



# Flüssigkeiten in Kondensatoren

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

Schlussbericht



Version 1 – Zürich, 6. Mai 2019

## Autoren

---

Daniel Savi, Dipl. Umweltnaturwissenschaftler ETH <sup>1)</sup>

Ueli Kasser, lic. phil. nat. (Chemiker) <sup>1)</sup>

Rolf Widmer, wissenschaftlicher Mitarbeiter <sup>2)</sup>

### Zugehörigkeit zu Organisationen:

<sup>1)</sup> Büro für Umweltchemie, Schaffhauserstrasse 21, CH-8006 Zürich

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

## Auftraggeber

---

Stiftung SENS, Obstgartenstrasse 28, 8006 Zürich

Swico Recycling, Josefstrasse 218, 8005 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

Geri Hug, Auditor SENS IPSO ECO AG, Rothenburg

## Mitarbeit TK SENS-Swico

---

Heinz Böni, Empa St. Gallen

Anahide Bondolfi, Abeco, Aïre

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 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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>10</b>
1.1	Fragestellung.....	10
1.2	Literaturrecherche.....	10
1.3	Methoden.....	11
1.4	Resultate und Diskussion.....	11
1.5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	12
<b>2</b>	<b>FRAGESTELLUNG UND VORGEHEN .....</b>	<b>13</b>
2.1	Fragestellung.....	13
2.2	Interpretation des Entfernungsgebots für Kondensatoren .....	14
2.3	Der Entfernungsbegriff in der CENELEC-Norm 50625-1 .....	15
2.4	Vorgehen .....	15
<b>3</b>	<b>BEGRIFFE .....</b>	<b>17</b>
3.1	Ungepolte zylindrische Kondensatoren.....	17
3.2	Elektrolyt .....	18
3.3	Elektrolyt-Kondensatoren.....	18
3.4	Dielektrikum .....	19
3.5	Mikrowellen-Kondensatoren.....	19
<b>4</b>	<b>LITERATURRECHERCHE .....</b>	<b>20</b>
4.1	Klassierung der Kondensatoren .....	20
4.2	Flüssige Inhaltsstoffe .....	22
4.3	Klassierung der Inhaltsstoffe .....	24
<b>5</b>	<b>METHODEN .....</b>	<b>28</b>
5.1	Probenahme der Kondensatoren.....	28
5.2	Analyse der Inhaltsstoffe.....	37
5.3	Laboranalyse PCB-verdächtiger Kondensatoren.....	42
5.4	Zerlegung Elektrolytkondensator .....	42
<b>6</b>	<b>RESULTATE.....</b>	<b>44</b>
6.1	Analyseergebnisse flüssige Inhaltsstoffe.....	44
6.2	Literaturangaben zu flüssigen Inhaltsstoffen .....	54
6.3	Anteil PCB-haltiger Kondensatoren .....	56
6.4	Anteile der Kondensatoren mit Flüssigkeiten .....	59
6.5	Sammelergebnis.....	61
6.6	Gewichtsanteile Totalzerlegung Elektrolyt-Kondensator .....	65
<b>7</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>66</b>
7.1	Definition bedenklicher Stoffe.....	66
7.2	Flüssige Inhaltsstoffe PCB-freier Kondensatoren .....	68
7.3	Klassierung der Inhaltsstoffe in Kondensatoren.....	72
7.4	Anteil PCB-haltiger Kondensatoren .....	76
7.5	Durchschnittsgewichte .....	78
7.6	Gewichtsauswertung Elektrolytkondensatoren in Geräten .....	80
7.7	Hochrechnungen auf die Jahresmenge Elektroaltgeräte.....	82
7.8	Weitere Interpretationen der Analyseergebnisse .....	84



<b>8</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>86</b>
8.1	Neue Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie .....	86
8.2	Genauigkeit und Repräsentativität der Ergebnisse .....	86
8.3	Unterscheidung von Kondensatoren nach Herkunft in der Praxis schwierig umsetzbar .....	87
8.4	Chemisch-analytische Resultate .....	87
8.5	Jahresfracht bedenklicher Stoffe .....	88
8.6	Anteil und Jahresfluss PCB-haltiger Kondensatoren .....	88
8.7	Gewichtsbestimmungen Kondensatoren in Geräten .....	89
<b>9</b>	<b>EMPFEHLUNGEN .....</b>	<b>90</b>
9.1	Definition «bedenkliche Stoffe» .....	90
9.2	Weitere Untersuchungen zur Freisetzung und Verteilung bedenklicher Stoffe im Recycling .....	91
9.3	Abklärung der Stabilität der bedenklichen Stoffe .....	91
9.4	Entfernung aller Kondensatoren mit Flüssigkeiten .....	91
9.5	Ad-hoc-Regelung bis zum Vorliegen weiterer Erkenntnisse .....	92
9.6	Beurteilung des PCB-Flusses aus Elektrogeräten .....	92
9.7	Chemische Analyse von Einzelproben .....	93
<b>10</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>94</b>
<b>A</b>	<b>CHARAKTERISIERUNG BEDENKLICHER SUBSTANZEN .....</b>	<b>97</b>
A.1	Einleitung .....	97
A.2	Bedenkliche Stoffe im Recycling .....	97
A.3	Möglicherweise bedenkliche Stoffe im Recycling .....	103
A.4	Unbedenkliche Stoffe im Recycling .....	104
<b>B</b>	<b>STOFFLISTEN FÜR DIE LABORANALYSE .....</b>	<b>106</b>
B.1	Erläuterungen zu den Stofflisten für die Analyse .....	106
B.2	Ungepolte zylindrische Kondensatoren .....	106
B.3	Elektrolytkondensatoren .....	107
B.4	Mikrowellenkondensatoren .....	108
B.5	Kondensatorentyp unbekannt .....	109
<b>C</b>	<b>LABORBERICHTE ZUR ANALYSE .....</b>	<b>110</b>
C.1	Probenbezeichnungen, Resultate PCB- und Elementaranalysen .....	110
C.2	Beschrieb Probenaufbereitung .....	115
C.3	Analyseergebnisse der Mischproben .....	118
C.4	Analyseergebnisse der PCB-Analysen .....	151

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassierung der Kondensatoren .....	21
Tabelle 2: GHS-Einstufung der flüssigen Inhaltsstoffe von Kondensatoren .....	26
Tabelle 3: Gerätekategorien für die Sammlung der Kondensatoren .....	28
Tabelle 4: Grössenordnung PCB-Gehalt – Daten PCB-Studie 2008 .....	31
Tabelle 5: Grössenordnung PCB-Gehalt – Daten Leuchten-Studie 2009 .....	31
Tabelle 6: Abschätzung PCB-haltige Kondensatoren in Stückzahlen für alle Gerätekategorien .....	32
Tabelle 7: Geplante Probengrössen pro Gerätekategorie .....	33
Tabelle 8: Bei den Vorversuchen zerlegte Geräte und gefundene Kondensatoren .....	34
Tabelle 9: Vorgehen zur Separation der Flüssigkeiten pro Kondensatortyp .....	37
Tabelle 10: Durchgeführte Laboranalysen pro Mischprobe .....	39
Tabelle 11: Mischprobenziele und -strategien .....	40
Tabelle 12: Anteil der Kondensatoren, welche in der Mischprobe vertreten sind .....	41
Tabelle 13: Analyseergebnisse GCMS Haushaltgrossgeräte (Probe-Nr. 6 HHG) .....	46
Tabelle 14: Analyseergebnisse GCMS Kühl-, Klima- und Gefriergeräte (Probe-Nr. 1 KG) .....	46
Tabelle 15: Analyseergebnisse GCMS SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.1 HKG) .....	46
Tabelle 16: Analyseresultate PCB in Mischproben PCB-freier Kondensatoren .....	47
Tabelle 17: Analyseergebnisse GCMS Elko Flachbildschirme PC und TV (Probe-Nr. 2 LCD) .....	48
Tabelle 18: Analyseergebnisse LCMS Elko Flachbildschirme PC und TV (Probe-Nr. 2 LCD) .....	48
Tabelle 19: Analyseergebnisse GCMS Elko Laptop-Netzteile und Desktop-PCs (Probe-Nr. 7 Netz) .....	48
Tabelle 20: Analyseergebnisse LCMS Elko Laptop-Netzteile und Desktop-PCs (Probe-Nr. 7 Netz) .....	49
Tabelle 21: Analyseergebnisse GCMS Elko SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.2 HKG) .....	49
Tabelle 22: Analyseergebnisse LCMS Elko SENS-Kleingeräte (Probe-Nr. 5.2 HKG) .....	50
Tabelle 23: Ergebnisse Elementaranalyse Al-Elko auf Wolfram und Bor .....	50
Tabelle 24: Analyseergebnisse GCMS Mikrowellen Hersteller BiCai (Probe-Nr. 3.1 MW) .....	51
Tabelle 25: Analyseergebnisse GCMS Mikrowellen andere Hersteller (Probe-Nr. 3.2 MW) .....	51
Tabelle 26: Analyseresultate PCB in Mischproben PCB-freier Kondensatoren .....	52
Tabelle 27: Aus der Literatur unbekannte analysierte Inhaltsstoffe von Kondensatoren .....	52
Tabelle 28: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe ungepolter zylindrischer Kondensatoren .....	54
Tabelle 29: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe von Elektrolytkondensatoren .....	55
Tabelle 30: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe von Mikrowellenkondensatoren .....	55
Tabelle 31: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe mit unbekannter Zuteilung zu einem Kondensatortyp .....	56
Tabelle 32: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Haushaltgrossgeräten .....	56
Tabelle 33: Anteile von PCB-haltigen Kondensatoren in HHGG mit Konfidenzintervallen .....	57
Tabelle 34: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Kühl-, Klima- und Gefriergeräten .....	57
Tabelle 35: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Vorschaltgeräten .....	57
Tabelle 36: Anteile PCB-haltiger Kondensatoren in Vorschaltgeräten mit Konfidenzintervallen .....	58
Tabelle 37: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in SENS-Kleingeräten .....	58
Tabelle 38: Anteile PCB-haltiger Kondensatoren Haushaltkleingeräten mit Konfidenzintervallen .....	58
Tabelle 39: Anteile trockener an den ungepolten zylindrischen Kondensatoren .....	60
Tabelle 40: Flüssigkeitsaustritt bei der Probenahme für die Analyse in Anzahl Kond.-Modellen .....	61
Tabelle 41: Vergleich zwischen Sammelplanung und effektiv gesammelten Kondensatoren .....	62
Tabelle 42: Sammelergebnis der Kondensatoren kleiner als 2.5 cm .....	63
Tabelle 43: Anzahl und Gewicht der Geräte, aus welchen die Kondensatoren entfernt wurden .....	64
Tabelle 44: Gewichte aus der Zerlegung eines Elektrolytkondensatoren .....	65

Tabelle 45: H-Sätze flüssiger Inhaltsstoffe und Klassierung als bedenklicher Stoff .....	67
Tabelle 46: Bekannte Inhaltsstoffe in ungepolten zylindrischen Kondensatoren .....	69
Tabelle 47: Bekannte Inhaltsstoffe in Elektrolytkondensatoren .....	69
Tabelle 48: Bekannte Inhaltsstoffe in Mikrowellenkondensatoren .....	71
Tabelle 49: Bedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren.....	72
Tabelle 50: Möglicherweise bedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren.....	73
Tabelle 51: Substanzen in Flüssigkeiten von Kondensatoren, die nicht eingestuft werden konnten.....	74
Tabelle 52: Unbedenkliche Stoffe in Flüssigkeiten von Kondensatoren.....	75
Tabelle 53: Durchschnittsgewichte der ungepolten zylindrischen Kondensatoren nach Gerätekategorien .....	78
Tabelle 54: Durchschnittsgewichte der Elektrolytkondensatoren nach Gerätekategorien.....	78
Tabelle 55: Durchschnittsgewichte der Mikrowellenkondensatoren nach Gerätekategorien.....	79
Tabelle 56: Anzahl und Gewicht der Geräte, aus welchen die Kondensatoren entfernt wurden.....	79
Tabelle 57: Gewichtsanteile der Elektrolyt-Kondensatoren am Gerätegewicht .....	80
Tabelle 58: Abschätzung der trockenen und mit Flüssigkeiten gefüllten Kondensatoren in der gesamten Jahresmenge der Schweiz .....	83
Tabelle 59: Abschätzung der Jahresfrachten PCB-haltiger Kondensatoren.....	83
Tabelle 60: Analytisch gefundene bedenkliche Stoffe mit Abschätzung der Jahresfracht.....	84
Tabelle 61: Vergleichende Darstellung der Analyseergebnisse für Mikrowellen-Kondensatoren .....	85
Tabelle 62: Liste der H-Sätze, welche eine Substanz als bedenklichen Stoff qualifizieren .....	90
Tabelle 63: Möglicherweise in ungepolten zylindrischen Kondensatoren vorhandene Substanzen gem. Literatur.....	106
Tabelle 64: Möglicherweise in Al-Elkos vorhandene Substanzen gem. Literatur.....	107
Tabelle 65: Möglicherweise in Mikrowellenkondensatoren vorhandene Substanzen gem. Literatur...	108
Tabelle 66: Möglicherweise in nicht näher bezeichneten Kondensatoren vorkommende Stoffe.....	109
Tabelle 67: Proben zu PCB-Analyse .....	151

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ungepolte zylindrische Kondensatoren mit Plastik- oder Alugehäuse .....	17
Abbildung 2: Elektrolytkondensatoren verschiedener Bauformen .....	18
Abbildung 3: Mikrowellen-Kondensatoren aus ausgedienten Mikrowellen.....	19
Abbildung 4: Beispiel zweier Kondensatoren mit Modellbezeichnung MAB MKP 10/500 .....	29
Abbildung 5: Mikrowelle mit typischem Kondensator im Bild unten rechts.....	35
Abbildung 6: Interne Netzteile aus Elektro- oder Elektronikgeräten.....	35
Abbildung 7: Externes Netzteil für den Betrieb eines Laptops.....	35
Abbildung 8: Platinen eines Grosskopierers.....	36
Abbildung 9: Innenleben einer Dampfbügelstation .....	36
Abbildung 10: Rotor des Bürstenmotors eines elektrischen Rasenmähers.....	36
Abbildung 11: Flüssigkeitsaustritt aus ungepoltem zylindrischem Kondensator nach dem Aufschneiden .....	37
Abbildung 12: Anstechen des Elkos und trockene Behälter nach 13 Tagen Versuchsdauer .....	38
Abbildung 13: Aluminium-Elko, Deckel entfernt. Blick auf Bitumensiegel und Wickel.....	43
Abbildung 14: Bestandteile des zerlegten Al-Elkos.....	43
Abbildung 15: Chromatogramm der Mischprobe aus Kondensatoren aus Kühlgeräten.....	45
Abbildung 16: Ein Teil der gesammelten Kondensatoren aus SENS-Kleingeräten .....	47
Abbildung 17: Chromatogramm der Mischprobe aus Kondensatoren des Herstellers BiCai.....	51
Abbildung 18: Geöffneter KS-Kondensator ohne flüssige Inhaltsstoffe.....	60
Abbildung 19: Motorstart-Elektrolyt-Kondensatoren in schwarzen Kunststoffgehäusen .....	60
Abbildung 20: Gesammelte Kondensatoren > 2.5 cm pro Gerätekategorie .....	61
Abbildung 21: Stückzahlen der gesammelten Kondensatorklassen pro Gerätekategorie .....	64
Abbildung 22: Anteile der PCB-haltigen Kondensatoren an den Gerätekategorien in Stück.....	76
Abbildung 23: Gewichtsanteile der Elektrolytkondensatoren in den Geräten .....	81
Abbildung 24: Anteile der Elektrolytkondensatoren nach Stückzahlen in den Geräten.....	82

## Abkürzungsverzeichnis

---

Al-Elko	Aluminium-Elektrolytkondensator
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
PCB	Polychlorierte Biphenyle, Stoffgruppe von 209 Kongoneren
SDB	Sicherheitsdatenblatt



# 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.

## 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 juristisch nicht definiert ist und für die Anwendung im Recycling eine Definition erarbeitet werden muss.

## 1.3 Methoden

In einer umfangreichen Sammelkampagne wurden über 5000 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 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. Aus den ungepolten zylindrischen Kondensatoren und den Mikrowellenkondensatoren wurden die Flüssigkeiten ausgelassen und zu Labormischproben zusammengemischt. Die Elektrolyt-Kondensatoren enthalten zwar Flüssigkeiten, diese sind jedoch im Fliesspapier des Kondensators gebunden und laufen nicht aus. Deshalb wurden die Wickel aus den Gehäusen entfernt und Mischproben aus Wickeln erstellt. Die Inhaltsstoffe der Mischproben wurden im Labor einerseits mittels GCMS und im Fall von Elektrolytkondensatoren mittels LCMS chemisch analysiert.

## 1.4 Resultate und Diskussion

Aus den Chromatogrammen der GCMS-Analysen wurden jeweils die zwanzig grössten Peaks ausgewertet. 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 Haushaltgrossgeräten waren 0.5 % der Kondensatoren PCB-haltig und 1.7 % der Kondensatoren PCB-verdächtig. Die Zahlen für PCB-verdächtige Kondensatoren kommen aufgrund der Klassierung mit dem Kondensatorenverzeichnis zustande. Mittels Laboranalysen wurden alle PCB-verdächtigen Kondensatoren aus Kühlgeräten und ein beträchtlicher Teil der PCB-verdächtigen Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten auf ihren PCB-Gehalt analysiert. Alle im Labor geprüften PCB-verdächtigen Kondensatoren erwiesen sich als PCB-frei. 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 Resultate für SENS-Kleingeräte waren wenig plausibel und können nicht als repräsentativ für die SENS-Kleingeräte im Rücklauf angesehen werden. Aus ist zu vermuten, dass der hohe Anteil PCB-haltiger Kondensatoren dadurch zustande kommt, dass irrtümlich Kondensatoren aus Haushaltsleuchten in die Sammlung gelangt sind.

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 Kondensatortypen wurden die Durchschnittsgewichte berechnet.

## 1.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Alle Flüssigkeiten der analysierten Kondensatorkategorien können bedenkliche Stoffe im Sinne der erarbeiteten Definition enthalten. Die festgestellten Konzentrationen waren durchwegs gering. Aus den Daten wurde die Jahresfracht bedenklicher Stoffe in PCB-freien Kondensatoren auf 500-1000 kg abgeschätzt.

Für bedenkliche Stoffe wurde im Rahmen dieser Studie eine Definition erarbeitet, deren Anwendung wir empfehlen.

Das Entfernungsgebot aus der CENELEC-Norm 50625 und der WEEE-Direktive sollte überarbeitet werden, damit es alle Kondensatoren umfasst, die Flüssigkeiten enthalten und in mindestens einer Dimension grösser als 2.5 cm sind. Für PCB-haltige Kondensatoren, die nach wie vor in Haushaltgrossgeräten und vor allem Leuchten vorkommen, sollten die bestehenden Entfrachtungsvorschriften bestehen bleiben. Für PCB-freie Kondensatoren ist eine Entfernung in einen unterscheidbaren Strom zu fordern, der überwacht werden kann, wie dies die CENELEC-Norm 50625 vorsieht.

## 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 ungeladene 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. Weiterhin wird abgeklärt, ob diese Inhaltsstoffe eine besondere Behandlung erfordern, damit eine Gesundheits- und Umweltgefährdung durch das Recycling ausgeschlossen werden kann.

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?
- 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?
- Ergeben sich dadurch neue Empfehlungen für die Durchführung der Schadstoffentfrachtung?

## 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 Ölimprägnierungen 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 E&E-Altgeräten 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 (Amet 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. 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 Kondensatorentyp 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.

### 3 Begriffe

#### 3.1 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Die ungepolten Kondensatoren bilden eine grosse Gruppe unterschiedlicher Bauarten. 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. Vergleiche dazu auch Tabelle 1.



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

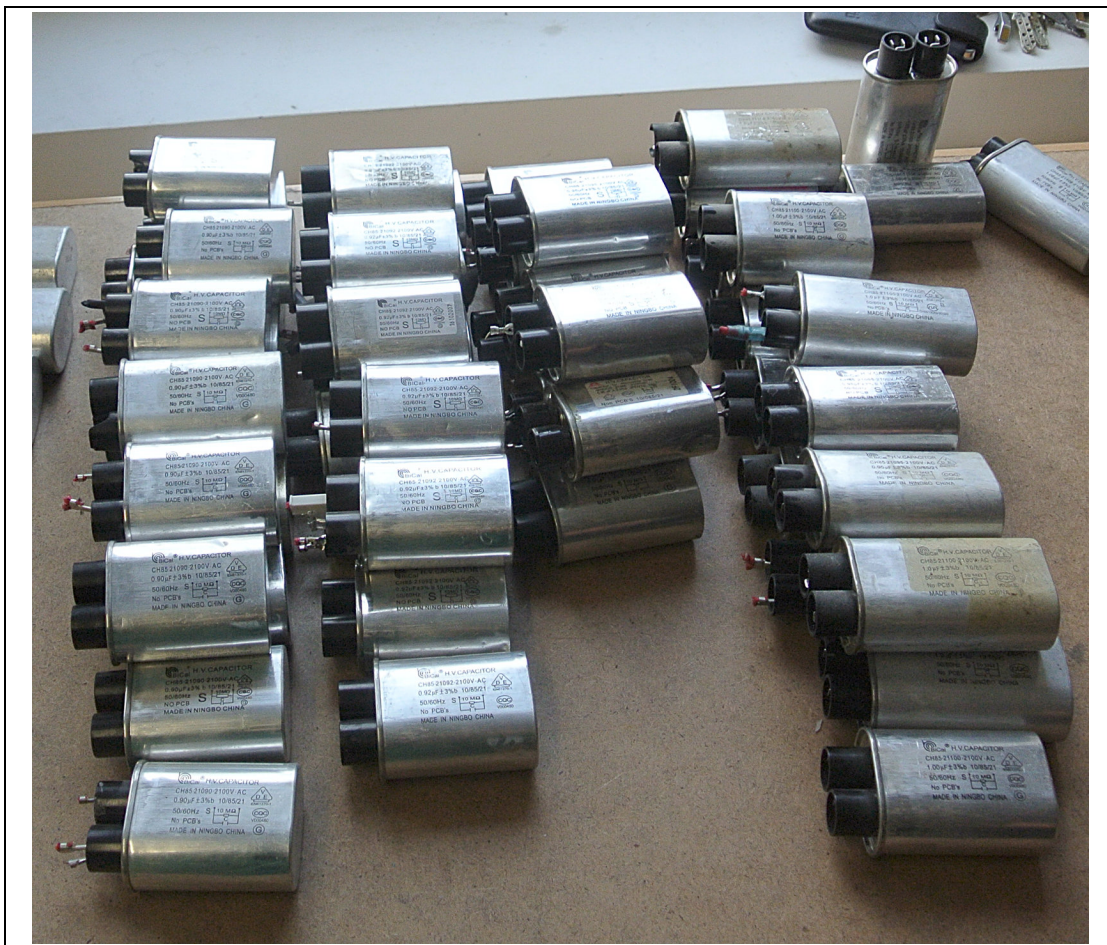


Abbildung 3: Mikrowellen-Kondensatoren aus ausgedienten Mikrowellen

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 Ölimprägnierung. 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 die ungepolten 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 grosse Menge der enthaltenen Flüssigkeiten und die charakteristische Bauform, die sich von allen anderen Kondensatoren unterscheidet.

**Tabelle 1: Klassierung der Kondensatoren**

Aufbau	Plattenmaterial	Kurzzeichen	Weitere Einteilung	Dielektrikum	Kondensatortyp 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>	Mikrowellen
Metallpapier- und Dielektrikumsfolie	Metallisiertes Papier	MPK		Kunststoffolie zwischen bedampftem Papier <i>Ölimprägnierung</i>	Ungepolt zylindrisch
Metallisierte Dielektrikumsfolie	Metallisiertes 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 möglich.</i>	
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 <sub>6</sub> 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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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 Produktioningenieurs 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,  $\gamma$ -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 % « $\alpha$ -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). Aus eigener Erfahrung bekannt ist auch die Verwendung von Rizinusöl. Andererseits kommen auch mineralische Öle in Frage. Speziell für Kunststoffkondensatoren wird eine Mischung aus aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen in einem Patent japanischer Autoren 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 diesen Verdacht, siehe dazu das Kapitel 6.1.4.

## 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) heisst es «substances of concern». 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 7.1 vorgeschlagen.

#### 4.3.2 Klassierung der Inhaltsstoffe gemäss GHS

Die identifizierten Inhaltsstoffe gemäss der Diskussion in 7.2 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, 2016a) 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

Chemische Bezeichnung	CAS-Nr.	GHS-Kennzeichnung nach ECHA
1-Chlornaphthalin (Chlorierte Naphthaline)	90-13-1	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 (Lungen, Atemwege), 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
1,1-Diphenylethan, Diarylethan	612-00-0	Keine Informationen
1,1'-(1-Methylethylidene)bis(4-methylbenzol)	unbekannt	Keine Informationen
1-Methoxy-2-nitrobenzol / 2-Nitroanisol	91-23-6	H302, H350
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
1,2-Benzoldicarbonsäure	88-99-3	H315, H319, H335
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
1,3-Benzoldicarbonsäure	121-91-5	Keine Klassierung
2-Ethylhexanol	104-76-7	H315, H319, H332, H335
2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure	69-72-7	H302, H312, H315, H318, H319, H335
2-Methylnaphthalin	91-57-6	H302, H400, H410
2-Hydroxyethylbenzoat	94-33-7	Keine Informationen
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 $\alpha$ ,4a $\beta$ -dimethyl-9(1H)-phenantron	94571-08-1	Keine Informationen
2,4-Dihydroxybenzoesäure	89-86-1	H315, H319, H335
2,6-Diisopropylnaphthalin	24157-81-1	H302, H400, H410
3-Nitroacetophenon	121-89-1	H412
3,4-Epoxy-cyclohexancarbonsäure-(3,4-epoxy-cyclohexylmethylester)	2386-87-0	H317, H412
4-Isopropylbiphenyl	7116-95-2	Keine Klassierung, im Anhang III-Verzeichnis der REACH
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-pyrol (EMDP)	102177-18-4	Keine Informationen
Ammoniumpentaborat	12046-04-7	H361
Benzoessäure	65-85-0	H315, H318, H372
Benzylalkohol	100-51-6	H302, H332
Benzyltoluole	27776-01-8	H304, H315, (p-,o-: H319), H332, (p-,o-: H335), H400, H410



Chemische Bezeichnung	CAS-Nr.	GHS-Kennzeichnung nach ECHA
Biphenyl	92-52-4	H315, H319, H335, H400, H410
Bis(7-methyloctyl)phthalat	20548-62-3	Keine Klassierung (SDS Sigma-Aldrich)
Borsäure	11113-50-1	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)
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
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 (PCB)	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 Al-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 7.6.2 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 PCB-Studie 2008 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 PCB-Studie 2008**

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-Kond. [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 <sup>1</sup>	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 <sup>1</sup>	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  $\delta$  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  $\pm 0.1$  % 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  $\pm 1$  % toleriert werden. Mit diesen Vorgaben resultiert eine erforderliche Stichprobengrösse für Haushaltgrossgeräte von 1'476 Stk. bei einem Signifikanzniveau  $\alpha$  von 5 %.

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

<sup>1</sup> 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 Gesamt Mischung. Zur Berechnung der Stichprobengrösse wird der ungünstigste Wert für p von 0.5 eingesetzt. Mit einem Niveau  $\alpha$  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	Haushaltgrossgeräte (total 1500 Kond.)	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.	Gerätekategorie 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.

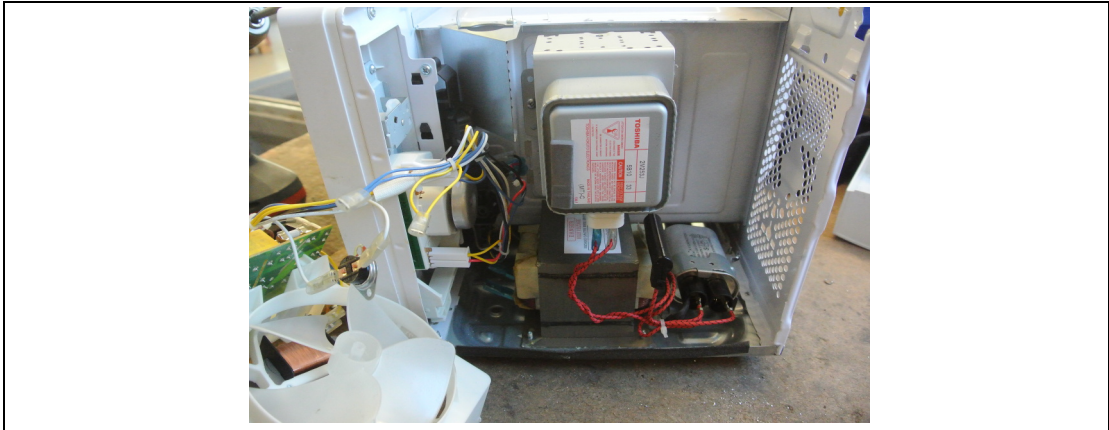
**Tabelle 8: Bei den Vorversuchen zerlegte Geräte und gefundene Kondensatoren**

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.

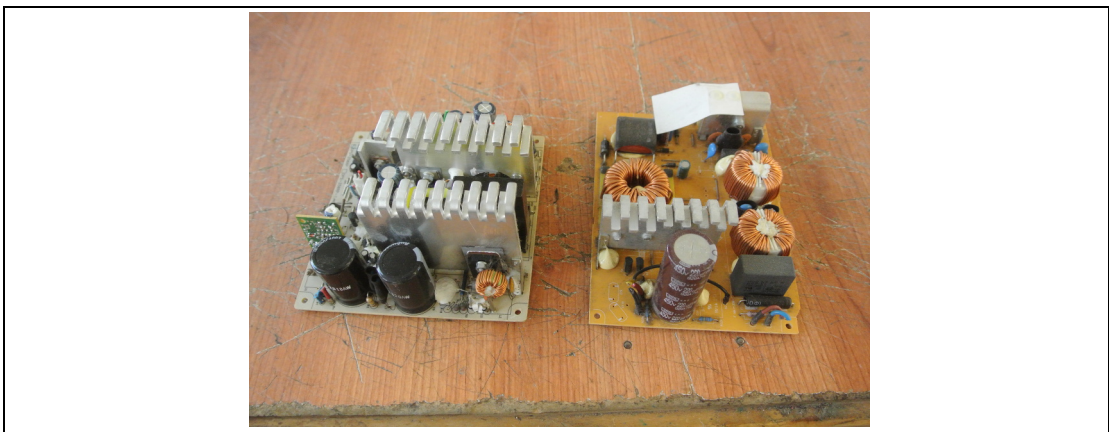
Die Zerlegeversuche werden im Folgenden fotografisch dokumentiert. Abbildung 5 zeigt eine geöffnete Mikrowelle mit dem typischen Mikrowellenkondensator zur Erhöhung der Spannung. Dieser ist im Bild unten rechts als Metallgehäuse mit abgerundeten Ecken zu sehen. Abbildung 6 zeigt die Platinen zweier interner 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**



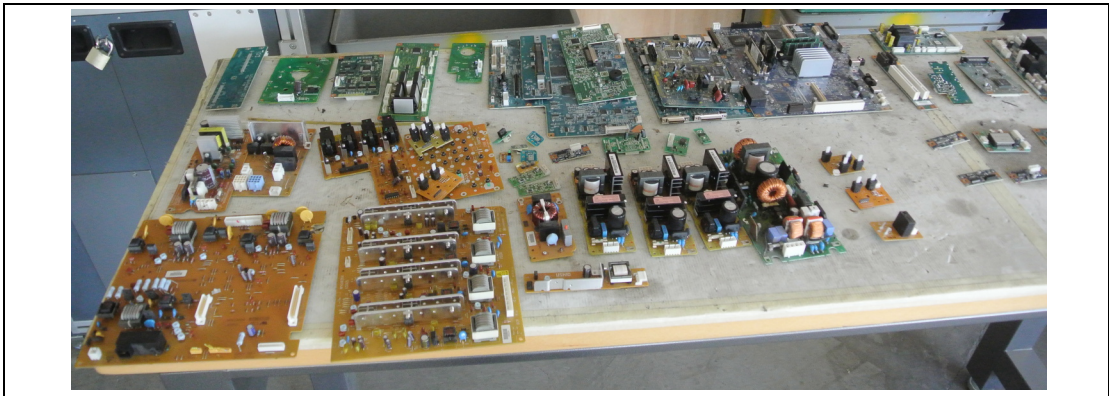


Abbildung 8: Platinen eines Grosskopierers

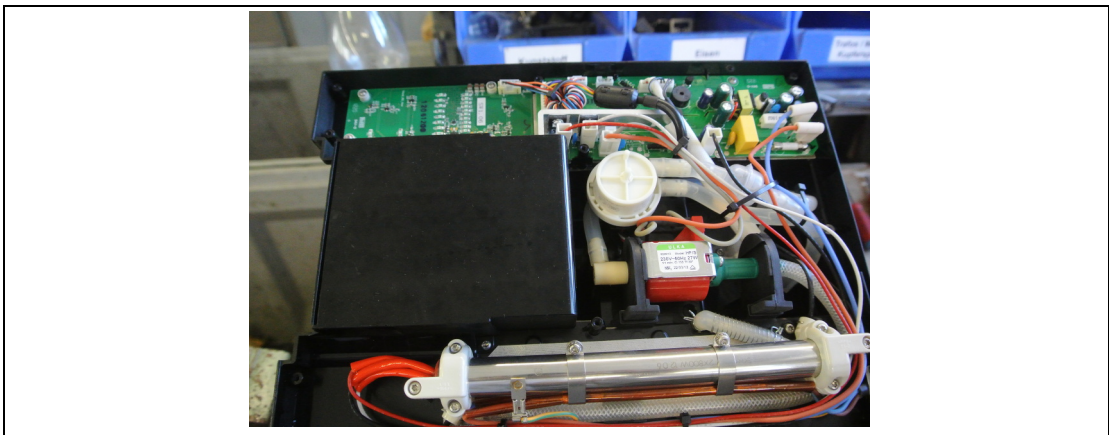


Abbildung 9: Innenleben einer Dampfbügelstation

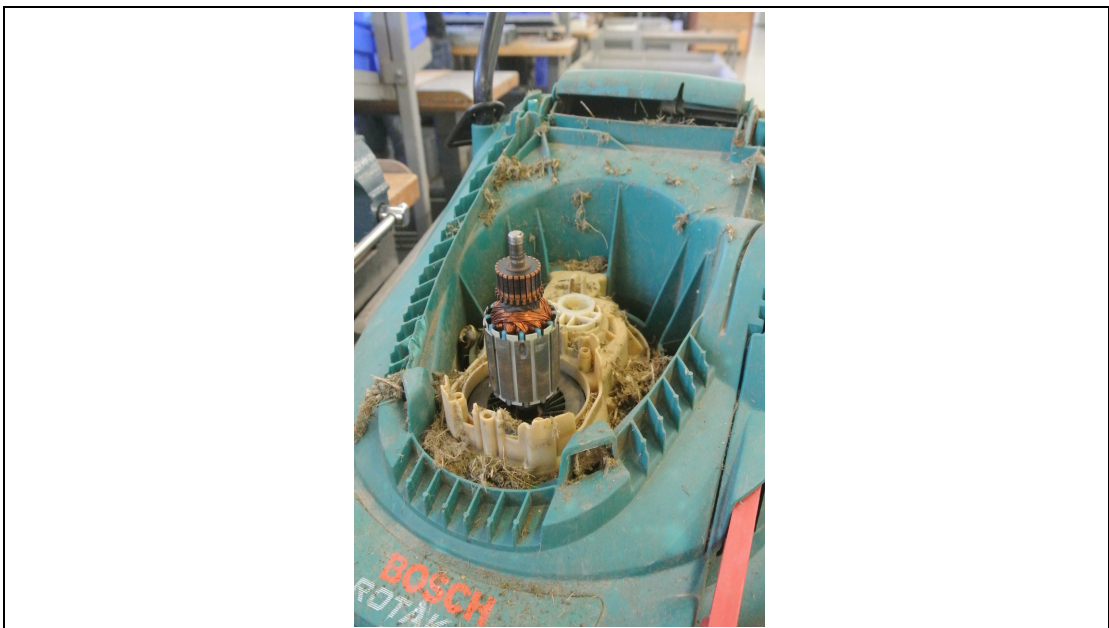


Abbildung 10: Rotor des Bürstenmotors eines elektrischen Rasenmähers



## 5.2 Analyse der Inhaltsstoffe

### 5.2.1 Separation der Flüssigkeiten

#### 5.2.1.1 Extraktion der Flüssigkeiten für die Laboranalyse

Für die Analyse im Labor sollen die Flüssigkeiten aus den Kondensatoren ausgetrieben werden. 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. Austretende Flüssigkeit in Gefäß fließen lassen. Bei Bedarf Kondensator auf zweiter Stirnseite erneut aufschneiden, um mehr Flüssigkeit auszupressen.
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 Probenabmeßgläsern 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, SENS-Kleingeräte, Flachbildschirme, sowie Desktop-Computer und externe Laptop-Netzteile wird jeweils eine Mischprobe für die Laboranalyse erstellt. 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
Haushalt-grossgeräte	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 Al-Elkos wurde die Probenahmestrategie da-

hingehend 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.
Haushaltsgrossgeräte	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.

### 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 6.4.1 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 ungepolten zylindrischen Kondensatoren wird der Anteil auf Modellebene ausgewiesen (siehe dazu auch Tabelle 11). Für die Al-Elkos hingegen auf Herstellerebene. Das bedeutet z. B., dass bei den Flachbildschirmen 87 % der Hersteller der gesammelten Kondensatoren in der Mischprobe vertreten waren. Da Al-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

Gerätekategorie	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 Auswertung der GCMS- und LCMS-Analysen

Ziel war die Suche nach den Hauptkomponenten in den Mischproben. 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. Durch die Erstellung von Mischproben aus Kostengründen konnten keine Flüssigkeiten einzelner Kondensatoren bestimmt werden. Die Analyse gibt stattdessen ein Bild über die häufigen Substanzen in allen Kondensatoren einer Mischprobe. 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 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 6.6 zu finden.



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

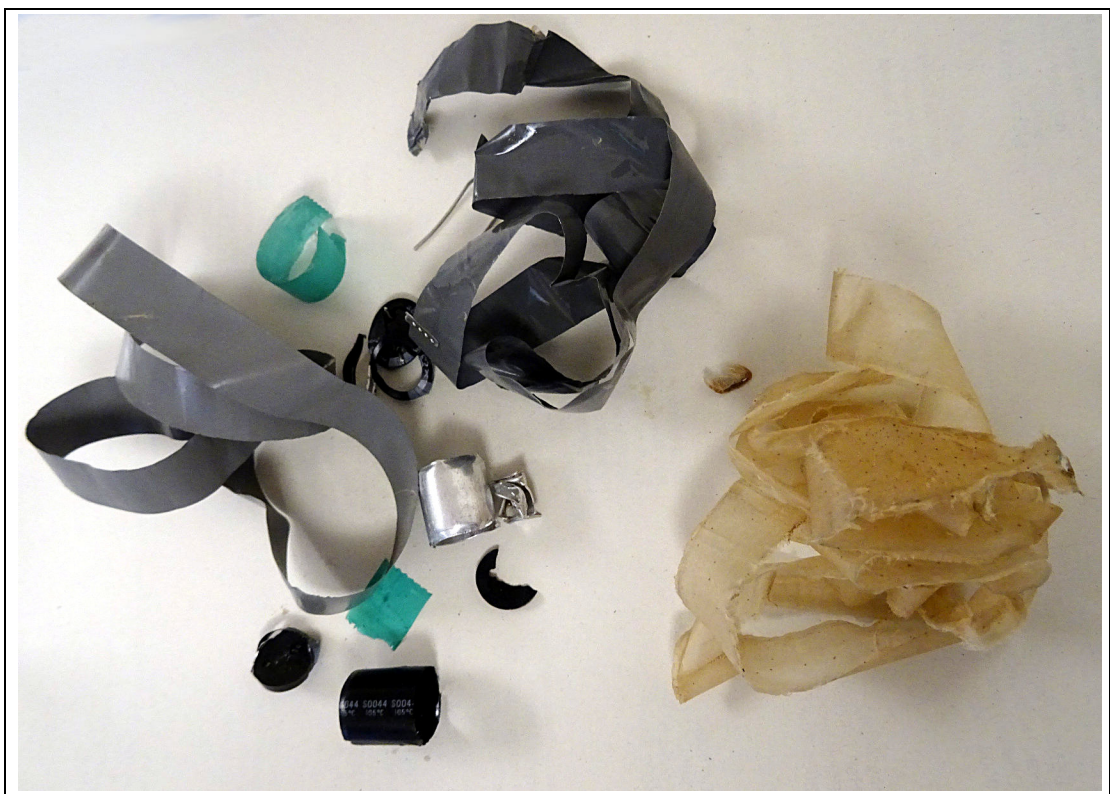


Abbildung 14: Bestandteile des zerlegten Al-Elkos.

## 6 Resultate

---

### 6.1 Analyseergebnisse flüssige Inhaltsstoffe

#### 6.1.1 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. 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 ist und eine Substanz mit ähnlichem Massenspektrum als Ergebnis erhalten wird. Ergebnisse mit tiefer Güte sind unsicher und sollten nicht als Nachweis der gefundenen Substanz verstanden werden. Nachfolgend werden einerseits diejenigen Substanzen angegeben, welche mit sehr guter Übereinstimmung bestimmt werden konnten. Andererseits diejenigen Substanzen, die mit mässiger Übereinstimmung analysiert wurden, 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.

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 B durchgeführt. Auch diese Analyse führte zu keinen verwertbaren Treffern.

Die 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.

### 6.1.2 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

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 15). Die enthaltenen Mineralöle sind als Peak 21 ersichtlich, in der Resultatetabelle sind diese als «Kohlenwasserstoffgemisch» bezeichnet.

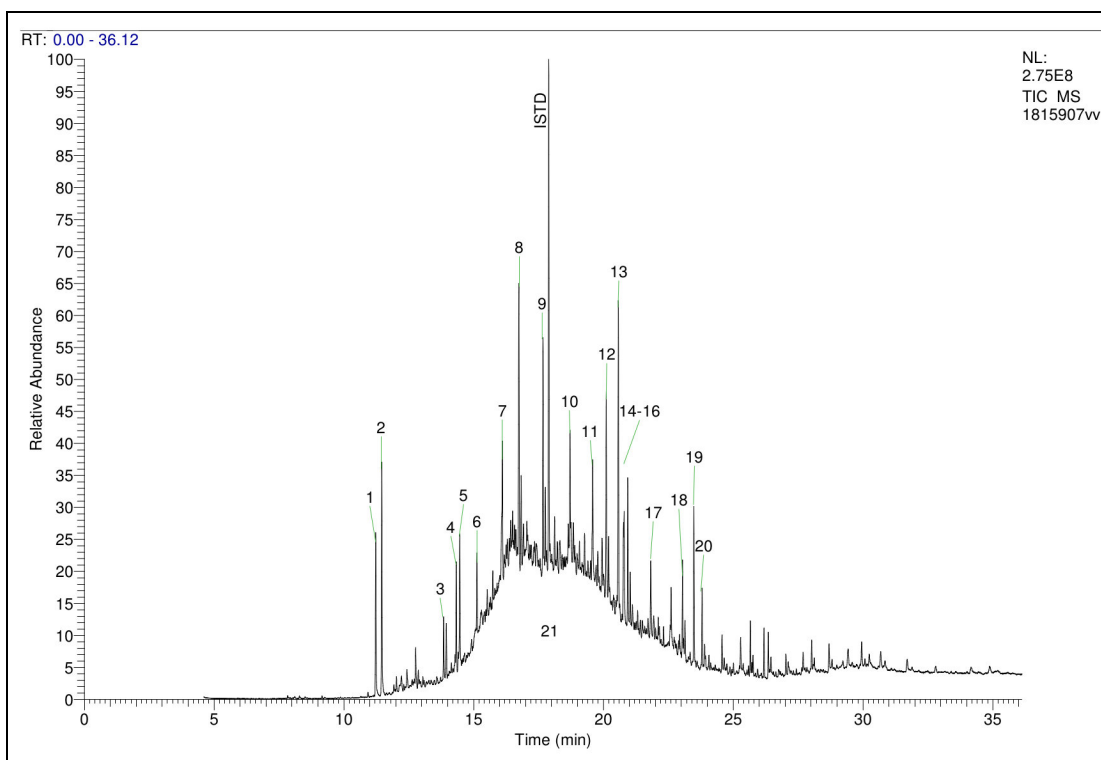


Abbildung 15: Chromatogramm der Mischprobe aus Kondensatoren aus Kühlgeräten

Die Resultate der GCMS-Analyse der Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten sind in Tabelle 13 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 13: 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-dodecylsulfid	27458-90-8	1000	mässig
Summe unbekannte Verbindungen		28000	
Kohlenwasserstoffgemisch		Nicht quantifiziert	

In Tabelle 14 werden die Analyseresultate für die Kondensatoren aus Kühl-, Klima- und Gefriergeräten aufgeführt. Die vollständigen Laborberichte befinden sich im Anhang C.3.1.

**Tabelle 14: 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-octylsulfid	29956-99-8	2000	mässig
Summe unbekannte Verbindungen		43000	
Kohlenwasserstoffgemisch		Nicht quantifiziert	

Die Analyseergebnisse für ungepolte zylindrische Kondensatoren aus SENS-Kleingeräten sind aus Tabelle 15 ersichtlich. Für die vollständigen Resultate verweisen wir auf den Anhang C.3.5.

**Tabelle 15: 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 16 zeigt die Resultate der PCB-Analyse für die Mischproben aus ungepolten 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 16: Analyseresultate PCB in Mischproben PCB-freier Kondensatoren**

Gerätekategorie	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 16: Ein Teil der gesammelten Kondensatoren aus SENS-Kleingeräten**

### 6.1.3 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 17 und Tabelle 18 sind die Analyseergebnisse der Mischprobe aus Flachbildschirmen dargestellt. Diese Mischprobe wurde aus den Al-Elkos aus Flachbildschirmen für die Verwendung am Computer und den Al-Elkos aus Flachbildschirmen für die Verwendung als TV/Video-Bildschirm erstellt. Die detaillierten Laborberichte sind im Anhang C.3.2 zu finden.

**Tabelle 17: 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 18: 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 Al-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 19 und Tabelle 20 ersichtlich. Für den vollständigen Laborbericht verweisen wir auf den Anhang C.3.8.

**Tabelle 19: 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

Chemische Bezeichnung	CAS-Nr.	Massenanteil [mg/kg Wickel]	Übereinstimmung
Azelainsäure-monoethylester oder ähnliche Verbindung	1593-55-1	50	mässig
$\gamma$ -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 20: 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-Hydroxybenzoesäure, 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 21 zusammengefasst, die detaillierten Angaben aus dem Anhang C.3.7 ersichtlich.

**Tabelle 21: 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
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 22: 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 23 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 23: Ergebnisse Elementaranalyse Al-Elko auf Wolfram und Bor**

Geräteklasse	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

#### 6.1.4 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 eingingen. Die Mikrowellenproben werden nicht durch mineralische Öle überlagert (siehe Abbildung 17). 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 24 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 25 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.

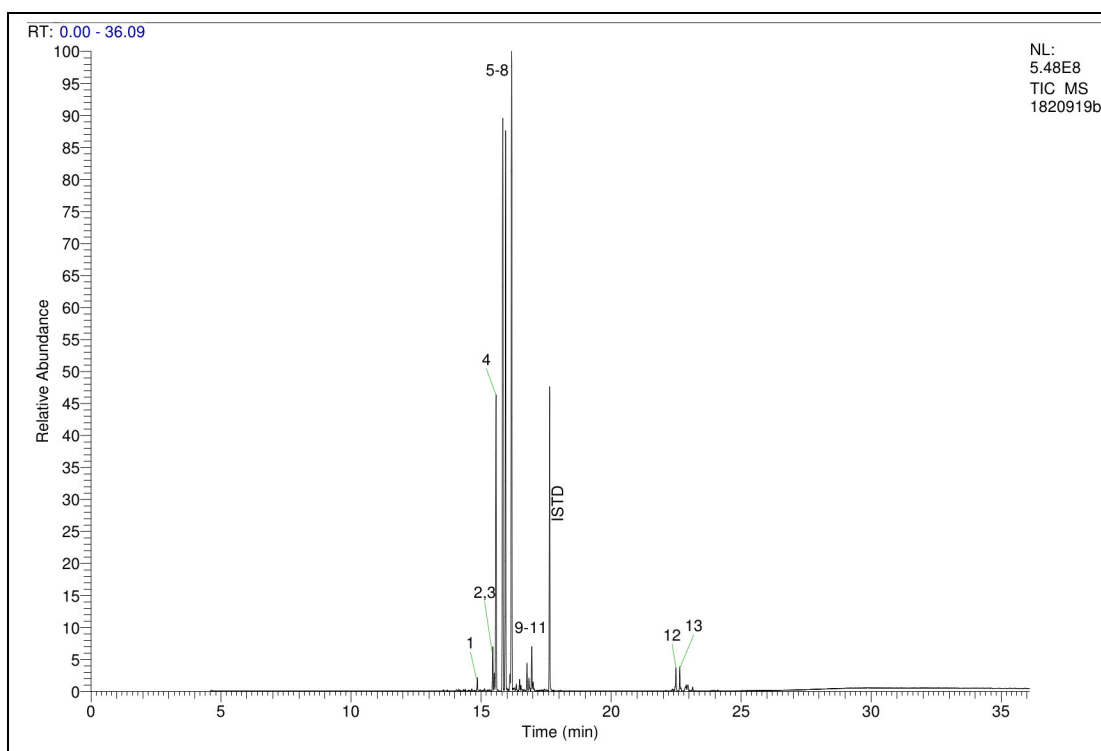


Abbildung 17: Chromatogramm der Mischprobe aus Kondensatoren des Herstellers BiCai

Tabelle 24: 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
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 25: 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



Chemische Bezeichnung	CAS-Nr.	Massenanteil [mg/kg]	Übereinstimmung
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 $\alpha$ ,4 $\alpha$ -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 26 und Anhang C.1).

**Tabelle 26: Analyseresultate PCB in Mischproben PCB-freier Kondensatoren**

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

### 6.1.5 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 27 ausgewiesen. Die Probe-Nummern werden gemäss Tabelle 11 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 27: Aus der Literatur unbekannte analysierte Inhaltsstoffe von Kondensatoren**

Chemische Bezeichnung	CAS-Nummer	Gefunden in Kondensatortyp	Probe-Nr.(n)
1,4-Di-p-tolylbutan-1,4-dion	13145-56-7	Al-Elko	7 Netz
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
3-Aminoacetophenon oder Isomer	99-03-6	Al-Elko	2 LCD, 5.2 HKG

Chemische Bezeichnung	CAS-Nummer	Gefunden in Kondensatortyp	Probe-Nr.(n)
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
Benzoessäure	65-85-0	Al-Elko	2 LCD
Phenol	108-95-2	Al-Elko	2 LCD, 7 Netz, 5.2 HKG
2,2-Dimethyl-4-octen-3-ol	53960-44-4	ungepolt zylindrisch	6 HHG
2,2,4,4,5,5,7,7-Octamethyloctan	5171-85-7	ungepolt zylindrisch	6 HHG
3,4-Epoxy cyclohexylmethyl-3,4-epoxycyclohexancarboxylat oder Isomer	2386-87-0	ungepolt zylindrisch	1 KG
Di-tert-dodecylsulfid	27458-90-8	ungepolt zylindrisch	6 HHG
Di-tert-octylsulfid	29956-99-8	ungepolt zylindrisch	1 KG
Dinonylphthalat	84-76-4	ungepolt zylindrisch	5.1 HKG
Triethylenglycolbis(2-ethylhexanoate)	94-28-0	ungepolt zylindrisch	1 KG
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
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 $\alpha$ ,4a $\beta$ -dimethyl-9(1H)-phenantron oder ähnliche Verbindung	94571-08-1	Mikrowellen-Kondensatoren	3.2 MW
5-Ethyl-2-methyl-4,4-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrrrol (EMDP) oder ähnliche Verbindung	102177-18-4	Mikrowellen-Kondensatoren	3.1 MW, 3.2 MW
Di-p-tolyl-methan oder Isomer	4957-14-6	Mikrowellen-Kondensatoren	3.1 MW
Ethyl(1-phenylethyl)benzol	18908-70-8	Mikrowellen-Kondensatoren	3.2MW

## 6.2 Literaturangaben zu flüssigen Inhaltsstoffen

### 6.2.1 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 unabhängigen Literaturquellen erwähnt wird.

### 6.2.2 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Für die ungepolten zylindrischen Kondensatoren führt die Literaturrecherche zu den 13 Substanzen in Tabelle 28, deren Verwendung wir für gesichert halten.

**Tabelle 28: 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)

### 6.2.3 Elektrolytkondensatoren

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

**Tabelle 29: 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)
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)
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)

### 6.2.4 Mikrowellenkondensatoren

Die Literaturrecherche für Inhaltsstoffe von Mikrowellenkondensatoren ergibt die Tabelle 30 mit 13 Substanzen.

**Tabelle 30: 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)

Chemische Bezeichnung	CAS-Nr.	Quellenangabe
3,4-Epooxycyclohexancarbonsäure-(3,4-epoxycyclohexylmethylester)	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
Diisononylphthalat	68515-48-0	(Chappot et al., 2007), (Gloor, 2007), Patent DE3930310C1
Trioctyltrimellitat	3319-31-1	(Eugster, 2007)

### 6.2.5 Kondensatorentyp unbekannt

Für Dimethylbenzylalkohol in Tabelle 31 gibt es belastbare Literaturhinweise, dass er in Kondensatoren verwendet wird. Allerdings geht aus den Quellen nicht hervor, in welchen Kondensatortypen diese Substanz eingesetzt wird.

**Tabelle 31: Aus der Literatur bekannte Inhaltsstoffe mit unbekannter Zuteilung zu einem Kondensatorentyp**

Chemische Bezeichnung	CAS-Nr.	Quellenangabe
Dimethylbenzylalkohol	617-94-7	Laboranalyse FPD, Netz, (Chappot et al., 2007)

## 6.3 Anteil PCB-haltiger Kondensatoren

### 6.3.1 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

#### 6.3.1.1 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 33 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 32: 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 %
<b>Summe</b>	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 33 hinter dem Ergebnis als  $\pm x \%$  ausgewiesen.

**Tabelle 33: 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 %
<b>Summe</b>	2073	

### 6.3.1.2 Kühl-, Klima- und Gefriergeräte

Nach den Haushaltsgrossgeräten sind die Kühl-, Klima- und Gefriergeräte die zweitwichtigste Quelle für ungepolte zylindrische Kondensatoren. Die Anteile der Kondensatoren nach PCB-Gehalt sind in Tabelle 34 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 34: 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 %
<b>Summe</b>	410	

### 6.3.1.3 Vorschaltgeräte aus FL-Leuchten

Die Anteile der PCB-haltigen, PCB-verdächtigen und PCB-freien Kondensatoren werden nachfolgend in Tabelle 35 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 35: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in Vorschaltgeräten**

Klassierung	Stk.	Anteil
PCB-frei	58	24 %
PCB-verdächtig	50	21 %
PCB-haltig	130	55 %
<b>Summe</b>	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 36 hinter dem Ergebnis als  $\pm x \%$  ausgewiesen.

**Tabelle 36: 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 %
<b>Summe</b>	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.

#### 6.3.1.4 SENS-Kleingeräte

Für die SENS-Kleingeräte werden die Ergebnisse wie bei den Haushaltgrossgeräten in der Tabelle 36 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 38 hinter dem Ergebnis als  $\pm x \%$  ausgewiesen.

**Tabelle 37: Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren in SENS-Kleingeräten <sup>2</sup>**

	HHKG mit Motoren		Weitere HHKG		HHKG gesamt	
Klassierung	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%
<b>Summe</b>	84		50		134	

**Tabelle 38: Anteile PCB-haltiger Kondensatoren Haushaltkleingeräten mit Konfidenzintervallen <sup>2</sup>**

Klassierung	Stk.	Anteil $\pm$ Konfidenzintervall 95%
PCB-frei	108	80.6 % $\pm$ 6.7 %
PCB-verdächtig	9	6.7 % $\pm$ 4.2 %
PCB-haltig	17	12.5 % $\pm$ 5.6 %
<b>Summe</b>	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 7.4.1.5.

<sup>2</sup> Die Ergebnisse in dieser Tabelle sind zweifelhaft und sollten nicht zitiert werden.

### 6.3.2 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)

### 6.3.3 Mikrowellenkondensatoren

Mikrowellenkondensatoren gelten allgemein als PCB-frei. Die Laboranalysen dieser Studie bestätigen, dass die Mikrowellenkondensatoren kein PCB enthalten (vergleiche dazu das Kapitel 6.1.4).

## 6.4 Anteile der Kondensatoren mit Flüssigkeiten

### 6.4.1 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 39 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 18 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 39 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 19. Es handelt sich dabei um Elektrolytkondensatoren mit kurzer Lebensdauer. Diese Kondensatoren wurden nicht zu den trockenen Kondensatoren gezählt.



Abbildung 18: Geöffneter KS-Kondensator ohne flüssige Inhaltsstoffe

Tabelle 39: Anteile trockener an den ungepolteten zylindrischen Kondensatoren

Nr.	Gerätekategorie Systeme	Sammelkategorie	Gesamtzahl in Sammlung	Trockene Kond. [Stk.]	Anteil trockene Kond.
11a	Haushaltsgrossgeräte	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 19: Motorstart-Elektrolyt-Kondensatoren in schwarzen Kunststoffgehäusen

### 6.4.2 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 40. 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.

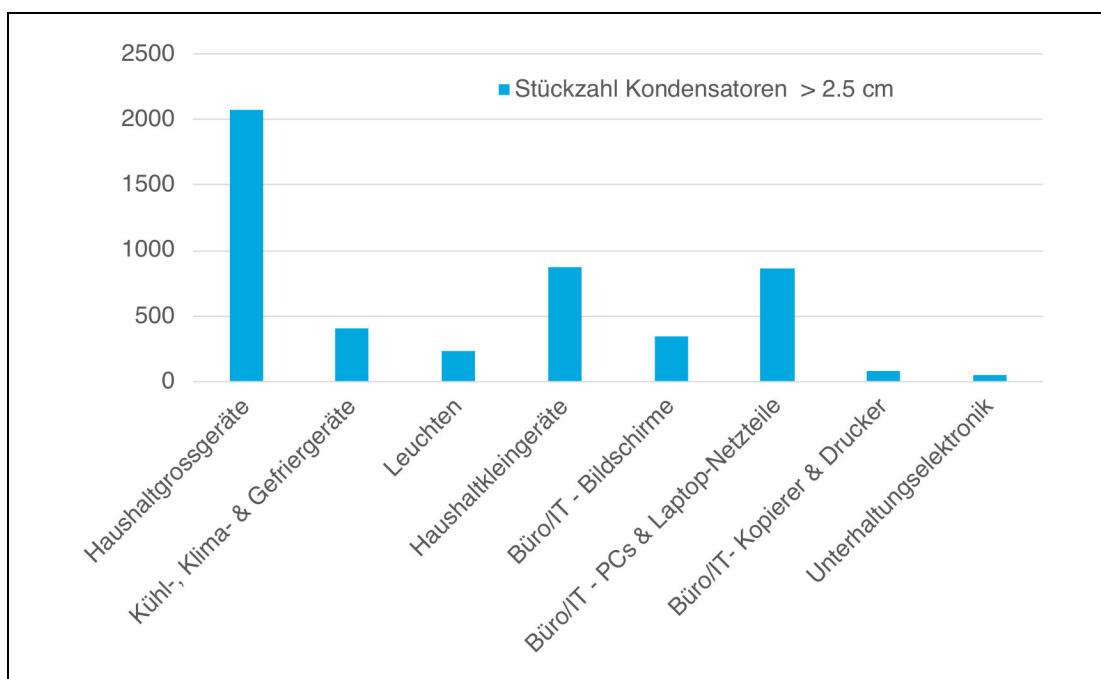
**Tabelle 40: Flüssigkeitsaustritt bei der Probenahme für die Analyse in Anzahl Kond.-Modellen**

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

## 6.5 Sammelergebnis

### 6.5.1 Kondensatoren > 2.5 cm in einer Dimension

In Tabelle 41 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 20 zeigt die gesammelten Stückzahlen als Übersicht.



**Abbildung 20: 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-Elkos gesammelt, wie im folgenden Kapitel dargestellt. Besonders schwierig gestaltete sich die Sammlung grosser Kondensatoren für die Kopierer und die 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 41 weist zudem die Gewichte der gesammelten Kondensatoren pro Gerätekategorie aus. Die Kondensatoren wurden pro Gerätekategorie während der Bestimmung der Modelle gewogen.

**Tabelle 41: Vergleich zwischen Sammelplanung und effektiv gesammelten Kondensatoren**

Gerätekategorie Systeme	Sammelkategorie	Geplante Anzahl Kondensatoren > 2.5 cm [Stk.]	Gesammelte Anzahl Kondensatoren > 2.5 cm [Stk.]	Gewicht gesammelte Kond. > 2.5 cm [kg]
Haushaltgrossgeräte	Waschmaschinen	1000	937	96.2
	Geschirrspüler	400	801	43.1
	Weitere	100	333	24.4
Kühlgeräte	Kühlgeräte	400	410	29.0
Vorschaltgeräte aus Leuchten		400	238	26.9
SENS-Kleingeräte	Mikrowellen	400	343	39.2
	Geräte mit Motoren	400	280	22.7
	Weitere	400	256	10.7
Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 01	Flachbildschirme PC	250	24	0.280
	CRT-Bildschirme PC		0	0.000
Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 08	Flachbildschirme TV		210	2.689
	CRT-Bildschirme TV		108	1.500
Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 03	Desktop-Computer inkl. interne Netzteile	500	589	4.407
	Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)		0	0.000
	Externe Netzteile		274	3.161
Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 06	Grosskopierer	500	46	0.515
	Multifunktionsdrucker		38	0.597

Gerätekategorie Systeme	Sammelkategorie	Geplante Anzahl Kondensatoren > 2.5 cm [Stk.]	Gesammelte Anzahl Kondensatoren > 2.5 cm [Stk.]	Gewicht gesammelte Kond. > 2.5 cm [kg]
Unterhaltungselektronik und Foto / Swico 10	Audiogeräte wie Verstärker, Radios, Kompaktanlagen	500	17	0.269
	Lautsprecherboxen mit mindestens 2 Lautsprechern		21	0.183
	Videogeräte (VHS)		15	0.131
Total		5250	4940	305.9
Total SENS		3500	3598	292.2
Total Swico		1750	1342	13.7

### 6.5.2 Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren kleiner 2.5 cm

Aus den Gerätekategorien 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 Stückzahl und das Gewicht pro Gerätekategorie bestimmt. Die gesammelten Kondensatoren kleiner 2.5 cm in allen Dimensionen sind in der folgenden Tabelle 42 dokumentiert.

**Tabelle 42: 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

### 6.5.3 Stückzahlen der Kondensatoren aller Grössenklassen im Vergleich

Aus den bereits dargestellten Stückzahlen der Sammlung haben wir die Auswertung gemäss der Abbildung 21 erstellt. Sie zeigt die Stückzahlen der unterschiedlichen Kondensatortypen pro Gerätekategorie. Die Kondensatoren > 2.5 cm wurden in «un-gepolte 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.

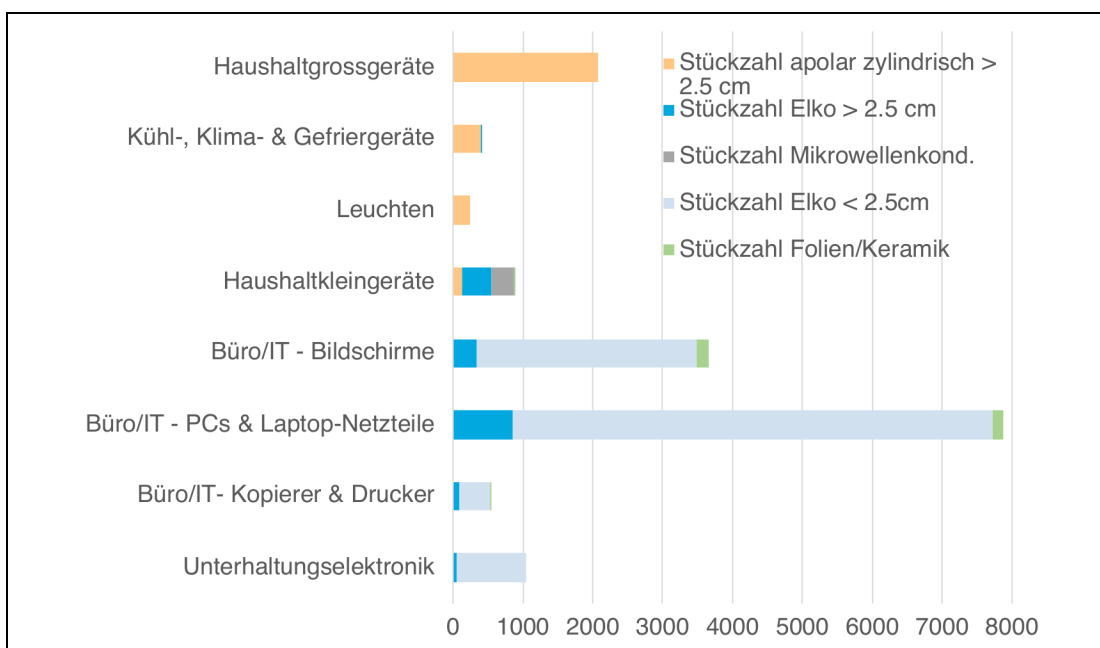


Abbildung 21: Stückzahlen der gesammelten Kondensatorklassen pro Gerätekategorie

### 6.5.4 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 43 wiedergegeben.

Tabelle 43: 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

Nr.	Gerätekategorie Systeme	Sammelkategorie	Anzahl zerlegte Geräte [Stk.]	Gewicht zerlegte Geräte [kg]
23a	Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 03	Desktop-Computer inkl. interne Netz-teile	133	804
23b		Unterbrechungs-freie Stromversor-gung (USV)	ca. 20	nicht be-stimmt
23c		Externe Netzteile Laptops	219	63
24a	Büroelektronik, Informatik, Kommunikation / Swico 06	Grosskopierer	2	157
24b		Multifunktionsdru-cker	17	162
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

## 6.6 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 44. 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 44: Gewichte 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%

## 7 Diskussion

### 7.1 Definition bedenklicher Stoffe

Elektronische Komponenten enthalten durchwegs toxische Stoffe, wie zum Beispiel das Kupfer der Kabel, Blei in Lötstellen oder Flammschutzmittel 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 45 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.



dung 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 45: 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	<b>Ja</b>
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	<b>Ja</b>
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	<b>Ja</b>
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	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H341	Kann vermutlich genetische Defekte verursachen	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H350	Kann Krebs erzeugen	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H351	Kann vermutlich Krebs erzeugen	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H360D	Kann das Kind im Mutterleib schädigen	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H360FD	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen.	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H360Df	Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H361	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H361d	Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H370	Schädigt die Organe	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
H372	Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition	Nein	<b>Ja</b>

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 Registrierungsdossiers 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.

## 7.2 Flüssige Inhaltsstoffe PCB-freier Kondensatoren

### 7.2.1 Einleitung

Aus den Resultaten der Laboranalysen und der Literaturrecherche lassen sich Stofflisten der bekannten flüssigen Inhaltsstoffe von Kondensatoren erstellen. Diese werden im Folgenden getrennt nach Kondensatortyp präsentiert. Die Tabellen enthalten alle Stoffe, die in der GCMS-Laboranalyse mit einer sehr guten Übereinstimmung zur Stoffbibliothek analysiert wurden. 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 7.1.

### 7.2.2 Ungepolte zylindrische Kondensatoren

Die Substanzen in Tabelle 46 wurden in PCB-freien ungepolten zylindrischen Kondensatoren identifiziert. Bei neun von fünfzehn handelt es sich um «bedenkliche Stoffe».

**Tabelle 46: 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
Benzyltoluole (p- und m-)	27776-01-8	Analyse GCMS	Ja
Biphenyl	92-52-4	Literatur	Ja
Butylhydroxyanisol	25013-16-5	Literatur	Ja
Dibutylphthalat	84-74-2	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

### 7.2.3 Elektrolytkondensatoren

Zusätzlich zu den in Tabelle 47 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 47: 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
2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure	69-72-7	Literatur	Nein

Chemische Bezeichnung	CAS-Nr.	Wie gefunden?	bedenklicher Stoff?
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

## 7.2.4 Mikrowellenkondensatoren

Die Analyseergebnisse der Mikrowellenkondensatoren zeigen zahlreiche Biaryle, Diarylalkane oder Arylalkane (Tabelle 48). 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 48: 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 $\alpha$ ,4 $\alpha$ -dimethyl-9(1H)-phenantron oder ähnliche Verbindung	94571-08-1	Analyse GCMS	Einstufung nicht möglich
2,6-Diisopropyl-naphthalin	24157-81-1	Literatur	Ja
3,4-Epoxy-cyclohexancarbonsäure-(3,4-epoxy-cyclohexylmethylester)	2386-87-0	Literatur	Nein
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-tyl-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
Trioctyltrimellitat	3319-31-1	Literatur	verdächtig



## 7.3 Klassierung der Inhaltsstoffe in Kondensatoren

### 7.3.1 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 49 wiedergegeben.

**Tabelle 49: 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-Methylnaphthalin	90-12-0	Ja	Nein	Nein	Ja	ungepolte zylindrische
1-Methoxy-2-nitrobenzol / 2-Nitroanisol	91-23-6	Ja		Ja	Ja	Elko
2-Methylnaphthalin	91-57-6	Ja	Nein	Nein	Ja	ungepolte zylindrische
2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl	3075-84-1	Ja	Nein		Ja	Mikrowellen
2,6-Diisopropyl-naphthalin	24157-81-1	Ja	Nein	Nein	Ja	Mikrowellen
Benzyltoluole	27776-01-8	Ja		Nein	Ja	ungepolte zylindrische, Mikrowellen
Biphenyl <sup>3</sup>	92-52-4	Ja	Nein	Nein	Ja	ungepolte zylindrische
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
Diisobutylphthalat	84-69-5	Ja	Ja	Ja	Ja	ungepolte zylindrische

<sup>3</sup> Die Eigenschaften von Biphenyl werden im Rahmen der REACH-Verordnung derzeit genauer abgeklärt (ECHA, 2013), da es im Verdacht steht persistent, bioakkumulativ und toxisch zu sein.

Chemische Bezeichnung	CAS-Nummer	Aufgrund der H-Sätze bedenklicher Stoff	Leicht biologisch abbaubar?	CMR?	Bedenklicher Stoff im Recycling	Vorkommen Kondensatortyp
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

### 7.3.2 Möglicherweise bedenkliche Stoffe

Für die vier Substanzen in Tabelle 50 existieren Hinweise, dass sie die Kriterien für bedenkliche Stoffe erfüllen könnten. Alle vier 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 «verdächtige» Substanz jedoch aufrechterhalten.

**Tabelle 50: 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
Diisodecylphthalat	26761-40-0	verdächtig	Nein	Nein	verdächtig	Mikrowellen
Diisononylphthalat	28553-12-0	verdächtig	Ja	Nein	verdächtig	Mikrowellen
Trioctyltrimellitat	3319-31-1	verdächtig	–	Ja	verdächtig	Mikrowellen

### 7.3.3 Nicht einstuftbare Stoffe

Für das Dutzend Substanzen in Tabelle 51, welche in Flüssigkeiten von Kondensatoren vorkommen, konnte keine Einstufung vorgenommen werden. Dies liegt durchgehend daran, dass für diese Substanzen keine Klassierung mit H-Sätzen gefunden wurde.

**Tabelle 51: 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-Methylethylidene)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 $\alpha$ ,4a $\beta$ -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-pyrrrol (EMDP)	102177-18-4	Einstufung nicht möglich	Einstufung nicht möglich	Mikrowellen
Ethyl(1-phenylethyl)benzol	18908-70-8	Einstufung nicht möglich	Einstufung nicht möglich	Mikrowellen

### 7.3.4 Unbedenkliche Stoffe

Die Tabelle 52 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 Abbauewege 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 52: 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
3,4-Epoxy-cyclohexancarbonsäure-(3,4-epoxy-cyclohexylmethylester)	2386-87-0	Nein	–	Nein	Nein	Mikrowellen
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
Benzylalkohol	100-51-6	Nein	–	Nein	Nein	Elko
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
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

Chemische Bezeichnung	CAS-Nummer	Aufgrund der H-Sätze Bedenklicher Stoff	Leicht biologisch abbaubar?	CMR?	Bedenklicher Stoff im Recycling	Vorkommen Kondensatorrentyp
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

## 7.4 Anteil PCB-haltiger Kondensatoren

### 7.4.1.1 Übersicht

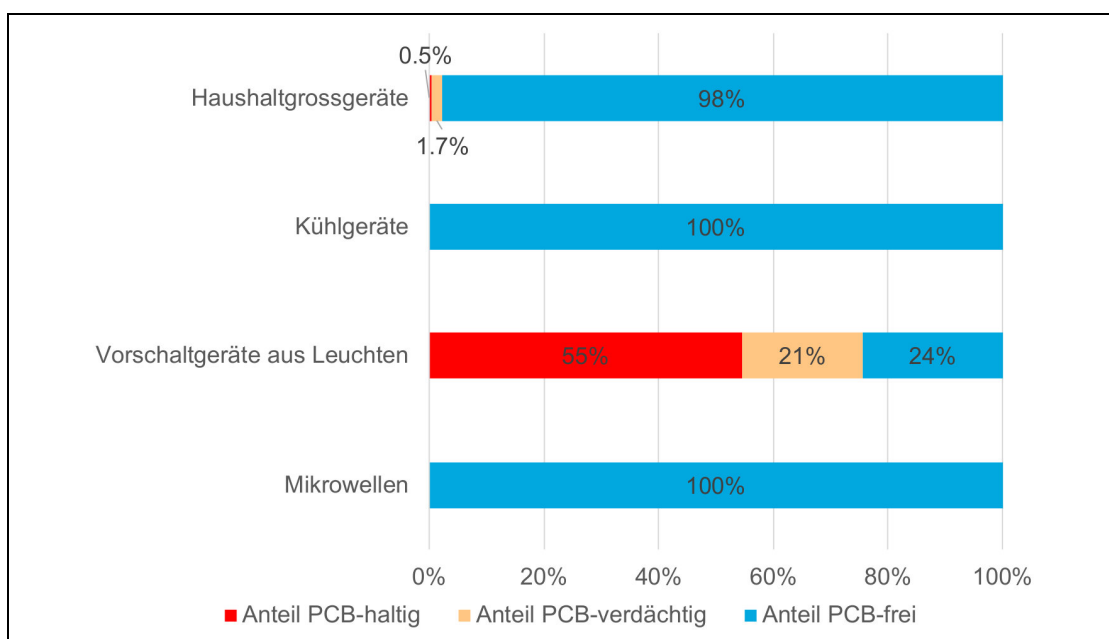


Abbildung 22: Anteile der PCB-haltigen Kondensatoren an den Gerätekategorien in Stück

Die Frage, welcher Anteil von Kondensatoren PCB-haltig ist, betrifft nur die Geräte im SENS-System. Diese bilden den Einsatzbereich der ungepolten zylindrischen Kondensatoren, die mit PCB als Dielektrikum gefüllt sind. Die Abbildung 22 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht, im Folgenden werden die Resultate pro Gerätekategorie diskutiert. Die orangen 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 be-

stimmt 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 Jahresfrachten PCB-haltiger und PCB-verdächtigter Kondensatoren, die sich aus diesen Zahlen ergeben, werden in Kapitel 7.7.2 abgeschätzt.

#### 7.4.1.2 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.

#### 7.4.1.3 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.

#### 7.4.1.4 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, um welche Modelle es sich handelt.

Das Ergebnis passt gut zur früheren Auswertung des Autors dieser Studie (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.

#### 7.4.1.5 SENS-Kleingeräte

Unter den gesammelten Kondensatoren waren Modelle, die typischerweise in Vorschaltgeräten eingesetzt werden. Ob diese wirklich aus SENS-Kleingeräten stammen und nicht z.B. aus mobilen Leuchten, konnte nicht geklärt werden. Der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in der Probenahmekategorie der «weiteren Haushaltkleingeräte» von 26 % erscheint unplausibel hoch. Auch der deutlich höhere Wert von 5 % in der Kategorie der «Haushaltkleingeräte 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.

## 7.5 Durchschnittsgewichte

### 7.5.1 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 53 sind alle Ergebnisse aufgeführt. Für die Haushaltgrossgeräte werden die mittleren Gewichte der Teilkategorien wie auch der Mittelwert der Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten insgesamt ausgewiesen.

**Tabelle 53: 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
<b>Haushaltgrossgeräte</b>	<b>79.0 g</b>
<b>Kühlgeräte</b>	<b>70.7 g</b>
<b>Leuchten</b>	<b>112.8 g</b>

### 7.5.2 Elektrolytkondensatoren

Die Durchschnittsgewichte der Elektrolytkondensatoren gemäss Tabelle 54 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 54: 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	–
<b>SENS-Kleingeräte</b>	<b>30.2 g</b>	–
Flachbildschirme PC	11.7 g	0.8 g
Flachbildschirme TV	12.8 g	1.1 g
CRT TV	13.9 g	0.7 g
<b>Büro/IT - Bildschirme</b>	<b>13.1 g</b>	<b>0.9 g</b>
Desktop-PC	7.5 g	0.8 g
Laptop-Netzteile	11.5 g	1.4 g

Gerätekategorie	Durchschnittsgewichte Elko > 2.5 cm	Durchschnittsgewichte Elko < 2.5cm
<b>Büro/IT - PCs &amp; Laptop-Netzteile</b>	<b>8.8 g</b>	<b>0.9 g</b>
Kopierer	11.2 g	1.5 g
Multifunktionsdrucker	15.7 g	0.9 g
<b>Büro/IT- Kopierer &amp; Drucker</b>	<b>13.2 g</b>	<b>1.0 g</b>
Audiogeräte	15.8 g	0.5 g
Lautsprecher	8.7 g	1.6 g
Video	8.7 g	0.4 g
<b>Unterhaltungselektronik</b>	<b>11.0 g</b>	<b>0.5 g</b>

### 7.5.3 Mikrowellenkondensatoren

Die Durchschnittsgewichte der Mikrowellenkondensatoren wurden durch Wägung der gesammelten Kondensatoren bestimmt und sind in der Tabelle 55 abgebildet.

**Tabelle 55: Durchschnittsgewichte der Mikrowellenkondensatoren nach Gerätekategorien**

Gerätekategorie	Durchschnittsgewicht Mikrowellenkond.
Mikrowellen	118.1 g

### 7.5.4 Geräte

Die Durchschnittsgewichte der Geräte konnten für die Swico-Geräte aus den Versuchsdaten ermittelt werden. Sie sind in der Tabelle 56 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 56 nicht aufgeführt.

**Tabelle 56: 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

## 7.6 Gewichtsauswertung Elektrolytkondensatoren in Geräten

### 7.6.1 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.

### 7.6.2 Gewichtsanteile Elektrolyt-Kondensatoren am Gerätegewicht

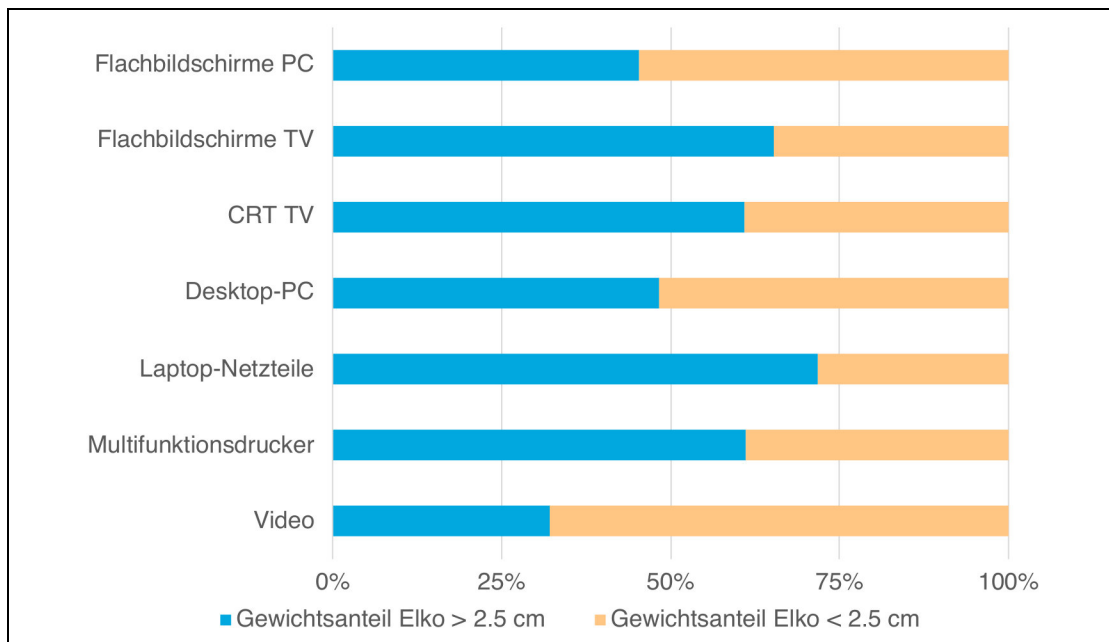
Die Gewichtsanteile der Kondensatoren ergeben sich aus dem Gewicht der gesammelten Kondensatoren einer Gerätekategorie, geteilt durch das Gewicht der Geräte, aus welchen die Kondensatoren stammen. Es ergeben sich die Anteile gemäss Tabelle 57. Die Resultate zeigen, dass der Anteil der Alu-Elkos für die 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 57: 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%

### 7.6.3 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 23 gezeigt.



**Abbildung 23: 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 24 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.

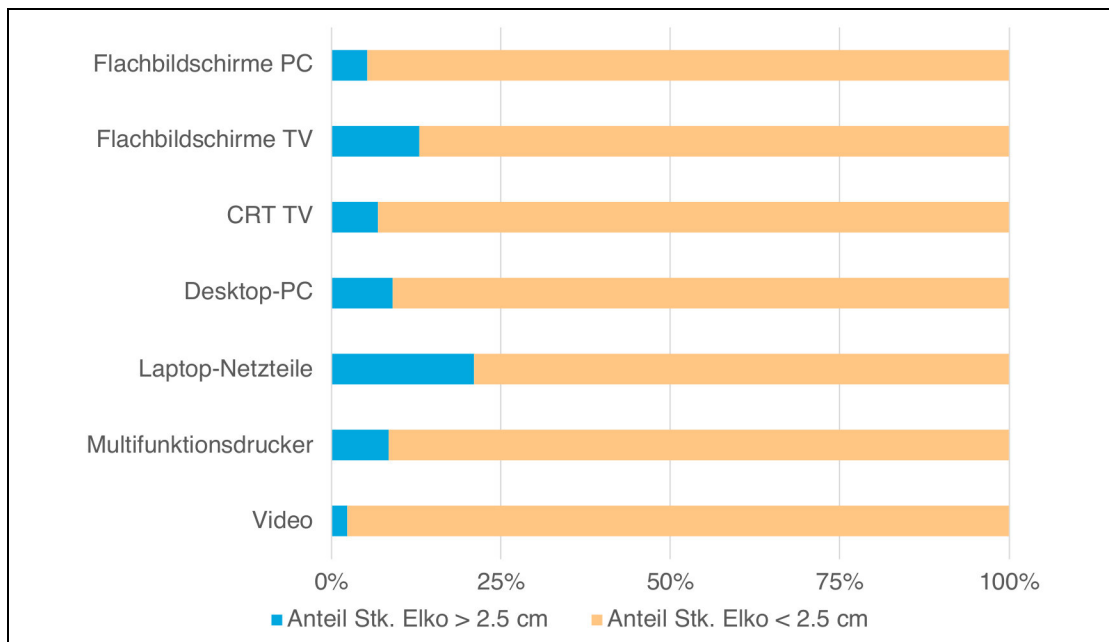


Abbildung 24: Anteile der Elektrolytkondensatoren nach Stückzahlen in den Geräten

## 7.7 Hochrechnungen auf die Jahresmenge Elektroaltgeräte

### 7.7.1 Menge trockener Kondensatoren und solcher mit Flüssigkeiten

Aus den Versuchsdaten zu den Anteilen trockener Kondensatoren, wie in Kapitel 6.4.1 präsentiert, lässt sich mit einer Hochrechnung abschätzen, wie viele der jährlich entfrachteten Kondensatoren trocken sind und wie viele Flüssigkeiten enthalten. Für die Hochrechnung sind einige Annahmen nötig, um Wissenslücken zu füllen. Bekannt ist die Gesamtmenge der jährlich entfrachteten Kondensatoren von rund 200 t aus der Stoffflusserfassung von SENS und Swico (SENS et al., 2018). Die verarbeiteten Gerätemengen sind aus derselben Quelle eruiert. Für die Hochrechnung werden die verarbeiteten Haushaltsgrossgeräte, Kühl-, Klima- und Gefriergeräte, sowie Swico-Geräte verwendet. Die Menge der Mikrowellen ist aus den erfassten Stoffflussdaten nicht feststellbar. 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. Für die Leuchten verwenden wir die Kennzahl aus der Leuchtenstudie (Gasser, 2009) von 4.6 % mittlerem Gewichtsanteil der Kondensatoren an den Leuchten. Damit erhalten wir die Hochrechnung für trockene und mit Flüssigkeiten gefüllte Kondensatoren gemäss Tabelle 58.

**Tabelle 58: Abschätzung der trockenen und mit Flüssigkeiten gefüllten Kondensatoren in der gesamten Jahresmenge der Schweiz**

Gerätekategorie Systeme	Anteil trockene Kondensatoren in Sammlung	Verarbeitete Geräte-menge Schweiz 2017 [t]	Erzeugte Kondensatoren 2017 [t]	Hochrechnung Gesamtmenge trockene Kondensatoren [t/a]	Hochrechnung Gesamtmenge Kondensatoren mit Flüssigkeiten [t/a]
Haushaltgrossgeräte	42 %	29071		28	38
Kühl-, Klima- & Gefriergeräte	31 %	19426		14	30
Leuchten	0 %	21			1
Swico-Geräte	0 %	45982			104
Alle Gerätekategorien		94500	214	41	173

### 7.7.2 Jahresfracht PCB-haltiger und -verdächtiger Kondensatoren

Aus den Anteilen der PCB-haltigen Kondensatoren und den Jahresfrachten der Kondensatoren mit Flüssigkeiten lässt sich eine Jahresfracht PCB-haltiger Kondensatoren abschätzen. Dazu multiplizieren wir die berechneten Jahresmengen flüssiger Kondensatoren mit dem Anteil PCB-haltiger Kondensatoren. Dieses Vorgehen führt zu den Ergebnissen gemäss Tabelle 59.

**Tabelle 59: Abschätzung der Jahresfrachten PCB-haltiger Kondensatoren**

Gerätekategorie Systeme	Gesamtmenge Kond. mit Flüssigkeiten [kg/a]	Gesamtmenge PCB-haltige oder -verdächtige Kond. [kg/a]
Haushaltgrossgeräte	38'000	818
Leuchten	960	722

Es fällt auf, dass die PCB-haltigen Kondensatoren aus Leuchten einen ähnlich grossen Jahresfluss ausmachen wie die Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten.

### 7.7.3 Jahresfracht bedenklicher Stoffe in den Elektroaltgeräten

Für die analytisch festgestellten bedenklichen Stoffe kennen wir die Massenanteile aus den Laboranalysen näherungsweise. Für eine Flussabschätzung wurde der jeweils höchste gefundene Massenanteil in der Mischprobe verwendet. Diese multiplizierten wir mit der Jahresmenge ungepolter Kondensatoren mit Flüssigkeiten oder Elektrolyt-Kondensatoren wie wir sie in Tabelle 58 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. Für den Flüssigkeitsanteil in den Kondensatoren nehmen wir pauschal 10 % des Kondensatorgewichts an. Die Grundlage dafür bilden die Ergebnisse der Totalzerlegung eines Elektrolytkondensators (siehe Tabelle 44). Die Massenanteile der Stoffe aus Elektrolytkondensatoren wurden gegenüber dem Analyseergebnis mit dem Faktor sechs multipliziert, um einen Massenanteil in der Flüssigkeit zu erhalten. Mit dieser Berechnung ergibt sich eine Jah-



resfracht von bedenklichen Stoffen von ca. 500-1000 kg/a. Die Berechnung ist in Tabelle 60 dargestellt. Die Hälfte der berechneten Fracht steuert eine einzelne Substanz aus Mikrowellenkondensatoren bei. Diese Zahl ist wegen der unbekannten Menge von Mikrowellenkondensatoren sehr unsicher. Insgesamt kann die berechnete Fracht nicht genauer sein als die Bestimmung des Massenanteils in der Laboranalyse, die grosse Fehler aufweisen kann. Die hier berechnete Fracht kann also von der realen Fracht bedeutend abweichen.

**Tabelle 60: 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	34
1-Methoxy-2-nitrobenzol / 2-Nitroanisol	91-23-6	Elko	600	6
2-Methylnaphthalin	91-57-6	ungepolte zylindrische	8'000	54
2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl	3075-84-1	Mikrowellen	800'000	544
Benzyltoluole	27776-01-8	ungepolte zylindrische, Mikrowellen	46'000	313
Di-p-tolyl-methan	4957-14-6	Mikrowellen	5'000	34
Phenol	108-95-2	Elko	300	3
Summe				989 ± 50 % oder mehr

Beim Vergleich mit der Jahresfracht der PCB-haltigen Kondensatoren ist zu beachten, dass hier in Tabelle 60 die Menge der Substanzen ausgewiesen wird, in der Tabelle 59 zu den PCB jedoch die Menge der Kondensatoren.

## 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. ± 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 61. 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 61: 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-pyrol (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-1α,4aβ-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 dem Rücklauf von 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 5000 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.

### 8.2 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 im Labor analysiert werden. Dieser bescheidene Umfang ist aus wissenschaftlicher Sicht bedauerlich und dem zur Verfügung stehenden Budget geschuldet. Es konnten lediglich wenige Spurenstoffe identifiziert werden. Die Hauptkomponenten der Mischungen blieben 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 Kondensatorentypen getroffen werden.

### 8.3 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 Haushaltgrossgeräten 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 aus-sortieren, 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 nicht nach Gerätetypen unterscheiden können, aus welchen die Kondensatoren stammen.

### 8.4 Chemisch-analytische Resultate

Die chemisch-analytische Bestimmung der Hauptkomponenten gelang für die Mikrowellenkondensatoren. Aus Kostengründen wurden sowohl für die ungepolten zylindrischen, als auch die Aluminium-Elektrolytkondensatoren Mischproben analysiert. Die Analyseergebnisse für die ungepolten zylindrischen Kondensatoren wurden dadurch überlagert durch ein Kohlenwasserstoffgemisch. Dies machte die Bestimmung der Peaks schwierig. Es bleibt weitgehend unklar, ob die bestimmten Substanzen der Peaks ebenfalls aus technischen Mineralölgemischen stammen oder die Hauptkomponenten aus Flüssigkeiten ohne Mineralölbasis darstellen. Alle bestimmten Massenanteile in den Mischproben liegen unter zwei Prozent.

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.

Die Anzahl der Kondensatoren in den Mischproben liegt zwischen 14 und 33 Stück (Tabelle 12). Eine Hauptkomponente eines einzelnen Modells würde in der Mischprobe einen Anteil von einem bis wenigen Prozent ausmachen. Es ist also möglich, dass die grössten bestimmten Peaks Hauptkomponenten einiger weniger Kondensatoren darstellen. Jedoch dürfte keine einzelne Substanz in mehreren der Kondensatoren in der Mischprobe die Hauptkomponente ausmachen. Letztlich könnten nur weitere Analysen von Einzelproben statt der bisher bestimmten Mischproben Hinweise darauf geben, ob sich die Gemische zwischen den unterschiedlichen Kondensatormodellen unterscheiden und welches die Hauptkomponenten der jeweiligen Gemische sind.

## 8.5 Jahresfracht bedenklicher Stoffe

Alle Flüssigkeiten der analysierten Kondensatorkategorien enthalten bedenkliche Stoffe im Sinne der erarbeiteten Definition. Die festgestellten Massenanteile waren durchwegs gering. Eine Abschätzung der Jahresfracht bedenklicher Stoffe ergibt eine Grössenordnung von 500-1000 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 ist PCB deutlich stabiler in der Umwelt einzuschätzen als die nun gefundenen bedenklichen Stoffe.

## 8.6 Anteil und Jahresfluss PCB-haltiger Kondensatoren

Haushaltsgrossgeräte und Kühlgeräte sind traditionell die wichtigsten Gerätekategorien für die Fracht von PCB-haltigen Kondensatoren. Für die Haushaltsgrossgeräte konnte ein Anteil PCB-haltiger Kondensatoren von 0.5 % ermittelt werden. Zusätzlich dazu verbleibt bei den Haushaltsgrossgeräten 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 Elektrogeräte-Recycling. 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 Haushaltsgrossgeräte. Im Recycling ist das Hauptaugenmerk darauf zu legen, dass die Kondensatoren aus 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. Das Ergebnis sollte nicht zitiert werden. Hingegen sollte der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in SENS-Kleingeräten in einer Folgeuntersuchung genauer bestimmt werden.

## 8.7 Gewichtsbestimmungen 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  $\pm 10$  %. 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.



## 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 62. 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 7.1. 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 62: 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 Weitere Untersuchungen zur Freisetzung und Verteilung bedenklicher Stoffe im Recycling

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.

Eine Entfernung der Kondensatoren in einen unterscheidbaren Strom ist gemäss CENELEC-Norm auch 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?
- Bleiben die bedenklichen Stoffe bei einer Freisetzung erhalten oder werden diese, z.B. durch thermische Einwirkung, zerstört?
- Wie verteilen sich freigesetzte bedenkliche Stoffe auf die Fraktionen und die Umgebungsluft?
- Welche Massnahmen gewährleisten, dass die bedenklichen Stoffe in einen unterscheidbaren und kontrollierten Strom separiert werden?

## 9.3 Abklärung der Stabilität der bedenklichen Stoffe

Unabhängig von den Ergebnissen der anderen empfohlenen Folgeuntersuchungen stellt sich die Frage, welche Entsorgungsprozesse die gefundenen bedenklichen Stoffe zuverlässig zerstören können. Zudem stellt sich die Frage, wie stabil die gefundenen bedenklichen Stoffe in der Umwelt sind.

Zu diesem Zweck sollte die thermische Stabilität der bedenklichen Stoffe vertieft abgeklärt werden. Zudem sollte das Umweltverhalten der Stoffe vertieft beurteilt werden.

## 9.4 Entfernung aller Kondensatoren mit Flüssigkeiten

Ungeachtet der Ergebnisse weiterer Untersuchungen über die Freisetzung und die Verteilung der festgestellten bedenklichen Stoffe im Recycling besteht im Entsorgungsgebot 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 Elektro-

lyt-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. Gemäss dem WEEELabex-Standard (WEEELabex, 2013) sind folgende Kondensatoren aus Elektroaltgeräten zu entfernen:

- polychlorierte Biphenyle (PCB) enthaltende Kondensatoren;
- Kondensatoren, die mineralische oder synthetische Öle enthalten
- Elektrolytkondensatoren, die bedenkliche Stoffe enthalten (Höhe > 25 mm oder Durchmesser > 25 mm oder proportional ähnliches Volumen).

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 23). Wir empfehlen die Berücksichtigung aller Flüssigkeiten aus Kondensatoren und vorerst die Beibehaltung des Grössenkriteriums.

## 9.5 Ad-hoc-Regelung bis zum Vorliegen weiterer Erkenntnisse

Bis die Fragen zur Freisetzung und Verteilung der bedenklichen Stoffe im Recycling geklärt sind, muss eine Übergangsregelung für den Umgang mit PCB-freien Kondensatoren gefunden werden. In der Recycling-Praxis werden sich Kondensatoren mit bedenklichen Stoffen nicht von solchen ohne bedenkliche Stoffe unterscheiden lassen. Wir empfehlen deshalb die Regelung, dass bis auf weiteres alle PCB-freien Kondensatoren über dem bestehenden Grössenkriterium von 2.5 cm aus Elektrogeräten zu entfernen sind.

## 9.6 Beurteilung des PCB-Flusses aus Elektrogeräten

Für Haushaltgrossgeräte und Leuchten wird empfohlen, eine Flussabschätzung für den gesamten PCB-Fluss aus Kondensatoren im Recycling vorzunehmen. Diese

Flussabschätzung erlaubt eine Gesamtschau auf die Bedeutung der PCB-Problematik aus Haushaltgrossgeräten und Kühlgeräten. Der Fluss aus Kondensatoren sollte verglichen werden mit aktuellen Flüssen aus anderen Quellen wie dem Baubereich oder der Hintergrundkonzentration. In Zusammenarbeit mit den beteiligten Behörden sollte die Frage geklärt werden, wie ein Grenzfluss für PCB aus Kondensatoren definiert werden könnte, für den von einer PCB-freien Kondensatoren-Mischung gesprochen werden kann. Mithilfe der Flussabschätzung sollte ebenfalls geprüft werden, ob eine Aufrechterhaltung des Gebots der separaten Verarbeitung von Elektrogeräten ohne Zugabe von Metallschrott notwendig ist (SENS, 2010; Swico, 2016).

## 9.7 Chemische Analyse von Einzelproben

Die Hauptkomponenten konnten für alle Mischproben ausser denjenigen aus Mikrowellenkondensatoren nicht bestimmt werden. Dies könnte daran liegen, dass nur Mischproben analysiert wurden, was naturgemäss zu einer Mischung der Inhaltsstoffe vieler Kondensatoren führt. Die chemisch-analytische Untersuchung von Einzelproben würde zeigen, ob alle Flüssigkeiten in ungepolten zylindrischen Kondensatoren auf Mineralöl basieren. Die Einzelanalyse könnte zudem die Auswertung von mehr Peaks im GCMS ermöglichen. Dadurch bietet sich die Chance, dass auch die Hauptkomponenten bestimmt werden könnten. Da der Erfolg einer solchen Analyse-kampagne ungewiss ist, bietet sich ein schrittweises Vorgehen an. Zunächst sollten die fünf Modelle aus SENS-Haushaltgrossgeräten untersucht werden, die in der Probe am häufigsten vorkamen. Aufgrund der Ergebnisse der Laboranalyse kann dann entschieden werden, ob weitere Laboranalysen sinnvoll wären.

## 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.
- A.-C. Chappot & M. Eugster (Januar 2007) *PCB in Kleinkondensatoren aus elektrischen und elektronischen Geräten*. Zürich: Technische Kontrollstellen SENS und SWICO.
- T. Ebel (8. August 2002) *Patent-Nr.: WO2002061775A1*.
- ECHA (Hrsg.) (20. März 2013) *Justification for the selection of a candidate CoRAP substance - Biphenyl*. Portuguese Environment Agency, PT.
- ECHA (2016a) *C&L Inventory*. Abgerufen von <http://www.echa.europa.eu>
- ECHA (Hrsg.) (2016b) *Registration Dossier - Diisobutyl phthalate*. European chemicals agency. Abgerufen von <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/1354/1>
- 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>
- 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](http://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 Elektronikaltgeräten*. Zürich: Technische Kontrollstellen SENS und SWICO.
- 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 2012/19/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, 2012/19/EU (2012)*.

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*.

D. Gasser (2009) *Pilotzerlegung Fluoreszenz-Leuchten*. Zürich: SENS.

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

B. A. F. in 't Groen (2013) *Polychloorbiphenyls (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](http://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, Schlieren.

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](http://www.mundorf.com/de/?category=hifi&menu=caps_power&content=mlytic)

NIH (2018) *Pubchem open chemistry database*. U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information.

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.

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 (2010) *Technische Richtlinien*. Zürich: SENS Foundation.

SENS & Swico Recycling (Hrsg.) (2012) *Technische Vorschriften zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten*. SENS & Swico Recycling, Zürich.

SENS, Swico Recycling & SLRS (Hrsg.) (2018) *Fachbericht 2018*. SENS, Swico, SLRS, Zürich und Bern.

V. Shedigian (20. August 1985) *Patent-Nr.: US4536331*.

V. Shedigian (2. Oktober 1987) *Patent-Nr.: US 4 642 731*.



Swico (Hrsg.) (24. Mai 2016) *Ergänzende Anforderungen an die Behandlung von Elektro- und Elektronikgeräten in der Schweiz*. Swico Recycling, Zürich.

TDK (Hrsg.) (August 2014) *Material Data Sheet - Diverse Elektrolytkondensatoren*. EPCOS AG.

UN (2011) *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)* (Fourth Revised Edition).

US EPA (2012) *EPI Suite*. United States Environmental Protection Agency.

US EPA (2016) *ECOTOX Knowledgebase*. Abgerufen 23. August 2016, von [https://cfpub.epa.gov/ecotox/quick\\_query.cfm](https://cfpub.epa.gov/ecotox/quick_query.cfm)

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>

## A Charakterisierung bedenklicher Substanzen

### A.1 Einleitung

In den folgenden Unterkapiteln werden die Substanzen genauer charakterisiert, die aufgrund der H-Sätze als bedenkliche Stoffe im Recycling identifiziert wurden. Gelistet sind diejenigen Stoffe, für die weitere Abklärungen insbesondere zur Wasserlöslichkeit nötig wurden. Aufgrund der H-Sätze bedenkliche Stoffe mit CMR-Potential können deshalb in der Aufstellung fehlen. Die Reihenfolge der Substanzen ist dieselbe wie in Tabelle 49 bis Tabelle 52. Insbesondere wurden die verfügbaren Daten zur Wasserlöslichkeit, der biologischen Abbaubarkeit und dem Biokonzentrationsfaktor recherchiert. Mit diesen Angaben kann abgeschätzt werden, ob eine Substanz in der Nahrungskette akkumulieren könnte und daher besondere Massnahmen nötig sind, damit die Substanz nicht in die Umwelt gelangen kann. Die akute Toxizität für Wasserorganismen gibt zudem Hinweise auf Substanzen, die akut derart giftig sind, dass ihr Austreten aus diesem Grund verhindert werden muss.

Für zwei Stoffe konnten im GHS-Inventar keine Klassierungen gefunden werden. Die Suche nach Sicherheitsdatenblättern von Herstellern blieb ebenfalls ergebnislos. Für diese Substanzen recherchierten wir genauere Angaben zum Umweltverhalten. Leider wurden auch keine Messdaten zu den beiden Stoffen gefunden. Als letzte Substanzgruppe werden die umwelttoxischen Eigenschaften der PCB aufgeführt.

### A.2 Bedenkliche Stoffe im Recycling

#### A.2.1 1-Chlornaphthalin

CAS-Nummer: 90-13-1

Synonyme:  $\alpha$ -Chlornaphthalin

Summenformel:  $C_{10}H_7Cl$

Stoffgruppe: aromatische Halogenkohlenwasserstoffe

Wasserlöslichkeit, 25 °C: 17.4 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient  $\log K_{ow}$ : 4.24

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund  $\log K_{ow}$ ): 229 l/kg Masse nass

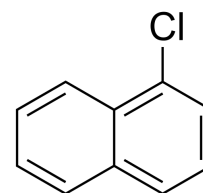
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h: 2.3 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h: 1.6 mg/l

Datenquellen: (IFA, 2016), Wasserlöslichkeit, BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



### A.2.2 1-Methylnaphthalin

CAS-Nummer: 90-12-0

Synonyme:  $\alpha$ -Methylnaphthalin

Summenformel:  $C_{11}H_{10}$

Stoffgruppe: aromatische Kohlenwasserstoffe

Wasserlöslichkeit, 25 °C: 28 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: 3.87

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow):

166 l/kg Masse nass

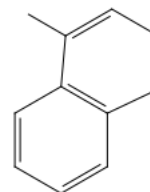
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h: 9 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h: 8.2 mg/l

Datenquellen: (IFA, 2016), BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



### A.2.3 2-Methylnaphthalin

CAS-Nummer: 91-57-6

Summenformel:  $C_{11}H_{10}$

Stoffgruppe: aromatische Kohlenwasserstoffe

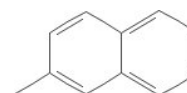
Wasserlöslichkeit, 25 °C: 24.6 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: 3.86

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 164 l/kg Masse nass

Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Datenquellen: (US EPA, 2012)



### A.2.4 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl

CAS-Nummer: 3075-84-1

Synonyme: 2-(2,5-Dimethylphenyl)-1,4-dimethylbenzen

Summenformel:  $C_{16}H_{18}$

Stoffgruppe: Biaryl

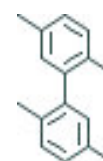
Wasserlöslichkeit, 25 °C:

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow, Schätzung: 5.95

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 3'893 l/kg Masse nass

Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Datenquellen: (NIH, 2018), (US EPA, 2012)



### A.2.5 2,6-Diisopropylnaphthalin

CAS-Nummer: 24157-81-1

techn. Gemisch: Diisopropylnaphthaline (DIPN)

Summenformel:  $C_{16}H_{20}$

Stoffgruppe: aromatische Kohlenwasserstoffe

Wasserlöslichkeit, 25 °C: 0.11 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient  $\log K_{ow}$ , Schätzung: 6.08

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund  $\log K_{ow}$ ): 4'778 l/kg Masse nass

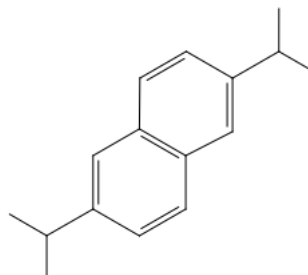
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h: nicht bekannt

LC50 Krustentiere, 48 h: nicht bekannt

Datenquellen: Wikipedia,  $\log K_{ow}$ , BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



### A.2.6 Benzyltoluole

CAS-Nummer: 27776-01-8, p-Benzyltoluol: 620-83-7, m-Benzyltoluol: 620-47-3, o-Benzyltoluol: 713-36-0

Synonyme: Methyldiphenylmethan

Summenformel:  $C_{14}H_{14}$

Stoffgruppe: aromatische Kohlenwasserstoffe

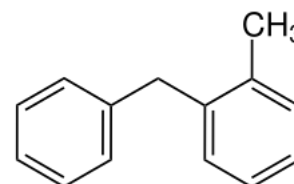
Wasserlöslichkeit, 25 °C: 3 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient  $\log K_{ow}$ : 4.3

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund  $\log K_{ow}$ ): 476 l/kg Masse nass

Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Datenquellen: (IFA, 2016), BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



### A.2.7 Biphenyl

CAS-Nummer: 92-52-4

Synonyme: Diphenyl, Phenylbenzol, 1,1'-Biphenyl

Summenformel:  $C_{12}H_{10}$

Stoffgruppe: aromatische Kohlenwasserstoffe

Wasserlöslichkeit, 25 °C: 4.45 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient  $\log K_{ow}$ : 3.98

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund  $\log K_{ow}$ ): 206 l/kg Masse nass

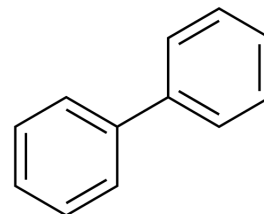
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h, Median: 3.5 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h, Median: 1.16 mg/l

Datenquellen: (IFA, 2016), BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



### A.2.8 Borsäure

CAS-Nummer: 11113-50-1

Synonyme: Orthoborsäure

Summenformel:  $\text{H}_3\text{BO}_3$

Stoffgruppe: Anorganische Säure

Wasserlöslichkeit, 25 °C:

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: 0.757

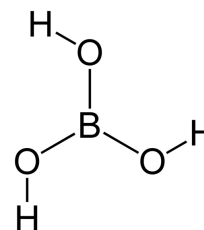
Leicht biologisch abbaubar: Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h, Median: 487 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h, Median: 180 mg/l

Datenquellen: (IFA, 2016)



### A.2.9 Butylhydroxyanisol

CAS-Nummer: 25013-16-5

Synonyme: tert-Butyl-4-methoxyphenol, Isomere, (1,1-Dimethylethyl)-4-methoxyphenol, tert-Butyl-4-hydroxyanisol

Summenformel:  $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{O}_2$

Stoffgruppe: substituierte Phenole

Wasserlöslichkeit, 25 °C: 213 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow (Schätzung): 3.5

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 57.07 l/kg Masse nass

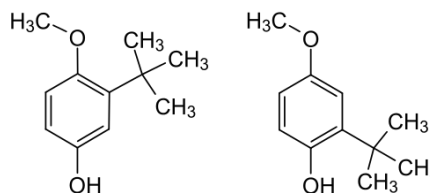
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 48 h, Median: 1 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h: unbekannt

Datenquellen: (IFA, 2016), BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012), LC50 Fisch aus (US EPA, 2016)



### A.2.10 Di-p-tolyl-methan

CAS-Nummer: 4957-14-6

Synonyme: 4,4'-Dimethyldiphenylmethan, Bis-p-tolylmethan

Summenformel:  $\text{C}_{15}\text{H}_{16}$

Stoffgruppe: Diarylalkane

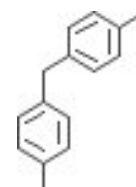
Wasserlöslichkeit, 25 °C: unbekannt

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow (Modellschätzung): 5.11

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 1093 l/kg Masse nass

Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Datenquellen: (US EPA, 2012)



### A.2.11 Dibutylphthalat

CAS-Nummer: 84-74-2

Synonyme: Phthalsäuredibutylester, DBP

Summenformel:  $C_{16}H_{22}O_4$

Stoffgruppe: Carbonsäureester

Wasserlöslichkeit, 25 °C: 11.2 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: 4.5

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 433 l/kg Masse nass

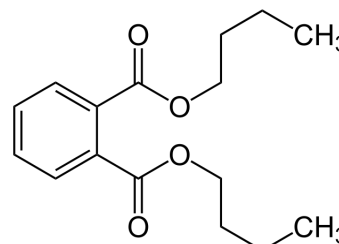
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h, Median: 1.51 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h, Median: 3.7 mg/l

Datenquellen: (IFA, 2016), log Kow, BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



### A.2.12 Diisobutylphthalat

CAS-Nummer: 84-69-5

Synonyme: Phthalsäurediisobutylester

Summenformel:  $C_{16}H_{22}O_4$

Stoffgruppe: Carbonsäureester

Wasserlöslichkeit, 20 °C: 20 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: 4.11

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 239.2 l/kg Masse nass

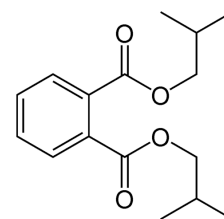
Leicht biologisch abbaubar: Ja

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 48 h, Median: 0.9 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h: unbekannt

Datenquellen: (IFA, 2016), BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012), Abbaubarkeit aus (ECHA, 2016b)



### A.2.13 Dimethylacetamid

CAS-Nummer: 127-19-5

Synonyme: N,N-Dimethylacetamid, N,N-Dimethylmethanamid, Essigsäuredimethylamid, Acetyldimethylamin

Summenformel:  $C_4H_9NO$

Stoffgruppe: Carbonsäureamide

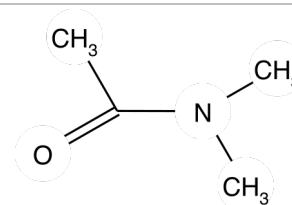
Wasserlöslichkeit: mischbar

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: -0.77

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 3 l/kg Masse nass

Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Ökotoxikologische Daten:





LC50 Fisch, 24 h: 1'000 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h: unbekannt

Datenquellen: (IFA, 2016), BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012), LC50 Fisch aus (US EPA, 2016)

#### A.2.14 Dimethylformamid

CAS-Nummer: 68-12-2

Synonyme: N,N-Dimethylformamid, N,N-Dimethylmethanamid, Ameisensäuredimethylamid, Formyldimethylamin

Summenformel:  $C_3H_7NO$

Stoffgruppe: Carbonsäureamide

Wasserlöslichkeit, 25 °C: vollständig mischbar

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: -1.01

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 3 l/kg Masse nass

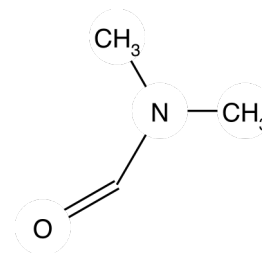
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h, Median: 10'500 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h, Median: 14'400 mg/l

Datenquellen: (IFA, 2016), BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



#### A.2.15 N-Methylpyrrolidon

CAS-Nummer: 872-50-4

Summenformel:  $C_5H_9NO$

Stoffgruppe: Lactame

Wasserlöslichkeit, 25 °C: mischbar

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: -0.38

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 3.162 l/kg Masse nass

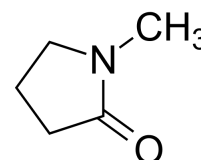
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h: 832 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h: 1.23 mg/l

Datenquellen: (IFA, 2016), log Kow, BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012), LC50 Fisch aus (US EPA, 2016)



#### A.2.16 Naphthalin

CAS-Nummer: 91-20-3

Synonyme: Naphthalen

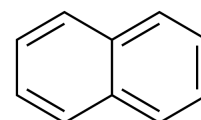
Summenformel:  $C_{10}H_8$

Stoffgruppe: Aromatischer, polyzyklischer Kohlenwasserstoff

Wasserlöslichkeit, 25 °C: 32 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: 3.35

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 69.9 l/kg Masse nass



Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h, Median: 1.99 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h, Median: 11.8 mg/l

Datenquellen: (IFA, 2016), BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)

### A.2.17 Polychlorierte Biphenyle

CAS-Nummer: 1336-36-3

Summenformel:  $C_{12}H_{(10n)}Cl_n$ ,  $n > 2$

Stoffgruppe: chlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe

Wasserlöslichkeit, 25 °C: < 0.4 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: 6.3

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 25'300 l/kg Masse nass

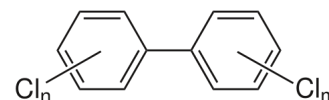
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h: unbekannt

LC50 Krustentiere, 48 h: unbekannt

Datenquellen: (IFA, 2016), log Kow, BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



## A.3 Möglicherweise bedenkliche Stoffe im Recycling

### A.3.1 Diisodecylphthalat

CAS-Nummer: 26761-40-0

Synonyme: Phthalsäurediisodecylester

Summenformel:  $C_{28}H_{46}O_4$

Stoffgruppe: Carbonsäureester

Wasserlöslichkeit, 24 °C: 0.28 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow (Schätzung): 10.4

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 76 l/kg Masse nass

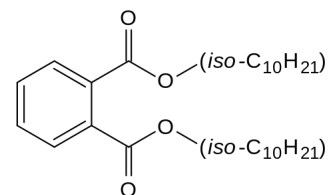
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Nein

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h, Median: 1 mg/l

LC50 Krustentiere, 48 h, Median: unbekannt

Datenquellen: (IFA, 2016), log Kow, BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012), LC50 Fisch aus (US EPA, 2016)



### A.3.2 Diisononylphthalat

CAS-Nummer: 68515-48-0

Summenformel:  $C_{28}H_{46}O_4$

Stoffgruppe: Carbonsäureester

Wasserlöslichkeit, 25 °C: unbekannt

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient  $\log K_{ow}$  (Schätzung): 9.5

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund  $\log K_{ow}$ ): 196 l/kg Masse nass

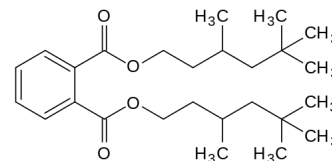
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h, Median: unbekannt

LC50 Krustentiere, 48 h, Median: unbekannt

Datenquellen:  $\log K_{ow}$ , BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



## A.4 Unbedenkliche Stoffe im Recycling

### A.4.1 1-Decen

CAS-Nummer: 872-05-9

Summenformel:  $C_{10}H_{20}$

Stoffgruppe: Ungesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe

Wasserlöslichkeit, 25 °C: 0.57 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient  $\log K_{ow}$ : 5.7

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund  $\log K_{ow}$ ): 113 l/kg Masse nass

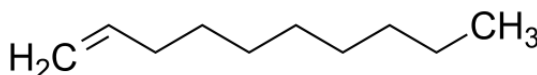
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h: unbekannt

LC50 Krustentiere, 48 h: unbekannt

Datenquellen: (IFA, 2016), Wasserlöslichkeit,  $\log K_{ow}$ , BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



### A.4.2 1-Dodecen

CAS-Nummer: 112-41-4

Summenformel:  $C_{12}H_{24}$

Stoffgruppe: Ungesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe

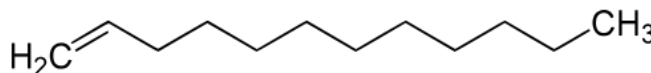
Wasserlöslichkeit, 25 °C: praktisch unlöslich

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient  $\log K_{ow}$  (Schätzung): 6.1

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund  $\log K_{ow}$ ): 207 l/kg Masse nass

Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Ökotoxikologische Daten:



LC50 Fisch, 96 h: unbekannt

LC50 Krustentiere, 48 h: unbekannt

Datenquellen: (IFA, 2016), log Kow, BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)

#### A.4.3 1-Tetradecen

CAS-Nummer: 1120-36-1

Summenformel:  $C_{14}H_{28}$

Stoffgruppe: Ungesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe

Wasserlöslichkeit, 25 °C: praktisch unlöslich

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow (Schätzung): 7.08

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 3077 l/kg Masse nass

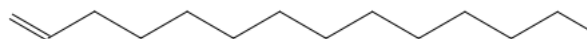
Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Ökotoxikologische Daten:

LC50 Fisch, 96 h: unbekannt

LC50 Krustentiere, 48 h: unbekannt

Datenquellen: log Kow, BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



#### A.4.4 Benzoesäure

CAS-Nummer: 65-85-0

Summenformel:  $C_7H_6O_2$

Stoffgruppe: Carbonsäuren

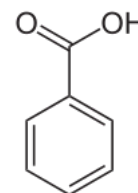
Wasserlöslichkeit, 20 °C: 3400 mg/l

Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient log Kow: 1.87

Biokonzentrations-Faktor BCF (Schätzung aufgrund log Kow): 3 l/kg Masse nass

Leicht biologisch abbaubar (Modellschätzung): Ja

Datenquellen: log Kow, BCF und biologische Abbaubarkeit aus (US EPA, 2012)



## 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 6.1.

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 63 aufgeführt.

**Tabelle 63: 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

Chemische Bezeichnung	Kurzzeichen	CAS-Nr.	Bedenklich im Recycling
Diphenylmethan		101-81-5	Ja
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 64 sind alle Substanzen aufgeführt, die gemäss Literaturrecherche in Aluminium-Elkos vorkommen können.

**Tabelle 64: 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



Chemische Bezeichnung	Kurzzeichen	CAS-Nr.	Bedenklich im Recycling
3,4,5-Trihydroxybenzoesäure		149-91-7	Nein
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
$\gamma$ -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 65 führt alle Substanzen auf, die gemäss Literaturrecherche in Mikrowellenkondensatoren verwendet werden.

**Tabelle 65: 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
Trioctyltrimellitat		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 Kondensatorentyp 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 66 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 66 angewendet:

1. Die Quellenlage ist gut hinsichtlich der Verwendung der Substanz in Kleinkondensatoren.
  2. Die Substanz ist bedenklich im Recycling gemäss der eingeführten Klassierung.
- Es genügt, wenn eine Substanz eines der beiden Kriterien erfüllt.

**Tabelle 66: 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 zur Analyse**

---

### **C.1 Probenbezeichnungen, Resultate PCB- und Elementaranalysen**

---

Schlieren, 09. Juli 2018  
EABüro für Umweltchemie  
Schaffhauserstrasse 21  
8006 Zürich

# Untersuchungsbericht

(inkl. Daten von früheren Aufträgen)

## Objekt: Kondensatoren-Analyse

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

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

Freundliche Grüsse  
BACHEMA AGOlaf 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 <b>1 KG</b>	/ 24.04.18
15908	F	201803937 <b>2 LCD</b>	/ 24.04.18
15909	F	201803937 <b>2 LCD</b> (Rückstellprobe)	/ 24.04.18
20919	F	201803937 <b>3.1 MW</b>	/ 24.05.18
20920	F	201803937 <b>3.2 MW</b>	/ 24.05.18
20921	F	201803937 <b>5.1 HKG</b>	/ 24.05.18
22933	F	201803937 <b>6 HHG</b>	/ 05.06.18
25044	F	201805939 <b>5.2a HKG</b>	/ 19.06.18
25048	F	201805939 <b>5.2b HKG</b> (Rückstellprobe)	/ 19.06.18
25050	F	201805939 <b>7a Netz</b>	/ 19.06.18
25054	F	201805939 <b>7b Netz</b> (Rückstellprobe)	/ 19.06.18
15910	W	201803937 <b>Eluat aus 2 LCD</b>	/ 24.04.18
25049	W	201805939 <b>Eluat aus 5.2b HKG</b>	/ 27.06.18
25055	W	201805939 <b>Eluat aus 7b Netz</b>	/ 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 <a href="http://www.bachema.ch">www.bachema.ch</a>).</p>
---	---

**Objekt:****Kondensatoren-Analyse**

Auftraggeber:

Büro für Umweltchemie

Auftrags-Nr. Bachema:

201805939

**Probenbezeichnung**

Proben-Nr. Bachema

Tag der Probenahme

**1 KG**

15907

**2 LCD**

15908

**3.1 MW**

20919

**3.2 MW**

20920

**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		
<b>PCB Summe (gemäss ChemRRV)</b>	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		
---	-----------	-----------	-----------	-----------	--	--

**Probenbezeichnung**

Proben-Nr. Bachema

Tag der Probenahme

**5.1 HKG**

20921

**5.2a HKG**

25044

**6 HHG**

22933

**7a Netz**

25050

**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			
<b>PCB Summe (gemäss ChemRRV)</b>	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		
---	-----------	-----------	-----------	-----------	--	--

Bachema AG  
Rütistrasse 22  
CH-8952 SchlierenTelefon  
+41 44 738 39 00Telefax  
+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



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

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

Schlieren, 11. Juni 2018

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

**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 Analyseergebnisse 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-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

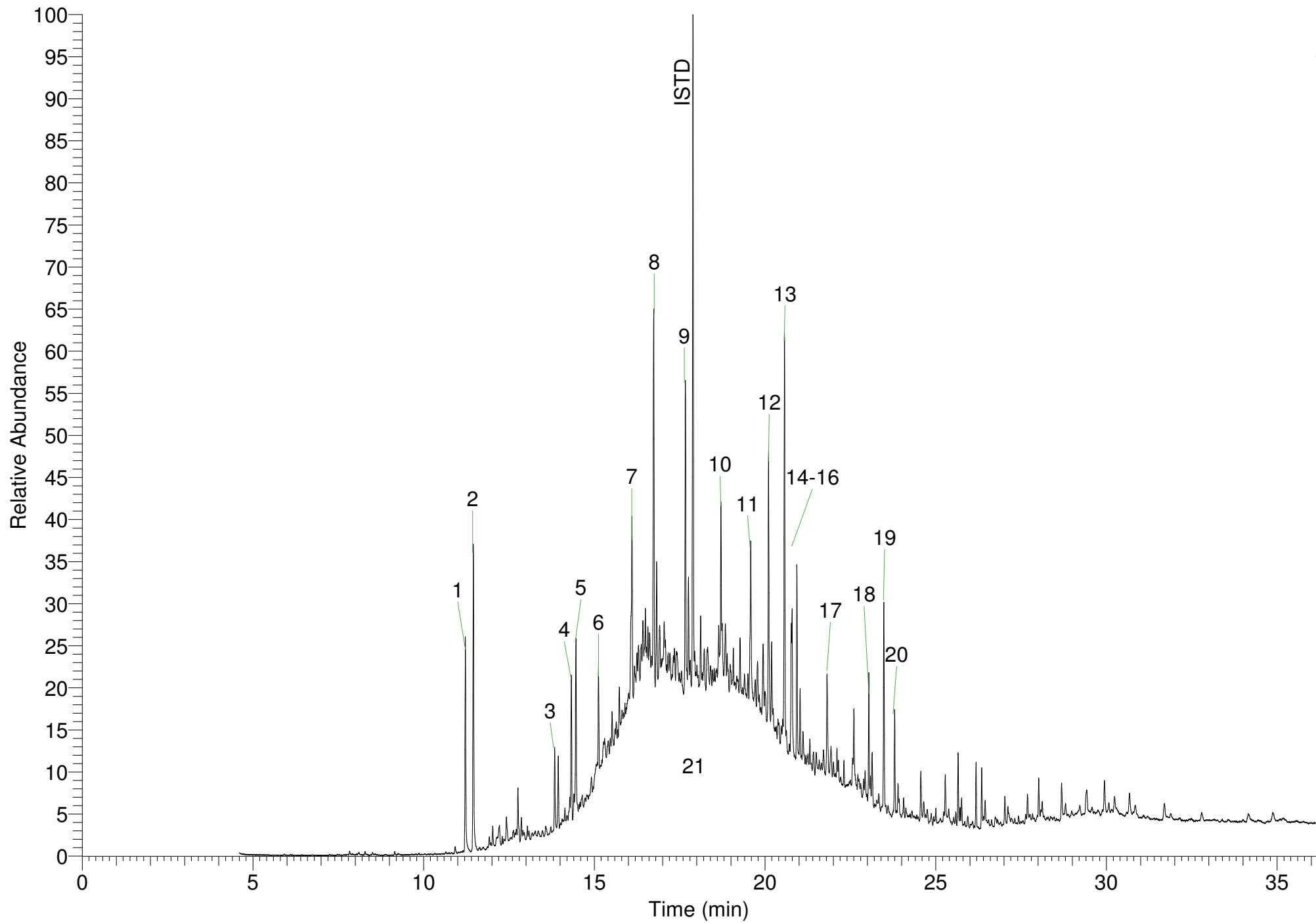
Telefon  
+41 44 738 39 00  
Telefax  
+41 44 738 39 90  
info@bachema.ch  
www.bachema.ch

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



RT: 0.00 - 36.12

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: 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	111-46-6	Diethylen glycol	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	Diethylen glycol-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-Dibromoundekan	93	interner Standard	300
13		unbekannte Verbindung			50
14		unbekannte Verbindung			80
15		unbekannte Verbindung			50
16		unbekannte Verbindung			30

**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.

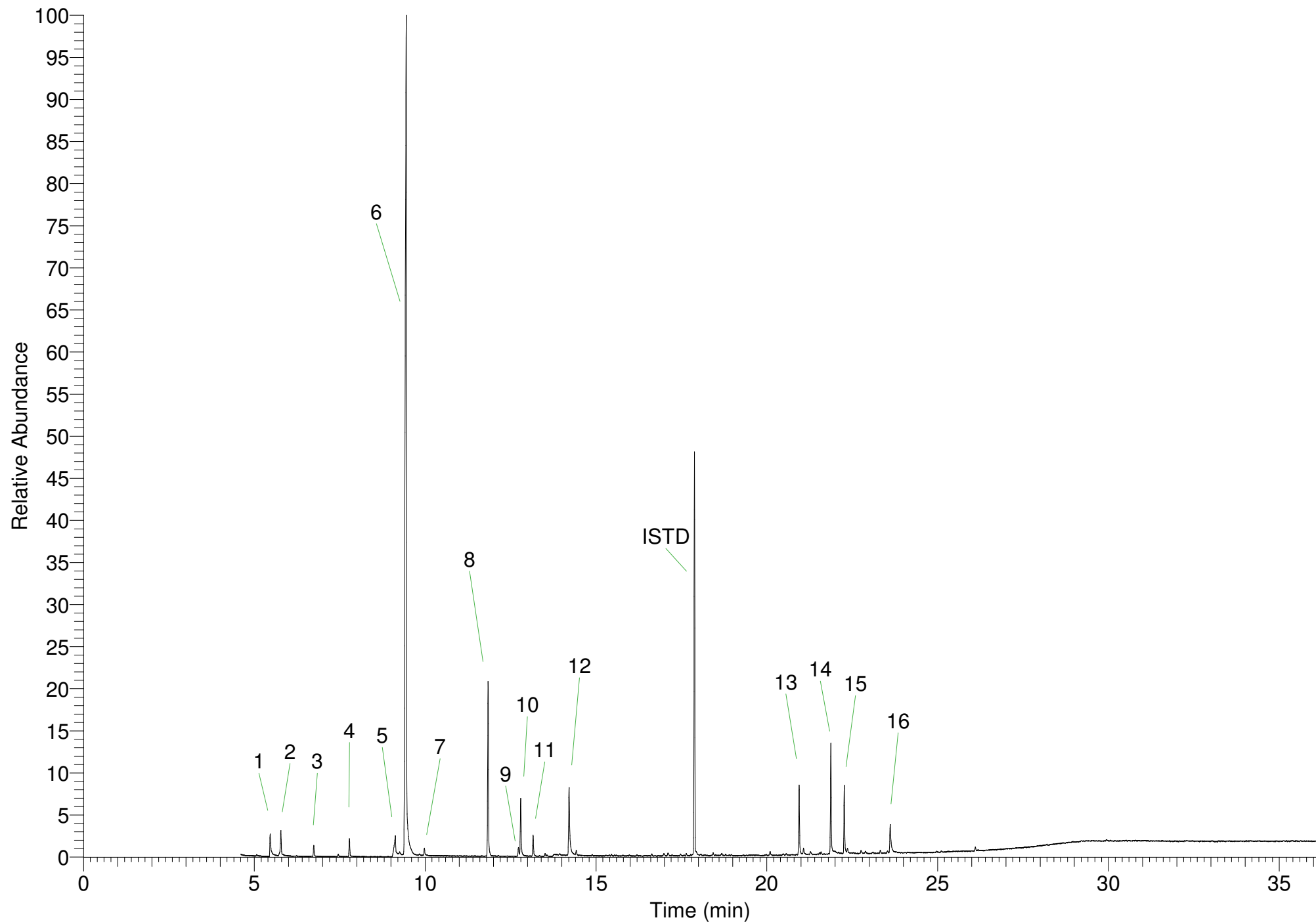
Bachema AG  
Rütistrasse 22  
CH-8952 Schlieren

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

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 H<sub>2</sub>O & 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 Summenformelvorschläge mit maximal C50 H100 N10 O10 S5 P5

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**Positiver Ionisationsmodus - grösste 10 Peaks von insgesamt 370 gefundenen Peaks**

Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung)	Name	gemessene Masse	RT [min]	Intensität	automatisierte Summenformel- vorschläge	Güte der Summenformel- vorschläge 0 (gering) bis 100 (hoch)	Kommentar
P001	215.1281 / 9.19	215.1281	9.19	1942223	C11H18O4	83	Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT
P002	229.1436 / 10.38	229.1436	10.38	1842718	C12H20O4	81	
P003	297.1676 / 12.85	297.1676	12.86	1345319	C12H20N6O3	90	Gruppe aus 7 Peaks mit gleicher RT
P004	273.1698 / 10.32	273.1698	10.32	823143	C14H24O5	77	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT
P005	259.1546 / 9.19	259.1547	9.19	758706	C13H22O5	77	Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT
P006	313.1624 / 10.32	313.1624	10.32	723332	C12H20N6O4	76	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT
P007	269.1361 / 10.39	269.1361	10.39	712040	C10H16N6O3	80	ist evtl mit P002 verknüpft
P008	185.1149 / 8.65	185.1149	8.65	648383	C6H12N6O	45	
P009	257.1747 / 12.86	257.1747	12.86	611238	C14H24O4	80	Gruppe aus 7 Peaks mit gleicher RT
P010	299.1465 / 9.19	299.1465	9.19	609502	C11H18N6O4	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- vorschläge	Güte der Summenformel- vorschläge 0 (gering) bis 100 (hoch)	Kommentar
N001	229.1434 / 12.98	229.143	12.98	1226340	C12H22O4	92	
N002	273.1703 / 12.80	273.170	12.80	1049252	C14H26O5	85	
N003	245.1384 / 10.34	245.138	10.34	926539	C12H22O5	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 H<sub>2</sub>O & 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]<sup>+</sup> und im negativen Ionisationsmodus mittels [M-H]<sup>-</sup>  
 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		Ja	C3H7NO	nicht gefunden			
N-Methylformamid	123-39-7	Amide		Ja	C2H5NO	nicht gefunden			
Triethylamin	121-44-8	Amine	Al-Elko	Nein	C6H15N	[M+H] <sup>+</sup>	5.1	2573	in Spuren, Identität nicht bestätigt
Diethylamin	109-89-7	Amine		Nein	C4H11N	[M+H] <sup>+</sup>	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] <sup>-</sup>	5.9	1168	in Spuren, Identität nicht bestätigt
Polyethylenglycol	25322-68-3	Glycole	Al-Elko	Nein	C2H4O (Monomer)	[M+H] <sup>+</sup>	8.7	231095	wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls
Polyethylenglycol-2					C4H10O3	[M+H] <sup>+</sup>	8.7	359270	wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls
Polyethylenglycol-3					C6H14O4	[M+H] <sup>+</sup>	5.2	1534	
Polyethylenglycol-4					C8H18O5	[M+H] <sup>+</sup>	6.0	13196	
Polyethylenglycol-5					C10H22O6	[M+H] <sup>+</sup>	6.5	81890	
Polyethylenglycol-6					C12H26O7	[M+H] <sup>+</sup>	6.8	142243	
Polyethylenglycol-7					C14H30O8	[M+H] <sup>+</sup>	7.1	217672	
Polyethylenglycol-8					C16H34O9	[M+H] <sup>+</sup>	7.3	202481	
Polyethylenglycol-9					C18H38O10	[M+H] <sup>+</sup>	7.5	201982	
Polyethylenglycol-10					C20H42O11	[M+H] <sup>+</sup>	7.7	186892	
Polyethylenglycol-11					C22H46O12	[M+H] <sup>+</sup>	7.9	190260	
Polyethylenglycol-12					C24H50O13	[M+H] <sup>+</sup>	8.1	197265	
Polyethylenglycol-13					C26H54O14	[M+H] <sup>+</sup>	8.2	221065	
Polyethylenglycol-14					C28H58O15	[M+H] <sup>+</sup>	8.4	231100	
Polyethylenglycol-15					C30H62O16	[M+H] <sup>+</sup>	8.5	212306	
Polyethylenglycol-16					C32H66O17	[M+H] <sup>+</sup>	8.7	164684	
Polyethylenglycol-17					C34H70O18	[M+H] <sup>+</sup>	8.9	160690	
Polyethylenglycol-18					C36H74O19	[M+H] <sup>+</sup>	9.0	96634	
Polyethylenglycol-19					C38H78O20	[M+H] <sup>+</sup>	9.2	55988	
Polyethylenglycol-20					C40H82O21	[M+H] <sup>+</sup>	9.3	40309	
Polyethylenglycol-21					C42H86O22	[M+H] <sup>+</sup>	9.5	24537	
Polyethylenglycol-22					C44H90O23	[M+H] <sup>+</sup>	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: 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	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.

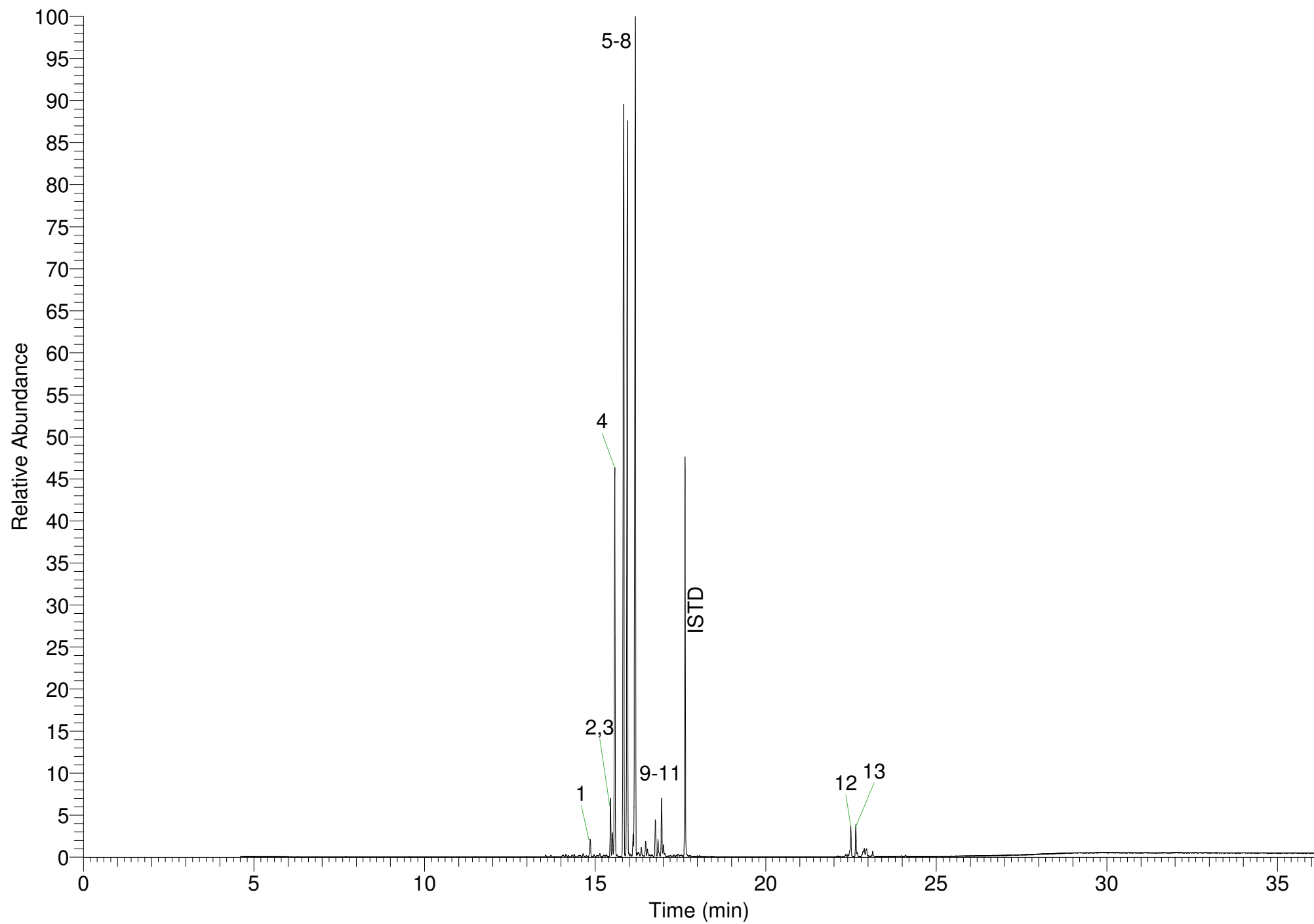
Bachema AG  
Rütistrasse 22  
CH-8952 Schlieren

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:  
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.

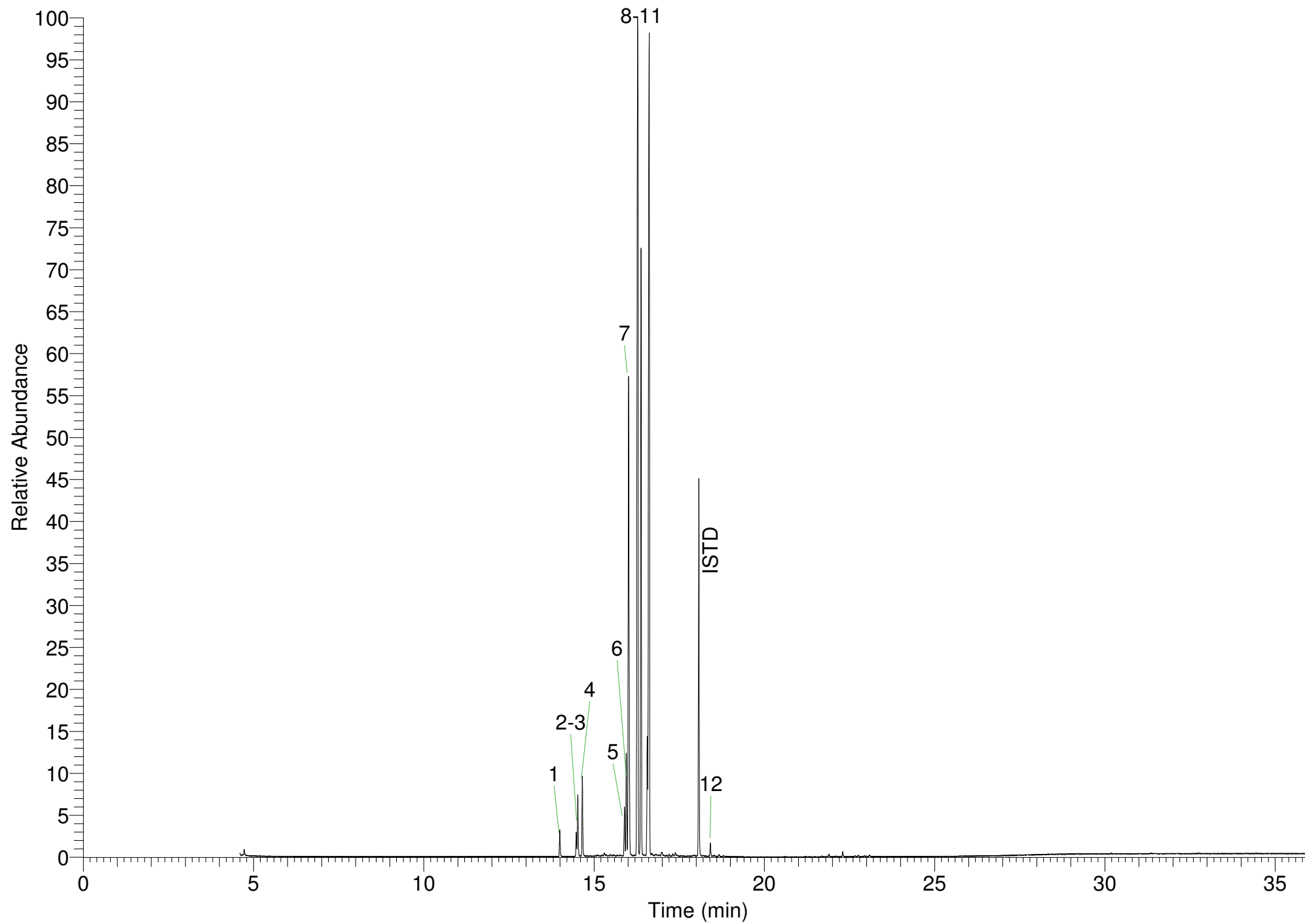
Bachema AG  
Rütistrasse 22  
CH-8952 Schlieren

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: 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-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.

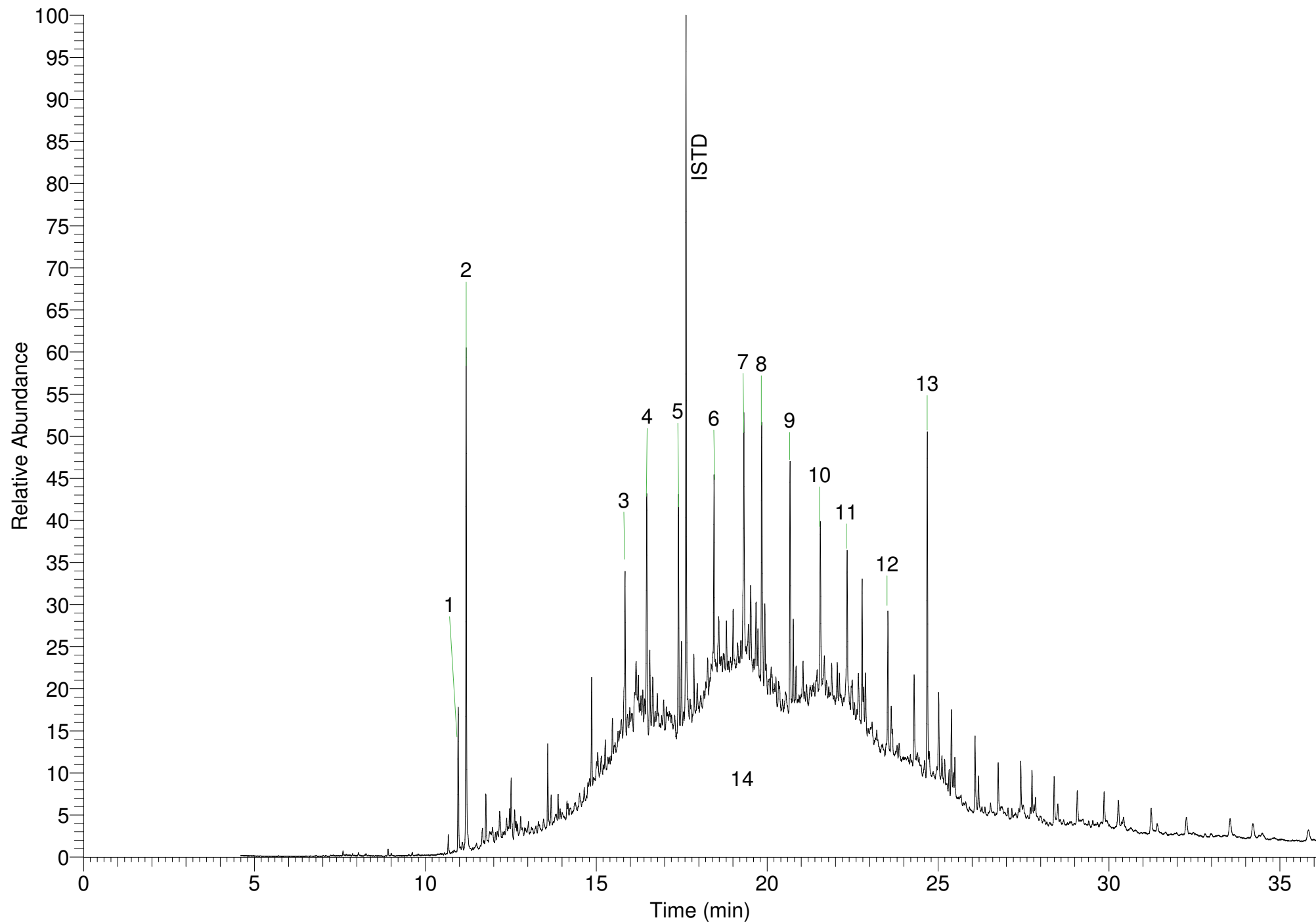
Bachema AG  
Rütistrasse 22  
CH-8952 Schlieren

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

NL:  
2.88E8  
TIC MS  
1820921c

RT: 0.00 - 36.08



### 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.

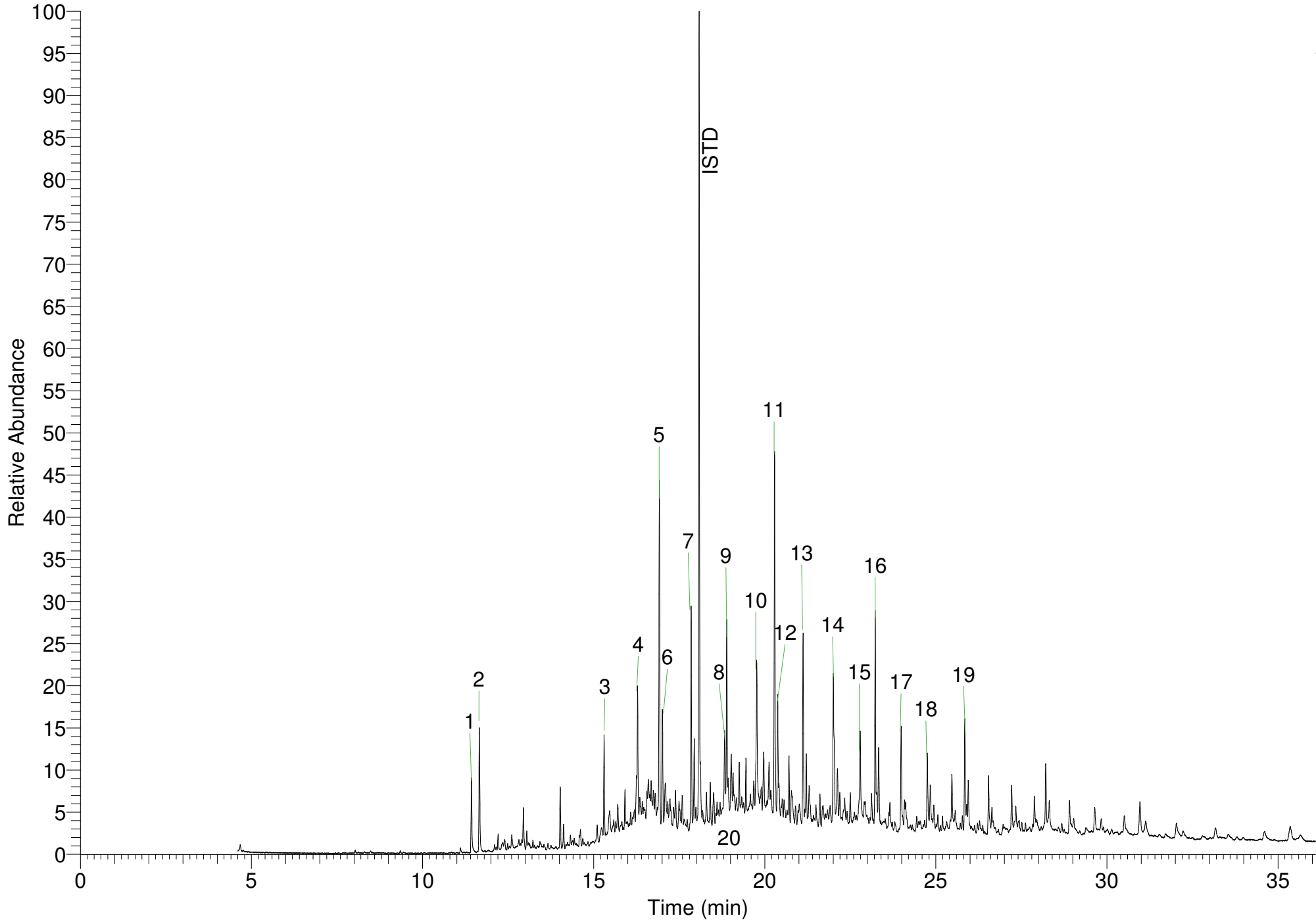
Bachema AG  
 Rütistrasse 22  
 CH-8952 Schlieren

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

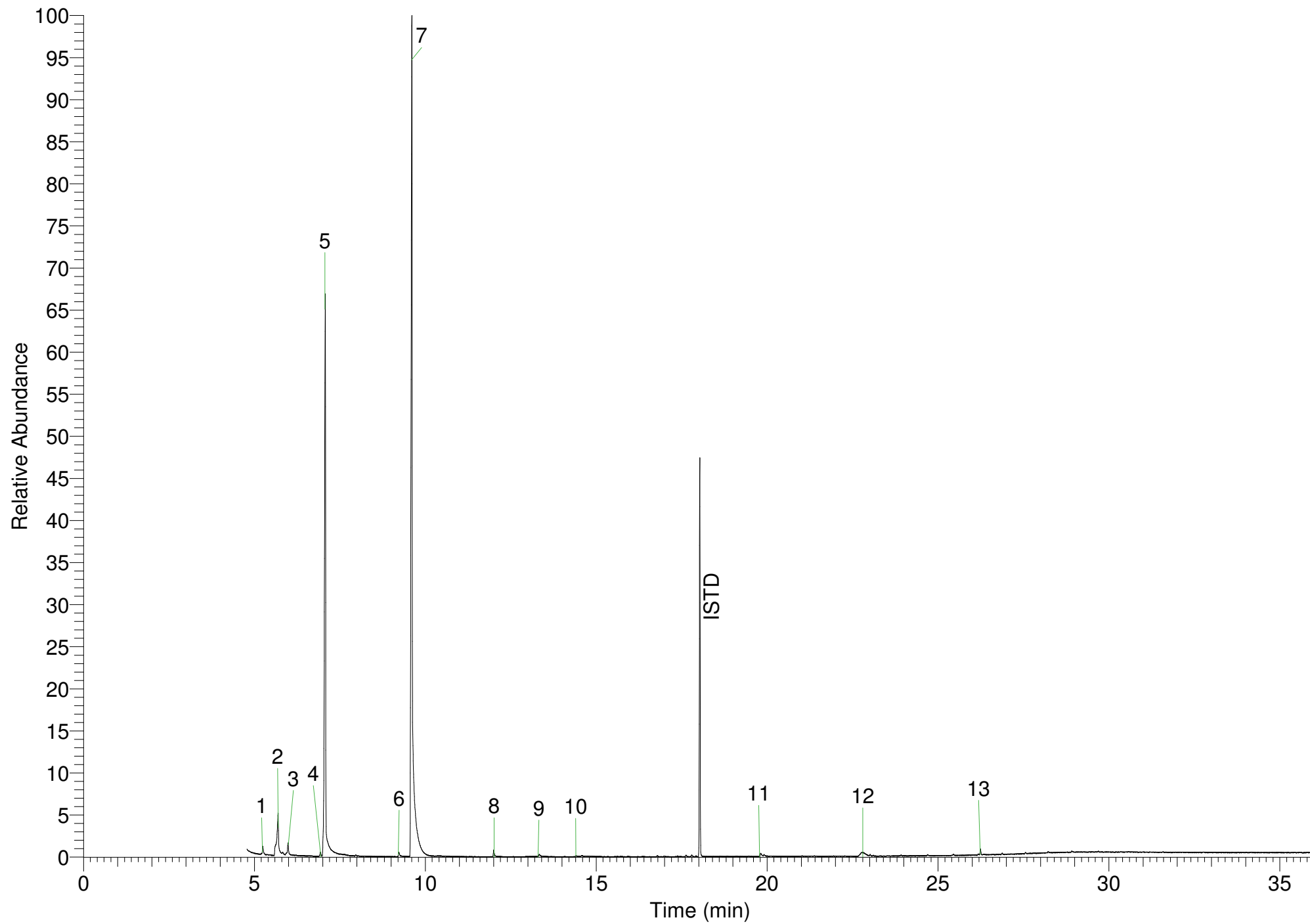
Telefon  
 +41 44 738 39 00  
 Telefax  
 +41 44 738 39 90  
 info@bachema.ch  
 www.bachema.ch

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



NL:  
4.28E8  
TIC MS  
1825044d

RT: 0.00 - 36.08



**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 H<sub>2</sub>O & 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 Summenformelvorschläge mit maximal C<sub>50</sub> H<sub>100</sub> N<sub>10</sub> O<sub>10</sub> S<sub>5</sub> P<sub>5</sub> Cl<sub>5</sub> Br<sub>5</sub>

### Positiver Ionisationsmodus - grösste 10 Peaks von insgesamt 454 gefundenen Peaks

Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung)	Name	gemessene Masse	RT [min]	Intensität	automatisierte Summenformel- vorschläge	Güte der Summenformel- vorschläge 0 (gering) bis 100 (hoch)	Kommentar
P001	88.0756 / 5.56	88.076	5.56	2468671	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> NO	46	Wahrscheinlich Dimethylacetamid (siehe Suspectscreening)
P002	229.1433 / 10.28	229.143	10.28	2205605	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>4</sub>	59	Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT
P003	215.1279 / 9.14	215.128	9.14	1094760	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub>	57	
P004	273.1697 / 10.20	273.170	10.20	997374	C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> O <sub>5</sub>	67	Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT
P005	273.1696 / 10.76	273.170	10.76	986242	C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> O <sub>5</sub>	89	Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT
P006	357.1882 / 10.63	357.188	10.63	724294	C <sub>14</sub> H <sub>36</sub> N <sub>2</sub> P <sub>4</sub>	40	Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT
P007	313.1622 / 10.20	313.162	10.20	640152	C <sub>10</sub> H <sub>25</sub> N <sub>4</sub> O <sub>5</sub> P	63	Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT
P008	297.1665 / 12.69	297.166	12.69	634099	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> N <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	61	Gruppe aus 6 Peaks mit gleicher RT
P009	74.0602 / 4.24	74.060	4.24	560618	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO	60	Wahrscheinlich Dimethylformamid (siehe Suspectscreening)
P010	257.1735 / 12.81	257.173	12.81	547152	C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> O <sub>4</sub>	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- vorschläge	Güte der Summenformel- vorschläge 0 (gering) bis 100 (hoch)	Kommentar
N001	227.9912 / 9.52	227.991	9.52	2991620	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	44	
N002	229.1462 / 12.85	229.146	12.85	1749124	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	65	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT
N003	273.1733 / 12.64	273.173	12.64	1010618	C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O <sub>5</sub>	76	Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT

Bachema AG  
Analytische Laboratorien

**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 H<sub>2</sub>O & 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]<sup>+</sup> und im negativen Ionisationsmodus mittels [M-H]<sup>-</sup>  
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] <sup>+</sup>	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] <sup>+</sup>	5.6	2471983	Identität nicht bestätigt, aber aufgrund ähnlicher MSMS-Fragmente wie Dimethylformamid wahrscheinlich
N-Methylacetamid	79-16-3	Amide		Ja	C3H7NO	[M+H] <sup>+</sup>	4.5	559475	isobar zu Dimethylformamid, Identität nicht bestätigt, Peak ist eher Dimethylformamid
N-Methylformamid	123-39-7	Amide		Ja	C2H5NO	nicht gefunden			
Triethylamin	121-44-8	Amine	Al-Elko	Nein	C6H15N	[M+H] <sup>+</sup>	5	289843	Identität nicht bestätigt, aber wahrscheinlich
Diethylamin	109-89-7	Amine		Nein	C4H11N	[M+H] <sup>+</sup>	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] <sup>+</sup> & [M-H] <sup>-</sup>	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] <sup>-</sup>	5.9 + 7.1	835	in Spuren, Identität nicht bestätigt
Polyethylenglycol	25322-68-3	Glycole	Al-Elko	Nein	C2H4O (Monomer)	[M+H] <sup>+</sup>	8.6	65314	wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls
Polyethylenglycol-2					C4H10O3	[M+H] <sup>+</sup>	8.6	103876	wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls
Polyethylenglycol-3					C6H14O4	[M+H] <sup>+</sup>	6.4	1745	
Polyethylenglycol-4					C8H18O5	[M+H] <sup>+</sup>	6.0	40047	
Polyethylenglycol-5					C10H22O6	[M+H] <sup>+</sup>	6.4	298228	
Polyethylenglycol-6					C12H26O7	[M+H] <sup>+</sup>	6.8	223925	
Polyethylenglycol-7					C14H30O8	[M+H] <sup>+</sup>	7.0	97324	
Polyethylenglycol-8					C16H34O9	[M+H] <sup>+</sup>	7.3 + 8.7	22495	Intensität von grösserem Peak (RT 7.3)
Polyethylenglycol-9					C18H38O10	[M+H] <sup>+</sup>	7.5 + 9.0	12467	Intensität von grösserem Peak (RT 7.5)
Polyethylenglycol-10					C20H42O11	[M+H] <sup>+</sup>	7.7 + 9.3	16890	Intensität von grösserem Peak (RT 9.3)
Polyethylenglycol-11					C22H46O12	[M+H] <sup>+</sup>	7.8 + 9.6	17552	Intensität von grösserem Peak (RT 9.6)
Polyethylenglycol-12					C24H50O13	[M+H] <sup>+</sup>	8.0 + 9.9	15112	Intensität von grösserem Peak (RT 9.9)
Polyethylenglycol-13					C26H54O14	[M+H] <sup>+</sup>	8.2 + 10.2	12187	Intensität von grösserem Peak (RT 10.2)
Polyethylenglycol-14					C28H58O15	[M+H] <sup>+</sup>	8.4 + 10.5	6150	Intensität von grösserem Peak (RT 10.5)
Polyethylenglycol-15					C30H62O16	[M+H] <sup>+</sup>	8.5	4133	
Polyethylenglycol-16					C32H66O17	[M+H] <sup>+</sup>	8.7	3592	
Polyethylenglycol-17					C34H70O18	[M+H] <sup>+</sup>	8.8	2360	
Polyethylenglycol-18					C36H74O19	[M+H] <sup>+</sup>	9.0	1823	
Polyethylenglycol-19					C38H78O20	[M+H] <sup>+</sup>	9.2	1512	
Polyethylenglycol-20					C40H82O21	[M+H] <sup>+</sup>	9.3	757	
Polyethylenglycol-21					C42H86O22	[M+H] <sup>+</sup>	9.5	466	
Polyethylenglycol-22					C44H90O23	[M+H] <sup>+</sup>	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: 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	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-tolylbutane-1,4-dione	72		10
19		unbekannte Verbindung		vermutlich eine sauerstoffhaltige, aromatische Verbindung	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.

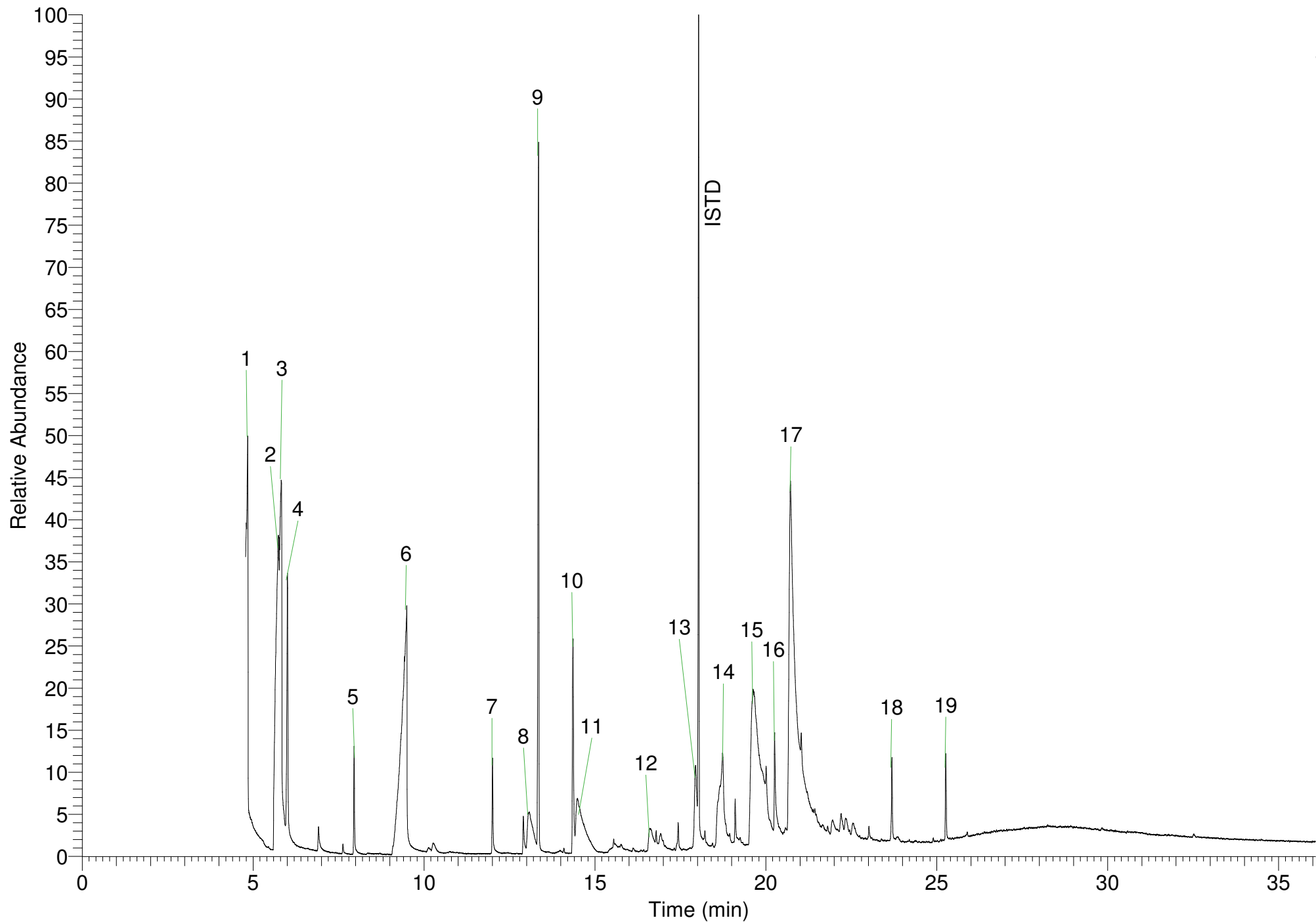
Bachema AG  
 Rütistrasse 22  
 CH-8952 Schlieren

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:  
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:** 25055

**Probenbezeichnung:** Eluat aus 25054 ("7b Netz")

**Prüfmethode:** LC: Waters Atlantis dc18 RP-Säule, Eluenten H<sub>2</sub>O & 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 Summenformelvorschläge 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 388 gefundenen Peaks

Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung)	Name	gemessene Masse	RT [min]	Intensität	automatisierte Summenformel- vorschläge	Güte der Summenformel- vorschläge 0 (gering) bis 100 (hoch)	Kommentar
P001	229.1433 / 10.28	229.143	10.28	3505146	C12H20O4	64	
P002	215.1279 / 9.14	215.128	9.14	1466284	C11H18O4	60	Gruppe aus mehreren Peaks mit gleicher RT
P003	273.1697 / 10.20	273.170	10.20	1093421	C14H24O5	73	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT
P004	257.1735 / 12.81	257.173	12.81	797370	C14H24O4	52	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT
P005	297.1665 / 12.69	297.166	12.69	756104	C12H20N6O3	70	Gruppe aus 4 Peaks mit gleicher RT
P006	127.1227 / 5.93	127.123	5.93	698862	C7H14N2	41	
P007	313.1622 / 10.20	313.162	10.20	673406	C12H20N6O4	89	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT
P008	269.1360 / 10.37	269.136	10.37	620540	C10H16N6O3	57	
P009	255.1201 / 9.08	255.120	9.08	461140	C9H14N6O3	67	Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT
P010	341.1915 / 12.48	341.192	12.48	356637	C15H35O2P3	86	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT

### Negativer Ionisationsmodus - grösste 3 Peaks von insgesamt 92 gefundenen Peaks

Nr. (N/P = negative/ positive Ionisierung)	Name	gemessene Masse	RT [min]	Intensität	automatisierte Summenformel- vorschläge	Güte der Summenformel- vorschläge 0 (gering) bis 100 (hoch)	Kommentar
N001	229.1462 / 12.85	229.146	12.85	2407692	C12H22O4	66	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT
N002	273.1733 / 12.64	273.173	12.64	1335386	C14H26O5	69	Gruppe aus 3 Peaks mit gleicher RT
N003	201.1151 / 10.35	201.115	10.35	988260	C11H14N4	66	Gruppe aus 2 Peaks mit gleicher RT



Bachema AG  
Analytische Laboratorien

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

## Anhang LCMS Screening - Ergebnisse des Suspect-Screenings

**Proben-Nr. Bachema:** 25055  
**Probenbezeichnung:** Eluat aus 25054 ("7b Netz")

**Prüfmethode:** LC: Waters Atlantis dc18 RP-Säule, Eluenten H<sub>2</sub>O & 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]<sup>+</sup> und im negativen Ionisationsmodus mittels [M-H]<sup>-</sup>  
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	nicht gefunden			
Dimethylacetamid	127-19-5	Amide	Al-Elko	Ja	C4H9NO	nicht gefunden			
N-Methylacetamid	79-16-3	Amide		Ja	C3H7NO	nicht gefunden			
N-Methylformamid	123-39-7	Amide		Ja	C2H5NO	nicht gefunden			
Triethylamin	121-44-8	Amine	Al-Elko	Nein	C6H15N	[M+H] <sup>+</sup>	5.1	1407	Identität nicht bestätigt
Diethylamin	109-89-7	Amine		Nein	C4H11N	[M+H] <sup>+</sup>	1.9 (Totzeit)	294494	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	[M-H] <sup>-</sup>	7.1	21665	Identität nicht bestätigt
1,3-Benzoldicarbonsäure	121-91-5	Organische Säuren	Al-Elko	Nein	C8H6O4	[M-H] <sup>-</sup>	7.1	21665	Identität nicht bestätigt
1,4-Benzoldicarbonsäure	100-21-0	Organische Säuren	Al-Elko	Nein	C8H6O4	[M-H] <sup>-</sup>	7.1	21665	Identität nicht bestätigt
2-Hydroxybenzoesäure, Salicylsäure	69-72-7	Organische Säuren	Al-Elko	Nein	C7H6O3	[M-H] <sup>-</sup>	8.9	3225	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	nicht gefunden			
Polyethylenglycol	25322-68-3	Glycole	Al-Elko	Nein	C2H4O (Monomer)	[M+H] <sup>+</sup>	2.0 & 2.7	14271	wahrscheinlich Quellenfragment eines grösseren Moleküls
Polyethylenglycol-2					C4H10O3	nicht gefunden			
Polyethylenglycol-3					C6H14O4	nicht gefunden			
Polyethylenglycol-4					C8H18O5	nicht gefunden			
Polyethylenglycol-5					C10H22O6	nicht gefunden			
Polyethylenglycol-6					C12H26O7	[M+H] <sup>+</sup>	6.8	11279	
Polyethylenglycol-7					C14H30O8	[M+H] <sup>+</sup>	7.0	12135	
Polyethylenglycol-8					C16H34O9	[M+H] <sup>+</sup>	7.3	7898	
Polyethylenglycol-9					C18H38O10	[M+H] <sup>+</sup>	7.5	7583	
Polyethylenglycol-10					C20H42O11	[M+H] <sup>+</sup>	7.7	7893	
Polyethylenglycol-11					C22H46O12	[M+H] <sup>+</sup>	7.8	8025	
Polyethylenglycol-12					C24H50O13	[M+H] <sup>+</sup>	8.0	6765	
Polyethylenglycol-13					C26H54O14	[M+H] <sup>+</sup>	8.2	4799	
Polyethylenglycol-14					C28H58O15	[M+H] <sup>+</sup>	8.4	3588	
Polyethylenglycol-15					C30H62O16	[M+H] <sup>+</sup>	8.5	2889	
Polyethylenglycol-16					C32H66O17	[M+H] <sup>+</sup>	8.7	2880	
Polyethylenglycol-17					C34H70O18	[M+H] <sup>+</sup>	8.8	2386	
Polyethylenglycol-18					C36H74O19	[M+H] <sup>+</sup>	9.0	1904	
Polyethylenglycol-19					C38H78O20	[M+H] <sup>+</sup>	9.2	883	
Polyethylenglycol-20					C40H82O21	[M+H] <sup>+</sup>	9.3	521	
Polyethylenglycol-21					C42H86O22	[M+H] <sup>+</sup>	9.5	569	
Polyethylenglycol-22					C44H90O23	[M+H] <sup>+</sup>	9.6	476	

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 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

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 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 67 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 67: Proben zu 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 $\mu$ F	Öl
54	Arcotronics	C.87.1WF2 3 $\mu$ F	Öl
56	Arcotronics	C.87.1WF1 2,5 $\mu$ F	Öl
58	Arcotronics	C.87.1WF3 6 $\mu$ F	Öl
59	Arcotronics	C.87.1WF1 4 $\mu$ F	Öl
78	Arcotronics	C.87.1WF2 5 $\mu$ F	Öl
79	Arcotronics	C.87.8FF2	Öl
81	Arcotronics	C.87.1WF2 4 $\mu$ 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 $\mu$ F	Öl
57 (KKGPCB3)	Arcotronics	C.87.1WF1 2,5 $\mu$ F C/D	Öl
52a (KKGPCB4)	ICAR	MLR25M50 603583/I-MK	Öl
18e (KKGPCB5)	M	475007 (P1)	Öl

Schlieren, 11. Oktober 2018  
SISBüro für Umweltchemie GmbH  
Schaffhauserstrasse 21  
8006 Zürich

# Untersuchungsbericht

**Objekt: Kondensatoren-Analyse**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

<b>Auftrags-Nr. Bachema</b>	201809903
<b>Proben-Nr. Bachema</b>	43356-43371
<b>Tag der Probenahme</b>	05. Oktober 2018
<b>Eingang Bachema</b>	05. Oktober 2018
<b>Probenahmeort</b>	
<b>Entnommen durch</b>	D. Savi, Büro für Umweltchemie GmbH
<b>Auftraggeber</b>	Büro für Umweltchemie GmbH, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich
<b>Rechnungsadresse</b>	Büro für Umweltchemie GmbH, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich
<b>Bericht an</b>	Büro für Umweltchemie GmbH, D. Savi, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich
<b>Bericht per e-mail an</b>	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 SchlierenTelefon  
+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**

 	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 <a href="http://www.bachema.ch">www.bachema.ch</a> ).
---	---



**Objekt:**

Auftraggeber:

Auftrags-Nr. Bachema:

**Kondensatoren-Analyse**

Büro für Umweltchemie GmbH

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 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**Probenbezeichnung**

Proben-Nr. Bachema

Tag der Probenahme

**PCB**

		276					
		43370					
		05.10.18					
Probenbezeichnung							
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	Toleranzwert für Transformatorenöl	
Proben-Nr. Bachema	43360	43361	43362	43363		
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		
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		

**Objekt:**

Auftraggeber:

Auftrags-Nr. Bachema:

**Kondensatoren-Analyse**

Büro für Umweltchemie GmbH

201809903

Probenbezeichnung					Referenzwert	
	58				Toleranzwert für Transformatorenöl	
Proben-Nr. Bachema	43364					
Tag der Probenahme	05.10.18					

**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					
<b>PCB Summe (gemäss ChemRRV)</b>	mg/kg	<20				50	
PCB Typisierung		kein PCB-Nachweis					

Bachema AG  
Rütistrasse 22  
CH-8952 SchlierenTelefon  
+41 44 738 39 00Telefax  
+41 44 738 39 90

info@bachema.ch

www.bachema.ch

Probenbezeichnung					Referenzwert	
	59	78	79	81	Toleranzwert für Transformatorenöl	
Proben-Nr. Bachema	43365	43366	43367	43368		
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		
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		
<b>PCB Summe (gemäss ChemRRV)</b>	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

**Objekt:**

Auftraggeber:

Auftrags-Nr. Bachema:

**Kondensatoren-Analyse**

Büro für Umweltchemie GmbH

201809903

Probenbezeichnung					Referenzwert	
	264	289			Toleranzwert für Transformatorenöl	
Proben-Nr. Bachema	43369	43371				
Tag der Probenahme	05.10.18	05.10.18				
<b>PCB</b>						
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			
<b>PCB Summe (gemäss ChemRRV)</b>	mg/kg	<20	<20			
PCB Typisierung		kein PCB-Nachweis	kein PCB-Nachweis			50

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, 12. Februar 2019  
LWBüro für Umweltchemie GmbH  
Schaffhauserstrasse 21  
8006 Zürich

# Untersuchungsbericht

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

<b>Auftrags-Nr. Bachema</b>	201901138
<b>Proben-Nr. Bachema</b>	4804-4808
<b>Tag der Probenahme</b>	11. Februar 2019
<b>Eingang Bachema</b>	11. Februar 2019
<b>Probenahmeort</b>	
<b>Entnommen durch</b>	D. Savi, Büro für Umweltchemie GmbH
<b>Auftraggeber</b>	Büro für Umweltchemie GmbH, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich
<b>Rechnungsadresse</b>	Büro für Umweltchemie GmbH, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich
<b>Bericht an</b>	Büro für Umweltchemie GmbH, D. Savi, Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich
<b>Bericht per e-mail an</b>	Büro für Umweltchemie GmbH, D. Savi, d.savi@umweltchemie.ch

Freundliche Grüsse  
BACHEMA AGOlaf 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

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

**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 <a href="http://www.bachema.ch">www.bachema.ch</a>)</p>
---	--

**Objekt:** PCB-verdächtige Kondensatoren  
**Auftraggeber:** Büro für Umweltchemie GmbH  
**Auftrags-Nr. Bachema:** 201901138

Probenbezeichnung	KKGPCB1	KKGPCB2	KKGPCB3	KKGPCB4	Referenzwert	
					Toleranzwert für Transformatorenöl	
Proben-Nr. Bachema	4804	4805	4806	4807		
Tag der Probenahme	11.02.19	11.02.19	11.02.19	11.02.19		

**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		
<b>PCB Summe (gemäss ChemRRV)</b>	mg/kg	<20	<20	<20	<20	50	
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

Probenbezeichnung	KKGPCB6				Referenzwert	
					Toleranzwert für Transformatorenöl	
Proben-Nr. Bachema	4808					
Tag der Probenahme	11.02.19					

**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					
<b>PCB Summe (gemäss ChemRRV)</b>	mg/kg	<20				50	
PCB Typisierung		kein PCB-Nachweis					