553-12-0 | Nicht erlaubt in Kinderartikeln (ANNEX XVII REACH, Eintrag 52), evtl. H400 |
| Dimethylacetamid | 127-19-5 | H312, H332, H319, H360D |
| Dimethylbenzylalkohol | 617-94-7 | H302, H315, H319 |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | H360D, H226, H332, H312, H319 |
| Dinonylphthalat | 84-76-4 | Keine Klassierung |
| Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 18908-70-8 | Keine Informationen |
| Ethylenglycol, Ethan-1,2-Diol, Monoethylenglycol | 107-21-1 | H302, H373 |
| N-Methylpyrrolidon | 872-50-4 | H315, H319, H335, H360D |
| Naphthalin | 91-20-3 | H302, H351, H400, H410 |
| Phenol | 108-95-2 | H301, H311, H314, H331, H341, H373 |
| Polychlorierte Biphenyle | 1336-36-3 | H400, H410, H373 |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | Keine Klassierung |
| Rizinusöl | 8001-79-4 | Keine Klassierung |
| Sojaöl | keine | Keine Klassierung |
| Triethylamin | 121-44-8 | H225, H302, H312, H314, H332 |
| Triocetyltrimellitat | 3319-31-1 | evtl. H361 |
| γ-Butyrolacton | 96-48-0 | H302, H318, H336 |

5 Methoden

5.1 Probenahme der Kondensatoren

5.1.1 Umfang der Analyse

Die Bestandsaufnahme und Typologisierung umfasste alle Kondensatoren in den Rücknahmesystemen von SENS und Swico, die in einer Dimension länger sind als 2.5 cm. Aus Swico-Geräten wurden zusätzlich alle AI-Elkos gesammelt, die kleiner als 2.5 cm in allen Dimensionen sind.

5.1.2 Probenahmekonzept

Aus den SENS- und Swico-Geräten wurden in einem bestimmten Zeitraum Kondensatoren gesammelt. Mit der Sammlung wurden vier Recycler oder Zerlegebetriebe beauftragt. Die Gerätekategorien wurden so gewählt, dass die Kondensatoren aus eindeutig unterscheidbaren Gerätetypen getrennt analysiert werden konnten. Mit der Sammlung nach Kategorien werden auch funktionell bedingte Unterschiede in den eingesetzten Kondensatortypen sichtbar. Die Anzahl Kategorien sollte jedoch nicht so gross sein, dass nur noch eine Handvoll Kondensatoren pro Kategorie übrigbleiben würde. Zu kleine Stichproben erlauben keine statistisch gesicherte Auswertung der gefundenen Inhaltsstoffe mehr. Die definitive Festlegung der Sammelkategorien erfolgte nach Vorversuchen bei einem Zerlegebetrieb, die im Kapitel 5.1.5 dokumentiert sind. Gesammelt wurden die Kondensatoren für die Gerätekategorien gemäss Tabelle 3. Vorgesehen war auch eine Sammlung von Kondensatoren aus CRT-Computerbildschirmen. Im Sammelzeitraum kamen beim beauftragten Zerlegebetrieb jedoch keine Geräte dieser Kategorie an.

Tabelle 3: Gerätekategorien für die Sammlung der Kondensatoren

| Geräte im SENS-System | Geräte im Swico-System |
|---|--|
| Haushaltgrossgeräte getrennt nach: | – Flachbildschirme PC |
| – Waschmaschinen | – Flachbildschirme TV |
| – Geschirrspüler | – Röhrenbildschirme TV |
| – Weitere Haushaltgrossgeräte | – Desktop-Computer inkl. Netzteile |
| – Kühlgeräte | – Externe Laptop-Netzteile |
| – Vorschaltgeräte aus Leuchten | – Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) |
| SENS-Kleingeräte getrennt nach: | – Grosskopierer |
| – Mikrowellen | – Multifunktionsdrucker |
| – Haushaltskleingeräte mit Motoren: Kaffeemaschinen, Staubsauger, Ventilatoren, Bohrmaschinen, Mixer etc. | – Audiogeräte wie Verstärker, Radios, Kompaktanlagen |
| – Weitere Haushaltskleingeräte | – Lautsprecherboxen mit mindestens 2 Lautsprechern |
| | – Videokassettenrecorder |

Die 19 Gerätekategorien für die Sammlung gemäss Tabelle 3 führten zu einer grossen Differenzierung. Für die Laboranalyse der Inhaltsstoffe wurden aufgrund der Sammelergebnisse Mischproben über mehrere Sammelkategorien gebildet, wie in Tabelle 10 dargestellt.

Nach der Sammlung wurden alle ungepolten zylindrischen Kondensatoren und Mikrowellenkondensatoren grösser 2.5 cm nach den folgenden Kriterien klassiert:

1. Gerätekategorie, in der der Kondensator gefunden wurde
2. Hersteller des Kondensators
3. Modellbezeichnung des Herstellers wie auf dem Kondensator aufgedruckt
4. Anzahl gefundener Kondensatoren mit derselben Modellbezeichnung
5. PCB-Gehalt (PCB-frei, PCB-verdächtig, PCB-haltig) gemäss Alter und Kondensatorenverzeichnis (Arnet et al., 2011).
6. Deklarierte Inhaltsstoffe (gemäss Beschriftung)
7. Herstellungsjahr gemäss Aufdruck auf dem Kondensator
8. Bautyp, wo möglich (gemäss Tabelle 1)



Abbildung 4: Beispiel zweier Kondensatoren mit Modellbezeichnung MAB MKP 10/500

Die Aluminium-Elektrolytkondensatoren wurden deutlich simpler klassiert. Diese Kondensatoren sind lediglich mit dem Hersteller und ihrer Kapazität beschriftet. Auf ganz wenigen Modellen in der Sammlung war eine Modellbezeichnung aufgedruckt. Dementsprechend konnte die Klassierung nur bis zur Hersteller-Ebene erfolgen:

1. Gerätekategorie, in der der Kondensator gefunden wurde
2. Hersteller
3. Bautyp (ist immer Aluminium-Elektrolyt gemäss Tabelle 1)

Die Klassierung wurde durch die Studienautoren selbst vorgenommen. Der Bautyp gemäss Tabelle 1 liess sich nur für Al-Elkos zweifelsfrei eruieren, ohne den Kondensator zu öffnen. Auf den anderen Kondensatoren waren die Bautypen teilweise angegeben und konnten erfasst werden. Oftmals war bei den Modellbezeichnungen nicht eindeutig eruierbar, ob Teile davon als Bautypen-Kürzel zu verstehen sind.

Für die Swico-Kategorien wurden zusätzlich die Gewichte und Stückzahlen der Elektrolyt-Kondensatoren erfasst, welche kleiner als 2.5 cm sind. Daraus liess sich eine Abschätzung über die Massenanteile von kleinen und grossen Kondensatoren in den Geräten berechnen, die im Kapitel 7.7.2 ausgewiesen werden. Auch die Anzahl und Gewichte der Geräte, aus welchen die Kondensatoren entnommen wurden, konnten für die Swico-Kategorien erfasst werden.

5.1.3 Repräsentative Probenahme

Um das Gebot der Repräsentativität zu erfüllen, muss grundsätzlich jeder mit einem Elektroaltgerät in der Schweiz gesammelte Kondensator dieselbe Chance haben, in der Stichprobe zu landen. Dies wäre zum Beispiel gegeben, wenn alle Zerlege- und Recyclingbetriebe während des ganzen Jahres einen bestimmten Teil der Kondensatoren separat sammeln würden. Ein solches Vorgehen ist aus organisatorischen, logistischen und wirtschaftlichen Gründen jedoch nicht möglich. Ersatzweise wurden bei einigen geeigneten Zerlegebetrieben und Recyclern alle Kondensatoren gesammelt, die während einer bestimmten Periode anfallen. Diese Probenahme ist insofern zufällig, dass die Periode nicht von vornherein festgelegt ist. Grundsätzlich könnte sie in jeder Woche des Jahres stattfinden. Durch die Beschränkung der Probenahmedauer auf eine kurze Zeit entsteht jedoch ein weiteres Problem: Besonders Grossgeräte und Leuchten fallen oft in grösseren Chargen, zum Beispiel aus Abbrüchen oder Umbauten an. Somit können Geräte aus einzelnen Chargen unverhältnismässig stark in der Probe vertreten sein. Recycling- oder Zerlegebetriebe verarbeiten zudem oft nicht alle Gerätekategorien. Viele Betriebe entfernen beispielsweise die Kondensatoren aus Grossgeräten und reichen SENS-Klein- und Swico-Geräte unbehandelt an andere SENS- oder Swico-Betriebe weiter. Zur Sicherstellung einer möglichst repräsentativen Stichprobe werden idealerweise mehrere Betriebe in die Sammlung jeder einzelnen Gerätekategorie involviert, um den Einfluss grösserer Chargen und möglicherweise vorhandener regionaler Unterschiede in Grenzen zu halten. Dies war leider nicht immer möglich. Insbesondere stammten die gesammelten Vorschaltgeräte aus Leuchten von einem Recycler, der diese aus wenigen grösseren Lieferungen erhalten hatte. Die Repräsentativität dieser Probe ist daher zweifelhaft. Auch die Kondensatoren aus Kühlgeräten wurden nur bei einem Recycler gesammelt. Da dieser für die Verarbeitung von Kühlgeräten einen Marktanteil im zweistelligen Prozentbereich hat, kann dennoch von einer repräsentativen Probe gesprochen werden.

5.1.4 Probengrösse

Um die Probengrösse zu ermitteln, sind einige statistische Überlegungen nötig. Eine Frage der Studie lautet: «Wie gross ist der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren?» Damit ein geringer Anteil von PCB-haltigen Kondensatoren in einer Probe überhaupt nachgewiesen werden kann, ist eine Stichprobe von ausreichender Grösse nötig. Zunächst wird also eine Abschätzung des Anteils PCB-haltiger Kondensatoren benötigt. Diese Abschätzung kann mit den Angaben aus der Kondensatorenstudie (Eugster et al., 2007) und der Leuchten-Studie (Gasser, 2009) vorgenommen werden. Es muss weiterhin festgelegt werden, wie sicher der ermittelte Anteil festgestellt werden soll. In der Fachsprache gesprochen, wie gross die Wahrscheinlichkeit sein darf, dass

der wahre Wert ausserhalb der erlaubten Genauigkeit liegt. In Übereinstimmung mit der wissenschaftlichen Praxis wird dieser Wert auf 5 % festgelegt. Die dritte wichtige Grösse ist die angestrebte Genauigkeit. Wie viele Prozent darf das Resultat der Stichprobe vom wahren Wert abweichen? In der Fachsprache gesprochen, wie gross darf das Konfidenzintervall sein? Da diese Studie belegen soll, ob noch PCB-haltige Kondensatoren in relevanten Mengen vorkommen, muss nicht ein völlig genaues Ergebnis gefordert werden. Jedoch muss das Konfidenzintervall klein genug sein, dass der erwartete Anteil PCB-haltiger Kondensatoren überhaupt erfasst werden kann.

In der Kondensatorenstudie 2007 resultierten PCB-Gehalte in den geschredderten Kondensatorenproben gemäss Tabelle 4. Die Abkürzungen IT und UE stehen für Informationstechnik und Unterhaltungselektronik. Die Zerlegung von Vorschaltgeräten aus Leuchten ergab 2006 Anteile von PCB-Kondensatoren gemäss Tabelle 5.

Tabelle 4: Grössenordnung PCB-Gehalt – Daten Kondensatoren-Studie 2007

| Gerätekategorie | PCB-Gehalt von [g/kg] | bis [g/kg] |
|--------------------------------|-------------------------|------------|
| HHGG | 1.5 | 16.5 |
| Geschirrspüler | 0.17 | 0.22 |
| HHKG | 0.35 | 0.43 |
| Mikrowellengeräte | 0.011 | |
| Kühlgeräte | unter Bestimmungsgrenze | |
| Vorschaltgeräte | 24.3 | 247.7 |
| IT/UE-Kondensatoren < 1 cm | unter Bestimmungsgrenze | |
| IT/UE-Kondensatoren < 1-2.5 cm | 0.054 | 0.055 |
| IT/UE-Kondensatoren > 2.5 cm | 1.1 | 1.9 |
| USV-Anlagen | unter Bestimmungsgrenze | |

Tabelle 5: Grössenordnung PCB-Gehalt – Daten Leuchten-Studie 2009

| Gerätekategorie | Anteil PCB-Kondensatoren [Anteil Stk.] | |
|-----------------|--|---------|
| | Minimal | Maximal |
| Vorschaltgeräte | 60.5 % | 70.5 % |

Aus den Daten der beiden Studien kann nun für Kondensatoren aus Vorschaltgeräten ein Zusammenhang zwischen PCB-Gehalt in der Kondensatoren-Studie (Eugster et al., 2007) und Anteilen von PCB-haltigen Kondensatoren in der Leuchten-Studie (Gasser, 2009) hergestellt werden. Aus den publizierten PCB-Gehalten von maximal drei Labors in (Eugster et al., 2007) wird ein Mittelwert für den PCB-Gehalt jeder Gerätekategorie berechnet. Dann wird für Vorschaltgeräte das Verhältnis zwischen dem minimalen Anteil PCB-Kondensatoren und dem mittleren PCB-Gehalt der Gerätekategorie gebildet. Nun wird dieses Verhältnis mit dem mittleren PCB-Gehalt der anderen Gerätekategorien multipliziert, um für jede Kategorie eine Schätzung für den minimalen Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in Stückzahlen zu erhalten. Zur Bestimmung der Obergrenze wird zunächst für Vorschaltgeräte das Verhältnis zwischen dem maximalen Anteil PCB-Kondensatoren und dem mittleren PCB-Gehalt bestimmt. Die weiteren Berechnungen verlaufen dann analog. Die Resultate dieser Abschätzung sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Abschätzung PCB-haltige Kondensatoren in Stückzahlen für alle Gerätekategorien

| Gerätekategorie | Mittelwert PCB-Gehalt [g/kg] | Anteil PCB-haltige Kond. [Anteil Stk.] | |
|---|------------------------------|--|---------|
| | | Minimal | Maximal |
| HHGG | 7.02 | 3.7 % | 4.4 % |
| Geschirrspüler | 0.20 | 0.1 % | 0.12 % |
| HHKG | 0.39 | 0.21 % | 0.24 % |
| Mikrowellengeräte ¹ | 0.01 | 0.006 % | 0.007 % |
| Kühlgeräte | 0 | 0 % | 0 % |
| Vorschaltgeräte | 113.52 | 60.5 % | 70.5 % |
| IT/UE-Kondensatoren < 1 cm | 0 | 0 % | 0 % |
| IT/UE-Kondensatoren < 1-2.5 cm ¹ | 0.055 | 0.03% | 0.03% |
| IT/UE-Kondensatoren > 2.5 cm | 1.5 | 0.81% | 0.95% |
| USV-Anlagen | 0 | 0 % | 0 % |

Die abgeschätzten Anteile zeigen bereits auf, dass nur bei den Haushaltgrossgeräten und den Vorschaltgeräten Stückzahlen über 1 % zu erwarten sind. Die anderen Gerätekategorien zeigten bereits sehr geringe Anteile, die seit der Kondensatoren-Studie (Eugster et al., 2007) weiter gesunken sein dürften. Für die Berechnung der benötigten Stichprobengrösse wird die Methodik nach (Rasch et al., 2011) verwendet. Die Stichprobengrösse für die Bestimmung der PCB-haltigen Kondensatoren wird gemäss Formel 1 berechnet.

$$n = \frac{p \cdot (1-p) \cdot u_{1-\frac{\alpha}{2}}^2}{\delta^2}$$

Formel 1: Berechnung der Stichprobengrösse für den Anteil PCB-haltiger Kondensatoren

Für p wird jeweils die maximale Anzahl erwarteter Kondensatoren eingesetzt, u bezeichnet das p-Quantil der Standard-Normalverteilung auf dem gewählten Signifikanzniveau und δ die erlaubte Abweichung. Das testweise Einsetzen einiger Werte zeigt nun, dass sehr geringe Anteile unter 1 % nicht mehr mit vernünftigem Aufwand erfasst werden können. Wird zum Beispiel 1 % als Obergrenze eingesetzt und eine Abweichung von ± 0.1 % erlaubt, dann ergibt sich eine Probengrösse von 38'000 Kondensatoren. Wenn die Genauigkeit reduziert wird auf 0.5 %, so sinkt die Probengrösse stark auf bereits handhabbare 1'522 Stk. Diese Berechnungen zeigen, dass eine differenziertere Betrachtung nach Gerätekategorien für die Versuchsplanung sinnvoll ist.

Für Haushaltgrossgeräte muss die Untersuchung feststellen, ob in SENS-Grossgeräten insgesamt keine PCB-haltigen Kondensatoren mehr zu erwarten sind. Damit kann die Obergrenze über alle Geräte auf 4 % festgelegt und eine zulässige Abweichung von ± 1 % toleriert werden. Mit diesen Vorgaben resultiert eine erforderliche Stichprobengrösse für Haushaltgrossgeräte von 1'476 Stk. bei einem Signifikanzniveau α von 5 %.

In der Kategorie der Vorschaltgeräte aus Leuchten sind die Anteile PCB-haltiger Kondensatoren voraussichtlich am grössten. Eine Standortbestimmung ist sinnvoll, muss

¹ Vermutlich eine Verschleppung in der Probenahme.

jedoch nicht mit letzter Genauigkeit eine Prozentzahl festlegen. Als Anteil PCB-haltiger Kondensatoren werden 60 % angenommen. Wenn eine Genauigkeit von $\pm 5\%$ toleriert wird, dann ergibt sich auf dem Signifikanzniveau von 5 % eine erforderliche Probenahmegrösse von 369 Kondensatoren.

Für die Bestimmung der Inhaltsstoffe PCB-freier Kondensatoren müssen ebenfalls die Anforderungen an das Ergebnis festgelegt werden. Das Konfidenzintervall darf wiederum 5 % betragen. Bei der Konzentrationsbestimmung erlauben wir eine Abweichung von $\pm 5\%$, da wir vor allem an der Grössenordnung interessiert sind, in welcher ein Stoff vorkommt und nicht an einer exakten Bestimmung der Zusammensetzung. Für die Feststellung der flüssigen Inhaltsstoffe in den PCB-freien Kondensatoren muss die Probengrösse wiederum gemäss Formel 1 berechnet werden, wobei nun die erlaubte Abweichung auf $\pm 5\%$ festgelegt wird. Die 5 % beziehen sich auf die Zusammensetzung der flüssigen Inhaltsstoffe aller Kondensatoren als Gesamtmischung. Zur Berechnung der Stichprobengrösse wird der ungünstigste Wert für p von 0.5 eingesetzt. Mit einem Niveau α von 5 % ergibt sich dann eine minimale Stichprobengrösse von 385 Stk. Alle statistischen Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware R vorgenommen (R Development Core Team, 2018).

Aus den Überlegungen ergibt sich folgendes Probenahmeprogramm: Aus Haushaltsgrossgeräten werden insgesamt 1'500 Kondensatoren gesammelt. Für die Inhaltsstoffe PCB-freier Kondensatoren soll eine Aussage über die Hauptkomponenten der Inhaltsstoffe aller Kondensatoren in einer Gerätekategorie möglich sein. Idealerweise würden die Inhaltsstoffe von 400 Stk. PCB-freien Kondensatoren einzeln analysiert. Ein solches Analyseprogramm wäre jedoch nicht finanzierbar. Daher wird eine Analysestrategie mit Mischproben gewählt, die im Methodikkapitel zur Analyse der Inhaltsstoffe erläutert wird. Die Sammelziele sind in Tabelle 7 pro Gerätekategorie ausgewiesen. Insgesamt ergibt sich eine Stichprobengrösse von 5'250 Kondensatoren.

Tabelle 7: Geplante Probengrössen pro Gerätekategorie

| Nr. | Gerätekategorie Systeme | Sammelkategorie | Sammelziel Anzahl Kondensatoren |
|------|---|---|---------------------------------|
| 11a | Haushaltsgrossgeräte (total 1500 Kondensatoren) | Waschmaschinen | 1000 |
| 11b | | Geschirrspüler | 400 |
| 11d | | Weitere | 100 |
| 12 | Kühlgeräte | Kühlgeräte | 400 |
| 13 | Vorschaltgeräte aus Leuchten | | 400 |
| 14a | SENS-Kleingeräte | Mikrowellen | 400 |
| 14b1 | | Geräte mit Motoren | 400 |
| 14b2 | | Staubsauger und Hochdruckreiniger | |
| 14c | | Weitere | 400 |
| 21 | PC Monitore / Swico 010 | Flachbildschirme PC | 250 |
| 22 | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 080 | Flachbildschirme TV | |
| 21 | PC Monitore / Swico 010 | CRT-Bildschirme PC | |
| 22 | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 080 | CRT-Bildschirme TV | |
| 23a | PC/Server / Swico 030 | Desktop-Computer inkl. Netzteile | 500 |
| 23b | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 030 | Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) | |

| Nr. | Gerätekatgorie Systeme | Sammelkategorie | Sammelziel Anzahl Kondensatoren |
|-------|---|--|---------------------------------|
| 23c | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 030 | Externe Netzteile | |
| 24a | Grosskopierer, Plotter rollbar / Swico 060 | Grosskopierer | 500 |
| 24b | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 060 | Multifunktionsdrucker | |
| 25a | Unterhaltungselektronik Rest / Swico 130 | Audiogeräte wie Verstärker, Radios, Kompaktanlagen | 500 |
| 25b | | Lautsprecherboxen mit mindestens 2 Lautsprechern | |
| 25c | | Videogeräte (VHS) | |
| Total | | | 5250 |

5.1.5 Vorversuche

Beim einem Zerlegebetrieb wurden Vorversuche zur Zerlegung von SENS-Kleingeräten und Elektronik-Geräten durchgeführt. Mithilfe der Erkenntnisse aus diesen Versuchen wurden die Gerätekategorien für die Probenahme definitiv festgelegt. Bei den Zerlegeversuchen wurden die Geräte gemäss Tabelle 8 zerlegt. Die Tabelle führt auch auf, welche Kondensatoren darin gefunden wurden.

Tabelle 8: Bei den Vorversuchen zerlegte Geräte und gefundene Kondensatoren

| Zerlegtes Gerät | Elektrolyt-Kondensatoren < 2.5 cm | Kondensatoren > 2.5 cm |
|--|-----------------------------------|------------------------|
| Mikrowelle | mehrere | 1 Stk. |
| Netzteil extern für Laptop | mehrere | mind. 1 Stk. |
| Netzteil intern | mehrere | mind. 1 Stk. |
| Kaffeemaschine Durchlauf | 1 Stk. | keine |
| Dampf-Bügelstation | mehrere | keine |
| Bügeleisen | keine | keine |
| Rasenmäher elektrisch | keine | keine |
| Grosskopierer | Dutzende | mind. 5 Stk. |
| Vorschaltgeräte FL-Leuchten nicht elektronisch | Keine | 0-1 Stk. |

Die Zerlegeversuche werden im Folgenden fotografisch dokumentiert. Abbildung 5 zeigt eine geöffnete Mikrowelle mit dem typischen Mikrowellenkondensator zur Erhöhung der Spannung. Dieser ist im Bild unten rechts als Metallgehäuse mit abgerundeten Ecken zu sehen. Abbildung 6 zeigt die Platinen zweier interner Netzteile mit jeweils einem oder zwei grossen Elektrolytkondensatoren. Auf der rechten Platine sind zudem die drei Kupferspulen schön zu erkennen.

In Abbildung 7 ist ein geöffnetes Netzteil eines Laptops zu sehen. Das Kunststoffgehäuse ist inwendig durch ein Metallblech ausgelegt, welches die Platine abschirmt. Auf der Platine selbst ist in der Mitte der grosse Elektrolytkondensator augenfällig. Dazu kommen weitere kleinere Elektrolytkondensatoren. Abbildung 8 zeigt die Platinen eines Grosskopierers. Zahlreiche davon enthalten kleine Elektrolytkondensatoren. Die vier Platinen vorne rechts von der Mitte enthalten jeweils einen grossen Elektrolytkondensator, ebenso die Platine ganz links in der Mitte des Tisches.

In Abbildung 9 ist die Innenansicht einer Dampfbügelstation zu sehen. Die Wasserpumpe im Vordergrund kommt ohne grossen Kondensator aus. Auf der Printplatine sind oben rechts einige kleinere Elektrolytkondensatoren zu erkennen. Der Bürstenmotor des elektrischen Rasenmähers in Abbildung 10 kommt ohne Kondensator aus.

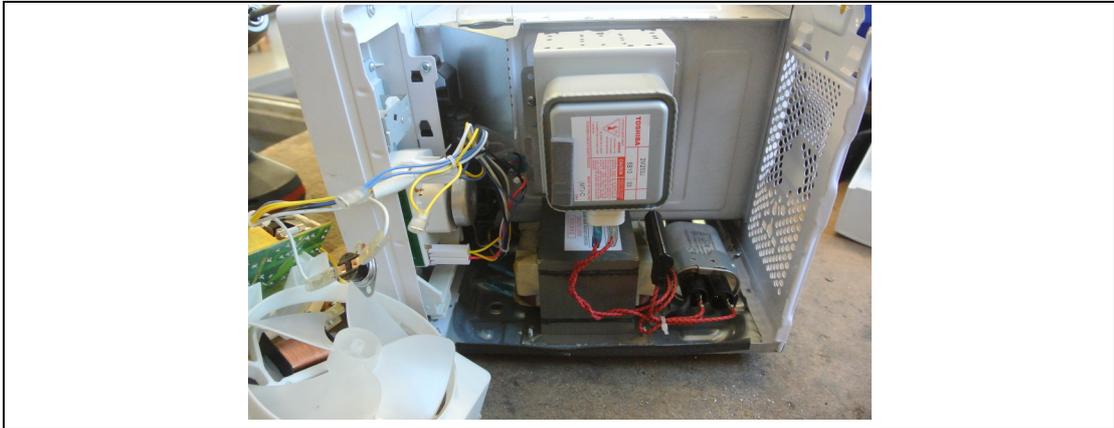


Abbildung 5: Mikrowelle mit typischem Kondensator im Bild unten rechts



Abbildung 6: Interne Netzteile aus Elektro- oder Elektronikgeräten



Abbildung 7: Externes Netzteil für den Betrieb eines Laptops

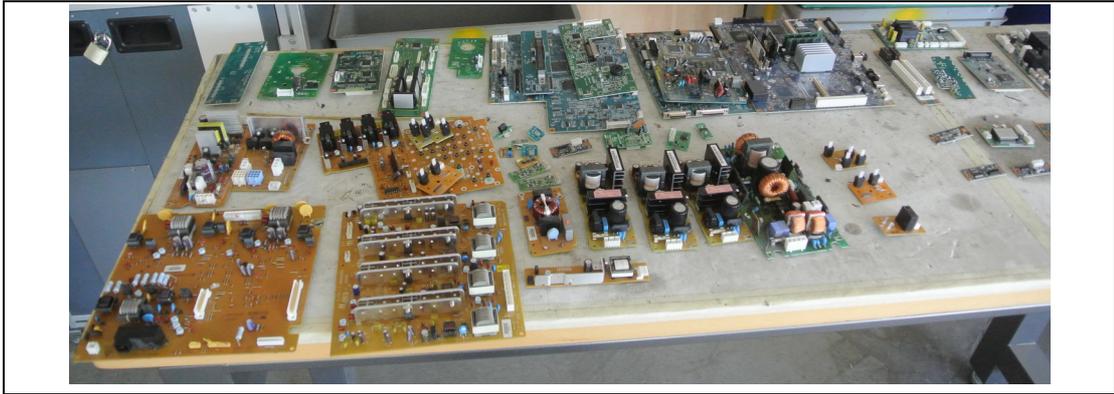


Abbildung 8: Platinen eines Grosskopierers

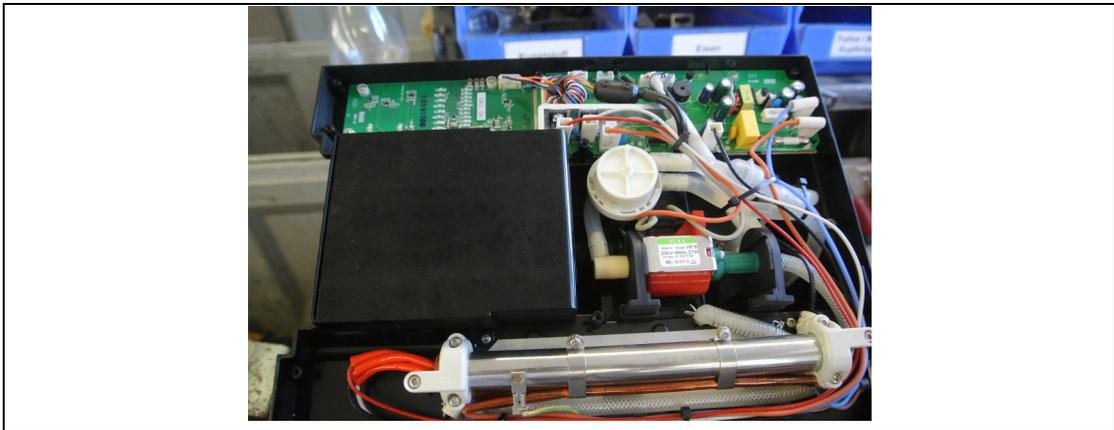


Abbildung 9: Innenleben einer Dampfbügelstation

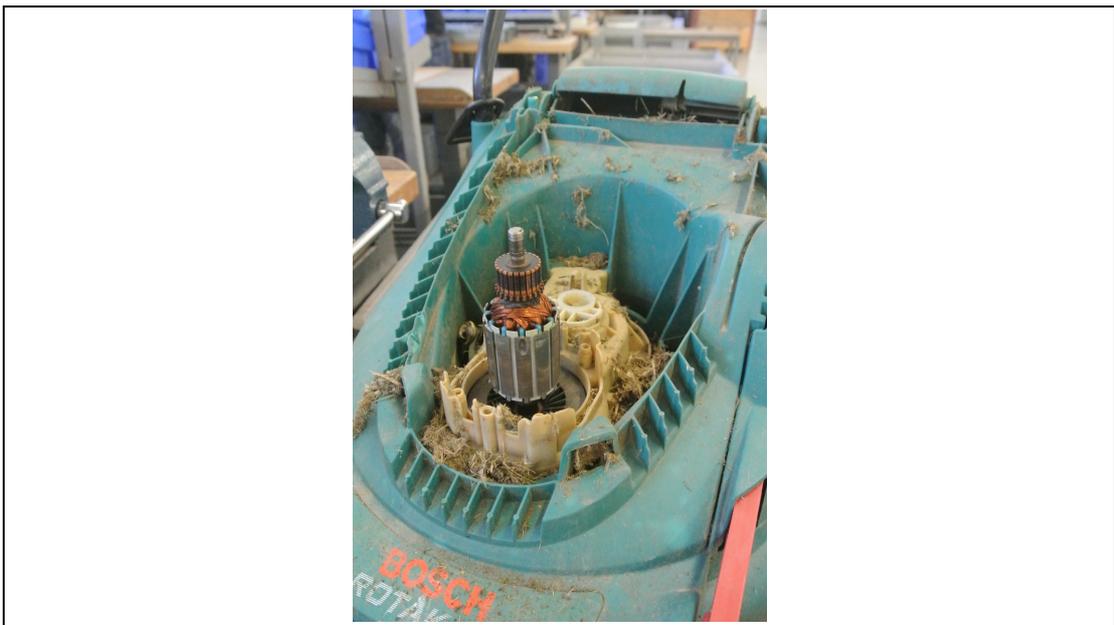


Abbildung 10: Rotor des Bürstenmotors eines elektrischen Rasenmähers

5.2 Analyse der Inhaltsstoffe

5.2.1 Separation der Flüssigkeiten

5.2.1.1 Extraktion der Flüssigkeiten für die Laboranalyse

Für die Erstellung der Proben wurden die Flüssigkeiten aus den Kondensatoren abgelassen. Das beste Vorgehen musste für jeden Kondensatortyp experimentell gefunden werden. Für jeden Bautyp wurde das geeignete Vorgehen festgelegt. Diese sind in der Tabelle 9 beschrieben.

Tabelle 9: Vorgehen zur Separation der Flüssigkeiten pro Kondensatortyp

| Kondensatortyp | Extraktionsmethode |
|------------------------|--|
| Ungepolte zylindrisch | Kondensator auf Stirnseite über Probenahmegefäß aufschneiden. Aus tretende Flüssigkeit in Gefäß fließen lassen. Bei Bedarf Kondensator auf zweiter Stirnseite erneut aufschneiden, um ein weiteres Auslaufen von Flüssigkeit zu erreichen. |
| Elektrolyt-Kondensator | Kondensator auf beiden Stirnseiten aufschneiden, Wickel aus Aluminiumhülle ziehen, Bitumensiegel von Wickel trennen. Wickel in der Mitte zerschneiden und in die Hälften in zwei Probenahmegefäße geben. |
| Mikrowellenkondensator | Kondensatoren über Probenahmegefäß auf der Stirnseite aufschneiden. Reichlich austretende Flüssigkeit in Probenahmegefäß sammeln. |



Abbildung 11: Flüssigkeitsaustritt aus ungepoltem zylindrischem Kondensator nach dem Aufschneiden

Aus den ungepolten zylindrischen und den Mikrowellenkondensatoren traten die Flüssigkeiten nach dem Aufschneiden durch die Wirkung der Schwerkraft aus, wie in

Abbildung 11 zu sehen ist. Sie konnten in einem Gefäß gesammelt werden und die Flüssigkeitsprobe wurde dann ins Labor gegeben. Die Flüssigkeiten in Aluminium-Elektrolytkondensatoren sind im Fließpapier zwischen den Aluminiumfolien gebunden und fließen nach dem Öffnen der Kondensatoren nicht aus. Die Vorversuche dazu werden im folgenden Kapitel 5.2.1.2 beschrieben. Aus diesen Kondensatoren wurde deshalb der Wickel entfernt, halbiert und die Hälften in zwei Probenahmegläsern gesammelt. So entstanden zwei identische Mischproben, die dem Labor zugestellt wurden. Eine wurde verwendet für die Extraktion mit organischem Lösemittel, die andere für die Extraktion mit Wasser.

5.2.1.2 Separationsversuche Elektrolyt-Kondensatoren

Der flüssige Elektrolyt ist in Elektrolyt-Kondensatoren stark gebunden. Zunächst wurde versucht, die Kondensatoren anzustechen und in einem Behälter stehend den Elektrolyten auslaufen zu lassen. Dieses Vorgehen erwies sich als nicht zielführend. Nach einer Versuchsdauer von 13 Tagen waren keine Flüssigkeiten aus den Kondensatoren ausgetreten. Die Behälter wurden während des Versuchs im Dunkeln bei Raumtemperatur gelagert. Siehe dazu die beiden Fotos in Abbildung 12.



Abbildung 12: Anstechen des Elkos und trockene Behälter nach 13 Tagen Versuchsdauer

5.2.2 Analysierbarkeit der erwarteten Inhaltsstoffe

Vor der Planung der Laboranalysen wurde mit dem beauftragten Labor abgeklärt, mit welchen Analyseverfahren die Substanzen detektiert werden können, die möglicherweise in Kondensatoren vorkommen. Dazu wurden dem Labor die Stofflisten aller aus der Literaturstudie bekannten möglichen Inhaltsstoffe zugestellt (Listen im Anhang B). Die Laborleitung (Ruckstuhl et al., 2018) teilte den Autoren daraufhin mit, welche Substanzen in einer GCMS-Analyse, Headspace mit GCMS-Analyse oder LCMS-Analyse analysiert werden können. Zudem unterbreiteten Sie den Vorschlag, die Elemente Wolfram und Bor per ICP zu analysieren, da die gewünschten Wolfram-

und Borsäuren nicht im GCMS oder LCMS analysiert werden können. Nach Rücksprache mit der Begleitgruppe wurde mit diesen Informationen das nachfolgend beschriebene Analysekonzept beschlossen.

5.2.3 Analysekonzept Laboranalysen

Aus den Sammelkategorien Haushaltgrossgeräte, Kühlgeräte, Mikrowellen (BiCai und andere Hersteller getrennt), SENS-Kleingeräte, Flachbildschirme, sowie Desktop-Computer und externe Laptop-Netzteile wird jeweils eine Mischprobe für die Laboranalyse erstellt. Zudem wurden fünf Proben von Einzelmodellen aus Haushaltgrossgeräten erstellt, die wie die Mischprobe aus Haushaltgrossgeräten analysiert wurden. Alle Flüssigkeitsproben aus ungepolten zylindrischen und Mikrowellenkondensatoren werden per GCMS analysiert, zudem wird der PCB-Gehalt der Proben geprüft. Die Al-Elkos werden per GCMS und LCMS analysiert, zudem werden die Elemente Bor und Wolfram per ICP detektiert. Die Tabelle 10 zeigt das Probenahmeprogramm im Detail. Bei den Mikrowellenkondensatoren wurde entschieden, die Modelle des Herstellers BiCai separat zu analysieren. Die Modelle dieses Herstellers machten rund 50 % aller Mikrowellenkondensatoren aus.

Tabelle 10: Durchgeführte Laboranalysen pro Mischprobe

| Gerätekategorie | Beinhaltet Kondensatoren aus Sammelkategorien | GCMS-Analyse | LCMS-Analyse | PCB-Analyse | ICP-Analyse |
|---------------------------------------|--|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Haushaltgrossgeräte | Waschmaschinen, Geschirrspüler, Weitere Haushaltgrossgeräte | X | | X | |
| Kühlgeräte | Kühlgeräte | X | | X | |
| Mikrowellen BiCai | Mikrowellen | X | | X | |
| Mikrowellen andere Hersteller | Mikrowellen | X | | X | |
| SENS-Kleingeräte ungepolt zylindrisch | Haushaltkleingeräte mit Motoren, Weitere Haushaltkleingeräte | X | | X | |
| SENS-Kleingeräte Al-Elko | Haushaltkleingeräte mit Motoren, Weitere Haushaltkleingeräte | X | X | | B, W |
| Flachbildschirme PC & TV | Flachbildschirme PC, Flachbildschirme TV | X | X | | B, W |
| Desktop-PC & Laptop-Netzteile | Desktop-Computer, Laptop-Netzteile | X | X | | B, W |

5.2.4 Erstellung der Mischproben

Die Mischproben wurden so erstellt, dass in jeder flüssigen Mischprobe aus ungepolten zylindrischen Kondensatoren mindestens 50 % der Kondensatorenmodelle einer Gerätekategorie vertreten waren. In den Mischproben aus Aluminium-Elektrolytkondensatoren sollten jeweils mindestens die Hälfte aller Hersteller von Kondensatoren dieser Gerätekategorie vertreten sein. Die Proben sollten repräsentativ sein in dem Sinn, dass die Modelle in der Mischprobe in denselben Verhältnissen vertreten sein sollten wie in der Grundprobe. Die Proben wurden in mehreren Chargen erstellt und

analysiert. Nach der Analyse der ersten AI-Elkos wurde die Probenahmestrategie dahingehend geändert, dass nun eine Abdeckung aller Hersteller in der Mischprobe angestrebt wurde. Ausgenommen blieben die Hersteller deren Modelle nur vereinzelt in der Stichprobe vorkamen. Grund dafür war die Einsicht nach der ersten Analyse, dass die Peaks im GCMS sauber trennbar waren und kein Rauschen durch Mineralöle erzeugt wurde, welche im GCMS über die gesamte Retentionszeit ein Signal generieren. Dafür wurde die Forderung der repräsentativen Verteilung der Kondensatoren für diese Proben aufgegeben. Die Tabelle 11 zeigt die gewählte Probestrategie und die gewünschte Abdeckung. Zudem wird die Labornummer der Mischproben ausgewiesen.

Tabelle 11: Mischprobenziele und -strategien

| Gerätekategorie | Ziel Abdeckung in Mischprobe | Mischprobenstrategie | Bezug | Proben-Nr. |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------|------------|------------|
| Haushaltgrossgeräte | 50 % | repräsentativ | Modelle | 6 HHG |
| Kühlgeräte | 50 % | repräsentativ | Modelle | 1 KG |
| Mikrowellen BiCai | 50 % | repräsentativ | Modelle | 3.1 MW |
| Mikrowellen andere Hersteller | 50 % | repräsentativ | Modelle | 3.2 MW |
| HKG ungepolt zylindrisch | 50 % | repräsentativ | Modelle | 5.1 HKG |
| HKG Elko | 80-100 % | vollständig | Hersteller | 5.2 HKG |
| Flachbildschirme PC & TV | 80-100 % | repräsentativ | Hersteller | 2 LCD |
| Desktop-PC & Laptop-Netzteile | 80-100 % | vollständig | Hersteller | 7 Netz |

Bei der Probenahme erwiesen sich zahlreiche Kondensatoren als trocken, was eine fortlaufende Korrektur des Probenahmeprogramms während der Zerlegung der Kondensatoren nötig machte.

Zusätzlich wurden in einer zweiten Analysekampagne Einzelmodelle aus Haushaltsgrossgeräten untersucht, wie unter 5.2.6 beschrieben.

5.2.5 Anteil der in den Mischproben vertretenen Kondensatoren

Der Anteil der Kondensatoren an der Grundgesamtheit, die in der Mischprobe vertreten sind, wurde nach folgendem Schema ermittelt: Für jedes in der Mischprobe vertretene Kondensatormodell wurde die Anzahl desselben Kondensatormodells in der Kondensatorensammlung ermittelt. Die Summe dieser Anzahlen ergibt die Gesamtanzahl in der Mischprobe verteilter Kondensatoren. Diese Grösse wird verglichen mit allen gesammelten Kondensatoren, welche Flüssigkeiten enthalten. Dazu muss die Gesamtmenge der Kondensatoren um die Anzahl trockener Kondensatoren korrigiert werden. Da diese Zahl nicht exakt bekannt ist, wie im Kapitel 6.6.1 beschrieben, kann auch der Anteil der Kondensatoren mit Flüssigkeiten nicht exakt bestimmt werden. Durch das gewählte Vorgehen wird jedoch eine konservative Schätzung sichergestellt, da unter den gesammelten Kondensatoren mehr trockene Kondensatoren vorkommen könnten, jedoch nicht weniger. Die Tabelle 12 zeigt die Anteile der Kondensatoren in der Mischprobe im Vergleich zur gesammelten Kondensatorenmenge. Zu beachten ist auch, dass die Bezugsgrösse variiert. Für die ungepolt zylindrischen Kondensatoren wird der Anteil auf Modellebene ausgewiesen (siehe dazu auch Tabelle 11). Für die AI-Elkos hingegen auf Herstellerebene. Das bedeutet z. B., dass bei den Flachbildschirmen 87 % der Hersteller der gesammelten Kondensatoren in der Mischprobe vertreten waren. Da AI-Elkos keine Typenbezeichnungen tragen,

kann jedoch keine Aussage darüber gemacht werden, welcher Anteil aller Modelle in der Mischprobe vertreten war.

Tabelle 12: Anteil der Kondensatoren, welche in der Mischprobe vertreten sind

| Gerätekatgorie | Anzahl Kond. geöffnet für Mischprobe | Anzahl Kondensatorenmodelle in Probe vertreten | Max. Anz. PCB-freie Kond. mit Flüssigkeit | Anteil in Mischprobe vertreten |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|---|--------------------------------|
| Haushaltgrossgeräte | 33 | 594 | 1113 | 53% |
| Kühlgeräte | 17 | 102 | 185 | 55% |
| Mikrowellen BiCai | 14 | 146 | 153 | 95% |
| Mikrowellen andere Hersteller | 18 | 61 | 179 | 34% |
| HKG ungepolt zylindrisch | 13 | 18 | 23 | 78% |
| HKG Elko | 23 | 324 | 400 | 81% |
| Flachbildschirme PC & TV | 26 | 204 | 234 | 87% |
| Desktop-PC & Laptop-Netzteile | 20 | 863 | 863 | 100% |

5.2.6 Analyse der Inhaltsstoffe einzelner Kondensatorenmodelle von ungepolt zylindrischen Kondensatoren

5.2.6.1 Vorgehen

Die Analyse von Einzelmodellen sollte ein besseres Verständnis ermöglichen, wie die Ergebnisse der Mischproben zustande kamen. Gewählt wurden ungepolte zylindrische Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten. Im Unterschied zur früheren Untersuchung wurden nur Kondensatoren desselben Modells pro Probe verwendet. Ausgewählt wurden Modelle, die bereits in der Mischprobe für Haushaltgrossgeräte enthalten waren. Bei der Wahl der fünf Modelle wurden mehrere Kriterien berücksichtigt:

- Grösste Stückzahl in der Sammlung
- Einzelproben von Modellen unterschiedlicher Hersteller
- Unterschiedliches Erscheinungsbild der Flüssigkeiten

Die Wahl fiel auf fünf Modelle von vier unterschiedlichen Herstellern, wie in Tabelle 13 dargestellt.

5.2.6.2 Analysekonzept Laboranalysen

Die Flüssigkeitsproben wurden per GCMS analysiert, zudem wurde der PCB-Gehalt der Proben geprüft. Die Analyse erfolgte nach denselben Vorgaben wie für die Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten.

5.2.6.3 Erstellung der Proben aus Einzelmodellen

Die Proben wurden aus den Flüssigkeiten mehrerer Kondensatoren desselben Modells erstellt. Für eine Flüssigkeitsprobe wurden drei bis sechs Kondensatoren aufgeschnitten. Die Anzahl hing davon ab, wie viel Flüssigkeit pro Kondensator gewonnen werden konnte. Die Tabelle 13 führt die fünf gewonnenen Proben mit Ihren Kennzahlen auf.

Tabelle 13: Erstellte Proben für Einzelmodelle ungepoltter zylindrischer Kondensatoren

| Konden- sator-Nr. | Kondensator-Modell | Kondensator- Hersteller | Bezeichnung Laborprobe | Anzahl Kon- densatoren |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 311 | NIL F 158405000020 X1Y2 0.47 μ F | BK | HHGG 1 | 3 |
| 109 | MAB 5/500 | Hydra | HHGG 2 | 4 |
| 126 | MAB 5/400 | Hydra | HHGG 3 | 3 |
| 90 | E12.C58-30104F 10 μ F | Electronicon | HHGG 4 | 6 |
| 95 | C.87.8BF2 4 μ F | AV | HHGG 5 | 6 |

Die Abbildungen in Anhang D zeigen die Kondensatormodelle, aus welchen die fünf Proben erstellt wurden.

5.2.7 Auswertung der GCMS- und LCMS-Analysen

Ziel war die Suche nach den Hauptkomponenten in den Proben. In den GCMS-Chromatogrammen wurden jeweils die grössten 10-20 Peaks ausgewertet. Diese wurden mit der laboreigenen Bibliothek von Substanzstandards verglichen und die Güte der Übereinstimmung mit einem Wert von 1-100 bestimmt. In den geprüften Mischproben konnten keine Flüssigkeiten einzelner Kondensatoren bestimmt werden. Die Analyse gibt stattdessen ein Bild über die häufigen Substanzen in allen Kondensatoren einer Mischprobe. Für die Proben der Einzelmodelle von ungepoltten zylindrischen Kondensatoren zeigen die Analysen die Substanzen pro Kondensatorenmodell. Die GCMS-Analyse erlaubte auch eine näherungsweise Quantifizierung des Massenanteils der Substanz durch den Vergleich der Peakflächen zu jener des Laborstandard mit bekanntem Massenanteil.

Die LCMS-Auswertung vergleicht das Atomgewicht der gefundenen Moleküle mit einem vorgegebenen Katalog (Zielsuche) oder in einer generischen Suche. Für die vorliegende Studie wurde die Zielsuche gegen die Liste der vermuteten Substanzen gemäss Anhang B durchgeführt. Gefundene Treffer mit übereinstimmendem Atomgewicht können bestätigt werden durch den Abgleich mit einem Referenzstandard. Das gemessene MSMS-Spektrum kann mit dem Spektrum einer Bibliothek verglichen werden, was dann dazu führt, dass die Identität als wahrscheinlich gilt. Das MSMS-Spektrum stammt aus der Analyse von zwei Massenspektrometern (MS). Das beauftragte Analyselabor verwendet einen Quadrupol-MS, gefolgt von einem TimeOfFlight-MS. Die Substanz im Detektor wird durch Energiezugabe in mehrere Fragmente zerlegt, die dann in den beiden Massenspektrometern ein charakteristisches Muster erzeugen. Gelingt der Abgleich des MSMS-Spektrums nicht, ist die Identität nicht bestätigt. Es könnte sich auch um eine andere Substanz mit exakt demselben Atomgewicht handeln.

5.3 Laboranalyse PCB-verdächtiger Kondensatoren

Nach der Klassierung der Kondensatoren mit Hilfe des Kondensatorenverzeichnisses war der Anteil PCB-verdächtiger Kondensatoren sowohl bei den Haushaltgrossgeräten wie auch bei den Kühl-, Klima- und Gefriergeräten relativ hoch. Für beide Gerätekategorien wurde ein Teil der Kondensatoren im Labor auf ihren PCB-Gehalt analysiert. Das Analyseprogramm wurde so festgelegt, dass der Anteil PCB-verdächtiger Kondensatoren für die Haushaltgrossgeräte auf unter 2 % reduziert werden konnte.

Für die Analyse wurden die Kondensatorenmodelle mit den höchsten Stückzahlen ausgewählt, um die Anzahl nötiger Laboranalysen möglichst tief zu halten. Für die Kühl-, Klima- und Gefriergeräte wurden alle PCB-verdächtigen Kondensatoren analysiert. Für die Laboranalyse wurden die Flüssigkeiten extrahiert wie unter 5.2.1.1 beschrieben. Die Laboranalyse erfolgte mittels Bestimmung von 7 PCB-Kongeneren und der Summen-Bildung gemäss ChemRRV (Schweizerischer Bundesrat, 2017). Aus fünf Kondensatormodellen mit schwarzem Plastikgehäuse lief keine Flüssigkeit aus, jedoch enthielten sie feuchte Fliesspapiere. Statt der Öle wurden die Wickel dieser Modelle dem Labor eingesandt und der PCB-Gehalt des gesamten Wickels bestimmt. Die PCB-Analyse erfolgte für dieselben 7 Kongenere wie bei den Ölen, die Summenbildung jedoch gemäss VVEA, bzw. LAGA.

5.4 Gewichtsanteil der Flüssigkeiten in Kondensatoren

5.4.1 Zerlegung Elektrolytkondensator

Zur Bestimmung der Gewichtsanteile der Inhaltsstoffe eines Elektrolytkondensators wurde ein Exemplar mit rund 2 cm Länge und ca. 1.5 cm Durchmesser in seine Bestandteile zerlegt. Die so erhaltenen Gewichtsanteile ergeben eine erste Näherung über die Anteile fester und flüssiger Inhaltsstoffe. Selbstverständlich ist die Zerlegung nur eines Kondensators nicht ausreichend für eine repräsentative Bestimmung der Gewichtsanteile. Im Rahmen der vorliegenden Studie war jedoch keine aufwändige Zerlegung einer grösseren Anzahl von Elektrolytkondensatoren vorgesehen.

Zerlegt wurde der Aluminium-Elektrolytkondensator wie in Abbildung 13 gezeigt. Das Aluminiumgehäuse wurde mit einem Seitenschneider aufgeschnitten. Danach wurde der Wickel aus dem Gehäuse gezogen und die beiden Folien vollständig abgewickelt. Alle Bestandteile wurden in einem Kunststoffbecher gewogen, dessen Eigengewicht vorher mit derselben Waage bestimmt wurde. Als Waage wurde eine Mettler PC 4000 verwendet.

Die Abbildung 14 zeigt die Bestandteile des zerlegten Aluminium-Elektrolytkondensators. Folgende Bestandteile sind zu sehen:

- Links Mitte: abgewickelte graue Aluminiumfolie.
- Daneben grüne Klebstreifen, die den gesamten Wickel umgaben.
- Links unten: schwarzes Plastikgehäuse.
- Mitte oben: zweite abgewickelte Aluminiumfolie.
- Bildmitte: Aluminiumgehäuse mit Deckel.
- Darunter: Teil des Bitumensiegels.
- Rechts: Fliesspapier, mit Flüssigkeit getränkt, das zwischen den beiden Folien eingewickelt war.

Die ausgewogenen Gewichte sind in den Resultaten im Kapitel 0 zu finden.



Abbildung 13: Aluminium-Elko, Deckel entfernt. Blick auf Bitumensiegel und Wickel



Abbildung 14: Bestandteile des zerlegten Al-Elkos.

5.4.2 Gewichtsanteil der Flüssigkeiten in ungepolten zylindrischen Kondensatoren

Für die Bestimmung des Gewichtsanteils der Flüssigkeit in apolar zylindrischen Kondensatoren wurden die gleichen Kondensatoren genutzt wie für die Analyse der Inhaltsstoffe einzelner Kondensatormodelle. Die Modelle und Anzahl Kondensatoren können aus Tabelle 13 ersehen werden. Ein grosser Teil der Flüssigkeit wurde über das Gewicht der Laborproben erfasst. Die Feststoffe wurden in geschlossene Gefässe gegeben, um die restliche Flüssigkeit abtropfen zu lassen. Nach einer Abtropfdauer von vier Monaten wurden die Feststoffe und die abgetropfte Flüssigkeit separiert, wie in Abbildung 15 zu sehen ist. Die Gewichte der Feststoffe und Flüssigkeiten wurden dann getrennt bestimmt.



Abbildung 15: Separierte Probe des Kondensatormodells Nr. 109

5.4.3 Gewichtsanteil der Flüssigkeiten in Mikrowellen- Kondensatoren

Die Mikrowellenkondensatoren liessen sich nur per Hammer und Meissel anstechen. Die ausfliessende Flüssigkeit wurde aufgefangen. Restliches Öl konnte während rund einer Stunde aus den Kondensatoren abtropfen.

5.5 Stofffluss der Flüssigkeiten aus Kondensatoren im Recyclingprozess

Um eine Beurteilung zu ermöglichen, wie problematisch die Flüssigkeiten aus Kondensatoren im Recyclingprozess sind, wurde eine exemplarisches Modell für die Verarbeitung von kleinen Haushalt-Elektrogeräten erstellt. Diese Kategorie ist definiert im Rücknahmesystem der SENS als «Haushaltkleingeräte». Sie umfasst Geräte wie Staubsauger, Toaster, Bohrmaschinen, elektrische Spielsachen oder Hometrainer.

Der exemplarische Recyclingprozess wurde erstellt mit Daten der TK SENS aus Batchversuchen bei Recyclingpartnern. Aus diesen Versuchen ist bekannt, welche Fraktionen im Elektrogeräterecycling entstehen und wie diese weiter verarbeitet und entsorgt werden. Die Behandlung der Geräte wurde aufgeteilt in Prozessschritte. Die Prozessschritte erzeugen Fraktionen, welche in eine endgültige Behandlung gelangen. Alle endgültigen Behandlungsschritte wurden eingeteilt in die vier Kategorien «stoffliche Kunststoffverwertung», «Metallschmelze», «Hochtemperaturverbrennung» und «Kehrichtverbrennung». Alle sortierten Fraktionen, die gemäss dieser Aufstellung in denselben endgültigen Behandlungsschritt münden, wurden zusammengefasst. Nach der Analyse der Stoffströme wurde das Modell vereinfacht und diejenigen Prozessschritte zu einem Prozessschritt zusammengefasst, die bezüglich der bedenklichen Stoffe in Kondensatoren unkritisch sind.

Die Daten der Batchversuche wurden auf eine Tonne Inputmaterial normalisiert. Aus den Batchdaten wurde der Kondensatorenanteil bestimmt und mit einem Flüssigkeitsanteil von 15 % die Flüssigkeitsmenge in den Kondensatoren im Input abgeschätzt. Die Bestimmung des Flüssigkeitsanteils wird im Kapitel 5.4.2 und in den Resultaten unter 0 dargestellt.

Zuerst werden im Recyclingprozess Kondensatoren manuell aus den Geräten entfernt. Diese Kondensatoren gelangen mit der darin enthaltenen Flüssigkeit in eine Hochtemperaturverbrennungsanlage. Die übrigen Kondensatoren verbleiben in den Geräten und gelangen in die mechanische Verarbeitung. Im mechanischen Prozess wird ein Teil der Kondensatoren zerstört. Diese verlieren die enthaltene Flüssigkeit zumindest teilweise. Im Modell ist der Flüssigkeitsverlust immer vollständig. Den Anteil Kondensatoren, der in der mechanischen Verarbeitung zerstört wird, bezeichnen wir als Bruchrate. Wir präsentieren im Kapitel 6.9 die Ergebnisse für drei Bruchraten: für 15 %, 30 % und 40 %.

Nach der mechanischen Verarbeitung werden die restlichen Kondensatoren aussortiert, die nicht bereits vor der mechanischen Verarbeitung aussortiert wurden. Ein Anteil davon von 100 % minus der Bruchrate enthält noch die Kondensatorenflüssigkeit. Diese gelangt mit den aussortierten Kondensatoren in eine Hochtemperaturverbrennung. Die Flüssigkeit der zerbrochenen Kondensatoren verteilt sich auf alle anderen Fraktionen, die aus der mechanischen Verarbeitung hervorgehen. Diese freigesetzte Flüssigkeit wurde im Modell auf die Fraktionen verteilt gemäss dem Gewichtsanteil jeder Fraktion an allen erzeugten Fraktionen. Die ausgetretene Flüssigkeit auf den Fraktionen gelangt dann in denselben Prozess zur endgültigen Verwertung wie die Trägerfraktion. Für alle Fraktionen ausser Kunststoffen in die stoffliche Verwertung sind dies entweder eine Verbrennung (KVA/thermische Verwertung oder Hochtemperaturverbrennung) oder eine Metallschmelze. Die Kunststoffe gelangen zum Kunststoffrecycler, den wir als separaten Prozess darstellen.

Der Kunststoffrecycler trennt das Kunststoffgemisch aus dem Prozess des Elektroaltgeräterecycler auf in drei Fraktionen:

- Kunststoffe zur Verbrennung (in der Abbildung 23 als «RESH/Staub zur KVA» bezeichnet),
- Metalle in die Metallverwertung und
- Kunststoffe zur stofflichen Verwertung.

Die ersten beiden der genannten Fraktionen gelangen in thermische Prozesse. Die Kunststoffe zur stofflichen Verwertung werden sortenrein getrennt und granuliert. Das Granulat gelangt dann in die Herstellung von Sekundärkunststoffen. Dieses Recycling führt gemäss aktuellem Wissenstand der Autoren nicht über einen Prozess mit

hohen Temperaturen, welche die bedenklichen Stoffe zerstören. Es ist darum der kritische Pfad für die Beurteilung des Verhaltens der bedenklichen Stoffe im Elektroaltgeräterecycling.

Bei der Erstellung des Modells wurde davon ausgegangen, dass alle Kondensatoren aussortiert werden und keine in anderen Fraktionen verbleiben. Dies stellt eine Idealisierung dar, in der Realität wird es Kondensatoren mit Flüssigkeiten geben, die in keiner der beiden Sortierungen aussortiert werden. Die Grösse dieser Fehlcharge ist jedoch unbekannt und kann nicht aus anderen bekannten Daten hergeleitet werden. Für die Fragestellung ist dieser Anteil zudem von untergeordneter Bedeutung, da der kritische Pfad über die ausgelaufene Flüssigkeit auf Kunststoffen in die stoffliche Verwertung führt. Die Kunststofffraktion muss relativ rein sein und kann schon aus Gründen der Weiterverarbeitbarkeit keine grossen Anteile von nicht aussortierten Kondensatoren beinhalten.

5.6 Recherche der Stabilität und Risiken der bedenklichen Stoffe

Zur Beurteilung der Stabilität der bedenklichen Stoffe im Recycling wurden deren Stoffeigenschaften recherchiert. Zum einen wurden folgende für die Fragestellung bedeutenden chemisch-physikalischen Eigenschaften eruiert:

- Molmasse,
- Dichte,
- Schmelzpunkt,
- Siedepunkt,
- Dampfdruck,
- Zündtemperatur und
- Flammpunkt.

Zum anderen wurden Angaben zu den Umwelteigenschaft der Stoffe gesammelt. Diese waren die Folgenden:

- Wasserlöslichkeit,
- Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient und
- Biokonzentrationsfaktor.

Weiterhin wurden Angaben zur Toxizität auf Ratten, Fische, Krustentiere und Algen erfasst. Die recherchierten Angaben können im Anhang A nachgeschlagen werden.

Die Beurteilung der Stabilität in den Entsorgungsprozessen erfolgte für eine mechanische Auftrennung in einem Schredder und für eine Verbrennung in einer Kehrichtverbrennungsanlage. Die Bewertung der Verbrennung in einer KVA erfolgte in Zusammenarbeit mit der KEZO Hinwil (Böni, 2020).

Das Umweltverhalten wurde in mehrfacher Hinsicht geprüft. Für chemische Stoffe wird in REACH-Dossiers deklariert, ob ein Stoff rasch biologisch abbaubar sei. Leider konnten nur für elf bedenkliche Stoffe solche REACH-Dossiers gefunden werden.

Die REACH-Verordnung definiert Halbwertszeiten für Stoffe in der Umwelt, bei deren Überschreitung sie als «persistent» oder «sehr persistent» bezeichnet werden. Diese Halbwertszeiten sind in der Tabelle 14 aufgeführt (Umweltbundesamt, 2019).

Tabelle 14: Grenzwerte für die Halbwertszeit in Tagen pro Umweltkompartiment für die Klassierungen als persistent oder sehr persistent gemäss REACH-Verordnung der EU

| Klassierung | Im Meerwasser | Im Süsswasser | Im Meeres-sediment | Im Süsswas-sersediment | Im Boden |
|-----------------|---------------|---------------|--------------------|------------------------|----------|
| Persistent | 60 | 40 | 180 | 120 | 120 |
| Sehr persistent | 60 | 60 | 180 | 180 | 180 |

Für die Halbwertszeiten kennen wir keine zuverlässige öffentliche Datensammlung, welche diese für die bedenklichen Stoffe in Kondensatoren ausweisen würde. Für die Beurteilung ist man auf Dossiers von Stoffprüfungen im Rahmen der REACH-Verordnung angewiesen. Leider ist diese Stoffprüfung für keinen der Stoffe auf der Liste der bedenklichen Stoffe im Recycling abgeschlossen.

Gemäss REACH-Verordnung gilt ein Stoff als «bioakkumulierbar», wenn sein Biokonzentrationsfaktor (BCF) grösser als 2000 l/kg ist. Wenn der BCF grösser ist als 5000 l/kg, gilt der Stoff als «sehr bioakkumulierbar» (Europäisches Parlament, 2006; Umweltbundesamt, 2019). Das Mass des Biokonzentrationsfaktors bezieht sich auf Liter Wasser pro Kilogramm Körpergewicht eines Fisches. Diese Grösse kommt zustande aus der Berechnung des Biokonzentrationsfaktors. Dieser wird berechnet aus der Konzentration eines Stoffes im Fischgewebe, geteilt durch die Konzentration im Wasser, das den Fisch umgibt. Die Ermittlung dieses Faktors gestaltet sich sehr aufwändig, da dafür Testorganismen längere Zeit bei gleichbleibender Konzentration der Testsubstanz gehalten werden müssen. Nur sehr wenige Testergebnisse sind verfügbar. Bei den meisten Angaben zum BCF handelt es sich um Modellwerte, die aus dem Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient eines Stoffes abgeschätzt werden.

Für die bedenklichen Stoffe wurde zudem recherchiert, ob sie für den Gewässerschutz auf europäischer Ebene als prioritär eingestufte Stoffe gemäss Anhang X der EU-Wasserrahmenrichtlinie (Europäisches Parlament, 2000) gelten. Als «prioritäre Stoffe» bezeichnet die Wasserrahmenrichtlinie solche Stoffe, die ein erhebliches Risiko für die aquatische Umwelt darstellen. Es gelten auch solche Stoffe als «prioritär», die durch die aquatische Umgebung für den Menschen eine Gefahr darstellen.

Zur Beurteilung der Abbauewege der bedenklichen Stoffe in der Umwelt wurde die «Biocatalysis/Biodegradation»-Datenbank der Eawag befragt (Eawag, 2019).

6 Resultate

6.1 Definition bedenklicher Stoffe

Elektronische Komponenten enthalten durchwegs toxische Stoffe, wie zum Beispiel das Kupfer der Kabel, Arsen in Halbleitern oder Flammhemmer in Kunststoffen. Da die Definition bedenklicher Stoffe im Zusammenhang mit einer Vorentfrachtung von Kondensatoren verwendet wird, ist darauf zu achten, dass die Definition der bedenklichen Stoffe in Kondensatoren nur diejenigen Stoffe erfasst, die in der Verarbeitung eine gesonderte Behandlung erfordern.

Alle Stoffe, welche durch die REACH-Verordnung (Europäisches Parlament, 2006) als «besonders bedenkliche Stoffe» klassiert und somit im Anhang XIV aufgeführt werden, werden auch als «bedenkliche Stoffe» im Recycling angesehen. Die Stoffe, welche in Anhang III der Rotterdamer Konvention aufgelistet sind gelten als «bedenkliche Stoffe» im Recycling.

Die Stoffe, deren Verwendung in Kondensatoren gemäss ChemRRV, Anh. 2.14 (Schweizerischer Bundesrat, 2017) verboten ist, gelten als «bedenkliche Stoffe» im Recycling. Alle Stoffe, welche in den Anhängen der ChemPICV (Schweizerischer Bundesrat, 2016) geführt werden, gelten ebenfalls als «bedenkliche Stoffe» im Recycling.

Sämtliche Chemikalien müssen nach den Vorschriften der CLP-Verordnung (Europäisches Parlament, 2008) mit H-Sätzen klassiert werden. Diese H-Sätze werden in Europa im Rahmen der CLP-Verordnung fortschreitend harmonisiert. Für die Definition des Begriffs der «bedenklichen Stoffe» bieten die H-Sätze eine relativ vergleichbare und vor allem gut verfügbare Informationsquelle. Der Nachteil der H-Sätze ist eine sehr grobe Einteilung der Umweltgefahren in lediglich fünf Klassen zur Gefährdung von Wasserorganismen und einer für ozonschichtabbauende Gase, die für Kondensatoren nicht relevant ist.

Wir ermittelten die H-Sätze für alle flüssigen Inhaltsstoffe von Kondensatoren, die in der Literaturrecherche und den Laboranalysen gefunden wurden. Die Ergebnisse dieser Recherche wurden bereits in Tabelle 2 festgehalten. Tabelle 15 stellt alle H-Sätze der gefundenen flüssigen Elektrolyten und Dielektrika dar. Für die Klassierung der Substanzen anhand der H-Sätze in bedenkliche und nicht bedenkliche Stoffe wurden folgende Kriterien angewendet:

- Stoffe mit chronischen Auswirkungen auf Organismen auch bei kleinen Konzentrationen werden als bedenkliche Stoffe eingestuft. Darunter fallen Klassierungen als krebserregend, erbgutschädigend, fruchtbarkeitsstörend sowie mit unspezifisch chronischer Wirkung.
- Alle für Wasserorganismen «giftigen» oder «sehr giftigen» Substanzen gelten als bedenkliche Stoffe.
- Stoffe mit lebensgefährlicher Wirkung gelten als bedenkliche Stoffe. Stoffe, die gemäss GHS als «giftig» oder «gesundheitsschädlich» klassiert sind, betrachten wir im Recycling nicht als bedenkliche Stoffe. Eine Ausnahme bilden die Stoffe mit Klassierung H304. Diese basiert darauf, dass diese Stoffe beim Verschlucken durch ihre niedrige Viskosität in die Lunge gelangen und zu einer Lungenentzündung führen können.

derung führen können. Diese Gefahr ist nicht relevant, wenn die Stoffe stark verdünnt in Mischungen vorliegen. Zudem ist der orale Expositionsweg im Recycling nicht relevant.

- Stoffe mit allergischem Potential werden nicht als bedenkliche Stoffe eingestuft. Diese Gefahren sind für Inhaltsstoffe von Elektroaltgeräten nicht ungewöhnlich und müssen in den Arbeitssicherheitsmassnahmen des Recyclers berücksichtigt werden.
- Physikalische Gefahren qualifizieren eine Substanz nicht als bedenklichen Stoff.

Tabelle 15: H-Sätze flüssiger Inhaltsstoffe und Klassierung als bedenklicher Stoff

| H-Satz | Gefährdung | Qualifiziert Substanz als CMR | Qualifiziert Substanz als bedenklichen Stoff |
|--------|--|-------------------------------|--|
| H220 | Extrem entzündbares Gas | Nein | Nein |
| H225 | Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar | Nein | Nein |
| H226 | Flüssigkeit und Dampf entzündbar | Nein | Nein |
| H300 | Lebensgefahr bei Verschlucken | Nein | Ja |
| H301 | Giftig bei Verschlucken | Nein | Nein |
| H302 | Gesundheitsschädlich bei Verschlucken | Nein | Nein |
| H304 | Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein | Nein | Nein |
| H310 | Lebensgefahr bei Hautkontakt | Nein | Ja |
| H311 | Giftig bei Hautkontakt | Nein | Nein |
| H312 | Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt | Nein | Nein |
| H314 | Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden | Nein | Nein |
| H315 | Verursacht Hautreizungen | Nein | Nein |
| H317 | Kann allergische Hautreaktionen verursachen | Nein | Nein |
| H318 | Verursacht schwere Augenschäden | Nein | Nein |
| H319 | Verursacht schwere Augenreizung | Nein | Nein |
| H330 | Lebensgefahr bei Einatmen. | Nein | Ja |
| H331 | Giftig bei Einatmen | Nein | Nein |
| H332 | Gesundheitsschädlich bei Einatmen | Nein | Nein |
| H334 | Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen | Nein | Nein |
| H335 | Kann die Atemwege reizen | Nein | Nein |
| H336 | Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen | Nein | Nein |
| H340 | Kann genetische Defekte verursachen | Ja | Ja |
| H341 | Kann vermutlich genetische Defekte verursachen | Ja | Ja |
| H350 | Kann Krebs erzeugen | Ja | Ja |
| H351 | Kann vermutlich Krebs erzeugen | Ja | Ja |
| H360D | Kann das Kind im Mutterleib schädigen | Ja | Ja |
| H360FD | Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen. | Ja | Ja |
| H360Df | Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. | Ja | Ja |
| H361 | Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen | Ja | Ja |
| H361d | Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen | Ja | Ja |
| H370 | Schädigt die Organe | Ja | Ja |
| H372 | Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition | Nein | Ja |

| H-Satz | Gefährdung | Qualifiziert Substanz als CMR | Qualifiziert Substanz als bedenklichen Stoff |
|--------|---|-------------------------------|--|
| H373 | Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition | Nein | Nein |
| H400 | Sehr giftig für Wasserorganismen | Nein | Ja |
| H410 | Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung | Nein | Ja |
| H411 | Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung | Nein | Ja |
| H412 | Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung | Nein | Nein |
| H413 | Kann für Wasserorganismen schädlich sein, mit langfristiger Wirkung | Nein | Nein |

Falls ein Stoff gemäss seinen H-Sätzen als bedenklich eingestuft wird, ist zudem die Frage zu stellen, ob der Stoff in der Umwelt genügend stabil ist, damit er eine schädliche Wirkung entfalten kann. Rasch biologisch abbaubare Substanzen werden in der Umwelt so schnell eliminiert, dass sie für die Ökosysteme höchstens lokal begrenzt eine Gefahr darstellen. Diese Einschränkung gilt nicht für sogenannte CMR-Stoffe, welche krebserregend, mutagen oder teratogen sind. Diese Stoffe können über die Wertstoffkette direkt auf den Menschen wirken, ohne zuvor in offene Systeme zu gelangen. Für alle nicht CMR-Stoffe, welche nach der Klassierung mithilfe der H-Sätze als möglicherweise bedenklich gelten müssen, klärten wir deshalb ihre Stabilität in der Umwelt ab. Dazu verwendeten wir die Software «EPI Suite» der US-Umweltschutzbehörde (US EPA, 2012). Diese berechnet eine Modell-Vorhersage über die biologische Abbaubarkeit von Substanzen aus den bekannten chemischen Eigenschaften. Die Ergebnisse dieser Vorhersage wurden mit den Angaben in den Registrierungs dossiers gemäss REACH-Verordnung (Europäisches Parlament, 2006) der Substanzen geprüft.

Für Stoffe, welche im Anhang III-Verzeichnis der europäischen Chemikalienagentur ECHA geführt werden, gibt es derzeit keine ökotoxische Klassierung. Hinweise aus Modellvorhersagen zeigen jedoch, dass sie möglicherweise toxische oder ökotoxische Eigenschaften aufweisen. Diese Substanzen werden deshalb im erwähnten Verzeichnis geführt. Die Hersteller müssen abklären, ob ihre Eigenschaften gemäss REACH-Verordnung genauer abgeklärt werden müssen. Derzeit sind diese Substanzen nicht als bedenkliche Stoffe im Recycling zu klassieren, müssen jedoch weiter beobachtet und neu eingestuft werden, sobald weitere Informationen verfügbar sind.

6.2 Analyseergebnisse flüssige Inhaltsstoffe

6.2.1 Allgemeines

Für die GCMS-Analyse erfolgte die Probeextraktion mit organischem Lösungsmittel. Die Analyseergebnisse aus der GCMS-Analyse ergeben Treffer mit unterschiedlicher Güte («Fit»). Für hohe Güten kann davon ausgegangen werden, dass die Substanz gemäss Auswertung effektiv in der Probe vorhanden war. Von hohen Güten spricht man bei einem Fit von mehr als 90. Für mässige Güten kann es sein, dass die richtige Substanz getroffen wurde, jedoch unterschiedliche Strukturisomere nicht in der Analyse erkannt werden können. Es kann auch sein, dass die richtige Substanz nicht in

der Bibliothek des Labors vorhanden war und eine Substanz mit ähnlichem Massenspektrum als Ergebnis erhalten wurde. Ergebnisse mit tiefer Güte sind unsicher und sollten nicht als Nachweis der gefundenen Substanz verstanden werden.

Nachfolgend werden einerseits diejenigen Substanzen angegeben, welche mit hoher Güte bestimmt werden konnten. Verbindungen, die mit einer Konzentration unter 100 mg/kg bestimmt wurden, werden nicht aufgeführt. Für die Fragestellung der vorliegenden Studie sind solche Spurenstoffe nicht relevant. Einige Stoffe hormonellen Ursprungs wurden nicht in die Resultatetabelle aufgenommen, da sie vermutlich aus Verunreinigungen während der Probenahme resultieren. Es handelt sich dabei um Squalen, α -Sitosterol, β -Sitosterol und γ -Sitosterol.

Andererseits wurden diejenigen Substanzen, die mit mässiger Übereinstimmung analysiert wurden, aufgenommen, falls sie aufgrund der Erwartungen aus der Literatur plausibel erscheinen oder der mässige Fit erklärt werden kann. Bei diesen Substanzen ist für die Interpretation jedoch immer daran zu denken, dass auch ähnliche Moleküle derselben Stoffgruppe in der Mischung vorliegen könnten.

Unbekannte Verbindungen werden in den Ergebnistabellen als Summe aufgeführt, zu dieser Summe werden auch die Substanzen addiert, die nicht in die Resultatetabellen aufgenommen wurden. Sämtliche Laborergebnisse finden sich im Anhang C.

In zahlreichen GCMS-Analysen wurden mehrere Peaks mit derselben Substanz aus der Bibliothek identifiziert. Vermutlich handelt es sich dabei um Strukturisomere. Für die Auswertung wurden diese jeweils zusammengefasst und die bestimmten Substanzmengen in der Probe summiert. Dies ist chemisch nicht korrekt. Es handelt sich jeweils um unterschiedliche Substanzen, die nicht genauer klassiert werden konnten. Für die Beantwortung der Frage, ob problematische Stoffe in Kondensatoren vorhanden sind, bleibt allerdings keine andere Wahl als mit der durch die Bibliothekssuche bestimmte Substanz zu arbeiten. Daher ist dieses Vorgehen im Hinblick auf die Studienfrage vertretbar.

Für alle Angaben zu den Massenanteilen gilt, dass sie anhand des Massenanteils des internen Laborstandards geschätzt wurden. Sie haben dadurch semi-quantitativen Charakter und die Messunsicherheit dürfte im Bereich von 50 % bis zu mehreren Grössenordnungen liegen.

Das Eluat für das LCMS-Screening wurde mit Wasser erstellt. Das LCMS-Suspect-Screening führt zu Treffern gegenüber der vorgegebenen Stoffliste gemäss Anhang B. Die Identität der gefundenen Stoffe kann nur für wenige bestätigt werden. In der Ergebnistabelle werden alle Stoffe aufgeführt, die im Suspect-Screening gefunden wurden.

Das LCMS Non-Target Screening liefert mögliche Summenformeln für die detektierten Moleküle. Die Ergebnisse hängen davon ab, welche Atome in die Suche mit einbezogen werden. Nach einer ersten Analyse mit den Atomen C, H, N, O, S, P, die nur Kohlenwasserstoffe lieferte, wurde eine zweite Analyse unter Einbezug von Bor durchgeführt. Auch diese Analyse führte zu keinen verwertbaren Treffern.

Die zusätzlich vorgenommene Elementaranalyse auf Wolfram und Bor liefert die Massenanteile dieser Atome in der Probe, jedoch keine Informationen über die Moleküle. Diese Analyse wurde für Al-Elkos durchgeführt, da es aus der Literatur Hinweise auf das Vorkommen von Wolfram- und Borsäuren gab. Für die Analyse wurden die Wickel in Wasser eluiert. Bestimmt wurden die gelösten Metalle. Eine interne Kontrollanalyse des Labors ergab, dass die Gehalte in den Schwebstoffen verschwindend gering waren (Maier, 2018).

Die PCB-Gehalte der Proben aus ungepolten zylindrischen Kondensatoren wurden ebenfalls analysiert. Dies zur Kontrolle, ob es sich bei den Proben wie gewünscht um

Extrakte aus PCB-freien Kondensatoren handelte. Die Laborberichte der PCB-Analysen sind im Anhang C angehängt.

6.2.2 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

6.2.2.1 Mischproben

Die Analyseergebnisse beziehen sich jeweils auf die extrahierte Flüssigkeit. Es sind also die Massenanteile in den gemischten Flüssigkeiten aus den Kondensatoren. Die Mischproben enthielten jeweils Mineralöle, die im Chromatogramm als Fläche unter allen Peaks auftraten. Dadurch wurde die Identifikation der einzelnen Peaks erschwert. Es ist zu vermuten, dass Analysen der Flüssigkeiten aus einzelnen Kondensatoren die Bestimmung weiterer Substanzen erlauben würde, die nun in den Mischungen untergehen. Als Beispiel ist das Chromatogramm aus der Analyse der Kondensatormischprobe für Kühl-, Klima- und Gefriergeräte abgebildet (Abbildung 16). Die enthaltenen Mineralöle sind als Peak 21 ersichtlich, in der Resultatetabelle sind diese als «Kohlenwasserstoffgemisch» bezeichnet.

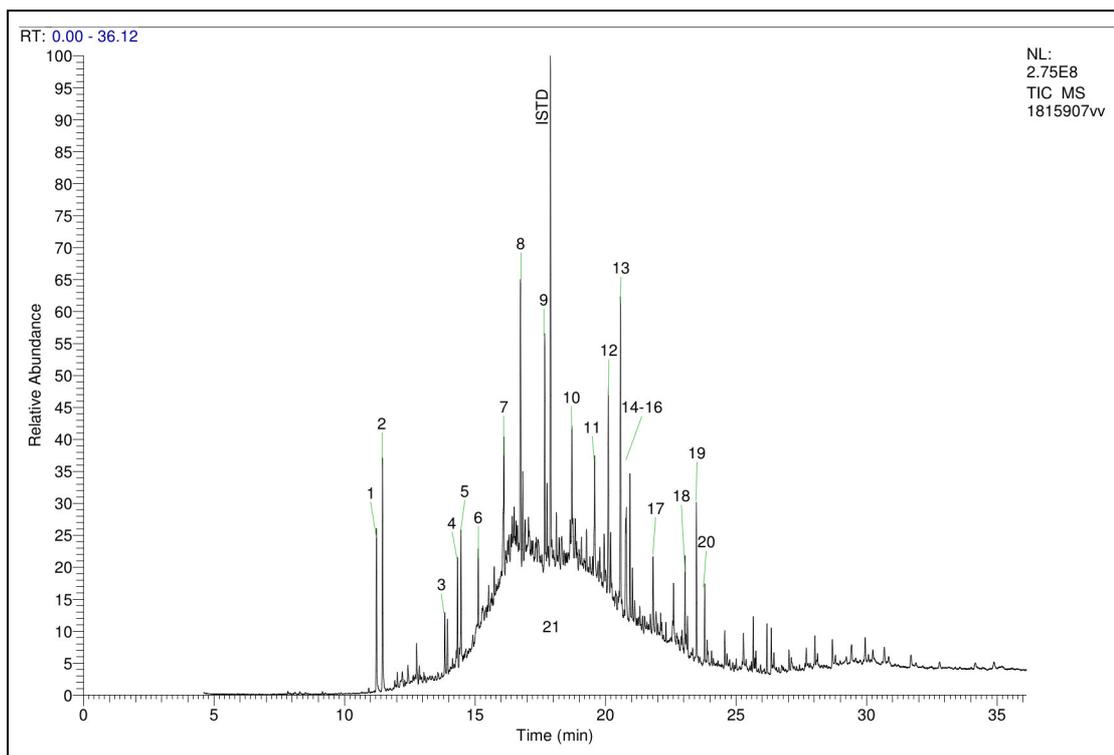


Abbildung 16: Chromatogramm der Mischprobe aus Kondensatoren aus Kühlgeräten

Die Resultate der GCMS-Analyse der Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten sind in Tabelle 16 aufgelistet. Die Mischprobe der Haushaltgrossgeräte umfasste Kondensatoren aus Waschmaschinen, Geschirrspülern und weiteren Haushaltgrossgeräten. Die vollständigen Laborergebnisse mit zugehörigem Chromatogramm sind im Anhang C.3.6 eingefügt.

Tabelle 16: Analyseergebnisse GCMS Haushaltgrossgeräte (Probe-Nr. 6 HHG)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|---------------------------------|------------|----------------------|-----------------|
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | 2000 | sehr gut |
| 2,2,4,4,5,5,7,7-Octamethyloctan | 5171-85-7 | 2000 | mässig |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | 1000 | sehr gut |
| 2,2-Dimethyl-4-octen-3-ol | 53960-44-4 | 1000 | mässig |
| Di-tert-dodecyldisulfid | 27458-90-8 | 1000 | mässig |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 28000 | |
| Kohlenwasserstoffgemisch | | Nicht quantifiziert | |

In Tabelle 17 werden die Analyseresultate für die Kondensatoren aus Kühl-, Klima- und Gefriergeräten aufgeführt. Die vollständigen Laborberichte befinden sich im Anhang C.3.1.

Tabelle 17: Analyseergebnisse GCMS Kühl-, Klima- und Gefriergeräte (Probe-Nr. 1 KG)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|---|------------|----------------------|-----------------|
| 3,4-Epoxy-cyclohexylmethyl-3,4-epoxy-cyclohexancarboxylat oder Isomer | 2386-87-0 | 16000 | mässig |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | 8000 | sehr gut |
| Benzyltoluole (p- und m-) | 27776-01-8 | 7000 | sehr gut |
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | 5000 | sehr gut |
| Triethylenglycolbis(2-ethylhexanoate) | 94-28-0 | 5000 | mässig |
| Di-tert-octyldisulfid | 29956-99-8 | 2000 | mässig |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 43000 | |
| Kohlenwasserstoffgemisch | | Nicht quantifiziert | |

Die Analyseergebnisse für ungepolte zylindrische Kondensatoren aus SENS-Klein-geräten sind aus Tabelle 18 ersichtlich. Für die vollständigen Resultate verweisen wir auf den Anhang C.3.5.

Tabelle 18: Analyseergebnisse GCMS SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.1 HKG)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|-------------------------------|---------|----------------------|-----------------|
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | 4000 | sehr gut |
| Dinonylphthalat | 84-76-4 | 2000 | sehr gut |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | 900 | sehr gut |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 14000 | |
| Kohlenwasserstoffgemisch | | Nicht quantifiziert | |

Die Tabelle 19 zeigt die Resultate der PCB-Analyse für die Mischproben aus ungelösten zylindrischen Kondensatoren. Der Laborbericht kann in Anhang C.1 eingesehen werden. Für die Diskussion der festgestellten PCB-Massenanteils im Sample aus den SENS-Kleingeräten verweisen wir auf das Kapitel 7.8.1.

Tabelle 19: Analyseresultate PCB in Mischproben PCB-freier Kondensatoren

| Geräteklasse | Probe-Nr. | Gesamtprobe | PCB Summe gem. ChemRRV [mg/kg] |
|---------------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------|
| Haushaltgrossgeräte | 6 HHG | Flüssigkeit aus Kondensatoren | < 20 |
| Kühlgeräte | 1 KG | Flüssigkeit aus Kondensatoren | < 20 |
| Haushaltkleingeräte | 5.1 HKG | Flüssigkeit aus Kondensatoren | 38 |



Abbildung 17: Ein Teil der gesammelten Kondensatoren aus SENS-Kleingeräten

6.2.3 Auswertung der Einzelproben

Farbe und Konsistenz der Flüssigkeiten wurden bei der Probenahme qualitativ erfasst und sind in der Tabelle 20 abgedruckt.

Tabelle 20: Qualitative Einstufung der Probenfarbe und Konsistenz

| Kondensatoren-Nr. | Beschreibung Flüssigkeit |
|-------------------|--|
| 311 | klar, zähflüssig |
| 109 | grün, gut flüssig |
| 126 | leicht gelblich, zähflüssig |
| 90 | gelb, sehr zähflüssig |
| 95 | braun bis weiss, nicht durchsichtig, fast fest |

Die Resultate der GCMS-Analysen der Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten sind in den folgenden Tabellen aufgelistet. Pro Tabelle werden die Resultate aus der Analyse eines Kondensatorenmodells dargestellt. Mithilfe der Tabelle 13 kann aus der angegebenen Kondensatorennummer das analysierte Kondensatormodell ermittelt werden.

Bei der Analyse der Flüssigkeit aus dem Kondensator 311 konnten keine Verbindungen mit hoher Güte bestimmt werden. Darum ist in der Tabelle 16 nur die Summe der unbekanntem Verbindungen aufgeführt. Zudem war ein Kohlenwasserstoffgemisch vorhanden, das als durchgehender «Hügel» (Nr. 27) im Chromatogramm in Abbildung 18 sichtbar ist. Aus dem Bild der Analyse kann geschlossen werden, dass es sich um ein Öl mineralischen Ursprungs handelt.

Tabelle 21: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 311 (Probe-Nr. HHGG1)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|--------------------------------|---------|----------------------|-----------------|
| Summe unbekanntem Verbindungen | | 31'300 | |
| Kohlenwasserstoffgemisch | | Nicht quantifiziert | |

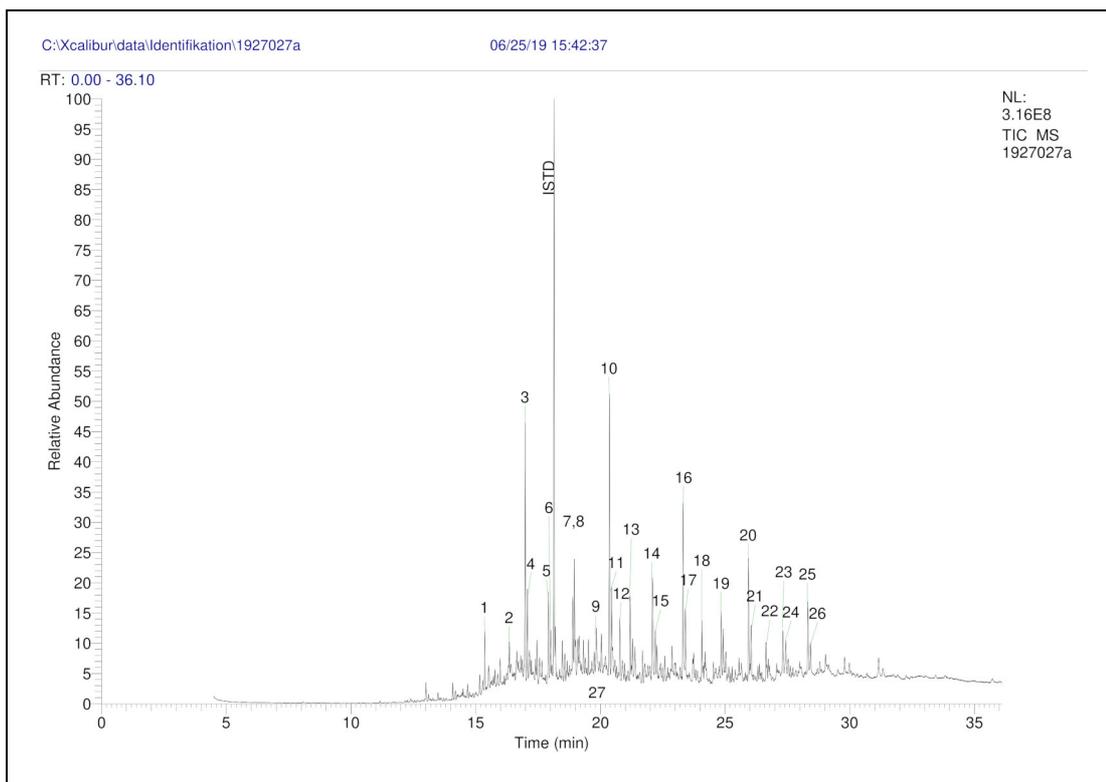


Abbildung 18: Chromatogramm der GCMS-Analyse des Kondensators 311

Auf dem Kondensator 109 wird «Pflanzenöl» durch den Hersteller deklariert. In der Analyse wurde Stigmasterol gefunden, das ein Phytosterin ist und hauptsächlich in Pflanzenölen vorkommt (Falbe et al., 1992). Das gefundene Kohlenwasserstoffgemisch (Nr. 21 in Abbildung 19) trat bei der Analyse nur bei langen Retentionszeiten über 25 Minuten auf.

Tabelle 22: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 109 (Probe-Nr. HHGG2)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|---|-------------|----------------------|-----------------|
| (Z)-4-decenal | 21662-09-9 | 150 | mässig |
| 13-Hexyloxacyclotridec-10-en-2-on | 127062-51-5 | 100 | mässig |
| 3,4-Epoxycyclohexancarbonsäure-(3,4-Epoxycyclohexylmethylester) | 2386-87-0 | 10000 | mässig |
| Stigmasterol | 83-48-7 | 200 | mässig |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 1140 | |
| Kohlenwasserstoffgemisch | | Nicht quantifiziert | |

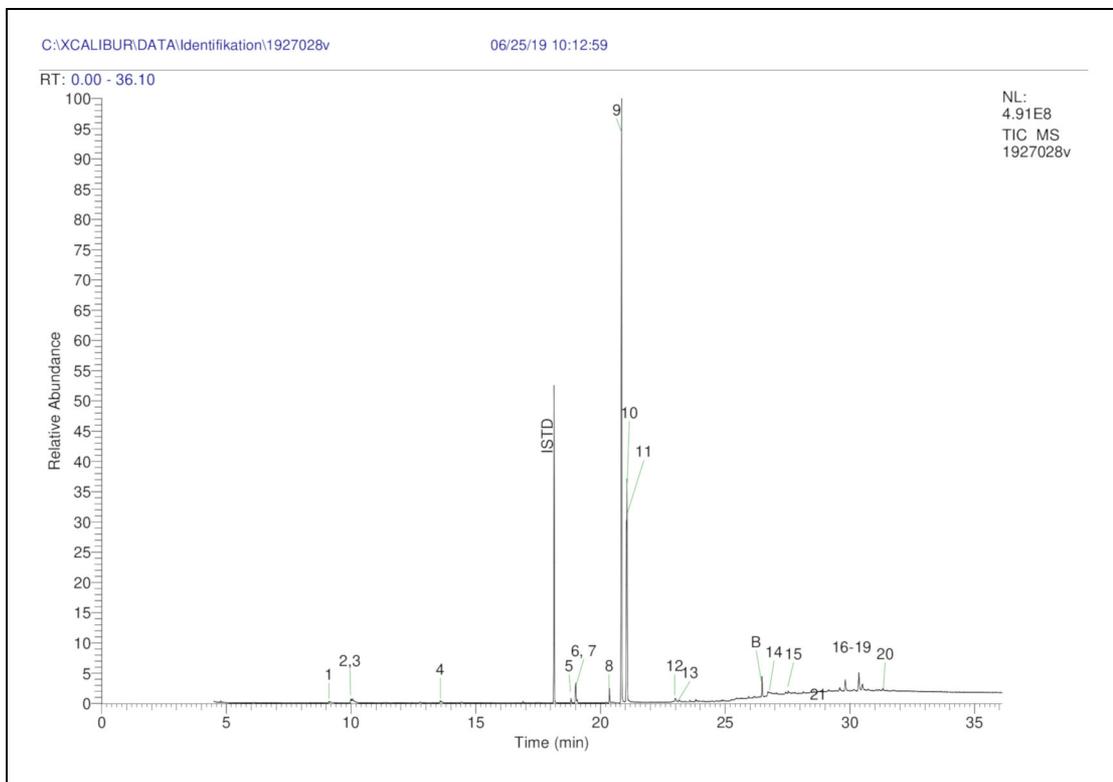


Abbildung 19: Chromatogramm der GCMS-Analyse des Kondensators 109

Die GCMS-Analyse der Flüssigkeit aus dem Kondensator 126 lässt auf ein Mineralöl als Basis tippen. Es wurden die Stoffe gemäss Tabelle 23 mit hoher Güte festgestellt. Die analysierte Karbonsäure ohne CAS-Nr. konnte nicht weiter untersucht werden, da ohne CAS-Nr. keine Recherche zu den Stoffeigenschaften möglich ist. Das festgestellte Kohlenwasserstoffgemisch zieht sich über die gesamte Retentionszeit hin (Abbildung Chromatogramm im Anhang C.4.3).

Tabelle 23: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 126 (Probe-Nr. HHGG3)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|--------------------------------|------------|----------------------|-----------------|
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | 10000 | sehr gut |
| Di-tert-dodecylsulfid | 27458-90-8 | 1000 | mässig |
| Karbonsäure, eicosylvinylester | NA | 1000 | mässig |
| (E)-3-Eicosene | 74685-33-9 | 1000 | mässig |
| 2-hexyldecan-1-ol | 2425-77-6 | 3000 | mässig |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 57000 | |
| Kohlenwasserstoffgemisch | | Nicht quantifiziert | |

Die festgestellten Konzentrationen der analysierten Stoffe waren für den Kondensator 90 noch deutlich geringer als für die anderen Einzelproben. Es sind alles nur in Spuren vorhandene Substanzen. Aus Tabelle 24 ist ersichtlich, dass die Summe aller festgestellten Stoffe nur 3500 mg/kg beträgt.

Tabelle 24: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 90 (Probe-Nr. HHGG4)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|---|-------------|----------------------|-----------------|
| 3,4-Epoxy-cyclohexancarbonsäure-(3,4-Epoxy-cyclohexylmethylester) oder Isomer | 2386-87-0 | 1700 | mässig |
| 13-Hexyloxacyclo-tridec-10-en-2-on | 127062-51-5 | 200 | sehr gut |
| Bis(2-ethylhexyl)adipat | 103-23-1 | 300 | sehr gut |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 1330 | |

Das in der Probe 95 festgestellte δ -Tocopherol ist eine Form des Vitamin E und wird in Pflanzenzellen gebildet. In der Analyse wurden m- und p-Benzyltoluol mit den CAS-Nr. 620-47-3 und 620-83-7 festgestellt. In der Tabelle 25 wurden diese beiden Substanzen summiert zu Benzyltoluolen mit der CAS-Nr. für das Isomeregemisch. Auch die H-Sätze liegen nur für das Gemisch vor, womit eine Unterscheidung für die Beantwortung der Studienfrage nutzlos ist. Ein Kohlenwasserstoffgemisch war in dieser Probe nicht auszumachen (Chromatogramm im Anhang C.4.5).

Tabelle 25: Analyseergebnisse GCMS Kondensator 95 (Probe-Nr. HHGG5)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|------------------------------------|-------------|----------------------|-----------------|
| 13-Hexyloxacyclo-tridec-10-en-2-on | 127062-51-5 | 500 | sehr gut |
| δ -Tocopherol | 119-13-1 | 300 | mässig |
| Benzyltoluole | 27776-01-8 | 950 | sehr gut |
| Diethylhexylphthalat | 117-81-7 | 6000 | sehr gut |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 4710 | |

6.2.3.1 Anteil der bestimmten Substanzen an der Kondensatorenflüssigkeit

Wenn alle Masseanteile summiert werden, die in den Laborergebnissen ausgewiesen werden, ergibt sich das Bild gemäss Tabelle 26. Die bestimmten Konzentrationen sind aufgrund der Methode sehr unsicher und können auch stark vom realen Wert abweichen. Dennoch zeigt die Auswertung, dass die Hauptkomponenten für keines der analysierten Kondensatormodelle ermittelt werden konnten.

Tabelle 26: Summe und Anteile der identifizierten Substanzen in der Kondensatorenflüssigkeit

| Kondensator-Nr. | Summe der identifizierten Substanzen [mg/kg] | Konzentration der identifizierten Substanzen |
|-----------------|--|--|
| 311 | 31'300 | 3.1 % |
| 109 | 11'890 | 1.2 % |
| 126 | 74'000 | 7.4 % |
| 90 | 3530 | 0.4 % |
| 95 | 12'460 | 1.2 % |

6.2.3.2 Vergleich der Einzelproben mit der Mischprobe HHGG

Alle beprobten Kondensatoren für die Analyse der Flüssigkeiten aus Einzelmodellen waren auch in der Mischprobe der Haushaltgrossgeräte-Kondensatoren enthalten. Im Vergleich mit der Mischprobe ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Die Einzelanalysen haben weitere Stoffe ergeben, die in der Mischprobe nicht detektiert werden konnten. Dabei handelte es sich durchgehend um Stoffe mit geringer Konzentration in den Flüssigkeiten einzelner Modelle. In der Mischprobe wurden diese vermutlich weiter verdünnt und fielen somit aus dem Bereich der analysierten Peaks.
- In den Einzelanalysen traten zwei Typen von Ergebnissen auf. Solche mit einem Kohlenwasserstoffgemisch über die gesamte Retentionszeit (Kondensator-Nr. 311 & 126) und solche mit einem Kohlenwasserstoffgemisch nur bei hohen Retentionszeiten (Kondensator-Nr. 109, 90). Eine Probe wies praktisch keinen solchen «Mischpeak» auf (Kondensator-Nr. 95). Wir vermuten, dass die Flüssigkeiten mit einem Kohlenwasserstoff-Gemisch über den gesamten Retentionsbereich mineralischen Ursprungs sind. Die Flüssigkeiten ohne solches Gemisch oder nur bei hohen Retentionszeiten dagegen auf Pflanzenöl basieren.
- Die detektierten Elemente sprechen bei den Kondensatoren mit den Probe-Nr. 109 und 95 dafür, dass es sich um Pflanzenöle oder Gemische auf Pflanzenölbasis handeln könnte.
- Obwohl das störende Kohlenwasserstoffgemisch in drei Proben nicht vorhanden war, konnten auch für diese die Hauptkomponenten nicht bestimmt werden.
- Von den fünf Stoffen, die in der Mischprobe bestimmt wurden, konnten zwei in der Probe des Kondensators 126 erneut gefunden werden. Bei der Unterscheidung in 1-Methylnaphthalin und 2-Methylnaphthalin muss allerdings gesagt werden, dass sich diese in der GCMS-Analyse nicht eindeutig unterscheiden lassen. Somit wäre auch die Aussage korrekt, dass drei von fünf Substanzen wieder gefunden wurden. Zwei weitere Substanzen, die mit einem Fit um 75 % in der Mischprobe bestimmt wurden, konnten nicht bestätigt werden. Es ist möglich, dass die Stoffe aus Kondensatormodellen stammen, die in der Mischprobe vertreten waren, jedoch nicht einzeln analysiert wurden.

6.2.4 Elektrolytkondensatoren

Die Analyseergebnisse beziehen sich auf die Masse der extrahierten Wickel. Für die Stoffe werden also Massenanteile an den gesamten Wickeln aus Folien, Trennpapieren und enthaltenen Flüssigkeiten ausgewiesen. Die Ergebnisse der GCMS und LCMS-Analysen werden im Folgenden geordnet nach erstellten Mischproben dargestellt. Die Analyse der Elektrolytkondensatoren hatte nicht mit dem Problem eines alles überdeckenden Kohlenwasserstoffgemisches zu kämpfen.

In Tabelle 27 und Tabelle 28 sind die Analyseergebnisse der Mischprobe aus Flachbildschirmen dargestellt. Diese Mischprobe wurde aus den AI-Elkos aus Flachbildschirmen für die Verwendung am Computer und den AI-Elkos aus Flachbildschirmen für die Verwendung als TV/Video-Bildschirm erstellt. Die detaillierten Laborberichte sind im Anhang C.3.2 zu finden.

Tabelle 27: Analyseergebnisse GCMS Elko Flachbildschirme PC und TV (Probe-Nr. 2 LCD)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg Wickel] | Übereinstimmung |
|---|----------|-----------------------------|-----------------|
| Butyldiglycol oder Isomer | 112-34-5 | 1000 | sehr gut |
| 1-Methoxy-2-nitrobenzol oder Isomer | 91-23-6 | 100 | sehr gut |
| 4-Nitrobenzylalkohol oder Isomer | 619-73-8 | 70 | sehr gut |
| 2-Hydroxyethylbenzoat | 94-33-7 | 40 | sehr gut |
| Benzoessäure | 65-85-0 | 30 | sehr gut |
| Diethylenglycol | 111-46-6 | 20 | sehr gut |
| Phenol | 108-95-2 | 20 | sehr gut |
| 3-Nitroacetophenon / m-Nitroacetophenon | 121-89-1 | 20 | sehr gut |
| Dimethylbenzylalkohol | 617-94-7 | 10 | mässig |
| 2-Ethylhexanol oder ähnliche Verbindung | 104-76-7 | 7 | sehr gut |
| 3-Aminoacetophenon oder Isomer | 99-03-6 | 6 | mässig |
| Summe unbekannte Verbindungen | 112-34-5 | 216 | sehr gut |

Tabelle 28: Analyseergebnisse LCMS Elko Flachbildschirme PC und TV (Probe-Nr. 2 LCD)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil qualitativ | Identität bestätigt? |
|---------------------------|------------|--|----------------------|
| Triethylamin | 121-44-8 | in Spuren | nein |
| Diethylamin | 109-89-7 | > 100 mg/kg Gesamtprobe | ja |
| 2,4-Dihydroxybenzoessäure | 89-86-1 | in Spuren, nicht bestätigt | nein |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | zahlreiche unterschiedlich lange Ketten, hohe Intensitäten | keine Angabe |

Die zweite Mischprobe mit AI-Elkos wurde aus den gesammelten Kondensatoren aus Laptop-Netzteilen und Desktop-Computern zusammengestellt. Da die grossen Elkos mit mehr als 2.5 cm Grösse in Desktop-Computern vorwiegend in Netzteilen vorkommen, kann angenommen werden, dass die analysierten Kondensatoren aus Desktop-Computern überwiegend aus den eingebauten Netzteilen stammen. Die Ergebnisse der Laboranalyse sind aus Tabelle 29 und Tabelle 30 ersichtlich. Für den vollständigen Laborbericht verweisen wir auf den Anhang C.3.8.

Tabelle 29: Analyseergebnisse GCMS Elko Laptop-Netzteile und Desktop-PCs (Probe-Nr. 7 Netz)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg Wickel] | Übereinstimmung |
|--|------------|-----------------------------|-----------------|
| Benzoessäure | 65-85-0 | 200 | sehr gut |
| Ethylensebacat oder ähnliche Verbindung | 5578-82-5 | 200 | mässig |
| Diethylenglycol | 111-46-6 | 200 | sehr gut |
| 3-Nitroacetophenon / m-Nitroacetophenon | 121-89-1 | 80 | sehr gut |
| 4-Nitrobenzylalkohol oder Isomer | 619-73-8 | 50 | sehr gut |
| Phenol | 108-95-2 | 50 | sehr gut |
| Dimethylbenzylalkohol oder ähnliche Verbindung | 617-94-7 | 50 | mässig |
| Azelainsäure-monoethylester oder ähnliche Verbindung | 1593-55-1 | 50 | mässig |
| γ-Butyrolacton | 96-48-0 | 40 | sehr gut |
| 3-Aminoacetophenon oder Isomer | 99-03-6 | 30 | mässig |
| 4-Nitrophenol | 100-02-7 | 30 | sehr gut |
| Decandisäure (Sebacinsäure oder ähnliche Säure) | 111-20-6 | 20 | mässig |
| 1-Methoxy-2-nitrobenzol | 91-23-6 | 10 | sehr gut |
| 1,4-Di-p-tolylbutan-1,4-dion | 13145-56-7 | 10 | mässig |

Tabelle 30: Analyseergebnisse LCMS Elko Laptop-Netzteile und Desktop-PCs (Probe-Nr. 7 Netz)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil qualitativ | Identität bestätigt? |
|-------------------------------------|------------|--|----------------------|
| Triethylamin | 121-44-8 | in Spuren | nein |
| Diethylamin | 109-89-7 | > 100 mg/kg Gesamtprobe | ja |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | zahlreiche unterschiedlich lange Ketten, mittlere Intensitäten | keine Angabe |
| 2-Hydroxybenzoessäure, Salicylsäure | 69-72-7 | mittlere Intensität | nein |
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | 88-99-3 | mittlere Intensität | nein |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | 121-91-5 | mittlere Intensität | nein |
| 1,4-Benzoldicarbonsäure | 100-21-0 | mittlere Intensität | nein |

Aus den SENS-Kleingeräten konnten genügend grosse Al-Elkos gewonnen werden, dass eine Laboranalyse möglich war. Diese Mischprobe umfasst Kondensatoren aus den Gerätekategorien «HKG mit Motoren» und «weitere HKG». Die Ergebnisse der Laboranalyse sind in der Tabelle 31 zusammengefasst, die detaillierten Angaben aus dem Anhang C.3.7 ersichtlich.

Tabelle 31: Analyseergebnisse GCMS Elko SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.2 HKG)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg Wickel] | Übereinstimmung |
|---------------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
| Butyldiglycol oder Isomer | 112-34-5 | 3000 | sehr gut |
| Benzylalkohol | 100-51-6 | 2000 | sehr gut |
| Diethylenglycol | 111-46-6 | 200 | sehr gut |

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg Wickel] | Übereinstimmung |
|---|----------|-----------------------------|-----------------|
| Phenol | 108-95-2 | 30 | sehr gut |
| Benzoesäure | 65-85-0 | 20 | mässig |
| 1-Methoxy-2-nitrobenzol | 91-23-6 | 20 | sehr gut |
| N,N-Diethylformamid | 617-84-5 | 20 | mässig |
| 3-Nitroacetophenon | 121-89-1 | 10 | mässig |
| 4-Nitrophenol oder ähnliche Verbindung | 100-02-7 | 10 | mässig |
| 2-Ethylhexanol oder ähnliche Verbindung | 104-76-7 | 10 | sehr gut |
| Summe unbekannte Verbindungen | 112-34-5 | 70 | |

Tabelle 32: Analyseergebnisse LCMS Elko SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.2 HKG)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil qualitativ | Identität bestätigt? |
|--------------------------|------------|--|-----------------------------------|
| Triethylamin | 121-44-8 | hohe Intensität | nein, aber wahrscheinlich richtig |
| Diethylamin | 109-89-7 | > 100 mg/kg Gesamtprobe | ja |
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | 89-86-1 | in Spuren | nein |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | zahlreiche unterschiedlich lange Ketten, hohe Intensitäten | keine Angabe |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | hohe Intensität | ja mit hoher Wahrscheinlichkeit |
| Dimethylacetamid | 127-19-5 | sehr hohe Intensität | nein, aber wahrscheinlich richtig |

Die Resultate der Elementaranalysen auf Wolfram und Bor sind in Tabelle 33 abgebildet. Bor kommt in einer Konzentration von 1-2 g pro kg Wickel in den Kondensatoren vor. Das ergibt über den Daumen gepeilt eine Konzentration in der Flüssigkeit von 1-2 %. Wolfram kommt hingegen praktisch nicht in wasserlöslicher Form in den Kondensatoren vor. Der Laborbericht zur Elementaranalyse befindet sich im Anhang C.1.

Tabelle 33: Ergebnisse Elementaranalyse Al-Elko auf Wolfram und Bor

| Gerätekategorie | Probe-Nr. | Gesamtprobe | Wolfram [mg/kg Wickel] | Bor [mg/kg Wickel] |
|-------------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|--------------------|
| Flachbildschirme PC & TV | 2 LCD | Wickel aus Kondensatoren | < 0.05 | 983 |
| Desktop-PC & Laptop-Netzteile | 7 Netz | Wickel aus Kondensatoren | 0.0057 | 598 |
| SENS-Kleingeräte | 5.2 HKG | Wickel aus Kondensatoren | 0.0095 | 2620 |

6.2.5 Mikrowellenkondensatoren

Die Analyseergebnisse beziehen sich jeweils auf die extrahierte Flüssigkeit. Es sind also die Massenanteile in den gemischten Flüssigkeiten der Kondensatoren, welche in die Mischprobe gingen. Die Mikrowellenproben werden nicht durch mineralische

Öle überlagert (siehe Abbildung 20). Es wurden zwei Mischproben mit Mikrowellenkondensatoren analysiert. Eine mit Kondensatoren des Herstellers BiCai und eine mit Kondensatoren der anderen Hersteller. Der Grund dafür ist der, dass fast die Hälfte aller gesammelten Kondensatoren von BiCai stammten.

In Tabelle 34 sind die Analyseergebnisse für die Mischprobe des Herstellers BiCai wiedergegeben. Die detaillierten Laborergebnisse präsentieren wir im Anhang C.3.3. Die Analyseergebnisse für die Mikrowellenkondensatoren anderer Hersteller sind aus Tabelle 35 ersichtlich. Die detaillierten Laborergebnisse präsentieren finden sich im Anhang C.3.4. Die Summe aller Massenanteile in der Mischprobe ergibt 113%. Die Massenanteile der Einzelsubstanzen werden anhand des Massenanteils des internen Laborstandards geschätzt. Der wahre Wert kann vom so ermittelten Wert um Größenordnungen abweichen. Durch diese Fehler ist dann ein Summenwert über 100 % möglich.

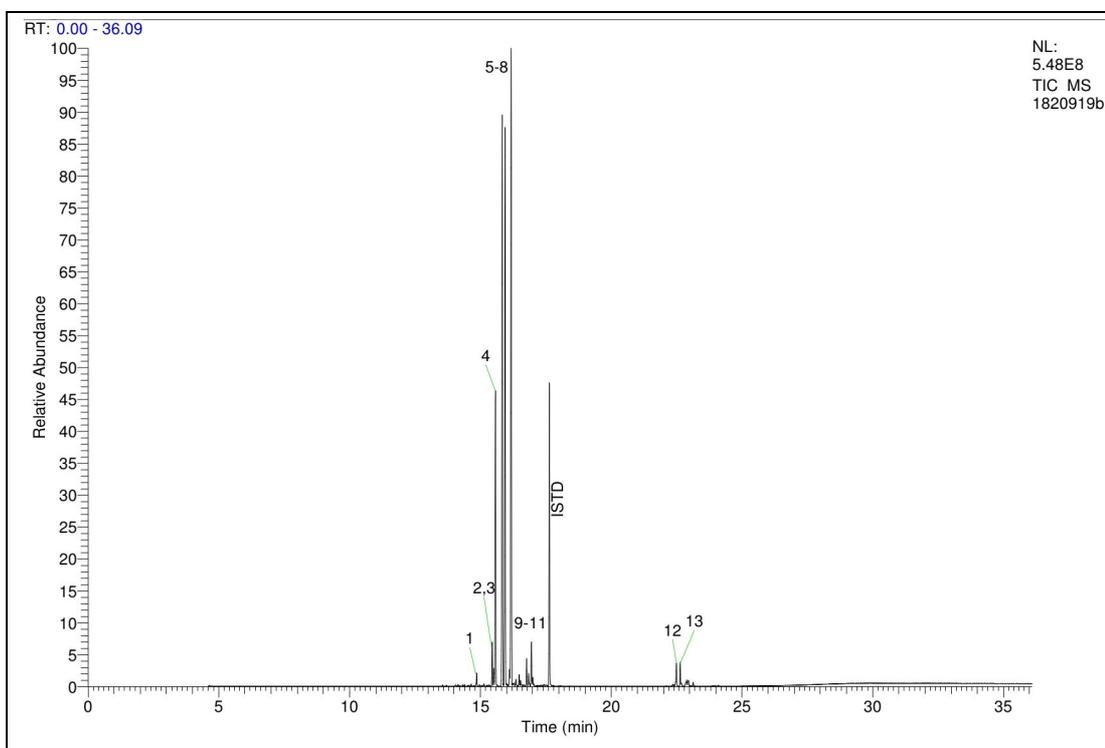


Abbildung 20: Chromatogramm der Mischprobe aus Kondensatoren des Herstellers BiCai

Tabelle 34: Analyseergebnisse GCMS Mikrowellen Hersteller BiCai (Probe-Nr. 3.1 MW)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|---|-------------|----------------------|-----------------|
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl oder ähnliche Verbindung | 3075-84-1 | 800'000 | mässig |
| 1,5,6,7-Tetramethyl-3-phenylbicyclo[3.2.0]hepta-2,6-dien oder ähnliche Verbindung | 126584-00-7 | 20'000 | mässig |
| 1,1'-(1-Methylethyliden)bis(4-methylbenzol) oder ähnliche Verbindung | NA | 15'000 | mässig |
| Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 18908-70-8 | 10'000 | mässig |
| 1,2,3-Trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin oder Isomer | 26137-53-1 | 6'000 | mässig |
| Di-p-tolyl-methan oder Isomer | 4957-14-6 | 5'000 | mässig |

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|---|-------------|----------------------|-----------------|
| 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) oder ähnliche Verbindung | 102177-18-4 | 5'000 | mässig |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 18'000 | |

Tabelle 35: Analyseergebnisse GCMS Mikrowellen andere Hersteller (Probe-Nr. 3.2 MW)

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Massenanteil [mg/kg] | Übereinstimmung |
|---|-------------|----------------------|-----------------|
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl oder ähnliche Verbindung | 3075-84-1 | 800'000 | mässig |
| 1,3,5-Cycloheptatrien, 6-methyl-1-(6-methyl-1,3,5-cycloheptatrien-1-yl)- oder ähnliche Verbindung | NA | 200'000 | mässig |
| Benzyltoluole (p-, m-, o-) | 27776-01-8 | 46'000 | sehr gut |
| 1,2,3-Trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin oder ähnliche Verbindung | 26137-53-1 | 30'000 | mässig |
| 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) oder ähnliche Verbindung | 102177-18-4 | 30'000 | mässig |
| Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 18908-70-8 | 10'000 | sehr gut |
| 1,1-Diphenylethan | 612-00-0 | 7'000 | sehr gut |
| 2,3,4,4a-Tetrahydro-1 α ,4a β -dimethyl-9(1H)-phenant-ron oder ähnliche Verbindung | 94571-08-1 | 4'000 | mässig |
| Summe unbekannte Verbindungen | | 0 | |

Auch die Mischproben aus Mikrowellenkondensatoren wurden zur Kontrolle auf den PCB-Gehalt untersucht. Wie für diese Kondensatoren nicht anders zu erwarten, waren beide Proben frei von PCB (siehe Tabelle 36 und Anhang C.1).

Tabelle 36: Analyseresultate PCB in Mischproben PCB-freier Kondensatoren

| Geräte-kategorie | Gesamtprobe | PCB Summe gem. ChemRRV [mg/kg] |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Mikrowellen BiCai | Flüssigkeit aus Kondensatoren | < 20 |
| Mikrowellen andere Hersteller | Flüssigkeit aus Kondensatoren | < 20 |

6.2.6 Aus der Literatur nicht bekannte Substanzen

Die Analyseergebnisse führten zu einigen Substanzen, die in der ausgewerteten Literatur bisher nicht als Inhaltsstoffe von Kondensatoren beschrieben waren. Diese werden in der Tabelle 37 ausgewiesen. Die Probe-Nummern werden gemäss Tabelle 11, bzw. Tabelle 20 angegeben. Drei der gefundenen Substanzen in Mikrowellenkondensatoren sind Diarylalkane. Diese sind die folgenden: 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP), Di-p-tolyl-methan und Ethyl(1-phenylethyl)benzol. 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl kann bei grosszügiger Auslegung des Begriffs ebenfalls als «Diarylalkan» bezeichnet werden.

Tabelle 37: Aus der Literatur unbekannt analysierte Inhaltsstoffe von Kondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nummer | Gefunden in Kondensatortyp | Probe-Nr. / Kond.-Nr. |
|---|-------------|----------------------------|------------------------|
| 1,1'-(1-Methylethyliden)bis(4-methylbenzol) oder ähnliche Verbindung | NA | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.1 MW |
| 1,2,3-Trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin oder Isomer | 26137-53-1 | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.1 MW, 3.2 MW |
| 1,3,5-Cycloheptatrien, 6-methyl-1-(6-methyl-1,3,5-cycloheptatrien-1-yl)- oder ähnliche Verbindung | NA | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.2 MW |
| 1,5,6,7-Tetramethyl-3-phenylbicyclo[3.2.0]hepta-2,6-dien oder ähnliche Verbindung | 126584-00-7 | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.1 MW |
| 13-Hexyloxacyclotridec-10-en-2-on | 127062-51-5 | ungepolt zylindrisch | 109, 90, 95 |
| 2-Ethylhexanol oder ähnliche Verbindung | 104-76-7 | Al-Elko | 2 LCD, 7 Netz, 5.2 HKG |
| 2-Hydroxyethylbenzoat | 94-33-7 | Al-Elko | 2 LCD |
| 2-Nitroanisol / 1-Methoxy-2-nitrobenzol oder Isomer | 91-23-6 | Al-Elko | 2 LCD |
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl oder ähnliche Verbindung | 3075-84-1 | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.1 MW, 3.2 MW |
| 2,3,4,4a-Tetrahydro-1 α ,4a β -dimethyl-9(1H)-phenantron oder ähnliche Verbindung | 94571-08-1 | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.2 MW |
| 3-Nitroacetophenon | 121-89-1 | Al-Elko | 2 LCD, 7 Netz, 5.2 HKG |
| 4-Nitrobenzylalkohol oder Isomer | 619-73-8 | Al-Elko | 2 LCD |
| 4-Nitrophenol oder ähnliche Verbindung | 100-02-7 | Al-Elko | 5.2 HKG |
| 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) oder ähnliche Verbindung | 102177-18-4 | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.1 MW, 3.2 MW |
| Benzoessäure | 65-85-0 | Al-Elko | 2 LCD |
| Bis(2-ethylhexyl)adipat | 103-23-1 | ungepolt zylindrisch | 90 |
| Dinonylphthalat | 84-76-4 | ungepolt zylindrisch | 5.1 HKG |
| Di-p-tolyl-methan oder Isomer | 4957-14-6 | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.1 MW |
| Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 18908-70-8 | Mikrowellen-Kondensatoren | 3.2 MW |
| Phenol | 108-95-2 | Al-Elko | 2 LCD, 7 Netz, 5.2 HKG |
| (Z)-4-decenal | 21662-09-9 | ungepolt zylindrisch | 109 |

6.3 Literaturangaben zu flüssigen Inhaltsstoffen

6.3.1 Einführung

Im vorliegenden Kapitel werden alle Substanzen nach Kondensatortypen aufgelistet, die gemäss Literaturrecherche in Kleinkondensatoren vorkommen können. Es werden nur diejenigen Substanzen aufgeführt, deren Verwendung in Kleinkondensatoren als gesichert gelten kann. Von einer gesicherten Verwendung gehen wir aus, wenn die Substanz in einer Laboranalyse von Kleinkondensatoren nachgewiesen wurde, wenn sie in einem Patent für die Herstellung von Kleinkondensatoren beschrieben, von Kondensator-Herstellern deklariert oder in mehreren unabhängige Literaturquellen erwähnt wird.

6.3.2 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Für die ungepolten zylindrischen Kondensatoren führt die Literaturrecherche zu den 13 Substanzen in Tabelle 38, deren Verwendung wir für gesichert halten.

Tabelle 38: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe ungepolter zylindrischer Kondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Quellenangabe |
|--|------------|--|
| 1-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline) | 90-13-1 | (Chappot, 2007), (Eugster, 2007), (Straimer, 1939) |
| 1-Decen | 872-05-9 | (Shaw, 1980) |
| 1-Dodecen | 112-41-4 | (Shedigian, 1985) |
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | Laboranalyse HHGG, (Chappot et al., 2007), (Mauro et al., 1999) |
| 1-Tetradecen | 1120-36-1 | (Shedigian, 1985) |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | Laboranalyse HHGG, (Mauro et al., 1999) |
| Biphenyl | 92-52-4 | (Chappot et al., 2007), (Gloor, 2007), (eco-systèmes, 2012) |
| Butylhydroxyanisol | 25013-16-5 | (Shedigian, 1985) |
| Dibutylphthalat | 84-74-2 | (eco-systèmes, 2012) |
| Diisobutylphthalat | 84-69-5 | (Jay, 1979) |
| Naphthalin | 91-20-3 | (Chappot et al., 2007), (eco-systèmes, 2012), (Mauro et al., 1999) |
| Rizinusöl | 8001-79-4 | (Chappot et al., 2007), Aufdruck Kondensatoren |
| Sojaöl | keine | (Shedigian, 1985) |

6.3.3 Elektrolytkondensatoren

Für Elektrolytkondensatoren führte die Literaturrecherche zu 15 Substanzen mit guter Quellenlage.

Tabelle 39: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe von Elektrolytkondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Quellenangabe |
|------------------------------------|----------|---|
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | 88-99-3 | Patent DE3930310C1, Laboranalyse Netz |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | 121-91-5 | Patent DE3930310C1, Laboranalyse Netz |
| 2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure | 69-72-7 | Laboranalyse Elko HKG, Netz, (Chappot et al., 2007), (Güntner et al., 1991) |

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Quellenangabe |
|--|------------|--|
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | 89-86-1 | Laboranalyse FPD, Netz, Patent DE3930310C1 |
| Ammoniumpentaborat | 12046-04-7 | (Chappot et al., 2007), (Ebel, 2002) |
| Benzylalkohol | 100-51-6 | Laboranalyse Elko HKG, (Chappot et al., 2007) |
| Borsäure | 11113-50-1 | (eco-systèmes, 2012) |
| Diethylamin | 109-89-7 | Laboranalyse FPD, Elko HKG, Netz, (Chappot et al., 2007) |
| Dimethylacetamid | 127-19-5 | Laboranalyse Elko HKG, (Hering et al., 2014), (eco-systèmes, 2012) |
| Dimethylbenzylalkohol | 617-94-7 | Laboranalyse FPD, Netz, (Chappot et al., 2007) |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | Laboranalyse Elko HKG, (Hering et al., 2014), (Güntner et al., 1991) |
| Ethylenglycol, Ethan-1,2-diol, Monoethylenglycol | 107-21-1 | (Chappot et al., 2007), (Güntner et al., 1991), (TDK, 2014), (Mundorf, 2016), (eco-systèmes, 2012) |
| N-Methylpyrrolidon | 872-50-4 | (Güntner et al., 1991), Hersteller |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | Laboranalyse FPD, Elko HKG, Netz, Patent WO2002061775 |
| Triethylamin | 121-44-8 | Laboranalyse FPD, Elko HKG, Netz, Patent DE3930310C1 |
| γ-Butyrolacton | 96-48-0 | Hering et al., 2014), (Güntner et al., 1991), (TDK, 2014), (Mundorf, 2016) |

6.3.4 Mikrowellenkondensatoren

Die Literaturrecherche für Inhaltsstoffe von Mikrowellenkondensatoren ergibt die Tabelle 40.

Tabelle 40: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe von Mikrowellenkondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Quellenangabe |
|--|------------|---|
| 1-Methyl-4-(phenylmethyl)benzol | 620-83-7 | (Eugster, 2007) |
| 1,1-Di(3,4-dimethylphenyl)ethan | 1742-14-9 | (Schulz et al., 1980) |
| 1,1-Di(4-methylphenyl)ethan | 530-45-0 | (Schulz et al., 1980) |
| 1,1-Diphenylethan, Diarylethan | 612-00-0 | (Eugster, 2007), Deklaration auf Kondensatoren |
| 1,2-Dimethyl-4-(phenylmethyl)benzol | 13540-56-2 | (Eugster, 2007) |
| 2,2'-Dimethylbiphenyl | 605-39-0 | (Chappot et al., 2007), (Gloor, 2007), (eco-systèmes, 2012) |
| 2,6-Diisopropyl-naphthalin | 24157-81-1 | (Eugster, 2007) |
| 3,4-Epoxycyclohexancarbonsäure-(3,4-epoxycyclohexylmylester) | 2386-87-0 | (Eugster, 2007) |
| 4-Isopropylbiphenyl | 7116-95-2 | (Eugster, 2007) |
| Bis(7-methyloctyl)phthalat | 20548-62-3 | (Eugster, 2007), Patent DE3930310C1 |
| Diethylphthalat | 84-66-2 | (Chappot et al., 2007), (Eugster, 2007) |
| Diisodecylphthalat | 26761-40-0 | (Chappot et al., 2007), (Gloor, 2007), Patent DE3930310C1 |

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Quellenangabe |
|-----------------------|------------|---|
| Diisononylphthalat | 68515-48-0 | (Chappot et al., 2007), (Gloor, 2007), Patent DE3930310C1 |
| Trioctyltrimellitat | 3319-31-1 | (Eugster, 2007) |

6.4 Beurteilung der Stabilität und Risiken der bedenklichen Stoffe

6.4.1 Chemisch-physikalische Eigenschaften

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften der bedenklichen Stoffe sind vollständig im Anhang A dokumentiert. In diesem Kapitel werten wir einige Kennzahlen für die recherchierten Eigenschaften über alle Stoffe aus.

Für die thermische Stabilität der Stoffe in Recyclingprozessen und das Verhalten in einer Verbrennung sind eine Reihe von Eigenschaften interessant, die wir in der Tabelle 41 aufführen. Wir führen jeweils den kleinsten und den grössten Wert einer Eigenschaft auf, sowie die Substanz, welche den entsprechenden Wert aufweist. Da die Eigenschaften jeweils nur für einen Teil der bedenklichen Stoffe in Erfahrung gebracht werden konnten, führen wir in der letzten Spalte auf, für wie viele Stoffe der Wert vorliegt. Insgesamt wurden die Stoffeigenschaften für 24 bedenkliche und verdächtige Stoffe recherchiert.

Tabelle 41: Stoffeigenschaften mit Relevanz für die thermische Stabilität bedenklicher Stoffe

| Eigenschaft | Einheit | Minimum | Bedenklicher Stoff mit Minimalwert | Maximum | Bedenklicher Stoff mit Maximalwert | Wert bekannt für Anzahl Stoffe |
|----------------|---------|---------|------------------------------------|---------|------------------------------------|--------------------------------|
| Schmelzpunkt | [°C] | -64 | Diisobutylphthalat | 110 | Ammonium-pentaborat | 24/24 |
| Siedepunkt | [°C] | 153 | Dimethylformamid | 420 | Diisodecylphthalat | 22/24 |
| Flammpunkt | [°C] | 58 | Dimethylformamid | 263 | Trioctyltrimellitat | 20/24 |
| Zündtemperatur | [°C] | 265 | N-Methylpyrrolidon | 595 | Phenol | 18/24 |

Ein Sonderfall bildet die Borsäure mit einem Schmelzpunkt von 168 °C bis 171 °C als Bortrioxidschmelze (IFA, 2016). Borsäure zersetzt sich bereits bei 100-130 °C. Da sie in Kondensatoren nicht rein vorliegt, wird keine Bortrioxidschmelze daraus hervorgehen.

Für die Beurteilung der Verteilung der Stoffe ist eine weitere Reihe von chemisch-physikalischen Parametern interessant. Diese weisen wir in Tabelle 42 aus. Wie bereits in der vorhergehenden Tabelle führen wir jeweils die Minimal- und Maximalwerte auf, um einen Überblick über die Spannbreite der Stoffeigenschaften zu geben.

Tabelle 42: Stoffeigenschaften mit Relevanz für die Stoffverteilung im Recyclingprozess

| Eigenschaft | Einheit | Minimum | Bedenklicher Stoff mit Minimalwert | Maximum | Bedenklicher Stoff mit Maximalwert | Wert bekannt für Anzahl Stoffe |
|--|----------------------|---------------------|--|----------|--|--------------------------------|
| Dichte (20 °C) | [kg/m ³] | 690 | Butylhydroxy-anisol | 1580 | Ammonium-pentaborat | 22/24 |
| Dampfdruck (20 °C) | [hPa] | unbedeutend | 8 verschiedene | 7.2 | Naphthalin | 22/24 |
| Wasserlöslichkeit (25 °C) | [mg/l] | nicht wasserlöslich | Diethylhexyl-phthalat, Diisononyl-phthalat | mischbar | Dimethylacetamid, Dimethylformamid, N-Methylpyrrolidon | 22/24 |
| Oktanol/Wasserverteilungskoeffizient log Kow | dimensionslos | -1.01 | Dimethylformamid | 11.59 | Trioctyltrimellitat | 23/24 |

6.4.2 Toxische Eigenschaften

Zur Einstufung der toxischen Eigenschaften der bedenklichen Stoffe in Kondensatoren haben wir die Kennwerte aus Tierversuchen recherchiert. Die Spannbreiten sind in der Tabelle 43 angegeben. Es sind deutlich weniger Daten zu den toxischen Eigenschaften verfügbar als zu den chemisch-physikalischen Parametern. Für die toxischen Eigenschaften bedeuten tiefere Werte eine höhere Toxizität (die Substanz ist bei tieferen Konzentrationen giftig).

Tabelle 43: Stoffeigenschaften mit Relevanz für die Toxizität

| Eigenschaft | Einheit | Minimum | Bedenklicher Stoff mit Minimalwert | Maximum | Bedenklicher Stoff mit Maximalwert | Wert bekannt für Anzahl Stoffe |
|--------------------------------------|---------|---------|------------------------------------|---------|------------------------------------|--------------------------------|
| LD ₅₀ oral Ratte | [mg/kg] | 317 | Phenol | 64'000 | Diisodecylphthalat | 16/24 |
| LC ₅₀ Fisch (96 h) | [mg/l] | 0.31 | Benzyltoluole | 10'500 | Dimethylformamid | 17/24 |
| LC ₅₀ Krustentiere (48 h) | [mg/l] | 1.23 | N-Methylpyrrolidon | 14'400 | Dimethylformamid | 12/24 |
| EC ₅₀ Krustentiere (48 h) | [mg/l] | 0.13 | Diethylhexylphthalat | 12'800 | Dimethylformamid | 8/24 |
| EC ₅₀ Algen (72 h) | [mg/l] | 0.4 | Dibutylphthalat | >1000 | Dimethylformamid | 10/24 |

6.4.3 Biologische Abbaubarkeit

Die biologische Abbaubarkeit wurde bereits für die Einstufung der bedenklichen Stoffe beigezogen. Für diese Einstufung mussten wir meistens auf Modellwerte zurückgreifen. Mithilfe einer Recherche in den vorhandenen REACH-Dossiers wurde versucht, diese Angaben besser abzusichern und zu präzisieren. Zu einem Dutzend Substanzen konnten REACH-Dossiers eingesehen werden. Elf davon enthielten Angaben zur biologischen Abbaubarkeit. Alle Angaben stimmten in der Aussage, ob die Substanz biologisch abbaubar sei oder nicht, mit den bereits eruierten Modellaussagen überein. Für zwei Substanzen war die Situation nicht eindeutig:

- Biphenyl (CAS-Nr. 92-52-4) wird im REACH-Dossier als biologisch abbaubar bezeichnet, jedoch wird es auch evaluiert als mögliche PBT-Substanz (persistent, bioakkumulierbar, toxisch), was einen Widerspruch zum Dossier darstellt (ECHA, 2020).
- Naphthalin (CAS-Nr. 91-20-3) ist gemäss Risk Assessment im REACH-Prozess nicht leicht biologisch abbaubar (European Commission, 2003). Im REACH-Registrationsdossier wird es im Widerspruch dazu jedoch als biologisch abbaubar in Wasser bezeichnet.

6.4.4 Bioakkumulierbarkeit

Zur Beurteilung der Bioakkumulierbarkeit wurde der Biokonzentrationsfaktor (BCF) der bedenklichen Stoffe recherchiert. Die BCF für alle Substanzen sind Modellschätzungen. Sie basieren auf dem $\log K_{OW}$ und sind mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Ein hoher Wert bedeutet, dass sich die Substanz stark im Fettgewebe von aquatischen Organismen anreichert. Eine solche Substanz hat ein hohes Potential zur Bioakkumulierung.

Tabelle 44: Spannweite der Biokonzentrationsfaktoren der bedenklichen Stoffe

| Eigenschaft | Einheit | Minimum | Bedenklicher Stoff mit Minimalwert | Maximum | Bedenklicher Stoff mit Maximalwert | Wert bekannt für Anzahl Stoffe |
|-------------|-------------------|---------|------------------------------------|---------|------------------------------------|--------------------------------|
| BCF | [l/kg Masse nass] | 3 | Dimehtylacetamid, Dimethylformamid | 4778 | 2,6-Diisopropyl-naphthalin | 22/24 |

Keiner der bedenklichen Stoffe fällt in die Kategorie der «sehr bioakkumulierbaren» Stoffe gemäss REACH-Verordnung. Die zwei Stoffe in der Tabelle 45 erfüllen die Klassierung als «bioakkumulierbar». Es ist zu beachten, dass beide BCF auf einer Schätzung aufgrund der Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten beruhen. Diese wiederum wurden mit dem Softwaretool «EpiSuite» der US-Behörde EPA aus der chemischen Struktur geschätzt. Die Werte sind also äusserst unsicher und können nur als Hinweis auf ein mögliches Potential zur Bioakkumulierbarkeit der beiden Stoffe interpretiert werden.

Tabelle 45: Bedenkliche Stoffe im Recycling, die gemäss Modellwerten möglicherweise bioakkumulierbar sind

| Stoffbezeichnung | CAS-Nr. | BCF [l/kg nass] | Einstufung REACH |
|-------------------------------|------------|-----------------|------------------|
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 3075-84-1 | 3916 | bioakkumulierbar |
| 2,6-Diisopropyl-naphthalin | 24157-81-1 | 4778 | bioakkumulierbar |

6.4.5

6.4.6 Stoffe mit erheblichem Risiko für die aquatische Umwelt

Die sechs bedenklichen Stoffe in Kondensatoren, welche in der Wasserrahmenrichtlinie als «prioritäre Stoffe» bezeichnet werden, sind in Tabelle 46 aufgeführt.

Tabelle 46: Bedenkliche Stoffe, die gemäss Wasserrahmenrichtlinie «prioritäre Stoffe» sind

| Stoffbezeichnung | CAS-Nr. |
|--|------------|
| 1-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline) | 90-13-1 |
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 |
| 2,6-Diisopropylnaphthalin | 24157-81-1 |
| Diethylhexylphthalat | 117-81-7 |
| Naphthalin | 91-20-3 |

6.4.7 Abbauewege in der Umwelt

Abbauewege in der Umwelt wurden für fünf Substanzen in der Datenbank der EAWAG gefunden (Eawag, 2019). Diese Substanzen und die Abbauprodukte im ersten Abbauschritt führen wir in Tabelle 47 auf. Eine weitergehende Auswertung der Abbauprodukte war nur vereinzelt möglich, da die Stoffe zumeist keine CAS-Nummer haben, respektive in der Datenbank nicht mit einer solchen versehen sind. Darum war auch keine Recherche der Stoffeigenschaften möglich. Für die wenigen vorhandenen CAS-Nummern ergab eine Stoffrecherche auf der Website der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) Treffer für Catechol, 4-Hydroxybenzoat und Phenylphosphat. Von diesen ist einzig Catechol – resp. Pyrocatechol – als bedenklicher Stoff gemäss unserer Definition einzustufen, Es ist mit den relevanten H-Sätzen H341 «Kann vermutlich genetische Defekte verursachen» und H350 «Kann Krebs erzeugen» klassiert. Phenol selbst ist nicht als krebserzeugend eingestuft, womit das Abbauprodukt als schädlicher einzustufen ist als der Ausgangsstoff.

Tabelle 47: Bekannte Abbauprodukte bedenklicher Stoffe aus Kondensatoren

| Ausgangsstoff | CAS-Nr. | Abbauprodukte 1. Schritt | CAS-Nr. |
|--------------------|----------|--|------------|
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | Naphthyl-2-methyl-succinat | |
| | | cis-1,2-Dihydroxy-1,2-dihydro-7-methylnaphthalin | |
| | | 2-Hydroxymethylnaphthalin | |
| Biphenyl | 92-52-4 | cis-2,3-Dihydro-2,3-dihydroxybiphenyl | 34244-66-1 |
| Dibutylphthalat | 84-74-2 | tert-Butyl-Alkohol | |
| | | Monobutylphthalat | |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | Dimethylamin | |
| Naphthalin | 91-20-3 | cis-1,2-Dihydroxy-1,2-dihydronaphthalin | |
| | | 2,3-Dihydroxynaphthalin | |
| Phenol | 108-95-2 | Catechol | 120-80-9 |
| | | 4-Hydroxybenzoat | 99-96-7 |
| | | Phenylphosphat | 701-64-4 |

6.5 Anteil PCB-haltiger Kondensatoren

6.5.1 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

6.5.1.1 Haushaltgrossgeräte

Die Haushaltgrossgeräte sind eine wichtige Quelle von ungepolten zylindrischen Kondensatoren. Der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren wird für die Gerätekategorien aus der Probenahme getrennt ausgewiesen. Die Tabelle 49 weist in der letzten Spalte zudem die summierten Werte aus den ersten drei Spalten für alle Haushaltgrossgeräte aus. Diese Werte gelten für die Sammelkategorie des Rücknahmesystems.

Tabelle 48: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Haushaltgrossgeräten

| Klassierung | Waschmaschinen | | Geschirrspüler | | Weitere | | Haushaltgrossgeräte gesamt | |
|----------------|----------------|--------|----------------|--------|---------|--------|----------------------------|--------|
| | Stk. | Anteil | Stk. | Anteil | Stk. | Anteil | Stk. | Anteil |
| PCB-frei | 905 | 97 % | 795 | 99 % | 326 | 98 % | 2026 | 98 % |
| PCB-verdächtig | 27 | 2.9 % | 5 | 0.6 % | 3 | 0.9 % | 35 | 1.7 % |
| PCB-haltig | 5 | 0.5 % | 1 | 0.1 % | 4 | 1.2 % | 10 | 0.5 % |
| Summe | 937 | | 801 | | 333 | | 2071 | |

Aus der Probengrösse und dem Anteil in der Stichprobe kann ermittelt werden, in welchem Bereich der wahre Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegen wird. Diese Konfidenzintervalle wurden für die Ergebnisse der Gesamtprobe HHGG berechnet und werden in Tabelle 49 hinter dem Ergebnis als $\pm x \%$ ausgewiesen.

Tabelle 49: Anteile von PCB-haltigen Kondensatoren in HHGG mit Konfidenzintervallen

| Klassierung | Stk. | Anteil \pm Konfidenzintervall 95% |
|----------------|------|-------------------------------------|
| PCB-frei | 2026 | 97.8 % \pm 0.63 % |
| PCB-verdächtig | 35 | 1.7 % \pm 0.56 % |
| PCB-haltig | 10 | 0.5 % \pm 0.30 % |
| Summe | 2073 | |

6.5.1.2 Kühl-, Klima- und Gefriergeräte

Nach den Haushaltgrossgeräten sind die Kühl-, Klima- und Gefriergeräte die zweitwichtigste Quelle für ungepolte zylindrische Kondensatoren. Die Anteile der Kondensatoren nach PCB-Gehalt sind in Tabelle 50 ausgewiesen. In der Stichprobe war kein Kondensator eindeutig PCB-haltig. Fünfzehn Stück waren PCB-verdächtig nach der Klassierung mithilfe des Kondensatorenverzeichnisses (Arnet et al., 2011). Alle PCB-verdächtigen Kondensatoren wurden im Labor auf ihren PCB-Gehalt untersucht. Dabei ergab sich kein PCB-Nachweis. Somit sind alle geprüften Kondensatoren aus Kühlgeräten PCB-frei.

Tabelle 50: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Kühl-, Klima- und Gefriergeräten

| Klassierung | Stk. | Anteil |
|----------------|------|--------|
| PCB-frei | 410 | 100 % |
| PCB-verdächtig | 0 | 0 % |
| PCB-haltig | 0 | 0 % |
| Summe | 410 | |

6.5.1.3 Vorschaltgeräte aus FL-Leuchten

Die Anteile der PCB-haltigen, PCB-verdächtigen und PCB-freien Kondensatoren werden nachfolgend in Tabelle 51 für Kondensatoren aus Vorschaltgeräten ausgewiesen. Es ist zu beachten, dass diese Anteile für die Kondensatoren gelten, jedoch nicht für die Vorschaltgeräte selbst. Die Mehrzahl der Vorschaltgeräte enthält keine grossen Kondensatoren. Nur bei einem Teil der Vorschaltgeräte wurde aus technischen Gründen ein grosser Kondensator eingebaut.

Tabelle 51: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Vorschaltgeräten

| Klassierung | Stk. | Anteil |
|----------------|------|--------|
| PCB-frei | 58 | 24 % |
| PCB-verdächtig | 50 | 21 % |
| PCB-haltig | 130 | 55 % |
| Summe | 238 | |

Aus der Probengrösse und dem Anteil in der Stichprobe kann ermittelt werden, in welchem Bereich der wahre Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegen wird. Diese Konfidenzintervalle wurden für die Ergebnisse der Kondensatoren aus Vorschaltgeräten berechnet und werden in Tabelle 52 hinter dem Ergebnis als $\pm x$ % ausgewiesen.

Tabelle 52: Anteile PCB-haltiger Kondensatoren in Vorschaltgeräten mit Konfidenzintervallen

| Klassierung | Stk. | Anteil \pm Konfidenzintervall 95% |
|----------------|------|-------------------------------------|
| PCB-frei | 58 | 24.4 % \pm 5.5 % |
| PCB-verdächtig | 50 | 21.0 % \pm 5.2 % |
| PCB-haltig | 130 | 54.6 % \pm 6.3 % |
| Summe | 238 | |

Falls die Stichprobe repräsentativ war, heisst das, dass zwischen 49 % und 61 % der Kondensatoren aus Vorschaltgeräten PCB-haltig sind. Im Vergleich mit der Leuchtenstudie von (Gasser, 2009) sind die Ergebnisse sehr ähnlich. Damals wurden 60 % PCB-haltige, 10 % PCB-verdächtige und 29 % PCB-freie Kondensatoren festgestellt.

6.5.1.4 SENS-Kleingeräte

Für die SENS-Kleingeräte werden die Ergebnisse wie bei den Haushaltsgrossgeräten in der Tabelle 52 pro gesammelter Kategorie für die Probenahme ausgewiesen sowie in der letzten Spalte die Summenwerte für die SENS-Kleingeräte gesamt. Die Berechnung des Konfidenzintervalls mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % werden für die SENS-Kleingeräte in Tabelle 54 hinter dem Ergebnis als $\pm x$ % ausgewiesen.

Tabelle 53: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in SENS-Kleingeräten ²

| Klassierung | HHKG mit Motoren | | Weitere HHKG | | HHKG gesamt | |
|----------------|------------------|--------|--------------|--------|-------------|--------|
| | Stk. | Anteil | Stk. | Anteil | Stk. | Anteil |
| PCB-frei | 73 | 87% | 35 | 70% | 108 | 81% |
| PCB-verdächtig | 7 | 8% | 2 | 4% | 9 | 7% |
| PCB-haltig | 4 | 5% | 13 | 26% | 17 | 13% |
| Summe | 84 | | 50 | | 134 | |

Tabelle 54: Anteile PCB-haltiger Kondensatoren Haushaltkleingeräten mit Konfidenzintervallen ²

| Klassierung | Stk. | Anteil ± Konfidenzintervall 95% |
|----------------|------------|---------------------------------|
| PCB-frei | 108 | 80.6 % ± 6.7 % |
| PCB-verdächtig | 9 | 6.7 % ± 4.2 % |
| PCB-haltig | 17 | 12.5 % ± 5.6 % |
| Summe | 134 | |

Die Kondensatorensammlung aus SENS-Kleingeräten ist nicht über alle Zweifel erhaben. Es muss vermutet werden, dass Kondensatoren aus mobilen Leuchten in der Stichprobe enthalten waren. Das Ergebnis ist mit Vorsicht zu interpretieren und sollte nicht zitiert werden. Siehe dazu auch die Diskussion unter 7.5.1.5.

6.5.2 Elektrolytkondensatoren

Elektrolytkondensatoren sind immer PCB-frei. Die Verwendung von PCB ist ausgeschlossen, da sie technisch keinen Sinn ergibt. PCB wirken als Isolator, ein Elko benötigt jedoch leitende Flüssigkeiten. In einem Kundenauftrag für einen Schweizer Recycler haben wir den PCB-Gehalt einer Probe von 11.4 kg Elektrolyt-Kondensatoren kleiner als 2.5 cm analytisch bestimmen lassen. Dies entspricht einer geschätzten Anzahl von ca. 5400 Stk. Die Probe enthielt keine PCB, wie zu erwarten war. (Savi, 2018)

6.5.3 Mikrowellenkondensatoren

Mikrowellenkondensatoren gelten allgemein als PCB-frei. Die Laboranalysen dieser Studie bestätigen, dass die Mikrowellenkondensatoren kein PCB enthalten (vergleiche dazu das Kapitel 6.2.5).

² Die Ergebnisse in dieser Tabelle sind zweifelhaft und sollten nicht zitiert werden.

6.6 Anteile der Kondensatoren mit Flüssigkeiten

6.6.1 Anteile der trockenen ungepolten zylindrischen Kondensatoren

Während der Untersuchung prüften wir zahlreiche Kondensatoren darauf, ob sie flüssige Inhaltsstoffe enthalten oder nicht. Für die Laboranalyse wurden die Kondensatoren jeweils aufgeschnitten und die Flüssigkeit daraus abgegossen. Alle Kondensatoren ohne Flüssigkeitsaustritt wurden dabei erfasst. Diese Auswertung bezieht sich auf die ungepolten zylindrischen Kondensatoren. Die Elektrolytkondensatoren enthalten immer eine imprägnierte Zwischenfolie, sind also nie trocken. Die Mikrowellenkondensatoren sind immer mit Flüssigkeit gefüllt.

Die Tabelle 55 zeigt die Gesamtzahl trockener Kondensatoren nach Gerätekategorien und deren Anteil an allen ungepolten zylindrischen Kondensatoren. Der ausgewiesene Anteil stellt eine Mindestzahl dar. Sie wurde so ermittelt, dass alle Modelle ohne Flüssigkeitsaustritt bei der Aufbereitung für die Analyse erfasst wurden. Mit der Gesamtstückzahl der entsprechenden Modelle in der Sammlung konnte dann auf die Stückzahl in der Gesamtprobe zurück gerechnet werden. Es zeigte sich auch, dass alle aufgeschnittenen Kondensatoren in weissen oder farbigen Plastikgehäusen trocken waren. Zwei Beispiele für diesen Typ werden in Abbildung 21 gezeigt. Nachdem sich dieser Befund bei 19 Stk. bestätigt hatte, wurden alle Kondensatoren dieses Typs als trocken klassiert und in die Gesamtzahl einbezogen.

Zudem gibt es zahlreiche Kondensatoren in Aluminiumgehäusen, die sich beim Öffnen als trocken entpuppten. Diese Modelle wurden ebenfalls in der Gesamtzahl der trockenen Kondensatoren berücksichtigt, womit sich die Resultate gemäss Tabelle 55 ergeben.

Eine weitere Gruppe bilden die in schwarze Kunststoffgehäuse verpackten Motorstart-Kondensatoren. Diese kamen die in der Kühlgeräte-Probe häufig vor. Diese Kondensatoren enthalten ein getränktes Fliesspapier. Teilweise war auch ein Flüssigkeitsüberschuss im Gehäuse vorhanden. Beispiele für die angesprochene Gehäuseform zeigt die Abbildung 22. Es handelt sich dabei um Elektrolytkondensatoren mit kurzer Lebensdauer. Diese Kondensatoren wurden nicht zu den trockenen Kondensatoren gezählt.



Abbildung 21: Geöffneter KS-Kondensator ohne flüssige Inhaltsstoffe

Tabelle 55: Anteile trockener an den ungepolten zylindrischen Kondensatoren

| Nr. | Geräte-kategorie Systeme | Sammel-kategorie | Gesamtzahl in Sammlung | Trockene Kond. [Stk.] | Anteil trockene Kond. |
|-----|------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 11a | Haushaltgrossgeräte | Waschmaschinen | 937 | 440 | 47% |
| 11b | | Geschirrspüler | 801 | 344 | 43% |
| 11d | | Weitere | 333 | 90 | 27% |
| 12 | Kühlgeräte | Kühlgeräte | 410 | 126 | 31% |
| 13 | Vorschaltgeräte aus Leuchten | | 238 | 0 | 0% |
| 14a | SENS-Kleingeräte | Mikrowellen | 343 | 0 | 0% |
| 14b | | Geräte mit Motoren | 280 | 42 | 15% |
| 14c | | Weitere | 256 | 7 | 3% |



Abbildung 22: Motorstart-Elektrolyt-Kondensatoren in schwarzen Kunststoffgehäusen

6.6.2 Flüssigkeitsaustritt bei der Kondensator-Zerlegung für die Analyse

Bei der Probenahme für die Analyse wurde erfasst, wie viel Flüssigkeit austritt. Dafür wurden die qualitativen Kategorien «viel», «einige Tropfen», «etwas feucht» und «trocken» gebildet.

Die ungepolten zylindrischen Kondensatoren waren sehr unterschiedlich mit Flüssigkeiten gefüllt. Für die geöffneten Modelle ergab sich das Bild gemäss der Tabelle 56.

Die Elektrolytkondensatoren waren durchgängig «etwas feucht» (67 Stk.), nur 2 Stk. verloren einige Tropfen Flüssigkeit beim Öffnen. Die Mikrowellenkondensatoren waren alle mit viel Flüssigkeit gefüllt.

Tabelle 56: Klassierung Flüssigkeitsaustritt bei der Probenahme von ungepolten zylindrischen Kondensatoren

| Kondensatortyp | viel | einige Tropfen | etwas feucht | trocken |
|--------------------------------------|------|----------------|--------------|---------|
| Ungepolte zylindrische Kondensatoren | 54 | 6 | 6 | 53 |

6.7 Gewichtsanteil der Flüssigkeit in Kondensatoren

6.7.1 Gewichtsanteile Totalzerlegung Elektrolyt-Kondensator

Die Zerlegung eines Elektrolytkondensators mit ca. 2 cm Länge ohne externe Kontaktstifte und ca. 1.5 cm Durchmesser führte zu den Gewichten gemäss Tabelle 57. Das Gewicht des Fliesspapiers wurde unmittelbar nach dem Öffnen des Kondensators bestimmt und erneut nach einer Lagerungsdauer von acht Monaten. Im Methodikkapitel 5.4 ist die Zerlegung mit Bildern illustriert.

Tabelle 57: Massen aus der Zerlegung eines Elektrolytkondensatoren

| Wägung | Gewicht [g] | Anteil [%] |
|---|-------------|------------|
| Kondensator ganz ohne Kontaktstifte | 7.6 | 100% |
| Aluminium- und Plastik-Gehäuse mit Bitumensiegel | 3 | 39% |
| Aluminiumfolien mit interner Kontaktierung | 2.8 | 37% |
| Fliesspapier ohne Flüssigkeit | 0.6 | 8% |
| Flüssigkeit in Fliesspapier | 0.8 | 10.5% |
| Verluste (Differenz Fraktionen zu Gewicht ganzer Kondensator) | 0.4 | 5% |

6.7.2 Gewichtsanteil der Flüssigkeiten in ungepolten zylindrischen Kondensatoren

Die Tabelle 58 zeigt die Ergebnisse der Gewichtsbestimmung der flüssigen und festen Bestandteile von Kondensatoren. Als erste Masse wurde das Gewicht der Flüssigkeit bestimmt, die nach dem Öffnen der Kondensatoren innert weniger Minuten auslief und für die Laborprobe verwendet wurde. Dann wurde die abgetropfte Flüssigkeit nach einer Standzeit von rund vier Monaten gewogen. In der vorletzten Spalte ist die Masse der Feststoffe nach der Abtropfzeit angegeben. Bei den Verlusten dürfte es sich in erster Linie um Flüssigkeitsverluste handeln. Diese entstehen bei der Probenahme durch Anhaftungen an den verwendeten Utensilien. Zudem durch Verdunstung während der Abtropfzeit.

Tabelle 58: Massen aus der Trennung der Kondensatoren in flüssige und feste Bestandteile

| Kondensator-Nr. | Stk. in Probe | Masse Flüssigkeit in Laborprobe [g] | Masse Flüssigkeit abgetropft [g] | Masse Feststoffe [g] | Verlust [g] |
|-----------------|---------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------|
| 311 | 3 | 23.5 | 23.1 | 305 | 2.9 |
| 109 | 4 | 21.7 | 8.1 | 168.1 | 1.9 |
| 126 | 3 | 27.6 | 8.1 | 183.5 | 2.9 |
| 90 | 6 | 12.5 | 21.1 | 301.7 | 0.3 |
| 95 | 6 | 12.5 | 23.6 | 255.5 | 8.4 |
| Total | 22 | 97.8 | 84.0 | 1213.8 | 16.4 |

Die Auswertung der Gewichtsanteile führt zum Ergebnis in Tabelle 59. Die Wiederfindungsrate war mit 99 % sehr gut. Es ist plausibel, die Verluste vor allem als Flüssigkeitsverluste zu interpretieren. Somit können die Verluste zur Flüssigkeit angerechnet werden. Da an den Feststoffen gewisse Flüssigkeitsanhaftungen unvermeidlich sind, ist eine Rundung der Ergebnisse auf eine 5 %-Genauigkeit den Unsicherheiten der

Erhebungsmethode angemessen. Es kann folgende Gewichtsverteilung für ungepolte zylindrische Kondensatoren aus den Daten abgeleitet werden:

- 85 % Feststoffe
- 15 % Flüssigkeiten

Tabelle 59: Verteilung der Flüssigkeiten und Feststoffe in ungepolten zylindrischen Kondensatoren

| | Masse [g] | Anteil |
|---------------|-----------|--------|
| Flüssigkeiten | 182 | 13 % |
| Feststoffe | 1214 | 86 % |
| Verluste | 16 | 1 % |

Um einen Eindruck von der Bandbreite des Flüssigkeitsanteils zu erhalten, wurde dieser nach Modellen getrennt berechnet. Wie die Daten in der Tabelle 60 zeigen, liegen die Kennzahlen nahe beieinander. Für den Kondensator mit Nummer 90 war die Separation schwierig, da die Flüssigkeit sehr zähflüssig war (siehe dazu auch die Tabelle 20). Der tiefere Anteil Flüssigkeit könnte daher zumindest teilweise von einer unzureichenden Separation von Feststoffen und Flüssigkeit stammen.

Tabelle 60: Anteil der Flüssigkeiten, Feststoffe und Verluste pro Kondensatormodell

| Kond.-Nr. | Anteil Flüssigkeit | Anteil Feststoffe | Anteil Verlust |
|---------------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| 311 | 13 % | 86 % | 1 % |
| 109 | 15 % | 84 % | 1 % |
| 126 | 16 % | 83 % | 1 % |
| 90 | 10 % | 90 % | 0 % |
| 95 | 12 % | 85 % | 3 % |
| Gewichtetes Mittel | 13 % | 86 % | 1 % |

6.7.3 Gewichtsanteil der Flüssigkeiten in Mikrowellen-Kondensatoren

Die Daten in Tabelle 61 zeigen die Massen der Flüssigkeiten und Feststoffe nach der Trennung der Mikrowellenkondensatoren. Ebenfalls ausgewiesen werden die Masseverluste. Die Zeile «Gesammelte Flüssigkeit» wurde nötig, da während des Ausfließens 3.5 g Flüssigkeit in den unter dem Probenahmegefäß stehenden Auffangbehälter gelangten, die für das Gesamtgewicht ebenfalls berücksichtigt wurden. Diese Flüssigkeitsverluste tragen zur Verlustrechnung pro Kondensator bei, nicht jedoch zum Verlust über alle Kondensatoren. Deshalb stimmt der Verlust in der Zeile Total nicht mit der Summe der Verluste der Einzelmodelle überein.

Tabelle 61: Anteil der Flüssigkeiten, Feststoffe und Verluste pro Kondensatormodell

| Kondensator-Nr. | Stk. in Probe | Masse ganze Kondensatoren [g] | Masse Flüssigkeit [g] | Masse Feststoffe [g] | Verlust [g] |
|------------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| 614 | 1 | 182.1 | 7.9 | 173.7 | 0.5 |
| 624 | 1 | 156.8 | 14.5 | 141.8 | 0.5 |
| 629 | 1 | 143.4 | 12.8 | 129.7 | 0.9 |
| 631 | 1 | 180.8 | 22.7 | 158.6 | -0.5 |
| 632 | 1 | 329.0 | 29 | 298.7 | 1.3 |
| Gesammelte Flüssigkeit | | | 3.5 | | |
| Total | 5 | 992.1 | 90.4 | 902.5 | -0.8 |

Die Auswertung der Massenanteile führt zum Ergebnis in Tabelle 62. Die Wiederfindungsrate war mit gerundeten 100 % nahezu perfekt. Da mit dem gewählten Vorgehen keine vollständige Flüssigkeitsseparation erreicht werden konnte, ist eine Aufrundung des Flüssigkeitsanteils auf eine 5 %-Genauigkeit den Unsicherheiten der Erhebungsmethode angemessen. Es kann folgende Gewichtsverteilung für Mikrowellen-Kondensatoren aus den Daten abgeleitet werden:

- 90 % Feststoffe
- 10 % Flüssigkeiten
-

Tabelle 62: Verteilung der Flüssigkeiten und Feststoffe in ungepolt zylindrischen Kondensatoren

| | Masse [g] | Anteil |
|---------------|-----------|--------|
| Flüssigkeiten | 90 | 9% |
| Feststoffe | 903 | 91% |
| Verluste | 3 | 0% |

Der Flüssigkeitsanteils nach Modellen variierte stark, wie die Daten in der Tabelle 61 zeigen. Der Kondensator 614 wies deutlich weniger Flüssigkeit auf als die anderen. Gründe dafür konnten nicht festgestellt werden. Der Kondensator 631 wies einen grösseren Flüssigkeitsanteil aus, einen spezifischen Grund dafür konnte nicht ausgemacht werden.

Tabelle 63: Anteil der Flüssigkeiten, Feststoffe und Verluste pro Kondensatormodell

| Kond.-Nr | Anteil Flüssigkeit | Anteil Feststoffe | Anteil Verlust |
|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| 614 | 4% | 95% | 0.3% |
| 624 | 9% | 90% | 0.3% |
| 629 | 9% | 90% | 0.6% |
| 631 | 13% | 87% | -0.3% |
| 632 | 9% | 91% | 0.4% |
| Mittelwert | 9% | 91% | -0.1% |

6.8 Berechnung von Jahresfrachten für Kondensatoren und Flüssigkeiten

6.8.1 Berechnung der Jahresfrachten Kondensatoren

Aus den Stoffflussdaten, die SENS und Swico bei den Recyclern erheben, ist die Gesamtmenge Kondensatoren bekannt, die durch die Recycler aus den Geräten entnommen werden. Für die Abschätzung der Stofffrachten aus Kondensatoren benötigen wir Massen der entnommenen Kondensatoren pro Gerätekategorie.

Für die Leuchten ist aus einer früheren Studie bekannt, wie gross der Massenanteil der Kondensatoren an den Leuchten ist (Gasser, 2009). Diese Kennzahl von 0.046 multiplizieren wir mit der verarbeiteten Leuchtenmenge gemäss Stoffflussdaten von 21 Tonnen. Dies ergibt knapp 1 Tonne Kondensatoren, die aus Leuchten stammen. Diese Menge wird zuerst von der rapportierten Gesamtmenge von 214 Tonnen für das Jahr 2017 abgezogen. Die reduzierte Gesamtmenge gewichten wir mit den Mas-

sen der Gerätekategorien «SENS-Haushaltgrossgeräte», «Kühl-, Klima- und Gefriergeräte» und «Swico-Geräte». Daraus ergeben sich Kondensatormengen für die drei Gerätekategorien «SENS-Haushaltgrossgeräte», «Kühl-, Klima- und Gefriergeräte» und «Swico-Geräte (Kondensatoren grösser 2.5 cm)» gemäss Tabelle 64.

Eine Prüfrechnung kann für die Kategorie der «Swico-Geräte» mit den Daten aus dem Kapitel 7.7 vorgenommen werden. Der Gewichtsanteil aller Elektrolytkondensatoren in Swico-Geräten wurde auf 0.3 % bis 1.5 % bestimmt. Die Gewichtsanteile wurden bestimmt für Gerätekategorien im Swico-Mix und lassen sich nicht direkt auf die «Swico-Geräte» als Gesamtkategorie anwenden. Die Daten zeigen jedoch, dass ein Wert von 0.5 % realistisch sein sollte. Mit dem Gerätefluss von 45'982 Tonnen ergibt sich daraus ein Kondensatorenfluss von gerundet 230 Tonnen. Wir wissen aus derselben Auswertung auch, dass rund 50 % der Elektrolytkondensatoren in «Swico-Geräten» grösser als 2.5 cm sind. Bezogen auf den Jahresfluss wären das rund 115 Tonnen. Diese Zahl stimmt sehr gut mit den aus dem Jahresstofffluss berechneten 104 Tonnen überein. Dies ist zu erwarten, da die Recycler nur die Kondensatoren separieren müssen, die grösser als 2.5 cm sind. Somit können wir die Tabelle 64 erweitern um die Zeile «SWICO-Geräte (Kondensatoren kleiner 2.5 cm)».

Aus den Versuchsdaten zu den Anteilen trockener Kondensatoren, wie in Kapitel 6.6.1 präsentiert, lässt sich mit einer Hochrechnung abschätzen, wie viele der jährlich entfrachteten Kondensatoren trocken sind und wie viele Flüssigkeiten enthalten. Für alle Swico-Geräte wird davon ausgegangen, dass es sich bei den entfernten Kondensatoren um Elektrolyt-Kondensatoren handelt, die immer Flüssigkeiten enthalten. Zudem gehen wir für alle Gerätekategorien mit Ausnahme der Leuchten davon aus, dass der Kondensatorenanteil am Gesamtgewicht gleich ist. Damit erhalten wir die Hochrechnung für trockene und mit Flüssigkeiten gefüllte Kondensatoren gemäss Tabelle 64.

Tabelle 64: Jahresfrachten Kondensatoren nach Gerätekategorie

| Gerätekategorie | Anteil trockene Kondensatoren in Sammlung | Verarbeitete Geräte-menge 2017 [t/a] | Kondensatoren ge-wichtet nach Kate-gorie [t/a] | Gesamt-menge trockene Kond. [t/a] | Gesamt-menge Kond. mit Flüssigkei-ten [t/a] |
|---|---|--------------------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Haushaltgrossge-räte | 42 % | 29071 | 66 | 28 | 37 |
| Kühl-, Klima- & Ge-friergeräte | 31 % | 19426 | 44 | 14 | 30 |
| Leuchten | 0 % | 21 | 1 | 0 | 1 |
| SWICO-Geräte (Kond. grösser 2.5 cm) | 0 % | 45982 | 104 | 0 | 104 |
| SWICO-Geräte (Kond. kleiner 2.5 cm) | 0 % | | 104 | 0 | 104 |
| Alle Gerätekatego-rien (Kond. grösser 2.5 cm) | | 94500 | 214 | 42 | 172 |
| Alle Gerätekatego-rien (alle Kond.) | | | 318 | 42 | 276 |

6.8.2 Abschätzung PCB-Jahresfracht

Mithilfe des bekannten Flüssigkeitsanteils von 15 % in ungepolten zylindrischen Kondensatoren kann die jährliche PCB-Fracht im SENS-Rücknahmesystem berechnet werden. Dazu wird zusätzlich der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in Haushaltsgrossgeräten und das Jahrgewicht der rapportierten Kondensatoren verwendet.

Der Anteil PCB-haltiger oder -verdächtiger Kondensatoren wird multipliziert mit den Jahresfrachten Kondensatoren gemäss Kapitel 6.8.1, um die Jahresfrachten PCB-haltiger oder -verdächtiger Kondensatoren zu erhalten (Tabelle 65). Die Kondensatormenge kann nun mit 15 % multipliziert werden, um die Gesamtfracht PCB-haltiger Flüssigkeiten pro Jahr zu erhalten.

In einer holländischen Studie (Groen, 2013) wurde der PCB-Gehalt in der Flüssigkeit von ungepolten zylindrischen Kondensatoren bestimmt. Der PCB-Gehalt in zehn PCB-haltigen Kondensatoren betrug zwischen 63 % und 94 %. Weitere zwei Kondensatoren waren mit PCB verunreinigt und enthielten 76 mg/kg, bzw. 271 mg/kg PCB.

Für die Berechnung der PCB-Frachten nehmen wir als konservative Abschätzung an, dass die Kondensatoren reines PCB enthalten und setzen die PCB-Fracht mit der Fracht PCB-haltiger Flüssigkeiten gleich. Die PCB-Jahresfracht aus Kondensatoren im SENS-System kann somit auf 300 bis 350 kg/a abgeschätzt werden (Tabelle 65).

Tabelle 65: Abschätzung der PCB-Jahresfracht

| Geräteklasse Systeme | Jahresfracht Kond. gemäss Stoffflussdaten [kg/a] | Jahresfracht PCB-haltige oder -verdächtige Kond. [kg/a] | PCB-Jahresfracht [kg/a] |
|-------------------------------|--|---|-------------------------|
| Haushaltsgrossgeräte | 65'000 | 1425 | 214 |
| Leuchten | 960 | 722 | 108 |
| Kühlgeräte | 44'000 | 0 | 0 |
| SWICO-Geräte (Kond. > 2.5 cm) | 104'000 | 0 | 0 |
| Gesamt | 214'000 | 0 | 300-350 |

Die Autoren der Studie «PCB in Kleinkondensatoren aus Elektro- und Elektronikgeräten» (Eugster et al., 2008) berechneten Jahresfrachten von PCB für die Schweiz im Jahr 2006. Damals wurde die PCB-Fracht in Haushaltsgrossgeräten auf 90-1000 kg/a und in Leuchten auf 300-3000 kg/a abgeschätzt.

6.8.3 Jahresfracht bedenklicher Stoffe in den Elektroaltgeräten

Für die analytisch festgestellten bedenklichen Stoffe kennen wir näherungsweise die Massenanteile aus den Laboranalysen. Für eine Flussabschätzung wurde der jeweils höchste gefundene Massenanteil in der Mischprobe verwendet. Diesen multiplizierten wir mit der Jahresmenge ungepolter Kondensatoren mit Flüssigkeiten oder Elektrolytkondensatoren wie wir sie in Tabelle 64 ausweisen. Für die Hochrechnung der Substanzen aus Mikrowellenkondensatoren auf Jahresfrachten nehmen wir eine Jahresmenge für die Mikrowellenkondensatoren von 10 % der ungepolten Kondensatoren an, da Messdaten zu dieser Grösse fehlen. Die Jahresmenge ungepolter zylindrischer Kondensatoren aus anderen Geräten multiplizieren wir dementsprechend mit 90 %. Als Flüssigkeitsanteile wurden 15 % für apolar zylindrische Kondensatoren und 10 % für Mikrowellenkondensatoren verwendet. Die Massenanteile der Stoffe aus Elektrolytkondensatoren wurden gegenüber dem Analyseergebnis mit dem Faktor sechs

multipliziert, um einen Massenanteil in der Flüssigkeit zu erhalten. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 66 dargestellt.

Tabelle 66: Analytisch gefundene bedenkliche Stoffe mit Abschätzung der Jahresfracht

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nummer | Vorkommen Kondensatortyp | Höchster festgestellter Massenanteil [mg/kg Flüssigkeit] | Abschätzung Jahresfracht bedenkliche Stoffe [kg/a] |
|---|------------|-------------------------------------|--|--|
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | ungepolte zylindrische | 5'000 | 46 |
| 1-Methoxy-2-nitrobenzol / 2-Nitroanisol | 91-23-6 | Elko | 600 | 19 |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | ungepolte zylindrische | 8'000 | 49 |
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 3075-84-1 | Mikrowellen | 800'000 | 541 |
| Benzyltoluole | 27776-01-8 | ungepolte zylindrische, Mikrowellen | 46'000 | 467 |
| Di-p-tolyl-methan | 4957-14-6 | Mikrowellen | 5'000 | 3 |
| Phenol | 108-95-2 | Elko | 300 | 6 |
| Summe | | | | 500-5'000 kg/a |

Die Hälfte der berechneten Fracht steuert eine einzelne Substanz aus Mikrowellenkondensatoren bei. Diese Zahl ist wegen der unbekannt Menge von Mikrowellenkondensatoren sehr unsicher. Aufgrund der nötigen Annahmen für die Berechnung zum Jahresfluss von Mikrowellenkondensatoren, dem Flüssigkeitsanteil in den Wickeln von Elektrolytkondensatoren und der Unsicherheit der Konzentrationsbestimmung in der Laboranalyse ist der hier berechnete Fluss nur als Grössenordnung zu interpretieren. Es ergibt sich eine Jahresfracht von mehr als 500 bis weniger als 5000 kg/a.

6.9 Fluss der Kondensatoren-Flüssigkeit im Recyclingprozess

Die Modellierung des Stoffflusses der Flüssigkeiten im Recyclingprozess zeigt exemplarisch, wie sich die Flüssigkeiten auf die Fraktionen verteilen. Der kritische Pfad ist die Kunststoffverwertung, die nicht über einen thermischen Prozess führt, der die bedenklichen Stoffe zerstört. Die Zahlen für diesen Entsorgungsweg sind in den beiden Abbildungen dieses Kapitels in Rot gehalten. Die Flüssigkeit in den Kondensatoren wird in den Abbildungen der Kürze wegen als Fl. abgekürzt.

Zu beachten ist, dass die Berechnung von zwei konservativen Annahmen für Elektrolytkondensatoren ausgeht. Zum einen wird die gesamte Flüssigkeit aus den zerbrochenen Kondensatoren auf die Fraktionen verteilt, zum anderen ist der Gehalt von bedenklichen Stoffen in der Flüssigkeit mit 5 % eher hoch angesetzt. Dies gilt allerdings nicht, wenn es sich bei den Kondensatoren zu einem grossen Teil um Mikrowellenkondensatoren handeln würde. Für diese ist eine vollständige Freisetzung der Flüssigkeit bei Beschädigung sehr wahrscheinlich. In der Laboranalyse wurde zudem ein Anteil der bedenklichen Stoffe von bis zu 80 % festgestellt.

Die Abbildung 23 zeigt die Modellierung für eine angenommene Bruchrate von 15 %. In diesem Szenario gelangen pro Tonne Haushaltskleingeräte, die verarbeitet wird, rund 8 Gramm Kondensatoren-Flüssigkeit in die recycelte Kunststofffraktion. Aus den Laborversuchen kann für die überwiegend Elektrolytkondensatoren von einem Gehalt an bedenklichen Stoffen im einstelligen Prozentbereich ausgegangen werden. Mit einer konservativ geschätzten Annahme von 5 % Gehalt an bedenklichen Stoffen in der Flüssigkeit würden weniger als ein halbes Gramm bedenkliche Stoffe pro Tonne verarbeitete Geräte in die Kunststofffraktion transferiert.

| Behandlungsschritt | Vorentfrachtung | Mech. Verarbeitung EAG-Recycler | Kunststoff-Recycler |
|---|-----------------|---------------------------------|---------------------|
| Input Kondensatoren-Flüssigkeit | 477 g | 381 g | 17 g |
| Erzeugte Fraktionen | | | |
| Fl. in Kondensatoren manuell entfrachtet | 96 g | | |
| Fl. in Kondensatoren sortiert nach Schredder | | 324 g | |
| Flüssigkeit verteilt auf andere Fraktionen durch Bruch | | | |
| Fl. auf Kunststoff zur KS-Verwertung | | 17 g → | |
| Fl. auf Kabeln | | 0.04 g | |
| Fl. auf Leiterplatten | | 0.03 g | |
| Fl. im RESH/Staub zur KVA | | 6 g | 9 g |
| Fl. auf Metallen und Motoren | | 34 g | 0.2 g |
| Fl. auf Batterien und Schadstofffraktionen | | 0.1 g | |
| Fl. auf KS zur stofflichen Verwertung | | | 8 g |
| Flüssigkeit in endgültige Behandlung | | | |
| Fl. entsorgt Hochtemperaturverbrennung | 96 g | 324 g | |
| Fl. entsorgt in KVA | | 6 g | 9 g |
| Fl. entsorgt in ME-Schmelze | | 34 g | 0.2 g |
| Fl. auf Kunststoffen zur stofflichen Verwertung | | | 8 g |
| Gehalt bedenkkl. Stoffe max. ca. 5 % (ohne Mikrowellen-Kond.) | | | 0.4 g |

Abbildung 23: Flussabschätzung der Flüssigkeiten aus PCB-freien Kondensatoren im Elektroaltgeräte-Recycling mit einer Bruchrate von 15 % pro Tonne Input an Haushalt-Elektroaltgeräten

Eine zweite Rechnung wurde für eine Bruchrate von 30 % vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in der Abbildung 24 abgebildet. Pro Tonne Input an Elektro-Haushaltgeräten werden nun etwas weniger als 1 Gramm bedenkliche Stoffe in die Kunststofffraktion transferiert.

| Behandlungsschritt | Vorentfrachtung | → | Mech. Verarbeitung EAG-Recycler | Kunststoff-Recycler |
|---|-----------------|---|---------------------------------|---------------------|
| Input Kondensatoren-Flüssigkeit | 477 g | | 381 g | 34 g |
| Erzeugte Fraktionen | | | | |
| Fl. in Kondensatoren manuell entfrachtet | 96 g | | | |
| Fl. in Kondensatoren sortiert nach Schredder | | | 267 g | |
| Flüssigkeit verteilt auf andere Fraktionen durch Bruch | | | | |
| Fl. auf Kunststoff zur KS-Verwertung | | | 34 g → | |
| Fl. auf Kabeln | | | 0.09 g | |
| Fl. auf Leiterplatten | | | 0.06 g | |
| Fl. im RESH/Staub zur KVA | | | 13 g | 17 g |
| Fl. auf Metallen und Motoren | | | 67 g | 0.3 g |
| Fl. auf Batterien und Schadstofffraktionen | | | 0.2 g | |
| Fl. auf KS zur stofflichen Verwertung | | | | 16 g |
| Flüssigkeit in endgültige Behandlung | | | | |
| Fl. entsorgt Hochtemperaturverbrennung | 96 g | | 267 g | |
| Fl. entsorgt in KVA | | | 13 g | 17 g |
| Fl. entsorgt in ME-Schmelze | | | 67 g | 0.3 g |
| Fl. auf Kunststoffen zur stofflichen Verwertung | | | | 16 g |
| Gehalt bedenkkl. Stoffe max. ca. 5 % (ohne Mikrowellen-Kond.) | | | | 0.8 g |

Abbildung 24: Flussabschätzung der Flüssigkeiten aus PCB-freien Kondensatoren im Elektroaltgeräte-Recycling mit einer Bruchrate von 30 % pro Tonne Input an Haushalt-Elektroaltgeräten

In der Abbildung 25 zeigen wir die Ergebnisse für die Modellierung mit einer Bruchrate von 40 %. Nun werden rund 20 Gramm Flüssigkeit pro Tonne Input in die recycelte Kunststofffraktion transferiert. Für die bedenklichen Stoffe ergibt sich ein Transfer von mehr als 1 Gramm pro Tonne Input.

| Behandlungsschritt | Vorentfrachtung | → | Mech. Verarbeitung EAG-Recycler | Kunststoff-Recycler |
|---|-----------------|---|---------------------------------|---------------------|
| Input Kondensatoren-Flüssigkeit | 477 g | | 381 g | 45 g |
| Erzeugte Fraktionen | | | | |
| Fl. in Kondensatoren manuell entfrachtet | 96 g | | | |
| Fl. in Kondensatoren sortiert nach Schredder | | | 229 g | |
| Flüssigkeit verteilt auf andere Fraktionen durch Bruch | | | | |
| Fl. auf Kunststoff zur KS-Verwertung | | | 45 g → | |
| Fl. auf Kabeln | | | 0.11 g | |
| Fl. auf Leiterplatten | | | 0.08 g | |
| Fl. im RESH/Staub zur KVA | | | 17 g | 23 g |
| Fl. auf Metallen und Motoren | | | 90 g | 0.5 g |
| Fl. auf Batterien und Schadstofffraktionen | | | 0.3 g | |
| Fl. auf KS zur stofflichen Verwertung | | | | 22 g |
| Flüssigkeit in endgültige Behandlung | | | | |
| Fl. entsorgt Hochtemperaturverbrennung | 96 g | | 229 g | |
| Fl. entsorgt in KVA | | | 17 g | 23 g |
| Fl. entsorgt in ME-Schmelze | | | 90 g | 0.5 g |
| Fl. auf Kunststoffen zur stofflichen Verwertung | | | | 22 g |
| Gehalt bedenkli. Stoffe max. ca. 5 % (ohne Mikrowellen-Kond.) | | | | 1.1 g |

Abbildung 25: Flussabschätzung der Flüssigkeiten aus PCB-freien Kondensatoren im Elektroaltgeräte-Recycling mit einer Bruchrate von 40 % pro Tonne Input an Haushalt-Elektroaltgeräten

6.10 Sammelergebnis

6.10.1 Kondensatoren > 2.5 cm in einer Dimension

In Tabelle 67 wird ausgewiesen, wie viele Kondensatoren grösser 2.5 cm in mindestens einer Dimension pro Gerätekategorie gesammelt werden sollten und wie viele effektiv durch die beauftragten Betriebe gesammelt wurden. Die Abbildung 26 zeigt die gesammelten Stückzahlen als Übersicht.

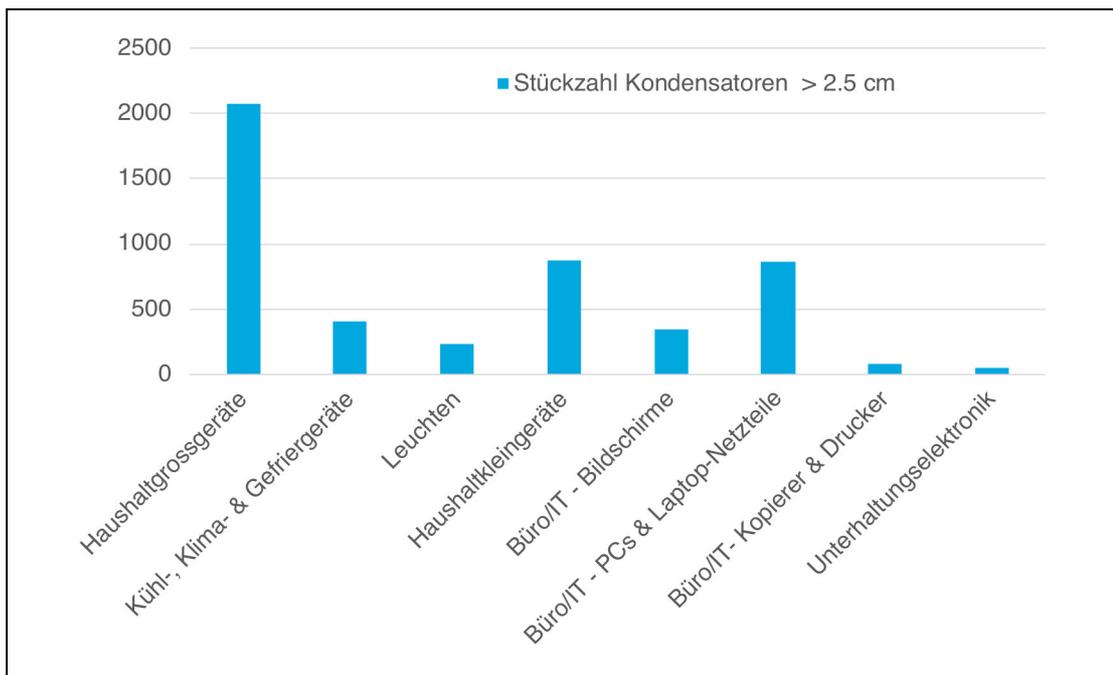


Abbildung 26: Gesammelte Kondensatoren > 2.5 cm pro Gerätekategorie

Für die einzelnen Kategorien ergaben sich teilweise erhebliche Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis. Dies war so zu erwarten. Die Sammelbetriebe konnten nur eine begrenzte Zeit Kondensatoren sammeln und waren dabei auf die angelieferten Geräte angewiesen. Die Stückzahlen der gesammelten Kondensatoren wieder spiegeln den Gerätemix, den die Sammelbetriebe während der Probenahmedauer erhalten haben. In der Summe entspricht das Sammelergebnis weitgehend der Planung. Insgesamt wurden 6 % weniger Kondensatoren gesammelt als geplant, wobei das Sammelergebnis für die Swico-Geräte knapp ein Viertel unter der geplanten Menge blieb. Jedoch wurden zusätzlich rund 11'000 kleinere Al-Eikos gesammelt, wie im folgenden Kapitel dargestellt. Besonders schwierig gestaltete sich die Sammlung grosser Kondensatoren aus Kopierern und Audioelektronik. Für die erste Kategorie blieb das Sammelergebnis 83 % und für die zweite Kategorie 89 % unter der geplanten Menge. Aus Desktop-Computern und Netzteilen wurden hingegen 73 % mehr Kondensatoren gesammelt als geplant. Für die Bildschirme lag das Sammelergebnis 37 % über der Planung. Auch aus Haushaltgrossgeräten konnten deutlich mehr Kondensatoren gesammelt werden als geplant, in diesem Bereich lag die Sammelmenge 38 % über dem Ziel. Schwieriger gestaltete sich die Sammlung von Kondensatoren aus Vorschaltgeräten; das Ziel wurde um 41 % unterschritten. Auch für die SENS-Kleingeräte lag die Sammelmenge unter dem Ziel, in dieser Kategorie um 27 %. Die

Tabelle 67 weist zudem die Gewichte der gesammelten Kondensatoren pro Geräte-kategorie aus. Die Kondensatoren wurden pro Geräte-kategorie während der Bestimmung der Modelle gewogen.

Tabelle 67: Vergleich zwischen Sammelplanung und effektiv gesammelten Kondensatoren

| Geräte-kategorie Systeme | Sammel-kategorie | Geplante Anzahl Kondensatoren > 2.5 cm [Stk.] | Gesammelte Anzahl Kondensatoren > 2.5 cm [Stk.] | Gewicht gesammelte Kond. > 2.5 cm [kg] |
|--|---|---|---|--|
| Haushalt-grossgerä-te | Wasch-maschinen | 1000 | 937 | 96.2 |
| | Geschir-rspü-ler | 400 | 801 | 43.1 |
| | Weitere | 100 | 333 | 24.4 |
| Kühl-gerä-te | Kühl-gerä-te | 400 | 410 | 29.0 |
| Vorschalt-gerä-te aus Leuchten | | 400 | 238 | 26.9 |
| SENS-Klein-gerä-te | Mikrowellen | 400 | 343 | 39.2 |
| | Gerä-te mit Motoren | 400 | 280 | 22.7 |
| | Weitere | 400 | 256 | 10.7 |
| Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 01 | Flach-bildschir-me PC | 250 | 24 | 0.280 |
| | CRT-Bildschir-me PC | | 0 | 0.000 |
| Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 08 | Flach-bildschir-me TV | 250 | 210 | 2.689 |
| | CRT-Bildschir-me TV | | 108 | 1.500 |
| Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 03 | Desktop-Computer inkl. interne Netz-teile | 500 | 589 | 4.407 |
| | Unterbrechungs-freie Strom-versorgung (USV) | | 0 | 0.000 |
| | Externe Netz-teile | | 274 | 3.161 |
| Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 06 | Grosskopier-er | 500 | 46 | 0.515 |
| | Multifunktions-drucker | | 38 | 0.597 |
| Unterhaltungselektronik und Foto / Swico 10 | Audiogerä-te wie Ver-stärker, Radios, Kompak-tanlagen | 500 | 17 | 0.269 |
| | Lautsprecher-boxen mit mindestens 2 Lautspre-chern | | 21 | 0.183 |
| | Videogerä-te (VHS) | | 15 | 0.131 |
| Total | | 5250 | 4940 | 305.9 |
| Total SENS | | 3500 | 3598 | 292.2 |
| Total Swico | | 1750 | 1342 | 13.7 |

6.10.2 Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren kleiner 2.5 cm

Aus den Geräte-kategorien aus dem Sammelsystem des Swico wurden alle Aluminium-Elektrolytkondensatoren entfernt, ungeachtet ihrer Grösse. Für die Auswertungen wurden die gesammelten Kondensatoren dann sortiert in solche mit einer Dimension grösser 2.5 cm und kleinere. Für die kleineren Kondensatoren wurde die Stück-

zahl und das Gewicht pro Gerätekategorie bestimmt. Die gesammelten Kondensatoren kleiner 2.5 cm in allen Dimensionen sind in der folgenden Tabelle 68 dokumentiert.

Tabelle 68: Sammelergebnis der Kondensatoren kleiner als 2.5 cm

| Gerätekategorie Systeme | Sammelkategorie | Summe gesammelt < 2.5 cm [Stk.] | Gewicht gesammelte Kond. < 2.5 cm [kg] |
|--|--|---------------------------------|--|
| Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 01 | Flachbildschirme PC | 404 | 0.337 |
| | CRT-Bildschirme PC | 0 | 0 |
| Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 08 | Flachbildschirme TV | 1'307 | 1.434 |
| | CRT-Bildschirme TV | 1'438 | 0.959 |
| Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 03 | Desktop-Computer inkl. interne Netzteile | 5'979 | 4.729 |
| | Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) | 0 | 0 |
| | Externe Netzteile Laptops | 874 | 1.243 |
| Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 06 | Grosskopierer | 35 | 0.052 |
| | Multifunktionsdrucker | 417 | 0.380 |
| Unterhaltungselektronik und Foto / Swico 10 | Audiogeräte wie Verstärker, Radios, Kompaktanlagen | 345 | 0.176 |
| | Lautsprecherboxen mit mindestens 2 Lautsprechern | 9 | 0.014 |
| | Videogeräte (VHS) | 645 | 0.277 |
| Total | | 11'453 | 9.6 |

6.10.3 Stückzahlen der Kondensatoren aller Grössenklassen im Vergleich

Aus den bereits dargestellten Stückzahlen der Sammlung haben wir die Auswertung gemäss der Abbildung 27 erstellt. Sie zeigt die Stückzahlen der unterschiedlichen Kondensatortypen pro Gerätekategorie. Die Kondensatoren > 2.5 cm wurden in «ungepolte zylindrische Kondensatoren», «Elektrolytkondensatoren» und «Mikrowellenkondensatoren» eingeteilt. Die Kondensatoren < 2.5 cm wurden in «Elektrolytkondensatoren» und «Folien/Keramikkondensatoren» eingeteilt. Letztere Kategorie bezeichnet trockene ungepolte Kondensatoren, die nicht systematisch, sondern irrtümlich zusammen mit den anderen Kondensatortypen entfernt und gesammelt wurden.

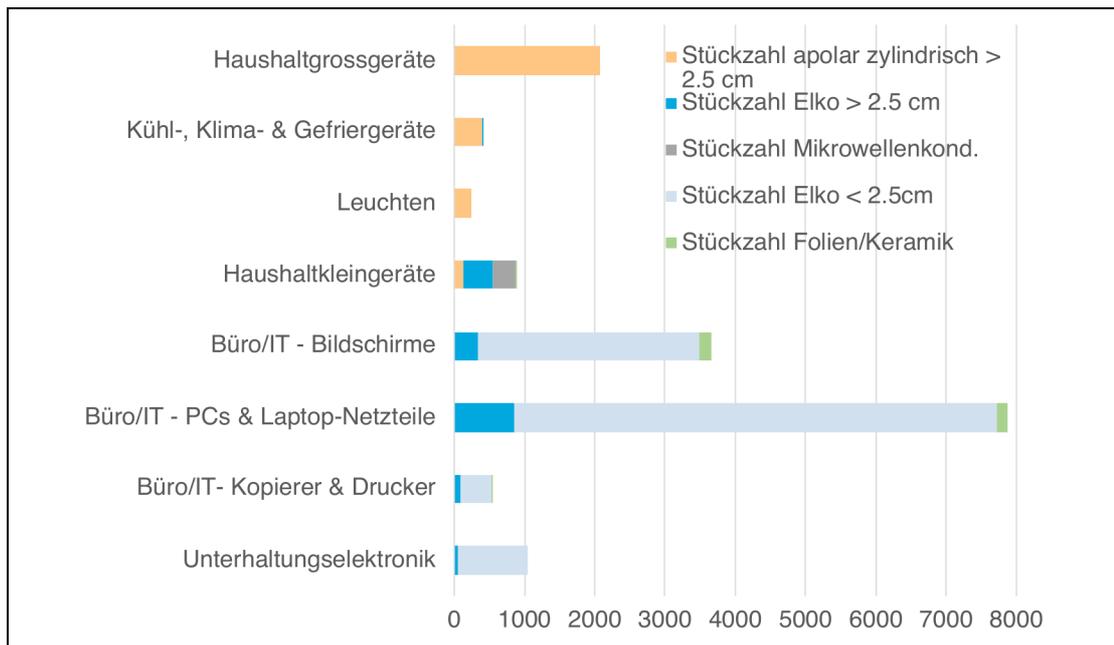


Abbildung 27: Stückzahlen der gesammelten Kondensatorklassen pro Gerätekategorie

6.10.4 Geräte

Für die Swico-Geräte wurde durch den Sammelbetrieb die Anzahl und das Gewicht der Geräte erfasst, aus welchen die Kondensatoren entnommen wurden. Diese Daten sind in der Tabelle 69 wiedergegeben.

Tabelle 69: Anzahl und Gewicht der Geräte, aus welchen die Kondensatoren entfernt wurden

| Nr. | Gerätekategorie Systeme | Sammelkategorie | Anzahl zerlegte Geräte [Stk.] | Gewicht zerlegte Geräte [kg] |
|-----|--|---|-------------------------------|------------------------------|
| 21a | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 01 | Flachbildschirme PC | 15 | 103 |
| 21b | | CRT-Bildschirme PC | 0 | 0 |
| 22a | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 08 | Flachbildschirme TV | 29 | 547 |
| 22b | | CRT-Bildschirme TV | 17 | 349 |
| 23a | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 03 | Desktop-Computer inkl. interne Netzteile | 133 | 804 |
| 23b | | Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) | ca. 20 | nicht bestimmt |
| 23c | | Externe Netzteile Laptops | 219 | 63 |
| 24a | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 06 | Grosskopierer | 2 | 157 |
| 24b | | Multifunktionsdrucker | 17 | 162 |

| Nr. | Geräteklasse Systeme | Sammelkategorie | Anzahl zerlegte Geräte [Stk.] | Gewicht zerlegte Geräte [kg] |
|--------------|---|--|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 25a | Unterhaltungselektronik und Foto / Swico 10 | Audiogeräte wie Verstärker, Radios, Kompaktanlagen | 6 | 28 |
| 25b | | Lautsprecherboxen mit mindestens 2 Lautsprechern | 26 | 171 |
| 25c | | Videogeräte (VHS) | 11 | 28 |
| Total | (ohne USV) | | 475 | 2411 |

7 Diskussion

7.1 Klassierung der Flüssigkeiten in Kondensatoren

7.1.1 Bedenkliche Stoffe

Die Anwendung der gewählten Klassierung aus dem vorhergehenden Kapitel führt zu 19 bedenklichen Substanzen in Flüssigkeiten von Kondensatoren. In dieser Zahl enthalten ist auch die Gruppe der PCB. Für PCB-freie Kondensatoren bleiben somit 18 bedenkliche Stoffe, die in den Kondensatoren zu finden sind, welche heute ins Recycling gelangen. Die Liste dieser Substanzen wird in Tabelle 70 wiedergegeben. Gegenüber der Tabelle im Bericht von 2019 neu dazugekommen ist «Diethylhexylphthalat». «Biphenyl» wurde gegenüber dem Bericht 2019 umklassiert zu einem «möglicherweise bedenklichen Stoff».

Tabelle 70: Bedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nummer | Aufgrund der H-Sätze bedenklicher Stoff | Leicht biologisch abbaubar? | CMR? | Bedenklicher Stoff im Recycling | Vorkommen Kondensatortyp |
|--|------------|---|-----------------------------|------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 1-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline) | 90-13-1 | Ja | Nein | Nein | Ja | ungepolte zylindrische |
| 1-Methoxy-2-nitrobenzol / 2-Nitroanisol | 91-23-6 | Ja | Nein | Ja | Ja | Elko |
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | Ja | Nein | Nein | Ja | ungepolte zylindrische |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | Ja | Nein | Nein | Ja | ungepolte zylindrische |
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 3075-84-1 | Ja | Nein | Nein | Ja | Mikrowellen |
| 2,6-Diisopropyl-naphthalin | 24157-81-1 | Ja | Nein | Nein | Ja | Mikrowellen |
| Benzyltoluole | 27776-01-8 | Ja | Nein | Nein | Ja | ungepolte zylindrische, Mikrowellen |
| Borsäure | 11113-50-1 | Ja | Nein | Ja | Ja | Elko |
| Butylhydroxyanisol | 25013-16-5 | Ja | Nein | Ja | Ja | ungepolte zylindrische |
| Di-p-tolyl-methan | 4957-14-6 | Ja | Nein | Nein | Ja | Mikrowellen |
| Dibutylphthalat | 84-74-2 | Ja | Ja | Ja | Ja | ungepolte zylindrische |

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nummer | Aufgrund der H-Sätze bedenklicher Stoff | Leicht biologisch abbaubar? | CMR? | Bedenklicher Stoff im Recycling | Vorkommen Kondensatortyp |
|--------------------------|------------|---|-----------------------------|------|---------------------------------|--------------------------|
| Diethylhexylphthalat | 117-81-7 | Ja | Ja | Ja | Ja | ungepolte zylindrische |
| Diisobutylphthalat | 84-69-5 | Ja | Ja | Ja | Ja | ungepolte zylindrische |
| Dimethylacetamid | 127-19-5 | Ja | Ja | Ja | Ja | Elko |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | Ja | Ja | Ja | Ja | Elko |
| N-Methylpyrrolidon | 872-50-4 | Ja | Ja | Ja | Ja | Elko |
| Naphthalin | 91-20-3 | Ja | Nein | Ja | Ja | ungepolte zylindrische |
| Phenol | 108-95-2 | Ja | Ja | Ja | Ja | Elko |
| Polychlorierte Biphenyle | 1336-36-3 | Ja | Nein | Nein | Ja | PCB-haltige |

7.1.2 Möglicherweise bedenkliche Stoffe

Für die fünf Substanzen in Tabelle 71 existieren Hinweise, dass sie die Kriterien für bedenkliche Stoffe erfüllen könnten. Die Substanzen werden je nach Hersteller mit unterschiedlichen H-Sätzen klassiert und es existiert keine harmonisierte Klassierung auf europäischer Ebene. Sowohl für Ammoniumpentaborat wie auch für Trioctyltrimellitat deklarieren einige Hersteller den H-Satz 361, «Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen», einige Hersteller deklarieren diesen H-Satz jedoch nicht. Diisodecylphthalat und Diisononylphthalat sind von der Verwendung in Kinderartikeln ausgeschlossen (Anh. XVII REACH). Teilweise deklarieren die Hersteller die H-Sätze 400, 410 oder 411 für Diisodecylphthalat. Ein einzelner Hersteller deklariert H400 für Diisononylphthalat. Einige Hersteller deklarieren wiederum keinen der genannten H-Sätze. Für Diisononylphthalat ergibt die Modellschätzung eine leichte biologische Abbaubarkeit. Aufgrund der Listung im Anh. XVII der REACH-Verordnung (Europäisches Parlament, 2006) wird die Klassierung als «möglicherweise bedenklicher Stoff» jedoch aufrechterhalten. Im Vergleich zum ersten Bericht wird Biphenyl neu als möglicherweise bedenklicher Stoff geführt. Biphenyl ist aufgrund der vertieften Recherche rasch in der Umwelt abbaubar. Gleichzeitig wird es jedoch im REACH-Verfahren als mögliche PBT-Substanz geprüft, wobei die Beurteilung zurückgestellt wurde (ECHA, 2013). Bis zum Vorliegen neuer Erkenntnisse wird Biphenyl darum als verdächtige Substanz im Recycling eingestuft. Das bedeutet, dass die vorliegenden Informationen keine Klassierung als bedenklichen Stoff im Recycling rechtfertigen. Jedoch sollen neue Entwicklungen bei der Beurteilung von Biphenyl im Auge behalten werden.

Tabelle 71: Möglicherweise bedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nummer | Aufgrund der H-Sätze bedenklicher Stoff | Leicht biologisch abbaubar? | CMR? | Bedenklicher Stoff im Recycling | Vorkommen Kondensatortyp |
|-----------------------|------------|---|-----------------------------|------|---------------------------------|--------------------------|
| Ammoniumpentaborat | 12046-04-7 | verdächtig | – | Ja | verdächtig | Elko |
| Biphenyl | 92-52-4 | Ja | Ja | Nein | verdächtig | ungepolte zylindrische |
| Diisodecylphthalat | 26761-40-0 | verdächtig | Nein | Nein | verdächtig | Mikrowellen |
| Diisononylphthalat | 28553-12-0 | verdächtig | Ja | Nein | verdächtig | Mikrowellen |
| Triocetyltrimellitat | 3319-31-1 | verdächtig | – | Ja | verdächtig | Mikrowellen |

7.1.3 Nicht einstuftbare Stoffe

Für die dreizehn Substanzen in Tabelle 72, welche in Flüssigkeiten von Kondensatoren vorkommen, konnte keine Einstufung vorgenommen werden. Für alle aufgeführten Stoffe wurde keine Klassierung mit H-Sätzen gefunden.

Tabelle 72: Substanzen in Flüssigkeiten von Kondensatoren, die nicht eingestuft werden konnten

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nummer | Aufgrund der H-Sätze bedenklicher Stoff | Bedenklicher Stoff im Recycling | Vorkommen Kondensatortyp |
|---|-------------|---|---------------------------------|--------------------------|
| 1,1-Di(4-methylphenyl)ethan | 530-45-0 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 1,1-Diphenylethan, Diarylethan | 612-00-0 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 1,1'-(1-Methylethyliden)bis(4-methylbenzol) | unbekannt | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 1,2-Dimethyl-4-(phenylmethyl)benzol | 13540-56-2 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 1,2,3-Trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin | 26137-53-1 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 1,3,5-Cycloheptatriene, 6-methyl-1-(6-methyl-1,3,5-cycloheptatrien-1-yl)- | unbekannt | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 1,5,6,7-Tetramethyl-3-phenylbicyclo[3.2.0]hepta-2,6-dien | 126584-00-7 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 2-Hydroxyethylbenzoat | 94-33-7 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Elko |
| 2,3,4,4a-Tetrahydro-1 α ,4 β -dimethyl-9(1H)-phenantron | 94571-08-1 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 4-Isopropylbiphenyl | 7116-95-2 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) | 102177-18-4 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |
| 13-Hexyloxacyclotridec-10-en-2-on | 127062-51-5 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | ungepolt zylindrisch |
| Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 18908-70-8 | Einstufung nicht möglich | Einstufung nicht möglich | Mikrowellen |

7.1.4 Unbedenkliche Stoffe

Die Tabelle 73 zeigt alle flüssigen Substanzen in Kondensatoren, die gemäss der entwickelten Klassierung als unbedenklich gelten können.

Die Prüfung der Registrierungsdossiers aller nicht CMR-Substanzen führte lediglich für 1-Dodecen (ECHA, 2017a) und Biphenyl (ECHA, 2017b) zu Angaben über Abbauege in der Umwelt. Beide Substanzen sind gemäss diesen Angaben rasch biologisch abbaubar. Für Biphenyl steht diese Einstufung im Widerspruch dazu, dass es derzeit bezüglich seiner persistenten, bioakkumulativen und toxischen Eigenschaften abgeklärt wird. Biphenyl wurde deshalb in dieser Studie nicht als rasch biologisch abbaubar eingestuft. Die Klassierung im Dossier zu 1-Dodecen lässt sich auch auf 1-Decen anwenden, womit auch dieses als rasch biologisch abbaubar gelten kann. Für 1-Tetradecen und Benzoesäure ergab die Modellschätzung mit EPI Suite (US EPA, 2012), dass sie rasch biologisch abbaubar seien. Dasselbe Ergebnis ergab sich für 1-Decen und 1-Dodecen. Somit sind die genannten vier nicht als CMR eingestufte Substanzen zwar bedenklich, bzw. verdächtig hinsichtlich ihrer H-Sätze, jedoch leicht biologisch abbaubar. Diese Substanzen sind deshalb nicht als bedenklich im Recycling zu beurteilen.

Tabelle 73: Unbedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nummer | Aufgrund der H-Sätze bedenklicher Stoff | Leicht biologisch abbaubar? | CMR? | Bedenklicher Stoff im Recycling | Vorkommen Kondensatortyp |
|------------------------------------|------------|---|-----------------------------|------|---------------------------------|--------------------------|
| 1-Decen | 872-05-9 | Ja | Ja | Nein | Nein | ungepolte zylindrische |
| 1-Dodecen | 112-41-4 | Ja | Ja | Nein | Nein | ungepolte zylindrische |
| 1-Methyl-4-(phenylmethyl)benzol | 620-83-7 | Nein | – | Nein | Nein | Mikrowellen |
| 1-Tetradecen | 1120-36-1 | verdächtig | Ja | Nein | Nein | ungepolte zylindrische |
| 1,1-Di(3,4-dimethylphenyl)ethan | 1742-14-9 | Nein | – | Nein | Nein | Mikrowellen |
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | 88-99-3 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | 121-91-5 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| 2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure | 69-72-7 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| 2,2'-Dimethylbiphenyl | 605-39-0 | Nein | – | Nein | Nein | Mikrowellen |
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | 89-86-1 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| 3-Nitroacetophenon | 121-89-1 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| 4-Nitrobenzylalkohol | 619-73-8 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| 4-Nitrophenol | 100-02-7 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| Benzoesäure | 65-85-0 | Ja | Ja | Nein | Nein | Elko |

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nummer | Aufgrund der H-Sätze bedenklicher Stoff | Leicht biologisch abbaubar? | CMR? | Bedenklicher Stoff im Recycling | Vorkommen Kondensatortyp |
|--|------------|---|-----------------------------|------|---------------------------------|--------------------------|
| Benzylalkohol | 100-51-6 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| Bis(2-ethylhexyl) adipat | 103-23-1 | Nein | – | Nein | Nein | ungepolte zylindrische |
| Bis(7-methyloctyl)phthalat | 20548-62-3 | Nein | – | Nein | Nein | Mikrowellen |
| Butyldiglycol | 112-34-5 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| Diethylamin | 109-89-7 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| Diethylenglycol | 111-46-6 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| Diethylphthalat | 84-66-2 | Nein | – | Nein | Nein | Mikrowellen |
| Dimethylbenzylalkohol | 617-94-7 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| Dinonylphthalat | 84-76-4 | Nein | – | Nein | Nein | ungepolte zylindrische |
| Ethylenglycol, Ethan-1,2-diol, Monoethylenglycol | 107-21-1 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| Rizinusöl | 8001-79-4 | Nein | – | Nein | Nein | ungepolte zylindrische |
| Sojaöl | keine | Nein | – | Nein | Nein | ungepolte zylindrische |
| Triethylamin | 121-44-8 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| γ-Butyrolacton | 96-48-0 | Nein | – | Nein | Nein | Elko |
| (Z)-4-decenal | 21662-09-9 | Nein | - | Nein | Nein | ungepolte zylindrische |

7.2 Bedenkliche Stoffe mit auffälligen Eigenschaften bezüglich der Ökotoxizität

7.2.1 Auffällige Stoffe

Die Analyse der Stoffeigenschaften zeigte einige auffällige Substanzen, die wir bezüglich der Ökotoxizität als am bedenklichsten einstufen. Es sind dies die folgenden Stoffe:

- N-Methylpyrrolidon: Ist vollständig mischbar in Wasser und gleichzeitig die giftigste Substanz für Krustentiere unter den bedenklichen Stoffen im Recycling. Sie hat jedoch auch die tiefste Zündtemperatur aller bedenklichen Stoffe. Dies spricht

- dafür, dass N-Methylpyrrolidon in Prozessen mit erhöhter Temperatur sehr gut zerstört wird.
- Phenol: Ist für Ratten unter allen bedenklichen Stoffen am giftigsten. Das Abbauprodukt Catechol ist krebserregend. Phenol hat die höchste Zündtemperatur aller bedenklichen Stoffe. Siede- und Flammpunkt sind jedoch vergleichsweise tief. Der Stoff wird schon bei 182 °C gasförmig und bereits ab 80 °C bildet sich ein zündfähiges Gasgemisch über dem reinen Stoff. Beides spricht eher für eine gute Zerstörbarkeit in thermischen Prozessen.
 - 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl: Der mithilfe von Modellsoftware (US EPA, 2012) geschätzte Biokonzentrationsfaktor (BCF) gibt einen Hinweis auf eine Bioakkumulierbarkeit des Stoffes. Die Konzentration in Mikrowellenkondensatoren kann hoch sein, in der Laboranalyse wurde sie zu 80% bestimmt. Die Bestimmungsgüte der GCMS-Analyse war jedoch nur mässig (Savi et al., 2019). Es ist also nicht völlig klar, ob die Substanz richtig bestimmt wurde. Zudem sind kaum Stoffeigenschaften bekannt, was eine weitere Einschätzung des Umweltverhaltens verunmöglicht.
 - 2,6-Diisopropylnaphthalin: Der mithilfe von Modellsoftware (US EPA, 2012) geschätzte BCF gibt einen Hinweis auf eine Bioakkumulierbarkeit des Stoffes. Zur Substanz sind sehr wenige Stoffeigenschaften bekannt. 2,6-Diisopropylnaphthalin ist ein Bestandteil des Isomerengemischs der Diisopropylnaphthaline (DIPN). Es wird technisch im grossen Massstab als Lösemittel für Farbstoffe in Durchschreibepapier verwendet (Wikipedia, 2020). Dies ist eine offene Anwendung, die weitaus kritischer einzustufen ist als die Verwendung in Kondensatoren.
 - Benzyltoluole, dieses Gemisch aus p-, m- und o-Benzyltoluol ist sehr giftig für Wasserorganismen und baut sich nur sehr langsam in der Umwelt ab.
 - Vier Stoffe gehören zur Gruppe der Naphthaline (Tabelle 74). Diese sind sehr toxisch für Fische und gemäss Modellschätzung nicht rasch biologisch abbaubar. Naphthalin (CAS-Nr. 91-20-3) ist zudem vermutlich krebserregend.

In den folgenden Kapiteln werden die erwähnten Stoffe pro Kondensatorentyp dargestellt.

7.2.2 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Besonders auffällig in ungepolten zylindrischen Kondensatoren sind bezüglich ihrer Umweltwirkung die bedenklichen Stoffe gemäss Tabelle 74.

Tabelle 74: Bedenkliche Stoffe in ungepolt zylindrischen Kondensatoren mit besonders problematischen Eigenschaften

| Stoffbezeichnung | CAS-Nr. | Besonders kritische Eigenschaft | Zugehörige Parameter |
|---|--|----------------------------------|--|
| Benzyltoluole | 27776-01-8 | Toxizität Wasserorganismen | LC ₅₀ Fisch = 0.3 mg/l EC ₅₀ Krustentiere = 0.4 mg/l |
| | | Nicht biologisch abbaubar | DT ₅₀ > 1 Jahr |
| Naphthaline (Naphthalin, 1-Chlornaphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin) | 91-20-3 90-13-1 90-12-0 91-57-6 | Fischtoxizität | LC ₅₀ Fisch = 2 mg/l LC ₅₀ Fisch = 2.3 mg/l LC ₅₀ Fisch = 9 mg/l LC ₅₀ Fisch = 1.5 mg/l |
| | | Nicht biologisch abbaubar | Modell Epi Suite |
| | | Nur Naphthalin: Krebserregend | H351 Kann vermutlich Krebs erzeugen |

7.2.3 Mikrowellen-Kondensatoren

In Mikrowellen-Kondensatoren wurde 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl als Hauptbestandteil gefunden. Für diese Substanz und zwei weitere schätzen wir die Umweltwirkung als besonders kritisch ein (Tabelle 75).

Tabelle 75: Bedenkliche Stoffe in Mikrowellen-Kondensatoren mit besonders problematischen Eigenschaften

| Stoffbezeichnung | CAS-Nr. | Besonders kritische Eigenschaft | Zugehörige Parameter |
|-------------------------------|------------|---------------------------------|---|
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 3075-84-1 | Möglicherweise bioakkumulierbar | BCF (Modellschätzung) ≈ 3900 |
| | | Nicht biologisch abbaubar | Modell Epi Suite |
| 2,6-Diisopropyl-naphthalin | 24157-81-1 | Möglicherweise bioakkumulierbar | BCF (Modellschätzung) ≈ 4800 |
| | | Nicht biologisch abbaubar | Modell Epi Suite |
| Benzyltoluole | 27776-01-8 | Toxizität Wasserorganismen | LC ₅₀ Fisch = 0.3 mg/l EC ₅₀ Krustentiere = 0.4 mg/l |
| | | Nicht biologisch abbaubar | DT ₅₀ > 1 Jahr |

7.2.4 Elektrolyt-Kondensatoren

Unter den bedenklichen Substanzen erscheinen die Eigenschaften von Phenol und N-Methylpyrrolidon problematischer als die der anderen Stoffe, wie in Tabelle 76 dargestellt.

Tabelle 76: Bedenkliche Stoffe in Elektrolyt-Kondensatoren mit besonders problematischen Eigenschaften

| Stoffbezeichnung | CAS-Nr. | Besonders kritische Eigenschaft | Zugehörige Parameter |
|--------------------|----------|---------------------------------|--|
| N-Methylpyrrolidon | 872-50-4 | Toxizität Krustentiere | LC ₅₀ Krustentiere = 1.2 mg/l |
| Phenol | 108-95-2 | Toxizität Säugetiere | LD ₅₀ oral Ratte = 317 mg/kg |
| | | Krebserregendes Abbauprodukt | Catechol CAS-Nr. 120-80-9 |

7.3 Verhalten der bedenklichen Stoffe im Recyclingprozess

7.3.1 Verhalten der bedenklichen Stoffe in der mechanischen Zerkleinerung

Für die Beurteilung des Stoffverhaltens im Schredder wurde die deutlich erhöhte Temperatur im Schredder berücksichtigt. Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Werkstücke durchgehend erhitzt werden. Auf dem Band nach dem Schredder sind Metallteile deutlich erwärmt. Die Temperatur im Schredder dürfte jedoch nicht wesentlich über 100 °C liegen. Alle bedenklichen Stoffe weisen Siedepunkte über 100 °C auf. Die Zündtemperaturen liegen deutlich über 200 °C für alle bedenklichen Stoffe. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Substanzen den Schredderprozess im Wesentlichen unverändert überstehen. Allenfalls ist

eine teilweiser Übergang von Stoffen mit Siedepunkten unter 200 °C in die Gasphase plausibel.

7.3.2 Verhalten der bedenklichen Stoffe in der KVA

In der Kehrichtverbrennungsanlage ist die Rostverbrennung die üblicher Technologie. Dabei werden Temperaturen von 800-1000 °C erreicht. Die Abfälle in der KVA müssen in der Schweiz so verbrannt werden, dass die Rückstände aus der Verbrennung die Vorgaben der VVEA (Bundesrat, 2015) erfüllen. In der VVEA werden keine Vorgaben zur Verbrennungstemperatur oder der Verweildauer gemacht. Alle verfügbaren Zündtemperaturen der bedenklichen Stoffe lagen im Bereich von 265 bis 595 °C. Somit kann abgeschätzt werden, dass die bedenklichen Stoffe in der Kehrichtverbrennungsanlage verbrennen würden. Damit ist allerdings noch nichts dazu gesagt, ob auch die entstehenden gasförmigen Folgeprodukte in einer KVA sicher ausgefiltert werden können. Es stellt sich ferner die Frage, welche festen Rückstände auftreten würden und wie diese zu beurteilen sind. Zur Beurteilung dieser Fragen haben wir die Kehrichtverbrennung Zürich Oberland beigezogen. Die Abklärungen ergaben, dass die bedenklichen Stoffe in einer KVA nach dem Stand des Wissens ohne Probleme verbrannt werden können, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind (Böni, 2020):

- Die bedenklichen Stoffe liegen als Verunreinigungen auf brennbaren Fraktionen vor.
- Sie sind in einer tiefen Konzentration unter dem Prozentbereich auf den verunreinigten Fraktionen vorhanden.

Für ganze Kondensatoren gilt gemäss KEZO die Einschätzung, dass sie in einer KVA nicht zerstört würden, sondern zu einem grossen Teil mehr oder weniger intakt in die Schlacke transferiert würden (Böni, 2020). Ganze Kondensatoren oder Fraktionen, die solche enthalten, können darum nicht in einer KVA entsorgt werden.

7.4 Flüssige Inhaltsstoffe PCB-freier Kondensatoren

7.4.1 Einleitung

In den Tabellen dieses Kapitels werden die gefundenen Stoffe nach Kondensatortyp geordnet präsentiert. Die Tabellen enthalten alle Stoffe, die in der GCMS-Laboranalyse mit einer hohen Güte analysiert wurden (siehe dazu auch Kapitel 6.2.1). Aus der LCMS-Analyse werden diejenigen Substanzen übernommen, deren Identität bestätigt oder als wahrscheinlich klassiert wurde. Aus der Literaturstudie werden alle als gesichert geltenden Inhaltsstoffe aufgeführt. Die Tabellen weisen in der zweitletzten Spalte aus, ob eine Substanz in der GCMS-, bzw. LCMS-Analyse dieser Studie gefunden wurde oder in der Literatur zuverlässig erwähnt wird. Die letzte Spalte zeigt zudem die Einstufung als bedenklicher Stoff gemäss dem Bewertungsschema aus Kapitel 6.1.

7.4.2 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Die Substanzen in Tabelle 77 wurden in PCB-freien ungepolten zylindrischen Kondensatoren identifiziert. Bei zehn von zwanzig handelt es sich um «bedenkliche Stoffe».

Tabelle 77: Bekannte Inhaltsstoffe in ungepolten zylindrischen Kondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Wie gefunden? | bedenklicher Stoff? |
|--|-------------|--------------------------|---------------------|
| 1-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline) | 90-13-1 | Literatur | Ja |
| 1-Decen | 872-05-9 | Literatur | Nein |
| 1-Dodecen | 112-41-4 | Literatur | Nein |
| 1-Methylnaphthalin | 90-12-0 | Analyse GCMS & Literatur | Ja |
| 1-Tetradecen | 1120-36-1 | Literatur | Nein |
| 2-Methylnaphthalin | 91-57-6 | Analyse GCMS & Literatur | Ja |
| 13-Hexyloxacyclotridec-10-en-2-on | 127062-51-5 | Analyse GCMS | Nein |
| Benzyltoluole (p- und m-) | 27776-01-8 | Analyse GCMS | Ja |
| Biphenyl | 92-52-4 | Literatur | verdächtig |
| Bis(2-ethylhexyl)adipat | 103-23-1 | Analyse GCMS | Nein |
| Butylhydroxyanisol | 25013-16-5 | Literatur | Ja |
| Dibutylphthalat | 84-74-2 | Literatur | Ja |
| Diethylhexylphthalat | 117-81-7 | Analyse GCMS & Literatur | Ja |
| Diisobutylphthalat | 84-69-5 | Literatur | Ja |
| Dinonylphthalat | 84-76-4 | Analyse GCMS | Nein |
| Naphthalin | 91-20-3 | Literatur | Ja |
| Rizinusöl | 8001-79-4 | Literatur | Nein |
| Sojaöl | keine | Literatur | Nein |
| (Z)-4-Decenal | 21662-09-9 | Analyse GCMS | Nein |

7.4.3 Elektrolytkondensatoren

Zusätzlich zu den in Tabelle 78 aufgeführten Substanzen geht aus den Laboranalysen hervor, dass borhaltige Verbindungen vorkommen. Der Borgehalt in den Proben betrug zwischen 0.5-2.5 g/kg, bezogen auf die Masse der Wickel. Dazu passend wird auch in der Literatur Borsäure mehrfach als Inhaltsstoff von Al-Elkos beschrieben.

Tabelle 78: Bekannte Inhaltsstoffe in Elektrolytkondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Wie gefunden? | bedenklicher Stoff? |
|---|----------|---------------|---------------------|
| 1-Methoxy-2-nitrobenzol oder Isomer | 91-23-6 | Analyse GCMS | Ja |
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | 88-99-3 | Literatur | Nein |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | 121-91-5 | Literatur | Nein |
| 2-Ethylhexanol oder ähnliche Verbindung | 104-76-7 | Analyse GCMS | Nein |

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Wie gefunden? | bedenklicher Stoff? |
|--|------------|--|---------------------|
| 2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure | 69-72-7 | Literatur | Nein |
| 2-Hydroxyethylbenzoat | 94-33-7 | Analyse GCMS | verdächtig |
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | 89-86-1 | Literatur | Nein |
| 3-Nitroacetophenon / m-Nitroacetophenon | 121-89-1 | Analyse GCMS | Nein |
| 4-Nitrobenzylalkohol oder Isomer | 619-73-8 | Analyse GCMS | Nein |
| 4-Nitrophenol | 100-02-7 | Analyse GCMS | Nein |
| Ammoniumpentaborat | 12046-04-7 | Literatur | verdächtig |
| Benzoessäure | 65-85-0 | Analyse GCMS | Nein |
| Benzylalkohol | 100-51-6 | Analyse GCMS & Literatur | Nein |
| Borsäure | 11113-50-1 | Literatur (& Bor-Analyse) | Ja |
| Butyldiglycol oder Isomer | 112-34-5 | Analyse GCMS | Nein |
| Diethylamin | 109-89-7 | Analyse LCMS & Literatur | Nein |
| Diethylenglycol | 111-46-6 | Analyse GCMS | Nein |
| Dimethylacetamid | 127-19-5 | Analyse LCMS & Literatur | Ja |
| Dimethylbenzylalkohol | 617-94-7 | Literatur (& Analyse GCMS mässige Übereinstimmung) | Nein |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | Analyse LCMS & Literatur | Ja |
| Ethylenglycol, Ethan-1,2-diol, Monoethylenglycol | 107-21-1 | Literatur | Nein |
| N-Methylpyrrolidon | 872-50-4 | Literatur | Ja |
| Phenol | 108-95-2 | Analyse GCMS | Ja |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | Analyse LCMS & Literatur | Nein |
| Triethylamin | 121-44-8 | Analyse LCMS & Literatur | Nein |
| γ -Butyrolacton | 96-48-0 | Analyse GCMS & Literatur | Nein |

7.4.4 Mikrowellenkondensatoren

Die Analyseergebnisse der Mikrowellenkondensatoren zeigen zahlreiche Biaryle, Diarylalkane oder Arylalkane (Tabelle 79). Diese Stoffe sind in der Literatur wenig ausführlich beschrieben. Bei vielen der festgestellten Stoffe könnten auch Verbindungen mit ähnlichen Absorptionsspektren in der GCMS-Analyse vorliegen. Die Übereinstimmung zwischen den gemessenen Spektren und den Spektren in der Stoffbibliothek sind häufig nur mässig. Die Anwendung der Regel, dass nur Stoffe mit sehr guter Übereinstimmung als bekannt aus der Analyse klassiert werden, würde zu nur sehr wenigen Substanzen führen, die zudem in eher geringen Massenanteilen gemessen wurden. Die Substanzen mit sehr guter Übereinstimmung sind die Benzyltoluole, Ethyl(1-phenylethyl)benzol und 1,1-Diphenylethan. Alle Hauptkomponenten würden aus der Liste entfallen. Da es zweifellos belegt ist, dass die analysierten oder ähnliche

Verbindungen aus den genannten Stoffgruppen vorliegen, werden die Stoffe mit mäßiger Übereinstimmung in die Liste der bekannten Verbindungen für Mikrowellenkondensatoren aufgenommen.

Für einige der gefundenen Stoffe war eine Einstufung nicht möglich, da keine Informationen zur Toxizität der Substanz gefunden werden konnten.

Tabelle 79: Bekannte Inhaltsstoffe in Mikrowellenkondensatoren

| Chemische Bezeichnung | CAS-Nr. | Wie gefunden? | bedenklicher Stoff? |
|---|-------------|--------------------------|--------------------------|
| 1-Methyl-4-(phenylmethyl)benzol | 620-83-7 | Literatur | Nein |
| 1,1-Di(3,4-dimethylphenyl)ethan | 1742-14-9 | Literatur | Nein |
| 1,1-Di(4-methylphenyl)ethan | 530-45-0 | Literatur | Nein, beobachten |
| 1,1-Diphenylethan, Diarylethan | 612-00-0 | Analyse GCMS & Literatur | Einstufung nicht möglich |
| 1,1'-(1-Methylethyliden)bis(4-methylbenzol) oder ähnliche Verbindung | NA | Analyse GCMS | Einstufung nicht möglich |
| 1,2-Dimethyl-4-(phenylmethyl)benzol | 13540-56-2 | Literatur | Einstufung nicht möglich |
| 1,2,3-Trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin oder ähnliche Verbindung | 26137-53-1 | Analyse GCMS | Einstufung nicht möglich |
| 1,3,5-Cycloheptatrien, 6-methyl-1-(6-methyl-1,3,5-cycloheptatrien-1-yl)- oder ähnliche Verbindung | NA | Analyse GCMS | Einstufung nicht möglich |
| 1,5,6,7-Tetramethyl-3-phenylbicyclo[3.2.0]hepta-2,6-dien oder ähnliche Verbindung | 126584-00-7 | Analyse GCMS | Einstufung nicht möglich |
| 2,2'-Dimethylbiphenyl | 605-39-0 | Literatur | Nein |
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl oder ähnliche Verbindung | 3075-84-1 | Analyse GCMS | Ja |
| 2,3,4,4a-Tetrahydro-1 α ,4 $\alpha\beta$ -dimethyl-9(1H)-phenantron oder ähnliche Verbindung | 94571-08-1 | Analyse GCMS | Einstufung nicht möglich |
| 2,6-Diisopropyl-naphthalin | 24157-81-1 | Literatur | Ja |
| 4-Isopropylbiphenyl | 7116-95-2 | Literatur | Nein, beobachten |
| 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) oder ähnliche Verbindung | 102177-18-4 | Analyse GCMS | Einstufung nicht möglich |
| Benzyltoluole (p-, m-, o-) | 27776-01-8 | Analyse GCMS | Ja |
| Bis(7-methyloctyl)phthalat | 20548-62-3 | Literatur | Nein |
| Di-p-tolyl-methan oder Isomer | 4957-14-6 | Analyse GCMS | Ja |
| Diethylphthalat | 84-66-2 | Literatur | Nein |
| Diisodecylphthalat | 26761-40-0 | Literatur | verdächtig |
| Diisononylphthalat | 68515-48-0 | Literatur | Nein |
| Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 18908-70-8 | Analyse GCMS | Einstufung nicht möglich |
| Triocyltrimellitat | 3319-31-1 | Literatur | verdächtig |

7.4.5 Würdigung der Analyseergebnisse

Mit Ausnahme der Mikrowellenkondensatoren gilt für alle GCMS- und LCMS-Analysen, dass die Hauptkomponenten nicht bestimmt werden konnten. Die Hauptbestandteile sind nicht im Gaschromatographen detektierbar. Ein Grund dafür könnten Substanzen mit hohem Siedepunkt sein. Die hoch viskosen Flüssigkeiten, die bei der Probenahme erhalten wurden, sprechen dafür, dass viele wenig flüchtige Stoffe darin enthalten sind. Für Pflanzenöle ist bekannt, dass die Hauptbestandteile nicht in der GCMS-Analyse erscheinen (Maier, 2018).

7.5 Anteil PCB-haltiger Kondensatoren

7.5.1.1 Übersicht

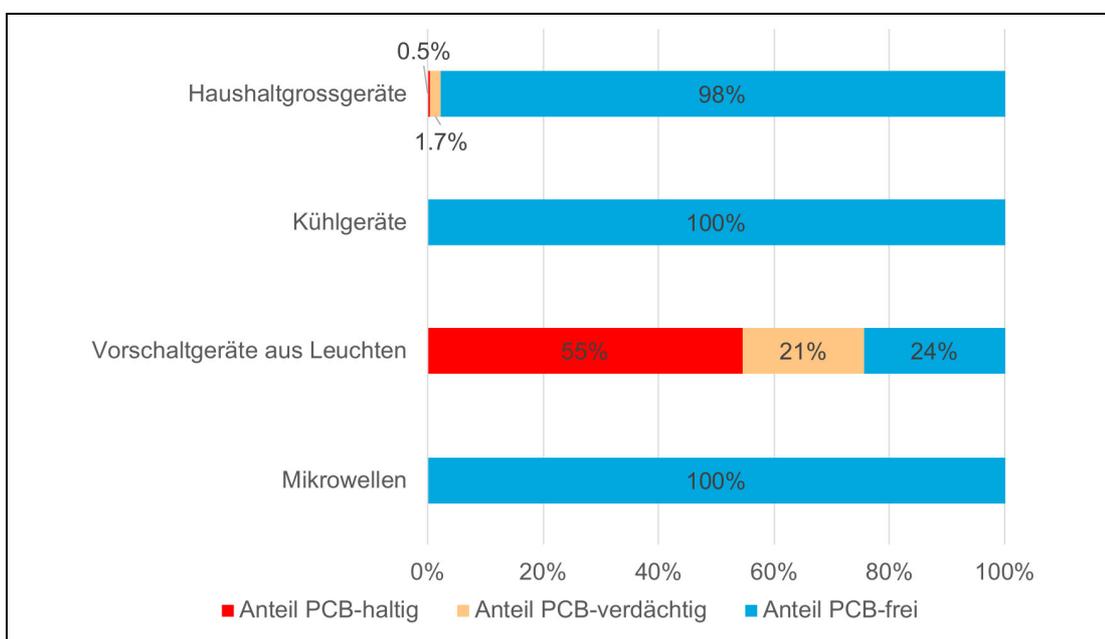


Abbildung 28: Anteile der PCB-haltigen Kondensatoren an den Gerätekategorien in Stück

Die Frage, welcher Anteil von Kondensatoren PCB-haltig ist, betrifft nur die Geräte im SENS-System. Diese bilden den Einsatzbereich der ungelösten zylindrischen Kondensatoren, die mit PCB als Dielektrikum gefüllt sind. Die Abbildung 28 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht, im Folgenden werden die Resultate pro Gerätekategorie diskutiert. Die orangenen Balken zeigen jeweils den Anteil der PCB-verdächtigen Kondensatoren. Dabei handelt es sich um diejenigen Kondensatoren, die nicht als PCB-frei oder PCB-haltig eingestuft werden konnten. Es sind Kondensatoren, die aufgrund ihres Alters PCB enthalten könnten, jedoch nicht im Kondensatorenverzeichnis (Arnet et al., 2011) aufgeführt sind und deren PCB-Gehalt nicht in einer Laboranalyse bestimmt wurde. Die ausgewiesenen Anteile PCB-freier Kondensatoren sind als Minimalwerte zu verstehen. Im optimalen Fall – falls alle als PCB-verdächtig klassierten Kondensatoren effektiv PCB-frei wären – würde der Anteil PCB-freier Kondensatoren bei den Haushaltgrossgeräten 99.5 % und bei den Leuchten 45 % betragen. Die

PCB-Jahresfracht für die Schweiz, die sich aus diesen Zahlen ergibt, wird im Kapitel 6.8.2 abgeschätzt.

7.5.1.2 Haushaltgrossgeräte

In den Haushaltgrossgeräten sind nur noch wenige Kondensatoren vorhanden, die sich mit dem Kondensatorenverzeichnis (Arnet et al., 2011) als eindeutig PCB-haltig klassieren lassen. In der Probe gab es zahlreiche Modelle, welche aufgrund ihres Alters PCB-haltig sein könnten, jedoch nicht im Kondensatorenverzeichnis geführt werden. Ein Teil dieser Kondensatoren wurde im Labor auf den PCB-Gehalt analysiert. Übrig bleiben 1.7 % Kondensatoren, welche aufgrund des Alters als PCB-verdächtig eingestuft werden müssen.

7.5.1.3 Kühl-, Klima- und Gefriergeräte

Alle untersuchten Kondensatoren aus Kühl-, Klima- und Gefriergeräten sind PCB-frei. Nach der Klassierung mithilfe des Kondensatorenverzeichnisses liessen wir alle PCB-verdächtigen Kondensatoren im Labor analysieren. Dabei ergab sich, dass alle untersuchten Kondensatoren PCB-frei waren.

7.5.1.4 Vorschaltgeräte aus FL-Leuchten

Die Kondensatoren aus Vorschaltgeräten sind nach wie vor zu einem grossen Teil PCB-haltig. Das liegt zweifelsfrei am hohen Gerätealter der FL-Leuchten, wenn sie ins Recycling gelangen. Die Repräsentativität der Probe ist gering, da die meisten der ausgewerteten Kondensatoren von einem Recycler stammen, der diese aus wenigen Anlieferungen gewonnen hat. Ein zweiter beauftragter Recycler war technisch nicht in der Lage, die vollständig vom Metallgehäuse umgebenen Kondensatoren aus den Vorschaltgeräten zu entfernen. Dementsprechend konnte nicht bestimmt werden, welche Kondensatoren darin enthalten waren.

Das Ergebnis passt gut zur früheren Auswertung der Kondensatoren aus Leuchten in der Schweiz (Gasser, 2009). Trotz mangelnder Repräsentativität der Probe wird klar, dass der Anteil der PCB-haltigen Kondensatoren aus Vorschaltgeräten nach wie vor bedeutend ist. Es bleibt in der Entsorgung wichtig, dass alle Kondensatoren aus Vorschaltgeräten vor der mechanischen Zerkleinerung entfernt und als Sondermüll entsorgt werden.

7.5.1.5 SENS-Kleingeräte

Unter den gesammelten Kondensatoren waren Modelle, die typischerweise in Vorschaltgeräten eingesetzt werden. Ob diese wirklich aus SENS-Kleingeräten stammten und nicht z.B. aus mobilen Leuchten, konnte nicht geklärt werden. Der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in der Probenahmekategorie der «weiteren Haushaltskleingeräte» von 26 % erscheint unplausibel hoch. Auch der deutlich höhere Wert von 5 % in der Kategorie der «Haushaltskleingeräte mit Motoren» gegenüber dem Wert für Haushaltgrossgeräte ist wenig plausibel. Die Sammlung für diese Gerätekategorie konnte leider mangels Kooperation eines Recyclers, welche diese Gerätekategorie hauptsächlich verarbeitet, nicht in einem Zerlegebetrieb mit grossem Durchsatz an SENS-Kleingeräten durchgeführt werden. Ersatzweise wurde sie bei einem Betrieb durchgeführt, der diese Geräte üblicherweise nicht zerlegt. Für eine gesicherte Aussage über den Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in SENS-Kleingeräten müsste die Sammlung mit einem Betrieb wiederholt werden, der eine korrekte Selektion der Geräte sicherstellen kann.

7.6 Durchschnittsgewichte

7.6.1 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Die Durchschnittsgewichte der Kondensatoren wurden aus der Wägung der Kondensatoren während der Klassierung der Modelle und den gleichzeitig festgestellten Stückzahlen berechnet. In der Tabelle 80 sind alle Ergebnisse aufgeführt. Für die Haushaltgrossgeräte werden die mittleren Gewichte der Teilkategorien wie auch der Mittelwert der Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten insgesamt ausgewiesen.

Tabelle 80: Durchschnittsgewichte der ungepolten zylindrischen Kondensatoren nach Gerätekategorien

| Gerätekategorie | Durchschnittsgewichte ungepolt zylindrische Kondensatoren > 2.5 cm |
|----------------------------|--|
| Geschirrspüler | 53.8 g |
| Waschmaschinen | 102.6 g |
| Weitere HHGG | 73.3 g |
| Haushaltgrossgeräte | 79.0 g |
| Kühlgeräte | 70.7 g |
| Leuchten | 112.8 g |

7.6.2 Elektrolytkondensatoren

Die Durchschnittsgewichte der Elektrolytkondensatoren gemäss Tabelle 81 wurden aus den Daten der Auswertung der Stückzahlen und Gewichte gewonnen. Dabei wurden die Stückzahlen und Gewichte sowohl für Elektrolytkondensatoren mit einer Dimension grösser als 2.5 cm als auch für solche mit allen Dimensionen kleiner als 2.5 cm ermittelt. Die fett gedruckten Zeilen zeigen jeweils die Mittelwerte der darüber normal gesetzten Gerätekategorien.

Tabelle 81: Durchschnittsgewichte der Elektrolytkondensatoren nach Gerätekategorien

| Gerätekategorie | Durchschnittsgewichte Elko > 2.5 cm | Durchschnittsgewichte Elko < 2.5cm |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|
| HKG mit Motoren | 33.8 g | – |
| Weitere HKG | 26.7 g | – |
| SENS-Kleingeräte | 30.2 g | – |
| Flachbildschirme PC | 11.7 g | 0.8 g |
| Flachbildschirme TV | 12.8 g | 1.1 g |
| CRT TV | 13.9 g | 0.7 g |
| Büro/IT - Bildschirme | 13.1 g | 0.9 g |
| Desktop-PC | 7.5 g | 0.8 g |
| Laptop-Netzteile | 11.5 g | 1.4 g |
| Büro/IT - PCs & Laptop-Netzteile | 8.8 g | 0.9 g |
| Kopierer | 11.2 g | 1.5 g |
| Multifunktionsdrucker | 15.7 g | 0.9 g |
| Büro/IT- Kopierer & Drucker | 13.2 g | 1.0 g |
| Audiogeräte | 15.8 g | 0.5 g |
| Lautsprecher | 8.7 g | 1.6 g |

| Gerätekategorie | Durchschnittsgewichte Elko > 2.5 cm | Durchschnittsgewichte Elko < 2.5cm |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Video | 8.7 g | 0.4 g |
| Unterhaltungselektronik | 11.0 g | 0.5 g |

7.6.3 Mikrowellenkondensatoren

Die Durchschnittsgewichte der Mikrowellenkondensatoren wurden durch Wägung der gesammelten Kondensatoren bestimmt und sind in der Tabelle 82 abgebildet.

Tabelle 82: Durchschnittsgewichte der Mikrowellenkondensatoren nach Gerätekategorien

| Gerätekategorie | Durchschnittsgewicht MikrowellenKondensatoren |
|-----------------|---|
| Mikrowellen | 118.1 g |

7.6.4 Geräte

Die Durchschnittsgewichte der Geräte konnten für die Swico-Geräte aus den Versuchsdaten ermittelt werden. Sie sind in der Tabelle 83 aufgelistet. Die Stückzahlen waren für die Gerätekategorien «Grosskopierer» und «Verstärker, Radios, Kompaktanlagen» sehr gering. Darum lässt sich für diese Gerätekategorien kein aussagekräftiges Durchschnittsgewicht angeben. Diese Gerätekategorien werden in der Tabelle 83 nicht aufgeführt.

Tabelle 83: Anzahl und Gewicht der Geräte, aus welchen die Kondensatoren entfernt wurden

| Nr. | Gerätekategorie Systeme | Sammelkategorie | Anzahl zerlegte Geräte [Stk.] | Durchschnittsgewicht Geräte [kg] |
|-----|--|--|-------------------------------|----------------------------------|
| 21a | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 01 | Flachbildschirme PC | 15 | 6.9 |
| 22a | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 08 | Flachbildschirme TV | 29 | 18.9 |
| 22b | | CRT-Bildschirme TV | 17 | 20.5 |
| 23a | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 03 | Desktop-Computer inkl. Netzteile | 133 | 6.0 |
| 23c | | Externe Netzteile Laptops | 219 | 0.286 |
| 24b | Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 06 | Multifunktionsdrucker | 17 | 9.5 |
| 25b | Unterhaltungselektronik und Foto / Swico 10 | Lautsprecherboxen mit mindestens 2 Lautsprechern | 26 | 6.6 |
| 25c | | Videogeräte (VHS) | 11 | 2.5 |

7.7 Gewichtsauswertung Elektrolytkondensatoren in Geräten

7.7.1 Einleitung

Für die Gerätekategorien, die im Swico-System gesammelt werden, wurden die Gewichte aller enthaltenen Aluminium-Elektrolytkondensatoren bestimmt. Zusammen mit den Gewichten der Geräte kann der Gewichtsanteil der Elektrolytkondensatoren in den Geräten bestimmt werden. Allerdings waren die Gerätestückzahlen in einigen Kategorien sehr gering. Die Gewichtsauswertungen werden beschränkt auf Sammelkategorien mit mehr als 10 zerlegten Geräten. Bei kleineren Gerätestückzahlen wäre die Auswertung zu stark von den Einzelgeräten abhängig und könnte nicht mehr als allgemeine Aussage über die Gewichtsanteile interpretiert werden. Die Gerätekategorie der Lautsprecher wird von den Auswertungen ebenfalls ausgenommen, da gemäss den Vorgaben der Autoren nur Lautsprecher mit mehreren Boxen zerlegt wurden, die Kondensatoren > 2.5 cm enthielten. Eine Bestimmung des Gewichtsanteils an den Geräten oder des Verhältnisses zwischen grossen und kleinen Kondensatoren macht damit für die Gruppe der Lautsprecher im Allgemeinen mit den vorhandenen Daten keinen Sinn.

7.7.2 Gewichtsanteile Elektrolyt-Kondensatoren am Gerätegewicht

Die Gewichtsanteile der Kondensatoren ergeben sich aus dem Gewicht der gesammelten Kondensatoren einer Gerätekategorie, geteilt durch das Gewicht der Geräte, aus welchen die Kondensatoren stammen. Es ergeben sich die Anteile gemäss Tabelle 84. Die Resultate zeigen, dass der Anteil der Alu-Elkos für die meisten Gerätekategorien zwischen 0.6 und 1.1 % liegt. Lediglich in den Laptop-Netzteilen macht das Kondensatorenengewicht einen grösseren Anteil von 7 % aus. Für Videogeräte liegt der Anteil mit 1.5 % nur unwesentlich höher als für die Mehrheit der Gerätekategorien. Die Gewichtsanteile der Aluminium-Elektrolytkondensatoren mit einer Länge von über 2.5 cm in mindestens einer Dimension werden in der letzten Spalte ausgewiesen. Diese ist eine Teilmenge der Angaben in der zweitletzten Spalte.

Tabelle 84: Gewichtsanteile der Elektrolyt-Kondensatoren am Gerätegewicht

| Gerätekategorie | Gewichtsanteil Elko aller Grössen an Geräten | Gewichtsanteil Elko > 2.5 cm an Geräten |
|-----------------------|--|---|
| Flachbildschirme PC | 0.6% | 0.3% |
| Flachbildschirme TV | 0.8% | 0.5% |
| CRT TV | 0.7% | 0.4% |
| Desktop-PC | 1.1% | 0.5% |
| Laptop-Netzteile | 7.0% | 5.0% |
| Multifunktionsdrucker | 0.6% | 0.4% |
| Video | 1.5% | 0.5% |

7.7.3 Verhältnis zwischen grossen und kleinen Elektrolytkondensatoren in den Geräten

Für die Aluminium-Elektrolytkondensatoren können die Gewichtsanteile in den Geräten zwischen Kondensatoren, die in einer Dimension grösser als 2.5 cm sind und solchen, die in allen Dimensionen kleiner als 2.5 cm sind, bestimmt werden. Diese Auswertung wird in Abbildung 29 gezeigt.

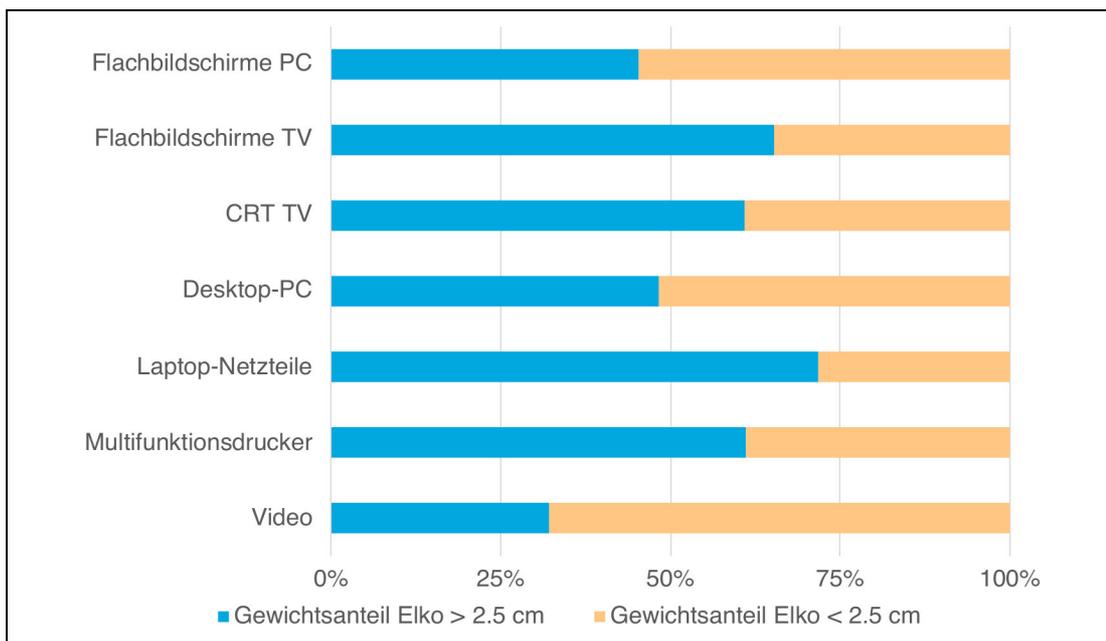


Abbildung 29: Gewichtsanteile der Elektrolytkondensatoren in den Geräten

Es zeigt sich, dass die Elkos grösser 2.5 cm rund die Hälfte des Gesamtgewichts der enthaltenen Kondensatoren ausmachen. Deutlich grösser als 50 % ist ihr Anteil in den Laptop-Netzteilen. Deutlich weniger als 50 % des Gesamtgewichts machten die grossen Elektrolytkondensatoren nur bei den Videogeräten aus.

Das Grössenkriterium wurde eingeführt, um den relevanten Anteil der Kondensatoren aus Geräten auszusortieren bei wirtschaftlich vertretbarem Aufwand. Sollten alle Kondensatoren entfernt werden, würde dies vermutlich zu einem deutlich grösseren Aufwand in der Zerlegung der Geräte führen. Das Verhältnis zwischen grossen und kleinen Elektrolyt-Kondensatoren wird darum in Abbildung 30 mit Bezug zu den Stückzahlen ausgewertet.

Die Auswertung nach Stückzahlen zeigt, dass die Al-Elkos < 2.5 cm 80 % oder mehr an allen Kondensatoren ausmachen. Lediglich bei den Laptop-Netzteilen machen die grossen Al-Elkos etwas mehr als 20 % der Gesamtzahl aus. Die heutigen technischen Vorschriften (SENS et al., 2012) fordern eine Entfrachtung aller Al-Elkos mit einer Dimension grösser als 2.5 cm. Damit erreicht man mit einer Entfrachtung von rund 20 % der Gesamtzahl eine Entfernung von rund 50 % der Gesamtmasse der Aluminium-Elektrolytkondensatoren und damit der darin enthaltenen Schadstoffe.

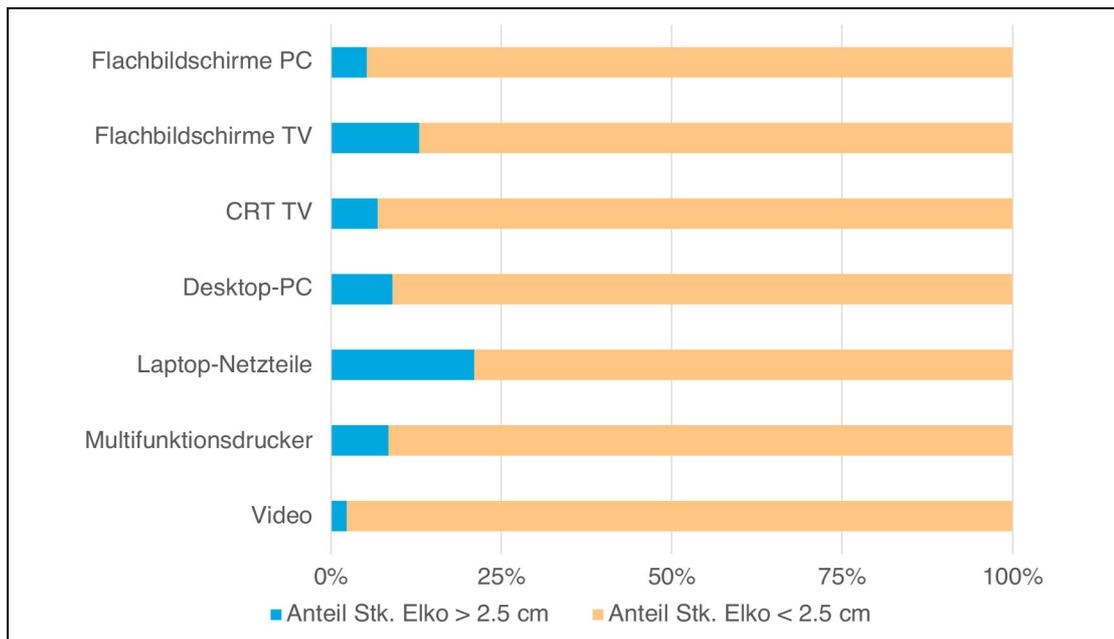


Abbildung 30: Anteile der Elektrolytkondensatoren nach Stückzahlen in den Geräten

7.8 Weitere Interpretationen der Analyseergebnisse

7.8.1 PCB-Gehalte in den Mischproben PCB-freier Kondensatoren

Die Mischproben waren wie erwartet PCB-frei mit Ausnahme der Mischprobe aus den SENS-Kleingeräten. Der PCB-Gehalt dieser Probe wurde auf 38 mg/kg bestimmt. Im Gespräch mit dem Laborleiter (Maier, 2018) konnte ein Analysefehler ausgeschlossen werden. Die Genauigkeit des Ergebnisses beträgt so nahe an der Bestimmungsgrenze nach Schätzung des Laborleiters ca. $\pm 30\%$. Die Mischprobe der SENS-Kleingeräte-Kondensatoren wurde aus 13 Kondensatoren gewonnen. Wenn angenommen wird, dass ein Kondensator in der Probe PCB-haltig war, ergibt sich rechnerisch ein PCB-Gehalt in der Flüssigkeit dieses hypothetischen Kondensators von ca. 500 mg/kg. Es ist aus der Literatur bekannt (Arnet et al., 2011), dass teilweise Hersteller in der Übergangsphase zu PCB-freien Kondensatoren mit PCB-verunreinigte Öle verwendet haben, die entsprechenden Kondensatoren jedoch als PCB-frei deklariert wurden. Der gemessene PCB-Gehalt in der Mischprobe von 38 mg/kg könnte durch einen mit PCB-verunreinigtem Öl gefüllten Kondensator erklärt werden.

7.8.2 Elementaranalysen auf Wolfram und Bor

Die Elementaranalysen auf Wolfram und Bor zeigen, dass Bor in den Kondensatoren vorkommt. Der Massenanteil wurde in der wasserlöslichen Phase bestimmt. Eine Auslösung der Metalle aus der Matrix der Kondensatorenwickel durch die wässrige Extraktion kann ausgeschlossen werden. Es ist wahrscheinlich, dass Bor als gelöstes Element in den Elektrolytkondensatoren vorliegt. Eine umfangreiche Analyse der LCMS-Daten unter Einbezug von Bor als Zielelement führte leider zu keinen Erkenntnissen über mögliche borhaltige Inhaltsstoffe.

7.8.3 Vergleich der Mikrowellen-Proben

Eine Gegenüberstellung der Analyseergebnisse für die Kondensatoren des Herstellers «BiCai» mit den Kondensatoren anderer Hersteller zeigt einige Übereinstimmungen bei den analysierten Substanzen und einige Abweichungen. Vergleiche dazu die Tabelle 85. Die Substanzen sind nach dem höchsten Massenanteil in einer der beiden Proben geordnet. Es zeigt sich, dass die Tetramethylbiphenyle in den Mischungen aller Hersteller die Hauptkomponenten sind. Dabei handelt es sich um Biaryle mit zwei Methylgruppen pro Ring. Die teilweise auf den Mikrowellenkondensatoren deklarierten Diarylalkane kommen hingegen in kleineren Massenanteilen vor. Es ist zu vermuten, dass die Hersteller bei der Deklaration nicht zwischen Biarylalkanen und Diarylalkanen unterscheiden.

Tabelle 85: Vergleichende Darstellung der Analyseergebnisse für Mikrowellen-Kondensatoren

| Substanz | CAS-Nr. | Massenanteil MW BiCai [mg/kg] | Massenanteil MW div. Herst. [mg/kg] |
|---|-------------|-------------------------------------|--|
| 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl oder ähnliche Verbindung | 3075-84-1 | 800000 | 800000 |
| 1,3,5-Cycloheptatrien, 6-methyl-1-(6-methyl-1,3,5-cycloheptatrien-1-yl)- oder ähnliche Verbindung | NA | | 200000 |
| Benzyltoluole (p-, m-, o-) | 713-36-0 | | 46000 |
| 1,2,3-Trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin oder Isomer | 26137-53-1 | 6000 | 30000 |
| 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) oder ähnliche Verbindung | 102177-18-4 | 5000 | 30000 |
| 1,5,6,7-Tetramethyl-3-phenylbicyclo[3.2.0]hepta-2,6-dien oder ähnliche Verbindung | 126584-00-7 | 20000 | |
| 1,1'-(1-Methylethylidene)bis(4-methylbenzol) oder ähnliche Verbindung | NA | 15000 | |
| Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 18908-70-8 | 10000 | 10000 |
| 1,1-Diphenylethan | 612-00-0 | | 7000 |
| Di-p-tolyl-methan oder Isomer | 4957-14-6 | 5000 | |
| 2,3,4,4a-Tetrahydro-1 α ,4a β -dimethyl-9(1H)-phenantron oder ähnliche Verbindung | 94571-08-1 | | 4000 |

8 Schlussfolgerungen

8.1 Neue Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie

Soweit uns bekannt, legen wir die bisher umfangreichste Studie zu den Flüssigkeiten in PCB-freien Kondensatoren aus Elektroaltgeräten vor. Die vorliegende Studie kombiniert Literaturangaben mit eigenen Laboranalysen, um zu einem möglichst umfassenden Bild von gebräuchlichen Flüssigkeiten zu kommen. Die Probenahme für diese Studie war ausserordentlich umfangreich. Insgesamt wurden fast 5'000 Kondensatoren aus allen Gerätekategorien der Rücknahmesysteme für Elektroaltgeräte in der Schweiz gesammelt und klassiert.

Nach unserem Wissen erstmals wurde das Gewicht aller Aluminium-Elektrolytkondensatoren in Elektroaltgeräten der Bereiche IT und Unterhaltungselektronik erfasst. Zudem erfassten wir das Gerätegewicht der gesammelten Geräte. Mit diesen Angaben konnten wir den Anteil der Elektrolyt-Kondensatoren am gesamten Gerätegewicht bestimmen.

Die Flüssigkeitsanteile am Gewicht der Kondensatoren wurden anhand kleiner Stichproben bestimmt. Zudem standen uns die Daten aus der Stoffflusserfassung bei den Elektroaltgeräterecyclern der Schweiz zur Verfügung. Damit konnten die Flüsse bedenklicher Stoffe und der PCB in den Kondensatoren der Elektroaltgeräte bestimmt werden.

Das chemische Verhalten, insbesondere die Stabilität der gefundenen bedenklichen Stoffe wurde in der Literatur recherchiert. Daraus wurden Empfehlungen für den Umgang mit den bedenklichen Stoffe im Recycling abgeleitet. Um zu endgültigen Aussagen zu kommen, die auch für technische Vorgaben nutzbar sind, sind noch weitere Abklärungen nötig.

8.2 Kunststoffe in die Wiederverwertung als kritischer Pfad

Eine umweltfreundliche Entsorgung der bedenklichen Stoffe aus Kondensatoren – mit Ausnahme von PCB – ist für alle Fraktionen sichergestellt, die in eine Kehrlicht-Verbrennungsanlage mit Rauchgasreinigung gehen, falls die Stoffe in geringen Mengen aus den Kondensatoren freigesetzt wurden. Voraussetzung dafür ist die weitgehende Aussortierung der unbeschädigten Kondensatoren in eine eigene Fraktion im Recyclingprozess. Ganze Kondensatoren können in einer KVA nicht aufgeschlossen werden, womit auch die bedenklichen Stoffe nicht zerstört würden.

Aufgrund der ähnlich hohen Temperaturen in der Metallverwertung kann die Einschätzung für die Kehrlichtverbrennung auch auf die Metallverwertung übertragen werden. Die bedenklichen Stoffe stellen also auch in Metallfraktionen, die in eine Schmelze gelangen kein Problem dar, solange es sich um Anhaftungen in geringen Konzentrationen handelt. Voraussetzung ist das Vorhandensein einer Rauchgasreinigung, die dem europäischen Standard (Europäisches Parlament, 2010) entspricht.

Falls Fraktionen in einem kalten Recyclingprozess behandelt werden, können anhaftende bedenkliche Stoffe in die Sekundärprodukte transferiert werden. Für die Vorgaben zur Recyclingpraxis bedeutet dies vor allem, dass sichergestellt werden muss, dass die bedenklichen Stoffe im Recyclingprozess nicht in nennenswerten Konzentrationen in Recyclingkunststoffe gelangen können. Um dies sicherzustellen, müssen Mikrowellen-Kondensatoren vor einer mechanischen Verarbeitung entfernt werden, da sie bedenkliche Stoffe in sehr hohen Konzentrationen bis 80 % enthalten können. Zudem tritt die Flüssigkeit aus Mikrowellenkondensatoren sofort und praktisch vollständig aus, sobald die Hülle im Recyclingprozess verletzt wird.

Für Elektrolytkondensatoren ergeben Modellrechnungen zur Flüssigkeitsverteilung anhand realer Prozessdaten, dass unter folgenden Bedingungen erhebliche Mengen problematischer Stoffe in Sekundärprodukte transferiert werden könnten:

- Die meisten Elektrolyt-Kondensatoren werden nicht manuell vorentfrachtet vor der mechanischen Zerkleinerung.
- In der mechanischen Zerkleinerung treten sehr hohe Bruchraten mit Freisetzung der Flüssigkeiten auf.

Die ergänzenden Technischen Vorschriften zu EN 50625 von SENS und Swico (SENS et al., 2019) legen für die Überwachung der Schadstoffentfrachtung Grenzwerte im Verhältnis zur Inputfraktion fest. Für PCB liegt dieser Grenzwert bei 1 g / Tonne. Wird dieser Grenzwert in Analogie auf die Fracht bedenklicher Stoffe angewendet, so ergibt sich aufgrund der Modellrechnungen (siehe dazu Kapitel 6.8.2) eine zulässige Bruchrate von rund 30 % im Schredderprozess.

Gemäss den Abklärungen in dieser Studie kann für Elektro-Haushaltkleingeräte mit folgenden Massnahmen sichergestellt werden, dass die bedenklichen Stoffe nicht in relevanten Mengen in Sekundärfractionen verschleppt werden:

- PCB-haltige und PCB-verdächtige Kondensatoren müssen vor der mechanischen Zerkleinerung der EAG entfernt werden.
- Mikrowellen-Kondensatoren müssen vor der mechanischen Zerkleinerung der EAG entfernt werden.
- Nicht mehr als 30 % der Kondensatoren dürfen in der mechanischen Zerkleinerung der EAG so zerstört werden, dass die enthaltene Flüssigkeit austritt.

8.3 Flüssigkeitsanteil geringer als bisher gedacht

Der Flüssigkeitsanteil in ungepolten zylindrischen Kondensatoren wurde bisher ausgehend von Expertenschätzungen deutlich höher geschätzt als die nun festgestellten 15 Gew.-%. In Elkos wurden 10-15 % Flüssigkeitsanteil gemessen und in Mikrowellenkondensatoren wurde der Flüssigkeitsanteil auf 10 % bestimmt. Die Ergebnisse sind mit einer grösseren Unsicherheit behaftet, da jeweils nur wenige Modelle für die Bestimmung des Flüssigkeitsanteils ausgewertet wurden.

8.4 Jahresfracht bedenklicher Stoffe

Alle Flüssigkeiten der analysierten Kondensatorkategorien können bedenkliche Stoffe im Sinne der erarbeiteten Definition enthalten. Die festgestellten Massenanteile

waren durchwegs gering. Eine Abschätzung der Jahresfracht bedenklicher Stoffe ergibt eine Grössenordnung von 500-5000 kg/a. Diese Abschätzung ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Dennoch lässt sich feststellen, dass der Gesamtfluss grösser sein dürfte als der Jahresfluss von PCB aus PCB-haltigen Kondensatoren. Jedoch sind PCB deutlich stabiler in der Umwelt einzuschätzen als die nun gefundenen bedenklichen Stoffe.

8.5 PCB-Fracht aus Kondensatoren nach wie vor bedeutend

Haushaltgrossgeräte und Kühlgeräte sind traditionell die wichtigsten Gerätekategorien für die Fracht von PCB-haltigen Kondensatoren. Für die Haushaltgrossgeräte konnte ein Anteil PCB-haltiger Kondensatoren von 0.5 % ermittelt werden. Zusätzlich dazu verbleibt bei den Haushaltgrossgeräten ein Anteil PCB-verdächtiger Kondensatoren von 1.7 %. Eine Laboranalyse aller PCB-verdächtigen Modelle auf ihren PCB-Gehalt würde es erlauben, alle Kondensatoren als PCB-frei oder PCB-haltig zu klassieren. Dieses Vorgehen scheitert jedoch an den unverhältnismässig hohen Kosten. Alle gesammelten Kondensatoren aus Kühlgeräten waren PCB-frei. Dieses Ergebnis ergab sich aus der Kombination der Klassierung und der Analyse aller PCB-verdächtigen Kondensatoren im Labor.

Die Leuchten entwickeln sich immer stärker zur wichtigsten Quelle von PCB im Elektrogeräterecycling. Es zeigte sich ein hoher Anteil von PCB-haltigen Kondensatoren im Bereich von 55 % aller entfrachteter Kondensatoren. Bezüglich der Jahresfracht PCB-haltiger Kondensatoren ist diese Kategorie inzwischen gleich bedeutend wie die Haushaltgrossgeräte. Im Recycling ist das Hauptaugenmerk darauf zu legen, dass die Kondensatoren aus Vorschaltgeräten in Leuchten richtig entfrachtet und als PCB-haltige Kondensatoren entsorgt werden.

Der hohe Anteil von PCB-haltigen Kondensatoren in der Untersuchung der Kondensatoren aus SENS-Kleingeräten ist nicht plausibel. Wir vermuten, dass in der Sammlung der Haushaltskleingeräte auch irrtümlich Vorschaltgeräte aus Leuchten erfasst wurden.

Die PCB-Fracht aus Kondensatoren von ungefähr 300-350 kg/a ist nach wie vor bedeutend, wenn sie mit den modellierten Emissionen in die Luft und mit der Hintergrundkonzentration im Rhein bei Basel verglichen wird:

- Eine aktuelle Modellierung der PCB-Frachten (Glüge et al., 2017), schätzt die PCB-Emissionen der Schweiz in die Luft im Jahr 2020 auf ca. 400 kg/a. Eine solche Modellierung ist auf zahlreiche Annahmen angewiesen. Ihre Genauigkeit sollte nicht überschätzt werden.
- In Weil bei Basel befindet sich die Rheinüberwachungsstation, die vom Kanton Basel Stadt betrieben wird. Gemessen werden unter vielen anderen der Wasserabfluss, Schwebstoffgehalt, und die Masseanteile von acht PCB-Kongeneren (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, PCB-120, PCB-180) im Schwebstoff. Mithilfe dieser Angaben kann die PCB-Fracht im Rhein für das Jahr 2016 auf rund 30 kg/a berechnet werden.

Es wäre nicht zu verantworten, das PCB aus Kondensatoren künftig unkontrolliert zu entsorgen. Damit die PCB-Frachten aus Kondensatoren in den Bereich der Hintergrundkonzentration sinken, müsste der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in Haushaltgrossgeräten um eine weitere Zehnerpotenz abnehmen. Zudem müsste der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in Leuchten auf weniger als 1 % fallen.

8.6 Gewichtsbestimmungen für Kondensatoren in Geräten

Die Untersuchung erlaubt die Bestimmung des Gewichtsanteils von Elektrolytkondensatoren am gesamten Gerätegewicht für Geräte aus den Bereichen der Informationstechnologie und Unterhaltungselektronik. Der Gewichtsanteil der Kondensatoren lag für Bildschirme, PC und Multifunktionsdrucker zwischen 0.6 und 1.1 %. Deutlich höher ist der Anteil in Netzteilen von Laptops mit 7 %.

Bestimmt wurde auch das Gewichtsverhältnis zwischen Elektrolyt-Kondensatoren kleiner 2.5 cm und grösseren. Es beträgt rund 50:50, mit Abweichungen zwischen den Gerätekategorien von rund ± 10 %. Dasselbe Verhältnis bei den Stückzahlen beträgt 80:20, wobei 80 % der Elektrolyt-Kondensatoren kleiner als 2.5 cm waren. Zu beachten ist, dass diese Zahlen nicht auf ungepolte zylindrischen Kondensatoren übertragbar sind. Diese sind fast immer grösser als 2.5 cm in einer Dimension. Kleinere ungepolte Kondensatoren sind fast ausschliesslich Keramik- oder Folienkondensatoren ohne flüssige Inhaltsstoffe.

8.7 Unterscheidung von Kondensatoren nach Herkunft in der Praxis schwierig umsetzbar

Die Schwierigkeiten während der Probenahme für die Studie zeigten deutlich, dass eine getrennte Sammlung von Kondensatoren unterschiedlicher Herkunft schwierig umzusetzen ist. Auch relativ wenige, gut instruierte Zerlegebetriebe und Recycler waren nicht immer in der Lage, die Kondensatoren aus unterschiedlichen Gerätekategorien zuverlässig getrennt zu sammeln. Problemlos verlief die Sammlung bei den Haushaltsgrossgeräten und Kühlgeräten, wo die Entfernung der Kondensatoren der täglichen Praxis entspricht. Für Elektrolytkondensatoren aus Swico-Geräten verlief die Sammlung vorbildlich dank eines Zerlegebetriebs mit ausserordentlich gut geschultem Personal. Der Betrieb führt für Swico die kontinuierliche Warenkorbanalyse durch und ist für die Gerätezerlegung mit Bestimmung der Bauteile sehr gut organisiert. Diese Erfahrung lässt sich jedoch nicht auf durchschnittliche Zerlegebetriebe verallgemeinern. Mikrowellenkondensatoren wurden relativ gut gesammelt, dank der charakteristischen Bauform. Allerdings wurden auch einige falsch sortierte Mikrowellenkondensatoren durch die Berichtsaufsteller umsortiert. Sehr kritisch muss das Ergebnis der Sammlung von Kondensatoren aus SENS-Kleingeräten betrachtet werden. Die gewünschten Auswertungen waren über weite Strecken unsicher oder nicht möglich, da erhebliche Zweifel darüber bestehen, ob alle Kondensatoren tatsächlich aus Kleingeräten stammten und die Sammelmenge sehr gering blieb. Auch die Sammlung von Kondensatoren aus Leuchten verlief in einem von zwei beteiligten Betrieben unbefriedigend. Dieser konnte zwar die gewünschten Vorschaltgeräte aussortieren, war jedoch nicht in der Lage, die Kondensatoren daraus zu entfernen.

Vor diesem Hintergrund sind die Autoren der Ansicht, dass technische Vorschriften über die Entfernung von Kondensatoren im Allgemeinen nicht nach Gerätetypen unterscheiden können, aus welchen die Kondensatoren stammen. Eine Unterscheidung nach Gerätetypen wäre nur denkbar für spezialisierte Betriebe, die nur bestimmte Gerätetypen verarbeiten.

8.8 Chemisch-analytische Resultate

Die chemisch-analytische Bestimmung der Hauptkomponenten gelang für die Mikrowellenkondensatoren. Die Analyseergebnisse für die Mischproben aus ungepolten zylindrischen Kondensatoren wurden dadurch durch ein Kohlenwasserstoffgemisch. Die Untersuchung von fünf Einzelmodellen ergab, dass ein Teil der ungepolten zylindrischen Kondensatoren mit Gemischen auf Mineralölbasis und ein anderer Teil mit Gemischen auf Basis von Pflanzenöl gefüllt sind. Bei den Kondensatoren auf Mineralölbasis bleibt unklar, ob die bestimmten Einzelstoffe aus dem Mineralölgemisch stammen oder zusätzlich zugegeben wurden. Alle bestimmten Massenanteile in den Flüssigkeiten aus ungepolten zylindrischen Kondensatoren liegen unter 2 %.

Für die Elektrolytkondensatoren beziehen sich die Analyseergebnisse auf das Gewicht des Kondensatorwickels. Anhand der Totalzerlegung eines Elektrolytkondensators lässt sich abschätzen, dass die Flüssigkeit etwa ein Sechstel des Wickelgewichts ausmacht. Eine grobe Umrechnung der Massenanteile mit dem Faktor sechs zeigt, dass die Massenanteile der festgestellten Stoffe in der Flüssigkeit der Mischproben auch für die Al-Elkos durchwegs unter 2 % liegen.

8.9 Genauigkeit und Repräsentativität der Ergebnisse

Die Probenahme kann für die Gerätekategorien Haushaltgrossgeräte, Kühlgeräte, Bildschirme, Desktop-Computer und externe Netzteile als repräsentativ für den Schweizer Rücklauf angesehen werden. Der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in Haushaltgrossgeräten konnte mit einer Genauigkeit von weniger als einem halben Prozent bestimmt werden. Die gesammelten Elektrolytkondensatoren aus Flachbildschirmen, Desktop-Computern und externen Laptop-Netzteilen ergeben eine umfangreiche und repräsentative Stichprobe der vorhandenen Kondensatormodelle. Die Gewichtsverteilung grosser und kleiner Elektrolytkondensatoren wie auch der Gewichtsanteil der Elektrolytkondensatoren an den gesammelten Geräten konnte zuverlässig bestimmt werden.

Für die Gerätekategorie der Leuchten wurde der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren mit einer statistischen Ungenauigkeit von 5 % bestimmt, wobei die nicht repräsentative Probenahme dem Ergebnis einen zusätzlichen Fehler unbekannter Grösse verleiht. Für SENS-Kleingeräte verlief die Sammlung nicht optimal. Das Ergebnis bezüglich des PCB-Gehalts der enthaltenen Kondensatoren kann nicht als repräsentativ eingestuft werden. Bei den Swico-Geräten waren die Sammelmengen für Audiogeräte, Videogeräte und Grosskopierer zu gering, um von einer repräsentativen Probenahme zu sprechen.

Für die Bestimmung der Inhaltsstoffe in PCB-freien Kondensatoren können keine Konfidenzintervalle angegeben werden. Aus der umfangreichen Sammlung konnten acht Mischproben und fünf Einzelproben im Labor analysiert werden. Es konnten lediglich wenige Spurenstoffe identifiziert werden. Die Hauptkomponenten der Mischungen blieben mit Ausnahme der Mikrowellenkondensatoren unbekannt. Trotz des verhältnismässig geringen Erkenntnisgewinns aus der chemischen Analyse konnten in Kombination mit den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche Aussagen zum Vorkommen von bedenklichen Stoffen in allen Kondensatortypen getroffen werden.

9 Empfehlungen

9.1 Definition «bedenkliche Stoffe»

Der Begriff der bedenklichen Stoffe stammt aus der WEEE-Direktive (Europäisches Parlament, 2012), wird darin oder in der EU-Legislation jedoch nicht definiert. Die vorliegende Studie definiert den Begriff anhand der H-Sätze der Substanzen gemäss der CLP-Verordnung (Europäisches Parlament, 2008). Wir empfehlen eine Liste von H-Sätzen, welche eine Substanz als «bedenklichen Stoff» in Kondensatoren im Sinne der WEEE-Direktive qualifizieren sollen. Diese Liste umfasst die H-Sätze gemäss Tabelle 86. Falls eine Flüssigkeit mit einem der aufgeführten H-Sätze deklariert ist, soll sie als «bedenklicher Stoff» gelten. Zur Herleitung der Liste verweisen wir auf das Kapitel 6.1. Unabhängig von der Klassierung mit H-Sätzen gelten «sehr bedenkliche Stoffe» gemäss REACH-Verordnung (Europäisches Parlament, 2006) sowie gemäss ChemRRV (Schweizerischer Bundesrat, 2017) in Kondensatoren verbotene Stoffe immer als «bedenkliche Stoffe» im Recycling.

Tabelle 86: Liste der H-Sätze, welche eine Substanz als bedenklichen Stoff qualifizieren

| H-Satz | Gefährdung |
|--------|--|
| H300 | Lebensgefahr bei Verschlucken |
| H310 | Lebensgefahr bei Hautkontakt |
| H330 | Lebensgefahr bei Einatmen. |
| H340 | Kann genetische Defekte verursachen |
| H341 | Kann vermutlich genetische Defekte verursachen |
| H350 | Kann Krebs erzeugen |
| H351 | Kann vermutlich Krebs erzeugen |
| H360D | Kann das Kind im Mutterleib schädigen |
| H360FD | Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen. |
| H360Df | Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. |
| H361 | Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen |
| H361d | Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen |
| H370 | Schädigt die Organe |
| H372 | Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition |
| H400 | Sehr giftig für Wasserorganismen |
| H410 | Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung |
| H411 | Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung |

9.2 Auffälligste Substanzen als Leitsubstanzen für Analysen

Für die praktische Überwachung der Qualität in Recyclingverfahren sind kostengünstige Analysen der kritischen Fraktionen von grossem Interesse. Vier die identifizierten sechs bedenklichen Stoffe oder Stoffgruppen mit auffälligen Eigenschaften (Kap. 7.2.1) könnten dafür als Leitsubstanzen verwendet werden. Es sind dies die folgenden:

- N-Methylpyrrolidon
- Phenol
- Benzyltoluole (Gemische aus p-, m- und o-Benzyltoluol)
- Naphthaline (Stoffgruppe)

Zum Beispiel könnten die Konzentrationen dieser Leitsubstanzen in Kunststofffraktionen in eine stoffliche Verwertung regelmässig geprüft werden. Für ein praxistaugliches Prüfkonzept empfehlen wir die Klärung folgender Fragen:

- Welche Analyseverfahren sind für die aufgeführten Stoffe geeignet?
- Welches sind die Bestimmungsgrenzen der Analyseverfahren?
- Wie hoch sind die Kosten dieser Analysen?
- Was sind die Anforderungen an die Probenahme und -lagerung?

9.3 Vorentfrachtung vor der mechanischen Verarbeitung nötig für PCB-haltige- und Mikrowellen-Kondensatoren

Die Ergebnisse der Abklärung der Stoffeigenschaften in der Umwelt und in Entsorgungsprozessen, die Frachtbetrachtung zu PCB in Kondensatoren, sowie der Stofffluss der Flüssigkeiten aus Kondensatoren im Recyclingprozess zeigen auf, dass PCB-haltige Kondensatoren und Mikrowellenkondensatoren vor einer mechanischen Verarbeitung aus den Geräten entfernt werden müssen.

Da es in der Praxis nicht möglich sein dürfte, PCB-haltige von PCB-freien Kondensatoren zu unterscheiden, bedeutet diese Regelung, dass alle ungepolten zylindrischen Kondensatoren mit einer Höhe grösser 25 mm oder einem Durchmesser von mehr als 25 mm oder einem proportional ähnlichen Volumen vor der mechanischen Verarbeitung aus Haushaltgrossgeräten und Leuchten entfernt werden müssen.

Aus SENS-Haushaltkleingeräten können Elektrolytkondensatoren nach der mechanischen Verarbeitung in einen eigenen Strom abgetrennt werden, falls die Kondensatoren zum grössten Teil nicht zerstört werden. Eine Bruchrate von maximal 30 % erscheint aufgrund der Modellrechnungen als unproblematisch bezüglich der möglichen Emissionen in die Umwelt und Verschleppung der Stoffe in Sekundärprodukte. Diese Vorgabe sollte vor der Umsetzung in einer technischen Vorschrift noch durch weitere Modellrechnungen besser abgestützt werden.

9.4 Regel zur Entfernung aller Kondensatoren mit Flüssigkeiten

Ungeachtet der Ergebnisse weiterer Untersuchungen über die Freisetzung und die Verteilung der festgestellten bedenklichen Stoffe im Recycling besteht im Entfernungsgebot der CENELEC-Norm EN 50625-1, den technischen Vorschriften von

Swico und SENS (SENS et al., 2012) und dem Anhang VII der WEEE-Direktive (Europäisches Parlament, 2012) eine Lücke bei den PCB-freien Kondensatoren, die geschlossen werden sollte. Erfasst werden lediglich Elektrolyt-Kondensatoren, die bedenkliche Stoffe enthalten über einer Mindestgrösse. Die Einschränkung auf Elektrolyt-Kondensatoren ist gemäss den Resultaten der vorliegenden Studie nicht gerechtfertigt. Vielmehr sollte sich die Entfernungsvorschrift auf alle Kondensatoren beziehen, die flüssige bedenkliche Stoffe enthalten.

Ein Blick auf den europäischen Kontext zeigt, dass auch die WEEELabex-Organisation die Vorschrift zur Entfernung von Kondensatoren ähnlich auslegt. Der WEEELabex-Standard (WEEELabex, 2013) erweitert das Entfernungsgebot auf «Kondensatoren, die mineralische oder synthetische Öle enthalten». Diese Vorgabe kann aus Sicht der Autoren dieser Studie soweit vereinfacht werden, dass die Entfernung aller Kondensatoren gefordert wird, die Flüssigkeiten enthalten.

Wir empfehlen deshalb, das Entfernungsgebot wie folgt neu zu formulieren:

«Kondensatoren müssen aus Elektroaltgeräten entfernt werden, wenn mindestens eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Es sind Kondensatoren, die flüssige bedenkliche Stoffe enthalten (Höhe > 25 mm; Durchmesser > 25 mm oder ähnliches Volumen).
- Es handelt sich um Kondensatoren, die polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten.»

Wenn alle Kondensatoren über der Mindestgrösse aus den Geräten entfernt werden, kann bei den ungepolten zylindrischen Kondensatoren davon ausgegangen werden, dass nahezu 100 % der Flüssigkeiten aus den Geräten entfernt werden, da kleine ungepolte Kondensatoren trockene Bautypen sind. Bei den Elektrolytkondensatoren werden jedoch nur rund 50 % der Flüssigkeiten entfernt, wenn die Kondensatoren über der Mindestgrösse entfernt werden (siehe dazu Abbildung 29). Die Autoren konnten keinen Konsens darüber erreichen, ob auch das Grössenkriterium fallen gelassen werden sollte, um alle Flüssigkeiten der Elektrolytkondensatoren zu erfassen.

9.5 Weitere Modellrechnungen zum Flüssigkeitsfluss im Recycling für Haushaltgrossgeräte und Swico-Geräte

Die Analyse der flüssigen Inhaltsstoffe PCB-freier Kondensatoren und die Literaturrecherche zeigen, dass in PCB-freien Kondensatoren «bedenkliche Stoffe» im Sinne der in der vorliegenden Arbeit entwickelten Definition vorkommen. Die gefundenen Stoffe sind im Kapitel 7.2 detailliert dargestellt. Bedenkliche Stoffe traten in allen untersuchten Kondensatorkategorien auf, sowohl in ungepolten zylindrischen Kondensatoren, Elektrolyt-Kondensatoren als auch Mikrowellenkondensatoren.

In dieser Studie wurden Modellrechnungen zur Verteilung der Flüssigkeit aus Kondensatoren unter der Annahme unterschiedlicher Bruchraten für das Recycling von Haushalt-Elektrokleingeräten vorgenommen. Solche Modellrechnungen sollten auch für das Recycling von Haushalt-Grossgeräten und Swico-Geräten vorgenommen werden. Die zulässige Bruchrate könnte dann auch für diese Gerätekategorien in derselben Weise hergeleitet werden, wie sie in dieser Studie für SENS-Haushaltkleingeräte vorgenommen wurde. Aus den Ergebnissen könnte dann eine belastbare Vorgabe für technische Vorschriften formuliert werden.

9.6 Weitere Untersuchungen zur Freisetzung und Verteilung bedenklicher Stoffe im Recycling

Eine Entfernung der Kondensatoren in einen unterscheidbaren Strom ist gemäss CENELEC-Norm für PCB-freie Kondensatoren mit bedenklichen Stoffen notwendig. Damit definiert werden kann, welche Behandlungstechnologien eine solche Sortierung der bedenklichen Stoffe in einen unterscheidbaren Strom leisten können, sind Untersuchungen zum Freisetzungs- und Verteilungsverhalten der gefundenen bedenklichen Stoffe im Recyclingprozess notwendig. Es stellen sich folgende Fragen, die geklärt werden sollten:

- Werden die bedenklichen Stoffe aus Kondensatoren bei der mechanischen Verarbeitung freigesetzt?
- Wie verteilen sich freigesetzte bedenkliche Stoffe auf die Fraktionen und die Umgebungsluft?
- Welche Massnahmen gewährleisten, dass Kondensatoren in einen unterscheidbaren und kontrollierten Strom separiert werden?

9.7 Analyse bedenklicher Stoffe in Kunststoffen zur Verwertung

In den Modellrechnungen zum Stofffluss der Flüssigkeiten aus Kondensatoren im Recyclingprozess wurde die Verwertung von Kunststoffen als kritischer Pfad für bedenkliche Stoffe aus Kondensatoren identifiziert. Im Rahmen einer Folgestudie sollten die Anhaftungen von bedenklichen Stoffe auf Kunststofffraktionen in die Verwertung analytisch bestimmt werden. Dies sollte für Recycler geschehen, die heute bereits grosse Anteile von Kondensatoren nach dem Schredder aussortieren und deren Prozesse relativ hohe Bruchraten aufweisen. Zudem sollte mit Kunststoffrecyclern abgeklärt werden, ob und wie die identifizierten bedenklichen Stoffe durch die Kunststoffrecycler überwacht werden, bzw. werden könnten.

10 Literatur

- R. S. Alwitt (21. Juni 1977) *Patent-Nr.: US4031436*.
- R. Arnet, E. Kuhn & U. Näf (Mai 2011) *Kondensatoren-Verzeichnis*. chemsuisse, Kantonale Fachstellen für Chemikalien.
- D. Böni (3. Februar 2020) *Persönliche Mitteilung, Betriebsleiter KEZO Hinwil*.
Bundesrat *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA)* (2015).
- A.-C. Chappot & M. Eugster (Januar 2007) *PCB in Kleinkondensatoren aus elektrischen und elektronischen Geräten*. Zürich: Technische Kontrollstellen SENS und SWICO.
- Eawag (2019) *Biocatalysis/Biodegradation Database*. Dübendorf, Switzerland: eawag. Abgerufen von <http://eawag-bbd.ethz.ch/>
- T. Ebel (8. August 2002) *Patent-Nr.: WO2002061775A1*.
- ECHA (2016) *C&L Inventory*. Abgerufen von <http://www.echa.europa.eu>
- ECHA (Hrsg.) (2017a) *Registration Dossier - 1-Dodecen*. European Chemicals Agency, Brussels. Abgerufen von <https://www.echa.europa.eu/web/guest/registration-dossier/-/registered-dossier/15280>
- ECHA (Hrsg.) (2017b) *Registration Dossier - Biphenyl*. European Chemicals Agency, Brussels. Abgerufen von <https://www.echa.europa.eu/web/guest/registration-dossier/-/registered-dossier/14948>
- ECHA (12. März 2020) *Substance Infocard - Biphenyl*. Homepage European Chemicals Agency. Abgerufen 12. März 2020, von <https://www.echa.europa.eu/web/guest/substance-information/-/substanceinfo/100.001.967>
- eco-systèmes (Hrsg.) (Juni 2012) *Study on the analysis of PCB and other potentially hazardous substances found in capacitors*. Eco-systèmes, 12, place de la Défense - 92400 Courbevoie. Abgerufen von www.eco-systemes.fr
- EU (Hrsg.) (2016) *EUR-Lex Advanced Search*. European Union. Abgerufen von <http://eur-lex.europa.eu>
- M. Eugster (10. Oktober 2007) *Substanzverzeichnis Kondensatoren Eugster erweitert um Mikrowellenkondensatoren*. nicht publiziert.
- M. Eugster, A.-C. Chappot & U. Kasser (November 2007) *PCB in Kleinkondensatoren aus Elektro- und Elektronikgeräten*. Zürich: Technische Kontrollstellen SENS und SWICO.
- M. Eugster, A.-C. Chappot & U. Kasser (2008) *PCB's in Small Capacitors from Waste Electrical and Electronic Equipments* (September). Zürich: SENS, SWICO, SLRS.
- Europäisches Parlament *Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik*, Pub. L. No. RICHTLINIE 2000/60/EG (2000).
- Europäisches Parlament *Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, 1907/2006* (2006).
- Europäisches Parlament *Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung*

und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, 1272/2008 Verordnung (2008).

Europäisches Parlament *Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)* (2010).

Europäisches Parlament *Richtlinie 2012/19/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte*, 2012/19/EU (2012).

European Commission (2003) *Naphthalene Risk Assessment Final Report UK* (33). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

European Parliament *Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)*, 2012/19/EU (2012).

J. W. Eustance (5. Juni 1970) *Patent-Nr.: DE 1 589 828*.

J. Falbe & M. Regitz (Hrsg.) (1992) *Römpf Chemielexikon* (9., erweiterte und neubearbeitete Auflage.). Stuttgart, New York: Thieme.

D. Gasser (2009) *Pilotzerlegung Fluoreszenz-Leuchten*. Zürich: Stiftung SENS, Obstgartenstrasse 28, 8006 Zürich.

R. Gloor (10. April 2007) *Untersuchungsbericht Kleinkondensatoren aus Mikrowellengeräten, Zusatzbericht zur Quantifizierung der Hauptkomponenten*. Schlieren: Bachema AG, Analytische Laboratorien.

J. Glüge, C. Steinlin, S. Schalles, L. Wegmann, J. Tremp, K. Breivik, ... C. Begdal (2017) *Import, use, and emissions of PCBs in Switzerland from 1930 to 2100*. PLoS ONE, 12(10). Abgerufen von <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183768>

B. A. F. in 't Groen (2013) *Polychloorbifenylyls (PCBs) in the Dutch e-waste stream* (74101765-CES/IPT 12-3248). Arnhem: KEMA Nederland B.V.

A. Güntner & O. Baur (10. Januar 1991) *Patent-Nr.: DE 3930310 C1*.

J. E. Hand (24. März 1970) *Patent-Nr.: US 3 502 947*.

E. Hering, K. Bressler & J. Gutekunst (2014) *Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler* (6. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer.

IFA (Hrsg.) (2016) *GESTIS-Stoffdatenbank*. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Abgerufen von gestis.itrust.de

P. Jay & G. Schwachhofer (26. April 1979) *Patent-Nr.: AU512577*.

H. Kuchling (1996) *Taschenbuch der Physik* (16. Auflage.). Leipzig: Fachbuchverlag.

U. Maier *Persönliche Mitteilung* (2018). Bachema AG, Analytische Laboratorien, Rütistr. 22, 8952 Schlieren, Schweiz.

D. M. Mauro & M. S. Young (1999) *Non-PCB Capacitor Fluids Used in the Power Industry: Chemical Composition and Dissolution Characteristics*. Electric Power Research Institute EPRI, Palo Alto, CA, and Bonneville Power Administration.

Mundorf (2016) *Über die Vorteile der MLYtic-Technologie*. Abgerufen von http://www.mundorf.com/de/?category=hifi&menu=caps_power&content=mlytic

R Development Core Team (2018) *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

D. Rasch, J. Pilz, R. Verdooren & A. Gebhardt (2011) *Optimal Experimental Design with R*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.

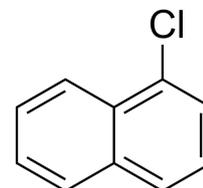
S. Ruckstuhl & U. Maier *Personal communication* (2018).

- A. Sato, I. Shimizu & E. Matsuzaka (20. November 1979) *Patent-Nr.: 4 175 278*.
- D. Savi (16. Januar 2018) *Analyse von Kondensatoren kleiner 2.5 cm auf PCB* (nicht veröffentlicht). Zürich: Büro für Umweltchemie.
- D. Savi, U. Kasser & R. Widmer (2019) *Flüssigkeiten in Kondensatoren, Bestimmung von Flüssigkeiten in elektrischen Kondensatoren mit Definition und Zuordnung von bedenklichen Stoffen*. Stiftung SENS, Obstgartenstrasse 28, 8006 Zürich; Swico, Lagerstrasse 33, 8004 Zürich.
- J. G. D. Schulz, A. Onopchenko & W. A. Kofke (14. Oktober 1980) *Patent-Nr.: US 954 592*.
- Schweizerischer Bundesrat *ChemPICV* (2016).
- Schweizerischer Bundesrat *Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV, 814.81* (2017).
- SENS & Swico (Hrsg.) (4. Dezember 2019) *Ergänzende technische Vorschriften von Sens und Swico zur SN EN 50625 Serie*. Stiftung SENS, Obstgartenstrasse 28, 8006 Zürich; Swico Recycling, Lagerstrasse 33, 8004 Zürich.
- SENS & Swico Recycling (Hrsg.) (2012) *Technische Vorschriften zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten*. SENS & Swico Recycling, Zürich.
- V. Shedigian (20. August 1985) *Patent-Nr.: US4536331*.
- V. Shedigian (2. Oktober 1987) *Patent-Nr.: US 4 642 731*.
- TDK (Hrsg.) (August 2014) *Material Data Sheet - Diverse Elektrolytkondensatoren*. EPCOS AG.
- Umweltbundesamt (Oktober 2019) *REACH-Helpdesk - Glossar - PBT/vPvB*. Umweltbundesamt GmbH, Abteilung Chemikalien & Biozide Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, Österreich. Abgerufen von https://www.reachhelpdesk.at/ms/reachhelpdesk_home/reachhelpdesk_home/reach_glossar/pbt_vpvb/
- UN (2011) *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)* (Fourth Revised Edition).
- US EPA (2012) *EPI Suite*. Washington: United States Environmental Protection Agency, 1200 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, DC 20460.
- WEEELabex (2013) *WEEELABEX normative document on Treatment V 10.0*. WEEELABEX Organisation, U Habrovky 11/247, 14000 Praha 4.
- E. Werner (6. Oktober 2016) *Re: Inquiry regarding liquid dielectrics*.
- Wikipedia (2016) *Tantal-Elektrolytkondensator*. Abgerufen 6. November 2016, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Tantal-Elektrolytkondensator>
- Wikipedia (12. März 2020) *Diisopropylnaphthaline*. Wikipedia. Abgerufen 12. März 2020, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Diisopropylnaphthaline>

A Chemisch-toxische Eigenschaften der bedenklichen Stoffe

Trivialname (CAS-Nr.) 1-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline) (90-13-1)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolt zylindrisch



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Nein | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 162.62 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.19 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -6 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 259 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0.05 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | >500 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

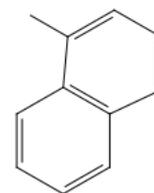
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 17.4 (2) | 4.24 (1) | 291.4 (6 mit Kow von 1) |

Toxizität

| | |
|--|---------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 2.3 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 1.6 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) 1-Methylnaphthalin (90-12-0)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolt zylindrisch



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Nein | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|-----------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 142.2 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.02 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -31 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 245 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 2 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 485 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Keine Angaben zu environmental fate | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

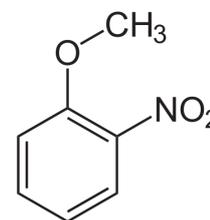
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 28 (1) | 3.87 (1) | 166 (6) |

Toxizität

| | |
|--|----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 1840 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 9 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 8.2 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) 1-Methoxy-2-nitrobenzol / 2-Nitroanisol (91-23-6)

Vorkommen in Kondensatortyp: Elko



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 153.14 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.25 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 9 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 273 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0.06 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 464 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

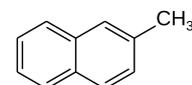
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 1.69 (1) | 1.73 (1) | 6.4 (6) |

Toxizität

| | |
|--|----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 750 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 192 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | 59.5 (1) |

Trivialname (CAS-Nr.) 2-Methylnaphthalin (91-57-6)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolt zylindrisch



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Nein | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|-----------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 142.2 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.006 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 34.6 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 241.1 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0.07 (2) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 488 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| Naphthyl-2-methyl-succinate cis-1,2-Dihydroxy-1,2-dihydro-7-methylnaphthalene 2-Hydroxymethylnaphthalene | |

Verteilung in der Umwelt

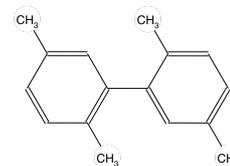
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 24.6 (1) | 3.86 (2) | 164 (6) |

Toxizität

| | |
|--|----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 1630 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 1.46 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 3.2 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl (3075-84-1)

Vorkommen in Kondensatortyp: Mikrowellen



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Nein | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 210.32 (7) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 49.5 (7) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 284 (7) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

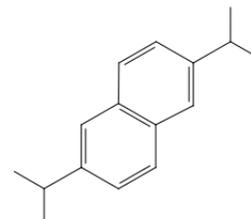
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| | 5.95 (4) | 3916 (6) |

Toxizität

| | |
|--|--|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) 2,6-Diisopropylnaphthalin (24157-81-1)

Vorkommen in Kondensatortyp: Mikrowellen



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Nein | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 212.34 (2) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.965 (3) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 70 (8) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 319 (3) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | <0.1 (6) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 0.11 (3) | 6.08 (2) | 4778 (6) |

Toxizität

| | |
|--|--------------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | >3900 (3)(3) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Ammoniumpentaborat (12046-04-7)

Vorkommen in Kondensatortyp: Elko

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| verdächtig | – | Ja | verdächtig |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 272.15 (9) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.58 (7) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 110 (7) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

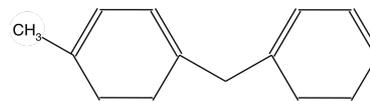
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| | | |

Toxizität

| | |
|--|--|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Benzyltoluole (27776-01-8)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolt zylindrisch, Mikrowellen



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Nein | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 182.26 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.995 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -12 (3) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 285 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0.0066 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 510 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Nein (DT50 > 1 yr) | Under development |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

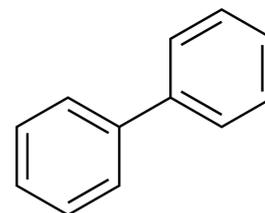
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 3 (1) | 4.3 (1) | 476 (6) |

Toxizität

| | |
|--|--|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 2531 (Inhalation: 0.001 mg/m ³) (10) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 0.31 (10) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 0.4 (10) |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | 0.9 (10) |

Trivialname (CAS-Nr.) Biphenyl (92-52-4)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolt zylindrisch



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Nein | verdächtig |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 154.21 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.04 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 69 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 255 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | <0.1 (2) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 540 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Ja, aber in Untersuchung da möglicherweise PBT | Under development under SEV |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| cis-2,3-Dihydro-2,3-dihydroxybiphenyl CAS 34244-66-1 | |

Verteilung in der Umwelt

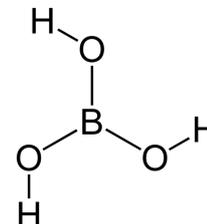
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 4.45 (1) | 3.98 (1) | 206 (6) |

Toxizität

| | |
|--|----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 2140 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 3.5 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 1.9 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | 1.16 (1) |

**Trivialname (CAS-Nr.) Borsäure (11113-50-1
10043-35-3)**

Vorkommen in Kondensatortyp: Elko



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|-----------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 61.83 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.435 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 169.5 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0 (10) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| Zersetzungstemperatur 100-130 °C Bildung von Metaborsäure durch Wasserabspaltung, bei 160 °C Bildung glasige Schmelze Bortrioxid (CAS: 1303-86-2) (Gestis). Bortrioxid ist H360FD, bedenkliche Substanz | |

Verteilung in der Umwelt

| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 50000 (2) | 0.757 (1) | 3.162 (6) |

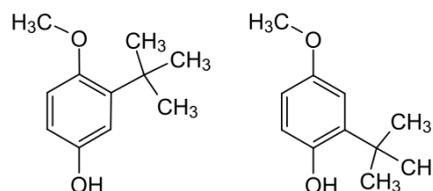
Toxizität

| | |
|--|---------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 487 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 180 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Butylhydroxyanisol (25013-16-5)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungelpolt zylindrisch

Strukturformel:

**Klassierung im Recycling**

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|--------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 180.25 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.69 (10) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 59 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 268 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0.00311 (10) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Ja | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

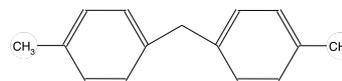
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 213 (1) | 3.5 (1) | 57.07 (6) |

Toxizität

| | |
|--|-------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 1 (5) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Di-p-tolyl-methan (4957-14-6)

Vorkommen in Kondensatortyp: Mikrowellen



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Nein | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|-----------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 169.3 (2) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 28 (2) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 286 (2) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | <0.1 (6) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

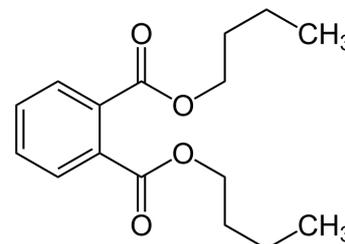
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 2.7 (6) | 5.11 (6) | 1093 (6) |

Toxizität

| | |
|--|--|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Dibutylphthalat (84-74-2)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolt zylindrisch



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 278.35 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.05 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -35 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 340 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | <0.1 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 400 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Ja | postponed |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| tert-Butyl alcohol + Monobutyl phthalate | |

Verteilung in der Umwelt

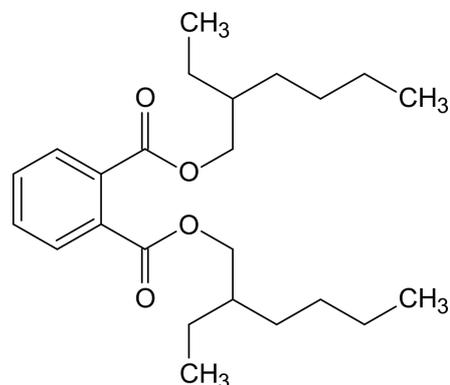
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanoll-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|--|--|
| 11.2 (1) | 4.5 (2) | 433 (6) |

Toxizität

| | |
|--|----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 7500 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 1.51 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 3.7 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 2.99 (1) |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | 0.4 (1) |

Trivialname (CAS-Nr.) Diethylhexylphthalat (117-81-7)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolzt zylindrisch



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 390.56 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.99 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -52.5 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 385 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | < 0.1 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 370 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Ja. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

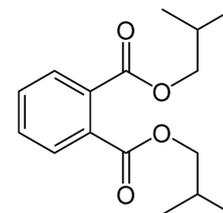
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| < 0.1 (1) | 7.88 (2) | 1712 (6) |

Toxizität

| | |
|--|-----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 30000 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 1110 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 11 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 0.13 (1) |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Diisobutylphthalat (84-69-5)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolt zylindrisch



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 278.35 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.039 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -64 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 327 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0.112 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 423 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|--|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| kein Dossier vorh. | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

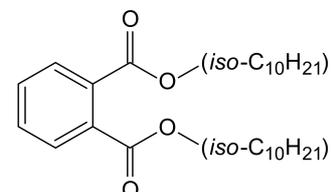
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 20 (1) | 4.11 (2) | 239.2 (6) |

Toxizität

| | |
|--|-----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 15000 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 0.9 (2) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Diisodecylphthalat (26761-40-0)

Vorkommen in Kondensatortyp: Mikrowellen



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| verdächtig | Nein | Nein | verdächtig |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 446.67 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.96 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -50 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 420 (12) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | <0.1 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 380 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

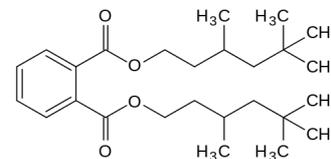
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanoll-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|--|--|
| 0.28 (1) | 10.36 (6) | 14.4 (12) |

Toxizität

| | |
|--|-----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 64000 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Diisononylphthalat (28553-12-0)

Vorkommen in Kondensatortyp: Mikrowellen



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| verdächtig | Nein | Nein | verdächtig |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 418.62 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.97 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -48 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 260 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | <0.1 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 375 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

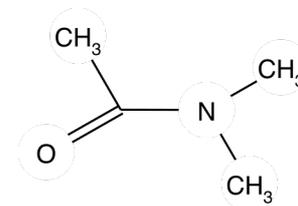
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| <0.1 (1) | 9.37 (6) | 231.3 (6) |

Toxizität

| | |
|--|--|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

Trivialname (CAS-Nr.) Dimethylacetamid (127-19-5)

Vorkommen in Kondensatortyp: Elko



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|-----------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 87.12 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.94 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -20 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 165 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 3.3 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 400 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Ja | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

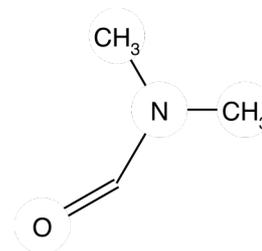
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| mischbar (1) | -0.77 (1) | 3 (6) |

Toxizität

| | |
|--|------------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 4300 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 1000 (5) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | >1000 (10) |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | >500 (10) |

Trivialname (CAS-Nr.) Dimethylformamid (68-12-2)

Vorkommen in Kondensatortyp: Elko



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|-----------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 73.09 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.95 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -61 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 153 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 3.77 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 440 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Ja | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| Dimethylamin | |

Verteilung in der Umwelt

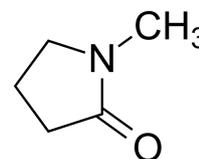
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| mischbar (1) | -1.01 (1) | 3 (6) |

Toxizität

| | |
|--|------------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 2800 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 10500 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 14400 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 12800 (1) |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | >1000 (10) |

Trivialname (CAS-Nr.) N-Methylpyrrolidon (872-50-4)

Vorkommen in Kondensatortyp: Elko



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|-----------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 99.13 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.03 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -24 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 203 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0.32 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 265 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Ja | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

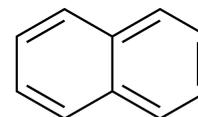
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| mischbar (1) | -0.38 (2) | 3.162 (6) |

Toxizität

| | |
|--|------------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 3910 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 832 (5) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 1.23 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | 600.5 (10) |

Trivialname (CAS-Nr.) Naphthalin (91-20-3)

Vorkommen in Kondensatortyp: Ungepolt zylindrisch



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Nein | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 128.17 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.14 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 80 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 218 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 7.2 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 540 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
|--|---|
| Nein gemäss Risk Assesment (UK 2007), Widerspruch durch Hersteller in Registrationsdossier | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| cis-1,2-Dihydroxy-1,2-dihydronaphthalene 2,3-Dihydroxynaphthalene | |

Verteilung in der Umwelt

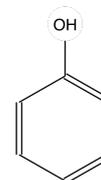
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 31 (1) | 3.35 (1) | 69.9 (6) |

Toxizität

| | |
|--|----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 490 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 1.99 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 11.8 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 3.6 (1) |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | 0.4 (10) |

Trivialname (CAS-Nr.) Phenol (108-95-2)

Vorkommen in Kondensatortyp: Elko



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| Ja | Ja | Ja | Ja |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|-----------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 94.11 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 1.07 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | 41 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 182 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | 0.2 (10) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 595 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|---|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| Ja | keine Untersuchung vorh. |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| Catechol CAS 120-80-9 | |
| 4-Hydroxybenzoate CAS 99-96-7 | |
| Phenylphosphate CAS 701-64-4 | |

Verteilung in der Umwelt

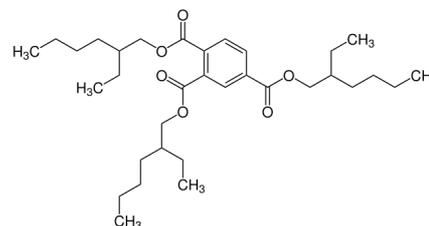
| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 84 (1) | 1.5 (1) | 4.269 (6) |

Toxizität

| | |
|--|----------|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | 317 (1) |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | 20.5 (1) |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 20 (1) |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | 12.6 (1) |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | 229 (1) |

Trivialname (CAS-Nr.) Trioctyltrimellitat (3319-31-1)

Vorkommen in Kondensatortyp: Mikrowellen



Strukturformel:

Klassierung im Recycling

| Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Substanz? | Leicht biologisch abbaubar? | CMT? | Bedenkliche Substanz im Recycling? |
|--|-----------------------------|------|------------------------------------|
| verdächtig | | Ja | verdächtig |

Physikalische Eigenschaften

| | |
|--|------------|
| Molmasse [g/mol] (Quelle) | 546.78 (1) |
| Dichte (20 °C) [g/cm ³] (Quelle) | 0.988 (1) |
| Schmelzpunkt [°C] (Quelle) | -43 (1) |
| Siedepunkt [°C] (Quelle) | 414 (1) |
| Dampfdruck (20 °C) [hPa] (Quelle) | <0.1 (1) |
| Zündtemperatur [°C] (Quelle) | 410 (1) |

Stabilität in der Umwelt

| | |
|--|---|
| Biologisch abbaubar gemäss REACH-Dossier | Persistenz, Bioakkumulierbar, Toxisch gem. Europ. Chemikalienagentur? |
| | Under development under SEV |
| Abbauprodukte EAWAG Biocatalysis/Biodegradation Database | |
| nicht bekannt | |

Verteilung in der Umwelt

| Wasserlöslichkeit 25 °C [mg/l] (Quelle) | Oktanol-Wasser-Verteilungskoeff. log Kow (Quelle) | Biokonzentrationsfaktor [l/kg Masse nass] (Quelle) |
|---|---|--|
| 0.1 (1) | 11.59 (6) | 18.96 (6) |

Toxizität

| | |
|--|--|
| LD50 oral Ratte [mg/kg] (Quelle) | |
| LC50 Fisch (96 Stunden) [mg/l] (Quelle) | |
| LC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Krustentiere (48 h) [mg/l] (Quelle) | |
| EC50 Algen (72 h) [mg/l] (Quelle) | |

B Stofflisten für die Laboranalyse

B.1 Erläuterungen zu den Stofflisten für die Analyse

Die Tabellen in diesem Kapitel listen alle Stoffe auf, welche durch das beauftragte Labor analysiert werden sollten. Es sind alle Substanzen aufgeführt, die nach den Ergebnissen der Literaturanalyse möglicherweise in Kondensatoren vorkommen könnten. Vereinzelt sind nur Stoffgruppen bekannt, die im Labor nicht analysiert werden konnten. Die Tabellen listen alle Substanzen auf, die in der Literatur in Zusammenhang mit Kondensatoren gefunden wurden, auch solche, deren Vorkommen in Kondensatoren nicht gesichert ist. Für die Tabellen mit den Substanzen, welche nachgewiesenermaßen in Kondensatoren vorkommen, verweisen wir die Leser auf die Resultate und insbesondere das Kapitel 6.2.

Die Zuteilung der Substanzen zu den Kondensatortypen entspricht dem Wissensstand nach der Literaturrecherche. Angesichts der Stoffvielfalt kann nicht ausgeschlossen werden, dass Stoffe auch in anderen Kondensatortypen verwendet werden als den hier aufgeführten.

B.2 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Die ungepolten zylindrischen Kondensatoren sind das historische Einsatzgebiet der polychlorierten Biphenyle (PCB). Alle Substanzen, die darin möglicherweise vorkommen, sind in Tabelle 87 aufgeführt.

Tabelle 87: Möglicherweise in ungepolten zylindrischen Kondensatoren vorhandene Substanzen gem. Literatur

| Chemische Bezeichnung | Kurzzeichen | CAS-Nr. | Bedenklich im Recycling |
|--|-------------|------------|-------------------------|
| 1-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline) | | 90-13-1 | Ja |
| 1-Methylnaphthalin | | 90-12-0 | Ja |
| 1,2,4-Trimethylbenzol, Pseudocumol | | 95-63-6 | Ja |
| 1,3,5-Trimethylbenzol, Mesitylen | | 108-67-8 | Ja |
| 2-Methylnaphthalin | | 91-57-6 | Ja |
| 3-Methylcholanthren | | 56-49-5 | Ja |
| Acenaphthen | | 83-32-9 | Ja |
| Benzyltoluol | BT | 27776-01-8 | Ja |
| Biphenyl | | 92-52-4 | Ja |
| Borsäure | | 11113-50-1 | Ja |
| Butylhydroxyanisol | BHA, E320 | 25013-16-5 | Ja |
| Dibutylphthalat | DBP | 84-74-2 | Ja |
| Diisobutylphthalat | DIBP | 84-69-5 | Ja |
| Diphenylmethan | | 101-81-5 | Ja |

| Chemische Bezeichnung | Kurzzeichen | CAS-Nr. | Bedenklich im Recycling |
|---|-------------|------------|-------------------------|
| Fluoren | | 86-73-7 | Ja |
| Isopropylbiphenyl | | 25640-78-2 | Ja |
| Naphthalin | | 91-20-3 | Ja |
| Phenanthren | | 85-01-8 | Ja |
| Phenylxylylethan, 4-(1-phenylethyl)-o-xylol | PXE | 6196-95-8 | Ja |
| Polychlorierte Biphenyle | PCB | 1336-36-3 | Ja |
| Anthracen | | 120-12-7 | verdächtig |
| Dibenzyltoluol | DBT | 26898-17-9 | verdächtig |
| 1-Decen | | 872-05-9 | Nein |
| 1-Dodecen | | 112-41-4 | Nein |
| 1-Tetradecen | | 1120-36-1 | Nein |
| Diethylphthalat | | 117-84-0 | Nein |
| Rizinusöl | | 8001-79-4 | Nein |
| Sojaöl | | keine | Nein |
| Triacetin | | 102-76-1 | Nein |
| Diethylphthalat | | 117-84-0 | Nein |

B.3 Elektrolytkondensatoren

In der folgenden Tabelle 88 sind alle Substanzen aufgeführt, die gemäss Literaturrecherche in Aluminium-Elkos vorkommen können.

Tabelle 88: Möglicherweise in Al-Elkos vorhandene Substanzen gem. Literatur

| Chemische Bezeichnung | Kurzzeichen | CAS-Nr. | Bedenklich im Recycling |
|------------------------------------|-------------|------------|--------------------------|
| Borsäure | | 11113-50-1 | Ja |
| Dimethylacetamid | DMA, DMAc | 127-19-5 | Ja |
| Dimethylformamid | DMF | 68-12-2 | Ja |
| N-Methylpyrrolidon | NMP | 872-50-4 | Ja |
| Ammoniumpentaborat | | 12007-89-5 | verdächtig |
| 2,3,5-Trihydroxybenzoesäure | | 33580-60-8 | Einstufung nicht möglich |
| 2,3,6-Trihydroxybenzoesäure | | 16534-78-4 | Einstufung nicht möglich |
| 2,4,5-Trihydroxybenzoesäure | | 610-90-2 | Einstufung nicht möglich |
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | | 88-99-3 | Nein |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | | 121-91-5 | Nein |
| 1,4-Benzoldicarbonsäure | TPA | 100-21-0 | Nein |
| 2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure | | 69-72-7 | Nein |
| 2,3,4-Trihydroxybenzoesäure | | 610-02-6 | Nein |
| 2,4,6-Trihydroxybenzoesäure | | 83-30-7 | Nein |
| 3,4,5-Trihydroxybenzoesäure | | 149-91-7 | Nein |

| Chemische Bezeichnung | Kurzzeichen | CAS-Nr. | Bedenklich im Recycling |
|-------------------------------|-------------|------------|-------------------------|
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | | 89-86-1 | Nein |
| 2-Toluylsäure | | 118-90-1 | Nein |
| 3-Toluylsäure | | 99-04-7 | Nein |
| 4-Toluylsäure | | 99-94-5 | Nein |
| Acetophenon | | 98-86-2 | Nein |
| γ-Butyrolacton | GBL | 96-48-0 | Nein |
| Ethylenglycol, Ethan-1,2-Diol | MEG | 107-21-1 | Nein |
| Molybdänwolframsäure | | 12027-12-2 | Nein |
| Phosphorwolframsäure | | 1343-93-7 | Nein |
| Polyethylenglycol | PEG | 25322-68-3 | Nein |
| Silikonwolframsäure | | 12027-38-2 | Nein |
| Triethylamin | | 121-44-8 | Nein |

B.4 Mikrowellenkondensatoren

Die Tabelle 89 führt alle Substanzen auf, die gemäss Literaturrecherche in Mikrowellenkondensatoren verwendet werden.

Tabelle 89: Möglicherweise in Mikrowellenkondensatoren vorhandene Substanzen gem. Literatur

| Chemische Bezeichnung | Kurzzeichen | CAS-Nr. | Bedenklich im Recycling |
|---|-------------|------------|--------------------------|
| 2,6-Diisopropyl-naphthalin | | 24157-81-1 | Ja |
| Diisodecylphthalat | DIDP | 26761-40-0 | verdächtig |
| Triocetyltrimellitat | | 3319-31-1 | verdächtig |
| 1,1-Di(4-methylphenyl)ethan | | 530-45-0 | Nein, beobachten |
| 4-Isopropylbiphenyl | IB | 7116-95-2 | Nein, beobachten |
| 1,1-Diphenylethan, Diarylethan | | 612-00-0 | Einstufung nicht möglich |
| 1,2-Dimethyl-4-(phenylmethyl)benzol | | 13540-56-2 | Einstufung nicht möglich |
| andere alkylierte Biphenyle | | – | Einstufung nicht möglich |
| Diarylethan, 1,1-Diphenylethan | | 612-00-0 | Einstufung nicht möglich |
| 1-Methyl-4-(phenylmethyl)benzol | | 620-83-7 | Nein |
| 1,1-Di(3,4-dimethylphenyl)ethan | | 1742-14-9 | Nein |
| 2,2'-Dimethylbiphenyl | | 605-39-0 | Nein |
| 3,4-Epoxy-cyclohexancarbonsäure-(3,4-epoxy-cyclohexylmethylester) | | 2386-87-0 | Nein |
| Bis(7-methyloctyl)phthalat | | 20548-62-3 | Nein |
| Diisononylphthalat | DINP | 68515-48-0 | Nein |

B.5 Kondensatortyp unbekannt

Für eine Anzahl von Stoffen wurden in der Literatur Hinweise darauf gefunden, dass sie in Kondensatoren eingesetzt werden, ohne einen konkreten Kondensatortyp zu benennen. Alle diese Substanzen sind in Tabelle 90 aufgeführt. Die Qualität der Literaturhinweise ist in dieser Gruppe teilweise schwierig abzuschätzen. Sie stammen teilweise aus wenig differenzierten Listen mit unklarem Recherchehintergrund oder sind Angaben in Literaturquellen, die sich keinem Kondensatortyp eindeutig zuordnen lassen. Um die Auswahl auf relevante Stoffe einzuschränken, werden zwei Kriterien für die Aufnahme der Substanzen in die Tabelle 90 angewendet:

1. Die Quellenlage ist gut hinsichtlich der Verwendung der Substanz in Kleinkondensatoren.
 2. Die Substanz ist bedenklich im Recycling gemäss der eingeführten Klassierung.
- Für eine Aufnahme in die Liste der bedenklichen Stoffe muss eine Substanz beide Kriterien erfüllen.

Tabelle 90: Möglicherweise in nicht näher bezeichneten Kondensatoren vorkommende Stoffe

| Chemische Bezeichnung | Kurzzeichen | CAS-Nr. | Bedenklich im Recycling |
|--|-------------|------------|-------------------------|
| Butylphosphat (Tributylphosphat) | | 126-73-8 | Ja |
| chlorierte Naphthaline | | 25586-43-0 | Nein |
| Diethylhexylphthalat | DOP, DEHP | 117-81-7 | Ja |
| Ditolylether | | 28299-41-4 | Ja |
| Hexabrombenzol | | 87-82-1 | Ja |
| kurzkettige Chlorparaffine | | 85535-84-8 | Ja |
| N-Methylacetamid | | 79-16-3 | Ja |
| N-Methylformamid | | 123-39-7 | Ja |
| Triphenylphosphat | | 115-86-6 | Ja |
| mittelkettige Chlorparaffine | | 85535-85-9 | Nein, beobachten |
| 2-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline) | | 91-58-7 | Nein |
| Acetonitrile | | 75-05-8 | Nein |
| Adipinsäure | | 124-04-9 | Nein |
| Apfelsäure | | 617-48-1 | Nein |
| Bernsteinsäure (Butandisäure) | | 110-15-6 | Nein |
| Diethylamin | DEA | 109-89-7 | Nein |
| Diethylphthalat | | 84-66-2 | Nein |
| Dimethylphthalat | | 131-11-3 | Nein |
| Ethanolamin | | 141-43-5 | Nein |
| Mineralöl | | – | Nein |
| Tributylamin | | 102-82-9 | Nein |

C Laborberichte der Analysen

C.1 Probenbezeichnungen, Resultate PCB- und Elementaranalysen

Schlieren, 09. Juli 2018
EA

Büro für Umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
8006 Zürich

Untersuchungsbericht

(inkl. Daten von früheren Aufträgen)

Objekt: Kondensatoren-Analyse

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

| | |
|-------------------------------|---|
| Auftrags-Nr. Bachema | 201805939 |
| Proben-Nr. Bachema | 25044, 25048-25050, 25054-25055 |
| Tag der Probenahme | 19. Juni 2018 - 27. Juni 2018 |
| Eingang Bachema | |
| Probenahmeort | Büro für Umweltchemie |
| Entnommen durch | |
| Auftraggeber | Büro für Umweltchemie, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Rechnungsadresse | Büro für Umweltchemie, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Rechnung zur Visierung | Büro für Umweltchemie, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Bericht an | Büro für Umweltchemie, D. Savi, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Bericht per e-mail an | Büro für Umweltchemie, D. Savi, d.savi@umweltchemie.ch |

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG



Olaf Haag
Dipl. Natw. ETH

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

Probenübersicht

| Bachema-Nr. | Auftrags-Nr. Bachema | Probenbezeichnung | Probenahme / Eingang Labor |
|-------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 15907 | F 201803937 | 1 KG | / 24.04.18 |
| 15908 | F 201803937 | 2 LCD | / 24.04.18 |
| 15909 | F 201803937 | 2 LCD (Rückstellprobe) | / 24.04.18 |
| 20919 | F 201803937 | 3.1 MW | / 24.05.18 |
| 20920 | F 201803937 | 3.2 MW | / 24.05.18 |
| 20921 | F 201803937 | 5.1 HKG | / 24.05.18 |
| 22933 | F 201803937 | 6 HHG | / 05.06.18 |
| 25044 | F 201805939 | 5.2a HKG | / 19.06.18 |
| 25048 | F 201805939 | 5.2b HKG (Rückstellprobe) | / 19.06.18 |
| 25050 | F 201805939 | 7a Netz | / 19.06.18 |
| 25054 | F 201805939 | 7b Netz (Rückstellprobe) | / 19.06.18 |
| 15910 | W 201803937 | Eluat aus 2 LCD | / 24.04.18 |
| 25049 | W 201805939 | Eluat aus 5.2b HKG | / 27.06.18 |
| 25055 | W 201805939 | Eluat aus 7b Netz | / 27.06.18 |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

| | |
|----|--|
| W | Wasserprobe |
| F | Feststoffprobe |
| TS | Trockensubstanz |
| < | Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode. |
| * | Die mit * bezeichneten Analysen fallen nicht in den akkreditierten Bereich der Bachema AG oder sind Fremdmessungen. |

Akkreditierung

| | |
|---|---|
|   | <p>Auszugsweise Vervielfältigung der Analysenresultate sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet. Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch).</p> |
|---|---|

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

| | | | | | | |
|--------------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--|--|
| Probenbezeichnung | 1 KG | 2 LCD | 3.1 MW | 3.2 MW | | |
| Proben-Nr. Bachema | 15907 | 15908 | 20919 | 20920 | | |
| Tag der Probenahme | | | | | | |

PCB

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--|--|
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | | <20 | <20 | | |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | | |

Organische Non-Target-Analytik

| | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|
| GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat) | s. Anhang | s. Anhang | s. Anhang | s. Anhang | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

| | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-----------------|--------------|----------------|--|--|
| Probenbezeichnung | 5.1 HKG | 5.2a HKG | 6 HHG | 7a Netz | | |
| Proben-Nr. Bachema | 20921 | 25044 | 22933 | 25050 | | |
| Tag der Probenahme | | | | | | |

PCB

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|---------------------------------------|--|--------------------------|--|--|--|
| PCB 28 | mg/kg | 3.2 | | <0.5 | | | |
| PCB 52 | mg/kg | 1.2 | | <0.5 | | | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | | | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | | | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | | | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | | | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | | <0.5 | | | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | 38 | | <20 | | | |
| PCB Typisierung | | Aroclor 1242 oder Clophen A 30 | | kein PCB-Nachweis | | | |

Organische Non-Target-Analytik

| | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|
| GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat) | s. Anhang | s. Anhang | s. Anhang | s. Anhang | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|

Chemisches und mikrobiologisches Labor für die Prüfung von Umweltproben (Wasser, Boden, Abfall, Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach ISO 17025
STS-Nr. 0064



Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

| Probenbezeichnung | Eluat aus 2 LCD | Eluat aus 5.2b HKG | Eluat aus 7b Netz | | | |
|--|-----------------|--------------------|-------------------|--|--|--|
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 15910 | 25049 | 25055 | | | |
| Allgemeine und anorganische Parameter | | | | | | |
| Wolfram (gelöst) mg/L W | <0.005 | 0.00095 | 0.00057 | | | |
| Elemente und Schwermetalle | | | | | | |
| Bor (gelöst) ICP-OES mg/L B | 98.3 | 262 | 59.8 | | | |
| Organische Non-Target-Analytik | | | | | | |
| LC-MS-Screening * | s. Anhang | s. Anhang | s. Anhang | | | |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

C.2 Beschrieb Probenaufbereitung

Objekt: Kondensatoren-Analyse

Auftraggeber: Büro für Umweltchemie

Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Beurteilung

Kommentar zur Probe "2 LCD":

Wir erhielten die Probe "2 LCD" aufgeteilt in zwei Honiggläser.

Die beiden Gläser wurden durch uns wie folgt verwendet:

a) Bachema Nr. 15908, Probe "2 LCD":

Die gesamte Probe wurde mit organischem Lösungsmittel extrahiert.

Der Extrakt wurde für die GCMS-Analyse mit Identifikation verwendet.

Die Ergebnisse beziehen sich auf diese Gesamtprobe.

b) Bachema Nr. 15909, Probe "2 LCD":

Die gesamte Probe wurde zur Herstellung eines Eluats verbraucht.

Eluat siehe Probe Nr. 15910.

c) Bachema Nr. 15910, Eluat aus 15909:

Die gesamte Probe wurde mit Wasser im Verhältnis von 1:10 eluiert.

Das Eluat wurde für die Bestimmung von Bor und Wolfram sowie für das LCMS-Screening verwendet.

Die Ergebnisse beziehen sich auf dieses Eluat.

Bezogen auf die originale Gesamtprobe müssen die Resultate mit einem Faktor von 10 multipliziert werden.

Da es sich hier um ein wässriges Eluat handelt, wurden in dieser Probe nur die wasserlöslichen Anteile erfasst!

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 SchlierenTelefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.chChemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Schlieren, 11. Juni 2018

201805939**Analyse von Kondensatoren****Setting:**

Setting identisch mit Auftrag 201803937, Probe «2 LCD»:

Siehe File Beschrieb.docx im Auftrag 201803937.

Proben:

Proben 5a und 5b (also 25044 und 25048) sind identisches Material.

Proben 7a und 7b (also 25050 und 25054) sind ebenfalls identisches Material.

Wie im letzten Auftrag werden die a-Proben für den organischen Auszug und die b-Proben für das Eluat verwendet.

Vorgehen:

Praktisch identisch mit Auftrag 201803937. Siehe dort.

25044: Gemäss Auftrag 201803937 Beschrieb.docx.

Einwaage: 289.9g in 400 ml CH/EEE, entspricht 0.72 g / ml.

Extrakt ist klar und braun.

Laden auf GCMS 1:50 in CH-ISTD, entspricht 0.0145 g, File 1825044D.

25050: Einwaage: 98.21g in 200 ml CH/EEE, entspricht 0.49 g / ml

Extrakt ist klar und hellbraun.

Laden auf GCMS 1:5 in CH-ISTD, entspricht 0.0982 g, File 1825050C.

25048 und 25054: Mit Beisszange identisch zerlegen wie 25044 und 25080.

Daraus werden die Eluate 25049 und 25055 hergestellt. Siehe dazu 201803937.

25049: Gemäss Auftrag 201803937 Beschrieb.docx.

Einwaage: 279.5 g in 2.0 Liter Wasser, entspricht nicht 1:10.

Muss noch verdünnt werden. 700ml Extrakt + 278 ml Wasser,
ergeben ein Eluat 1:10, also 0.10 g / ml.

Extrakt ist bräunlichgelb, trübe. pH = 7-8.

25055: Einwaage: 92.35 g in 0.923 Liter Wasser, entspricht 1:10, entspricht 0.100 g / ml.

Extrakt ist gelb und flockig. pH = 5-6.

Nach 17 Std. sind die einzelnen Schichten relativ gut zerfallen. Die Probe wird kurz geschüttelt und aufgeteilt in 100ml PET (Anorg.), GC-100 (LCMS), und GC-500 (Rückstell).

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

27.06.2018 / U. Maier

C.3 Laborberichte der Mischproben

C.3.1 Kühl-, Klima- und Gefriergeräte

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 15907
Probenbezeichnung: 1 KG
Prüfmethode Extraktion: Schütteleextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

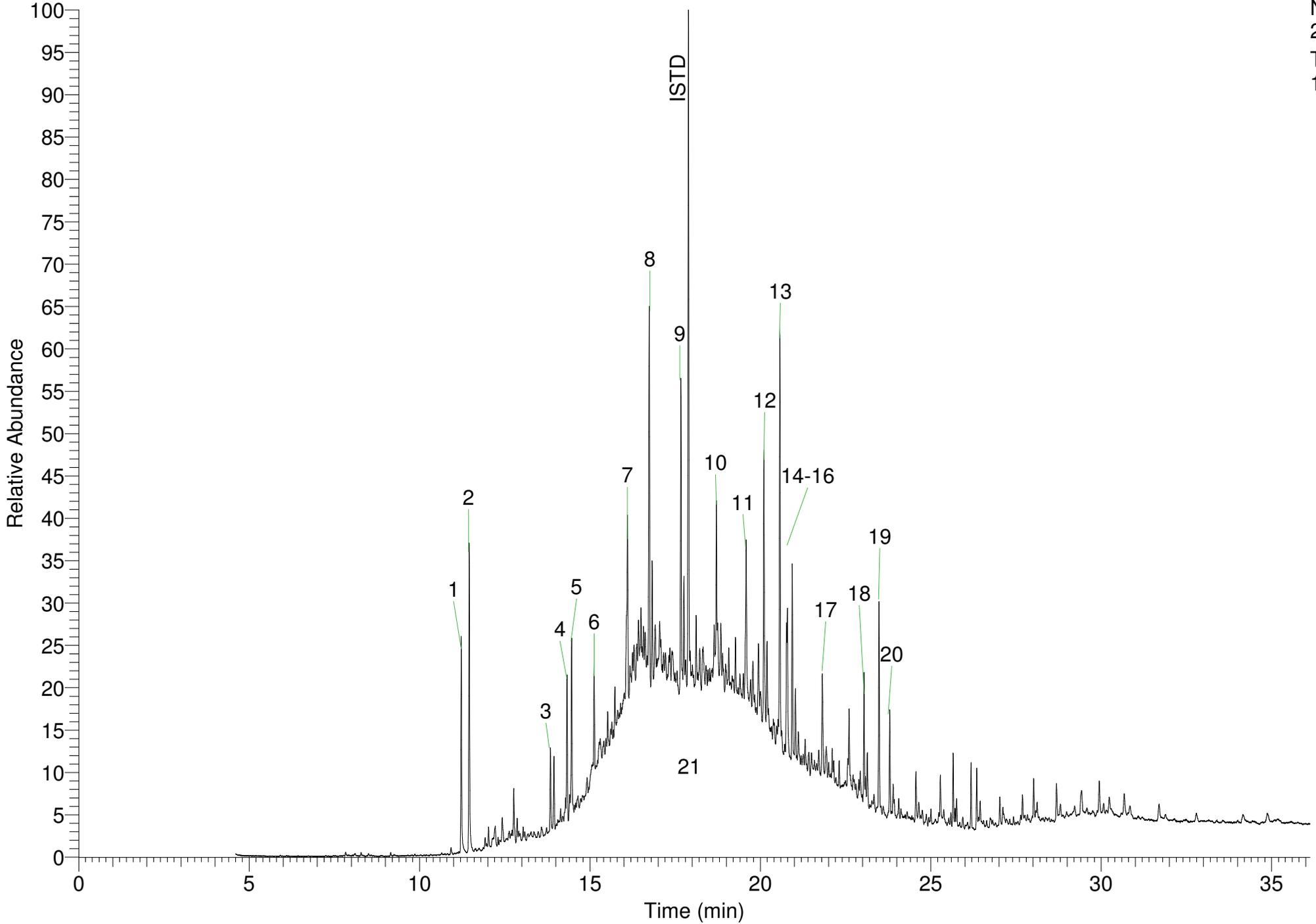
| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|------------|--|---------|--------------------------|---------------|
| 1 | 90-12-0 | 1-Methylnaphthalin | 94 | oder Isomer | 5000 |
| 2 | 91-57-6 | 2-Methylnaphthalin | 93 | oder Isomer | 8000 |
| 3 | 29956-99-8 | Di-tert-octyl Disulfide | 74 | unsicher | 2000 |
| 4 | 620-83-7 | p-Benzyltoluol | 91 | oder Isomer | 3000 |
| 5 | 620-47-3 | m-Benzyltoluol | 92 | oder Isomer | 4000 |
| 6 | | unbekannte Verbindung | | | 2000 |
| 7 | 25360-09-2 | tert-Hexadecanethiol | 75 | unsicher | 4000 |
| 8 | | unbekannte Verbindung | | | 9000 |
| 9 | | unbekannte Verbindung | | | 5000 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | | interner Standard | 15000 |
| 10 | | unbekannte Verbindung | | | 4000 |
| 11 | NA | Cyclohexylmethyl tridecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 75 | unsicher | 4000 |
| 12 | | unbekannte Verbindung | | | 7000 |
| 13 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy cyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate | 84 | oder Isomer | 10000 |
| 14 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy cyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate | 79 | oder Isomer | 3000 |
| 15 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy cyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate | 79 | oder Isomer | 3000 |
| 16 | 55255-73-7 | 2,2,4,10,12,12-hexamethyl-7-(3,5,5-trimethylhexyl)-6-Tridecene | 75 | oder ähnliche Verbindung | 4000 |
| 17 | | unbekannte Verbindung | | | 3000 |
| 18 | | unbekannte Verbindung | | | 3000 |
| 19 | 94-28-0 | Triethylene glycol bis(2-ethylhexanoate) | 80 | | 5000 |
| 20 | | unbekannte Verbindung | | | 2000 |
| 21 | | Kohlenwasserstoffgemisch | | RT 12-24 min | n/q |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung
 n/q = nicht quantifizierbar

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundecan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

RT: 0.00 - 36.12

NL:
2.75E8
TIC MS
1815907vv



C.3.2 Flachbildschirme PC und TV

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 15908
Probenbezeichnung: 2 LCD
Prüfmethode Extraktion: Schüttelextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|------------|----------------------------|---------|-------------------|---------------|
| 1 | 111-46-6 | Diethylenglycol | 95 | | 20 |
| 2 | 108-95-2 | Phenol | 93 | | 20 |
| 3 | 104-76-7 | 2-Ethylhexanol | 92 | | 7 |
| 4 | 617-94-7 | α,α-Dimethyl-benzylalkohol | 89 | | 10 |
| 5 | 65-85-0 | Benzoessäure | 92 | | 30 |
| 6 | 112-34-5 | Diethylenglycol-butylether | 94 | | 1000 |
| 7 | | unbekannte Verbindung | | | 6 |
| 8 | 91-23-6 | 1-Methoxy-2-nitrobenzol | 96 | oder Isomer | 100 |
| 9 | 99-03-6 | 3-Aminoacetophenone | 89 | oder Isomer | 6 |
| 10 | 94-33-7 | 2-Hydroxyethylbenzoat | 93 | | 40 |
| 11 | 121-89-1 | 3-Nitroacetophenon | 94 | | 20 |
| 12 | 619-73-8 | 4-Nitro-benzylalkohol | 93 | | 70 |
| ISTD | 16696-65-4 | 1,11-Dibromundekan | 93 | interner Standard | 300 |
| 13 | | unbekannte Verbindung | | | 50 |
| 14 | | unbekannte Verbindung | | | 80 |
| 15 | | unbekannte Verbindung | | | 50 |
| 16 | | unbekannte Verbindung | | | 30 |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

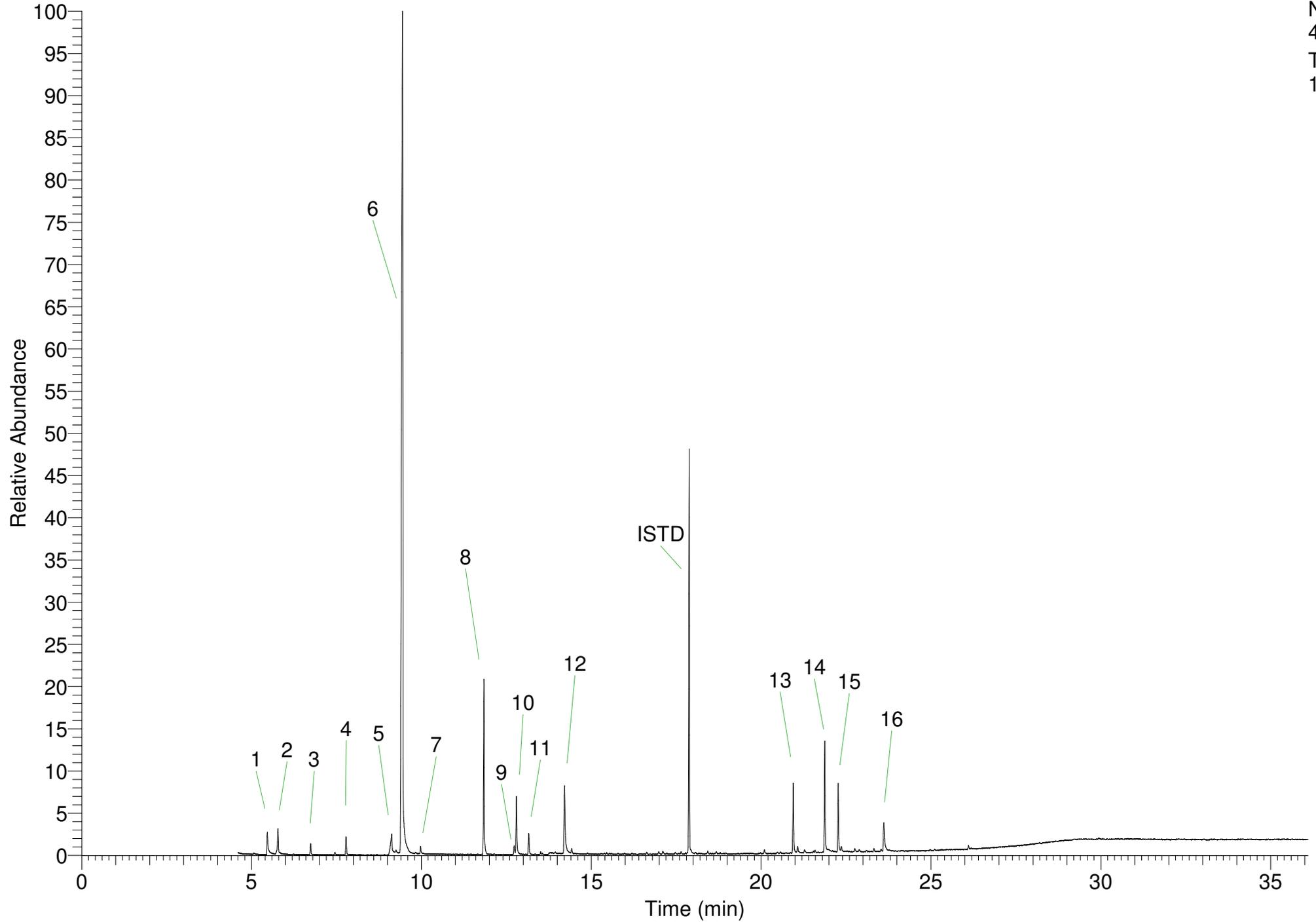
Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

NL:
4.22E8
TIC MS
1815908b

RT: 0.00 - 36.10



Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Anhang LCMS Screening - Ergebnisse des Non-Target-Screenings

Proben-Nr. Bachema: 15910
Probenbezeichnung: Eluat aus 15909 ("2LCD")

Prüfmethode: LC: Waters Atlantis dc18 RP-Säule, Eluenten H₂O & MeOH (jeweils mit 0.1% Ameisensäure), Direktinjektion von 100µL Pr
 MS: TripleTOF 6600 (QTOF von ABSciex), positive und negative Ionisierung mit Elektrospray-Ionisation, Messzyklus: 1 HR
 Auswertung: Automatisierte Non-Target Peaksuche mit Threshold 2000 in "MasterView" - Kontrollprobe: Elutionsblank
 Retentionszeitenbereich: 1.5-20 min; automatisierte Summenformelvorhersage mit maximal C₅₀ H₁₀₀ N₁₀ O₁₀ S₅ P₅

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Positiver Ionisationsmodus - grösste 10 Peaks von insgesamt 370 gefundenen Peaks

| Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung) | Name | gemessene Masse | RT [min] | Intensität | automatisierte Summenformel- vorhersage | Güte der Summenformel- vorhersage 0 (gering) bis 100 (hoch) | Kommentar |
|---|------------------|--------------------|----------|------------|---|---|------------------------------------|
| P001 | 215.1281 / 9.19 | 215.1281 | 9.19 | 1942223 | C ₁₁ H ₁₈ O ₄ | 83 | Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT |
| P002 | 229.1436 / 10.38 | 229.1436 | 10.38 | 1842718 | C ₁₂ H ₂₀ O ₄ | 81 | |
| P003 | 297.1676 / 12.85 | 297.1676 | 12.86 | 1345319 | C ₁₂ H ₂₀ N ₆ O ₃ | 90 | Gruppe aus 7 Peaks mit gleicher RT |
| P004 | 273.1698 / 10.32 | 273.1698 | 10.32 | 823143 | C ₁₄ H ₂₄ O ₅ | 77 | Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT |
| P005 | 259.1546 / 9.19 | 259.1547 | 9.19 | 758706 | C ₁₃ H ₂₂ O ₅ | 77 | Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT |
| P006 | 313.1624 / 10.32 | 313.1624 | 10.32 | 723332 | C ₁₂ H ₂₀ N ₆ O ₄ | 76 | Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT |
| P007 | 269.1361 / 10.39 | 269.1361 | 10.39 | 712040 | C ₁₀ H ₁₆ N ₆ O ₃ | 80 | ist evtl mit P002 verknüpft |
| P008 | 185.1149 / 8.65 | 185.1149 | 8.65 | 648383 | C ₆ H ₁₂ N ₆ O | 45 | |
| P009 | 257.1747 / 12.86 | 257.1747 | 12.86 | 611238 | C ₁₄ H ₂₄ O ₄ | 80 | Gruppe aus 7 Peaks mit gleicher RT |
| P010 | 299.1465 / 9.19 | 299.1465 | 9.19 | 609502 | C ₁₁ H ₁₈ N ₆ O ₄ | 78 | Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT |

Negativer Ionisationsmodus - grösste 3 Peaks von insgesamt 70 gefundenen Peaks

| Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung) | Name | gemessene Masse | RT [min] | Intensität | automatisierte Summenformel- vorhersage | Güte der Summenformel- vorhersage 0 (gering) bis 100 (hoch) | Kommentar |
|---|------------------|--------------------|----------|------------|--|---|-----------|
| N001 | 229.1434 / 12.98 | 229.143 | 12.98 | 1226340 | C ₁₂ H ₂₂ O ₄ | 92 | |
| N002 | 273.1703 / 12.80 | 273.170 | 12.80 | 1049252 | C ₁₄ H ₂₆ O ₅ | 85 | |
| N003 | 245.1384 / 10.34 | 245.138 | 10.34 | 926539 | C ₁₂ H ₂₂ O ₅ | 88 | |

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Anhang LCMS Screening - Ergebnisse des Suspect-Screenings

Proben-Nr. Bachema: 15910
Probenbezeichnung: Eluat aus 15909 ("2LCD")

Prüfmethode: LC: Waters Atlantis dc18 RP-Säule, Eluenten H₂O & MeOH (jeweils mit 0.1% Ameisensäure), Direktinjektion von 100µL Probe
MS: TripleTOF 6600 (QTOF von ABSciex), positive und negative Ionisierung mit Elektrospray-Ionisation, Messzyklus: 1 HR-FullScan + 10 HR-MSMS (datenabhängig)
Auswertung: Peaksuche der Substanzen aus untenstehender Liste im positiven Ionisationsmodus mittels [M+H]⁺ und im negativen Ionisationsmodus mittels [M-H]⁻
Abgleich der MSMS-Spektren mit verschiedenen MSMS-Datenbanken, wenn Spektrum vorhanden
Abgleich mit Referenzstandard (Diethylamin)

| Resultate | | | | | LCMS Suspect-Screening (erfasst mittel- bis hochpolare organische Verbindungen) | | | | |
|------------------------------------|------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|---|--------------------|----------------------|------------|--|
| Trivialname | CAS-Nummer | Chemische verwandte Gruppe | Verwendet in (Literaturhinweise) | Bedenkliche Substanz? | Summenformel | wurde gefunden mit | Retentionszeit [min] | Intensität | Bemerkung |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | Amide | Al-Elko | Ja | C3H7NO | nicht gefunden | | | |
| Dimethylacetamid | 127-19-5 | Amide | Al-Elko | Ja | C4H9NO | nicht gefunden | | | |
| N-Methylacetamid | 79-16-3 | Amide | Al-Elko | Ja | C3H7NO | nicht gefunden | | | |
| N-Methylformamid | 123-39-7 | Amide | Al-Elko | Ja | C2H5NO | nicht gefunden | | | |
| Triethylamin | 121-44-8 | Amine | Al-Elko | Nein | C6H15N | [M+H] ⁺ | 5.1 | 2573 | in Spuren, Identität nicht bestätigt |
| Diethylamin | 109-89-7 | Amine | | Nein | C4H11N | [M+H] ⁺ | 2.1 (Totzeit) | 433974 | grosser Peak bei 2min, durch Standard bestätigt als Diethylamin, Konzentration in der 1:1000-er Verdünnung des Eluats deutlich grösser als 10 µg/L |
| Ethanolamin | 141-43-5 | Amine | | Nein | C2H7NO | nicht gefunden | | | |
| 2,3,5-Trihydroxybenzoesäure | 33580-60-8 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,3,6-Trihydroxybenzoesäure | 16534-78-4 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4,5-Trihydroxybenzoesäure | 610-90-2 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | 88-99-3 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | 121-91-5 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 1,4-Benzoldicarbonsäure | 100-21-0 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure | 69-72-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O3 | nicht gefunden | | | |
| 2,3,4-Trihydroxybenzoesäure | 610-02-6 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4,6-Trihydroxybenzoesäure | 83-30-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 3,4,5-Trihydroxybenzoesäure | 149-91-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | 89-86-1 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O4 | [M-H] ⁻ | 5.9 | 1168 | in Spuren, Identität nicht bestätigt |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | Glycole | Al-Elko | Nein | C2H4O (Monomer) | [M+H] ⁺ | 8.7 | 231095 | wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls |
| Polyethylenglycol-2 | | | | | C4H10O3 | [M+H] ⁺ | 8.7 | 359270 | wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls |
| Polyethylenglycol-3 | | | | | C6H14O4 | [M+H] ⁺ | 5.2 | 1534 | |
| Polyethylenglycol-4 | | | | | C8H18O5 | [M+H] ⁺ | 6.0 | 13196 | |
| Polyethylenglycol-5 | | | | | C10H22O6 | [M+H] ⁺ | 6.5 | 81890 | |
| Polyethylenglycol-6 | | | | | C12H26O7 | [M+H] ⁺ | 6.8 | 142243 | |
| Polyethylenglycol-7 | | | | | C14H30O8 | [M+H] ⁺ | 7.1 | 217672 | |
| Polyethylenglycol-8 | | | | | C16H34O9 | [M+H] ⁺ | 7.3 | 202481 | |
| Polyethylenglycol-9 | | | | | C18H38O10 | [M+H] ⁺ | 7.5 | 201982 | |
| Polyethylenglycol-10 | | | | | C20H42O11 | [M+H] ⁺ | 7.7 | 186892 | |
| Polyethylenglycol-11 | | | | | C22H46O12 | [M+H] ⁺ | 7.9 | 190260 | |
| Polyethylenglycol-12 | | | | | C24H50O13 | [M+H] ⁺ | 8.1 | 197265 | |
| Polyethylenglycol-13 | | | | | C26H54O14 | [M+H] ⁺ | 8.2 | 221065 | |
| Polyethylenglycol-14 | | | | | C28H58O15 | [M+H] ⁺ | 8.4 | 231100 | |
| Polyethylenglycol-15 | | | | | C30H62O16 | [M+H] ⁺ | 8.5 | 212306 | |
| Polyethylenglycol-16 | | | | | C32H66O17 | [M+H] ⁺ | 8.7 | 164684 | |
| Polyethylenglycol-17 | | | | | C34H70O18 | [M+H] ⁺ | 8.9 | 160690 | |
| Polyethylenglycol-18 | | | | | C36H74O19 | [M+H] ⁺ | 9.0 | 96634 | |
| Polyethylenglycol-19 | | | | | C38H78O20 | [M+H] ⁺ | 9.2 | 55988 | |
| Polyethylenglycol-20 | | | | | C40H82O21 | [M+H] ⁺ | 9.3 | 40309 | |
| Polyethylenglycol-21 | | | | | C42H86O22 | [M+H] ⁺ | 9.5 | 24537 | |
| Polyethylenglycol-22 | | | | | C44H90O23 | [M+H] ⁺ | 9.7 | 17489 | |

C.3.3 Mikrowellen BiCai

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 20919
Probenbezeichnung: 3.1 MW
Prüfmethode Extraktion: Schüttelextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

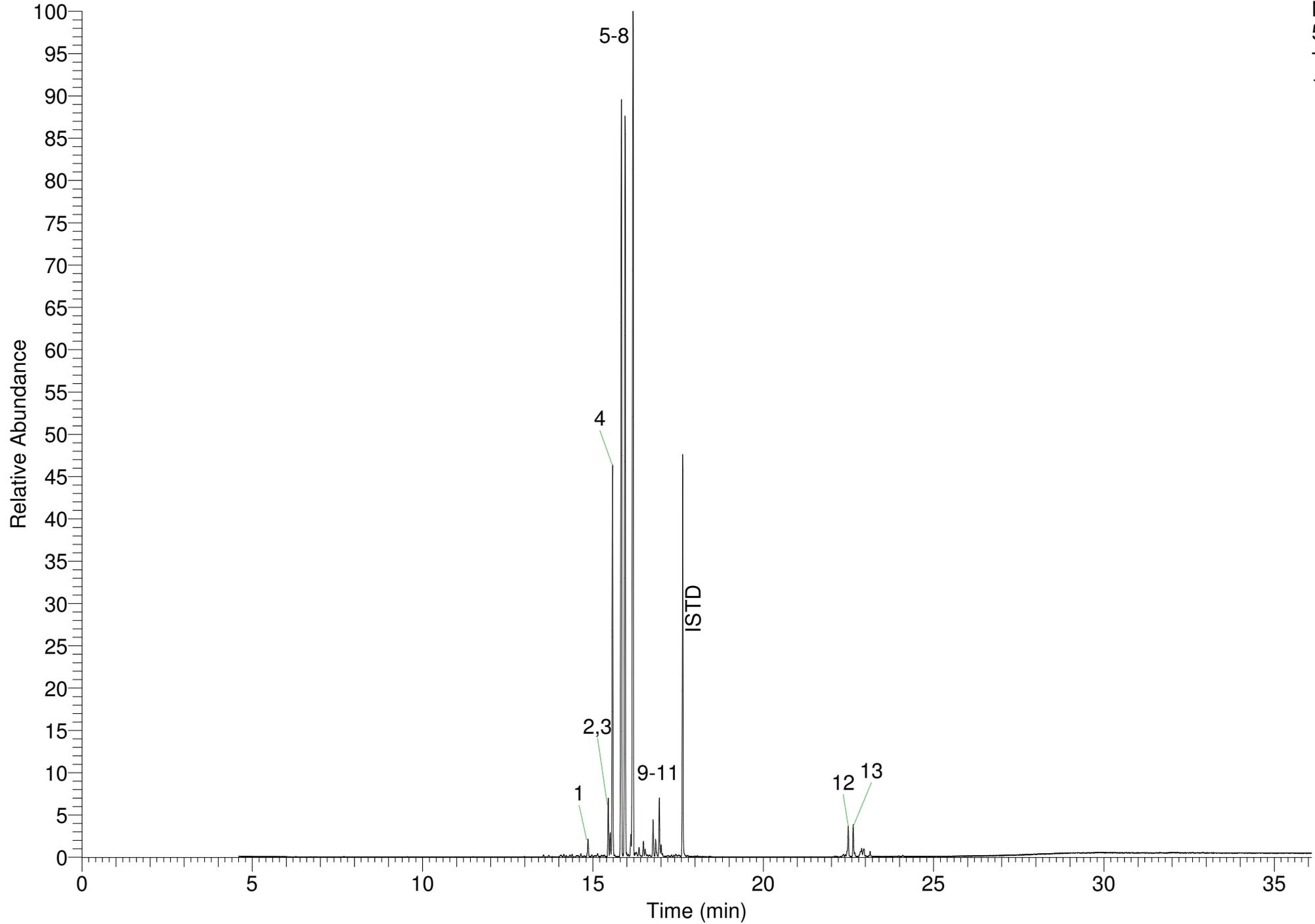
| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|-------------|--|---------|---|---------------|
| 1 | 4957-14-6 | Di-p-tolyl-methan | 87 | oder Isomer | 5000 |
| 2 | 18908-70-8 | Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 88 | | 10000 |
| 3 | 26137-53-1 | 1,2,3-trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin | 80 | oder Isomer | 6000 |
| 4 | 3075-84-1 | 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 85 | oder ähnliche Verbindung | 100000 |
| 5 | 3075-84-1 | 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 86 | oder ähnliche Verbindung | 200000 |
| 6 | 3075-84-1 | 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 80 | oder ähnliche Verbindung | 200000 |
| 7 | 102177-18-4 | 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) | 86 | oder ähnliche Verbindung | 5000 |
| 8 | 3075-84-1 | 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 87 | oder ähnliche Verbindung | 300000 |
| 9 | NA | 1,1'-(1-Methylethylidene)bis[4-methylbenzol] | 79 | oder ähnliche Verbindung | 10000 |
| 10 | NA | 1,1'-(1-Methylethylidene)bis[4-methylbenzol] | 81 | oder ähnliche Verbindung | 5000 |
| 11 | 126584-00-7 | 1,5,6,7-Tetramethyl-3-phenylbicyclo[3.2.0]hepta-2,6-dien | 80 | oder ähnliche Verbindung | 20000 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | | interner Standard | 100000 |
| 12 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich eine mehrfach aromatische Verbindung | 10000 |
| 13 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich eine mehrfach aromatische Verbindung | 8000 |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

RT: 0.00 - 36.09

NL:
5.48E8
TIC MS
1820919b



C.3.4 Mikrowellen andere Hersteller

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 20920
Probenbezeichnung: 3.2 MW
Prüfmethode Extraktion: Schütteleextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|-------------|---|---------|----------------------------|---------------|
| 1 | 612-00-0 | 1,1-Diphenylethan | 91 | | 7000 |
| 2 | 620-83-7 | 1-Methyl-4-(phenylmethyl)-benzol | 91 | p-Benzyltoluol oder Isomer | 6000 |
| 3 | 713-36-0 | 1-Methyl-2-(phenylmethyl)-benzol | 91 | o-Benzyltoluol oder Isomer | 20000 |
| 4 | 620-47-3 | 1-Methyl-3-(phenylmethyl)-benzol | 91 | oder Isomer | 20000 |
| 5 | 18908-70-8 | Ethyl(1-phenylethyl)benzol | 90 | | 10000 |
| 6 | 26137-53-1 | 1,2,3-trimethyl-4-(1E)-1-propenyl-naphthalin | 80 | oder ähnliche Verbindung | 30000 |
| 7 | 3075-84-1 | 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 97 | oder ähnliche Verbindung | 200000 |
| 8 | 3075-84-1 | 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 88 | oder ähnliche Verbindung | 300000 |
| 9 | NA | 1,3,5-Cycloheptatriene, 6-methyl-1-(6-methyl-1,3,5-cycloheptatrien-1-yl)- | 79 | oder ähnliche Verbindung | 200000 |
| 10 | 102177-18-4 | 5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrol (EMDP) | 88 | oder ähnliche Verbindung | 30000 |
| 11 | 3075-84-1 | 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl | 87 | oder ähnliche Verbindung | 300000 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | | interner Standard | 100000 |
| 12 | 94571-08-1 | 2,3,4,4a-Tetrahydro-1α,4aβ-dimethyl-9(1H)-phenanthron | 79 | oder ähnliche Verbindung | 4000 |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

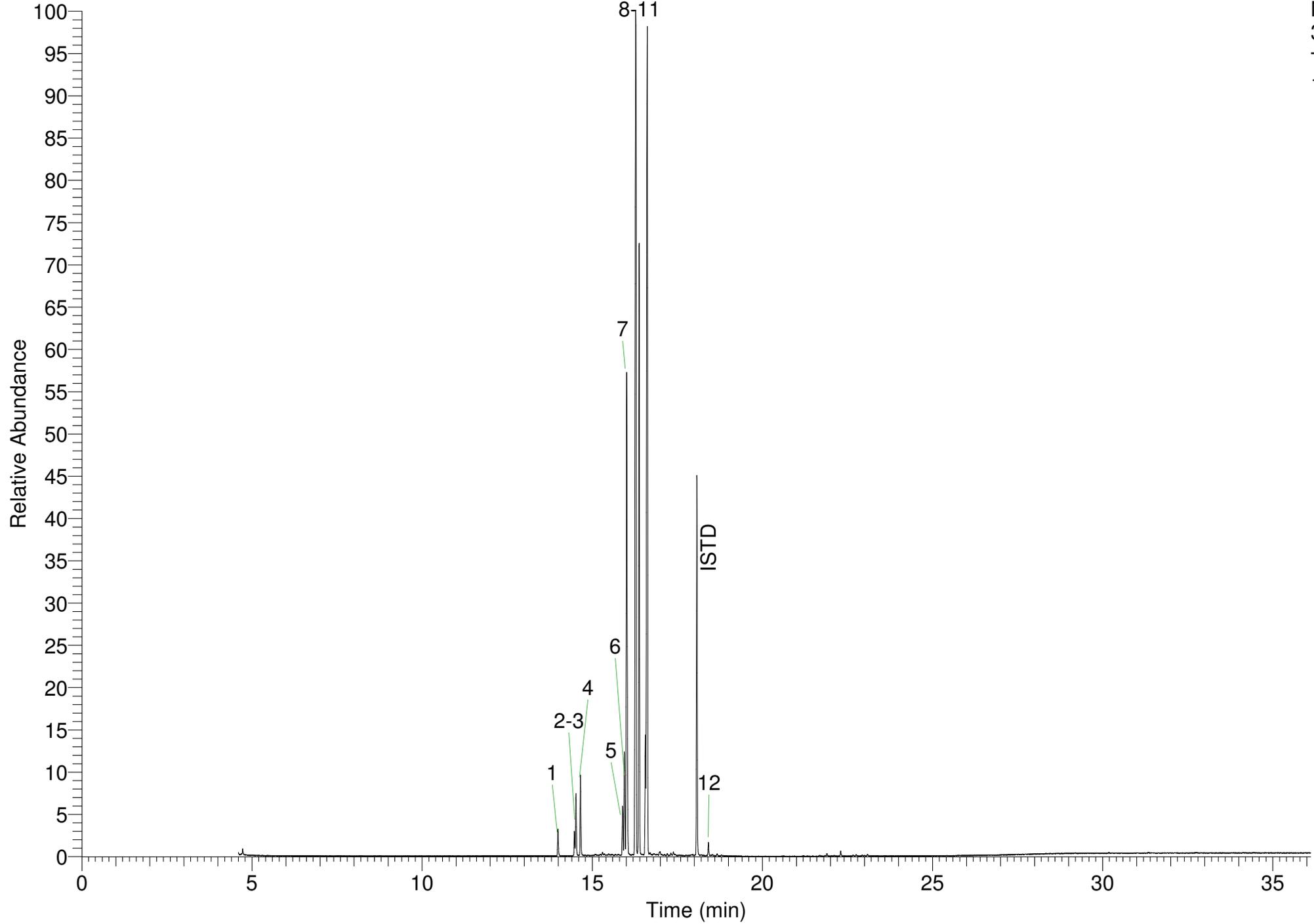
Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

RT: 0.00 - 36.11

NL:
3.87E8
TIC MS
1820920d



C.3.5 SENS-Kleingeräte ungepolte zylindrische Kondensatoren

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 20921
Probenbezeichnung: 5.1 HKG
Prüfmethode Extraktion: Schüttelextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|------------|---|---------|----------------------------------|---------------|
| 1 | 91-57-6 | 2-Methyl-naphthalin | 93 | oder Isomer | 900 |
| 2 | 90-12-0 | 1-Methyl-naphthalin | 94 | oder Isomer | 4000 |
| 3 | NA | Butyl cyclohexylmethyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 77 | oder Isomer | 1000 |
| 4 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein verzweigtes Alkan | 2000 |
| 5 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein verzweigtes Alkan | 1000 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | | interner Standard | 5000 |
| 6 | 27519-02-4 | Cyclohexylmethyl undecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 76 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 7 | NA | Cyclohexylmethyl tetradecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 78 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 8 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein verzweigtes Alkan | 2000 |
| 9 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein verzweigtes Alkan | 2000 |
| 10 | NA | Cyclohexylmethyl undecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 74 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 11 | NA | Cyclohexylmethyl tetradecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 76 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 12 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 13 | 84-76-4 | Dinonyl phthalat | 91 | oder ähnliches Phthalat | 2000 |
| 14 | | Kohlenwasserstoffgemisch | | RT 11-28 | n/q |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

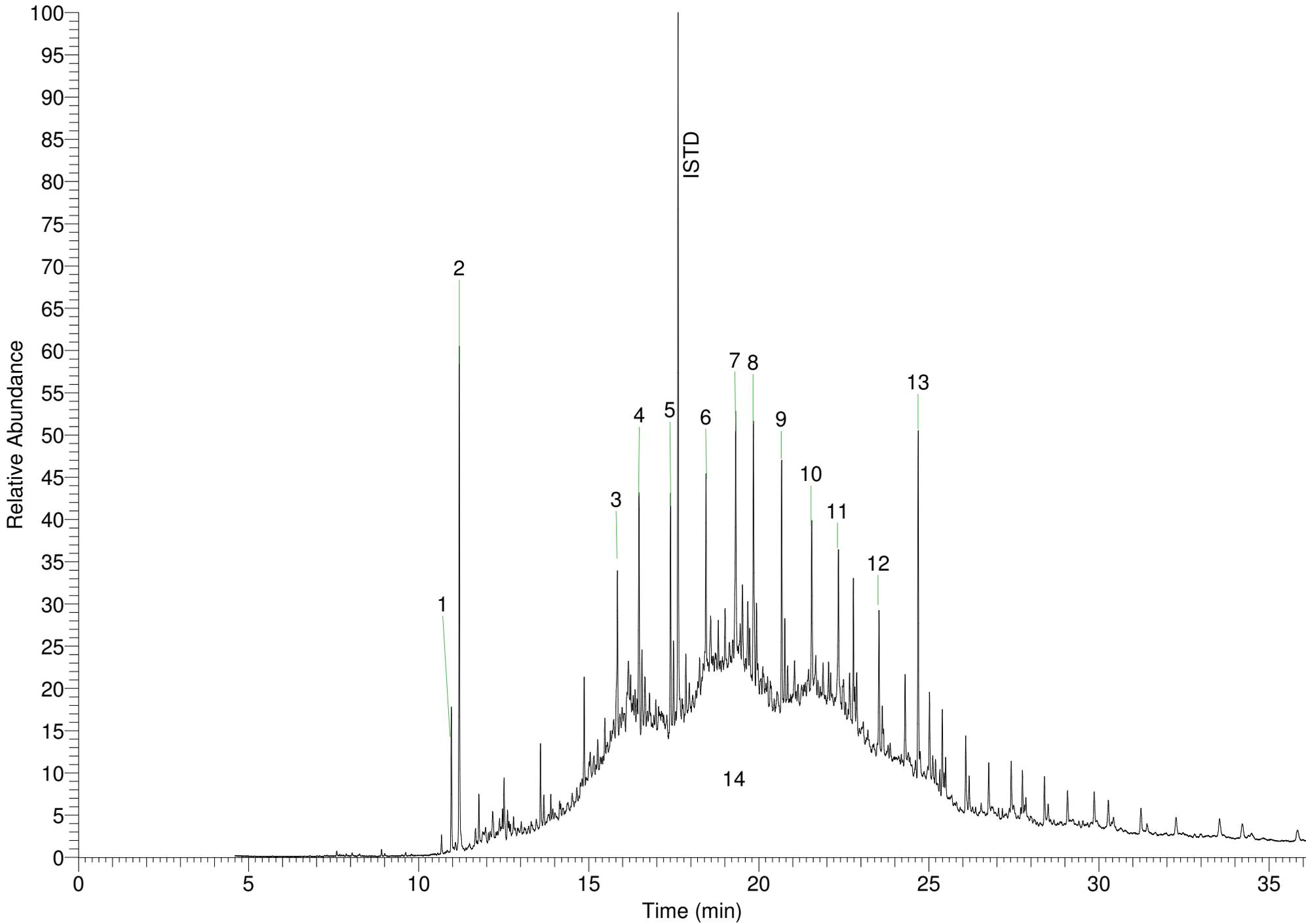
Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

RT: 0.00 - 36.08

NL:
2.88E8
TIC MS
1820921c



C.3.6 Haushaltgrossgeräte

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201803937

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 22933
Probenbezeichnung: 6 HHG
Prüfmethode Extraktion: Schütteleextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|------------|---|---------|--|---------------|
| 1 | 91-57-6 | 2-Methylnaphthalin | 93 | oder Isomer | 1000 |
| 2 | 90-12-0 | 1-Methylnaphthalin | 93 | oder Isomer | 2000 |
| 3 | NA | Cyclohexylmethyl hexyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 81 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 4 | NA | Cyclohexylmethyl hexadecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 80 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 5 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein verzweigtes Alkan | 4000 |
| 6 | 53960-44-4 | 2,2-Dimethyl-4-octen-3-ol | 75 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 7 | 5171-85-7 | 2,2,4,4,5,5,7,7-Octamethyloctan | 74 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | | interner Standard | 9000 |
| 8 | 27458-90-8 | Di-tert-dodecyl disulfid | 78 | unsichere Verbindung | 1000 |
| 9 | NA | Cyclohexylmethyl hexyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 77 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 10 | NA | Cyclohexylmethyl hexadecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 78 | oder ähnliche Verbindung | 3000 |
| 11 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein sauerstoffhaltiges, verzweigtes Alkan | 4000 |
| 12 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein verzweigtes Alkan | 1000 |
| 13 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein verzweigtes Alkan | 2000 |
| 14 | NA | Cyclohexylmethyl hexadecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 76 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 15 | NA | Cyclohexylmethyl tetradecyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 76 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 16 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein sauerstoffhaltiges, verzweigtes Alkan | 3000 |
| 17 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein verzweigtes Alkan | 1000 |
| 18 | NA | Cyclohexylmethyl hexyl ester Sulfurous acid (schweflige Säure) | 77 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 19 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein sauerstoffhaltiges Alkan | 1000 |
| 20 | | Kohlenwasserstoffgemisch | | RT 12-30 | n/q |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
99 = identisch
>90 = sehr gute Übereinstimmung
>70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

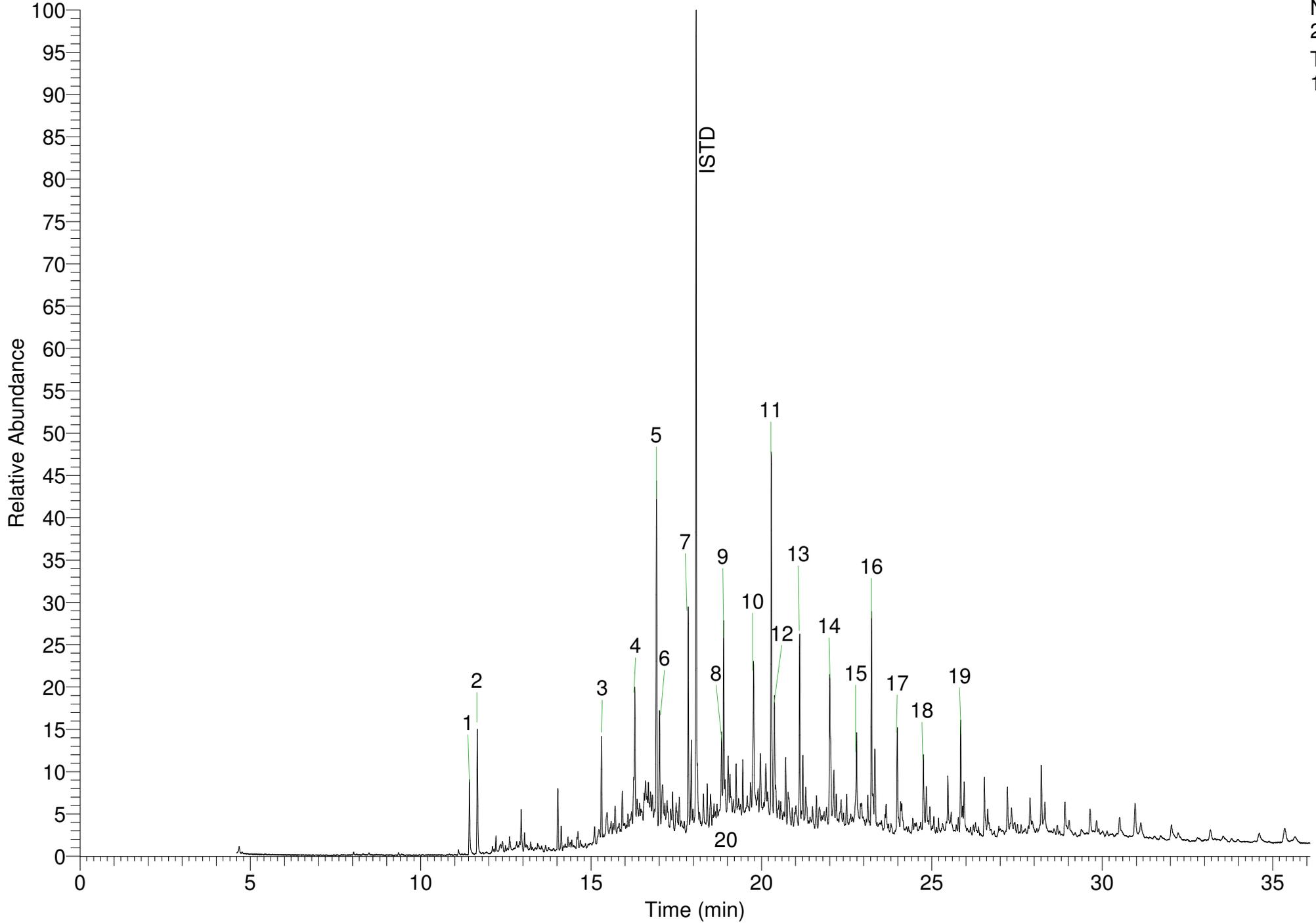
Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

RT: 0.00 - 36.09

NL:
2.37E8
TIC MS
1822933a



C.3.7 SENS-Kleingeräte Elektrolyt-Kondensatoren

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 25044
Probenbezeichnung: 5.2a HKG
Prüfmethode Extraktion: Schüttelextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|------------|--|---------|--------------------------|---------------|
| 1 | 617-84-5 | N,N-Diethylformamid | 90 | | 20 |
| 2 | 111-46-6 | Diethylenglycol | 95 | | 200 |
| 3 | 108-95-2 | Phenol | 94 | | 30 |
| 4 | 104-76-7 | 2-Ethylhexanol | 93 | oder ähnliche Verbindung | 10 |
| 5 | 100-51-6 | Benzylalkohol | 96 | | 2000 |
| 6 | 65-85-0 | Benzoessäure | 84 | | 20 |
| 7 | 112-34-5 | Diethylenglycol monobutylether | 95 | oder Isomer | 3000 |
| 8 | 91-23-6 | 1-Methoxy-2-nitro-benzol | 92 | | 20 |
| 9 | 121-89-1 | m-Nitroacetophenon | 81 | | 10 |
| 10 | 100-02-7 | 4-Nitrophenol | 72 | oder ähnliche Verbindung | 10 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | | interner Standard | 700 |
| 11 | NA | (3-Iodo-1-methoxy-1-methylpropyl)-benzol | 78 | unsicher | 10 |
| 12 | NA | (3-Iodo-1-methoxy-1-methylpropyl)-benzol | 78 | unsicher | 50 |
| 13 | NA | (3-Iodo-1-methoxy-1-methylpropyl)-benzol | 74 | unsicher | 10 |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.

99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

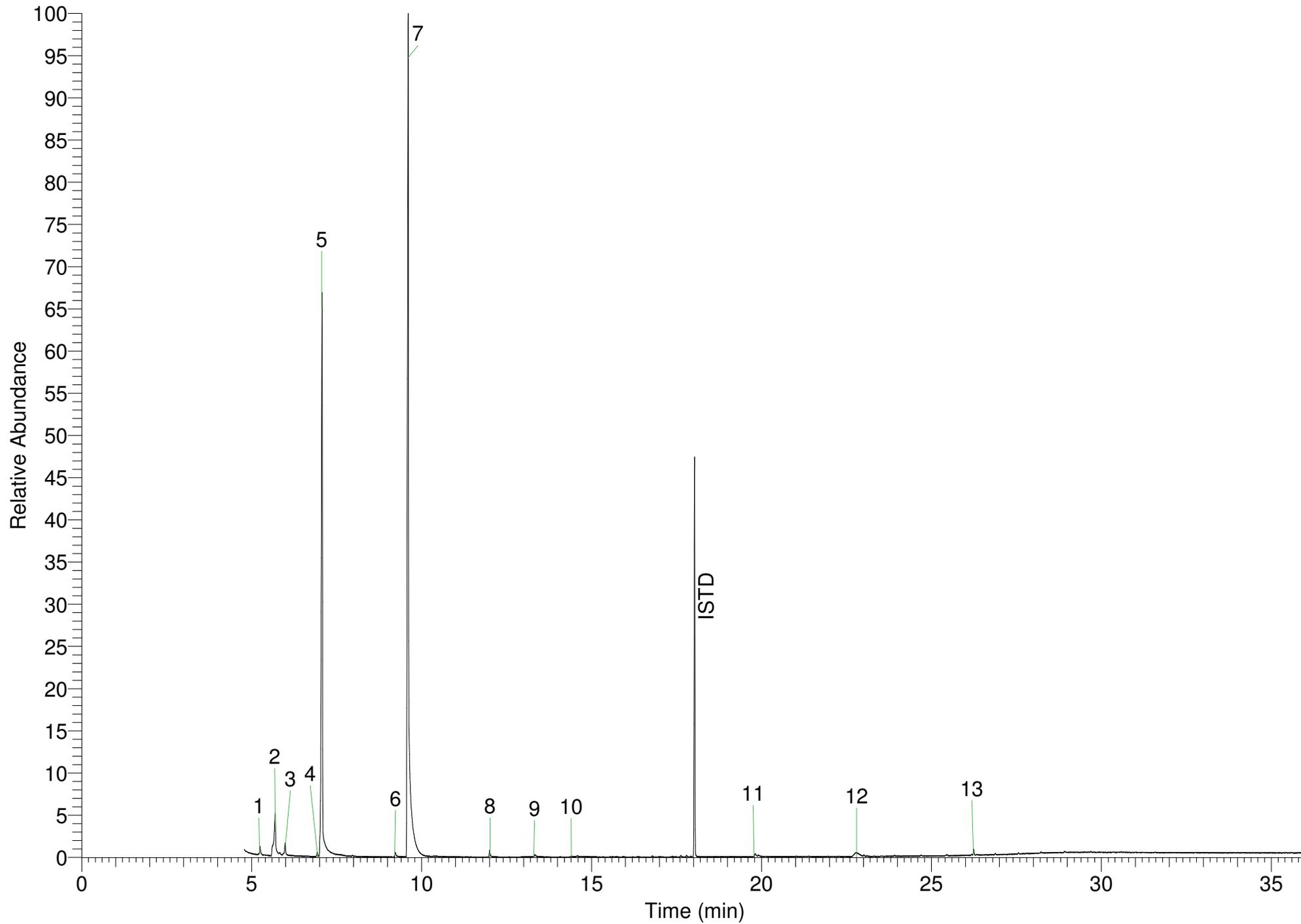
Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

RT: 0.00 - 36.08

NL:
4.28E8
TIC MS
1825044d



Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

Anhang LCMS Screening - Ergebnisse des Non-Target-Screenings

Proben-Nr. Bachema: 25049
Probenbezeichnung: Eluat aus 25048 ("5.2b HKG")

Prüfmethode: LC: Waters Atlantis dc18 RP-Säule, Eluenten H₂O & MeOH (jeweils mit 0.1% Ameisensäure), Direktinjektion von 100µL Probe
 MS: TripleTOF 6600 (QTOF von ABSciex), positive und negative Ionisierung mit Elektrospray-Ionisation, Messzyklus: 1 HR-FullScan + 10 HR-MSMS (datenabhängig)
 Auswertung: Automatisierte Non-Target Peaksuche mit Threshold 2000 in "Masterview" - Kontrollprobe: Elutionsblank
 Retentionszeitenbereich: 1.5-20 min; automatisierte Summenformelvorhersage mit maximal C50 H100 N10 O10 S5 P5 Cl5 Br5

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Positiver Ionisationsmodus - grösste 10 Peaks von insgesamt 454 gefundenen Peaks

| Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung) | Name | gemessene Masse | RT [min] | Intensität | automatisierte Summenformel- vorhersage | Güte der Summenformel- vorhersage 0 (gering) bis 100 (hoch) | Kommentar |
|---|------------------|--------------------|----------|------------|---|---|--|
| P001 | 88.0756 / 5.56 | 88.076 | 5.56 | 2468671 | C4H9NO | 46 | Wahrscheinlich Dimethylacetamid (siehe Suspectscreening) |
| P002 | 229.1433 / 10.28 | 229.143 | 10.28 | 2205605 | C12H20O4 | 59 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |
| P003 | 215.1279 / 9.14 | 215.128 | 9.14 | 1094760 | C11H18O4 | 57 | |
| P004 | 273.1697 / 10.20 | 273.170 | 10.20 | 997374 | C14H24O5 | 67 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |
| P005 | 273.1696 / 10.76 | 273.170 | 10.76 | 986242 | C14H24O5 | 89 | Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT |
| P006 | 357.1882 / 10.63 | 357.188 | 10.63 | 724294 | C14H36N2P4 | 40 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |
| P007 | 313.1622 / 10.20 | 313.162 | 10.20 | 640152 | C10H25N4O5P | 63 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |
| P008 | 297.1665 / 12.69 | 297.166 | 12.69 | 634099 | C12H20N6O3 | 61 | Gruppe aus 6 Peaks mit gleicher RT |
| P009 | 74.0602 / 4.24 | 74.060 | 4.24 | 560618 | C3H7NO | 60 | Wahrscheinlich Dimethylformamid (siehe Suspectscreening) |
| P010 | 257.1735 / 12.81 | 257.173 | 12.81 | 547152 | C14H24O4 | 50 | Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT |

Negativer Ionisationsmodus - grösste 3 Peaks von insgesamt 111 gefundenen Peaks

| Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung) | Name | gemessene Masse | RT [min] | Intensität | automatisierte Summenformel- vorhersage | Güte der Summenformel- vorhersage 0 (gering) bis 100 (hoch) | Kommentar |
|---|------------------|--------------------|----------|------------|---|---|------------------------------------|
| N001 | 227.9912 / 9.52 | 227.991 | 9.52 | 2991620 | C6H3N3O7 | 44 | |
| N002 | 229.1462 / 12.85 | 229.146 | 12.85 | 1749124 | C12H22O4 | 65 | Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT |
| N003 | 273.1733 / 12.64 | 273.173 | 12.64 | 1010618 | C14H26O5 | 76 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

Anhang LCMS Screening - Ergebnisse des Suspect-Screenings

Proben-Nr. Bachema: 25049
Probenbezeichnung: Eluat aus 25048 ("5.2b HKG")

Prüfmethode: LC: Waters Atlantis dc18 RP-Säule, Eluenten H₂O & MeOH (jeweils mit 0.1% Ameisensäure), Direktinjektion von 100µL Probe
MS: TripleTOF 6600 (QTOF von ABSciex), positive und negative Ionisierung mit Elektrospray-Ionisation, Messzyklus: 1 HR-FullScan + 10 HR-MSMS (datenabhängig)
Auswertung: Peaksuche der Substanzen aus untenstehender Liste im positiven Ionisationsmodus mittels [M+H]⁺ und im negativen Ionisationsmodus mittels [M-H]⁻
Abgleich der MSMS-Spektren mit verschiedenen MSMS-Datenbanken, wenn Spektrum vorhanden
Abgleich mit Referenzstandard, wenn Standard bei Bachema vorhanden

| Resultate | | | | | LCMS Suspect-Screening (erfasst mittel- bis hochpolare organische Verbindungen) | | | | |
|------------------------------------|------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|---|---|---|-------------------------------|--|
| Trivialname | CAS-Nummer | Chemische verwandte Gruppe | Verwendet in (Literaturhinweise) | Bedenkliche Substanz? | Summenformel | wurde gefunden mit | wurde gefunden bei Retentionszeit [min] | wurde gefunden mit Intensität | Bemerkung |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | Amide | Al-Elko | Ja | C3H7NO | [M+H] ⁺ | 4.5 | 559475 | isobar zu N-Methylacetamid, Identität über MSMS-Fragmente mit hoher Wahrscheinlichkeit bestätigt |
| Dimethylacetamid | 127-19-5 | Amide | Al-Elko | Ja | C4H9NO | [M+H] ⁺ | 5.6 | 2471983 | Identität nicht bestätigt, aber aufgrund ähnlicher MSMS-Fragmente wie Dimethylformamid wahrscheinlich |
| N-Methylacetamid | 79-16-3 | Amide | Al-Elko | Ja | C3H7NO | [M+H] ⁺ | 4.5 | 559475 | isobar zu Dimethylformamid, Identität nicht bestätigt, Peak ist eher Dimethylformamid |
| N-Methylformamid | 123-39-7 | Amide | Al-Elko | Ja | C2H5NO | nicht gefunden | | | |
| Triethylamin | 121-44-8 | Amine | Al-Elko | Nein | C6H15N | [M+H] ⁺ | 5 | 289843 | Identität nicht bestätigt, aber wahrscheinlich |
| Diethylamin | 109-89-7 | Amine | | Nein | C4H11N | [M+H] ⁺ | 1.9 (Totzeit) | 379711 | grosser Peak bei 2min, durch Standard bestätigt als Diethylamin, Konzentration in der 1:1000-er Verdünnung des Eluats deutlich grösser als 10 µg/L |
| Ethanolamin | 141-43-5 | Amine | | Nein | C2H7NO | nicht gefunden | | | |
| 2,3,5-Trihydroxybenzoesäure | 33580-60-8 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,3,6-Trihydroxybenzoesäure | 16534-78-4 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4,5-Trihydroxybenzoesäure | 610-90-2 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | 88-99-3 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | 121-91-5 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 1,4-Benzoldicarbonsäure | 100-21-0 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure | 69-72-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O3 | [M+H] ⁺ & [M-H] ⁻ | 8.9 | 24604 / 358763 | Identität nicht bestätigt |
| 2,3,4-Trihydroxybenzoesäure | 610-02-6 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4,6-Trihydroxybenzoesäure | 83-30-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 3,4,5-Trihydroxybenzoesäure | 149-91-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | 89-86-1 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O4 | [M-H] ⁻ | 5.9 + 7.1 | 835 | in Spuren, Identität nicht bestätigt |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | Glycole | Al-Elko | Nein | C2H4O (Monomer) | [M+H] ⁺ | 8.6 | 65314 | wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls |
| Polyethylenglycol-2 | | | | | C4H10O3 | [M+H] ⁺ | 8.6 | 103876 | wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls |
| Polyethylenglycol-3 | | | | | C6H14O4 | [M+H] ⁺ | 6.4 | 1745 | |
| Polyethylenglycol-4 | | | | | C8H18O5 | [M+H] ⁺ | 6.0 | 40047 | |
| Polyethylenglycol-5 | | | | | C10H22O6 | [M+H] ⁺ | 6.4 | 298228 | |
| Polyethylenglycol-6 | | | | | C12H26O7 | [M+H] ⁺ | 6.8 | 223925 | |
| Polyethylenglycol-7 | | | | | C14H30O8 | [M+H] ⁺ | 7.0 | 97324 | |
| Polyethylenglycol-8 | | | | | C16H34O9 | [M+H] ⁺ | 7.3 + 8.7 | 22495 | Intensität von grösserem Peak (RT 7.3) |
| Polyethylenglycol-9 | | | | | C18H38O10 | [M+H] ⁺ | 7.5 + 9.0 | 12467 | Intensität von grösserem Peak (RT 7.5) |
| Polyethylenglycol-10 | | | | | C20H42O11 | [M+H] ⁺ | 7.7 + 9.3 | 16890 | Intensität von grösserem Peak (RT 9.3) |
| Polyethylenglycol-11 | | | | | C22H46O12 | [M+H] ⁺ | 7.8 + 9.6 | 17552 | Intensität von grösserem Peak (RT 9.6) |
| Polyethylenglycol-12 | | | | | C24H50O13 | [M+H] ⁺ | 8.0 + 9.9 | 15112 | Intensität von grösserem Peak (RT 9.9) |
| Polyethylenglycol-13 | | | | | C26H54O14 | [M+H] ⁺ | 8.2 + 10.2 | 12187 | Intensität von grösserem Peak (RT 10.2) |
| Polyethylenglycol-14 | | | | | C28H58O15 | [M+H] ⁺ | 8.4 + 10.5 | 6150 | Intensität von grösserem Peak (RT 10.5) |
| Polyethylenglycol-15 | | | | | C30H62O16 | [M+H] ⁺ | 8.5 | 4133 | |
| Polyethylenglycol-16 | | | | | C32H66O17 | [M+H] ⁺ | 8.7 | 3592 | |
| Polyethylenglycol-17 | | | | | C34H70O18 | [M+H] ⁺ | 8.8 | 2360 | |
| Polyethylenglycol-18 | | | | | C36H74O19 | [M+H] ⁺ | 9.0 | 1823 | |
| Polyethylenglycol-19 | | | | | C38H78O20 | [M+H] ⁺ | 9.2 | 1512 | |
| Polyethylenglycol-20 | | | | | C40H82O21 | [M+H] ⁺ | 9.3 | 757 | |
| Polyethylenglycol-21 | | | | | C42H86O22 | [M+H] ⁺ | 9.5 | 466 | |
| Polyethylenglycol-22 | | | | | C44H90O23 | [M+H] ⁺ | 9.6 | 308 | |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

C.3.8 Laptop-Netzteile und Desktop-Computer

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 25050
Probenbezeichnung: 7a Netz
Prüfmethode Extraktion: Schütteleextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|------------|-------------------------------|---------|---|---------------|
| 1 | 591-81-1 | 4-Hydroxybutansäure | 97 | GHB oder Butyrolacton | 40 |
| 2 | 111-46-6 | Diethylenglycol | 97 | | 100 |
| 3 | 111-46-6 | Diethylenglycol | 95 | | 100 |
| 4 | 108-95-2 | Phenol | 93 | | 50 |
| 5 | 617-94-7 | 2-Phenyl-2-propanol | 88 | oder ähnliche Verbindung | 10 |
| 6 | 65-85-0 | Benzoessäure | 94 | | 200 |
| 7 | 91-23-6 | 1-Methoxy-2-nitro-benzol | 94 | | 10 |
| 8 | 94-33-7 | Ethylenglycol monobenzoat | 90 | | 30 |
| 9 | 121-89-1 | m-Nitroacetophenon | 96 | | 80 |
| 10 | 100-02-7 | 4-Nitrophenol | 92 | | 30 |
| 11 | 619-73-8 | 4-Nitrobenzyl Alkohol | 91 | oder Isomer | 50 |
| 12 | 505-95-3 | 12-Hydroxydodecansäure | 78 | unsicher | 10 |
| 13 | 111-20-6 | Decandisäure | 75 | Sebacinsäure oder ähnliche Säure | 20 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | | interner Standard | 80 |
| 14 | 1593-55-1 | Azelainsäure monoethylester | 72 | oder ähnliche Verbindung | 50 |
| 15 | 5578-82-5 | Ethylen sebacat | 76 | oder ähnliche Verbindung | 200 |
| 16 | | unbekannte Verbindung | | | 20 |
| 17 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich eine Carbonsäure | 300 |
| 18 | 13145-56-7 | 1,4-Di-p-tolybutane-1,4-dione | 72 | | 10 |
| 19 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich eine sauerstoffhaltige, aromatische Verbindung | 10 |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

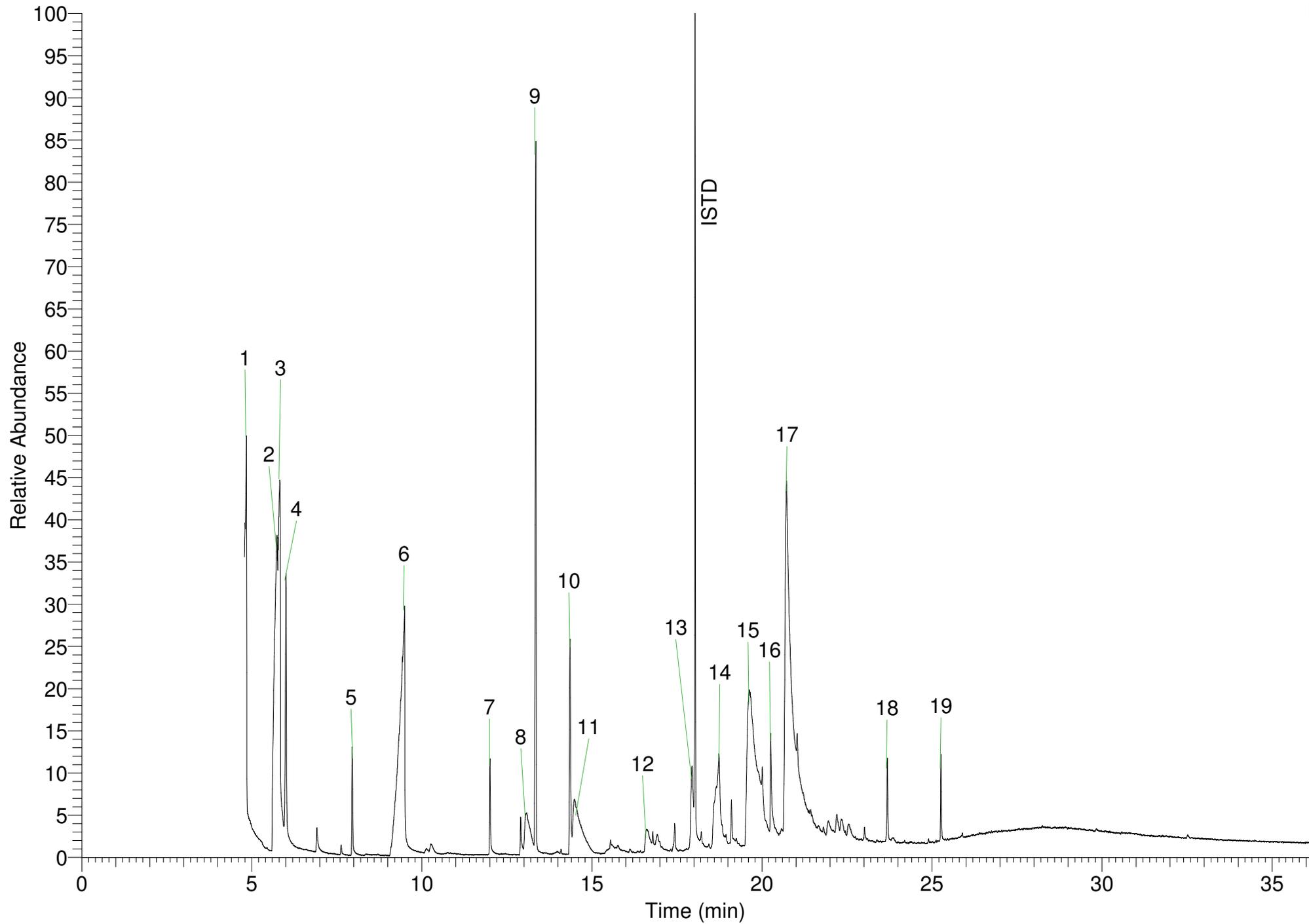
Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

RT: 0.00 - 36.08

NL:
1.91E8
TIC MS
1825050c



Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

Anhang LCMS Screening - Ergebnisse des Non-Target-Screenings

Proben-Nr. Bachema: 25049
Probenbezeichnung: Eluat aus 25048 ("5.2b HKG")

Prüfmethode: LC: Waters Atlantis dc18 RP-Säule, Eluenten H₂O & MeOH (jeweils mit 0.1% Ameisensäure), Direktinjektion von 100µL Probe
 MS: TripleTOF 6600 (QTOF von ABSciex), positive und negative Ionisierung mit Elektrospray-Ionisation, Messzyklus: 1 HR-FullScan + 10 HR-MSMS (datenabhängig)
 Auswertung: Automatisierte Non-Target Peaksuche mit Threshold 2000 in "Masterview" - Kontrollprobe: Elutionsblank
 Retentionszeitenbereich: 1.5-20 min; automatisierte Summenformelvorhersage mit maximal C50 H100 N10 O10 S5 P5 Cl5 Br5

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Positiver Ionisationsmodus - grösste 10 Peaks von insgesamt 454 gefundenen Peaks

| Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung) | Name | gemessene Masse | RT [min] | Intensität | automatisierte Summenformel- vorhersage | Güte der Summenformel- vorhersage 0 (gering) bis 100 (hoch) | Kommentar |
|---|------------------|--------------------|----------|------------|---|---|--|
| P001 | 88.0756 / 5.56 | 88.076 | 5.56 | 2468671 | C4H9NO | 46 | Wahrscheinlich Dimethylacetamid (siehe Suspectscreening) |
| P002 | 229.1433 / 10.28 | 229.143 | 10.28 | 2205605 | C12H20O4 | 59 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |
| P003 | 215.1279 / 9.14 | 215.128 | 9.14 | 1094760 | C11H18O4 | 57 | |
| P004 | 273.1697 / 10.20 | 273.170 | 10.20 | 997374 | C14H24O5 | 67 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |
| P005 | 273.1696 / 10.76 | 273.170 | 10.76 | 986242 | C14H24O5 | 89 | Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT |
| P006 | 357.1882 / 10.63 | 357.188 | 10.63 | 724294 | C14H36N2P4 | 40 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |
| P007 | 313.1622 / 10.20 | 313.162 | 10.20 | 640152 | C10H25N4O5P | 63 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |
| P008 | 297.1665 / 12.69 | 297.166 | 12.69 | 634099 | C12H20N6O3 | 61 | Gruppe aus 6 Peaks mit gleicher RT |
| P009 | 74.0602 / 4.24 | 74.060 | 4.24 | 560618 | C3H7NO | 60 | Wahrscheinlich Dimethylformamid (siehe Suspectscreening) |
| P010 | 257.1735 / 12.81 | 257.173 | 12.81 | 547152 | C14H24O4 | 50 | Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT |

Negativer Ionisationsmodus - grösste 3 Peaks von insgesamt 111 gefundenen Peaks

| Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung) | Name | gemessene Masse | RT [min] | Intensität | automatisierte Summenformel- vorhersage | Güte der Summenformel- vorhersage 0 (gering) bis 100 (hoch) | Kommentar |
|---|------------------|--------------------|----------|------------|---|---|------------------------------------|
| N001 | 227.9912 / 9.52 | 227.991 | 9.52 | 2991620 | C6H3N3O7 | 44 | |
| N002 | 229.1462 / 12.85 | 229.146 | 12.85 | 1749124 | C12H22O4 | 65 | Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT |
| N003 | 273.1733 / 12.64 | 273.173 | 12.64 | 1010618 | C14H26O5 | 76 | Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT |

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie
Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

Anhang LCMS Screening - Ergebnisse des Suspect-Screenings

Proben-Nr. Bachema: 25049
Probenbezeichnung: Eluat aus 25048 ("5.2b HKG")

Prüfmethode: LC: Waters Atlantis dc18 RP-Säule, Eluenten H₂O & MeOH (jeweils mit 0.1% Ameisensäure), Direktinjektion von 100µL Probe
MS: TripleTOF 6600 (QTOF von ABSciex), positive und negative Ionisierung mit Elektrospray-Ionisation, Messzyklus: 1 HR-FullScan + 10 HR-MSMS (datenabhängig)
Auswertung: Peaksuche der Substanzen aus untenstehender Liste im positiven Ionisationsmodus mittels [M+H]⁺ und im negativen Ionisationsmodus mittels [M-H]⁻
Abgleich der MSMS-Spektren mit verschiedenen MSMS-Datenbanken, wenn Spektrum vorhanden
Abgleich mit Referenzstandard, wenn Standard bei Bachema vorhanden

| Resultate | | | | | LCMS Suspect-Screening (erfasst mittel- bis hochpolare organische Verbindungen) | | | | |
|------------------------------------|------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|---|---|---|-------------------------------|--|
| Trivialname | CAS-Nummer | Chemische verwandte Gruppe | Verwendet in (Literaturhinweise) | Bedenkliche Substanz? | Summenformel | wurde gefunden mit | wurde gefunden bei Retentionszeit [min] | wurde gefunden mit Intensität | Bemerkung |
| Dimethylformamid | 68-12-2 | Amide | Al-Elko | Ja | C3H7NO | [M+H] ⁺ | 4.5 | 559475 | isobar zu N-Methylacetamid, Identität über MSMS-Fragmente mit hoher Wahrscheinlichkeit bestätigt |
| Dimethylacetamid | 127-19-5 | Amide | Al-Elko | Ja | C4H9NO | [M+H] ⁺ | 5.6 | 2471983 | Identität nicht bestätigt, aber aufgrund ähnlicher MSMS-Fragmente wie Dimethylformamid wahrscheinlich |
| N-Methylacetamid | 79-16-3 | Amide | Al-Elko | Ja | C3H7NO | [M+H] ⁺ | 4.5 | 559475 | isobar zu Dimethylformamid, Identität nicht bestätigt, Peak ist eher Dimethylformamid |
| N-Methylformamid | 123-39-7 | Amide | Al-Elko | Ja | C2H5NO | nicht gefunden | | | |
| Triethylamin | 121-44-8 | Amine | Al-Elko | Nein | C6H15N | [M+H] ⁺ | 5 | 289843 | Identität nicht bestätigt, aber wahrscheinlich |
| Diethylamin | 109-89-7 | Amine | | Nein | C4H11N | [M+H] ⁺ | 1.9 (Totzeit) | 379711 | grosser Peak bei 2min, durch Standard bestätigt als Diethylamin, Konzentration in der 1:1000-er Verdünnung des Eluats deutlich grösser als 10 µg/L |
| Ethanolamin | 141-43-5 | Amine | | Nein | C2H7NO | nicht gefunden | | | |
| 2,3,5-Trihydroxybenzoesäure | 33580-60-8 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,3,6-Trihydroxybenzoesäure | 16534-78-4 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4,5-Trihydroxybenzoesäure | 610-90-2 | Organische Säuren | Al-Elko | Einstufung nicht möglich | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 1,2-Benzoldicarbonsäure | 88-99-3 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 1,3-Benzoldicarbonsäure | 121-91-5 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 1,4-Benzoldicarbonsäure | 100-21-0 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C8H6O4 | nicht gefunden | | | |
| 2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure | 69-72-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O3 | [M+H] ⁺ & [M-H] ⁻ | 8.9 | 24604 / 358763 | Identität nicht bestätigt |
| 2,3,4-Trihydroxybenzoesäure | 610-02-6 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4,6-Trihydroxybenzoesäure | 83-30-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 3,4,5-Trihydroxybenzoesäure | 149-91-7 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O5 | nicht gefunden | | | |
| 2,4-Dihydroxybenzoesäure | 89-86-1 | Organische Säuren | Al-Elko | Nein | C7H6O4 | [M-H] ⁻ | 5.9 + 7.1 | 835 | in Spuren, Identität nicht bestätigt |
| Polyethylenglycol | 25322-68-3 | Glycole | Al-Elko | Nein | C2H4O (Monomer) | [M+H] ⁺ | 8.6 | 65314 | wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls |
| Polyethylenglycol-2 | | | | | C4H10O3 | [M+H] ⁺ | 8.6 | 103876 | wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls |
| Polyethylenglycol-3 | | | | | C6H14O4 | [M+H] ⁺ | 6.4 | 1745 | |
| Polyethylenglycol-4 | | | | | C8H18O5 | [M+H] ⁺ | 6.0 | 40047 | |
| Polyethylenglycol-5 | | | | | C10H22O6 | [M+H] ⁺ | 6.4 | 298228 | |
| Polyethylenglycol-6 | | | | | C12H26O7 | [M+H] ⁺ | 6.8 | 223925 | |
| Polyethylenglycol-7 | | | | | C14H30O8 | [M+H] ⁺ | 7.0 | 97324 | |
| Polyethylenglycol-8 | | | | | C16H34O9 | [M+H] ⁺ | 7.3 + 8.7 | 22495 | Intensität von grösserem Peak (RT 7.3) |
| Polyethylenglycol-9 | | | | | C18H38O10 | [M+H] ⁺ | 7.5 + 9.0 | 12467 | Intensität von grösserem Peak (RT 7.5) |
| Polyethylenglycol-10 | | | | | C20H42O11 | [M+H] ⁺ | 7.7 + 9.3 | 16890 | Intensität von grösserem Peak (RT 9.3) |
| Polyethylenglycol-11 | | | | | C22H46O12 | [M+H] ⁺ | 7.8 + 9.6 | 17552 | Intensität von grösserem Peak (RT 9.6) |
| Polyethylenglycol-12 | | | | | C24H50O13 | [M+H] ⁺ | 8.0 + 9.9 | 15112 | Intensität von grösserem Peak (RT 9.9) |
| Polyethylenglycol-13 | | | | | C26H54O14 | [M+H] ⁺ | 8.2 + 10.2 | 12187 | Intensität von grösserem Peak (RT 10.2) |
| Polyethylenglycol-14 | | | | | C28H58O15 | [M+H] ⁺ | 8.4 + 10.5 | 6150 | Intensität von grösserem Peak (RT 10.5) |
| Polyethylenglycol-15 | | | | | C30H62O16 | [M+H] ⁺ | 8.5 | 4133 | |
| Polyethylenglycol-16 | | | | | C32H66O17 | [M+H] ⁺ | 8.7 | 3592 | |
| Polyethylenglycol-17 | | | | | C34H70O18 | [M+H] ⁺ | 8.8 | 2360 | |
| Polyethylenglycol-18 | | | | | C36H74O19 | [M+H] ⁺ | 9.0 | 1823 | |
| Polyethylenglycol-19 | | | | | C38H78O20 | [M+H] ⁺ | 9.2 | 1512 | |
| Polyethylenglycol-20 | | | | | C40H82O21 | [M+H] ⁺ | 9.3 | 757 | |
| Polyethylenglycol-21 | | | | | C42H86O22 | [M+H] ⁺ | 9.5 | 466 | |
| Polyethylenglycol-22 | | | | | C44H90O23 | [M+H] ⁺ | 9.6 | 308 | |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

C.3.9 Auswertung LCMS unter Einbezug von Bor

Objekt: Kondensatoren-Analyse

Auftraggeber: Büro für Umweltchemie

Auftrags-Nr. Bachema: 201805939

Nachträgliche Auswertung von LC-MS-Screening-Daten nach Borverbindungen mit besonderem Augenmerk auf Borsäure und Ammoniumpentaborat.

Wir haben zusätzliche Auswertungen vorgenommen und uns dabei auf die Probe 25049 "Eluat aus 5.2b HKG" konzentriert, da diese mit 262 mg/l am meisten Bor enthält.

Zusammenfassend gesagt konnten wir in den LC-MS-Screening-Daten keine Hinweise auf borhaltige Verbindungen finden, die mit dieser Methode erfassbar wären. Das bedeutet nicht, dass keine borhaltigen organischen Verbindungen in der Probe vorhanden sind, sondern nur, dass wir mit unserer Methode keine solchen Verbindungen nachweisen konnten. Wie im nächsten Punkt erläutert, sind manche borhaltigen Verbindungen mit unserer Methode nicht erfassbar.

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 SchlierenTelefon
+41 44 738 39 00Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Im Einzelnen haben wir folgendes gemacht:

1) Borsäure haben wir im Haus, daher haben wir diese mit unserer Methode in relativ hohen Konzentrationen eingespritzt und gemessen. Wir haben leider kein Signal für die Borsäure erhalten, was darauf schliessen lässt, dass sie nicht mittels LC-MS erfassbar ist.

2) Wir haben nach den exakten Massen von Borsäure und Pentaborat in den Fullscan-Massenspektren aller drei gemessenen Proben gesucht. Wir haben keine signifikanten Signale (Peaks) für diese Massen gefunden. Erschwerend hinzu kam, dass man bei eingehender Internetrecherche keine eindeutige Strukturformel für das Ammoniumpentaborat erhält. Wir haben unserer Suche dann die uns am wahrscheinlichsten erscheinende Strukturformel zugrunde gelegt. Abgesehen davon ist es unwahrscheinlich, dass wir für Pentaborat ein Signal bekommen, wenn die Borsäure kein Signal ergibt. Somit konnten wir beide Verdachtssubstanzen nicht detektieren.

3) In den Ergebnissen des Non-Target-Screenings haben wir nochmals eine Summenformelvorhersage laufen lassen und dazu bis zu drei Bor-Atome erlaubt. Innerhalb der 50 grössten Peaks für Probe 25049 wurde allerdings keine plausible Summenformel mit Bor vorhergesagt, so dass auch diese Suche erfolglos blieb.

4) Die Fullscan-Massenspektren können nach spezifischen Isotopenmustern durchsucht werden. Da Bor in zwei Isotopen auftritt (B-10: 20% und B-11: 80%), kann man nach diesem Muster suchen. Auch diese Suche ergab für Probe 25049 keine signifikanten Peaks.

Somit kann das LC-MS-Screening keine Hinweise auf borhaltige organische Verbindungen geben, was aber nicht bedeutet, dass keine solchen Substanzen in der Probe vorhanden sind.

Schlieren, 26. Juli 2018

C.4 Laborberichte der Einzelproben

C.4.1 HHGG1, Kondensator-Nummer 311

Der Laborbericht ist auf den folgenden Seiten eingefügt.

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201906292

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 27027
Probenbezeichnung: HHGG 1 (Kond.-Nr. 311)
Prüfmethode Extraktion: Schüttelextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate Das Chromatogramm hat grosse Ähnlichkeit mit der Probe **6 HHG**, Bachema Nr. 22933 (2018), enthält jedoch keine Methylnaphthaline.

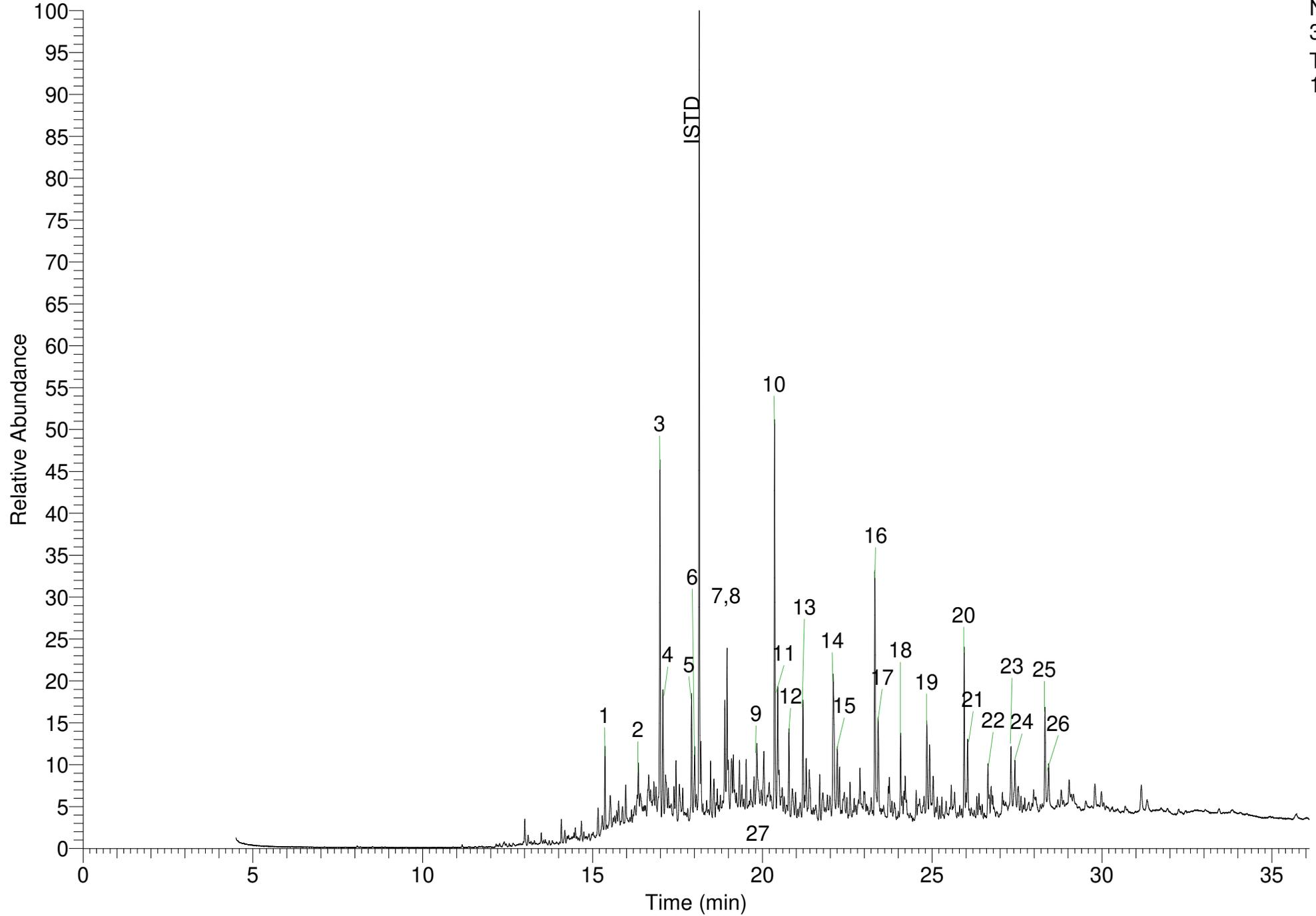
| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|-------------|--|---------|--------------------------|---------------|
| 1 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexyl ester | 79 | oder ähnliche Verbindung | 600 |
| 2 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 78 | oder ähnliche Verbindung | 600 |
| 3 | 55162-61-3 | 3,5,24-Trimethyltetracontan | 72 | oder ähnliche Verbindung | 3000 |
| 4 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 5 | 55255-73-7 | 2,2,4,10,12,12-hexamethyl-7-(3,5,5-trimethylhexyl)-6-Tridecene | 77 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 6 | NA | Docosyl octyl ether | 78 | oder ähnliche Verbindung | 900 |
| ISTD | 16696-65-4 | 1,11-Dibromoundecan | 93 | interner Standard | 6000 |
| 7 | 110225-00-8 | 2-Hexyl-1-Dodecanol | 76 | | 1000 |
| 8 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl undecyl ester | 76 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 9 | 55255-73-7 | 2,2,4,10,12,12-Hexamethyl-7-(3,5,5-trimethylhexyl)-6-tridecene | 76 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 10 | | unbekannte Verbindung | | | 3000 |
| 11 | NA | Heptyl hexacosyl ether | 75 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 12 | NA | Carbonic acid, eicosyl vinyl ester | 78 | oder ähnliche Verbindung | 800 |
| 13 | NA | Octyl tetracosyl ether | 73 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 14 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 74 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 15 | 5333-42-6 | 2-Octyl-1-Dodecanol | 77 | oder ähnliche Verbindung | 700 |
| 16 | | Heptyl hexacosyl ether | 70 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 17 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 18 | 55255-73-7 | 2,2,4,10,12,12-hexamethyl-7-(3,5,5-trimethylhexyl)-6-Tridecene | 73 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 19 | NA | Heptyl octacosyl ether | 73 | oder ähnliche Verbindung | 900 |
| 20 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 21 | NA | Heptyl hexacosyl ether | 72 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 22 | | unbekannte Verbindung | | | 600 |
| 23 | | unbekannte Verbindung | | | 700 |
| 24 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 25 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 26 | | unbekannte Verbindung | | | 500 |
| 27 | | Kohlenwassertoffgemisch | | RT 14-30 min | n.q. |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundecan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.
 n.q. = nicht quantifizierbar

RT: 0.00 - 36.10

NL:
3.16E8
TIC MS
1927027a



C.4.2 HHGG2, Kondensator-Nummer 109

Der Laborbericht ist auf den folgenden Seiten eingefügt.

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201906292

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 27028
Probenbezeichnung: HHGG 2 (Kond.-Nr. 109)
Prüfmethode Extraktion: Schüttelextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|-------------|---|---------|----------------------------------|---------------|
| B | | | | auch im Laborblindwert vorhanden | |
| 1 | | unbekannte Verbindung | | | 50 |
| 2 | 21662-09-9 | Cis-4-decenal | 81 | oder ähnliche Verbindung | 50 |
| 3 | 21662-09-9 | Cis-4-decenal | 80 | oder ähnliche Verbindung | 100 |
| 4 | | unbekannte Verbindung | | | 50 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | 94 | interner Standard | 3000 |
| 5 | 6786-21-6 | 6,7-Dioxabicyclo[3.2.2]non-8-ene | 78 | oder ähnliche Verbindung | 40 |
| 6 | 1004-24-6 | 4-Methylenecyclohexanemethanol | 75 | oder ähnliche Verbindung | 300 |
| 7 | 1679-51-2 | 3-Cyclohexene-1-methanol | 75 | oder ähnliche Verbindung | 40 |
| 8 | 127062-51-5 | 13-Hexyloxacyclotridec-10-en-2-one | 89 | | 100 |
| 9 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy-cyclohexylmethyl 3,4-epoxy-cyclohexanecarboxylate | 93 | oder Isomer | 6000 |
| 10 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy-cyclohexylmethyl 3,4-epoxy-cyclohexanecarboxylate | 87 | oder Isomer | 2000 |
| 11 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy-cyclohexylmethyl 3,4-epoxy-cyclohexanecarboxylate | 89 | oder Isomer | 2000 |
| 12 | | unbekannte Verbindung | | | 90 |
| 13 | | unbekannte Verbindung | | | 40 |
| 14 | | unbekannte Verbindung | | | 300 |
| 15 | | unbekannte Verbindung | | | 40 |
| 16 | 474-62-4 | Campesterol | 74 | oder ähnliches Hormon | 60 |
| 17 | 83-48-7 | Stigmasterol | 87 | oder ähnliches Hormon | 200 |
| 18 | 83-46-5 | α-Sitosterol | 86 | oder ähnliches Hormon | 300 |
| 19 | 56362-45-9 | 24-Methyl-5-cholestene-3-ol | 71 | oder ähnliches Hormon | 100 |
| 20 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein Hormon | 30 |
| 21 | | Kohlenwasserstoffgemisch | | RT 23-30 min | n.q. |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.
 n.q. = nicht quantifizierbar

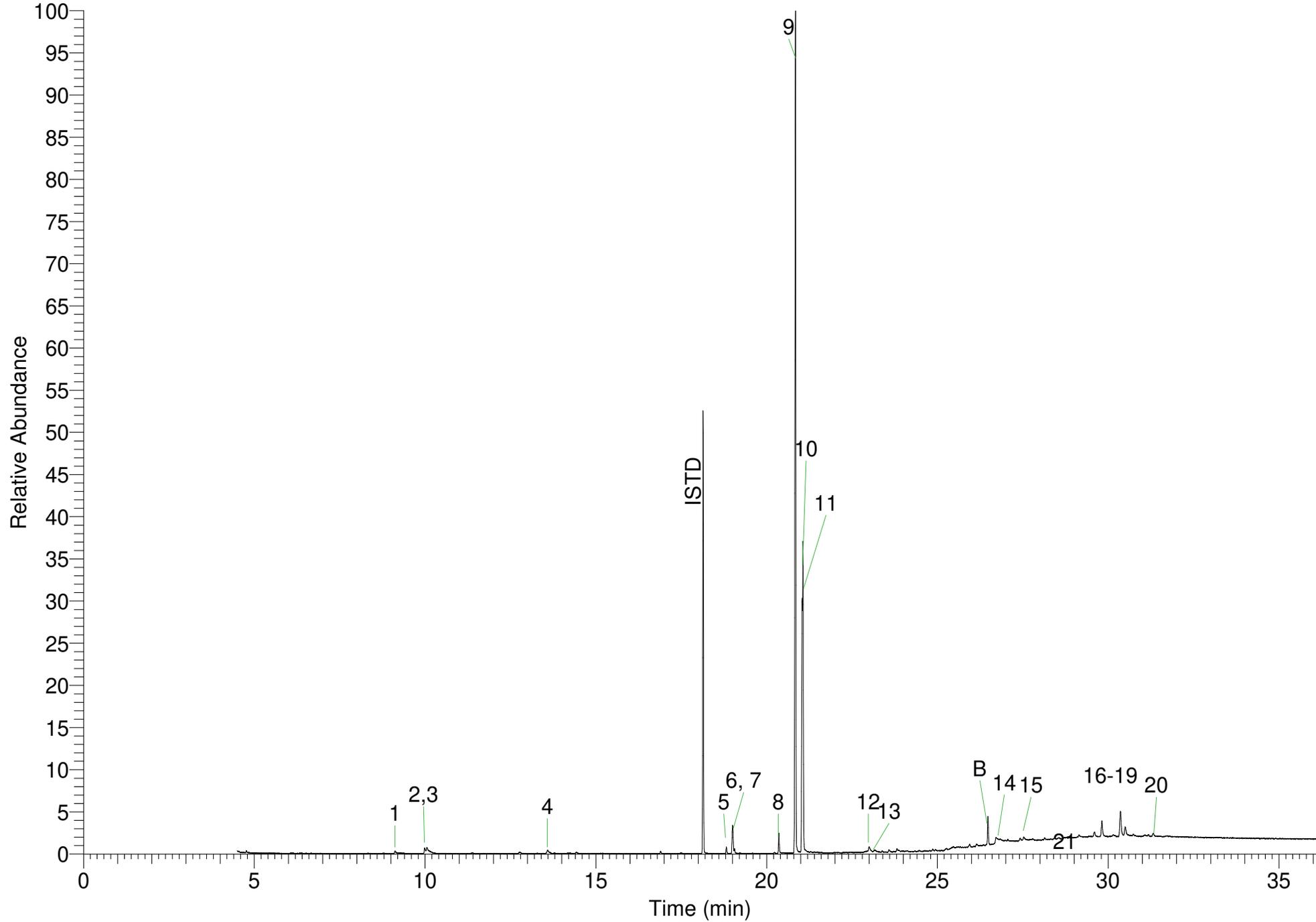
Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

RT: 0.00 - 36.10

NL:
4.91E8
TIC MS
1927028v



C.4.3 HHGG3, Kondensator-Nummer 126

Der Laborbericht ist auf den folgenden Seiten eingefügt.

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201906292

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 27029
Probenbezeichnung: HHGG 3 (Kond.-Nr. 126)
Prüfmethode Extraktion: Schüttelextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate Das Chromatogramm hat grosse Ähnlichkeit mit der Probe **6 HHG**, Bachema Nr. 22933 (2018).

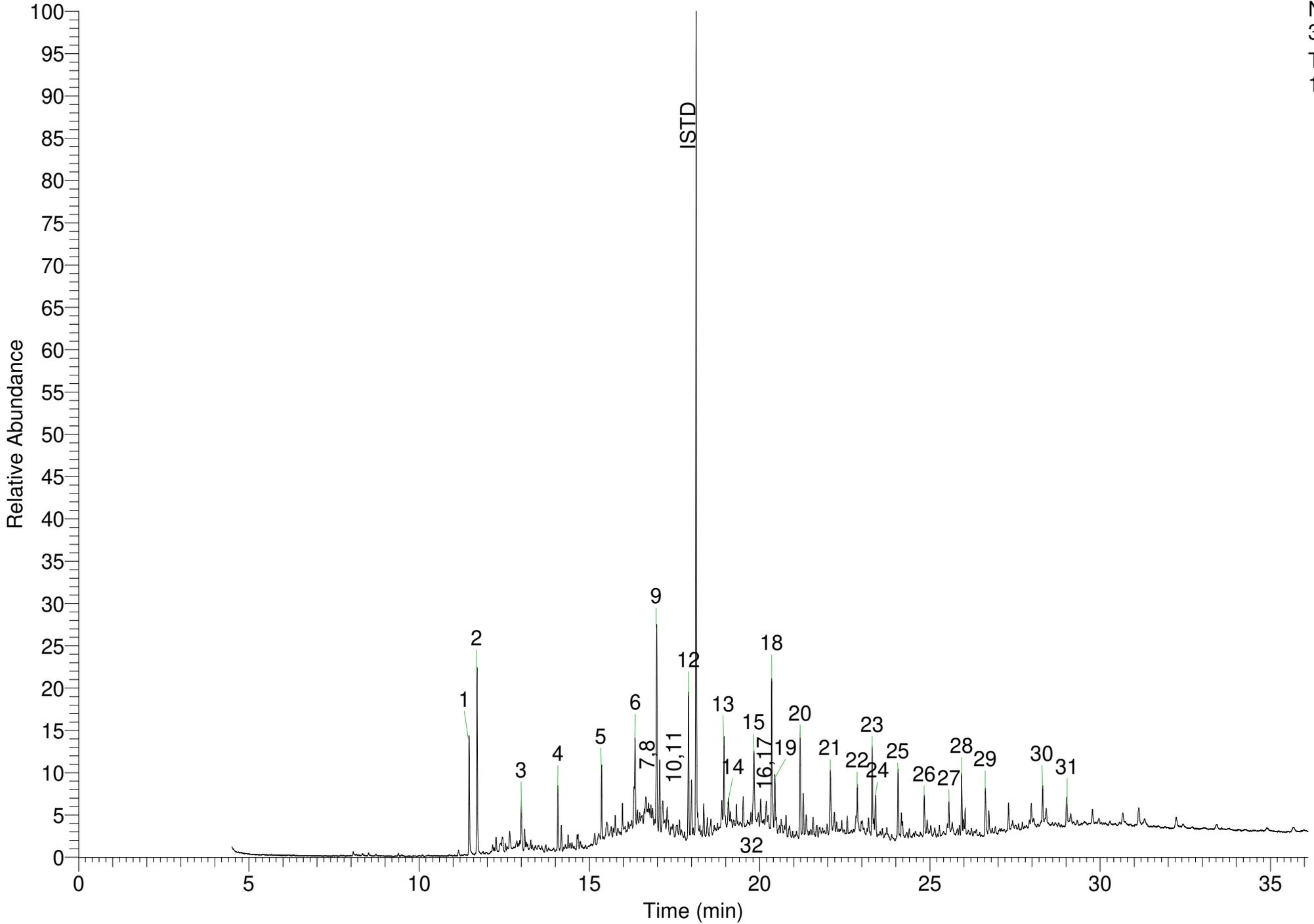
| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|------------|--|---------|---------------------------|---------------|
| 1 | 90-12-0 | 1-Methylnaphthalin | 94 | oder Isomer | 4000 |
| 2 | 90-12-0 | 1-Methylnaphthalin | 93 | oder Isomer | 6000 |
| 3 | NA | 2,4,4-Triethyl-1-hexen | 77 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 4 | 15796-04-0 | 2,4,4,6,6,8,8-Heptamethyl-1-nonen | 77 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 5 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 79 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 6 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 79 | oder ähnliche Verbindung | 3000 |
| 7 | 74685-33-9 | (E)-3-Eicosene | 82 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 8 | 2425-77-6 | 2-Hexyl-1-decanol | 81 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 9 | | unbekannte Verbindung | | | 7000 |
| 10 | | unbekannte Verbindung | | | 2000 |
| 11 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 12 | 55255-73-7 | 6-Tridecene, 2,2,4,10,12,12-hexamethyl-7-(3,5,5-trimethylhexyl)- | 74 | oder ähnlicher Verbindung | 4000 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | 94 | interner Standard | 20000 |
| 13 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 77 | oder ähnliche Verbindung | 3000 |
| 14 | 2425-77-6 | 2-Hexyl-1-decanol | 81 | | 1000 |
| 15 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 76 | oder ähnliche Verbindung | 4000 |
| 16 | NA | Carbonic acid, eicosyl vinyl ester | 81 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 17 | 27458-90-8 | Di-tert-dodecylsulfid | 81 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 18 | NA | Eicosyl heptyl ether | 74 | oder ähnliche Verbindung | 5000 |
| 19 | | unbekannte Verbindung | | | 2000 |
| 20 | 15796-04-0 | 2,4,4,6,6,8,8-Heptamethyl-1-nonen | 73 | oder ähnliche Verbindung | 3000 |
| 21 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 74 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 22 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 73 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 23 | NA | Heptyl octacosyl ether | 72 | oder ähnliche Verbindung | 3000 |
| 24 | NA | Heptyl octacosyl ether | 75 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 25 | | unbekannte Verbindung | | | 2000 |
| 26 | NA | Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexadecyl ester | 72 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 27 | NA | Butyl dotriacontyl ether | 74 | oder ähnliche Verbindung | 1000 |
| 28 | NA | Heptyl octacosyl ether | 71 | oder ähnliche Verbindung | 2000 |
| 29 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 30 | | unbekannte Verbindung | | | 2000 |
| 31 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 32 | | Kohlenwasserstoffgemisch | | RT 11 - 31 min | n.q. |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

RT: 0.00 - 36.10

NL:
3.17E8
TIC MS
1927029vv



C.4.4 HHGG4, Kondensator-Nummer 90

Der Laborbericht ist auf den folgenden Seiten eingefügt.

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201906292

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 27030
Probenbezeichnung: HHGG 4 (Kond.-Nr. 90)
Prüfmethode Extraktion: Schütteleextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

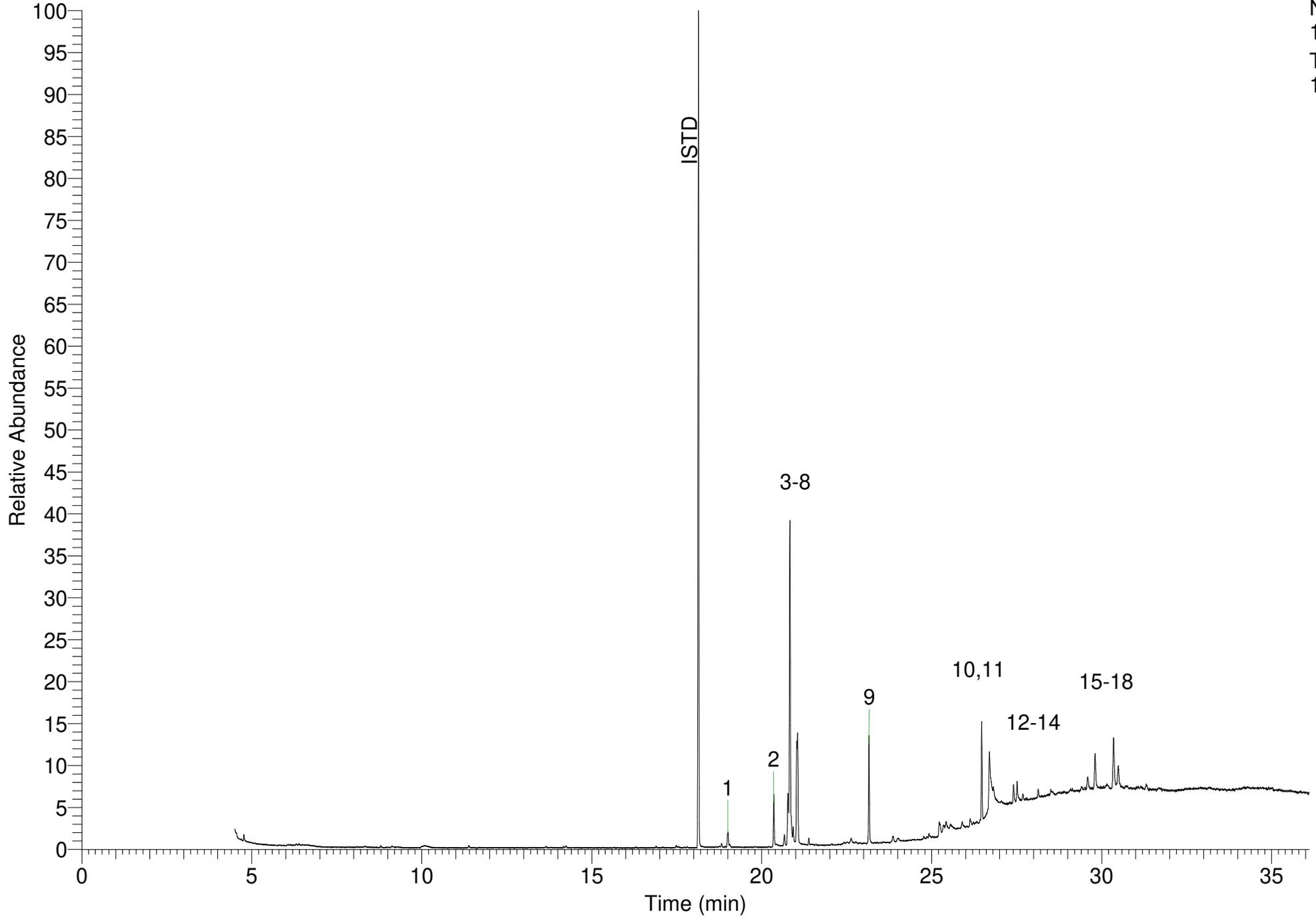
| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [mg/kg] |
|----------|-------------|---|---------|---------------------------|---------------|
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecane) | 93 | interner Standard | 3000 |
| 1 | 1004-24-6 | 4-Methylenecyclohexanemethanol | 75 | oder ähnliche Verbindung | 70 |
| 2 | 127062-51-5 | 13-Hexyloxacyclotridec-10-en-2-on | 91 | oder ähnliche Verbindung | 200 |
| 3 | 5493-45-8 | 1,2-Cyclohexanedicarboxylic acid, bis(oxiranylmethyl) ester | 74 | oder ähnliche Verbindung | 50 |
| 4 | 5493-45-8 | 1,2-Cyclohexanedicarboxylic acid, bis(oxiranylmethyl) ester | 88 | oder ähnliche Verbindung | 200 |
| 5 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy cyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate | 91 | oder Isomer | 1000 |
| 6 | NA | 4-Oxo-3-oxa-8,10-diazatricyclo [7.4.0.0 (2,7)]trideca-1(9),2(7),5,10,12-pentaene-5-carbonitrile | 73 | oder ähnliche Verbindung | 80 |
| 7 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy cyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate | 86 | oder Isomer | 300 |
| 8 | 2386-87-0 | 3,4-Epoxy cyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate | 88 | oder Isomer | 400 |
| 9 | 103-23-1 | Bis(2-ethylhexyl) adipate | 92 | | 300 |
| 10 | 111-02-4 | Squalen | 83 | | 300 |
| 11 | | unbekannte Verbindung | | | 600 |
| 12 | 119-13-1 | δ-Tocopherol | 79 | oder Isomer | 100 |
| 13 | | unbekannte Verbindung | | | 200 |
| 14 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein Tocopherol | 30 |
| 15 | 474-62-4 | Campesterol | 73 | oder ähnliches Hormon | 70 |
| 16 | 83-48-7 | Stigmasterol | 83 | oder ähnliches Hormon | 200 |
| 17 | 83-46-5 | β-Sitosterol | 75 | oder ähnliches Hormon | 300 |
| 18 | 481-14-1 | (3β,24Z)-Stigmasta-5,24(28)-dien-3-ol | 77 | oder ähnliches Hormon | 100 |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundekan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.

RT: 0.00 - 36.10

NL:
1.71E8
TIC MS
1927030vw



C.4.5 HHGG5, Kondensator-Nummer 95

Der Laborbericht ist auf den folgenden Seiten eingefügt.

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201906292

Anhang GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat)

Proben-Nr. Bachema: 27031
Probenbezeichnung: HHGG 5 (Kond.-Nr. 95)
Prüfmethode Extraktion: Schütteleextraktion mit Cyclohexan / Ethylacetat.
 GC: Teknokroma Sapiens-X5MS, 30m x 0.25mm, Film 0.25µm
 MS: 70eV, m/z 40 - 550

Resultate

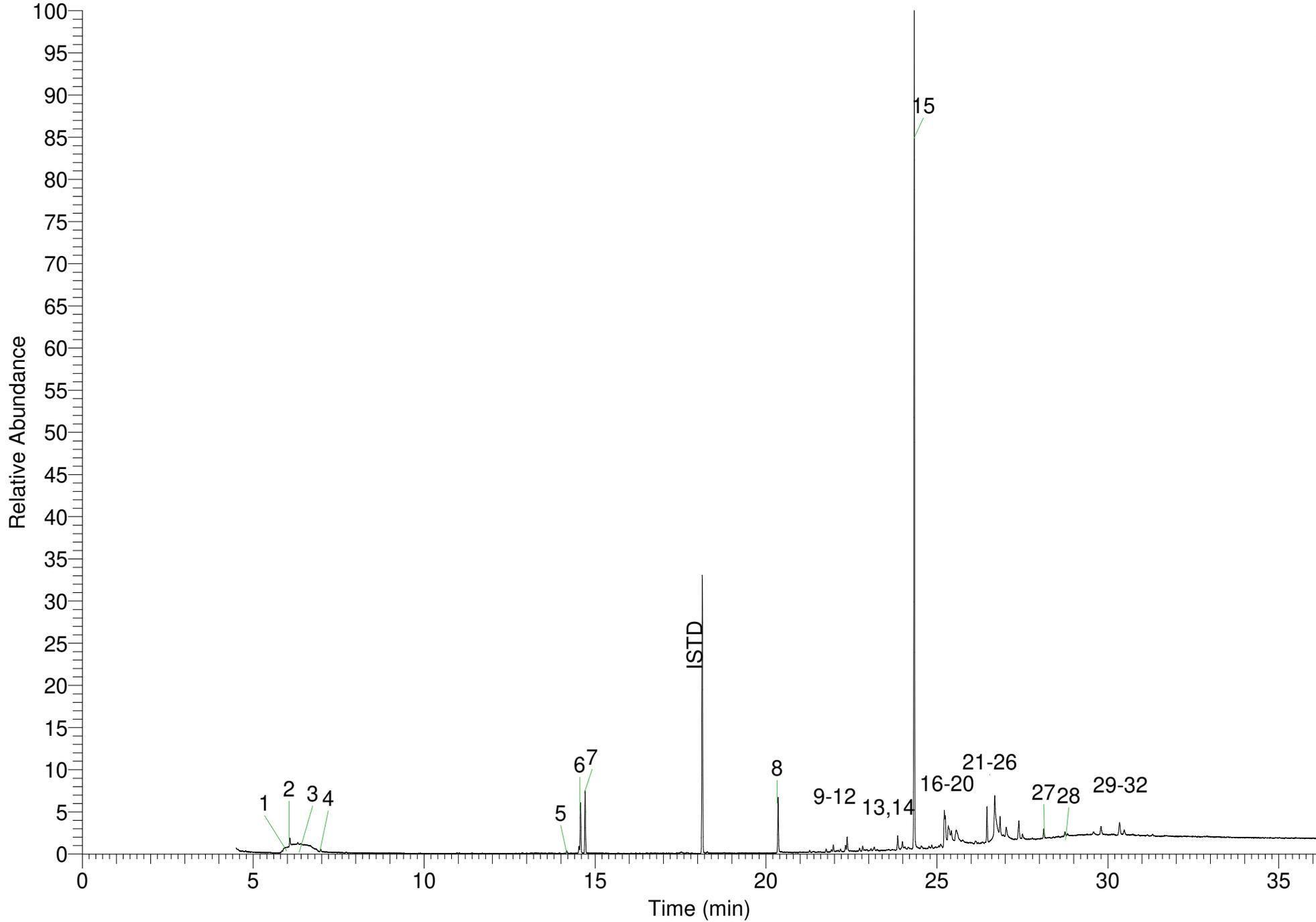
| Peak Nr. | CAS Nr. | Substanz | Fit (%) | Kommentar | Konz. [µg/kg] |
|----------|-------------|--------------------------------------|---------|--|---------------|
| 1 | 627-82-7 | Diglycerin | | nicht quantifizierbar | n.q. |
| 2 | 78-62-6 | Diethoxydimethylsilan | 72 | | 500 |
| 3 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein Silan | n.q. |
| 4 | 104-76-7 | 2-Ethylhexanol | 91 | | 70 |
| 5 | 620-47-3 | 1-Methyl-3-(phenylmethyl)-benzol | 91 | oder Isomer | 50 |
| 6 | 620-83-7 | 1-Methyl-4-(phenylmethyl)-benzol | 93 | oder Isomer | 400 |
| 7 | 620-47-3 | 1-Methyl-3-(phenylmethyl)-benzol | 93 | oder Isomer | 500 |
| ISTD | 16696-65-4 | (1,11-Dibromoundecan) | 94 | interner Standard | 2000 |
| 8 | 127062-51-5 | 13-Hexyloxacyclotridec-10-en-2-on | 92 | | 500 |
| 9 | | unbekannte Verbindung | | | 60 |
| 10 | 141-24-2 | Methyl ricinoleate | 81 | | 50 |
| 11 | | unbekannte Verbindung | | evtl. 1,9-Diphenyl-1,3,5,7-nona-tetraene | 100 |
| 12 | | unbekannte Verbindung | | evtl. 1,9-Diphenyl-1,3,5,7-nona-tetraene | 40 |
| 13 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein Fettsäureester | 100 |
| 14 | | unbekannte Verbindung | | | 90 |
| 15 | 117-81-7 | Bis(2-ethylhexyl) phthalat | 95 | | 6000 |
| 16 | | unbekannte Verbindung | | | 300 |
| 17 | | unbekannte Verbindung | | | 300 |
| 18 | | unbekannte Verbindung | 73 | vermutlich ein Fettsäureester | 400 |
| 19 | | unbekannte Verbindung | | | 300 |
| 20 | | unbekannte Verbindung | 73 | vermutlich ein Fettsäureester | 500 |
| 21 | 111-02-4 | Squalen | 83 | | 300 |
| 22 | | unbekannte Verbindung | | | 1000 |
| 23 | 141-22-0 | Ricinolsäure | 77 | oder ähnliche Verbindung | 400 |
| 24 | 141-08-2 | 1-Glyceril ricinoleate | 74 | oder ähnliche Verbindung | 300 |
| 25 | 119-13-1 | δ-Tocopherol | 85 | oder Isomer | 300 |
| 26 | | unbekannte Verbindung | | | 70 |
| 27 | 7616-22-0 | γ-Tocopherol | 83 | oder Isomer | 80 |
| 28 | | unbekannte Verbindung | | | 50 |
| 29 | | unbekannte Verbindung | | vermutlich ein Hormon | 90 |
| 30 | 83-48-7 | Stigmasterol | 81 | oder ähnliches Hormon | 100 |
| 31 | 83-47-6 | ç-Sitosterol | 72 | oder ähnliches Hormon | 200 |
| 32 | 56362-45-9 | (3β)-24-Propyliden-cholest-5-en-3-ol | 74 | oder ähnliches Hormon | 70 |

Fit Gibt an, wie genau das Spektrum der Probensubstanz mit einem Referenzspektrum übereinstimmt.
 99 = identisch
 >90 = sehr gute Übereinstimmung
 >70 = mässige Übereinstimmung

Konz. Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Werte, welche anhand der Konzentration des internen Standards 1,11-Dibromundecan geschätzt wurden. Da sich die einzelnen Verbindungen bei Extraktion, Chromatografie und Detektion unterschiedlich verhalten, kann der wahre Wert um Grössenordnungen vom angegebenen Schätzwert abweichen.
 n.q. = nicht quantifizierbar

RT: 0.00 - 36.10

NL:
5.55E8
TIC MS
1927031v



C.4.6 Laborberichte der PCB-Analysen

Der Laborbericht ist auf der folgenden Seite eingefügt.

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201906292

| Probenbezeichnung | HHGG 1 (Kond.-Nr. 311) | HHGG 2 (Kond.-Nr. 109) | HHGG 3 (Kond.-Nr. 126) | HHGG 4 (Kond.-Nr. 90) | Referenzwert | |
|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|--|
| | | | | | | |
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 27027 | 27028 | 27029 | 27030 | | |

PCB

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|--|
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | <20 | <20 | <20 | | |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | | |

Organische Non-Target-Analytik

| | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|
| GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat) | s. Anhang | s. Anhang | s. Anhang | s. Anhang | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|

| Probenbezeichnung | HHGG 5 (Kond.-Nr. 95) | | | | | Referenzwert | |
|--|-----------------------------|--|--|--|--|--------------|--|
| | | | | | | | |
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 27031 | | | | | | |

PCB

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------|--|--|--|--|--|
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | | | | | |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | | | | | |

Organische Non-Target-Analytik

| | | | | | | |
|---|-----------|--|--|--|--|--|
| GC-MS Identifikation (nach Extraktion mit Cyclohexan/Ethylacetat) | s. Anhang | | | | | |
|---|-----------|--|--|--|--|--|

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akcreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064



C.5 Analyseergebnisse der PCB-Analysen

Auf den nächsten Seiten sind die Analyseberichte des Labors für die Kondensatoren angehängt, die wir auf PCB analysieren liessen. Die Tabelle 91 zeigt die Zuordnung zwischen den Probennummern im Laborbericht und den Kondensatormodellen, aus welchen die Proben gewonnen wurden. Zudem ist angegeben, ob wir ein extrahiertes Öl oder den extrahierten Wickel analysieren liessen.

Tabelle 91: Proben zur PCB-Analyse

| Probennummer | Hersteller | Modell | Probekörper |
|---------------|----------------|---------------------------|-------------|
| 3 | BHC Aerovox | 117U 5015 | Wickel |
| 4 | BHC Aerovox | 117U 5017 | Wickel |
| 5 | BHC | 117U5014 | Wickel |
| 6 | BHC | 117U5015 | Wickel |
| 7 | BHC | 117U5017 | Wickel |
| 53 | Arcotronics | C.87.1WF3 3 μ F | Öl |
| 54 | Arcotronics | C.87.1WF2 3 μ F | Öl |
| 56 | Arcotronics | C.87.1WF1 2,5 μ F | Öl |
| 58 | Arcotronics | C.87.1WF3 6 μ F | Öl |
| 59 | Arcotronics | C.87.1WF1 4 μ F | Öl |
| 78 | Arcotronics | C.87.1WF2 5 μ F | Öl |
| 79 | Arcotronics | C.87.8FF2 | Öl |
| 81 | Arcotronics | C.87.1WF2 4 μ F | Öl |
| 264 | Cond. Fribourg | HPFNT 72722 | Öl |
| 276 | ERO | F 1762-0545-226 | Wickel |
| 289 | Arcotronics | C.87.OEF2 | Öl |
| 41 (KKGPCB1) | Hydra | 13503 | Öl |
| 55 (KKGPCB2) | Arcotronics | C.87.8FF2 4 μ F | Öl |
| 57 (KKGPCB3) | Arcotronics | C.87.1WF1 2,5 μ F C/D | Öl |
| 52a (KKGPCB4) | ICAR | MLR25M50 603583/I-MK | Öl |
| 18e (KKGPCB5) | M | 475007 (P1) | Öl |

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Schlieren, 11. Oktober 2018
SIS

Büro für Umweltchemie GmbH
Schaffhauserstrasse 21
8006 Zürich

Untersuchungsbericht

Objekt: Kondensatoren-Analyse

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

| | |
|------------------------------|--|
| Auftrags-Nr. Bachema | 201809903 |
| Proben-Nr. Bachema | 43356-43371 |
| Tag der Probenahme | 05. Oktober 2018 |
| Eingang Bachema | 05. Oktober 2018 |
| Probenahmeort | |
| Entnommen durch | D. Savi, Büro für Umweltchemie GmbH |
| Auftraggeber | Büro für Umweltchemie GmbH, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Rechnungsadresse | Büro für Umweltchemie GmbH, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Bericht an | Büro für Umweltchemie GmbH, D. Savi, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Bericht per e-mail an | Büro für Umweltchemie GmbH, D. Savi, d.savi@umweltchemie.ch |

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG



Annette Rust

Dr. sc. nat. / Dipl. Umwelt-Natw. ETH

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201809903

Probenübersicht

| Bachema-Nr. | Probenbezeichnung | Probenahme / Eingang Labor |
|-------------|-------------------|----------------------------|
| 43356 F | 3 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43357 F | 4 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43358 F | 5 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43359 F | 6 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43360 F | 7 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43361 F | 53 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43362 F | 54 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43363 F | 56 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43364 F | 58 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43365 F | 59 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43366 F | 78 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43367 F | 79 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43368 F | 81 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43369 F | 264 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43370 F | 276 | 05.10.18 / 05.10.18 |
| 43371 F | 289 | 05.10.18 / 05.10.18 |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Legende zu den Referenzwerten

| | |
|------------------------------------|--|
| Toleranzwert für Transformatorenöl | Toleranzwert für Kondensatoren und Transformatoren gemäss Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (ChemRRV), Anhang 2.14. |
|------------------------------------|--|

Abkürzungen

| | |
|----|--|
| W | Wasserprobe |
| F | Feststoffprobe |
| TS | Trockensubstanz |
| < | Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode. |
| * | Die mit * bezeichneten Analysen fallen nicht in den akkreditierten Bereich der Bachema AG oder sind Fremdmessungen. |

Akkreditierung

| | |
|---|---|
|   | <p>Auszugsweise Vervielfältigung der Analysenresultate sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet. Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch).</p> |
|---|---|

Chemisches und mikrobiologisches Labor für die Prüfung von Umweltproben (Wasser, Boden, Abfall, Recyclingmaterial)
 Akkreditiert nach ISO 17025
 STS-Nr. 0064

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201809903

| Probenbezeichnung | | Referenzwert | | | | | |
|---------------------------|----------|--------------|----------|----------|----------|--|--|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| Proben-Nr. Bachema | | 43356 | 43357 | 43358 | 43359 | | |
| Tag der Probenahme | | 05.10.18 | 05.10.18 | 05.10.18 | 05.10.18 | | |
| PCB | | | | | | | |
| PCB 28 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| PCB 52 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| PCB 101 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| PCB 118 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| PCB 138 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| PCB 153 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| PCB 180 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| PCB Summe n. VVEA / AltIV | mg/kg TS | <5 | <5 | <5 | <5 | | |
| PCB Summe (LAGA) | mg/kg TS | <5 | <5 | <5 | <5 | | |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

| Probenbezeichnung | | Referenzwert | | | | | |
|---------------------------|----------|--------------|--|--|--|--|--|
| | | 276 | | | | | |
| Proben-Nr. Bachema | | 43370 | | | | | |
| Tag der Probenahme | | 05.10.18 | | | | | |
| PCB | | | | | | | |
| PCB 28 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | | | | | |
| PCB 52 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | | | | | |
| PCB 101 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | | | | | |
| PCB 118 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | | | | | |
| PCB 138 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | | | | | |
| PCB 153 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | | | | | |
| PCB 180 (TS) | mg/kg TS | <0.2 | | | | | |
| PCB Summe n. VVEA / AltIV | mg/kg TS | <5 | | | | | |
| PCB Summe (LAGA) | mg/kg TS | <5 | | | | | |

| Probenbezeichnung | | Referenzwert | | | | | |
|----------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|--|
| | | 7 | 53 | 54 | 56 | | |
| Proben-Nr. Bachema | | 43360 | 43361 | 43362 | 43363 | Toleranzwert für Transformatoröl | |
| Tag der Probenahme | | 05.10.18 | 05.10.18 | 05.10.18 | 05.10.18 | | |
| PCB | | | | | | | |
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | 50 | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | <20 | <20 | <20 | | |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | | |

Objekt: Kondensatoren-Analyse
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201809903

| Probenbezeichnung | 58 | | | | Referenzwert | |
|-------------------|--|-------------------|--|--|--------------|-------------------------------------|
| | Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 43364 05.10.18 | | | | Toleranzwert für Transformatoröl |

PCB

| | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------|--|--|--|----|
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | | | | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | | | | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | | | | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | | | | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | | | | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | | | | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | | | | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | | | | 50 |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | | | | |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

| Probenbezeichnung | 59 | | | | 78 | | 79 | | 81 | | Referenzwert | |
|-------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|----|--|----|--|--------------|-------------------------------------|
| | Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 43365 05.10.18 | 43366 05.10.18 | 43367 05.10.18 | 43368 05.10.18 | | | | | | | Toleranzwert für Transformatoröl |

PCB

| | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----|
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | <20 | <20 | <20 | 50 |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | |

Chemisches und mikrobiologisches Labor für die Prüfung von Umweltproben (Wasser, Boden, Abfall, Recyclingmaterial) Akkreditiert nach ISO 17025 STS-Nr. 0064

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt: **Kondensatoren-Analyse**
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201809903

| Probenbezeichnung | 264 | 289 | Referenzwert | |
|-----------------------------------|----------|-------------------|----------------------------------|----|
| | | | Toleranzwert für Transformatoröl | |
| Proben-Nr. Bachema | 43369 | 43371 | | |
| Tag der Probenahme | 05.10.18 | 05.10.18 | | |
| PCB | | | | |
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | <20 | 50 |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Schlieren, 12. Februar 2019
LW

Büro für Umweltchemie GmbH
Schaffhauserstrasse 21
8006 Zürich

Untersuchungsbericht

Objekt: PCB-verdächtige Kondensatoren

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

| | |
|------------------------------|--|
| Auftrags-Nr. Bachema | 201901138 |
| Proben-Nr. Bachema | 4804-4808 |
| Tag der Probenahme | 11. Februar 2019 |
| Eingang Bachema | 11. Februar 2019 |
| Probenahmeort | |
| Entnommen durch | D. Savi, Büro für Umweltchemie GmbH |
| Auftraggeber | Büro für Umweltchemie GmbH, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Rechnungsadresse | Büro für Umweltchemie GmbH, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Bericht an | Büro für Umweltchemie GmbH, D. Savi, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich |
| Bericht per e-mail an | Büro für Umweltchemie GmbH, D. Savi, d.savi@umweltchemie.ch |

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG



Olaf Haag
Dipl. Natw. ETH

Objekt: PCB-verdächtige Kondensatoren
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201901138

Probenübersicht

| Bachema-Nr. | Probenbezeichnung | Probenahme / Eingang Labor |
|-------------|-------------------|----------------------------|
| 4804 F | KKGPCB1 | 11.02.19 / 11.02.19 |
| 4805 F | KKGPCB2 | 11.02.19 / 11.02.19 |
| 4806 F | KKGPCB3 | 11.02.19 / 11.02.19 |
| 4807 F | KKGPCB4 | 11.02.19 / 11.02.19 |
| 4808 F | KKGPCB6 | 11.02.19 / 11.02.19 |

Legende zu den Referenzwerten

| | |
|------------------------------------|--|
| Toleranzwert für Transformatorenöl | Toleranzwert für Kondensatoren und Transformatoren gemäss Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (ChemRRV), Anhang 2.14. |
|------------------------------------|--|

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Abkürzungen

| | |
|-----|--|
| W | Wasserprobe |
| F | Feststoffprobe |
| TS | Trockensubstanz |
| < | Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode. |
| {1} | Die Analysenmethode liegt zurzeit nicht im akkreditierten Bereich der Bachema AG. |
| {2} | Externe Analyse von Unterauftragnehmer / Fremdlabor. |
| {3} | Feldmessung von Kunde erhoben. |

Akkreditierung

| | |
|---|--|
|   | <p>Die Resultate der Untersuchungen beziehen sich auf die im Prüfbericht aufgeführten Proben und auf den Zustand der Proben bei der Entgegennahme durch die Bachema AG. Der vollständige Prüfbericht steht dem Kunden zur freien Verfügung. Die Verwendung von Auszügen (einzelne Seiten) oder Ausschnitten (Teile einzelner Seiten) des Prüfberichts sowie Hinweise auf den Prüfbericht (z.B. zu Werbezwecken oder bei Präsentationen) sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet. Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch)</p> |
|---|--|

Chemisches und mikrobiologisches Labor für die Prüfung von Umweltproben (Wasser, Boden, Abfall, Recyclingmaterial) Akkreditiert nach ISO 17025 STS-Nr. 0064

Objekt: PCB-verdächtige Kondensatoren
Auftraggeber: Büro für Umweltchemie GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201901138

| Probenbezeichnung | KKGPCB1 | KKGPCB2 | KKGPCB3 | KKGPCB4 | Referenzwert | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|--|
| | | | | | Toleranzwert für Transformatoröl | |
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 4804 11.02.19 | 4805 11.02.19 | 4806 11.02.19 | 4807 11.02.19 | | |

PCB

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----|--|
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | 50 | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | <20 | <20 | <20 | | |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | kein PCB-Nachweis | | |

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und mikrobiologisches Labor für die Prüfung von Umweltproben (Wasser, Boden, Abfall, Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach ISO 17025
STS-Nr. 0064

| Probenbezeichnung | KKGPCB6 | | | | | Referenzwert | |
|--|------------------|----------------------------------|--|--|--|--------------|--|
| | | Toleranzwert für Transformatoröl | | | | | |
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 4808 11.02.19 | | | | | | |

PCB

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------|--|--|--|----|--|
| PCB 28 | mg/kg | <0.5 | | | | 50 | |
| PCB 52 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 101 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 118 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 138 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 153 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB 180 | mg/kg | <0.5 | | | | | |
| PCB Summe (gemäss ChemRRV) | mg/kg | <20 | | | | | |
| PCB Typisierung | | kein PCB-Nachweis | | | | | |

D Bilder der ungepolten zylindrischen Kondensatoren, die einzeln analysiert wurden

Die abgebildeten Kondensatorenmodelle wurden verwendet für die Analyse der Flüssigkeiten getrennt nach Einzelmodellen, wie unter 5.2.6 beschrieben.



Abbildung 31: Modell-Nr. 311



Abbildung 32: Modell-Nr. 109



Abbildung 33: Modell-Nr. 126



Abbildung 34: Modell-Nr. 90



Abbildung 35: Modell-Nr. 95

E H-Sätze für eine Klassierung als bedenklicher Stoff im Recycling

Tabelle 92: H-Sätze flüssiger Inhaltsstoffe und Klassierung als bedenklicher Stoff

| H-Satz | Gefährdung | Qualifiziert Substanz als CMR | Qualifiziert Substanz als bedenklichen Stoff |
|--------|--|-------------------------------|--|
| H300 | Lebensgefahr bei Verschlucken | Nein | Ja |
| H310 | Lebensgefahr bei Hautkontakt | Nein | Ja |
| H330 | Lebensgefahr bei Einatmen. | Nein | Ja |
| H340 | Kann genetische Defekte verursachen | Ja | Ja |
| H341 | Kann vermutlich genetische Defekte verursachen | Ja | Ja |
| H350 | Kann Krebs erzeugen | Ja | Ja |
| H351 | Kann vermutlich Krebs erzeugen | Ja | Ja |
| H360D | Kann das Kind im Mutterleib schädigen | Ja | Ja |
| H360FD | Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen. | Ja | Ja |
| H360Df | Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. | Ja | Ja |
| H361 | Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen | Ja | Ja |
| H361d | Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen | Ja | Ja |
| H370 | Schädigt die Organe | Ja | Ja |
| H372 | Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition | Nein | Ja |
| H400 | Sehr giftig für Wasserorganismen | Nein | Ja |
| H410 | Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung | Nein | Ja |
| H411 | Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung | Nein | Ja |