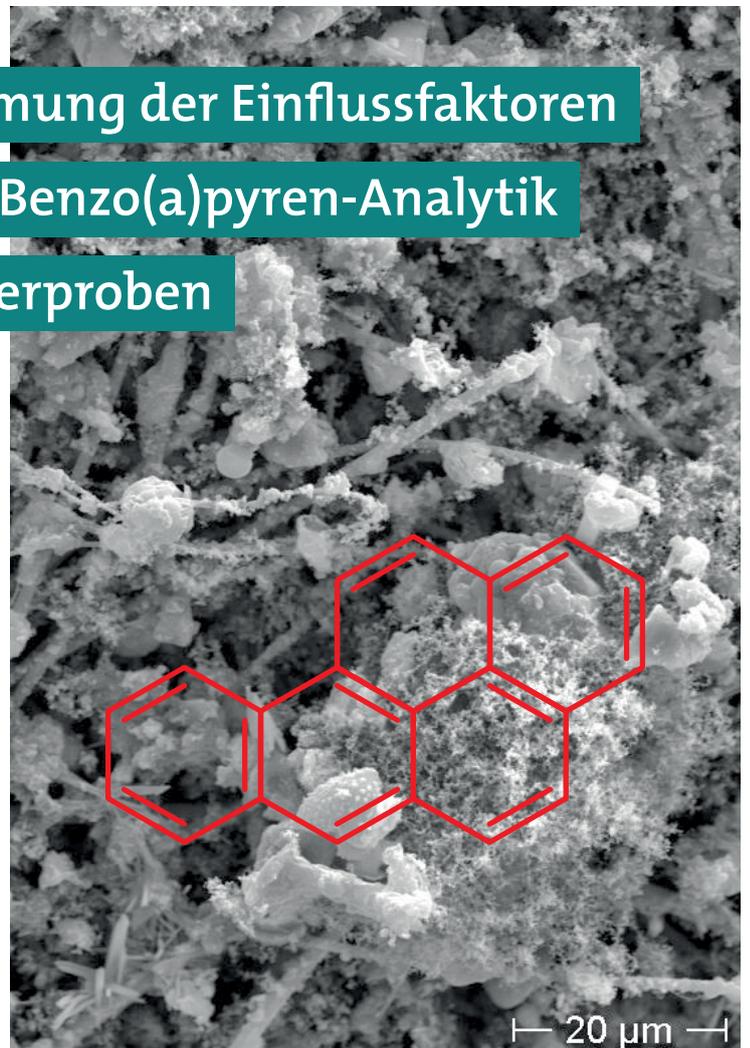


Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Benzo(a)pyren-Analytik von Filterproben



 Bundesministerium
Nachhaltigkeit und
Tourismus

Bund-Bundesländer Kooperation



BESTIMMUNG DER EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE BENZO(A)PYREN-ANALYTIK VON FILTERPROBEN

Endbericht

Monika Denner
Johannes Urteil



Bund-Bundesländer Kooperation



REPORT
REP-0696

Wien, August 2019

Projektleitung

Monika Denner

AutorInnen

Monika Denner
Johannes Urteil

Mitarbeit

Astrid Draxler

Probenbereitstellung

Gerhard Heimbürger (Amt der Kärntner Landesregierung)
Harald Pirker (Amt der Kärntner Landesregierung)
Ronald Reinisch (Amt der Kärntner Landesregierung)
Thomas Pongratz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung)

Probenvorbereitung und Analytik

Magdalena Kistler, Denise Taussig, Anne Kasper-Giebl (Technische Universität Wien)
Adolf Schinerl (Amt der Oberösterreichischen Landesregierung)
Kathi Braun, Thomas Remesch, Andrea Schuhmann, Martina Wagner

Korrektorat

Maria Deweis

Satz/Layout

Manuela Kaitna

Umschlagfoto

© Umweltbundesamt/Cristina Trimbacher

Dieser Bericht wurde im Rahmen der Bund-Bundesländer-Kooperation im Auftrag der Ämter der Landesregierungen Kärnten, Burgenland, Oberösterreich, Steiermark, Niederösterreich, Wien, Tirol, Salzburg und des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus (Abt. I/1, Abt. IV/1) erstellt.

Wir bedanken uns für die tatkräftige Unterstützung und Bereitstellung der Filterproben für die Bestimmung der Lösungsmiteleinflüsse aus den Luftgütemessnetzen Kärnten sowie der Steiermark und die Bereitstellung der Filter für den Test auf Einflussfaktor der Lagerung des Luftgütemessnetzes Kärnten.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <http://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2019
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 978-3-99004-515-2

INHALT

	ZUSAMMENFASSUNG	9
1	EINLEITUNG	11
2	VERSUCHSPLANUNG UND -DURCHFÜHRUNG	14
2.1	Projektkonzept	14
2.2	Versuchsaufbau – Lagerungsversuche	14
2.3	Versuchsaufbau – Lösungsmiteleinfluss	16
3	VERFAHRENSKURZBESCHREIBUNG ANALYTIK	19
4	AUSWERTUNG	22
4.1	Angaben zur Auswertung und Erstellung der Grafiken	22
4.1.1	Auswertung der Einflüsse der Lagerungsdauer	22
4.1.2	Auswertung der Lösungsmittelversuche.....	23
4.1.3	Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit innerhalb eines Labors	24
4.1.4	Vergleichbarkeit zwischen Laboratorien bei Verwendung gleicher Lösungsmittel/Extraktionsverfahren.....	24
4.1.5	Abschätzung der Messunsicherheit auf Basis der vorhandenen Filterdaten.....	25
4.2	Einflussfaktor Lagerungsdauer	25
4.2.1	Qualitätssichernde Maßnahmen – Referenzmaterial und Kontrollproben	25
4.2.2	Filterproben.....	26
4.3	Einflussfaktor Lösungsmittel	38
4.3.1	Filterproben – Extraktion mit verschiedenen Lösungsmitteln.....	38
4.3.2	Qualitätssichernde Maßnahmen: Analyse der Referenzmaterialien nach Extraktion mit verschiedenen Lösungsmitteln	42
4.3.3	Feinstaubkonzentrationen und Kohlenstofffraktionen – zusätzliche Analysen – Tagesfilter Steiermark.....	44
5	ERGEBNISSE	47
5.1	Einflussfaktor Lagerungsdauer	47
5.2	Einflussfaktor Lösungsmittel	48
6	CONCLUSIO UND AUSBLICK	50
7	LITERATURVERZEICHNIS	52
	ANHANG	53
	DATENTABELLEN	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Dezember 2017. Es sind die BaP-Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	27
Abbildung 2:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom November 2017. Es sind die BaP-Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	27
Abbildung 3:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in niedrig belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Juni 2017. Es sind die BaP-Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	28
Abbildung 4:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Februar 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	29
Abbildung 5:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	30
Abbildung 6:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Dezember 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	30
Abbildung 7:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom November 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	31
Abbildung 8:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in niedrig belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Juni 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	32
Abbildung 9:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Februar 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	32
Abbildung 10:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.	33
Abbildung 11:	Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 1 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen.	34
Abbildung 12:	Einfluss der Lagerungsdauer auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 2 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen.	34

Abbildung 13: Einfluss der Lagerungsdauer auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 3 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen.	35
Abbildung 14: Einfluss der Lagerungsdauer auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 4 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen.	36
Abbildung 15: Einfluss der Lagerungsdauer auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 5 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen.	36
Abbildung 16: Wiederfindungsraten der BaP-Konzentrationen, auf Basis des Mittelwertes aller Lösungsmittel (ausgenommen c-Hexan/Ultraschall Verfahren), der Monatsmischproben von fünf verschiedenen Standorten, welche von zwei Laboratorien mit verschiedenen Lösungsmitteln und Extraktionsmethoden analysiert wurden.	39
Abbildung 17: Wiederfindungsraten der BaP-Konzentrationen, auf Basis des Gesamtmittelwertes (ausgenommen Hexan/Ultraschall Verfahren), der Tagesfilter von 3 verschiedenen Standorten, welche von 3 Laboratorien mit verschiedenen Lösungsmitteln und Extraktionsmethoden analysiert wurden. Bei Standort C wurden 3 verschiedene Tagesfilter analysiert.	40
Abbildung 18: BaP-Konzentrationen der Tagesfilter von 3 verschiedenen Standorten, welche von 3 Laboratorien mit verschiedenen Lösungsmitteln und Extraktionsmethoden analysiert wurden. Bei Standort C wurden 3 verschiedene Tagesfilter analysiert. Von jedem Standort wurden die zwei gegenüberliegenden Tagesfiltersegmente einzeln extrahiert, daher sind pro Standort zwei Ergebnisse vorhanden.	41
Abbildung 19: Wiederfindungsraten in den Referenzmaterialien ERM-CZ100 sowie SRM 1649a in Abhängigkeit von Lösungsmittel/Extraktionsmethode und Laboratorien; Bezug zum jeweiligen Sollwert lt. Zertifikat.	43
Abbildung 20: Zusammenhang der Kohlenstofffraktionen a) WSOC und OC b) WISOC und EC sowie c) WISOC und EC mit BaP (Tagesfilter High Vol, Quarzfaser).	45
Abbildung 21: Feinstaubkonzentrationen sowie Kohlenstofffraktionen in den Tagesfilterproben der Steiermark (High Volume, Quarzfaserfilter) (BaP-Konzentration, berechnet aus den Ergebnissen von drei Laboratorien für alle Lösungsmittel mit Ausnahme von n-Hexan und Cyclohexan in Kombination mit Ultraschallextraktion; Messergebnisse PM, OC, EC, WSOC, WISOC; analysiert an der TU Wien.	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht – Zeitdauer der Lagerung für jeden der 5 Standorte Kärntens, Auswahl der Monate wie angegeben (Auswahlkriterium erwartete Konzentration an BaP).....	15
Tabelle 2: Versuchsaufbau – Lösungsmiteleinfluss – je nach Labor.....	16
Tabelle 3: Verwendete Lösungsmittel/Kombinationen je nach Art des Filters. Die Lösungsmittel mit zu erwartender unterschiedlicher Extraktionseffizienz wurden in jeweils zwei Laboratorien (L) analysiert. Zusätzliche Lösungsmittel wurden an der TU Wien geprüft.....	16
Tabelle 5: Detailübersicht Lösungsmittelversuche – Laboratorien Umweltbundesamt, Technische Universität Wien und Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (Lösungsmittel, welche in zumindest zwei Laboratorien getestet wurden, sind fett dargestellt).....	18
Tabelle 6: Kurzcharakteristika der angewendeten Extraktions- und Bestimmungsverfahren der beteiligten Laboratorien (Umweltbundesamt, Technische Universität Wien und Amt der Oberösterreichischen Landesregierung).	19
Tabelle 7: Kurzcharakteristik Bestimmungsverfahren zur Kohlenstoffanalyse mittels thermo-optischer Methode.....	21
Tabelle 8: Auswertung der Lösungsmiteleinflüsse – Ermittlung des sog. „konventionell richtigen Wertes“ (Sollwert) für BaP in den Low Vol Monatsmischproben.	23
Tabelle 9: Auswertung der Lösungsmiteleinflüsse – Ermittlung des sog. „konventionell richtigen Wertes“ (Sollwert) für BaP in den High Vol Tagesfilterproben.....	23
Tabelle 10: Messunsicherheiten für BaP in Filterproben für die behandelten Lösungsmittel/Extraktionsverfahren.....	25
Tabelle 12: Daten zu den Tagesfiltern (High Vol, Quarzfaserfilter) und Ergebnisse der Kohlenstoffmessung (OC, EC, WSOC, WISOC) sowie Gegenüberstellung mit BaP (Analytik Kohlenstofffraktionen an der TU Wien; BaP berechnet über Gesamtmittelwert und Standardabweichung über alle 3 Laboratorien (exkl. Lösungsmittel n-Hexan und Cyclohexan in Kombination mit Ultraschallextraktion); hohe Absolutgehalte an WSOC in den Filterproben wurden fett/kursiv hervorgehoben).	44
Tabelle 13: Auswertung der Kohlenstoffmessung (OC, EC, WSOC, WISOC) an den Tagesfiltern (High Vol, Quarzfaserfilter) (Analytik Kohlenstofffraktionen an der TU Wien).	44
Tabelle 14: Daten zu Monatsmischproben Filter Low Vol Kärnten.	53
Tabelle 15: Daten zu Tagesfilter High Vol Steiermark: Staubfraktion, Luftvolumen, BaP sowie Kohlenstoffanalysen (OC, EC, WSOC, WISOC) und Zusammenhang mit BaP der Tagesfilterproben (STO A, STO B, STO C T1, STO C T2 und STO C T3) inkl. Anmerkungen.....	54
Tabelle 16: Qualitätssichernde Maßnahmen Lagerungsversuche – Analysenergebnisse zertifiziertes Referenzmaterial ERM-CZ100 „Fine dust (PM10-like matrix)“ (zertifizierter Gehalt: 0,72 mg/kg BaP +/- 0,05 mg/kg (MU k = 2)).	55
Tabelle 17: Qualitätssichernde Maßnahmen Lagerungsversuche – Analysenergebnisse Kontrollprobe STO 5 – Jänner 2017 – Wiederholbarkeit, ausgehend vom Filterprobenextrakt sowie Veränderung durch mehrfache zeitlich versetzte Entnahmen aus Kühlschrank.	56
Tabelle 18: Qualitätssichernde Maßnahmen Lagerungsversuche – Analysenergebnisse Kontrollprobe STO 5 – Jänner 2018 1. DG – Wiederholbarkeit, ausgehend vom Filterprobenextrakt sowie Veränderung durch mehrfache zeitlich versetzte Entnahmen aus Kühlschrank.....	57

Tabelle 19: Qualitätssichernde Maßnahmen Lösungsmittelversuche – Analyse- ergebnisse zertifiziertes Referenzmaterial ERM-CZ100 „Fine dust (PM10-like matrix)“ (zertifizierter Gehalt: 0,72 mg/kg BaP +/- 0,05 mg/kg (MU k = 2); Analyseergebnisse Referenzmaterial SRM 1649a „Urban dust“ (Zertifikat abgelaufen, alle Laboratorien arbeiten von selber Ausgangsprobe; zertifizierter Gehalt: 2,509 mg/kg BaP +/- 0,087 mg/kg (MU k = 2)).....	58
Tabelle 20: Ergebnisse BaP – Lagerungsversuche (Umweltbundesamt, Prüfbericht Nr. 1906/0434 vom 18.06.2019; Bestimmungsgrenze BaP: 0,02 ng/m ³ ; Nachweisgrenze BaP: 0,01 ng/m ³).	60
Tabelle 21: Ergebnisse BaP Filterproben – Lösungsmittelversuche (Datenherkunft: Umweltbundesamt Ergebnistabelle vom 07.06.2017; Technische Universität Wien Ergebnistabelle vom 02.07.2017 sowie Ergebnisübermittlung vom Labor der oberösterreichischen Landesregierung vom Mai 2017; Darstellung der BaP-Ergebnisse der Laboratorien zur Nachvollziehbarkeit auf 2 Nachkommastellen).	71
Tabelle 22: Ergebnisse BaP Blindwerte sowie Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) für die Lösungsmittelversuche (Datenherkunft: Umweltbundesamt Ergebnistabelle vom 07.06.2017; Technische Universität Wien Ergebnistabelle vom 02.07.2017 sowie Ergebnisübermittlung vom Labor der oberösterreichischen Landesregierung vom Mai 2017).	76

ZUSAMMENFASSUNG

Die Analytik von Benzo(a)pyren in PM₁₀-Filterproben ist in der ÖNORM EN 15549:2008 beschrieben. Die Norm lässt eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Auswahl der Extraktionsverfahren und Lösungsmittel zu. Die maximal zulässige Zeitdauer zwischen Probenahme und Extraktion der PM₁₀-Filter wird lt. Norm mit zwei Monaten vorgegeben, die Lagerung hat bei < 20 °C (dunkel) zu erfolgen und die Extrakte sind unmittelbar bzw. innerhalb eines Monats zu analysieren.

Im Rahmen des Projektes wurden für Monatsmischproben (Low Vol, Glasfaserfilter, PM₁₀) am Umweltbundesamt in Kooperation mit dem Amt der Kärntner Landesregierung langfristige Lagerungsversuche von Filterproben bei –18 °C in Glaspetrischalen durchgeführt und in der Folge wurde zeitversetzt durch Entnahme der Filter aus dem Tiefkühler die BaP-Konzentration bestimmt.

Für die Lagerungsversuche wurden Filterproben mit sehr hoher, mittlerer sowie niedrigerer Belastung an BaP ausgewählt und nach der Lagerungsdauer von zwei Monaten bis zu 12 Monaten (Auflösung in 2-Monatsintervallen) wurden die Proben auf BaP analysiert.

Es konnten keine signifikanten Veränderungen bei der Lagerung von PM₁₀-Filterproben in Glaspetrischalen bei –18 °C festgestellt werden.

Die Ausdehnung der Lagerungszeit bei o. a. Lagerungsbedingung ist somit ohne negative Veränderung der BaP-Konzentration möglich. Bei entsprechender Lagerung können die Analysen auf BaP in PM₁₀-Filterproben nunmehr statt monatlich auch quartalsweise bzw. bis zu einmal pro Jahr in einer Serie durchgeführt werden.

Eine weitere Versuchsreihe diente der Bestimmung des Einflusses von unterschiedlichen Lösungsmitteln auf das Ergebnis der BaP-Analytik. Das Probenaset umfasste die Referenzmaterialien ERM-CZ100 „Fine dust“ und SRM 1649a „urban dust“ sowie fünf Monatsmischproben PM₁₀ (Low Vol Glasfaserfilter) aus dem Kärntner Messnetz und fünf Tagesfilterproben PM_{2,5} bzw. PM₁₀ (High Vol Quarzfaserfilter) aus der Steiermark, jeweils für erwartete hohe Belastungen an BaP.

Die Analytik wurde unter Beteiligung von drei österreichischen Laboratorien durchgeführt (Technische Universität Wien, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Umweltbundesamt) und es wurden folgende Lösungsmittel/Extraktionsverfahren getestet:

- Aceton : n-Hexan sowie Toluol, jeweils in Kombination mit Ultraschall-Extraktion in zwei Laboratorien,
- Cyclohexan in Kombination mit beschleunigter Lösungsmittlextraktion (ein Labor), Dichlormethan : Cyclohexan sowie Cyclohexan und n-Hexan jeweils in Kombination mit Ultraschall-Extraktion (ein Labor).

Die Untersuchungen zeigten, dass die Ergebnisse mit den Lösungsmitteln Aceton : n-Hexan, Dichlormethan : Cyclohexan oder Toluol, in Kombination mit Ultraschallverfahren, als geeignet zu werten sind. Bei Verwendung der Lösungsmittel n-Hexan oder Cyclohexan wurden Minderbefunde bei der Analyse der Referenzmaterialien und bei einem Großteil der Filter festgestellt. Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass insbesondere bei den Tagesfilterproben mit einem hohen Anteil an wasserlöslichem organischen Kohlenstoff die Minderbefunde besonders ausgeprägt waren. Die Anwendung von Cyclohexan in Ver-

bindung mit der beschleunigten Lösungsmittelextraktion ergab zwar eine bessere Extraktionseffizienz als mit dem Ultraschallverfahren, Minderbefunde können aber nicht ausgeschlossen werden.

Auf Basis aller vorliegenden Analysenergebnisse wurde über die Abweichungen der Einzelergebnisse pro Labor und Lösungsmittel von dem im Rahmen des Projektes ermittelten „Sollwert“ Messunsicherheiten für die Analytik abgeschätzt. Es wurde eine Messunsicherheit im Bereich von $\pm 13\%$ bis $\pm 18\%$ ermittelt, unter Berücksichtigung des Erweiterungsfaktors von 2 ergibt sich eine erweiterte Messunsicherheit für Extraktion und Analytik der Filterproben (exklusive Probenahme) von $\pm 26\%$ bis $\pm 36\%$.

Gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L, BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F.) ist der Grenzwert für Benzo(a)pyren (BaP) in PM_{10} mit 1 ng/m^3 als Gesamtgehalt in der PM_{10} -Fraktion als Durchschnitt eines Kalenderjahres geregelt. Aufgrund der Regelung zur Beurteilung der Grenzwerteinhalten gemäß IG-L wird erst ein Jahresmittelwert ab $1,50\text{ ng/m}^3$ BaP in PM_{10} als Überschreitung gewertet (bezogen auf den Grenzwert ergibt dies de facto eine Toleranzmarge von 49%).

1 EINLEITUNG

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind eine Sammelbezeichnung für aromatische Verbindungen mit kondensierten Ringsystemen (weit über 100 Substanzen), die meist karzinogene sowie mutagene Wirkungen aufweisen. PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material oder fossilen Brennstoffen in Heizungsanlagen, im Kfz-Verkehr und in Stahlwerken. Insbesondere das Zusammenspiel von veralteten Heizungsanlagen mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen stellt die Hauptursache für erhöhte PAK-Belastungen in der Umwelt dar.

Benzo(a)pyren wird oft als Leitsubstanz für PAK verwendet, da es im Hinblick auf die kanzerogenen und mutagenen Eigenschaften gut charakterisiert ist.

In Österreich ist der Grenzwert für Benzo(a)pyren (BaP) im Immissionsschutzgesetz-Luft als Durchschnitt eines Kalenderjahres in der PM₁₀-Fraktion mit 1 ng/m³ geregelt. Die BaP-Konzentrationen werden als Anteil im Feinstaub im Rahmen der Immissionsmessungen durch die Bundesländer an etwa 30 Messstellen bestimmt.

Das Messverfahren ist in der ÖNORM EN 15549:2008 geregelt. Gemäß Norm sind unterschiedliche Probenaufbereitungs- und Extraktionsverfahren sowie die Messung mittels unterschiedlichen Trenn- und Detektionsverfahren erlaubt.

Vorversuche haben gezeigt, dass die Auswahl des Lösungsmittels einen Einfluss auf die Messergebnisse von Benzo(a)pyren haben kann. Insbesondere bei stärker belasteten Filterproben mit höherem Rußanteil besteht der Verdacht, dass je nach Extraktionseffizienz des gewählten Lösungsmittels unterschiedliche Ergebnisse an BaP resultieren. Es ist hervorzuheben, dass dies besonders jene Filter mit hohen BaP-Belastungen trifft.

Die Norm ÖNORM EN 15549:2008 gibt konkrete Zeitintervalle für die Analysen vor. So dürfen Filter z. B. nicht später als zwei Monate nach Probenahme extrahiert werden (Lagerung im Dunkeln, geschlossenes Gefäß; Temperatur < 20 °C) und die Filterextrakte sind unmittelbar bzw. spätestens binnen eines Monats bei gekühlter Lagerung der Extrakte zu analysieren.

Im Mai 2016 wurde vom Umweltbundesamt ein Erhebungsbogen zur BaP-Analytik den Bundesländern zur Verfügung gestellt, der die in Österreich zur Anwendung kommenden konkreten Messverfahren und die Lagerungsbedingungen für die BaP-Analytik behandelte.

Die Auswertung des Fragebogens über alle Immissionsmessungen für BaP im Feinstaub (PM₁₀) der Bundesländer ergab folgendes Bild:

- In acht der neun Bundesländer werden BaP-Analysen durchgeführt, insgesamt sieben unterschiedliche Laboratorien sind für die Analysen verantwortlich.
- Lösungsmittel/Extraktionsverfahren: Insgesamt sechs unterschiedliche Lösungsmittel und insgesamt drei unterschiedliche Extraktionsverfahren gelangen zum Einsatz (Lösungsmittel: Toluol, Aceton/n-Hexan, Acetonitril, Cyclohexan, Cyclohexan/Dichlormethan, n-Hexan; Extraktionsverfahren: beschleunigte Lösungsmittelextraktion, Ultraschallextraktion, Extraktion unter Rückflussbedingungen).
- Trenn- und Detektionsverfahren: Sowohl HPLC-FLD als auch GC-MS werden zur Detektion von BaP eingesetzt.

- Lagerungsbedingungen (Art, Zeitdauer): Die Lagerung der Filter bis zur Extraktion erfolgt bei < 20 °C im Zeitraum von 1–2 Wochen bis < 2 Monate und im Bedarfsfall auch länger; Lagerung kühl/Kühlraumbedingungen für 3 Monate bis zu einem Jahr; Lagerung bei –19 °C im Tiefkühler bis zu 0,5 Jahre.
- Die Lagerung der Filterextrakte erfolgt < 1 Woche bis max. 3 Monate gekühlt (Glasvials).

Wie aus den o. a. Punkten abgeleitet werden konnte, wurden bereits aus praktischen und finanziellen Gründen die strikten Normvorgaben betreffend die Zeitintervalle für Extraktion der Filter binnen 2 Monate nach Probenahme an die individuellen Gegebenheiten angepasst.

Im Rahmen des Projektes wurde daher untersucht, inwiefern die Konzentration an BaP in PM₁₀ bei Lagerung der Filterproben in Glaspetrischalen im Tiefkühlraum bei –18 °C über die Lagerungsdauer von einem Jahr stabil bleibt und wie hoch der Einfluss des gewählten Lösungsmittels (Extraktionseffizienz) auf die ermittelten Gehalte an BaP ist.

Ziele des Vorhabens

- Ermittlung des **Einflusses der Lagerungsdauer** auf die Ergebnisse von BaP von beladenen Staubfiltern. Dabei wurden Glasfaserfilter von 5 unterschiedlichen Standorten zu jeweils 5 ausgewählten Monaten mit zu erwartender hoher und niedriger BaP-Belastung nach unterschiedlichen Lagerungsintervallen untersucht sowie analog Blindwertbestimmungen durchgeführt.
 - Startpunkt war Zeitpunkt t₀: Lagerungsdauer strikt nach Norm bis zur Lagerungsdauer t₆ von 1 Jahr;
 - Auflösung: jeweils in 2 Monatsintervallen; zu den Zeitpunkten t₁ (2 Monate), t₂ (4 Monate), t₃ (6 Monate), t₄ (8 Monate), t₅ (10 Monate) und t₆ (12 Monate).
- Erhebung des **Einflusses verschiedener Lösungsmittel mit unterschiedlicher Extraktionseffizienz** auf die Ergebnisse von BaP von beladenen Staubfiltern (Glasfaserfilter/Low Vol und Quarzfaserfilter High Vol). Beide Filtertypen werden im österreichischen Immissionsmessnetz zur Probenahme von Feinstaub PM₁₀ für BaP verwendet. Die Auswahl der Lösungsmittel orientierte sich an der ÖNORM EN 15549:2008 unter Berücksichtigung der Lösungsmittel, die zum Zeitpunkt der Fragebogenerhebung in Österreich für die Analyse von BaP eingesetzt wurden.
 - Es wurden jeweils 5 Standorte mit vorausgewählten Monatsmischproben/ Glasfaserfilter samt Blindwertfilter (Low Vol Filter, PM₁₀) und jeweils fünf vorausgewählte Tagesfilter Quarzfaser samt Blindwertfilter (High Vol Filter, nach Verfügbarkeit PM_{2,5} bzw. PM₁₀) für die Prüfung des Einflusses des Extraktionsmittels herangezogen.
 - Die Vorauswahl der Filter erfolgte auf Basis der zu erwartenden BaP-Belastung (Fokus insbes. auf sehr hohe und mittlere BaP-Gehalte).
 - Die Prüfung für die Lösungsmittel Aceton:n-Hexan im Verhältnis 1:1 sowie Toluol erfolgte mittels Ultraschallextraktion in zwei verschiedenen Laboratorien (Prüfstelle Umweltbundesamt, TU Wien). Es wurden von den beiden Laboratorien gemäß Projektkonzept unterschiedliche Trenn- und Detektionsverfahren eingesetzt (HPLC-FLD bzw. GC-MS). An der TU Wien wurden weitere Lösungsmittel getestet, wie Cyclohexan/Dichlormethan, Cyclohexan und n-Hexan.

- Des Weiteren wurde gemäß der fachlichen Ergänzung zum Kooperationsansuchen das Extraktionsverfahren der beschleunigten Lösungsmittlextraktion (ASE) mit Lösungsmittel n-Hexan beim Amt der Oberösterreichischen Landesregierung in Kombination mit Trenn- und Detektionsverfahren GC-MS eingesetzt (Fokus: High Vol Filter n = 5).

Für die beteiligten Projekt- und Kooperationspartner bestand der erwartete Nutzen darin, dass nach Prüfung der Einflüsse der Ausweitung der Lagerungsdauer der Filterproben für die BaP-Analytik bis zu einem Jahr (-18 °C/Glas) eine entsprechende Anpassung der Vorgangsweise in Österreich angedacht werden sollte.

Bei den Kosten für die Analytik könnte demnach eine finanzielle Einsparung ohne Verlust von Qualität erzielt werden:

- Eine zeitlich umfassendere Serie als die monatlichen Filterproben BaP in PM_{10} könnte in einem Run – begleitet von Qualitätskontrollproben sowie zertifiziertem Referenzmaterial – zu Wiederholbedingungen analysiert werden.

2 VERSUCHSPLANUNG UND -DURCHFÜHRUNG

2.1 Projektkonzept

Die Fachgrundlagen für die Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Benzo(a)pyren-Analytik von Filtern wurden auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen auf Grundlage einer vom Umweltbundesamt durchgeführten Fragebogenauswertung bezüglich der Bestimmung von BaP in den Bundesländern erarbeitet.

Es wurde ein detaillierter Arbeits- und Zeitplan sowie das konkrete Analytikkonzept unter Beteiligung des Amtes der Kärntner Landesregierung und des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung sowie der drei Laboratorien für die Prüfung der Lösungsmiteleinflüsse (Umweltbundesamt, TU Wien und Amt der Oberösterreichischen Landesregierung) vereinbart und in die Praxis umgesetzt.

2.2 Versuchsaufbau – Lagerungsversuche

Der Fokus dieses Versuchsaufbaus lag in der Zeitdauer der Lagerung zu konstanten Lagerbedingungen.

Dazu wurden an fünf ausgewählten Standorten (STO) des Immissionsmessnetzes vom Land Kärnten (STO 1, STO 2, STO 3, STO 4, STO 5) die Monatsmischproben für Jänner 2017, Februar 2017, Juni 2017, November 2017 und Dezember 2017, bestehend aus jeweils 8 mm Stanzen pro Tag, herangezogen.

Die Lagerungsdauer für die ausgewählten Monatsmischproben erstreckte sich von t_0 (Zeitrahmen gemäß Norm) bis t_6 (1 Jahr), Auflösung und zwischenzeitliche Messungen erfolgten jeweils nach einem Intervall von 2 Monaten Lagerung.

Lagerbedingung: Die Lagerung der Monatsmischproben erfolgte in Glaspetrischalen bei -18 °C im Tiefkühlraum.

Als Auswahlkriterium für die Filter fungierte die zu erwartende BaP-Konzentration in PM_{10} . Es wurden schwerpunktmäßig Monate mit zu erwartenden hohen und mittleren BaP-Gehalten in PM_{10} gewählt (Zeitraum Jänner, Februar, November, Dezember 2017), begleitet von einem Monat mit zu erwartenden niedrigen Gehalten (Juni 2017) sowie Blindwertfilter.

Tätigkeiten und Zeitplan des Kooperationspartners Kärnten

- Einholung und Tarierung/Wägung der Tagesfilterproben (Glasfaserfilter, Low Vol, PM_{10} ; Probenwechsler 15 Stk.) für die insgesamt 5 Standorte Kärnten.
- Anmerkung: Die Tagesfilter (Glasfaserfilter, 47 mm) im Probenwechsler lagerten bei Raumtemperatur (20 °C , klimatisierter Container). Ausschließlich Tagesfilter beim Standort STO 3 befinden sich bei Umgebungstemperatur (Außenbereich).

- Herstellung von jeweils $n = 7$ gleichqualifizierte Monatsmischproben pro Standort Kärnten: für Jänner 2017, Februar 2017, Juni 2017, November 2017 und Dezember 2017 durch Stanzen der Tagesfilterproben ($n = 7$ Stanzen zu 8 mm pro Tagesfilter) und Abfüllung der Monatsmischproben (MMP) in Glaspetrischalen.
 - Eineindeutige Bezeichnung analog Muster (z. B. STO_i, 1. Durchgang, MM-JJJJ, 31 Stk.; Durchgänge fortlaufend nummeriert 1, 2, ..., 7).
- Zum Zeitpunkt t_0 wurden auch analog wie o. a. 7 gleichqualifizierte Monatsmischproben „Blindwertfilter“ MMP BW Jänner 2017 (zu $n = 30$ Blindwertfilterstanzstücken zu 8 mm) hergestellt und in Glaspetrischalen abgefüllt.
 - Eineindeutige Bezeichnung wie folgt: BW, i. Durchgang 01-2017 (Durchgänge i fortlaufend nummeriert 1, 2, 3, ..., 7); 30 Stk.

Tabelle 1: Übersicht – Zeitdauer der Lagerung für jeden der 5 Standorte Kärntens, Auswahl der Monate wie angegeben (Auswahlkriterium erwartete Konzentration an BaP).

Pro STO 1 bis 5: Monate MMP 01/17; 02/17, 06/17, 11/17, 12/17 sowie MMP BW (01/17)							
Zeitpunkt t_i	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Lagerdauer [Monate]	1	2	4	6	8	10	12
Bezeichnung der Durchgänge (DG)	1. DG	2. DG	3. DG	4. DG	5. DG	6. DG	7. DG

Jeweils eine Abfüllung der MMP 01/17, 02/17, 06/17, 11/17, 12/17 sowie MMP BW 01/17 (1. Durchgang) in Glaspetrischalen wurde unmittelbar nach der Herstellung bis zum ~ 20. des Folgemonats an das Umweltbundesamt zur Analyse übermittelt.

Die restlichen Abfüllungen (Durchgänge 2 bis 7) pro MMP und Standort wurden in den Glaspetrischalen gemäß Zeitplan im Tiefkühlraum bei -18 °C gelagert und zum gegebenen Zeitpunkt (nach 2 Monaten, nach 4 Monaten, nach 6 Monaten, nach 8 Monaten, nach 10 Monaten und nach 12 Monaten Lagerung im Tiefkühlraum) bis zum ~ 20. an das Umweltbundesamt gesendet.

Tätigkeiten und Zeitplan Umweltbundesamt

- Binnen 1 Woche nach Einlangen der Filter erfolgte jeweils die Extraktion der MMP gemäß ÖNORM EN 15549:2008 mit Lösungsmittel Aceton:n-Hexan = 1:1 mittels Ultraschall. Die Lagerung der Filterextrakte erfolgte im Dunkeln bei Temperatur $< 6\text{ °C}$ bis zur Analyse bis spätestens binnen 1 Monats (Analyseverfahren: HPLC-FLD; Verfahren mit externem Standard; Surrogatzusatz BaP-d12 zu Filter bei Extraktion).

2.3 Versuchsaufbau – Lösungsmiteleinfluss

Der Fokus dieses Versuchsaufbaus lag im Vergleich des Einflussfaktors Lösungsmittel (unterschiedliche Extraktionseffizienz) bei Extraktion mittels Ultraschall bzw. für Cyclohexan auch für die beschleunigte Lösungsmittelextraktion (ASE), in Abhängigkeit von zwei verschiedenen Trenn- und Detektionsverfahren (HPLC-FLD und GC-MS), durchgeführt von zwei unabhängigen Laboratorien (Umweltbundesamt und TU Wien bzw. TU Wien und Amt der Oberösterreichischen Landesregierung).

Tabelle 2: Versuchsaufbau – Lösungsmiteleinfluss – je nach Labor.

Umweltbundesamt	TU Wien	Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Extraktionsverfahren		
Ultraschallextraktion (US)	Ultraschallextraktion (US)	Beschleunigte Lösungsmittelextraktion (ASE)
Trenn- und Detektionsverfahren		
HPLC-FLD	GC-MS	GC-MS
eingesetzte Lösungsmittel		
Aceton:n-Hexan 1:1	Aceton:n-Hexan 1:1	
Toluol	Toluol	
-	Cyclohexan:Dichlormethan (~ 1:1)	
-	Cyclohexan	Cyclohexan
-	n-Hexan	

Für die Untersuchungen wurden Glas- und Quarzfaserfilter verwendet, die in den Immissionsmessnetzen der Länder Kärnten und Steiermark beprobt wurden. Die Monatsmischproben (Low Volume, Glasfaserfilter, PM₁₀) stammten aus dem Immissionsmessnetz des Landes Kärnten, die Tagesproben (High Volume, Quarzfaserfilter, PM_{2,5}) stammten aus dem Immissionsmessnetz des Landes Steiermark.

Zusätzlich wurden Blindwertfilter und Referenzmaterial (1649a Urban Dust) bei den Versuchen mitextrahiert. Referenzmaterial ERM-CZ100 wurde zur Qualitätssicherung mitanalysiert.

Die Versuche in den drei Laboratorien wurden aus einem Fläschchen an Referenzmaterial 1649a Urban Dust durchgeführt.

Folgende Lösungsmittel bzw. Lösungsmittelkombinationen kamen zum Einsatz:

Tabelle 3: Verwendete Lösungsmittel/Kombinationen je nach Art des Filters.

Die Lösungsmittel mit zu erwartender unterschiedlicher Extraktionseffizienz wurden in jeweils zwei Laboratorien (L) analysiert. Zusätzliche Lösungsmittel wurden an der TU Wien geprüft.

Monatsmischproben Low-Vol Filter/Glasfaser	Tagesproben High-Vol Filter/Quarzfaser	Referenzmaterial (SRM 1649a Urban Dust)
Aceton:n-Hexan (2 L)	Aceton:n-Hexan (2 L)	Aceton:n-Hexan (2 L)
Toluol (2 L)	Toluol (2 L)	Toluol (2 L)
Cyclohexan:Dichlormethan (1 L)	Cyclohexan:Dichlormethan (1 L)	Cyclohexan:Dichlormethan (1 L)
Cyclohexan (1 L)	Cyclohexan (2 L)	Cyclohexan (2 L)
	n-Hexan (1 L)	n-Hexan (1 L)

Tätigkeiten und Zeitplan des Kooperationspartners Kärnten

5 Monatsmischproben + 1 Blindwertprobe – Standorte Kärnten:

- An 5 ausgewählten Standorten/Monaten aus 2016 (Standorte: STO 1, STO 2, STO 3, STO 4, STO 5; Monate: November 2016, Oktober 2016, Dezember 2016) wurden Tagesfilter gestanzt (n = 6 Stanzen pro Tagesfilter zu 8 mm) und daraus Monatsmischproben pro Standort und Monat hergestellt (ergab jeweils n = 6 Durchgänge an Monatsmischproben pro Standort zu je 30–31 Stück 8 mm Stanzen).
- Die Monate und Standorte wurden aufgrund der zu erwartenden Konzentrationen an BaP für die Lösungsmittelversuche ausgewählt (Monate mit zu erwartender höherer Belastung).
- Gleichzeitig wurde auch eine korrespondierende Blindwertfilterprobe im gleichen Ausmaß und unter den gleichen Bedingungen wie die realen Filterproben hergestellt („MMP BW“ – 6 Durchgänge an MMP zu je 8 mm Stanzen).
- Die Tätigkeiten für die 5 Standorte und Bereitstellung der Blindwertfilter wurden in einem Batch durchgeführt und sämtliche Monatsmischproben wurden bei –18 °C im Tiefkühlraum bis zum Übergabetermin an das Umweltbundesamt gelagert.

Tätigkeiten und Zeitplan des Kooperationspartners Steiermark

5 Tagesfilter + 1 Blindwertprobe – Standorte Steiermark:

- Aus den Monaten Jänner, Februar und März 2017 des Immissionsmessnetzes des Landes Steiermark der Standorte STO A, STO B und STO C (für C: Tag 1 (T1), Tag 2 (T2), Tag 3 (T3)) (Lagerung: tiefgekühlt, gefaltet, in PE-Bags) wurden bis Anfang April 2017 n = 5 Tagesfilter (High Volume, 150 mm, Quarzfaserfilter, PM_{2,5} bzw. PM₁₀) mit Schwerpunkt auf höhere sowie mittlere Belastungen an BaP ausgewählt und für das Projekt zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden n = 2 Blindwertfilter zu 150 mm Durchmesser vorgesehen.

Tätigkeiten und Zeitplan Subauftragnehmer TU Wien

- An der TU Wien wurden die Quarzfaserfilter (5 x Tagesfilter sowie 1 x Blindwertfilter) mittels Cutter in 16 x 1/16 Teile geschnitten und jeweils die gegenüberliegenden Segmente in Glaspetrischalen überführt und tiefgekühlt bei –18 °C bis zur weiteren Analyse gelagert.
- Da die Ausgangs-Tagesfilterproben gefaltet waren, wurden die gegenüberliegenden Bereiche 2 x 1/16 an der Faltstelle nicht für die Bestimmung von BaP, sondern für die Bestimmung von organischem Kohlenstoff (OC) und elementarem Kohlenstoff (EC) herangezogen. Die weiteren Segmente wurden für die einzelnen Lösungsmittel (2 x Umweltbundesamt, 5 x TU Wien, 1 x OÖ) derart zugeordnet, dass pro Lösungsmittel jeweils die gegenüberliegenden Segmente vorgesehen waren.
- Die Beschriftung der insgesamt n = 8 Abfüllungen für die Tagesfilter und die Blindwertfilter erfolgte eindeutig analog Muster (z. B. STO, TAG/JJJJ, Segment 1, ..., 16; bzw. BW JJJJ, Segment 1, ..., 16).

Tabelle 4:
Versuchsaufbau je nach
Herkunft/Standort.

Standorte Kärnten	Standorte Steiermark
Monatsmischprobe (MMP) PM ₁₀	Tagesfilter PM _{2,5} (*bzw. PM ₁₀)
STO 1 (n = 6)	STO A (n = 8)
STO 2 (n = 6)	*STO B (n = 8) (PM ₁₀)
STO 3 (n = 6)	STO C_T1 (n = 8)
STO 4 (n = 6)	STO C_T2 (n = 8)
STO 5 (n = 6)	STO C_T3 (n = 8)
BW-Filter	BW-Filter

Tabelle 5: Detailübersicht Lösungsmittelversuche – Laboratorien Umweltbundesamt, Technische Universität Wien und Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (Lösungsmittel, welche in zumindest zwei Laboratorien getestet wurden, sind fett dargestellt).

Laboratorien	Umweltbundesamt	Technische Universität Wien	Amt der OÖ Landesregierung
Lösungsmittel	a) Aceton:n-Hexan 1:1 b) Toluol	a) Aceton:n-Hexan 1:1 b) Toluol c) Cyclohexan:Dichlormethan (1:1) d) Cyclohexan e) n-Hexan	d) Cyclohexan
Extraktionsverfahren	Ultraschallextraktion (US)	Ultraschallextraktion (US)	Beschleunigte Lösungsmittlextraktion (ASE)
Bestimmungsverfahren	HPLC-FLD	GC-MS	GC-MS
5 MMP Ktn: STO 1–5 Low-Vol Filter	LM a), b) jeweils n = 1	LM a), b), c), d) jeweils n = 1	
BW Filter Ktn	LM a), b) jeweils n = 1	LM a), b), c), d) jeweils n = 1	
5 Tagesfilter Stmk: STO A, B, C High-Vol Filter (STO A, STO B jeweils 1 Tag, STO C 3 Tage aus Zeitraum Jänner bis Februar 2017)	LM a), b) jeweils n = 2	LM a), b), c), d) jeweils n = 2; LM e) n = 1	LM d) n = 2
BW Filter Stmk	LM a), b) jeweils n = 1	LM a), b), c), d) jeweils n = 2; LM e) n = 1	LM d) n = 2
REF SRM 1649 a Urban dust	LM a), b) jeweils n = 2	LM a), b), c), d), e) jeweils n = 1	LM d) n = 2
REF ERM-CZ100 fine dust	LM a), b) jeweils n = 2	LM a), b), c), d), e) jeweils n = 1	LM d) n = 2

Zeitliche Abstimmung zwischen den Laboratorien

Die Durchführung der Analysen erfolgte in enger Abstimmung zwischen TU Wien, Umweltbundesamt und dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (Ziel: gleiches Zeitfenster für alle Analysen).

3 VERFAHRENSKURZBESCHREIBUNG ANALYTIK

Sämtliche Analysen zur Bestimmung des Einflusses der Lagerungsdauer auf BaP wurden am Umweltbundesamt durchgeführt. Die Analysen zur Bestimmung der Einflüsse durch Verwendung unterschiedlicher Lösungsmittel und Extraktionsverfahren auf BaP erfolgten unter Beteiligung von drei österreichischen Laboratorien, wobei jedes seine jeweilige „Standardmethode“ für die Analyse von BaP in Filterproben anwandte. An der TU Wien und am Umweltbundesamt wurden darüber hinaus weitere Lösungsmittel, in Kombination mittels Ultraschallextraktion, getestet. Für die Tagesfilter (High Vol, Quarzfaserfilter) aus der Steiermark wurde die Kohlenstoffanalytik an der TU Wien durchgeführt.

Die Kurzcharakteristika der angewendeten Bestimmungsverfahren der beteiligten Laboratorien Umweltbundesamt, TU Wien und Amt der Oberösterreichischen Landesregierung werden in nachfolgender Übersicht dargestellt.

Tabelle 6: Kurzcharakteristika der angewendeten Extraktions- und Bestimmungsverfahren der beteiligten Laboratorien (Umweltbundesamt, Technische Universität Wien und Amt der Oberösterreichischen Landesregierung).

Labor	BaP – Kurzbeschreibung des Verfahrens (Grundlage: ÖNORM EN 15549:2008)
Umweltbundesamt (U)	<p>Extraktionsverfahren Ultraschallextraktion (US)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Überführen der Filterstücke in Glas-Vials ● Dotieren der Filterstücke mit deuteriertem BaP (BaP-d12) ● Zugabe von 30 ml Lösungsmittel und 30 Minuten Extraktion im Ultraschallbad bei 30 °C ● Abdekantieren des Extraktes ● Wiederholung der Extraktion mit frischem Lösungsmittel und erneutes Abdekantieren ● Vereinigung der Extrakte, Abblasen und Einengen am Turbovap auf 0,5 ml mit N₂ ● Lösungsmitteltausch zu Acetonitril ● Überführen in Glasmesskolben, Auffüllen bis zur Marke 1 ml mit Acetonitril <p>und Bestimmung mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) in Kombination mit einem Fluoreszenzdetektor (FLD) (HPLC-FLD; Verfahren mit externem Standard mit Wiederfindungskorrektur bzw. -kontrolle über BaP-d12).</p> <p>QM-Maßnahmen: Mitanalyse von zertifiziertem Referenzmaterial ERM-CZ100 sowie SRM 1649a Urban Dust (hier: Aliquot aus gleichem Lot für alle beteiligten Laboratorien) für die Lösungsmittelversuche sowie Mitanalyse von ERM-CZ100 und Kontrollproben (Extraktionslösungen) im Zuge der Lagerungsversuche.</p> <p>Nachweis- (NG) und Bestimmungsgrenzen (BG): Monatsmischproben und Tagesproben: NG: 0,01 ng/m³; BG: 0,02 ng/m³.</p> <p>Messunsicherheit (Analytik): ~ ± 30 % (k = 2).</p>

Labor	BaP – Kurzbeschreibung des Verfahrens (Grundlage: ÖNORM EN 15549:2008)
Technische Universität Wien (TU Wien)	<p>Extraktionsverfahren Ultraschallextraktion (US)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Überführen der Filterstücke in Glasepprouvetten (größere Filter werden in ca. 5 Teile geschnitten) ● Zugabe deuteriertes Perylen (Perylen-d12) als Surrogat ● Zugabe von 5 ml Lösungsmittel und 30 Minuten Extraktion im Ultraschallbad bei Raumtemperatur (25 °C) ● Abdekantieren des Extraktes ● Wiederholung der Extraktion mit frischem Lösungsmittel und erneutes Abdekantieren ● Vereinigung der Extrakte, Zugabe von internem Standard deuteriertes BaP (BaP-d12) und Einengen im Turbovap auf 0,5 ml mit N₂ ● Überführung in GC-Vials <p>und Bestimmung mit Gaschromatographie in Kombination mit massenspektrometrischer Detektion (GC-MS; Kombination aus interner und externer Kalibration; Bestimmung der Wiederfindungsrate mittels d12-Perylen und Volumenkorrektur mittels Injektionsstandard d12-BaP; externe Kalibration).</p> <p>QM-Maßnahmen (Lösungsmittelversuche): Mitanalyse von zertifiziertem Referenzmaterial ERM-CZ100 und SRM 1649a (hier: Aliquot aus gleichem Lot für alle beteiligten Laboratorien).</p> <p>Nachweis- (NG) und Bestimmungsgrenzen (BG): Monatsmischproben: NG: 0,04 ng/m³; BG: 0,08 ng/m³; Tagesproben: NG: 0,08 ng/m³; BG: 0,16 ng/m³.</p> <p>Messunsicherheit (Analytik): ~ ± 30 % (k = 2).</p>
Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (OÖ)	<p>Extraktionsverfahren Beschleunigte Lösungsmittlextraktion (ASE)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Überführen der Filterstücke in Edelstahlzelle ASE ● Dotierung der Filterstücke mit deuteriertem BaP (BaP-d12) ● Extraktion der Filter mit ASE bei 150 °C, 140 bar, 5 Zyklen auf Endvolumen ca. 25 ml ● Einengen des Extraktes im Luftstrom <p>und Bestimmung mit Gaschromatographie in Kombination mit massenspektrometrischer Detektion (GC-MS; Verfahren mit externem Standard mit Wiederfindungskorrektur über BaP-d12).</p> <p>QM-Maßnahmen (Lösungsmittelversuche): Mitanalyse von zertifiziertem Referenzmaterial ERM-CZ100 und SRM 1649a (hier: Aliquot aus gleichem Lot für alle beteiligten Laboratorien).</p> <p>Nachweis- (NG) und Bestimmungsgrenzen (BG): Tagesproben: NG: 0,008 ng/m³; BG: 0,025 ng/m³.</p> <p>Messunsicherheit (Analytik): ~ ± 30 % (k = 2).</p>

Tabelle 7: Kurzcharakteristik Bestimmungsverfahren zur Kohlenstoffanalyse mittels thermo-optischer Methode (Technische Universität Wien; KISTLER et. al 2017).

Labor	Kohlenstoffanalyse – Kurzbeschreibung des Verfahrens OC (organischer Kohlenstoff), EC (elementarer Kohlenstoff), WISOC (Wasserunlöslicher Kohlenstoffanteil), WSOC (Wasserlöslicher Kohlenstoffanteil)
TU Wien	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Ausstanzen von runden Aliquoten mit je 10 mm Durchmesser (jeweils zwei Bestimmungen pro Probe für organischen und elementaren Kohlenstoff (OC, EC)).</i> <p>Die Bestimmung von organischem und elementarem Kohlenstoff in den High-Vol Tagesfiltern erfolgte mittels des thermo-optischen OCEC Analysators.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <i>Analyse gemäß referenziertem Messprotokoll EUSAAR 2 (Cavalli et al., 2010 zit. in Bericht TU Wien, KISTLER et. al. 2017): Die Messung beruht auf der Verbrennung des in der Probe vorhandenen Kohlenstoffs, welche zuerst in Helium-Atmosphäre und anschließend in einer Mischung von Helium und Sauerstoff stattfindet. Der Kohlenstoff wird dabei über einen Katalysator zunächst vollständig in Kohlenstoffdioxid umgewandelt und anschließend zu Methan reduziert und mit einem FID-Detektor gemessen. Der gesamte Verbrennungsprozess wird von einer optischen Messung begleitet (Transmission, 658 nm), wodurch die Anteile von OC und EC unterschieden werden können.</i> <p>Nachweisgrenze: 0,13 µg/m³ für OC und 0,007 µg/m³ für EC.</p> <p>Die Analyse des wasserunlöslichen organischen Kohlenstoffs (WISOC) erfolgte mit der gleichen Methode wie o. a., jedoch nach einer entsprechenden Vorbehandlung einer weiteren Filterstanze durch vorhergehende Elution mit 25 ml Milli-Q Wasser und anschließender Trocknung im Exsikkator. Das Verfahren basiert auf den Arbeiten von Yttri et al., 2009 und Piazzalunga et al., 2011. Der wasserlösliche Anteil des organischen Kohlenstoffs (WSOC) berechnet sich aus der Differenz zur ursprünglichen OC-Messung.</p>

4 AUSWERTUNG

Die statistische Datenbearbeitung und Auswertung der Analysenergebnisse erfolgte am Umweltbundesamt.

4.1 Angaben zur Auswertung und Erstellung der Grafiken

4.1.1 Auswertung der Einflüsse der Lagerungsdauer

Die Versuche zum Einfluss der Lagerungsdauer wurden gemäß Projektkonzept für die Monatsmischproben der Low Vol Filter (Glasfaserfilter) der fünf Kärntner Standorte durchgeführt.

Bei den Lagerungsversuchen für alle Standorte STO 1 bis STO 5 für Jänner 2017 (alle Durchgänge) wurden die Ergebnisse ohne Surrogatkorrektur über BaP-d12 einheitlich ausgewertet, da aufgrund der Belastung der Filter die Surrogatkonzentration in den resultierenden Verdünnungen nicht ausreichend hoch war. Bei den Lagerungsversuchen für STO 5 für Februar 2017 (alle Durchgänge 1 bis 7) wurden analog die Messergebnisse ohne Surrogatkorrektur herangezogen, um eine einheitliche Vorgangsweise für die Datenreihe zu gewährleisten.

Nach Anpassung der Surrogatkonzentration für die belasteten Filterproben ab 5. Durchgang Jänner 2017 für alle Standorte bzw. ab 4. Durchgang Februar 2017 für STO 5 resultierten Wiederfindungsraten für BaP-d12 im Bereich von 87–114 %.

Für die Monate November 2017 und Dezember 2017 wurden für alle Standorte die Surrogatkonzentrationen entsprechend angepasst und die Filterproben nach Surrogatkorrektur ausgewertet. Die Detailergebnisse werden in Tabelle 20 im Anhang einzeln dargestellt.

Die Auswertung der Lagerungsversuche erfolgte

- a. durch Vergleich der einzelnen Ergebnisse pro Durchgang in Bezug zum berechneten Mittelwert über die Ergebnisse aller 7 Durchgänge und andererseits
- b. durch Vergleich der einzelnen Ergebnisse pro Durchgang in Bezugnahme auf den 1. Durchgang (Analyse gemäß Normanforderung ÖNORM EN 15549:2008 binnen 2 Monate nach Probenahme Extraktion der Filter und Analyse unmittelbar bzw. spätestens binnen eines Monats mit gekühlter Lagerung der Extrakte).

Die so ermittelten Wiederfindungsraten wurden für alle Standorte, getrennt nach Monaten mit hoher, mittlerer und niedrigerer Belastung grafisch dargestellt und diskutiert. Des Weiteren wurden Grafiken, getrennt pro Standort für alle untersuchten Monatsmischproben und Durchgänge erstellt und kommentiert.

4.1.2 Auswertung der Lösungsmittelversuche

Bei der Untersuchung des Einflusses der Lösungsmittel wurden alle Analyseergebnisse für Benzo(a)pyren der Referenzmaterialien ERM-CZ100 „Fine dust“ sowie SRM 1649a „Urban dust“ von den drei beteiligten österreichischen Laboratorien des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, der TU Wien und des Umweltbundesamtes zusammengestellt und auf Plausibilität geprüft.

Für die Referenzmaterialien ERM-CZ100 und SRM 1649a ergaben sich deutlich ausgeprägte Minderbefunde im Bereich von 36–56 % Wiederfindungsrate, bezogen auf den Sollwert lt. Zertifikat für die Lösungsmittel n-Hexan sowie Cyclohexan in Kombination mit dem Extraktionsverfahren Ultraschall (siehe Tabelle 19).

Zur Ermittlung eines sogenannten „konventionell richtigen Wertes“ für BaP in den Filterproben wurden somit sowohl alle Ergebnisse der Lösungsmittel n-Hexan:Aceton, Toluol, Dichlormethan:Cyclohexan in Kombination mit dem Extraktionsverfahren Ultraschall als auch die Ergebnisse für Cyclohexan in Kombination mit der beschleunigten Lösungsmittelextraktion (ASE) herangezogen.

Die Ergebnisse für BaP sowie die berechneten Wiederfindungsraten für die einzelnen Lösungsmittel/Extraktionsverfahren für alle Laboratorien finden sich bei den Datentabellen im Anhang (siehe Tabelle 21).

Zur Auswertung aller Filterproben (Monatsmischproben bzw. Tagesfilter) wurden Grafiken der Wiederfindungsraten in Bezug zum ermittelten „konventionell richtigen Wert“ für alle untersuchten Lösungsmittel in Kombination mit Ultraschall bzw. Cyclohexan in Kombination mit der beschleunigten Lösungsmittelextraktion (ASE) erstellt. Die so ermittelten Sollwerte, Standardabweichungen sowie relativen Standardabweichungen zwischen den Lösungsmitteln (% RSD) werden in nachfolgenden Tabellen angeführt (Statistik ohne n-Hexan/US und ohne Cyclohexan/US).

Tabelle 8: Auswertung der Lösungsmittelinflüsse – Ermittlung des sog. „konventionell richtigen Wertes“ (Sollwert) für BaP in den Low Vol Monatsmischproben (Darstellung der Sollwerte und Standardabweichungen zur Nachvollziehbarkeit auf 2 Nachkommastellen, RSD auf 1 Nachkommastelle).

STO/Monatsmischproben Low Vol (Glasfaserfilter)	Konventionell richtiger Wert (Sollwert) in ng/m ³	Standardabweichung in ng/m ³	% RSD
STO 1	2,38	0,26	10,9
STO 2	2,43	0,27	11,1
STO 3	0,92	0,06	6,5
STO 4	5,59	1,03	18,4
STO 5	13,00	4,02	30,9

Tabelle 9: Auswertung der Lösungsmittelinflüsse – Ermittlung des sog. „konventionell richtigen Wertes“ (Sollwert) für BaP in den High Vol Tagesfilterproben (Darstellung der Sollwerte und Standardabweichungen zur Nachvollziehbarkeit auf 2 Nachkommastellen, RSD auf 1 Nachkommastelle).

STO/Tagesproben High Vol (Quarzfaserfilter)	Konventionell richtiger Wert (Sollwert) in ng/m ³	Standardabweichung in ng/m ³	% RSD
STO A	2,55	0,56	22,1
STO B	5,65	0,81	14,4
STO C_T1	5,13	0,35	6,8
STO C_T2	2,18	0,37	17
STO C_T3	3,08	0,36	11,7

Die Bereiche zwischen 80 % und 120 % Wiederfindungsrate, bezogen auf die o. a. Sollwerte wurden in den Grafiken markiert (strichlierte Linie). Die Lösungsmittel wurden ebenfalls farblich gekennzeichnet (ähnliche Farbtöne für gleichartige Lösungsmittel, getestet in verschiedenen Laboratorien).

4.1.3 Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit innerhalb eines Labors

Zur Ermittlung der Abweichungen innerhalb eines Labors unter Wiederholbedingungen wurden die Standardabweichungen der unabhängigen Doppelbestimmungen für n-Hexan:Aceton/US und Toluol/US für die beiden Laboratorien 1 und 2 sowie die Standardabweichung für Cyclohexan/ASE berechnet und über alle 5 Tagesfilterproben ausgewertet.

Die Wiederholbarkeit innerhalb eines Labors für die Tagesfilterproben beläuft sich bei Verwendung eines Lösungsmittels und zwei unabhängigen Ansätzen (Einsatz jeweils 1/16 Filter) zwischen **1,1–16 % (im Mittel 6 %)** für **n-Hexan:Aceton/US** bzw. zwischen **0,2–7 % (im Mittel 4 %)** für **Toluol/US**. Die relativen Standardabweichungen für **Cyclohexan/ASE** liegen für die Tagesfilterproben zwischen **3–15 % (im Mittel 3 %)**.

Für den **Vergleich des Einflusses der Lösungsmittel innerhalb eines Labors** wurden die Daten für **n-Hexan:Aceton/US** und **Toluol/US** herangezogen.

Es wurde die Differenz zwischen den Ergebnissen für BaP in ng/m³ berechnet (Einzelergebnisse für Low Vol und Mittelwerte für High Vol) und auf den Mittelwert der beiden Lösungsmittel innerhalb des Labors bezogen und mit 100 multipliziert (ergibt % Abweichung, bezogen auf den jeweiligen Mittelwert).

Für die **Low Vol Filter** resultierten **Abweichungen zwischen –8 % bis +10 % (im Mittel 3 %)** und für die **High Vol Filter** Abweichungen zwischen **–28 % bis +47 % (Labor 2)** bzw. **< 1 % bis +18 % (Labor 1)**. (Zum Teil höhere Gehalte an BaP bei Aceton:n-Hexan/US im Vergleich zu Toluol/US.)

4.1.4 Vergleichbarkeit zwischen Laboratorien bei Verwendung gleicher Lösungsmittel/Extraktionsverfahren

Es wurde die Differenz zwischen den Ergebnissen für BaP in ng/m³ berechnet (Einzelergebnisse für Low Vol und Mittelwerte für High Vol) und auf den Mittelwert der beiden Laboratorien für ein bestimmtes Lösungsmittel bezogen und mit 100 multipliziert (ergibt % Abweichung, bezogen auf den jeweiligen Mittelwert).

Für die **Low Vol Filter** resultierten **Abweichungen zwischen 9 % und 36 %** (65 % bei STO 5 als Ausreißer eliminiert) für **Aceton:n-Hexan/US** und Abweichungen zwischen **9 % und 37 %** (58 % bei STO 5 als Ausreißer eliminiert) für **Toluol**. Die Ergebnisse für BaP Labor 1 lagen stets unter jenen des Labors 2 (bei beiden Lösungsmitteln).

Bei den **High Vol Filtern** resultierten Abweichungen im Bereich von **1,2–29 %** (Hinweis: 29 % bei STO C_T3) für **Aceton:n-Hexan/US** und Abweichungen zwischen **2 % und 32 % für Toluol**.

4.1.5 Abschätzung der Messunsicherheit auf Basis der vorhandenen Filterdaten

Die Messunsicherheiten wurden für die Filterproben aus Kärnten und der Steiermark unter Zugrundelegung des jeweiligen sog. „konventionell richtigen Wertes“ über alle Bestimmungen der Laboratorien mittels der Wurzel der Quadratesumme der Abweichungen dividiert durch die Anzahl an Daten ermittelt.

Tabelle 10: Messunsicherheiten für BaP in Filterproben für die behandelten Lösungsmittel/Extraktionsverfahren.

Lösungsmittel/Extraktionsverfahren	MU in %	N	MU (k = 2) in %
Aceton:n-Hexan/US	18	30	36
Toluol/US	13	30	26
Cyclohexan/ASE	18	10	36
n-Hexan/US	38	5	76
Cyclohexan/US	44	15	88
Dichlormethan:Cyclohexan (DCM:c-Hexan)	10	15	20

Aufgrund der verfügbaren Daten ergeben sich für die Messunsicherheit etwa ± 13 bis ± 18 % für die geeigneten Lösungsmittel/Extraktionsverfahren, die erweiterte Messunsicherheit (k = 2) beträgt ± 26 % bis ± 36 %.

Im Rahmen eines europäischen Ringversuches zur Analytik von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (inkl. BaP) in PM₁₀-Quarzfaserfilterproben unter Beteiligung von EU-Referenzlaboratorien wurden für aromatische Kohlenwasserstoffe etwa ± 30 % bis zu ± 50 % erweiterte Messunsicherheit angegeben, für BaP wurde eine Messunsicherheit im Bereich von ± 7 bis ± 27 % ermittelt (PÉREZ BALLESTA et. al 2014).

4.2 Einflussfaktor Lagerungsdauer

4.2.1 Qualitätssichernde Maßnahmen – Referenzmaterial und Kontrollproben

Das zertifizierte Referenzmaterial ERM-CZ100 „Fine dust (PM₁₀-like matrix)“ wurde bei allen Messserien der Lagerungsversuche begleitend extrahiert (Einwaage je 50 mg) und analysiert. Die Messungen für die Lagerungsversuche erfolgten im Zeitraum Februar 2017 bis Jänner 2019.

Die mittlere Wiederfindungsrate über 25 Messserien des Referenzmaterials für ERM-CZ100 betrug 100 +/- 4 % für das Extraktionsverfahren Ultraschall mit Lösungsmittel Aceton:n-Hexan im Verhältnis 1:1 (siehe Tabelle 16 im Anhang).

Gemeinsam mit den Messserien der Proben wurden zusätzlich zum Referenzmaterial zwischenzeitlich gekühlte Rückstellproben der Extraktionslösungen des STO 5 (hohe Belastung) mitanalysiert und ausgewertet.

Die Daten belegen, dass die Vergleichbarkeit der Messungen im Rahmen der Messunsicherheit gegeben war (Hinweis: bis etwa 6 bis max. 7 Entnahmen aus

der Rückstellprobe relativ unbeeinflusst von Anreicherungen durch das wiederholte Öffnen und Schließen/Kühlen der Rückstellprobenextrakte) (siehe Tabelle 17 und Tabelle 18 im Anhang).

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass ein bis zu 10-fach erhöhter Surrogatzusatz bei hoch belasteten Filterproben zielführend war (siehe Tabelle 18 im Anhang).

Zu geringe Surrogatzusätze führen in Zusammenhang mit höher konzentrierten Filterprobenextrakten im Zuge der notwendigen Verdünnungen der Extrakte zu vielfachen Minderbefunden (beobachtet wurde tendenziell eine Überschätzung der BaP-d12 Surrogatkonzentration bis zu 40 %) und zu stark schwankenden Ergebnissen bei der Wiederfindungskorrektur über die resultierenden geringen Gehalte an BaP-d12 in der Verdünnung der Probenextrakte.

4.2.2 Filterproben

Mittels der Versuchsreihe sollte geklärt werden, ob eine Lagerung bei -18 °C in Glaspetrischalen signifikante Veränderungen bei der Konzentration an BaP ergibt.

Dazu wurden an fünf ausgewählten Standorten des Immissionsmessnetzes vom Land Kärnten die Monatsmischproben für Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017, bestehend aus jeweils 8 mm Stanzen pro Tag, herangezogen (tatsächlich zwischen 24 bis 31 Stanzen pro MMP, siehe Tabelle 20 im Anhang).

Zur Auswertung des Einflusses auf die Lagerungsdauer bei -18 °C wurden die Benzo(a)pyren-Wiederfindungsraten für die Konzentrationen von Benzo(a)pyren der Low-Vol Glasfaserfilter, jeweils nach der Lagerungsdauer getrennt für die Monatsmischproben der Monate Jänner, Februar, Juni, November und Dezember für jeden Monat einzeln dargestellt.

Betrachtete Lagerungsintervalle:

- Zeitrahmen gemäß Norm (1. DG) sowie nach 2 Monaten (2. DG), nach 4 Monaten (3. DG), nach 6 Monaten (4. DG), nach 8 Monaten (5. DG), nach 10 Monaten Lagerung im Tiefkühler wie o. a. (6. DG) und bis zur Lagerungsdauer von 1 Jahr (7. DG) (siehe auch Übersicht zur Lagerungsdauer gemäß Projektkonzept in Tabelle 1).

Beim Monat mit erwarteter niedriger Belastung (Juni 2017) wurden Gehalte unter der Bestimmungsgrenze mit dem Wert der Bestimmungsgrenze für die Ergebnisberechnung und eine grafische Darstellung einbezogen. In den Grafiken zur Darstellung der Wiederfindungsrate wurden diese Werte durch Zusatz von „< BG“ in den Balken entsprechend gekennzeichnet.

Abbildung 1 stellt die BaP-Wiederfindungsraten, mit dem Mittelwert als Basis, der hoch belasteten Dezember-Monatsmischproben von Standort 1–5 über alle 7 Durchgänge dar. Es ist ersichtlich, dass sich die Wiederfindungsraten, mit Werten zwischen 92 % und 116 %, über alle 7 Durchgänge annähernd konstant verhalten.

Die Wiederfindungsraten, der ebenfalls hoch belasteten November-Monatsmischproben, in Abbildung 2 dargestellt, bestätigen dies. Die BaP-Wiederfindungsraten, welche sich zwischen 94 % und 107 % bewegen, zeigen sich über alle 7 Durchgänge durchaus konstant. Dies deutet darauf hin, dass die Lagerungsdauer bei -18 °C keinen signifikanten Einfluss auf die BaP-Konzentration im Low-Vol Filter hat.

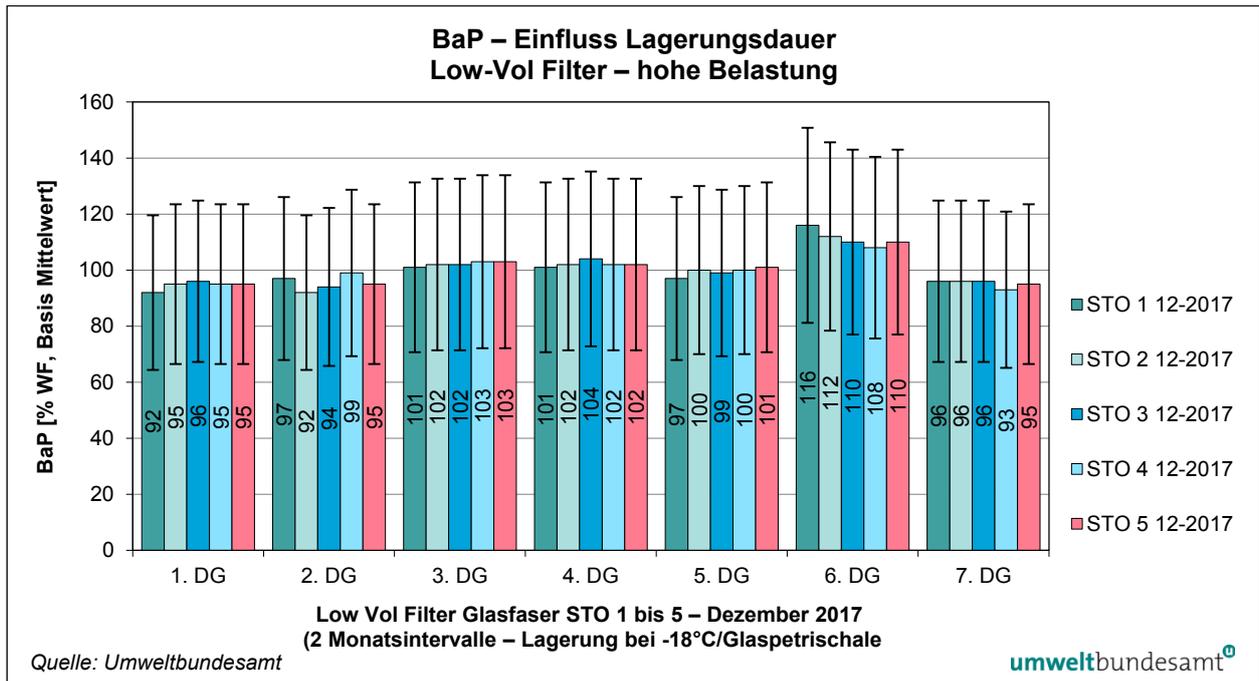


Abbildung 1: Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Dezember 2017. Es sind die BaP-Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

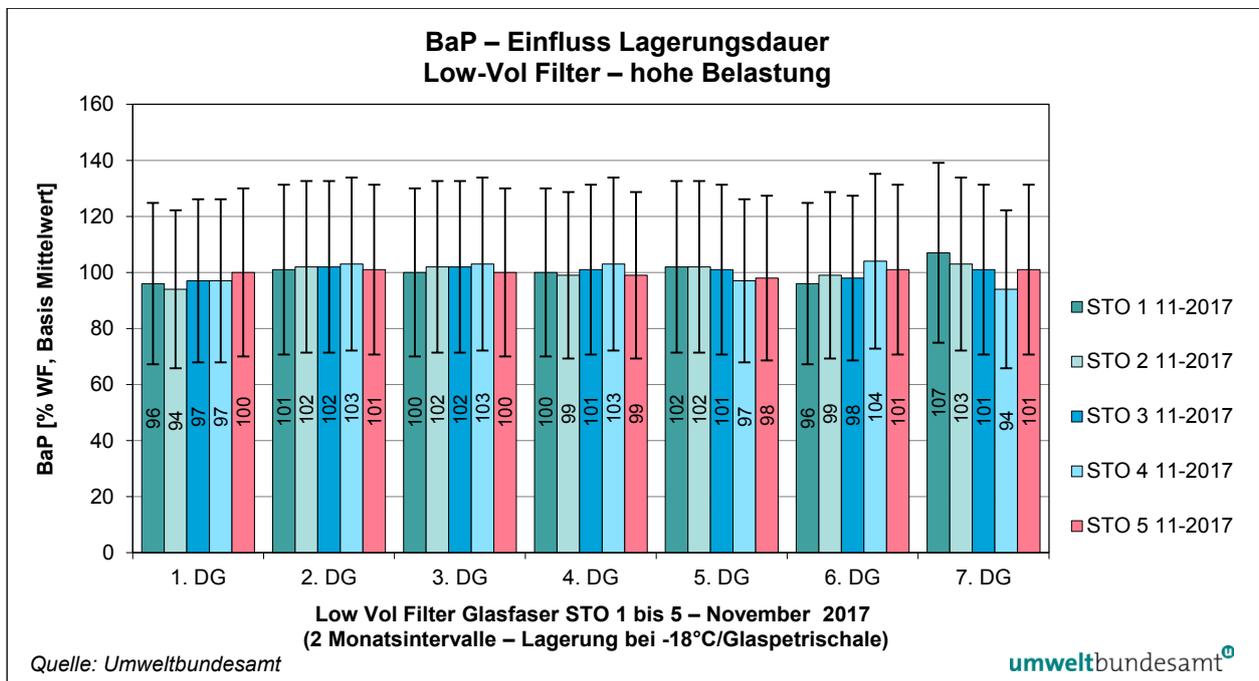


Abbildung 2: Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom November 2017. Es sind die BaP-Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

Im Gegensatz zu den hoch belasteten Monatsmischproben von Dezember und November zeigen die niedrig belasteten Monatsmischproben von Juni weniger konstante BaP-Wiederfindungsraten (siehe Abbildung 3).

Speziell der Standort 1 zeigt starke Streuungen mit Werten zwischen 67 % (< BG) bzw. 72–127 %.

Dies ist höchstwahrscheinlich auf die niedrigen BaP-Konzentrationen der Monatsmischproben Juni zurückzuführen, welche sich nahe an bzw. unterhalb der Bestimmungsgrenze bewegen und es lässt sich daraus kein negativer Effekt durch die Lagerung schließen.

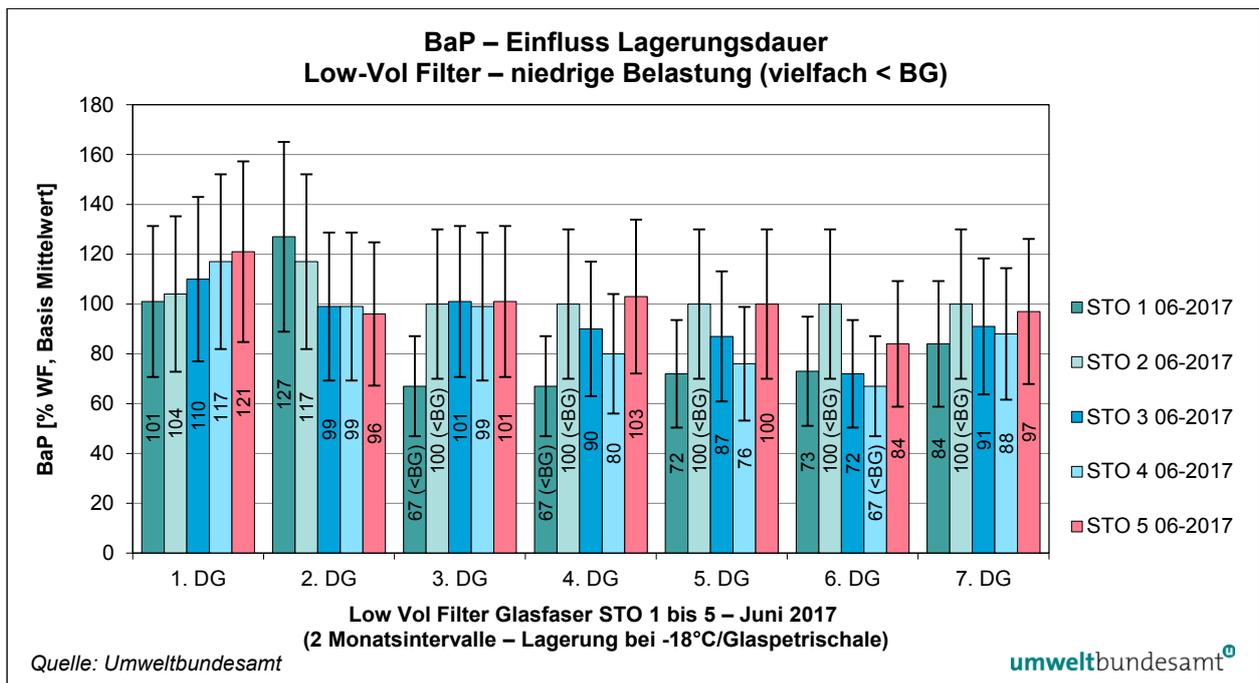


Abbildung 3: Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in niedrig belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Juni 2017. Es sind die BaP-Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

In Abbildung 4 sind die BaP-Wiederfindungsraten der Monatsmischproben Februar, über sieben Durchgänge, dargestellt. Es ist ersichtlich, dass sich auch hier, bis auf den höchstbelasteten Standort 5, ein annähernd konstantes Verhalten der BaP-Wiederfindungsraten, bei einer Lagerung von bis zu einem Jahr, abzeichnet.

Die Werte der BaP-Wiederfindungsraten bewegen sich im Bereich zwischen 80 % und 110 %. Würde der Wert des 1. Durchganges von Standort 5 ausgenommen werden, lägen die Werte der Wiederfindungsraten im Bereich zwischen 91 % und 110 %.

Es ist zu betonen, dass sämtliche sieben Durchgänge für Standort 5 ohne Korrektur über BaP-d12 ausgewertet wurden, da aufgrund der hohen Belastung erst ab dem 4. Durchgang die Surrogatkonzentration auf bis das 10-Fache des Ausgangswertes erhöht wurde.

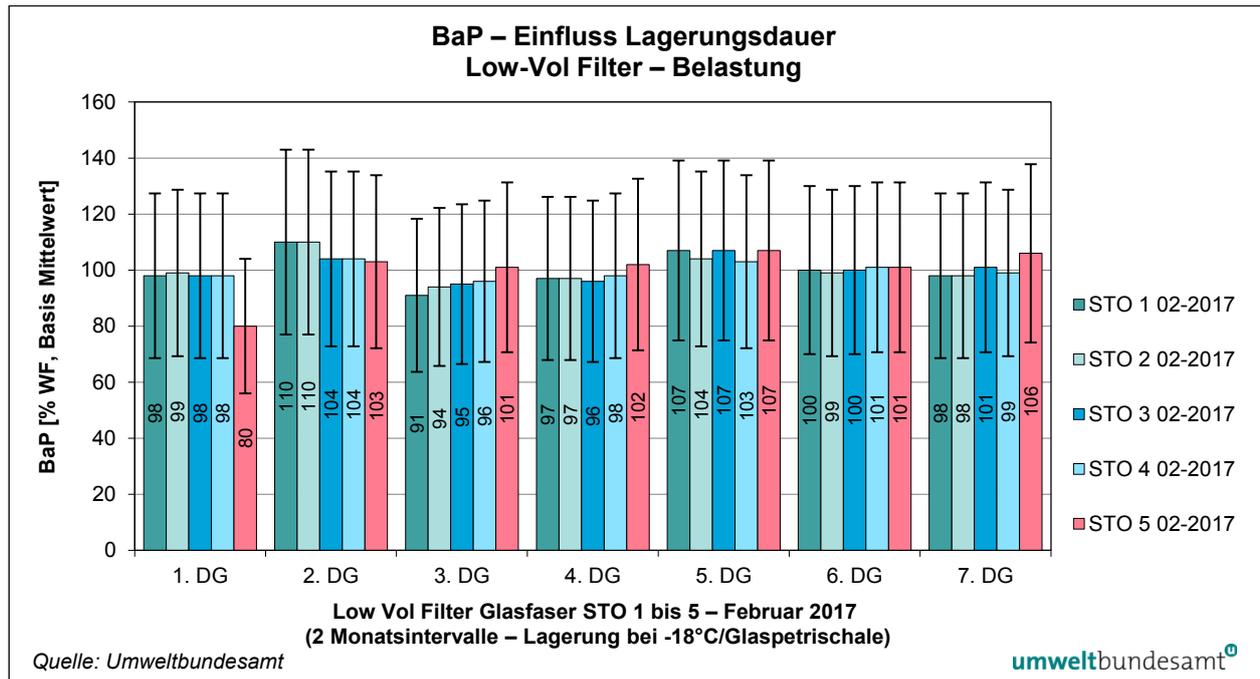


Abbildung 4: Einfluss der Lagerungsdauer bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf die BaP-Wiederfindungsraten in belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Februar 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

Standort 5 zeigt beim ersten Durchgang eine um 20 % geringere BaP-Wiederfindungsrate, im Vergleich zu den weiteren Durchgängen. Diese Abweichungen sind höchstwahrscheinlich auf das stark erhöhte BaP-Konzentrationslevel bei STO 5 zurückzuführen, welches eine erhöhte Streuung in der Analytik verursacht.

Es ist aufgrund der Projekterfahrungen davon auszugehen, dass insbesondere bei hohen Konzentrationen von BaP in Filterproben (hohe Belastungen bis Faktor 5–10 über dem Grenzwert) bei der Durchführung der Analysen ein besonderes Augenmerk auf eine entsprechende Anpassung/Erhöhung der Surrogatkonzentration zu legen ist.

Abbildung 5 stellt die BaP-Wiederfindungsraten der hoch belasteten Monatsmischproben vom Jänner aller fünf Standorte, über alle sieben Durchgänge, dar. Alle Daten wurden ohne Korrektur über BaP-d12 ausgewertet (Grund: Zusatz zu niedrig, nach Verdünnung auf 1:5 bis 1:10 im Schwankungsbereich der Methode; ab 5. Durchgang Surrogatzusatz angepasst – Kontrolle ergibt 82–114 % WF BaP-d12).

Es ist ersichtlich, dass die BaP-Wiederfindungsraten der Monatsmischproben Jänner im Verlauf der Lagerung ab Durchgang 3 stark zunehmen. Die BaP-Wiederfindungsraten des 1. und 2. Durchgangs liegen zwischen 72 % und 90 %, und die der Durchgänge 3, 4, und 5 zwischen 93 % und 120 %.

Dies ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine Störung in der Analytik bei hoch belasteten Filterproben zurückzuführen, welche aber bei allen weiteren Monatsmischproben durch Anpassung der Surrogatkonzentration behoben werden konnte (vgl. November- und Dezember-Grafiken).

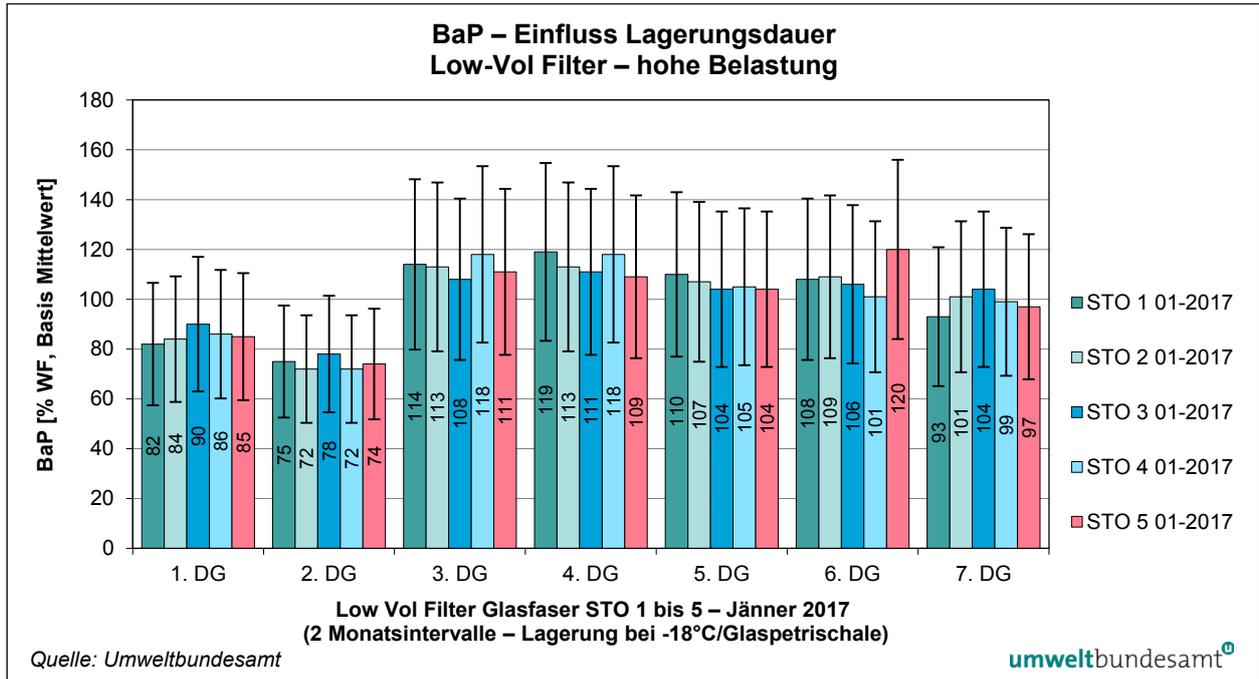


Abbildung 5: Einfluss der Lagerungsdauer bei -18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Mittelwert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

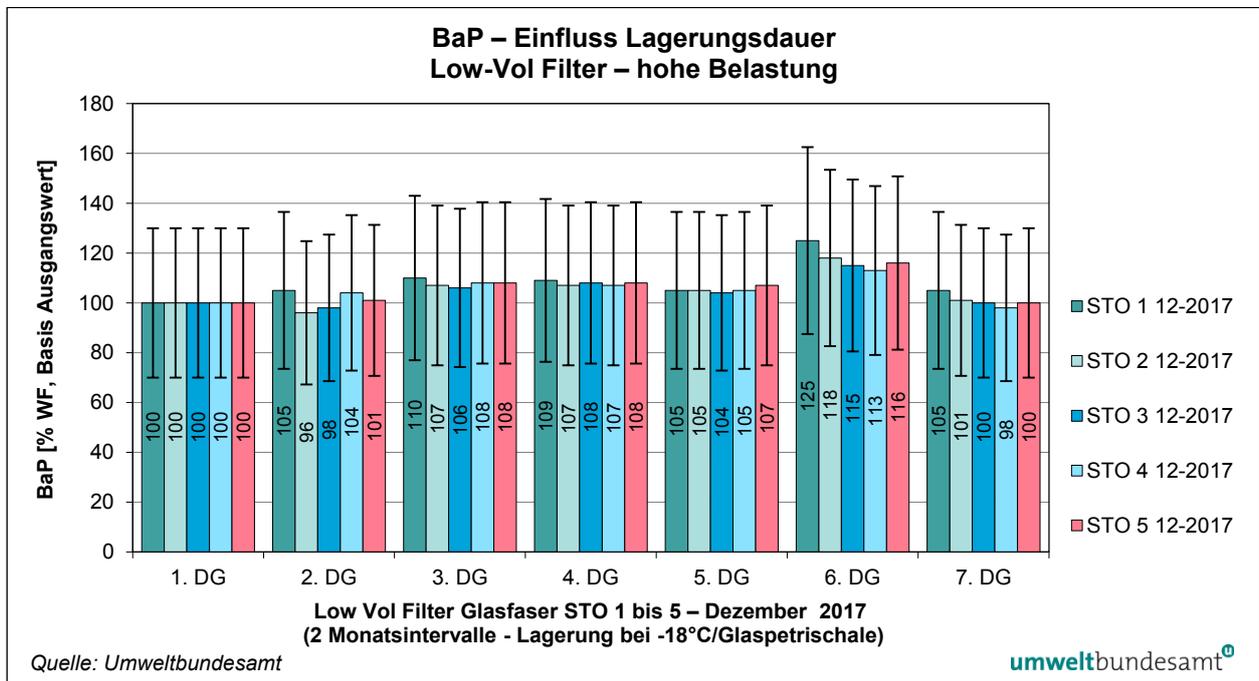


Abbildung 6: Einfluss der Lagerungsdauer bei -18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Dezember 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

Abbildung 6 stellt die BaP-Wiederfindungsraten, mit den Ausgangswerten als Basis, für die hoch belasteten Dezember-Monatsmischproben über sieben Durchgänge dar. Die BaP-Wiederfindungsraten variieren hier zwischen 96 % und 125 %. Auch diese grafische Darstellung bestätigt, dass sich die BaP-Wiederfindungsraten über die Lagerungsdauer von einem Jahr konstant verhalten und bestätigt, dass kein signifikanter Einfluss der Lagerung bei -18 °C auf die BaP-Konzentrationen in Glasfaserfiltern zu beobachten ist.

Abbildung 7, welche die BaP-Wiederfindungsraten der hoch belasteten Monatsmischproben vom November grafisch darstellt, bestätigt diese Annahme. Es zeigt sich über alle sieben Durchgänge bei allen fünf Standorten ein konstantes Verhalten, mit Wiederfindungsraten zwischen 97 % und 112 %.

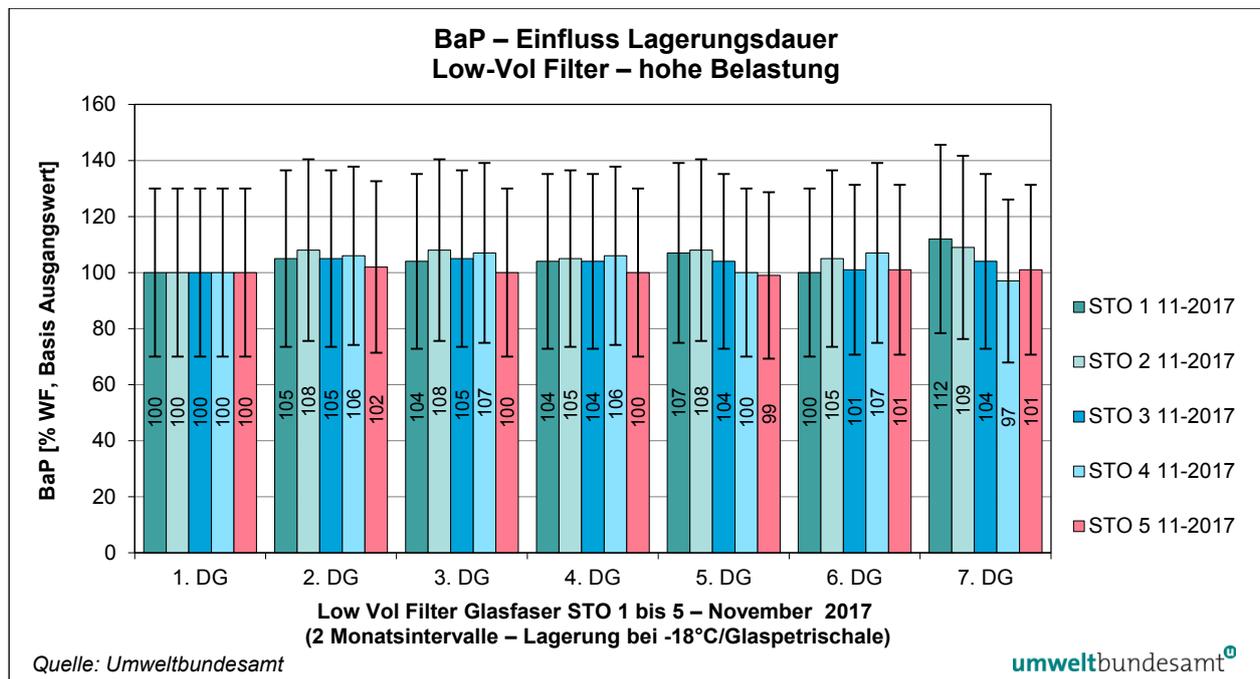


Abbildung 7: Einfluss der Lagerungsdauer bei -18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom November 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

In Abbildung 8 sind die BaP-Wiederfindungsraten, mit den Ausgangswerten als Basis, der Monatsmischproben vom Juni 2017 grafisch erfasst. Es ist ein deutlich weniger konstantes Verhalten der BaP-Wiederfindungsraten zu erkennen, was, wie auch schon in Abbildung 3, mit großer Wahrscheinlichkeit auf die niedrigen Konzentrationen der Monatsmischproben Juni und der damit verbundenen Messung nahe an bzw. unterhalb der Bestimmungsgrenze zurückzuführen ist. Speziell der Standort 1 zeigt im Verlauf der sieben Durchgänge weniger konstante BaP-Wiederfindungsraten im Vergleich zu den anderen vier Standorten. Die Werte variieren hier zwischen ($< BG$ 66 %) 71 % und 125 %.

In Abbildung 9 sind die BaP-Wiederfindungsraten, mit den Ausgangswerten als Basis, der Monatsmischproben Februar grafisch dargestellt. Bis auf den Standort 5 (keine BaP-d12 Surrogatkorrektur) zeigen auch hier die Wiederfindungsraten ein konstantes Verhalten über die sieben Durchgänge auf, mit BaP-Wiederfindungsraten zwischen 93 % und 112 %. Wie auch schon in Abbildung 4, sind

die ab Durchgang 2 erhöhten BaP-Wiederfindungsraten bei Standort 5 (zwischen 127 % und 133 %) möglicherweise auf ein erhöhtes BaP-Konzentrationslevel zurückzuführen, was eine Streuung in der Analytik verursacht.

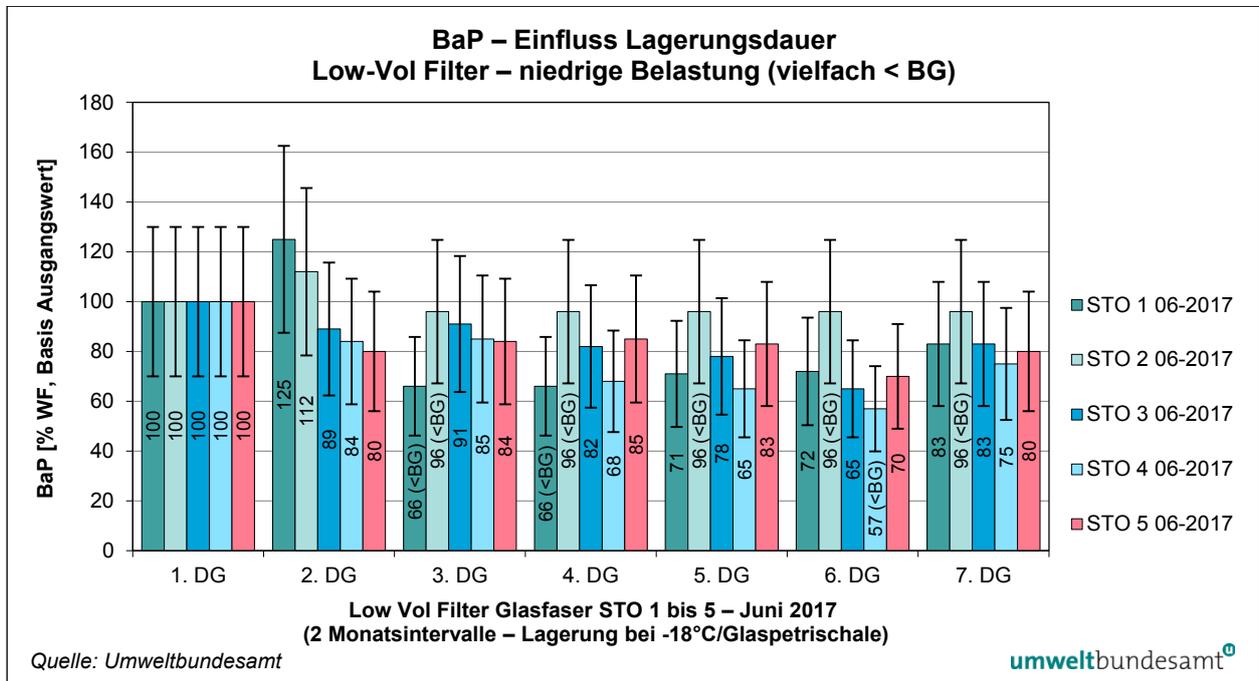


Abbildung 8: Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in niedrig belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Juni 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

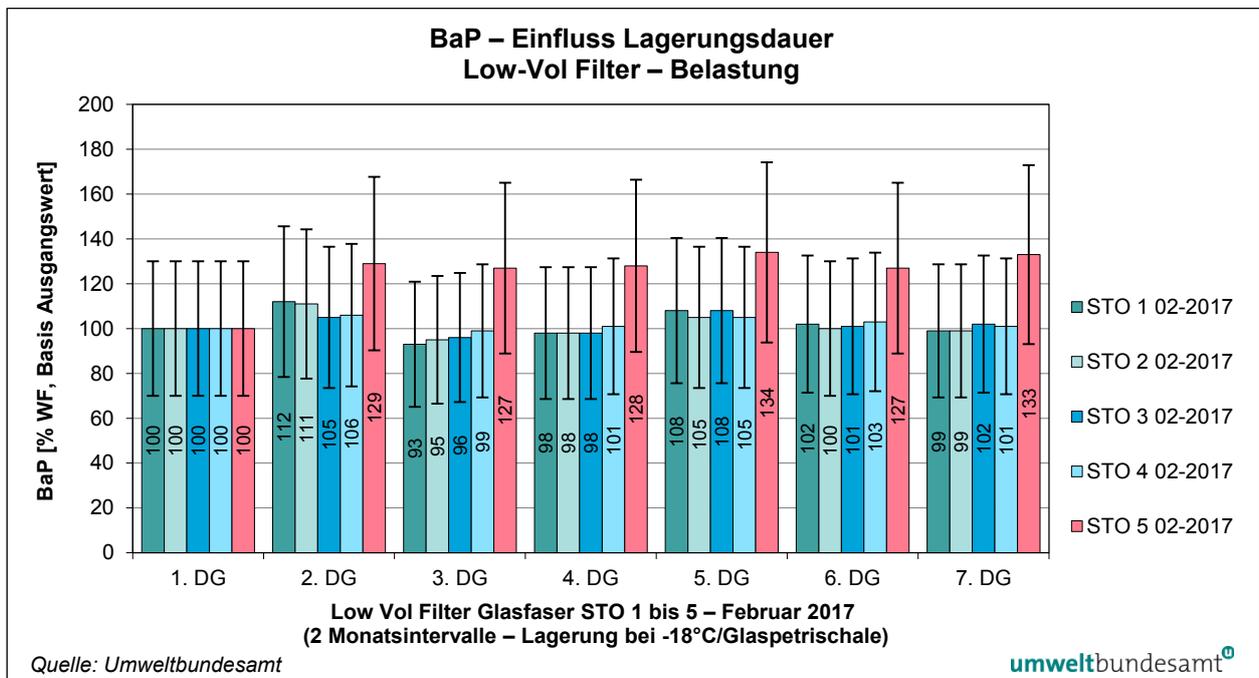


Abbildung 9: Einfluss der Lagerungsdauer bei –18 °C auf die BaP-Wiederfindungsraten in belasteten Low-Vol Glasfaserfiltern vom Februar 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

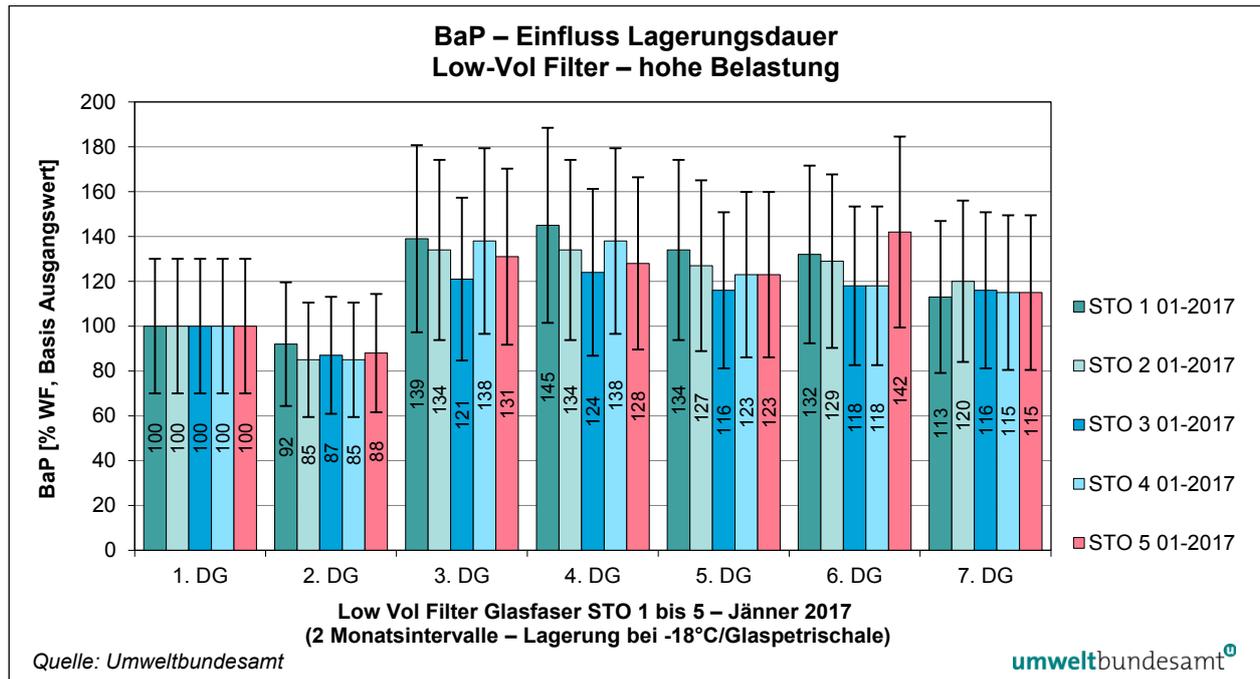


Abbildung 10: Einfluss der Lagerungsdauer bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf die BaP-Wiederfindungsraten in hoch belasteten Low-Vol Glasfiltern vom Jänner 2017. Es sind die Wiederfindungsraten, mit dem jeweiligen Ausgangswert als Basis, der Proben aller 5 Standorte über 7 Durchgänge dargestellt.

Abbildung 10 zeigt, wie auch schon Abbildung 5, erhöhte BaP-Wiederfindungsraten ab Durchgang 3 (Hinweis: generell im Jänner 2017 keine BaP-d12 Surrogatkorrektur; erst ab 5. DG Surrogatzusatz deutlich erhöht). Die Werte liegen hier zwischen 113 % und 145 % und sind damit deutlich höher als noch im Durchgang 2, mit Werten zwischen 85 % und 92 %. Dies ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine Störung in der Analytik zurückzuführen, welche aber bei allen weiteren Monatsmischproben durch Anpassung der Surrogatkonzentration behoben werden konnte.

In Abbildung 11 sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben von Standort 1 ersichtlich. Bis auf die Monatsmischproben vom Jänner zeigen die anderen vier Monatsmischproben konstante BaP-Konzentrationen über alle sieben Durchgänge. Die Werte der BaP-Konzentrationen liegen für die Monatsmischproben Jänner zwischen $3,50\text{ ng/m}^3$ und $5,50\text{ ng/m}^3$. Dies ist, wie auch schon bei Abbildung 5 und Abbildung 10 erwähnt, mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine Störung in der Analytik zurückzuführen, welche aber bei allen weiteren Monatsmischproben durch Anpassung der Surrogatkonzentration behoben werden konnte. Es ist auch deutlich zu erkennen, dass sich sowohl die Werte der hoch belasteten Monatsmischproben vom Dezember und Jänner ebenso konstant über die Lagerungsdauer von einem Jahr verhalten, wie die niedrig belasteten Monatsmischproben vom Juni. Die Werte der Monatsmischproben vom Februar befinden sich zwischen $2,00\text{ ng/m}^3$ und $2,42\text{ ng/m}^3$, die der Juni-Probe zwischen $< 0,0200\text{ ng/m}^3$ und $0,0380\text{ ng/m}^3$, die der November-Monatsmischprobe zwischen $2,26\text{ ng/m}^3$ und $2,51\text{ ng/m}^3$ und die der Dezember-Monatsmischproben zwischen $3,26\text{ ng/m}^3$ und $4,08\text{ ng/m}^3$. Dies bestätigt die Annahme, dass die Lagerungsdauer der Low-Vol Glasfaserfilter in Glaspetrischalen bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ keinen Einfluss auf die BaP-Konzentration nach einer Lagerung von bis zu einem Jahr hat. Diese Annahme wird auch in den weiteren Darstellungen in Abbildung 12, Abbildung 13, Abbildung 14, und Abbildung 15 bestätigt.

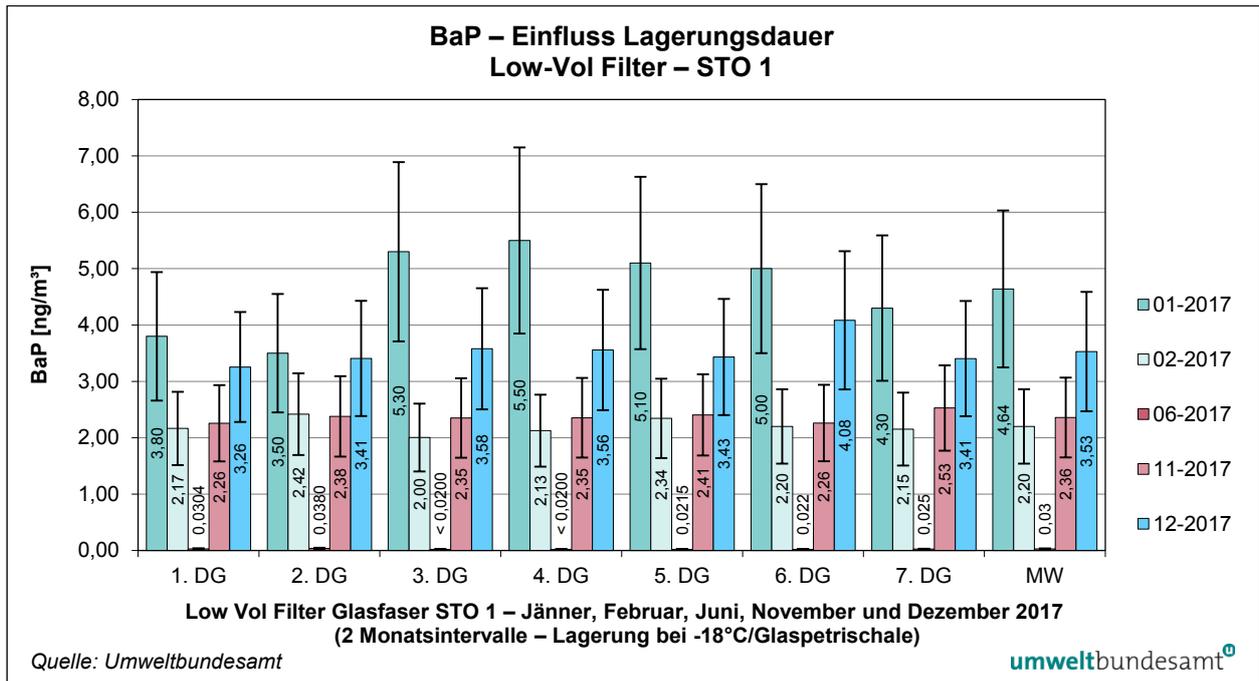


Abbildung 11: Einfluss der Lagerungsdauer bei -18 °C auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 1 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen. Messwerte unter der Bestimmungsgrenze werden durch Zusatz „<“ gekennzeichnet.

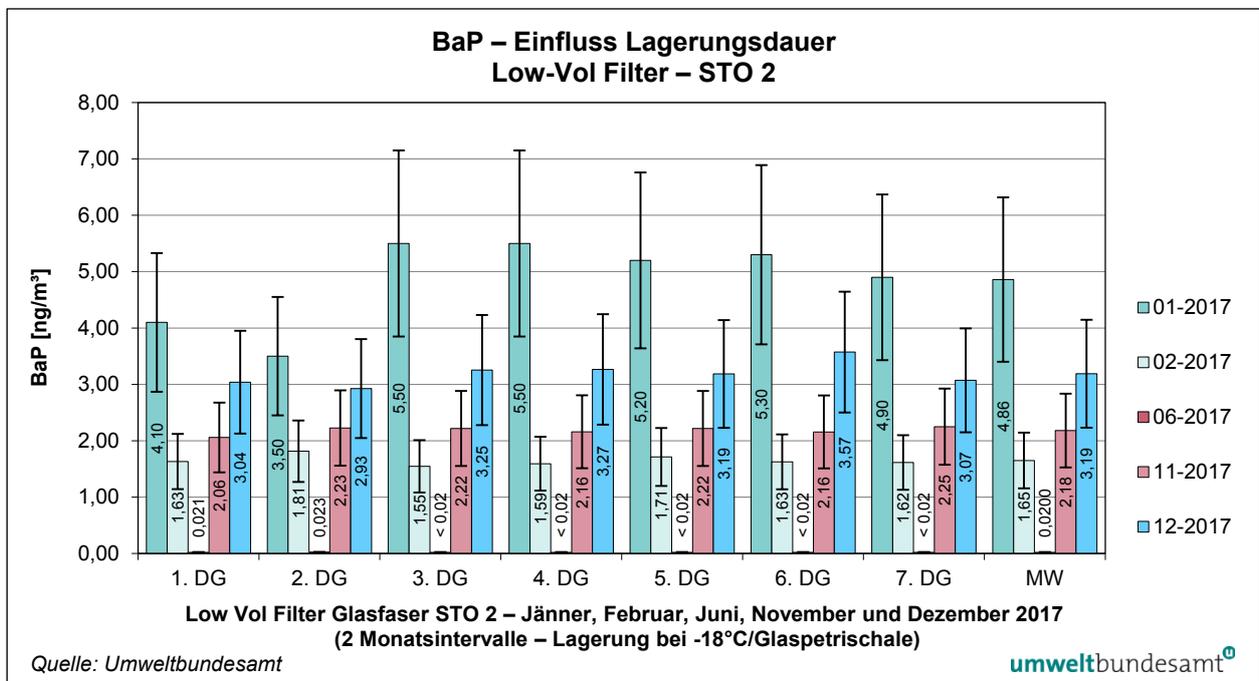


Abbildung 12: Einfluss der Lagerungsdauer auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 2 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen. Messwerte unter der Bestimmungsgrenze werden durch Zusatz „<“ gekennzeichnet.

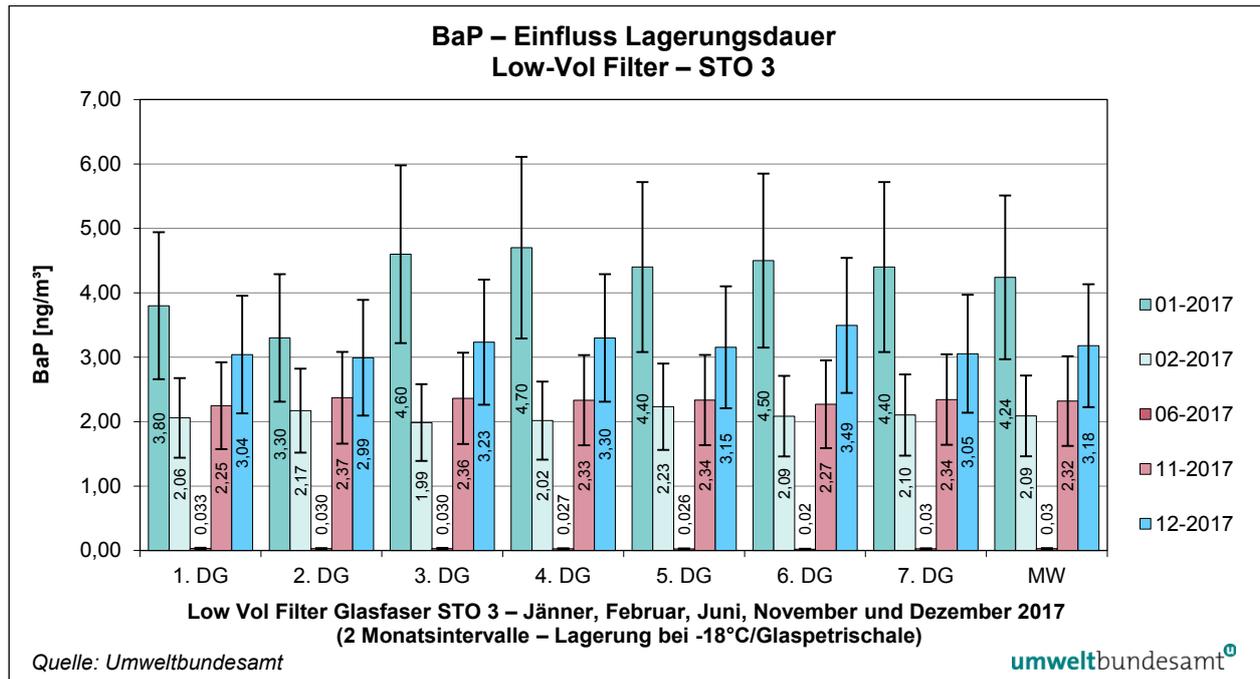


Abbildung 13: Einfluss der Lagerungsdauer auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 3 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen.

Abbildung 12, welche die BaP-Konzentrationen von Standort 2 darstellt, zeigt ein ähnliches Ergebnis wie Abbildung 11. Auch hier sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben konstant, bis auf die der Jänner Monatsmischproben mit Werten zwischen $3,50 \text{ ng/m}^3$ und $5,50 \text{ ng/m}^3$. Die Werte der Monatsmischproben vom Februar befinden sich wieder zwischen $1,55 \text{ ng/m}^3$ und $1,81 \text{ ng/m}^3$, die der Juni-Probe zwischen $0,020 \text{ ng/m}^3$ und $0,023 \text{ ng/m}^3$, die der November-Monatsmischproben zwischen $2,06 \text{ ng/m}^3$ und $2,23 \text{ ng/m}^3$ und die der Dezember-Monatsmischproben zwischen $2,93 \text{ ng/m}^3$ und $3,57 \text{ ng/m}^3$.

In Abbildung 13, welche die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben von Standort 3 grafisch darstellt, setzt sich dieser Trend weiter fort. Auch bei diesem Standort sind die Werte der Jänner-Monatsmischproben, ab Durchgang 3, deutlich höher als es in den ersten beiden Durchgängen der Fall war. Die Werte liegen hier zwischen $3,30 \text{ ng/m}^3$ und $4,70 \text{ ng/m}^3$. Die Werte der Monatsmischproben vom Februar befinden sich wieder im Bereich zwischen $1,99 \text{ ng/m}^3$ und $2,23 \text{ ng/m}^3$, die der Juni-Probe zwischen $0,020 \text{ ng/m}^3$ und $0,033 \text{ ng/m}^3$, die der November-Monatsmischproben zwischen $2,27 \text{ ng/m}^3$ und $2,37 \text{ ng/m}^3$, und die der Dezember-Monatsmischproben zwischen $2,99 \text{ ng/m}^3$ und $3,49 \text{ ng/m}^3$.

Auch in Abbildung 14, welche die BaP-Konzentrationen der Monatsmischproben von Standort 4, und Abbildung 15, welche die Monatsmischproben von Standort 5 zeigen, ist dieser Verlauf deutlich zu erkennen. Die Ergebnisse der Monatsmischproben vom Jänner liegen bei Standort 4 im Bereich zwischen $3,3 \text{ ng/m}^3$ und $5,4 \text{ ng/m}^3$. Die Werte der Monatsmischproben vom Februar befinden sich auch hier wieder zwischen $2,11 \text{ ng/m}^3$ und $2,25 \text{ ng/m}^3$, die der Juni-Probe zwischen $0,020 \text{ ng/m}^3$ und $0,035 \text{ ng/m}^3$, die der November-Monatsmischproben zwischen $3,33 \text{ ng/m}^3$ und $3,67 \text{ ng/m}^3$ und die der Dezember-Monatsmischproben zwischen $4,28 \text{ ng/m}^3$ und $4,94 \text{ ng/m}^3$.

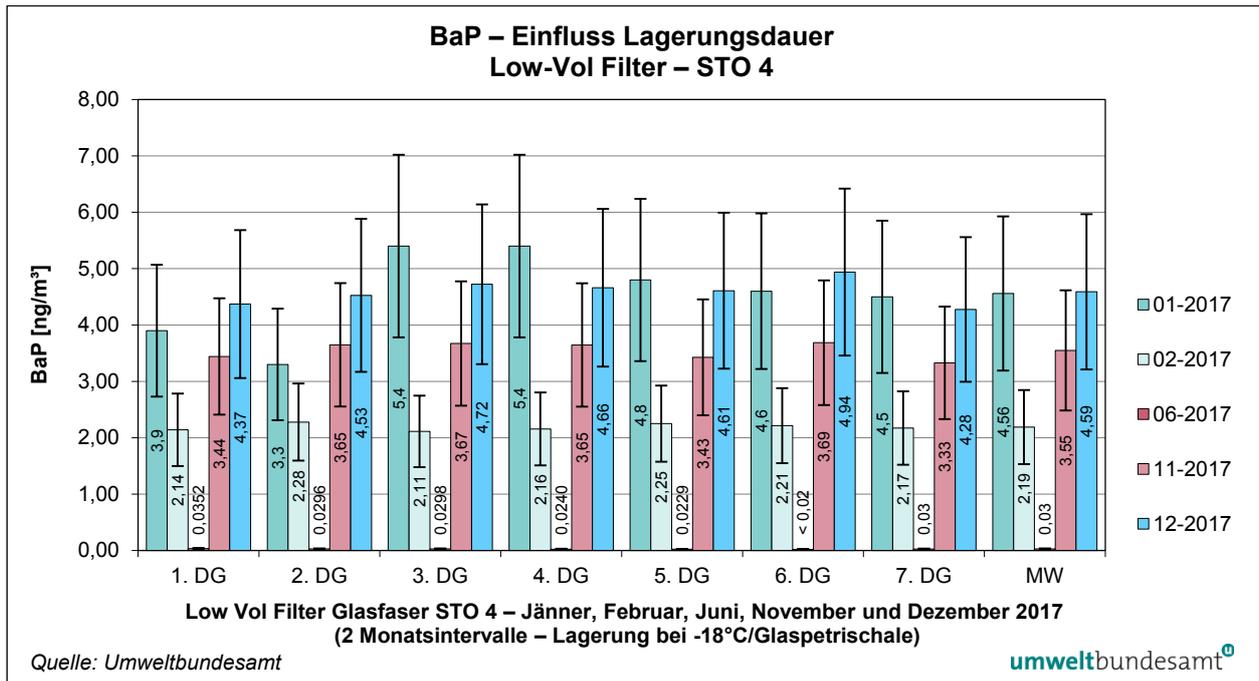


Abbildung 14: Einfluss der Lagerungsdauer auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 4 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen. Messwerte unter der Bestimmungsgrenze werden durch Zusatz „<“ gekennzeichnet.

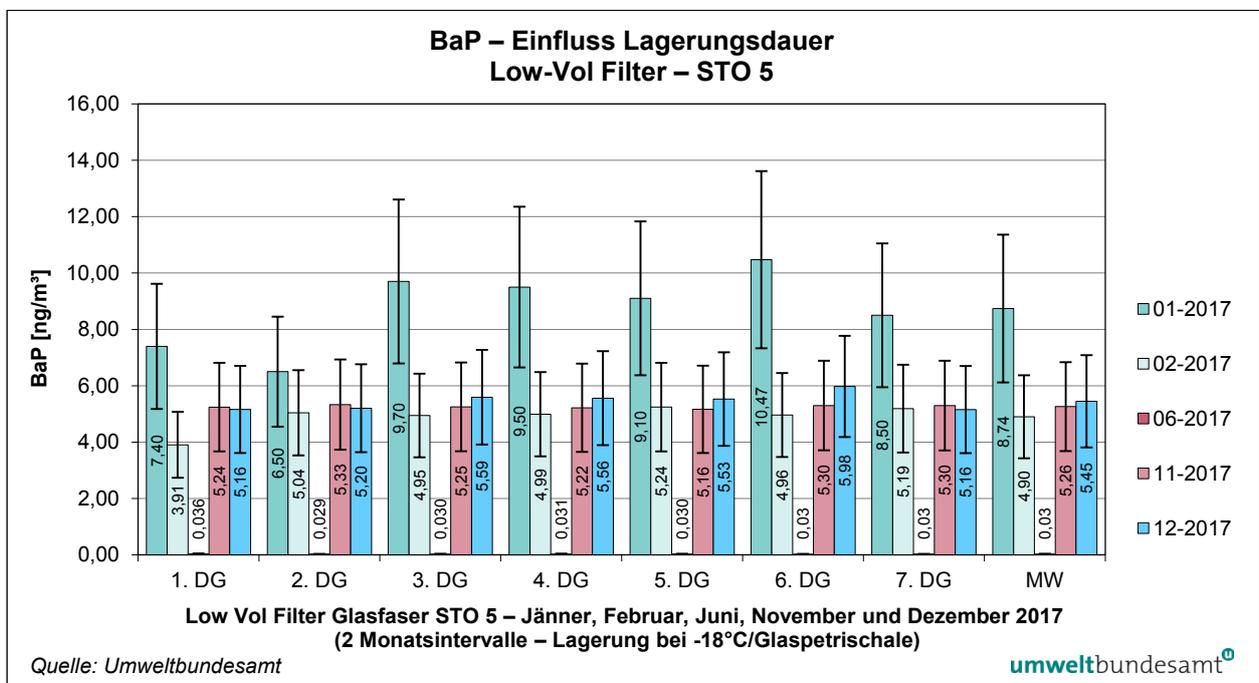


Abbildung 15: Einfluss der Lagerungsdauer auf die BaP-Konzentrationen in Low-Vol Glasfaserfiltern vom Jänner, Februar, Juni, November und Dezember 2017. Es sind die BaP-Konzentrationen aller Monatsmischproben des Standortes 5 über 7 Durchgänge dargestellt. Zusätzlich sind auch die Mittelwerte aller Durchgänge von jedem Probemonat in die grafische Darstellung mit aufgenommen.

Die BaP-Konzentrationen der Monatsmischproben Jänner sind bei Standort 5 deutlich höher als bei den anderen vier Standorten, mit Werten zwischen $6,50 \text{ ng/m}^3$ und $10,47 \text{ ng/m}^3$ (siehe Abbildung 15). Auch die Werte der weiteren vier Monatsmischproben sind höher als bei den restlichen vier Standorten. Die Werte der Monatsmischproben vom Februar befinden sich hier zwischen $3,91 \text{ ng/m}^3$ und $5,24 \text{ ng/m}^3$, die der Juni-Probe zwischen $0,029 \text{ ng/m}^3$ und $0,036 \text{ ng/m}^3$, die der November-Monatsmischproben zwischen $5,16 \text{ ng/m}^3$ und $5,33 \text{ ng/m}^3$ und die der Dezember-Monatsmischproben zwischen $5,16 \text{ ng/m}^3$ und $5,59 \text{ ng/m}^3$.

Zum Beispiel sind die Monatsmischproben vom Jänner 2017 bei Standort 5, mit Werten ab $9,7 \text{ ng/m}^3$ bei Durchgang 3 doppelt so hoch wie die von Standort 3, mit einer BaP-Konzentration von $4,7 \text{ ng/m}^3$. Die Februarprobe, welche im 3. Durchgang bei Standort 2 eine BaP-Konzentration von $1,55 \text{ ng/m}^3$ aufweist, ist bei Standort 5 mit $4,95 \text{ ng/m}^3$ mehr als doppelt so hoch. Die Ursache liegt in einer überdurchschnittlich hohen BaP-Belastung am Standort 5, welche auch den Grund für die Schwierigkeiten und die resultierende ausgeprägte Streuung bei der Analytik darstellt.

Trotz der erhöhten Werte bei Standort 5 verhalten sich die BaP-Konzentrationen, bis auf die der Monatsmischproben vom Jänner, wie auch schon bei den anderen vier Standorten, durchaus konstant über eine Lagerungsdauer von einem Jahr bei $-18 \text{ }^\circ\text{C}$. Dies bestätigt, dass die Lagerungsdauer der Low-Vol Glasfaserfilter in Glaspetrischalen keinen signifikanten Einfluss auf die BaP-Konzentrationen bei einer Lagerung von bis zu einem Jahr hat. Es lässt sich auch kein Einfluss des Standortes auf die Lagerungsdauer der Low-Vol Glasfaserfilter feststellen.

4.3 Einflussfaktor Lösungsmittel

Des Weiteren wurde der Einflussfaktor Lösungsmittel untersucht. Der Fokus dieses Versuchsaufbaues lag im Vergleich des Einflussfaktors Lösungsmittel (unterschiedliche Extraktionseffizienz) bei Extraktionsverfahren mittels Ultraschall bzw. für Cyclohexan auch für die beschleunigte Lösungsmittlextraktion (ASE), in Abhängigkeit von zwei verschiedenen Trenn- und Detektionsverfahren (HPLC-FLD und GC-MS), durchgeführt von zwei unabhängigen Laboratorien (Umweltbundesamt und TU Wien bzw. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung).

Für die Untersuchungen wurden Glas- und Quarzfaserfilter verwendet, die in den Immissionsmessnetzen der Länder Kärnten und Steiermark beprobt wurden. Die Monatsmischproben (Low Volume, Glasfaserfilter, PM₁₀) stammten aus dem Immissionsmessnetz des Landes Kärnten, die Tagesproben (High Volume, Quarzfaserfilter, PM_{2,5} bzw. PM₁₀) stammten aus dem Immissionsmessnetz des Landes Steiermark.

Für die High Volume Quarzfaserfilter (Tagesfilterproben Steiermark) konnten zusätzlich Kohlenstoffanalysen zur Ermittlung der Anteile an organischem Kohlenstoff, elementarem Kohlenstoff sowie der wasserunlöslichen organischen Kohlenstofffraktion und der wasserlöslichen organischen Kohlenstofffraktion bestimmt werden. Da Glasfaserfilter für derartige Analysen nicht geeignet sind, liegen keine Kohlenstoffanalysen für die Monatsmischproben aus Kärnten vor.

4.3.1 Filterproben – Extraktion mit verschiedenen Lösungsmitteln

Abbildung 16 stellt die Wiederfindungsraten der BaP-Konzentrationen der Low-Vol Glasfaserfilter Monatsmischproben der fünf verschiedenen Standorte dar. Die Proben von Standort 1, 2 und 3 stammen aus dem Monat November 2017, die Proben der Standorte 4 und 5 aus dem Monat Dezember 2017, also handelt es sich in beiden Fällen um hoch belastete Proben. Es ist ersichtlich, dass im Laboratorium 2 bei den Verfahren mit den Lösungsmitteln Dichlormethan:Cyclohexan, Aceton:n-Hexan und Toluol, kombiniert mit dem Ultraschallverfahren als Extraktionsmethode, die höchsten BaP-Wiederfindungsraten ermittelt werden konnten – im Bereich zwischen 98 % und 124 %. Diese Lösungsmittel sind, kombiniert mit dem Ultraschallverfahren, weitgehend miteinander vergleichbar. Im Gegensatz dazu zeigen die Ergebnisse von Labor 1, mit den Lösungsmitteln Aceton:n-Hexan und Toluol, kombiniert mit der Ultraschall Extraktionsmethode, weit aus niedrigere BaP-Wiederfindungsraten, speziell bei Standort 5. Die BaP-Wiederfindungsraten bewegen sich hier zwischen 64 % und 69 %.

Das ist möglicherweise auf ein erhöhtes BaP-Konzentrationslevel am Standort 5 zurückzuführen, welches aufgrund der Matrix eine starke Streuung in der Analytik verursacht.

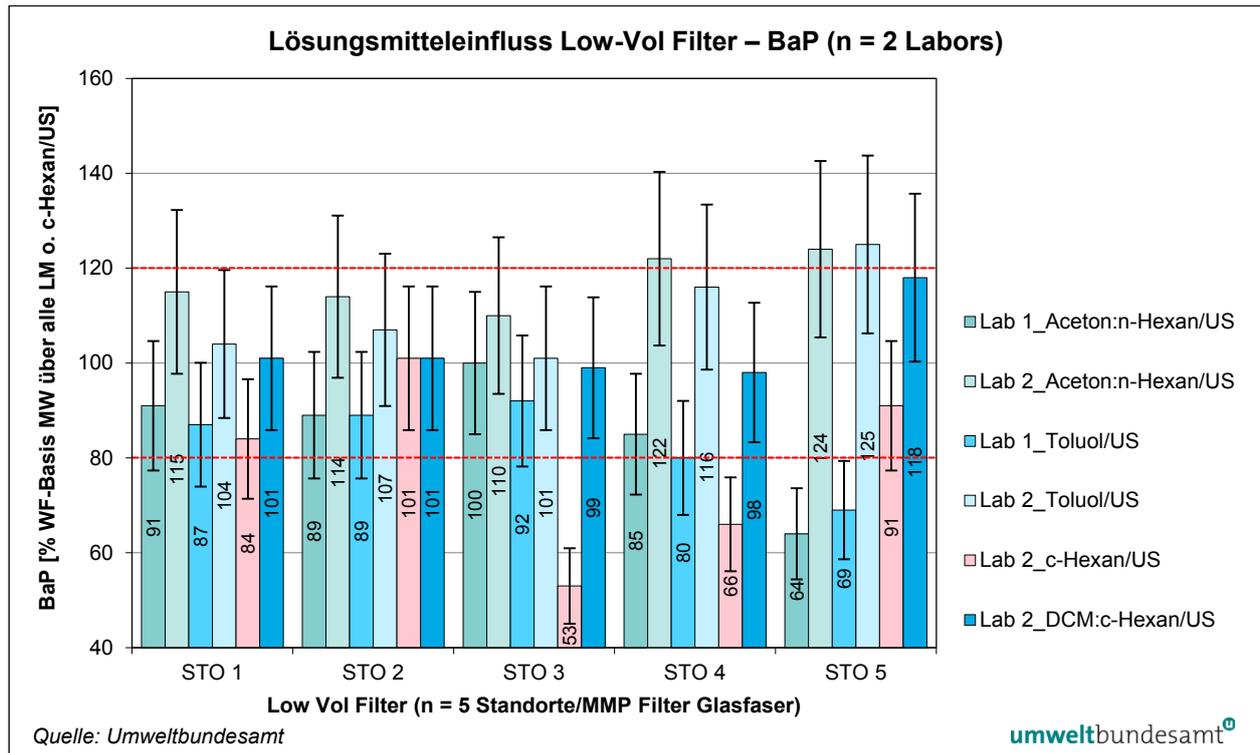


Abbildung 16: Wiederfindungsraten der BaP-Konzentrationen, auf Basis des Mittelwertes aller Lösungsmittel (ausgenommen c-Hexan/Ultraschall Verfahren), der Monatsmischproben von fünf verschiedenen Standorten, welche von zwei Laboratorien mit verschiedenen Lösungsmitteln und Extraktionsmethoden analysiert wurden.

Mit Ausnahme der Ergebnisse von Standort 5 sind die Ergebnisse von Labor 1 und Labor 2 annähernd miteinander vergleichbar. Die Extraktionen mit Cyclohexan, kombiniert mit der Ultraschallmethode, zeigen auch bei Standort 3 und 4 deutlich niedrigere Wiederfindungsraten, welche sich im Bereich zwischen 53 % und 66 % bewegen.

Abbildung 17 stellt die Wiederfindungsraten der BaP-Konzentrationen der High-Vol Quarzfaser Tagesfilter von drei verschiedenen Standorten dar. Bei Standort C wurden drei verschiedene Tagesfilter – T1, T2 und T3 – analysiert. Es ist ersichtlich, dass die Verfahren mit Aceton:n-Hexan, kombiniert mit dem Ultraschallverfahren, vergleichbare Ergebnisse sowohl bei Labor 1 als auch bei Labor 2 liefern, mit Ausnahme des Tagesfilters T3 von Standort C. Die Werte der BaP-Wiederfindungsraten liegen hier zwischen 82 % und 124 %. Auch das Verfahren mit Toluol als Lösungsmittel, kombiniert mit der Ultraschallextraktion, welches Labor 1 und 2 angewendet haben, ergibt vergleichbare Ergebnisse, mit Werten für die Wiederfindungsraten zwischen 85 % und 108 %, mit Ausnahme des Tagesfilters 2 vom Standort C, mit einem Wert von 73 %, welcher im Labor 2 analysiert wurde.

Sowohl das Verfahren mit Cyclohexan als auch das Verfahren mit n-Hexan als Lösungsmittel, in Kombination mit der Ultraschallextraktion, durchgeführt in Labor 2, führen zu deutlichen Minderbefunden.

Die BaP-Wiederfindungsraten liegen bei dem Verfahren mit Cyclohexan zwischen 36 % und 70 % und mit n-Hexan zwischen 38 % und 80 %.

Das Verfahren mit Cyclohexan, kombiniert mit der beschleunigten Lösungsmittelextraktion, durchgeführt in Labor 3, liefert zwar bessere Ergebnisse als das Verfahren mit der Ultraschallextraktion, mit BaP-Wiederfindungsraten zwischen 70 % und 98 %, dennoch liegen die Werte unter denen des Verfahrens mit Aceton:n-Hexan als Lösungsmittel. Das Verfahren mit Dichlormethan:Cyclohexan als Extraktionsmittel, kombiniert mit der Ultraschallmethode, ergibt bei allen fünf Tagesfiltern konstante Ergebnisse mit BaP-Wiederfindungsraten zwischen 93 % und 98 %.

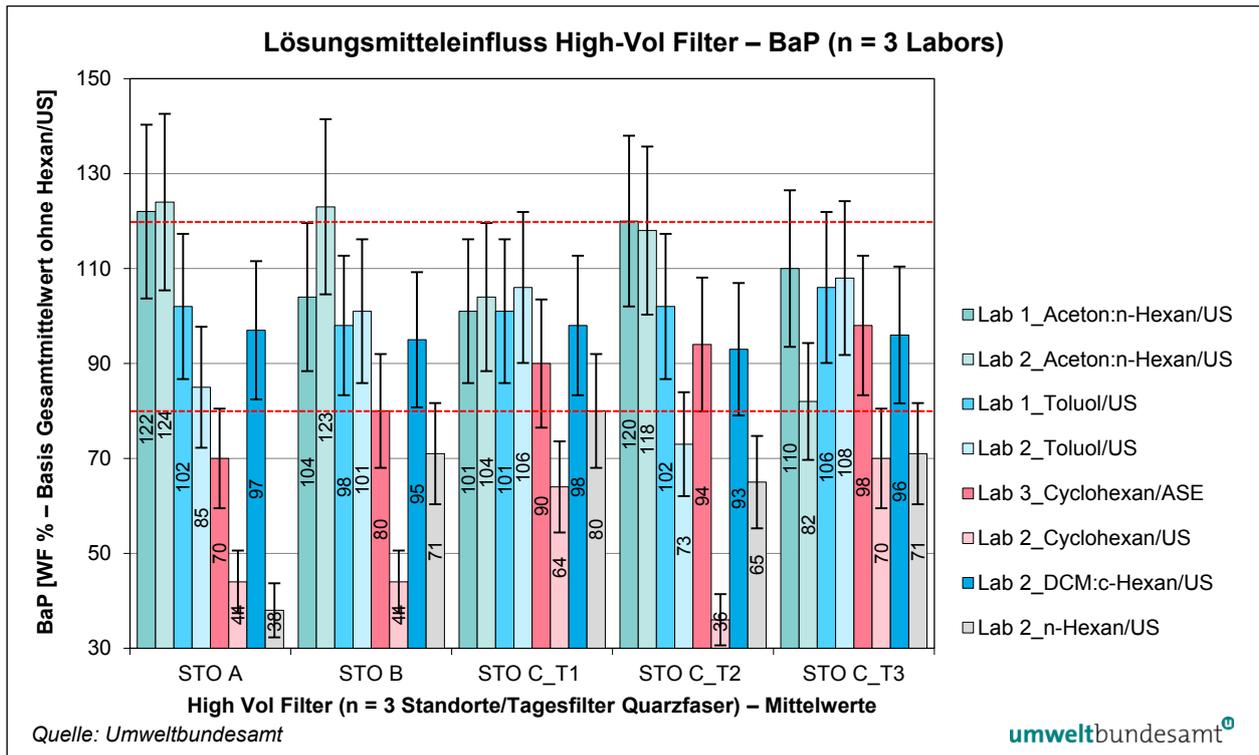


Abbildung 17: Wiederfindungsraten der BaP-Konzentrationen, auf Basis des Gesamtmittelwertes (ausgenommen Hexan/Ultraschall Verfahren), der Tagesfilter von 3 verschiedenen Standorten, welche von 3 Laboratorien mit verschiedenen Lösungsmitteln und Extraktionsmethoden analysiert wurden. Bei Standort C wurden 3 verschiedene Tagesfilter analysiert.

Abbildung 18 stellt alle Einzelergebnisse der BaP-Konzentrationen der Tagesfilter für die drei Standorte dar.

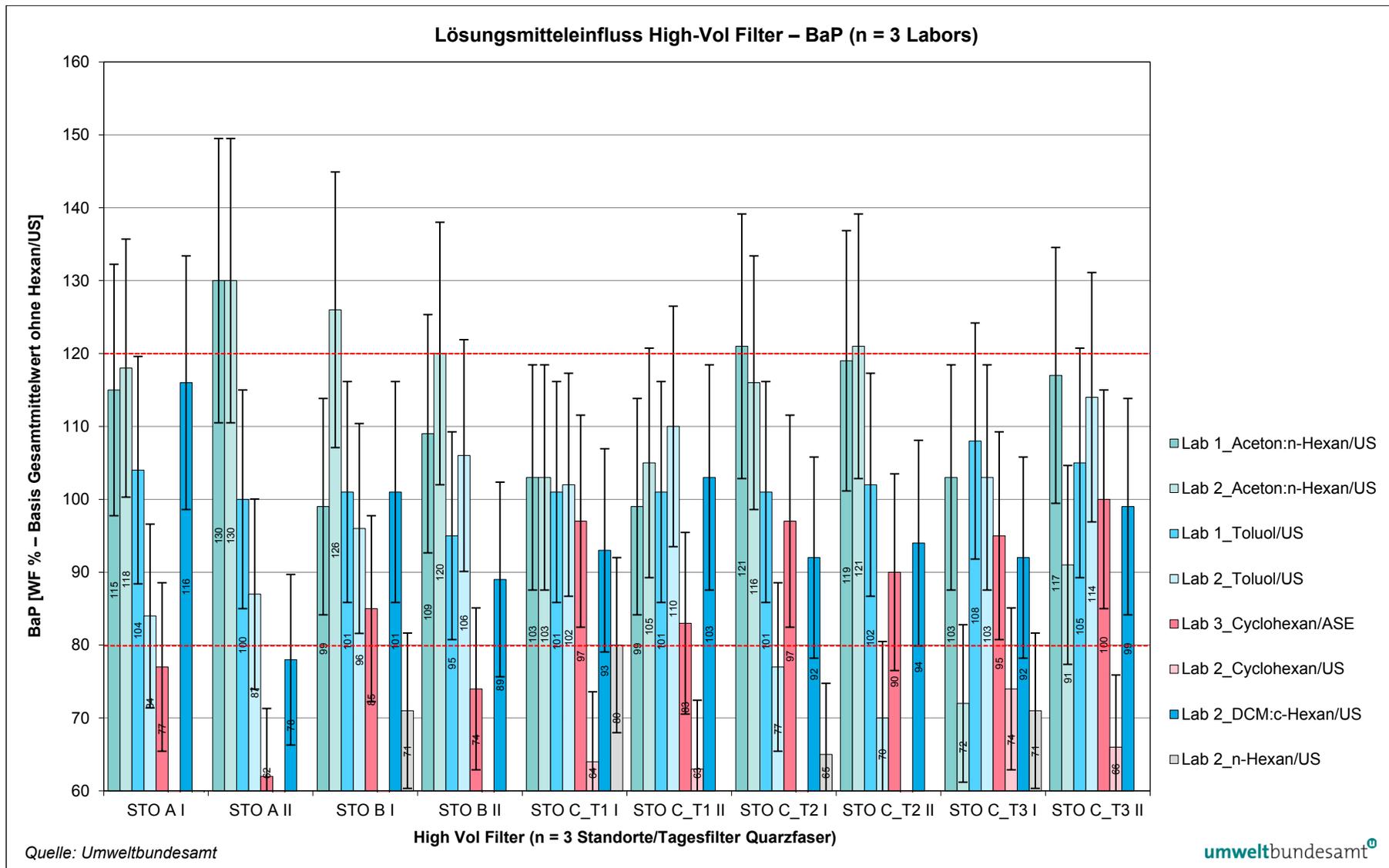


Abbildung 18: BaP-Konzentrationen der Tagesfilter von 3 verschiedenen Standorten, welche von 3 Laboratorien mit verschiedenen Lösungsmitteln und Extraktionsmethoden analysiert wurden. Bei Standort C wurden 3 verschiedene Tagesfilter analysiert. Von jedem Standort wurden die zwei gegenüberliegenden Tagesfiltersegmente einzeln extrahiert, daher sind pro Standort zwei Ergebnisse vorhanden.

Es ist ersichtlich, dass bei allen fünf Tagesfiltern die Verfahren mit den Extraktionsmitteln Aceton:n-Hexan bzw. Toluol, kombiniert mit der Ultraschallextraktion, die höchsten Konzentrationen an Benzo(a)pyren ergaben. Im Gegensatz dazu führten die Verfahren mit den Extraktionsmitteln Cyclohexan bzw. n-Hexan, in Verbindung mit dem Ultraschallverfahren, zu deutlichen Minderbefunden. Das Verfahren der beschleunigten Lösungsmittlextraktion erzielte zwar in Kombination mit dem Lösungsmittel Cyclohexan eine höhere Extraktionseffizienz, jedoch lagen diese Werte trotzdem unter den mit Aceton:n-Hexan, in Verbindung mit dem Ultraschallverfahren, ermittelten Werten. Die Extraktionen mit den Lösungsmitteln Dichlormethan:Cyclohexan, in Verbindung mit dem Ultraschallverfahren, ergaben Werte, welche mit den ermittelten BaP-Konzentrationen mit Toluol als Extraktionsmittel vergleichbar sind.

Die Extraktion der Filterproben war innerhalb der Laboratorien gut reproduzierbar, zu erkennen an den Ergebnissen für Benzo(a)pyren in den unabhängigen Ansätzen der jeweils gegenüberliegenden Segmente eines Tagesfilters pro Lösungsmittel (siehe Abbildung 18). Die Vergleichbarkeit zwischen den Laboratorien war innerhalb der Messunsicherheiten gegeben.

Daraus lässt sich schließen, dass bei der Anwendung der Ultraschallextraktion die Lösungsmittel Aceton:n-Hexan, Toluol sowie Dichlormethan:Cyclohexan zur Extraktion von BaP aus Feinstaubproben verwendet werden können.

Bei der alleinigen Verwendung von Cyclohexan und n-Hexan in Kombination mit Ultraschallextraktion ergaben sich auf Basis der untersuchten Filterproben durch Labor 2 ausgeprägte Minderbefunde. Die Anwendung von Cyclohexan in Verbindung mit der beschleunigten Lösungsmittlextraktion ergibt zwar eine bessere Extraktionseffizienz als mit dem Ultraschallverfahren, kann aber trotzdem zu erheblichen Minderbefunden führen.

4.3.2 Qualitätssichernde Maßnahmen: Analyse der Referenzmaterialien nach Extraktion mit verschiedenen Lösungsmitteln

Die Analysenergebnisse für das Referenzmaterial wurden – wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben – zur Auswahl der Lösungsmittel/Extraktionsverfahren verwendet, welche zur Ermittlung des sog. „konventionell richtigen Wertes“ (Sollwert) herangezogen wurden. In nachfolgender Tabelle findet sich eine Gesamtübersicht über die erzielten Ergebnisse.

*Tabelle 11:
Auswertung der
Analysen des
Referenzmaterials
ERM- CZ100 „Fine dust“
sowie SRM 1649a
„Urban dust“.*

Referenzmaterial	Lösungsmittel	Wiederfindungsrate %
ERM-CZ100	Aceton:n-Hexan/US	75 %; 102–106 % (n = 4)
	Cyclohexan/ASE	81 %; 85 % (n = 2)
	Cyclohexan/US	37 % (n = 2)
	DCM:c-Hexan/US	76 %; 83 % (n = 2)
	n-Hexan/US	56 % (n = 1)
	Toluol/US	86–108 % (n = 4)

Referenzmaterial	Lösungsmittel	Wiederfindungsrate %
SRM 1649a	Aceton:n-Hexan/US	87–108 % (n = 4)
	Cyclohexan/ASE	72 %; 74 % (n = 2)
	Cyclohexan/US	71 %; 36 % (n = 2)
	DCM:c-Hexan/US	104 %; 105 % (n = 2)
	n-Hexan/US	37 % (n = 1)
	Toluol/US	80–109 % (n = 4)

Details zu den einzelnen Analysenergebnissen sind Tabelle 19 zu entnehmen.

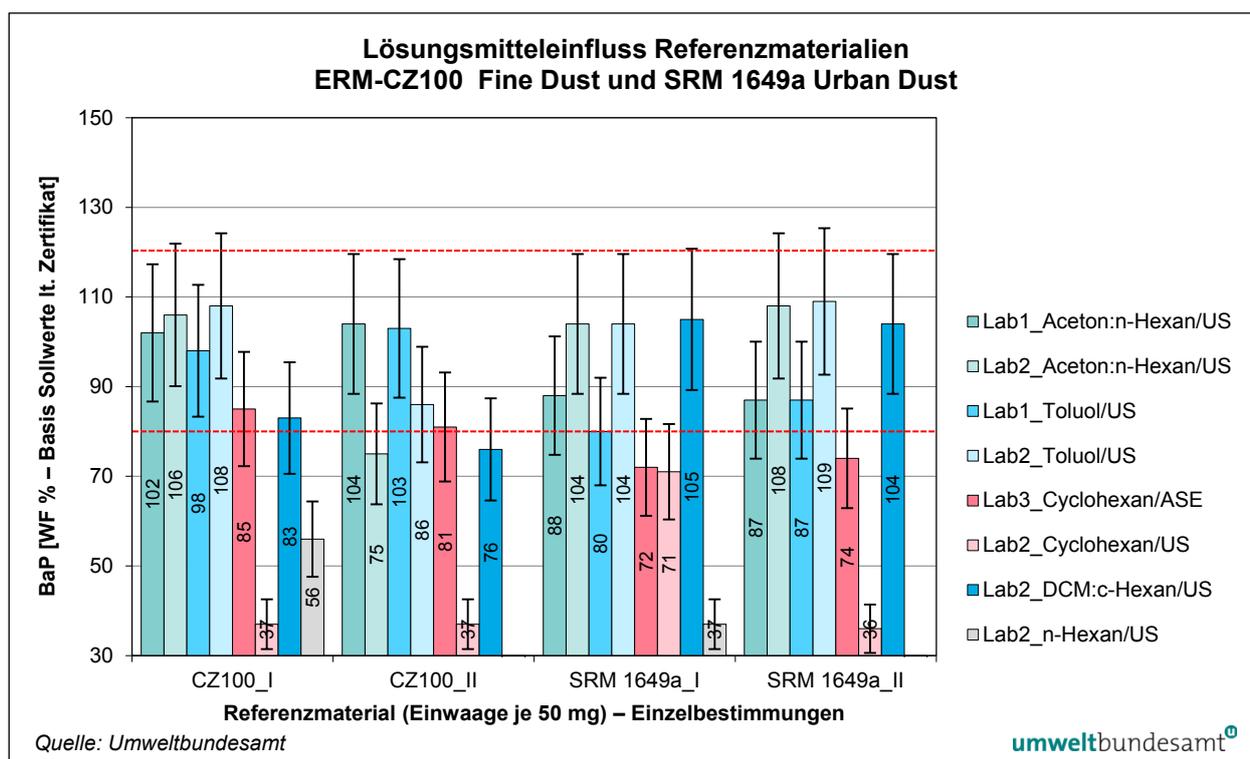


Abbildung 19: Wiederfindungsraten in den Referenzmaterialien ERM-CZ100 sowie SRM 1649a in Abhängigkeit von Lösungsmittel/Extraktionsmethode und Laboratorien; Bezug zum jeweiligen Sollwert lt. Zertifikat.

Abbildung 19 zeigt die in insgesamt drei Laboratorien unter Verwendung unterschiedlicher Lösungsmittel/Extraktionsverfahren erhaltenen Wiederfindungsraten für BaP in den festen Referenzmaterialien. Die Bereiche zwischen 80–120 % Wiederfindungsrate sind in der Grafik mittels strichlierter Linie gekennzeichnet. Die Minderbefunde bei beiden Referenzmaterialien für die Lösungsmittel n-Hexan/Ultraschall (US) sowie Cyclohexan/Ultraschall sind in der Abbildung deutlich zu erkennen. Beim Referenzmaterial SRM 1649a resultiert bei Verwendung von Cyclohexan in Kombination mit beschleunigter Lösungsmittlextraktion (ASE) eine Wiederfindungsrate unter 80 % – im Vergleich dazu ist die Wiederfindungsrate bei ERM-CZ100 etwas höher. Unter Berücksichtigung der Streuungen bei der Analytik (in der Abbildung mit jeweils $\pm 15\%$ dargestellt) werden für die Lösungsmittel Aceton:n-Hexan/US sowie Toluol/US und Dichlormethan:Cyclohexan zufriedenstellende Ergebnisse erzielt. Für das Lösungsmittel Cyclohexan/ASE resultierten tendenziell niedrigere Wiederfindungsraten.

4.3.3 Feinstaubkonzentrationen und Kohlenstofffraktionen – zusätzliche Analysen – Tagesfilter Steiermark

Zur Gewinnung von Informationen betreffend die Anteile an organischem und elementarem Kohlenstoff in den High Vol Filtern wurden die an der TU Wien durchgeführten Kohlenstoffanalysen ausgewertet (analytische Methodenbeschreibung thermo-optische Methode siehe Kurzcharakteristik in Tabelle 7, Kapitel 3).

Die Daten sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 12: Daten zu den Tagesfiltern (High Vol, Quarzfaserfilter) und Ergebnisse der Kohlenstoffmessung (OC, EC, WSOC, WISOC) sowie Gegenüberstellung mit BaP (Analytik Kohlenstofffraktionen an der TU Wien; BaP berechnet über Gesamtmittelwert und Standardabweichung über alle 3 Laboratorien (exkl. Lösungsmittel n-Hexan und Cyclohexan in Kombination mit Ultraschallextraktion); hohe Absolutgehalte an WSOC in den Filterproben wurden **fett/kursiv** hervorgehoben).

STO/ Tages-filter	PM [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Luftvolumen [m^3]	OC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	EC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	WSOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	WISOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	BaP [ng/m^3]
STO A (PM _{2,5})	106,4	658,5	24,95 +/- 0,68	1,88 +/- 0,14	20,5	4,5	2,55 +/- 0,56
STO B (PM ₁₀)	107,9	704,1	26,73 +/- 0,73	2,2 +/- 0,17	18,5	8,2	5,65 +/- 0,81
STO C T1 (PM _{2,5})	44,06	691,5	14,63 +/- 0,4	2,42 +/- 0,19	8,8	5,9	5,13 +/- 0,35
STO C T2 (PM _{2,5})	94,35	706	21,95 +/- 0,6	1,64 +/- 0,13	18,7	3,3	2,18 +/- 0,37
STO C T3 (PM _{2,5})	25,79	684,7	9,55 +/- 0,26	2,09 +/- 0,16	5,6	4	3,08 +/- 0,36

Die Ergebnisse der Auswertung der Anteile der Kohlenstofffraktionen (OC, EC, WSOC, WISOC) an der Staubfraktion (PM_{2,5} bzw. PM₁₀) wird in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 13: Auswertung der Kohlenstoffmessung (OC, EC, WSOC, WISOC) an den Tagesfiltern (High Vol, Quarzfaserfilter) (Analytik Kohlenstofffraktionen an der TU Wien).

STO/ Tages-filter	Anteil OC an PM [%]	Anteil EC an PM [%]	Anteil WSOC an PM [%]	Anteil WISOC an PM [%]	Anteil WSOC an OC [%]
STO A (PM _{2,5})	23	2	19	4	82
STO B (PM ₁₀)	25	2	17	8	69
STO C T1 (PM _{2,5})	33	5	20	13	60
STO C T2 (PM _{2,5})	23	2	20	3	85
STO C T3 (PM _{2,5})	37	8	22	16	59

Wie o. a. Tabelle zeigt, war der Anteil an organischem Kohlenstoff (OC) bei allen ausgewählten Tagesfilterproben mit unterschiedlicher Staubbelastung (PM_{2,5} bzw. PM₁₀) recht ähnlich und betrug in den hoch belasteten Proben (STO B, STO A, STO C T2) zwischen 23 % und 25 %; bei den Proben mit niedrigerer Staubmasse (PM) etwa 33–37 % (STO C T3, STO C T1).

Der Anteil an elementarem Kohlenstoff betrug etwa 2 % bei den hoch belasteten Proben (STO B, STO A, STO C T2) und 5–8 % bei den Proben mit niedrigerem Staubgehalt (STO C T3, STO C T1). Bei den stärker belasteten Proben wird angenommen, dass diese einen höheren Anteil an wasserlöslichen Ionen aufweisen (vgl. Bericht TU Wien, KISTLER et. al 2017).

Der wasserlösliche organische Kohlenstoff (WSOC) trägt wesentlich zur gesamten Kohlenstoffmasse bei (vergleiche Anteil von 59–85 % bezogen auf OC).

Wie die u. a. Abbildungen für die fünf Tagesfilterproben veranschaulichen, korrelieren die Gehalte an wasserlöslichem organischem Kohlenstoff (WSOC) mit dem organischen Kohlenstoffgehalt und die Gehalte an wasserunlöslichem organischem Kohlenstoff (WISOC) mit dem elementaren Kohlenstoffgehalt (EC). Weiters korrelieren die Gehalte an BaP mit dem wasserunlöslichen organischen Kohlenstoff (WISOC) und dem elementaren Kohlenstoff (EC).

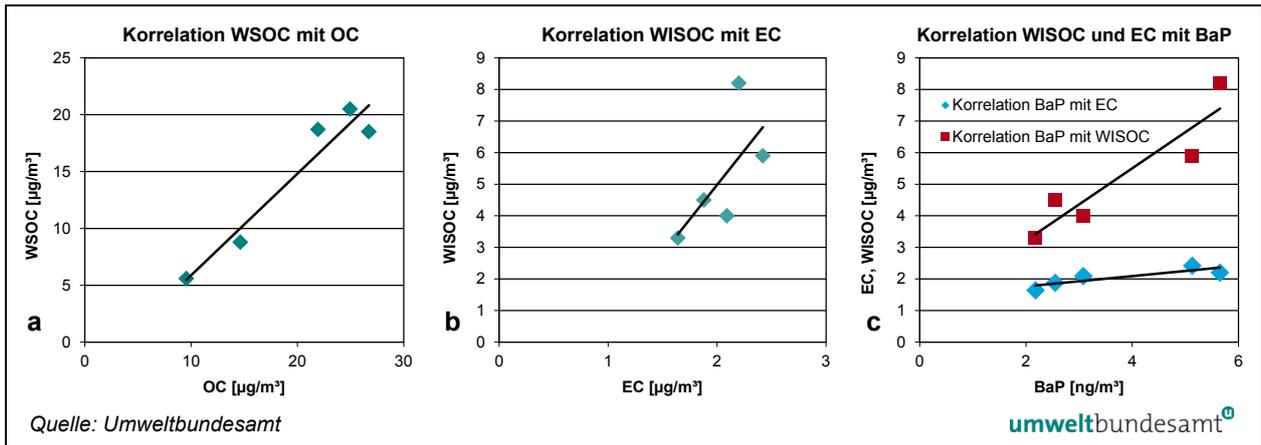


Abbildung 20: Zusammenhang der Kohlenstofffraktionen a) WSOC und OC b) WISOC und EC sowie c) WISOC und EC mit BaP (Tagesfilter High Vol, Quarzfaser).

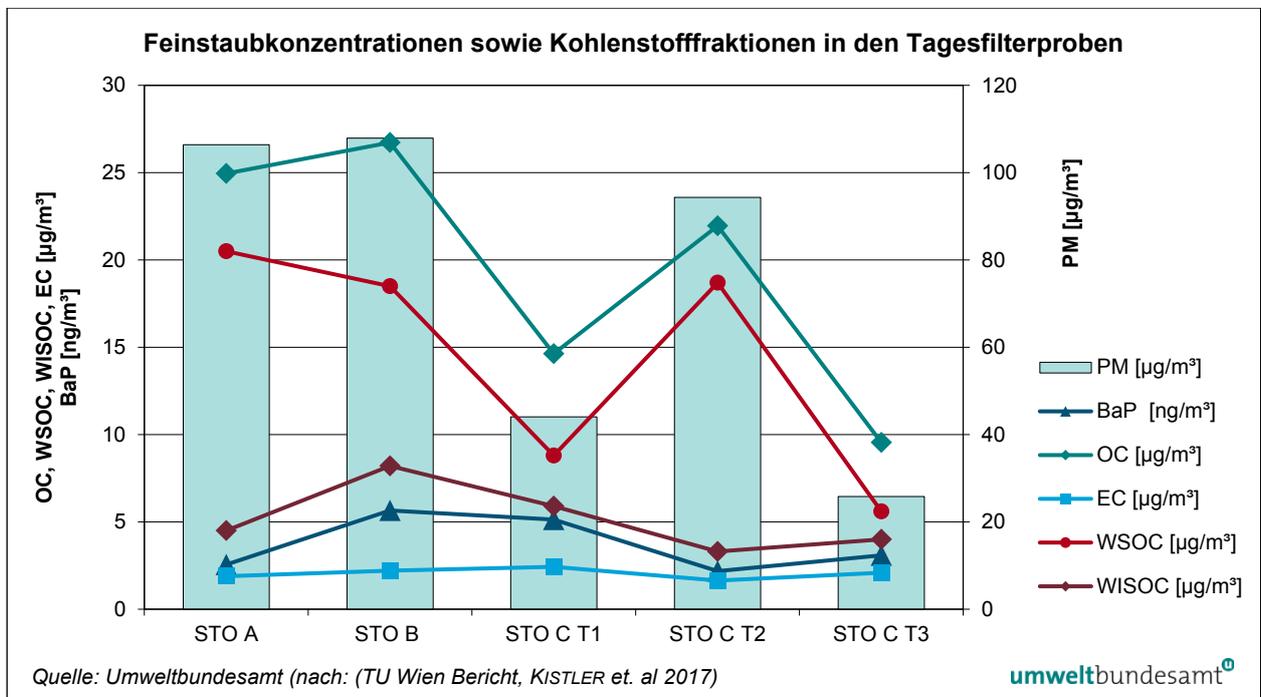


Abbildung 21: Feinstaubkonzentrationen sowie Kohlenstofffraktionen in den Tagesfilterproben der Steiermark (High Volume, Quarzfaserfilter) (BaP-Konzentration, berechnet aus den Ergebnissen von drei Laboratorien für alle Lösungsmittel mit Ausnahme von n-Hexan und Cyclohexan in Kombination mit Ultraschallextraktion; Messergebnisse PM, OC, EC, WSOC, WISOC; analysiert an der TU Wien).

Wie im Rahmen der Detailauswertungen gezeigt werden konnte, ist aufgrund der o. a. Abbildung klar ersichtlich, dass der Gehalt an wasserlöslichem organischem Kohlenstoff einen wesentlichen Beitrag an der gesamten organischen Kohlenstofffraktion hat. BaP korreliert mit dem Anteil an wasserunlöslichem organischem Kohlenstoff – der Verlauf der Gehalte an BaP in den fünf Tagesfilterproben gleicht dem Verlauf der Gehalte an wasserunlöslichem organischem Kohlenstoff und elementarem Kohlenstoff.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zur Kohlenstoffanalytik ist anzunehmen, dass insbesondere bei Proben mit erhöhten Gehalten an wasserlöslichem organischem Kohlenstoff Minderbefunde bei den unpolarerer Lösungsmitteln, wie z. B. n-Hexan oder Cyclohexan auftreten können (vgl. insbes. STO A, STO B und STO C T2). Diese Annahme wäre durch weitere Untersuchungen an Filterproben mit unterschiedlichen Anteilen an wasserlöslichem organischen Kohlenstoff zu überprüfen. Aus der Erfahrung der Analytik von Festproben ist bekannt, dass der Wassergehalt nachteilige Effekte auf die Extraktion mit unpolaren Lösungsmitteln wie n-Hexan oder Cyclohexan haben kann.

5 ERGEBNISSE

Der Fokus dieses Projektes zur Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Bestimmung von Benzo(a)pyren lag einerseits bei der Ermittlung des Einflusses der Lagerungsdauer und andererseits bei der Erhebung des Einflusses verschiedener Lösungsmittel mit unterschiedlicher Extraktionseffizienz auf die Ergebnisse von mit BaP beladenen Staubfiltern (Glasfaserfilter/Low Vol und Quarzfaserfilter High Vol). Beide Filtertypen werden im österreichischen Immissionsmessnetz zur Probenahme von Feinstaub PM₁₀ für BaP verwendet. Zur Ermittlung des Einflusses der Lagerungsdauer wurden Glasfaserfilter von fünf unterschiedlichen Standorten für jeweils fünf ausgewählte Monate mit zu erwartender hoher und niedriger BaP-Belastung nach unterschiedlichen Lagerungsintervallen untersucht. Die Erhebung des Einflusses verschiedener Lösungsmittel orientierte sich an der ÖNORM EN 15549:2008 unter Berücksichtigung der Lösungsmittel, die zum Zeitpunkt der Fragebogenerhebung in Österreich für die Analyse von BaP eingesetzt wurden.

5.1 Einflussfaktor Lagerungsdauer

Die Auswertung der Ergebnisse bezüglich des Einflussfaktors Lagerungsdauer zeigte deutlich, dass eine Lagerungsdauer der PM₁₀ Low-Vol Glasfaserfilter in Glaspetrischalen bei –18 °C von bis zu einem Jahr keinen signifikanten Einfluss auf die Benzo(a)pyren-Konzentrationen hat.

Bei allen fünf Standorten ergaben sich über alle sieben Durchgänge der Monatsmischproben von Februar, November und Dezember 2017 konstante Wiederfindungsraten.

Die Monatsmischproben vom Jänner 2017, welche als erstes gezogen wurden, zeigten in den ersten beiden Durchgängen niedrigere Wiederfindungsraten als bei den folgenden fünf Durchgängen, was auf eine zu niedrige Surrogatkonzentration zurückzuführen war.

Ab dem 3. Durchgang zeigten sich auch bei diesen Monatsmischproben konstante Werte der BaP-Wiederfindungsraten. Daraus lässt sich auf keine Beeinflussung der BaP-Konzentration durch die Lagerung schließen, vielmehr betonen diese Ergebnisse den Einfluss der Analytik.

Daher sollte immer bei Standorten bzw. Monaten, bei denen von einer erhöhten BaP-Belastung ausgegangen werden kann, generell eine Erhöhung der Surrogatkonzentration bei der Extraktion vorgenommen werden.

Die Monatsmischproben vom Juni weisen ein weniger konstantes Verhalten über die sieben Durchgänge auf, was mit großer Wahrscheinlichkeit auf die niedrigen BaP-Konzentrationen und damit auf die Messung nahe bzw. unterhalb der Bestimmungsgrenze zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse bestätigen, dass die Ausweitung der Lagerungsintervalle der Filterproben für die BaP-Analytik auf ein Jahr (Lagerung bei -18 °C/Glas)¹ ohne signifikante Änderungen der BaP-Konzentration möglich wären.

Daher kann aus Sicht der Autorin die Frequenz der Analysen pro Jahr reduziert werden, was eine finanzielle Einsparung ohne Verlust von Qualität mit sich bringen würde, da eine größere Messserie auf BaP in einem Run, begleitet von Kontrollproben/Referenzmaterial zu Wiederholbedingungen mittels Analysengerät, durchgeführt werden kann.

5.2 Einflussfaktor Lösungsmittel

Es sollte geklärt werden, ob die Verwendung unterschiedlicher Lösungsmittel (fünf unterschiedliche Lösungsmittel bzw. Kombinationen von Lösungsmittel), Extraktionsverfahren und Analysenmethoden einen systematischen Einfluss auf die ermittelten Konzentrationswerte von BaP in Feinstaubproben zeigt.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt deutliche Unterschiede in der Extraktionseffizienz bei der Anwendung verschiedener Lösungsmittel.

Es ist eindeutig zu erkennen, dass der Einsatz der Lösungsmittel Dichlormethan:Cyclohexan, Aceton:n-Hexan und Toluol, kombiniert mit dem Ultraschallverfahren als Extraktionsmethode, die höchsten Wiederfindungsraten ergeben und weitgehend miteinander vergleichbar sind.

Daher sind diese Lösungsmittel für den Einsatz in der Benzo(a)pyren-Analytik von Feinstaubproben am besten geeignet.

Im Gegensatz dazu deuten die Ergebnisse aus Labor 2 auf eine nicht ausreichende Extraktionseffizienz für die beiden unpolaren Lösungsmittel n-Hexan sowie Cyclohexan, kombiniert mit der Ultraschallmethode (Minderbefunde).

Diese Lösungsmittel sollten für die BaP-Analytik nicht mit der Ultraschallmethode kombiniert angewendet werden. Der Einsatz des Lösungsmittels Cyclohexan, kombiniert mit der beschleunigten Lösungsmittlextraktion, ergibt zwar eine Verbesserung der BaP-Wiederfindungsraten, jedoch ist die Extraktionseffizienz niedriger als jene, welche mit den Lösungsmitteln Dichlormethan:Cyclohexan, Aceton:n-Hexan und Toluol erzielt wurden.

Die vorliegenden Ergebnisse zur Ultraschallextraktion mit den unpolaren Lösungsmitteln deuten darauf hin, dass das Extraktionsverfahren sehr wohl einen Einfluss auf die ermittelte BaP-Konzentration in Feinstaubproben haben kann.

¹ Im Rahmen des ggst. Projektes war es nicht möglich, zusätzliche Lagerungsbedingungen, wie z. B. Lagerung in Kunststoffpetrischalen, zu testen. Es werden daher im Rahmen aktueller Messungen für drei Standorte Lagerungsversuche für PM₁₀ Low-Vol Glasfaserfilter bei -18 °C in Kunststoffpetrischalen eingeplant. Diese Versuchsreihe läuft plangemäß bis April 2020.

Die Wiederholbarkeit innerhalb der Laboratorien war bei den geeigneten Lösungsmittel/Extraktionsverfahren zufriedenstellend, mit Standardabweichungen von zumeist unter 10 %, die Vergleichbarkeit zwischen den Laboratorien ist größtenteils im Rahmen der ermittelten Messunsicherheiten ($\pm 26 - \pm 36 \%$, $k = 2$) gewährleistet.²

² Nur in Einzelfällen wurden zwischen den Laboratorien Abweichungen bis zu 60 % festgestellt (vgl. hoch belastete Monatsmischprobe Low Vol Filter STO 5 mit $13 \pm 4 \text{ ng/m}^3$ BaP: wiewohl innerhalb des jeweiligen Labors für beide Lösungsmittel Toluol sowie Aceton : n-Hexan gut reproduzierbar). Da diese Unterschiede vor allem bei den Filterproben mit sehr hohen BaP-Gehalten auftraten, sollte bei der Analyse derartig hoch konzentrierter Proben besonderes Augenmerk auf Surrogatzusatz und entsprechende Verdünnungen gelegt werden.

6 CONCLUSIO UND AUSBLICK

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Ausdehnung der Lagerungsdauer der Filterproben bei Verwendung von Glaspetrischalen und Lagerung im Tiefkühler bei -18 °C keine negativen Einflüsse auf die Bestimmung von Benzo(a)pyren hat. Es konnten keine signifikanten Veränderungen der BaP-Konzentration festgestellt werden.

Die Ausweitung der Lagerungsintervalle der Filterproben für die BaP-Analytik auf z. B. vierteljährlich bis zu einem Jahr ist daher unter diesen Bedingungen möglich. Die BaP-Analytik von Feinstaubfiltern (PM_{10}) kann daher bei entsprechender Lagerung in größeren Serien durchgeführt werden, was Vorteile in der Analytik, aber auch finanzielle Einsparungen (Serienrabatte) ohne Verlust der Qualität mit sich bringt. Bei Proben mit erwarteter höherer Belastung sollte besonderes Augenmerk auf die entsprechende Erhöhung der Surrogatzusätze bei der Extraktion der Filter gelegt werden, da eine Wiederfindungskorrektur mit zu niedrigen Surrogatkonzentrationen zu stark schwankenden Ergebnissen führen kann.

Bei der Wahl des Lösungsmittels und der Extraktionsmethode können Aceton:n-Hexan, Dichlormethan:Cyclohexan oder Toluol in Betracht gezogen werden. Diese Lösungsmittel liefern, kombiniert mit der Ultraschallmethode, die höchste Extraktionseffizienz und die Ergebnisse sind im Rahmen der Messunsicherheiten miteinander vergleichbar.

Von einer Verwendung der unpolaren Lösungsmittel n-Hexan oder Cyclohexan wird auf Basis der vorliegenden Untersuchungen, in Kombination mit Ultraschallextraktion, eher abgeraten, da insbesondere bei Filterproben mit erhöhten Gehalten an wasserlöslichem organischem Kohlenstoff mit Minderbefunden zu rechnen ist³. Die Anwendung von Cyclohexan in Verbindung mit der beschleunigten Lösungsmittelextraktion ergibt zwar eine bessere Extraktionseffizienz als mit dem Ultraschallverfahren, kann aber trotzdem zu erheblichen Minderbefunden führen.

In der ÖNORM EN 15549:2008 ist eine Vielzahl an möglichen Lösungsmitteln und Extraktionsverfahren aufgeführt, wie z. B. Toluol, Cyclohexan, Dichlormethan, Acetonitril und wahlweise Extraktion im Rundkolben unter Rückfluss, in der Soxhlett-Apparatur, im Mikrowellenaufschlussgerät, mittels beschleunigter Lösungsmittelextraktion oder mittels Ultraschallbad.

Aufgrund der laut ÖNORM EN 15549:2008 zulässigen Alternativen und der möglichen Abweichungen wird im Hinblick auf die Messunsicherheit bei BaP-Konzentrationen nahe dem Zielwert von 1 ng/m^3 von einer maximalen relativen Messunsicherheit von $\pm 35\%$ ($k = 2$) ausgegangen.

Im Rahmen des Projektes wurden die Messunsicherheiten für die Analytik auf Basis der verfügbaren Filtermessungen (Low Vol Glasfaserfilter PM_{10} und High Vol Quarzfaserfilter, $\text{PM}_{2,5}$ bzw. PM_{10}) im Bereich von $\pm 13\%$ – $\pm 18\%$ für die geeigneten Lösungsmittel/Extraktionsverfahren abgeschätzt. Die erweiterte Messunsicherheit ($k = 2$) beträgt $\pm 26\%$ bis $\pm 36\%$.

Diese Studie zeigt auch auf, dass die Vergleichbarkeit zwischen den Laboratorien unter Berücksichtigung der erweiterten Messunsicherheit in den meisten Fällen gegeben ist.

³ Auch Feuchte könnte nachteilige Effekte auf die Extraktion mit den unpolaren Lösungsmitteln haben.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse aus dem Projekt kann zwischen den Lösungsmitteln Aceton:n-Hexan, Dichlormethan:Cyclohexan oder Toluol gewählt werden.

Wie mittels aufwändiger Lagerungsversuche für Monatsmischproben Low Vol Filter/Glasfaser mit mittlerer, niedriger und hoher BaP-Belastung anhand von fünf Standorten Kärntens gezeigt werden konnte, ist eine Ausdehnung der Lagerungsdauer bei -18 °C in Glaspetrischalen auf bis zu ein Jahr möglich.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- DENNER, M. et al. (2016): Vorschlag: Bund-Bundesländer Projekt – Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Benzo[a]pyren Analytik. Präsentation im Rahmen der Zweiten Aussprache 2016 über aktuelle Probleme der Erfassung und Bewertung luftfremder Stoffe, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, 30.11.2016.
- YTTRI, K. E.; BRAATHEN, O.-A., SIMPSON, D. & STEINNES, E. R., A. (2009): Carbonaceous aerosols in Norwegian urban areas. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 2007–2020, 2009, www.atmos-chem-phys.net/9/2007/2009/.
- KISTLER, M.; TAUSSIG, D. & KASPER, A. (2017): Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Benzo[a]pyren Analytik – Lösungsmiteleinfluss. Bericht im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Bund-Bundesländer Projektes erstellt. TU Wien. CTA-EAC-05/17. Wien, Dezember 2017.
- PÉREZ BALLESTA, P.; GRANDESSO, E. & KOWALEWSKI, K. (2014): European interlaboratory comparison exercise for the analysis of PAHs on PM₁₀ quartz filters. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 3486-3499, Ispra, 19.03.2014.
- PIAZZALUNGA, A.; BERNARDONI, V., FERMO, P., VALLI, G. & VECCHI, R. (2011): Technical Note: On the effect of water-soluble compounds removal on EC quantification by TOT analysis in urban aerosol samples. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 10193–10203, 2011, www.atmos-chem-phys.net/11/10193/2011/ doi:10.5194/acp-11-10193-2011.
- UMWELTBUNDESAMT Benzo(a)pyren: Entstehung und Wirkung
<https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/benzoapyren/>.

Rechtsnormen und Leitlinien

- Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L; BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F.): Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe, mit dem die Gewerbeordnung 1994, das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen, das Berggesetz 1975, das Abfallwirtschaftsgesetz und das Ozongesetz geändert werden.
- ÖNORM EN 15549:2008 06 01: Luftbeschaffenheit – Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Benzo[a]pyren in Luft, Wien; 01.06.2008

ANHANG

DATENTABELLEN

Tabelle 14: Daten zu Monatsmischproben Filter Low Vol Kärnten.

Bezeichnung (STO sowie MMP Monat-Jahr)	Stanzdurchmesser [mm]	Anzahl an Stanzen pro Monatsmischprobe	Berechnungsfaktor ⁴
BW MMP_1-2016	47		
STO 1 11-2016	8	30	2,38
STO 2 11-2016	8	30	2,38
STO 3 11-2016	8	31	2,38
STO 4 12-2016	8	30	2,38
STO 5 12-2016	8	30	2,38

⁴ Für die Bestimmung von BaP, ausgehend von Extrakten der Monatsmischprobe (MMP), bestehend aus 30 bzw. 31 Stanzen, werden die Ergebnisse für BaP durch das anteilige Luftvolumen pro MMP dividiert, um die Konzentration für BaP pro m³ zu erhalten. Das anteilige Luftvolumen pro MMP berechnet sich durch Multiplikation des Berechnungsfaktors mit der Anzahl an Stanzen (30 bzw. 31) pro MMP (71,4 bzw. 73,78 m³). Für die Blindwertfilter werden vereinbarungsgemäß 55,1 m³ zur Umrechnung herangezogen.

Tabelle 15: Daten zu Tagesfilter High Vol Steiermark: Staubfraktion, Luftvolumen, BaP sowie Kohlenstoffanalysen (OC, EC, WSOC, WISOC) und Zusammenhang mit BaP der Tagesfilterproben (STO A, STO B, STO C T1, STO C T2 und STO C T3) inkl. Anmerkungen.

STO/ Tages- filter	PM [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Luftvolumen (gesamt) ⁵ [m^3]	BaP [ng/ m^3]	OC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	EC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	WSOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	WISOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Anteil OC an PM [%]	Anteil EC an PM [%]	Anteil WSOC an PM [%]	Anteil WISOC an PM [%]	Anteil WSOC an OC [%]	Anteil BaP an PM [%]	Anmerkungen
STO A (PM _{2,5})	106,4	658,5	2,55 +/- 0,56	24,95 +/- 0,68	1,88 +/- 0,14	20,5	4,5	23	2	19	4	82	0,0024	hohe RSD über alle LM (n = 5): 50 % – Anteil WSOC hoch; Minderbefunde mit n-Hexan (38 % WF) und Cyclohexan (44 %)
STO B (PM ₁₀)	107,9	704,1	5,65 +/- 0,81	26,73 +/- 0,73	2,2 +/- 0,17	18,5	8,2	25	2	17	8	69	0,0052	hohe RSD über alle LM (n = 5): 36 % – Anteil WSOC hoch; Minderbefunde mit n-Hexan (71 %) und ibes. Cyclohexan (44 %)
STO C T1 (PM _{2,5})	44,06	691,5	5,13 +/- 0,35	14,63 +/- 0,4	2,42 +/- 0,19	8,8	5,9	33	5	20	13	60	0,0116	RSD ok (< 20 %); Minderbefunde mit n-Hexan (80 %) und Cyclohexan (64 %) nicht so stark ausgeprägt
STO C T2 (PM _{2,5})	94,35	706	2,18 +/- 0,37	21,95 +/- 0,6	1,64 +/- 0,13	18,7	3,3	23	2	20	3	85	0,0023	hohe RSD über alle LM (n = 5): 42 % RSD – Anteil WSOC hoch; Minderbefunde n-Hexan (65 %) und Cyclohexan (36 %)
STO C T3 (PM _{2,5})	25,79	684,7	3,08 +/- 0,36	9,55 +/- 0,26	2,09 +/- 0,16	5,6	4	37	8	22	16	59	0,0119	RSD ok (< 20 %); Minderbefunde mit n-Hexan (71 %) und Cyclohexan (70 %) nicht so stark ausgeprägt;

⁵ In der Tabelle wird das gesamte Luftvolumen für einen Tagesfilter dargestellt. Für die Bestimmung von BaP, ausgehend von Extrakten der 1/16 Filteraliquote, wurden die Ergebnisse für BaP durch das anteilige Luftvolumen (d.h. 1/16 des Luftvolumens (gesamt)) pro Filteraliquot dividiert, um die Konzentration für BaP pro m^3 zu erhalten.

Tabelle 16: Qualitätssichernde Maßnahmen Lagerungsversuche – Analyseergebnisse zertifiziertes Referenzmaterial ERM-CZ100 „Fine dust (PM₁₀-like matrix)“
(zertifizierter Gehalt: 0,72 mg/kg BaP +/- 0,05 mg/kg (MU k = 2)).

Analyse begleitend zu Messserie (Einwaage jeweils 50 mg)	Messdatum	Messwert BaP mg/kg (= ng/mg)	WF (Messwert bezogen auf zertifizierten Gehalt) [%]
Jänner, 1. DG	24.02.2017	0,71	99
Februar, 1. DG	24.03.2017	0,70	97
Jänner, 2. DG	27.04.2017	0,71	99
Februar, 2. DG	29.05.2017	0,73	101
Jänner, WH	09.06.2017	0,76	106
Jänner, 3. DG	28.06.2017	0,73	101
Februar, 3. DG	26.07.2017	0,76	105
Jänner, 4. DG	28.08.2017	0,74	103
Februar, 4. DG	22.09.2017	0,68	95
Jänner, 5. DG	23.10.2017	0,68	94
Februar, 5. DG	28.11.2017	0,75	104
Jänner, 6. DG	21.12.2017	0,68	95
Februar, 6. DG	30.01.2018	0,69	96
Jänner, 7. DG	23.02.2018	0,72	100
Februar, 7. DG	28.03.2018	0,75	104
November, 3. DG	25.04.2018	0,76	106
Dezember, 3. DG	24.05.2018	0,68	94
November, 4. DG	03.07.2018	0,70	98
Dezember, 4. DG	25.07.2018	0,70	97
November, 5. DG	03.09.2018	0,71	98
Dezember, 5. DG	02.10.2018	0,70	97
November, 6. DG	23.10.2018	0,76	105
Dezember, 6. DG	27.11.2018	0,75	104
November, 7. DG	19.12.2018	0,71	99
Dezember, 7. DG	30.01.2019	0,71	99

Analyse begleitend zu Messserie (Einwaage jeweils 50 mg)	Messdatum	Messwert BaP mg/kg (= ng/mg)	WF (Messwert bezogen auf zertifizierten Gehalt) [%]
	Mittelwert	0,72	100
	Standardabweichung	0,03	3,9
	% RSD	4	4
	Anzahl	25	25
Sollwert +/- U (k = 2) lt. Zertifikat	mg/kg	0,72 +/- 0,05 mg/kg	
Mittlere Wiederfindungsrate	% WF	100 +/- 4 %	

Tabelle 17: Qualitätssichernde Maßnahmen Lagerungsversuche – Analysenergebnisse Kontrollprobe STO 5 – Jänner 2017 – Wiederholbarkeit, ausgehend vom Filterprobenextrakt sowie Veränderung durch mehrfache zeitlich versetzte Entnahmen aus Kühlschrank.

Analyse Extrakt begleitend zu Messserie	Messdatum	Messwert BaP [ng/m ³]	% WF	Anmerkungen
		<i>* (ohne Korrektur Surrogat, da Zusatz 40 ng BaP-d12 zu gering für 1:10 Verdünnung)</i>	<i>(Ergebnis Extrakt, bezogen auf Erstmessung)</i>	
Jänner, 1.DG	08.03.2017	7,4	100	Erstmessung (nach Extrakterstellung)
Jänner, WH	09.06.2017	6,9	93	
Jänner, 3.DG	03.07.2017	7,0	94	
Februar, 3.DG	01.08.2017	7,1	96	
Jänner, 4.DG	07.09.2017	7,3	98	
Februar, 4.DG	03.10.2017	7,1	96	
Jänner, 5. DG	10.11.2017	7,1	96	
Februar, 5. DG	20.12.2017	8,0	108	~ 8. Mal Entnahme aus Rückstellprobe
Jänner, 6. DG	09.01.2018	8,6	*117	~ 9. Mal Entnahme aus Rückstellprobe
Februar, 6. DG	07.02.2018	8,7	*118	~ 10. Mal Entnahme aus Rückstellprobe
	Mittelwert	7,5		
	Standardabweichung	0,7		
	% RSD	8,9		
	Anzahl	10		

* **Fazit:** Vergleichbarkeit der Messungen ist gegeben, ab hier 9. Mal Entnahme bereits tendenziell systematischer Mehrbefund. Im Zeitfenster März 2017 bis November 2017 erscheint kein Einfluss durch Entnahme/Veränderung bei Analysenextrakt. Hinweis: Bei derartig hoch belasteten Filterproben und zu geringem Surrogatzusatz vor der Extraktion sind Minderbefunde möglich. Es sollte daher der Surrogatzusatz BaP-d12 bei Filterproben mit erwarteter Belastung entsprechend erhöht werden (z. B. 10-fach erhöhte Konzentration an Surrogat).

Tabelle 18: Qualitätssichernde Maßnahmen Lagerungsversuche – Analyseergebnisse Kontrollprobe STO 5 – Jänner 2018 1. DG – Wiederholbarkeit, ausgehend vom Filterprobenextrakt sowie Veränderung durch mehrfache zeitlich versetzte Entnahmen aus Kühlschrank.

Analyse Extrakt begleitend zu Messserie	im Zuge Mssg.	Messwert BaP [ng/m ³]	% WF BaP-d12	% WF	Anmerkungen
		* (nach Korrektur Surrogat, da erhöhter Zusatz 400 ng BaP-d12 für 1:5 Verdünnung)		(Ergebnis Extrakt, bezogen auf Erstmessung)	
Jänner, 1. DG	27.02.2018	5,5	102	100	Erstmessung (nach Extrakterstellung)
Februar 2018, 1. DG	29.03.2018	5,4	102	97	
März 2018, 1. DG	25.04.2018	5,7	97	103	
April 2018, 1. DG	24.05.2018	6,1	95	110	
Mai 2018, 1. DG	03.07.2018	6,4	102	115	
Juni 2018, 1. DG	25.07.2018	6,3	108	113	
Juli 2018, 1. DG	03.09.2018	6,7	99	*121	~ 7. Mal Entnahme aus Rückstellprobe
August 2018, 1. DG	02.10.2018	6,7	99	*121	~ 8. Mal Entnahme aus Rückstellprobe
September 2018, 1. DG	23.10.2018	6,5	102	*117	~ 9. Mal Entnahme aus Rückstellprobe
	Mittelwert	6,2	101	111	
	Standardabweichung	0,5	3,5	8,8	
	% RSD	8,0	3,5	7,9	
	Anzahl	9	9	9	

* **Fazit:** Vergleichbarkeit der Messungen ist gegeben, ab hier ~ 7. Mal Entnahme bereits tendenziell systematischer Mehrbefund. Im Zeitfenster Februar 2018 bis Juli 2018 liegt der Einfluss durch Entnahme/Veränderung bei Analysenextrakt noch im Rahmen bis 15 %. Wie gezeigt werden konnte, ist bei derartig hoch belasteten Filterproben der Surrogatzusatz vor der Extraktion deutlich zu erhöhen (hier 10-fach erhöhter Zusatz bei Hochbelastung), damit eine sinnvolle Auswertung und Berechnung der Wiederfindungsrate BaP-d12 möglich ist.

Tabelle 19: Qualitätssichernde Maßnahmen Lösungsmittelversuche – Analyseergebnisse zertifiziertes Referenzmaterial ERM-CZ100 „Fine dust (PM₁₀-like matrix)“ (zertifizierter Gehalt: 0,72 mg/kg BaP +/- 0,05 mg/kg (MU k = 2); Analyseergebnisse Referenzmaterial SRM 1649a „Urban dust“ (Zertifikat abgelaufen, alle Laboratorien arbeiten von selber Ausgangsprobe; zertifizierter Gehalt: 2,509 mg/kg BaP +/- 0,087 mg/kg (MU k = 2)).

Wiederfindungsraten im Bereich von 80–120 % Wiederfindungsraten unter 70 %

Labor	Lösungsmittel/ Extraktionsverfahren (US ... Ultraschall; ASE ... beschleunigte Lösungsmittelextraktion)	Proben- bezeichnung (einheitlich für alle Laboratorien)	Messergebnis BaP [mg/kg]	WF BaP [%] (Bezugsbasis: Sollwert/Zertifikat)	Anmerkungen <i>Einwaagen: je 50 mg für Referenzmaterialien; Extrakte werden filtriert; (Lagerung Referenzmaterial: im Kühlschrank; Temperierung: im geschlossenen Zustand bei Raumtemperatur 2 h, Homogenisierung durch Schütteln und anschl. Einwaage).</i>
1	Aceton:n-Hexan/US	ERM-CZ100_I	0,73	102	
2	Aceton:n-Hexan/US	CZ100_I	0,76	106	
1	Aceton:n-Hexan/US	ERM-CZ100_II	0,75	104	
2	Aceton:n-Hexan/US	ERM-CZ100_II	0,54	75	Geringe Wiederfindungsrate (unter 80 %)!
1	Toluol/US	ERM-CZ100_I	0,71	98	
2	Toluol/US	ERM-CZ100_I	0,78	108	
1	Toluol/US	ERM-CZ100_II	0,74	103	
2	Toluol/US	ERM-CZ100_II	0,62	86	
2	DCM:c-Hexan/US	ERM-CZ100_I	0,6	83	
2	DCM:c-Hexan/US	ERM-CZ100_II	0,55	76	Geringe Wiederfindungsrate (unter 80 %)!
3	Cyclohexan/ASE	ERM-CZ100_I	0,61	85	CZ 100 – Sample No.: 0508; Einwaage: 54,2 mg
3	Cyclohexan/ASE	ERM-CZ100_II	0,58	81	CZ 100 – Sample No.: 0508; Einwaage: 79,3 mg
2	Cyclohexan/US	ERM-CZ100_I	0,27	37	Sehr geringe Wiederfindungsrate! Minderbefund
2	Cyclohexan/US	ERM-CZ100_II	0,27	37	Sehr geringe Wiederfindungsrate! Minderbefund
2	n-Hexan/US	ERM-CZ100_I	0,4	56	Sehr geringe Wiederfindungsrate! Minderbefund
1	Aceton:n-Hexan/US	SRM 1649a_I	2,2	88	
2	Aceton:n-Hexan/US	SRM 1649a_I	2,62	104	
1	Aceton:n-Hexan/US	SRM 1649a_II	2,2	87	
2	Aceton:n-Hexan/US	SRM 1649a_II	2,7	108	
1	Toluol/US	SRM 1649a_I	2	80	
2	Toluol/US	SRM 1649a_I	2,62	104	
1	Toluol/US	SRM 1649a_II	2,2	87	

Labor	Lösungsmittel/ Extraktionsverfahren (US ... Ultraschall; ASE ... beschleunigte Lösungsmittlextraktion)	Proben- bezeichnung (einheitlich für alle Laboratorien)	Messergebnis BaP [mg/kg]	WF BaP [%] (Bezugsbasis: Sollwert/Zertifikat)	Anmerkungen
2	Toluol/US	SRM 1649a_II	2,74	109	
2	DCM:c-Hexan/US	SRM 1649a_I	2,64	105	
2	DCM:c-Hexan/US	SRM 1649a_II	2,62	104	
3	Cyclohexan/ASE	SRM 1649a_I	1,8	72	Einwaage: 56,4 mg; geringe Wiederfindungsrate (unter 80 %)!
3	Cyclohexan/ASE	SRM 1649a_II	1,85	74	Einwaage:61,9 mg; geringe Wiederfindungsrate (unter 80 %)!
2	Cyclohexan/US	SRM 1649a_I	1,78	71	Geringe Wiederfindungsrate (unter 80 %)!
2	Cyclohexan/US	SRM 1649a_II	0,91	36	Sehr geringe Wiederfindungsrate! Minderbefund
2	n-Hexan/US	SRM 1649a_I	0,92	37	Sehr geringe Wiederfindungsrate! Minderbefund

Fazit: Lösungsmittel Cyclohexan und n-Hexan ergeben in Kombination mit Ultraschallextraktion bei beiden Referenzmaterialien eindeutige Minderbefunde und sind daher als nicht geeignet für die Durchführung von BaP-Bestimmungen von Filterproben anzusehen. Die Lösungsmittel Aceton:n-Hexan, Toluol, DCM:c-Hexan liefern in Kombination mit Ultraschallextraktion zufriedenstellende Ergebnisse. Während mit der beschleunigten Lösungsmittlextraktion für Lösungsmittel Cyclohexan die Ausbeute im Vergleich zur Ultraschallextraktion deutlich verbessert wird, sind tendenziell Minderbefunde zu erwarten (vgl. ibes. SRM 1649a). Es wird daher ein alternatives Lösungsmittel mit erhöhter Extraktionseffizienz aus dem Set der anderen Lösungsmittel für die ASE empfohlen.

Tabelle 20: Ergebnisse BaP – Lagerungsversuche

(Umweltbundesamt, Prüfbericht Nr. 1906/0434 vom 18.06.2019; Bestimmungsgrenze BaP: 0,02 ng/m³; Nachweisgrenze BaP: 0,01 ng/m³).

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1702 00966	AP5 – Analytik – Jänner 2017	Blindwert-MMP	BW, 1. Durchgang, 1 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	n.n.
1704 01740	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 2. DG	Blindwert-MMP	BW, 2. Durchgang, 1 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	n.n.
1706 03367	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 3. DG	Blindwert-MMP	BW, 3. Durchgang, 1 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	n.n.
1708 04432	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 4. DG	Blindwert-MMP	BW, 4. Durchgang, 1 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	n.n.
1710 05499	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 5. DG	Blindwert-MMP	BW, 5. Durchgang, 1 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	n.n.
1712 06373	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 6. DG	Blindwert-MMP	BW, 6. Durchgang, 1 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	n.n.
1802 02749	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 7. DG	Blindwert-MMP	BW, 7. Durchgang, 1 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	n.n.
1702 00967	AP5 – Analytik – Jänner 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 1. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,8
1704 01741	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 2. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,5
1706 03368	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 3. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,3
1708 04433	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 4. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,5
1710 05500	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 5. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,1
1712 06374	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 6. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,0
1802 02750	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 7. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,3
1703 01324	AP5 – Analytik – Februar 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 1. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1705 02704	AP5 – Analytik – Februar 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 2. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,4

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1707 03880	AP5 – Analytik – Februar 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 3. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,0
1709 04916	AP5 – Analytik – Februar 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 4. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,1
1711 05956	AP5 – Analytik – Februar 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 5. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1801 02033	AP5 – Analytik – Februar 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 6. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1803 03252	AP5 – Analytik – Februar 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 7. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1707 03875	AP5 – Analytik – Juni 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 1. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,030
1709 04921	AP5 – Analytik – Juni 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 2. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,038
1711 05961	AP5 – Analytik – Juni 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 3. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	< 0.020
1801 02038	AP5 – Analytik – Juni 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 4. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	< 0.020
1803 03262	AP5 – Analytik – Juni 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 5. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,022
1805 04338	AP5 – Analytik – Juni 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 6. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,022
1807 05589	AP5 – Analytik – Juni 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 7. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,025
1712 06368	AP5 – Analytik – November 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 1. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1802 02755	AP5 – Analytik – November 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 2. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,4
1804 03766	AP5 – Analytik – November 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 3. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,4
1806 05127	AP5 – Analytik – November 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 4. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,4
1809 06116	AP5 – Analytik – November 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 5. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,4

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1810 07074	AP5 – Analytik – November 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 6. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1812 09205	AP5 – Analytik – November 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 7. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,5
1801 02028	AP5 – Analytik – Dezember 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 1. Durchgang, 12 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,3
1803 03257	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 2. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,4
1805 04333	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 3. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,6
1807 05584	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 4. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,6
1810 06605	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 5. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,4
1811 07882	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 6. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,1
1901 00588	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 1, 7. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,4
1702 00968	AP5 – Analytik – Jänner 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 1. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,1
1704 01742	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 2. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,5
1706 03369	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 3. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,5
1708 04434	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 4. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,5
1710 05501	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 5. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2
1712 06375	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 6. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,3
1802 02751	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 7. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,9
1703 01325	AP5 – Analytik – Februar 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 1. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	1,6

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1705 02705	AP5 – Analytik – Februar 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 2. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	1,8
1707 03881	AP5 – Analytik – Februar 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 3. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	1,5
1709 04917	AP5 – Analytik – Februar 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 4. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	1,6
1711 05957	AP5 – Analytik – Februar 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 5. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	1,7
1801 02034	AP5 – Analytik – Februar 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 6. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	1,6
1803 03253	AP5 – Analytik – Februar 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 7. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	1,6
1707 03876	AP5 – Analytik – Juni 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 1. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,021
1709 04922	AP5 – Analytik – Juni 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 2. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,023
1711 05962	AP5 – Analytik – Juni 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 3. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	< 0.020
1801 02039	AP5 – Analytik – Juni 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 4. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	< 0.020
1803 03263	AP5 – Analytik – Juni 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 5. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	< 0.020
1805 04339	AP5 – Analytik – Juni 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 6. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	< 0.020
1807 05590	AP5 – Analytik – Juni 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 7. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	< 0.020
1712 06369	AP5 – Analytik – November 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 1. Durchgang, 11 – 2017	29 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,1
1802 02756	AP5 – Analytik – November 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 2. Durchgang, 11 – 2017	29 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1804 03767	AP5 – Analytik – November 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 3. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1806 05128	AP5 – Analytik – November 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 4. Durchgang, 11 – 2017	29 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1809 06117	AP5 – Analytik – November 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 5. Durchgang, 11 – 2017	29 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1810 07075	AP5 – Analytik – November 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 6. Durchgang, 11 – 2017	29 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1812 09206	AP5 – Analytik – November 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 7. Durchgang, 11 – 2017	29 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1801 02029	AP5 – Analytik – Dezember 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 1. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,0
1803 03258	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 2. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,9
1805 04334	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 3. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,3
1807 05585	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 4. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,3
1810 06606	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 5. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,2
1811 07883	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 6. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,6
1901 00589	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 2, 7. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,1
1702 00969	AP5 – Analytik – Jänner 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 1. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,8
1704 01743	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 2. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,3
1706 03370	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 3. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,6
1708 04435	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 4. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,7
1710 05502	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 5. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,4
1712 06376	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 6. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,5
1802 02752	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 7. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,4

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1703 01326	AP5 – Analytik – Februar 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 1. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,1
1705 02706	AP5 – Analytik – Februar 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 2. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1707 03882	AP5 – Analytik – Februar 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 3. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,0
1709 04918	AP5 – Analytik – Februar 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 4. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,0
1711 05958	AP5 – Analytik – Februar 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 5. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1801 02035	AP5 – Analytik – Februar 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 6. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,1
1803 03254	AP5 – Analytik – Februar 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 7. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,1
1707 03877	AP5 – Analytik – Juni 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 1. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,033
1709 04923	AP5 – Analytik – Juni 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 2. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,030
1711 05963	AP5 – Analytik – Juni 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 3. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,030
1801 02040	AP5 – Analytik – Juni 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 4. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,027
1803 03264	AP5 – Analytik – Juni 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 5. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,026
1805 04340	AP5 – Analytik – Juni 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 6. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,022
1807 05591	AP5 – Analytik – Juni 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 7. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,027
1712 06370	AP5 – Analytik – November 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 1. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1802 02757	AP5 – Analytik – November 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 2. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,4
1804 03768	AP5 – Analytik – November 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 3. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,4

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1806 05129	AP5 – Analytik – November 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 4. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1809 06118	AP5 – Analytik – November 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 5. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1810 07076	AP5 – Analytik – November 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 6. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1812 09207	AP5 – Analytik – November 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 7. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1801 02030	AP5 – Analytik – Dezember 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 1. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,0
1803 03259	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 2. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,0
1805 04335	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 3. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,2
1807 05586	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 4. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,3
1810 06607	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 5. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,2
1811 07884	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 6. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,5
1901 00590	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 3, 7. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,1
1702 00970	AP5 – Analytik – Jänner 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 1. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,9
1704 01744	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 2. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,3
1706 03371	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 3. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,4
1708 04436	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 4. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,4
1710 05503	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 5. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,8
1712 06377	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 6. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,6

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1802 02753	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 7. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,5
1703 01327	AP5 – Analytik – Februar 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 1. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,1
1705 02707	AP5 – Analytik – Februar 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 2. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1707 03883	AP5 – Analytik – Februar 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 3. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,1
1709 04919	AP5 – Analytik – Februar 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 4. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1711 05959	AP5 – Analytik – Februar 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 5. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,3
1801 02036	AP5 – Analytik – Februar 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 6. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1803 03255	AP5 – Analytik – Februar 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 7. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	2,2
1707 03878	AP5 – Analytik – Juni 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 1. Durchgang, 6 – 2017	24 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,035
1709 04924	AP5 – Analytik – Juni 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 2. Durchgang, 6 – 2017	24 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,030
1711 05964	AP5 – Analytik – Juni 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 3. Durchgang, 6 – 2017	24 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,030
1801 02041	AP5 – Analytik – Juni 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 4. Durchgang, 6 – 2017	24 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,024
1803 03265	AP5 – Analytik – Juni 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 5. Durchgang, 6 – 2017	24 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,023
1805 04341	AP5 – Analytik – Juni 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 6. Durchgang, 6 – 2017	24 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	< 0.020
1807 05592	AP5 – Analytik – Juni 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 7. Durchgang, 6 – 2017	24 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,026
1712 06371	AP5 – Analytik – November 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 1. Durchgang, 11 – 2017	26 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,4
1802 02758	AP5 – Analytik – November 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 2. Durchgang, 11 – 2017	26 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,6

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1804 03769	AP5 – Analytik – November 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 3. Durchgang, 11 – 2017	26 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,7
1806 05130	AP5 – Analytik – November 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 4. Durchgang, 11 – 2017	26 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,6
1809 06119	AP5 – Analytik – November 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 5. Durchgang, 11 – 2017	26 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,4
1810 07077	AP5 – Analytik – November 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 6. Durchgang, 11 – 2017	26 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,7
1812 09208	AP5 – Analytik – November 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 7. Durchgang, 11 – 2017	26 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,3
1801 02031	AP5 – Analytik – Dezember 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 1. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,4
1803 03260	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 2. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,5
1805 04336	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 3. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,7
1807 05587	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 4. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,7
1810 06608	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 5. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,6
1811 07885	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 6. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,9
1901 00591	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 4, 7. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,3
1702 00971	AP5 – Analytik – Jänner 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 1. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	7,4
1704 01745	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 2. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	6,5
1706 03372	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 3. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	9,7
1708 04437	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 4. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	9,5
1710 05504	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 5. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	9,1

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1712 06378	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 6. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	11
1802 02754	AP5 – Analytik – Jänner 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 7. Durchgang, 1 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	8,5
1703 01328	AP5 – Analytik – Februar 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 1. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	3,9
1705 02708	AP5 – Analytik – Februar 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 2. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,0
1707 03884	AP5 – Analytik – Februar 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 3. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	4,9
1709 04920	AP5 – Analytik – Februar 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 4. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,0
1711 05960	AP5 – Analytik – Februar 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 5. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2
1801 02037	AP5 – Analytik – Februar 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 6. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,0
1803 03256	AP5 – Analytik – Februar 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 7. Durchgang, 2 – 2017	28 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2
1707 03879	AP5 – Analytik – Juni 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 1. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,036
1709 04925	AP5 – Analytik – Juni 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 2. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,029
1711 05965	AP5 – Analytik – Juni 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 3. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,030
1801 02042	AP5 – Analytik – Juni 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 4. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,031
1803 03266	AP5 – Analytik – Juni 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 5. Durchgang, 6 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,030
1805 04342	AP5 – Analytik – Juni 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 6. Durchgang, 6 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,025
1807 05593	AP5 – Analytik – Juni 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 7. Durchgang, 6 – 2017	29 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	0,029
1712 06372	AP5 – Analytik – November 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 1. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2

Labornummer	Auftragsbezeichnung	Probenbeschreibung	Probenbezeichnung anonym	Probenmenge	BaP [ng/m ³]
1802 02759	AP5 – Analytik – November 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern 10-Filtern	STO 5, 2. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,3
1804 03770	AP5 – Analytik – November 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 3. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2
1806 05131	AP5 – Analytik – November 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 4. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2
1809 06120	AP5 – Analytik – November 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 5. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2
1810 07078	AP5 – Analytik – November 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 6. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,3
1812 09209	AP5 – Analytik – November 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 7. Durchgang, 11 – 2017	30 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,3
1801 02032	AP5 – Analytik – Dezember 2017	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 1. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2
1803 03261	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 2. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 2. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2
1805 04337	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 3. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 3. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,6
1807 05588	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 4. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 4. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,6
1810 06609	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 5. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 5. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,5
1811 07886	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 6. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 6. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	6,0
1901 00592	AP5 – Analytik – Dezember 2017, 7. DG	Monatsmischprobe aus PM ₁₀ -Filtern	STO 5, 7. Durchgang, 12 – 2017	31 ausgestanzte Filterstückchen mit 0,8 cm Durchmesser	5,2

Tabelle 21: Ergebnisse BaP Filterproben – Lösungsmittelversuche (Datenherkunft: Umweltbundesamt Ergebnistabelle vom 07.06.2017; Technische Universität Wien Ergebnistabelle vom 02.07.2017 sowie Ergebnisübermittlung vom Labor der oberösterreichischen Landesregierung vom Mai 2017; Darstellung der BaP-Ergebnisse der Laboratorien zur Nachvollziehbarkeit auf 2 Nachkommastellen).

Labor Nr. Lösungsmittel/ Extraktionsverfahren (anonym) US ... Ultraschall ASE ... beschleunigte Lösungsmittlextraktion	Filterprobe/ STO (anonym)	BaP [ng/m³]	WF [%] <i>(Bezugsbasis Gesamt-Mittelwert über alle Lösungsmittel ohne Verfahren US in Kombination mit n-Hexan und Cyclohexan)</i>	mittlere WF [%]	Anmerkungen <i>Stmk High Vol Filter, Blindwerte: Umrechnung in m³ unter Verwendung Angaben TU Wien für jeweilige Filtersegmente Ktn Filter (nur TU, U): Umrechnung in m³ unter Verwendung Angaben U</i>
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO 1	2,74	115		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO 2	2,77	114		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO 3	1,01	110		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO 4	6,80	122		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO 5	16,17	124		Hoch
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO 1	2,18	91		
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO 2	2,15	89		
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO 3	0,92	100		
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO 4	4,74	85		
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO 5	8,28	64		Extrakttausch → Messung d. Lab 2: BaP 9,6 ng/m ³ (8,5–10,8) – Juli 2017
Lab 2_Toluol/US	STO 1	2,48	104		
Lab 2_Toluol/US	STO 2	2,61	107		
Lab 2_Toluol/US	STO 3	0,93	101		
Lab 2_Toluol/US	STO 4	6,47	116		
Lab 2_Toluol/US	STO 5	16,23	125		Hoch
Lab 1_Toluol/US	STO 1	2,08	87		
Lab 1_Toluol/US	STO 2	2,16	89		
Lab 1_Toluol/US	STO 3	0,85	92		
Lab 1_Toluol/US	STO 4	4,46	80		
Lab 1_Toluol/US	STO 5	8,97	69		Extrakttausch → Messung d. Lab 2: 7,6 ng/m ³ (7,7–7,5) – Juli 2017
Lab 2_c-Hexan/US	STO 1	1,99	84		Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_c-Hexan/US	STO 2	2,44	101		Ausscheiden für Sollwertberechnung

Labor Nr._Lösungsmittel/ Extraktionsverfahren <i>(anonym)</i> <i>US ... Ultraschall</i> <i>ASE ... beschleunigte</i> <i>Lösungsmittlextraktion</i>	Filterprobe/ STO <i>(anonym)</i>	BaP [ng/m³]	WF [%] <i>(Bezugsbasis Gesamt-Mittelwert über</i> <i>alle Lösungsmittel ohne Verfahren US in</i> <i>Kombination mit n-Hexan und Cyclohexan)</i>	mittlere WF [%]	Anmerkungen <i>Stmk High Vol Filter, Blindwerte: Umrechnung in m³ unter Verwendung</i> <i>Angaben TU Wien für jeweilige Filtersegmente Ktn Filter (nur TU, U):</i> <i>Umrechnung in m³ unter Verwendung Angaben U</i>
Lab 2_c-Hexan/US	STO 3	0,48	53		zu wenig; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_c-Hexan/US	STO 4	3,67	66		wenig; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_c-Hexan/US	STO 5	11,78	91		i.Vgl. zu Daten Lab 2 weniger; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO 1	2,41	101		
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO 2	2,46	101		
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO 3	0,91	99		
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO 4	5,45	98		
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO 5	15,35	118		Hoch
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO A I	2,93	115	122	
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO A II	3,31	130		
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO B I	5,57	99	104	
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO B II	6,15	109		
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T1 I	5,30	103	101	
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T1 II	5,07	99		
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T2 I	2,63	121	120	
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T2 II	2,59	119		
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T3 I	3,18	103	110	
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T3 II	3,60	117		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO A I	3,00	118	124	
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO A II	3,31	130		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO B I	7,13	126	123	
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO B II	6,79	120		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T1 I	5,27	103	104	
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T1 II	5,40	105		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T2 I	2,53	116	118	

Labor Nr._Lösungsmittel/ Extraktionsverfahren <i>(anonym)</i> <i>US ... Ultraschall</i> <i>ASE ... beschleunigte</i> <i>Lösungsmittlextraktion</i>	Filterprobe/ STO <i>(anonym)</i>	BaP [ng/m³]	WF [%] <i>(Bezugsbasis Gesamt-Mittelwert über</i> <i>alle Lösungsmittel ohne Verfahren US in</i> <i>Kombination mit n-Hexan und Cyclohexan)</i>	mittlere WF [%]	Anmerkungen <i>Stmk High Vol Filter, Blindwerte: Umrechnung in m³ unter Verwendung</i> <i>Angaben TU Wien für jeweilige Filtersegmente Ktn Filter (nur TU, U):</i> <i>Umrechnung in m³ unter Verwendung Angaben U</i>
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T2 II	2,64	121		
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T3 I	2,23	72	82	
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	STO C_T3 II	2,80	91		
Lab 1_Toluol/US	STO A I	2,64	104	102	
Lab 1_Toluol/US	STO A II	2,55	100		
Lab 1_Toluol/US	STO B I	5,68	101	98	
Lab 1_Toluol/US	STO B II	5,34	95		
Lab 1_Toluol/US	STO C_T1 I	5,20	101	101	
Lab 1_Toluol/US	STO C_T1 II	5,18	101		
Lab 1_Toluol/US	STO C_T2 I	2,21	101	102	
Lab 1_Toluol/US	STO C_T2 II	2,23	102		
Lab 1_Toluol/US	STO C_T3 I	3,32	108	106	
Lab 1_Toluol/US	STO C_T3 II	3,25	105		
Lab 2_Toluol/US	STO A I	2,14	84	85	
Lab 2_Toluol/US	STO A II	2,22	87		
Lab 2_Toluol/US	STO B I	5,41	96	101	
Lab 2_Toluol/US	STO B II	6,00	106		
Lab 2_Toluol/US	STO C_T1 I	5,23	102	106	
Lab 2_Toluol/US	STO C_T1 II	5,62	110		
Lab 2_Toluol/US	STO C_T2 I	1,67	77	73	
Lab 2_Toluol/US	STO C_T2 II	1,52	70		
Lab 2_Toluol/US	STO C_T3 I	3,18	103	108	
Lab 2_Toluol/US	STO C_T3 II	3,51	114		
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO A I	1,97	77	70	Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 85 mg
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO A II	1,59	62		Minderbefund; Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 74mg; Differenz Probengewicht (2.Filtersektor-1.Filtersektor):

Labor Nr._Lösungsmittel/ Extraktionsverfahren <i>(anonym)</i> <i>US ... Ultraschall</i> <i>ASE ... beschleunigte</i> <i>Lösungsmittlextraktion</i>	Filterprobe/ STO <i>(anonym)</i>	BaP [ng/m³]	WF [%] <i>(Bezugsbasis Gesamt-Mittelwert über</i> <i>alle Lösungsmittel ohne Verfahren US in</i> <i>Kombination mit n-Hexan und Cyclohexan)</i>	mittlere WF [%]	Anmerkungen <i>Stmk High Vol Filter, Blindwerte: Umrechnung in m³ unter Verwendung</i> <i>Angaben TU Wien für jeweilige Filtersegmente Ktn Filter (nur TU, U):</i> <i>Umrechnung in m³ unter Verwendung Angaben U</i>
					– 11,0 mg – entspr. ca. – 12,9 %
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO B I	4,78	85	80	Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 101,6 mg
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO B II	4,20	74		Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 89,6 mg; Differenz Probengewicht (2.Filtersektor-1.Filtersektor): – 12,0 mg – entspr. ca. – 11,8 %
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO C_T1 I	4,97	97	90	Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 103,8 mg
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO C_T1 II	4,25	83		Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 97,2 mg; Differenz Probengewicht (2.Filtersektor-1.Filtersektor): – 6,6 mg – entspr. ca. – 6,4 %
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO C_T2 I	2,12	97	94	Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 98,9 mg
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO C_T2 II	1,95	90		Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 97,1 mg; Differenz Probengewicht (2.Filtersektor-1.Filtersektor): – 1,8 mg – entspr. ca. – 1,8 %
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO C_T3 I	2,94	95	98	Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 96,1 mg
Lab 3_Cyclohexan/ASE	STO C_T3 II	3,07	100		Probengewicht (1/16 Filter+darauf gesammelter Staub): 108,2 mg; Differenz Probengewicht (2.Filtersektor-1.Filtersektor): + 12,1 mg – entspr. ca. + 12,6 %
Lab 2_Cyclohexan/US	STO A I	0,88	35	44	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO A II	1,33	52		Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO B I	2,49	44	44	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO B II	2,43	43		Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO C_T1 I	3,29	64	64	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO C_T1 II	3,23	63		Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO C_T2 I	0,78	36	36	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO C_T2 II	0,80	37		Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO C_T3 I	2,29	74	70	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_Cyclohexan/US	STO C_T3 II	2,03	66		Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO A I	2,95	116	97	

Labor Nr._Lösungsmittel/ Extraktionsverfahren <i>(anonym)</i> <i>US ... Ultraschall</i> <i>ASE ... beschleunigte</i> <i>Lösungsmittlextraktion</i>	Filterprobe/ STO <i>(anonym)</i>	BaP [ng/m³]	WF [%] <i>(Bezugsbasis Gesamt-Mittelwert über</i> <i>alle Lösungsmittel ohne Verfahren US in</i> <i>Kombination mit n-Hexan und Cyclohexan)</i>	mittlere WF [%]	Anmerkungen <i>Stmk High Vol Filter, Blindwerte: Umrechnung in m³ unter Verwendung</i> <i>Angaben TU Wien für jeweilige Filtersegmente Ktn Filter (nur TU, U):</i> <i>Umrechnung in m³ unter Verwendung Angaben U</i>
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO A II	2,00	78		
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO B I	5,70	101	95	
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO B II	5,03	89		
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO C_T1 I	4,76	93	98	
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO C_T1 II	5,25	103		
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO C_T2 I	2,00	92	93	
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO C_T2 II	2,05	94		
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO C_T3 I	2,85	92	96	
Lab 2_DCM:c-Hexan/US	STO C_T3 II	3,05	99		
Lab 2_n-Hexan/US	STO A I	0,97	38	38	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_n-Hexan/US	STO B I	4,02	71	71	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_n-Hexan/US	STO C_T1 I	4,12	80	80	Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_n-Hexan/US	STO C_T2 I	1,41	65	65	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung
Lab 2_n-Hexan/US	STO C_T3 I	2,18	71	71	Minderbefund; Ausscheiden für Sollwertberechnung

Tabelle 22: Ergebnisse BaP Blindwerte sowie Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) für die Lösungsmittelversuche
(Datenherkunft: Umweltbundesamt Ergebnistabelle vom 07.06.2017; Technische Universität Wien Ergebnistabelle vom 02.07.2017
sowie Ergebnisübermittlung vom Labor der oberösterreichischen Landesregierung vom Mai 2017).

Labor Nr. Lösungsmittel_ Extraktionsverfahren (anonym) US ... Ultraschall ASE ... beschleunigte Lösungsmittlextraktion	Probenbezeichnung (einheitlich für alle Laboratorien)	BaP [ng/m ³]	BG BaP [ng/m ³]	NG BaP [ng/m ³]	Anmerkungen Stmk High Vol Filter, Blindwerte: Umrechnung in m ³ unter Verwendung Angaben TU Wien für jeweilige Filtersegmente Ktn Filter (nur TU, U): Umrechnung in m ³ unter Verwendung Angaben U
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	Blindwert - MMP_1-2016	n.n.	0,020	0,010	
Lab 1_Toluol/US	Blindwert - MMP_1-2016	n.n.	0,020	0,010	
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	Stmk_BW_02 a	n.n.	0,020	0,010	
Lab 1_Toluol/US	Stmk_BW_02 b	n.n.	0,020	0,010	
Lab 1_Aceton:n-Hexan/US	Stmk_BW_03 a	n.n.	0,020	0,010	
Lab 1_Toluol/US	Stmk_BW_03 b	n.n.	0,020	0,010	
Lab 3_Cyclohexan/ASE	Stmk_BW 04 a	0,03	0,025	0,008	Probengewicht (1/16 Filter): 95,6mg
Lab 3_Cyclohexan/ASE	Stmk_BW 04 b	< BG (0.021)	0,025	0,008	Probengewicht (1/16 Filter): 99,7 mg; Differenz Probengewicht (2. Filtersektor – 1. Filtersektor): + 4,1 mg – entspr. ca. + 4,3 %
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	Blindwert - MMP_1-2016	n.n.	0,08	0,04	
Lab 2_Cyclohexan/US	Blindwert - MMP_1-2016	n.n.	0,08	0,04	
Lab 2_DCM:Cyclohexan/US	Blindwert - MMP_1-2016	n.n.	0,08	0,04	
Lab 2_Toluol/US	Blindwert - MMP_1-2016	n.n.	0,08	0,04	
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	Stmk. BW_05_a	n.n.	0,16	0,08	
Lab 2_Aceton:n-Hexan/US	Stmk. BW_05_b	n.n.	0,16	0,08	
Lab 2_Cyclohexan/US	Stmk. BW_07_a	n.n.	0,16	0,08	
Lab 2_Cyclohexan/US	Stmk. BW_07_b	n.n.	0,16	0,08	
Lab 2_DCM:Cyclohexan/US	Stmk. BW_08_a	n.n.	0,16	0,08	
Lab 2_DCM:Cyclohexan/US	Stmk. BW_08_b	n.n.	0,16	0,08	
Lab 2_n-Hexan/US	Stmk. BW_01_a	n.n.	0,16	0,08	
Lab 2_Toluol/US	Stmk. BW_06_a	n.n.	0,16	0,08	
Lab 2_Toluol/US	Stmk. BW_06_b	n.n.	0,16	0,08	

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Im Rahmen eines Bund-Bundesländer Kooperationsprojektes wurden in Zusammenarbeit mit dem Amt der Kärntner Landesregierung Lagerungsversuche von PM₁₀-Filterproben für die Benzo(a)pyren-Analytik (BaP) durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass bei Tiefkühlung der Proben auf –18 °C die Ausdehnung der Lagerzeit auf bis zu einem Jahr in Glaspetrischalen möglich ist.

Eine weitere Versuchsreihe diente der Bestimmung des Einflusses von unterschiedlichen Lösungsmitteln auf das Ergebnis der BaP-Analytik. Die Untersuchungen zeigten, dass die Lösungsmittel Aceton:n-Hexan, Dichlormethan:Cyclohexan oder Toluol, in Kombination mit Ultraschallverfahren geeignet für die Anwendung in der BaP-Analytik sind. Die Lösungsmittel n-Hexan oder Cyclohexan führten zu Minderbefunden bei der Analyse der Referenzmaterialien und bei einem Großteil der Filter.