

TEXTE

38/2025

Abschlussbericht

Optimierungspotenziale hinsichtlich der Aufbereitung und dem Recycling von Altöl

Bewertung der Sammelkategorien hinsichtlich ihrer
Eignung zur stofflichen Verwertung sowie die
Auswirkungen von Mobilitäts- und
Technikveränderungen auf die Verteilung und
Zusammensetzung in den Sammelkategorien

von:

Dr. Till Zimmermann, Fynn Hauschke, Robin Memelink
Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH, Hamburg

Dr. Detlev Bruhnke
AVISTA OIL DEUTSCHLAND GmbH, Uetze

Herausgeber:
Umweltbundesamt

TEXTE 38/2025

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3721 34 304 0

FB001600

Abschlussbericht

Optimierungspotenziale hinsichtlich der Aufbereitung und dem Recycling von Altöl

Bewertung der Sammelkategorien hinsichtlich ihrer
Eignung zur stofflichen Verwertung sowie die
Auswirkungen von Mobilitäts- und
Technikveränderungen auf die Verteilung und
Zusammensetzung in den Sammelkategorien

von

Dr. Till Zimmermann, Fynn Hauschke, Robin Memelink
Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH, Hamburg

Dr. Detlev Bruhnke
AVISTA OIL DEUTSCHLAND GmbH, Uetze

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH
Nernstweg 32-34
22765 Hamburg

Abschlussdatum:

Juli 2024

Redaktion:

Fachgebiet III 2.1 Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie,
Feuerungsanlagen
Christopher Proske

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7688>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Optimierungspotenziale hinsichtlich der Aufbereitung und dem Recycling von Altöl

Die nationale und EU-Gesetzgebung priorisiert die Aufbereitung von Altöl vor anderen Verwertungsarten. Auf deutscher nationaler Ebene werden die Altölmengenströme anhand eines Berechnungsmodells periodisch unter Nutzung statistischer Eingangsdaten und Erkenntnissen zu sortenspezifischen Rücklaufquoten untersucht. In diesem Forschungsvorhaben wurde dieses Berechnungsmodell geprüft und aktualisiert. Daneben wurden die bestehenden Sammelkategorien dahingehend geprüft, welche Altöle zur Aufbereitung geeignet sind, insbesondere, ob auch Altöle der Sammelkategorie 2 zur stofflichen Verwertung geeignet sind. Hierfür wurden Altöle in Hinblick auf ihre Zusammensetzung insbesondere bzgl. Störstoffe (aus Additiven sowie aus der Nutzung) mittels Laboranalysen untersucht und geprüft, ob die Zuordnung zu den Sammelkategorien der Anlage 1 AltölV den aktuellen technischen Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung entspricht. Darüber hinaus wurde eine Betrachtung der Auswirkungen der aktuellen und in naher Zukunft zu erwartenden Mobilitäts- und Technikveränderungen (andere Öle, veränderte Additivzusammensetzung, steigender Anteil der E-Mobilität, ...) auf die Verteilung und Qualitäten der Sammelkategorien vorgenommen.

Abstract: Optimization Potentials in the Reprocessing and Recycling of Waste Oil

The national and EU legislation prioritizes the recycling of waste oil to base oil over other forms of end-of-life treatment. On the German national level, the waste oil flows are periodically analyzed using a calculation model that incorporates statistical input data and return rates specific for different lubricant types. In this project, this calculation model was reviewed and updated. Additionally, the existing collection categories were examined to determine which waste oils are suitable for reprocessing, specifically whether waste oils in collection category 2 are suitable for recycling to base oil. For this purpose, waste oils were analyzed in Avista's laboratories regarding their composition, particularly concerning contaminants (from additives and usage), to determine whether the classification into the collection categories of Annex 1 of the Waste Oil Ordinance Act (AltölV) corresponds to the current technical possibilities for waste oil recycling. Furthermore, the potential impacts of current and anticipated future changes in mobility and technology (different lubricants, changed additive compositions, increasing share of e-mobility, etc.) on the distribution and quality of the collection categories were considered.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	9
Abkürzungsverzeichnis.....	11
Zusammenfassung.....	13
Summary.....	15
1 Hintergrund und Problemstellung.....	17
2 Bestimmung der für die Aufbereitung geeigneten Altölsorten.....	20
2.1 Recherche und Bewertung der technischen Möglichkeiten der Aufbereitung von Altölen.....	20
2.1.1 Auswertung BVT-Dokument Abfallbehandlung.....	21
2.1.1.1 Reinigung von Altöl – „Cleaning of waste oils“.....	21
2.1.1.2 Fraktionierung.....	22
2.1.1.3 Veredelung von Altöl.....	22
2.1.1.4 Bestandteile von Altöl.....	22
2.1.2 Fazit.....	27
2.2 Altölsammelsituation.....	27
2.3 Akteursbefragung.....	31
2.4 Durchführung von Altöl-Analysen.....	32
2.4.1 Phase 1.....	32
2.4.1.1 Vorgehen Probenbeschaffung.....	33
2.4.1.2 Probenvorbereitung.....	34
2.4.1.3 Informationen zur Laboranalytik.....	34
2.4.1.4 Laborbericht / Ergebnisse.....	34
2.4.1.5 Interpretation und Ergebnisdarstellung.....	37
2.4.2 Phase 2.....	39
2.4.2.1 Vorgehen Probenbeschaffung.....	39
2.4.2.2 Probenvorbereitung.....	40
2.4.2.3 Informationen zur Laboranalytik.....	40
2.4.2.4 Laborbericht/ Ergebnisse.....	41
2.4.2.5 Interpretation und Ergebnisdarstellung.....	44
2.4.3 Phase 3.....	45
2.4.3.1 Vorgehen Probenbeschaffung.....	45
2.4.3.2 Probenvorbereitung.....	46
2.4.3.3 Informationen zur Laboranalytik.....	46

2.4.3.4	Laborbericht/ Ergebnisse.....	47
2.4.3.5	Interpretation und Ergebnisdarstellung	50
2.5	Ergebnis: Zur Aufbereitung geeignete Altölsorten	51
3	Bestimmung der Stoffströme der Altölsorten.....	52
3.1	Inverkehrbringung von Schmierstoffen	52
3.2	Prüfung Rücklaufquoten	53
3.2.1	Vorgehen.....	53
3.2.2	Möglichkeit der Nutzung von Daten der Abfallstatistik.....	54
3.2.3	Schmierstoffsorten ohne Rücklauf	57
3.2.4	Motorenöle	58
3.2.5	Kompressorenöle	64
3.2.6	Turbinenöle.....	64
3.2.7	Getriebeöle	65
3.2.7.1	KFZ und ATF Getriebeöle	65
3.2.7.2	Industrieöle.....	65
3.2.7.3	Neuberechnung der Rücklaufquote	66
3.2.8	Hydrauliköle	66
3.2.9	Elektroisolieröle	69
3.2.10	Maschinenöle.....	70
3.2.11	Metallbearbeitungsöle.....	71
3.2.12	Basisöle	72
3.2.13	Zusammenfassung: aktualisierte Rücklaufquoten.....	73
3.3	Aktualisierung der Ausbeutefaktoren.....	74
3.4	Aufbereitung/ Zweitraffination.....	75
3.5	Energetische Verwertung von Altölen	75
3.6	Darstellung der Altölströme Deutschland 2019.....	83
4	Prüfung der Eignung für die Datenübermittlung nach Anhang VI	85
4.1	In Verkehr gebrachte Mengen	86
4.2	Altölrücklauf.....	88
4.3	Getrennt gesammelte Altöle.....	89
4.4	Ausfuhr von Altölen	93
4.5	Einfuhr von Altölen	93
4.6	Mengen der Aufbereitung	94
4.7	Sonstiges Recycling	94

4.8	Energetische Verwertung.....	94
4.9	Beseitigung.....	95
4.10	Behandlung von Altölen.....	95
4.11	Zusammenfassende Bewertung zur Datenübermittlung.....	97
5	Zukünftige Trends: Veränderungen des Altölaufkommens	99
5.1	Motor- und Getriebeöle.....	99
5.2	Industrieöle	105
5.3	Zusammenfassendes Fazit zu zukünftigen Trends.....	107
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	108
7	Quellenverzeichnis	110

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vorgehen zur Bestimmung der für die Aufbereitung geeigneten Altölsorten.....	20
Abbildung 2:	Klassifizierung von Verfahren der Altölverwertung entsprechend BREF Dokument.....	21
Abbildung 3:	Altölsammelmengen	28
Abbildung 4:	Schematische Darstellung der Berechnungsweise für den Altölrücklauf bei Motoröl	59
Abbildung 5:	Angaben zum relativen und spezifischen Motorölverlust – in der Nutzung (PKW)	61
Abbildung 6:	Bestimmung der aktualisierten Rücklaufquote für Motoröl....	63
Abbildung 7:	Berechnung Altölpotenzial Getriebeöle	66
Abbildung 8:	Verluste und Rückläufe von Hydraulikölen - schematische Darstellung	69
Abbildung 9:	Verluste und Rückläufe von Maschinenölen – schematische Darstellung	71
Abbildung 10:	Ausbeutefaktoren in Basisöl- und Nicht-Basisölstrang	74
Abbildung 11:	Altölströme Deutschland 2019.....	83
Abbildung 12:	Berichterstattung zu „1: Oils placed on the market“	88
Abbildung 13:	Berichterstattung zu „2: Waste oil generated“	89
Abbildung 14:	Zuordnung von Sortengruppen zu Abfallschlüsseln.....	90
Abbildung 15:	Berichterstattung zu „3: Separately collected waste oils“	93
Abbildung 16:	Berichterstattung zu „4: Exported waste oils“ und „5: Imported waste oils“	93
Abbildung 17:	Berichterstattung zu "6: Regeneration" und "7: Other recycling"	94
Abbildung 18:	Berichterstattung zu "8: Energy recovery" und "9: Disposal" ..	95
Abbildung 19:	Berichterstattung zu „Reporting data on the treatment of waste oil“ (table 2)	97
Abbildung 20:	Inlandsabsatz von Motor- und Getriebeölen	99
Abbildung 21:	Inverkehrbringung von Motor- und (KFZ) Getriebeölen	100
Abbildung 22:	Anteil von Neuwagen mit Automatikgetriebe	101
Abbildung 23:	Entwicklung des Anteils verschiedener Fahrzeugsegmente ..	102
Abbildung 24:	Neuzulassungen von PKW nach Kraftstoffarten	104
Abbildung 25:	Entwicklung der Inverkehrbringung von Industrieölen.....	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zuordnung von Abfallschlüsseln zu einer Sammelkategorie....	18
Tabelle 2:	Arten von Altöl-Additiven und Bestandteile	22
Tabelle 3:	Indikative Liste möglicher Altölbestandteile	23
Tabelle 4:	Indikative Liste möglicher Bestandteile industrieller Altöle.....	26

Tabelle 5:	Sammelmengen der SK1-4 Altöle in 2019	28
Tabelle 6:	Weitere (alt-)öhlhaltige Abfälle	30
Tabelle 7:	Zusammenfassung der Analysenergebnisse der Altölproben ..	35
Tabelle 8:	Zusammenfassung der Analysenergebnisse der Altölproben (fortgesetzt)	36
Tabelle 9:	Übersicht über Proben der zweiten Analysephase	39
Tabelle 10:	Zusammenfassung der Analysenergebnisse der Altölproben Phase 2	42
Tabelle 11:	Zusammenfassung der Analysenergebnisse der Altölproben Phase 2 (fortgesetzt)	43
Tabelle 12:	Erläuterung der Einstufung der Altölproben	44
Tabelle 13:	Zusammenfassung der Analysenergebnisse der Altölproben Phase 3	48
Tabelle 14:	Zusammenfassung der Analysenergebnisse der Altölproben Phase 3 (fortgesetzt)	49
Tabelle 15:	Übersicht über Proben der dritten Analysephase	50
Tabelle 16:	Inlandsablieferung von Schmierstoffen, Deutschland, 2019 ...	52
Tabelle 17:	Übersicht zur Rücklaufquoten in verschiedenen Studien	54
Tabelle 18:	Zuordnung von Schmierstoffsortengruppen zu Abfallschlüsseln	55
Tabelle 19:	Zusammenfassung der Wassergehalte und abgeleitete wasserfreie Mineralölgehalte	56
Tabelle 20:	Altöle zur Abfallbehandlung in 2019 und Trocken-Mengen	57
Tabelle 21:	Schmierstoffsorten ohne Rücklauf	57
Tabelle 22:	Durchführung von Ölwechselln	60
Tabelle 23:	Motorölrücklauf entsprechender anderer Studien und Quellen	64
Tabelle 24:	Für Hydrauliköl in verschiedenen Studien angenommene Rücklaufquoten	67
Tabelle 25:	Import-Export-Bilanz für Anwendungen von Hydrauliköl	67
Tabelle 26:	Für Elektroisolierröl in verschiedenen Studien angenommene Rücklaufquoten	69
Tabelle 27:	Elektroisolierröle – Inverkehrbringung und Abfallmengen	69
Tabelle 28:	Verschiedene orientierende Berechnungen zum Rücklauf von Basisölen	72
Tabelle 29:	Zusammenfassung der Aktualisierung der Rücklaufquoten	73
Tabelle 30:	Aufkommen aus Zweitraffination	75
Tabelle 31:	Daten zur energetischen Verwertung aus der Abfallstatistik (Jahr: 2019)	76
Tabelle 32:	Daten zur energetischen Verwertung aus der Abfallstatistik (Jahr: 2020)	79
Tabelle 33:	Inlandsablieferung von Schmierstoffen, Deutschland, 2020 ...	86
Tabelle 34:	Anpassung der Rücklaufquoten für 2020	88

Tabelle 35: Vorgeschlagene Zuordnung von Abfallschlüsseln zu Berichtskategorien89

Tabelle 36: Angenommene Wassergehalte nach Abfallschlüsseln.....91

Tabelle 37: Outputmengen der Zweitraffination95

Tabelle 38: Zukünftige Trends im Bereich Motor- und Getriebeöle104

Abkürzungsverzeichnis

A	Aufbereitbar
AFZ	Altfahrzeug
AltöIV	Altölverordnung
ARRL	Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG)
AS	Abfallschlüssel
ATF	Automatic Transmission Fluid
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
AW	Anti-Wear
BA	Bedingt Aufbereitbar
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BV Kalk	Bundesverband der deutschen Kalkindustrie
BVA	Bundesverband Altöl
BVT	Beste verfügbare Technik
CP-Anlagen	Anlagen zur chemisch-physikalischen Behandlung
DIN	Deutsches Institut für Normung
EP	Extreme Pressure
FAME	Fatty Acid Methyl Ester / Fettsäuremethylester
iVgM	In Verkehr gebrachte Menge
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KFZ	Kraftfahrzeug
KOM	EU-Kommission
LKW	Lastkraftwagen
NA	Nicht aufbereitbar
Nwmb	Nicht-wassermischbar
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PKW	Personenkraftwagen
SK	Sammelkategorie
UBA	Umweltbundesamt

VDZ	Verein Deutscher Zementwerke e.V.
VSI	Verband Schmierstoff-Industrie e.V.
Wmb	wassermischbar

Zusammenfassung

Die Abfallrahmenrichtlinie (ARRL)¹ der EU legt „Maßnahmen zum Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit“ fest, „indem die schädlichen Auswirkungen der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen vermieden oder verringert, die Gesamtauswirkungen der Ressourcennutzung reduziert und die Effizienz der Ressourcennutzung verbessert werden“ (Art. 1.).

Artikel 21 der ARRL bezieht sich konkret auf Altöl und beinhaltet:

- ▶ Die Getrennsammlung, soweit technisch durchführbar.
- ▶ Die Behandlung gemäß Artikel 4 (Abfallhierarchie, d. h. entsprechend der Prioritätenfolge) und 13 (Schutz der menschlichen Gesundheit).
- ▶ Die Getrennthaltung von Altölen mit unterschiedlichen Eigenschaften (Vermischungsverbot), soweit technisch durchführbar und wirtschaftlich vertretbar.

Aus dem Bezug auf die Abfallhierarchie ergibt sich also eine Priorität der stofflichen Verwertung gegenüber energetischer Verwertung und Beseitigung, sofern nicht andere Verwertungsarten zu einem gleichwertigen oder besseren Ergebnis für den Umweltschutz führen.

Die Umsetzung des Artikels 21 der ARRL in nationales, deutsches Recht erfolgt u. a. über die Altölverordnung (AltöIV). § 2 AltöIV regelt den Vorrang von stofflicher Verwertung und Aufbereitung: „Die stoffliche Verwertung von Altölen hat Vorrang vor der energetischen Verwertung und der Beseitigung, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Im Rahmen der stofflichen Verwertung hat die Aufbereitung Vorrang vor alternativ in Frage kommenden Recyclingverfahren nach Maßgabe von § 6 Absatz 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.“

Die AltöIV unterscheidet zwischen vier Sammelkategorien für Altöl, denen unterschiedliche Altölarten zugeordnet sind (Anlage 1 AltöIV). Gemäß § 2 Absatz 2 sind Altöle der Sammelkategorie 1 zur Aufbereitung geeignet.

In Artikel 21 Absatz 4 der ARRL heißt es: „Die Kommission prüft bis zum 31. Dezember 2022 die von den Mitgliedstaaten im Einklang mit Artikel 37 Absatz 4 zur Verfügung gestellten Daten zu Altöl, um festzustellen, ob Maßnahmen zur Behandlung von Altöl getroffen werden können, darunter auch die Festlegung von quantitativen Zielvorgaben für die Aufbereitung von Altöl und alle anderen Maßnahmen zur Förderung der Aufbereitung von Altöl. Zu diesem Zweck legt die Kommission dem Europäischen Parlament und dem Rat einen Bericht vor, der gegebenenfalls von einem Gesetzgebungsvorschlag begleitet wird.“

Darüberhinausgehend kündigt die Kommission im Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft² an, zu prüfen, mit welchen Maßnahmen die Sammlung und die umweltgerechte Behandlung von Altölen am wirksamsten gewährleistet werden können.

Dieses Forschungsvorhaben dient der Vorbereitung und Begleitung dieser Maßnahmen auf nationaler Ebene sowie der Überprüfung des im UBA verwendeten Berechnungsmodells zur Stoffstromanalyse.

Vor dem Hintergrund fortschreitender technischer Veränderungen und vor Veränderungen in der Zusammensetzung des Altöls wurden folgende Betrachtungen durchgeführt:

¹ Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien

² „Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa.“

- ▶ Überprüfung der bestehenden Sammelkategorien/Bestimmung, welche Altöle zur Aufbereitung geeignet sind, insbesondere Prüfung, ob Altöle der Sammelkategorien 2 und 3 zur stofflichen Verwertung geeignet sind. Hierfür wurden Altöle in Hinblick auf ihre Zusammensetzung insbesondere bzgl. Störstoffe (aus Additiven sowie aus der Nutzung) untersucht und geprüft, ob die Zuordnung zu den Sammelkategorien der Anlage 1 AltöIV den aktuellen technischen Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung entspricht.
- ▶ Überprüfung des Berechnungsmodells (Rückrechenmodell) zur Bestimmung der Altölmengenströme und Aktualisierung der Berechnungen.
- ▶ Analyse und Prognose der Auswirkungen der aktuellen und in naher Zukunft zu erwartenden Mobilitäts- und Technikveränderungen (andere Öle, veränderte Additivzusammensetzung, steigender Anteil der E-Mobilität, ...) auf die Verteilung und Qualitäten der Sammelkategorien.
- ▶ Prüfung möglicher Handlungsbedarfe hinsichtlich einer Überarbeitung der AltöIV (z. B. Zuschnitt der Sammelkategorien, Festlegung der aufbereitungsgeeigneten Kategorien, Zielquoten).

Summary

The EU's Waste Framework Directive (WFD)³ defines "*measures to protect the environment and human health by preventing or reducing the adverse impacts of the generation and management of waste and by reducing overall impacts of resource use and improving the efficiency of such use.*" (Art. 1.).

Article 21 of the ARD refers specifically to waste oils and includes:

- ▶ Separate collection, where technically feasible.
- ▶ Treatment in accordance with Articles 4 (waste hierarchy, i.e. in order of priority) and 13 (protection of human health).
- ▶ The separation of waste oils with slightly different properties (mixing ban), as far as technically feasible and economically justifiable.

The reference to the waste hierarchy therefore prioritises material treatment over energy recovery and disposal, unless other types of treatment lead to an equivalent or better result for environmental protection.

The transposition of Article 21 of the Waste Oil Directive into national German law takes place, among other things, via the Waste Oil Ordinance (AltöIV). § Section 2 AltöIV regulates the priority of recycling and regeneration: "*The recycling of waste oils shall take precedence over energy recovery and disposal, insofar as this is technically possible and economically reasonable. In the context of material treatment, regeneration shall take precedence over alternative recycling processes in accordance with Section 6 (2) of the Circular Economy Act.*"⁴

The Waste Oil Ordinance distinguishes between four collection categories for waste oil, to which slightly different types of waste oil are assigned (Annex 1 Waste Oil Ordinance). According to Section 2 (2), waste oils in collection category 1 are suitable for regeneration.

Article 21 (4) of the WFD states: "*By 31 December 2022, the Commission shall examine data on waste oils provided by Member States in accordance with Article 37(4) with a view to considering the feasibility of adopting measures for the treatment of waste oils, including quantitative targets on the regeneration of waste oils and any further measures to promote the regeneration of waste oils. To that end, the Commission shall submit a report to the European Parliament and to the Council, accompanied, if appropriate, by a legislative proposal.*"

In addition, the Commission announces in the Circular Economy Action Plan⁵ that it will examine the most effective measures to ensure the collection and environmentally sound treatment of waste oils.

This research project serves to prepare and monitor these measures at the national level and to review the calculation model used by the UBA to analyse material flows.

Against the background of progressive technical changes and changes in the composition of the used oil, the following considerations were made:

³ Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives

⁴ Own translation, original text: "Die stoffliche Verwertung von Altölen hat Vorrang vor der energetischen Verwertung und der Beseitigung, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Im Rahmen der stofflichen Verwertung hat die Aufbereitung Vorrang vor alternativ in Frage kommenden Recyclingverfahren nach Maßgabe von § 6 Absatz 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes"

⁵ "A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe."

- ▶ Review of the existing collection categories/determination of which waste oils are suitable for treatment, in particular examination of whether waste oils in collection categories 2 and 3 are suitable for treatment. For this purpose, waste oils were examined with regard to their composition, in particular with regard to impurities (from additives and from use), and checked whether the assignment to the collection categories of Annex 1 AltölV corresponds to the current technical possibilities for material treatment.
- ▶ Review of the calculation model (back-calculation model) for determining used oil flows and updating the calculations.
- ▶ Analysing and forecasting the effects of current and expected future changes in mobility and technology (different oils, changed additive composition, increasing share of e-mobility, ...) on the distribution and qualities of the collection categories.
- ▶ Examination of possible need for action with regard to a revision of the Waste Oil Ordinance (e.g. tailoring of collection categories, definition of categories suitable for reprocessing, target quotas).

1 Hintergrund und Problemstellung

Die Abfallrahmenrichtlinie (ARRL) der EU legt „Maßnahmen zum Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit“ fest, „indem die schädlichen Auswirkungen der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen vermieden oder verringert, die Gesamtauswirkungen der Ressourcennutzung reduziert und die Effizienz der Ressourcennutzung verbessert werden“ (Art. 1.).

Artikel 21 der ARRL bezieht sich konkret auf Altöl und beinhaltet:

- ▶ Die Getrennsammlung, soweit technisch durchführbar.
- ▶ Die Behandlung gemäß Artikel 4 (Abfallhierarchie, d. h. entsprechend der Prioritätenfolge) und 13 (Schutz der menschlichen Gesundheit).
- ▶ Die Getrennthaltung von Altölen mit unterschiedlichen Eigenschaften (Vermischungsverbot), soweit technisch durchführbar und wirtschaftlich vertretbar.

Definition Altöl nach ARRL

Alle mineralischen oder synthetischen Schmier- oder Industrieöle, die für den Verwendungszweck, für den sie ursprünglich bestimmt waren, ungeeignet geworden sind, wie z.B. gebrauchte Verbrennungsmotoren- und Getriebeöle, Schmieröle, Turbinen- und Hydrauliköle.

Aus dem Bezug auf die Abfallhierarchie ergibt sich also eine Priorität der stofflichen Verwertung gegenüber energetischer Verwertung und Beseitigung, sofern nicht andere Verwertungsarten zu einem gleichwertigen oder besseren Ergebnis für den Umweltschutz führen.

Die gemäß Artikel 21 ARRL vorrangig anzustrebende Aufbereitung ist definiert als „jedes Recyclingverfahren, bei dem Basisöle durch Raffination von Altölen gewonnen werden können, insbesondere durch Abtrennung der Schadstoffe, der Oxidationsprodukte und der Additive, die in solchen Ölen enthalten sind“.

Die übergeordnete Umsetzung der ARRL in deutsches Recht erfolgt durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). Die Umsetzung des Artikels 21 der ARRL in nationales, deutsches Recht erfolgt über das KrWG hinausgehend u. a. über die Altölverordnung (AltöIV). Die Aufbereitungsdefinition dort entspricht weitestgehend der der ARRL⁶.

In der AltöIV findet sich dabei eine leicht abweichende Definition von Altölen:

Definition Altöl nach AltöIV

Altöle im Sinne dieser Verordnung sind Öle, die als Abfall anfallen und die ganz oder teilweise aus Mineralöl, synthetischem oder biogenem Öl bestehen.

§ 2 AltöIV regelt den Vorrang von stofflicher Verwertung und Aufbereitung: „Die stoffliche Verwertung von Altölen hat Vorrang vor der energetischen Verwertung und der Beseitigung, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Im Rahmen der stofflichen Verwertung hat die Aufbereitung Vorrang vor alternativ in Frage kommenden Recyclingverfahren nach Maßgabe von § 6 Absatz 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.“

⁶ „Aufbereitung ist jedes Verfahren, bei dem Basisöle durch Raffinationsverfahren aus Altölen erzeugt werden und bei denen insbesondere die Abtrennung der Schadstoffe, der Oxidationsprodukte und der Zusätze in diesen Ölen erfolgt.“

Die AltöIV unterscheidet zwischen vier Sammelkategorien für Altöl, denen unterschiedliche Altölarten zugeordnet sind (Anlage 1 Altöl V):

Tabelle 1: Zuordnung von Abfallschlüsseln zu einer Sammelkategorie

Sammelkategorie	Abfallschlüssel	Beschreibung
1	13 01 10*	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis
	13 02 05*	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
	13 02 06*	synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
	13 02 08*	andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
	13 03 07*	nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis
2	12 01 07*	halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)
	12 01 10*	synthetische Bearbeitungsöle
	13 01 11*	synthetische Hydrauliköle
	13 01 13*	andere Hydrauliköle
3	12 01 06*	halogenhaltige Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)
	13 01 01*	Hydrauliköle, die PCB enthalten
	13 01 09*	chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis
	13 02 04*	chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
	13 03 01*	Isolier- und Wärmeübertragungsöle, die PCB enthalten
	13 03 06*	chlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 13 03 01 fallen
4	13 01 12*	biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle
	13 02 07*	biologisch leicht abbaubare Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
	13 03 08*	synthetische Isolier- und Wärmeübertragungsöle
	13 03 09*	biologisch leicht abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle
	13 03 10	andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle
	13 05 06	Öle aus Öl-/Wasserabscheidern
	13 07 01	Heizöl und Diesel

Quelle: AltöIV

Gemäß § 2 Absatz 2 sind Altöle der Sammelkategorie 1 zur Aufbereitung geeignet.

In Artikel 21 Absatz der ARRL heißt es: „Die Kommission prüft bis zum 31. Dezember 2022 die von den Mitgliedstaaten im Einklang mit Artikel 37 Absatz 4 zur Verfügung gestellten Daten zu Altöl, um festzustellen, ob Maßnahmen zur Behandlung von Altöl getroffen werden können, darunter auch die Festlegung von quantitativen Zielvorgaben für die Aufbereitung von Altöl und alle anderen Maßnahmen zur Förderung der Aufbereitung von Altöl. Zu diesem Zweck legt die Kommission dem Europäischen Parlament und dem Rat einen Bericht vor, der gegebenenfalls von einem Gesetzgebungsvorschlag begleitet wird.“ Dieser Bericht ist im Oktober 2023 erschienen (KOM 2023).

Darüberhinausgehend kündigt die Kommission im Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (KOM 2020) an, zu prüfen, mit welchen Maßnahmen die Sammlung und die umweltgerechte Behandlung von Altölen am wirksamsten gewährleistet werden können. In diesem Kontext auch zu berücksichtigen ist die von der KOM beauftragte Studie „Study to support the Commission in gathering structured information and defining of reporting obligations on waste oils and other hazardous waste“ (European Commission: Directorate-General for Environment et al. 2020).

Ziele des Forschungsvorhabens

Dieses Forschungsvorhaben dient der Vorbereitung und Begleitung dieser Maßnahmen auf nationaler Ebene sowie der Überprüfung des im UBA verwendeten Berechnungsmodells zur Stoffstromanalyse.

Vor dem Hintergrund fortschreitender technischer Veränderungen und vor Veränderungen in der Zusammensetzung des Altöls wurden folgende Betrachtungen durchgeführt:

- ▶ Überprüfung der bestehenden Sammelkategorien/Bestimmung, welche Altöle zur Aufbereitung geeignet sind, insbesondere Prüfung, ob Altöle der Sammelkategorien 2 und 3 zur stofflichen Verwertung geeignet sind. Hierfür wurden Altöle in Hinblick auf ihre Zusammensetzung insbesondere bzgl. Störstoffe (aus Additiven sowie aus der Nutzung) untersucht und geprüft, ob die Zuordnung zu den Sammelkategorien der Anlage 1 AltöIV den aktuellen technischen Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung entspricht.
- ▶ Überprüfung des Berechnungsmodells (Rückrechenmodell) zur Bestimmung der Altölmengenströme und Aktualisierung der Berechnungen.
- ▶ Analyse und Prognose der Auswirkungen der aktuellen und in naher Zukunft zu erwartenden Mobilitäts- und Technikveränderungen (andere Öle, veränderte Additivzusammensetzung, steigender Anteil der E-Mobilität, ...) auf die Verteilung und Qualitäten der Sammelkategorien.
- ▶ Prüfung möglicher Handlungsbedarfe hinsichtlich einer Überarbeitung der AltöIV (z. B. Zuschnitt der Sammelkategorien, Festlegung der aufbereitungsgeeigneten Kategorien, Zielquoten).

2 Bestimmung der für die Aufbereitung geeigneten Altölsorten

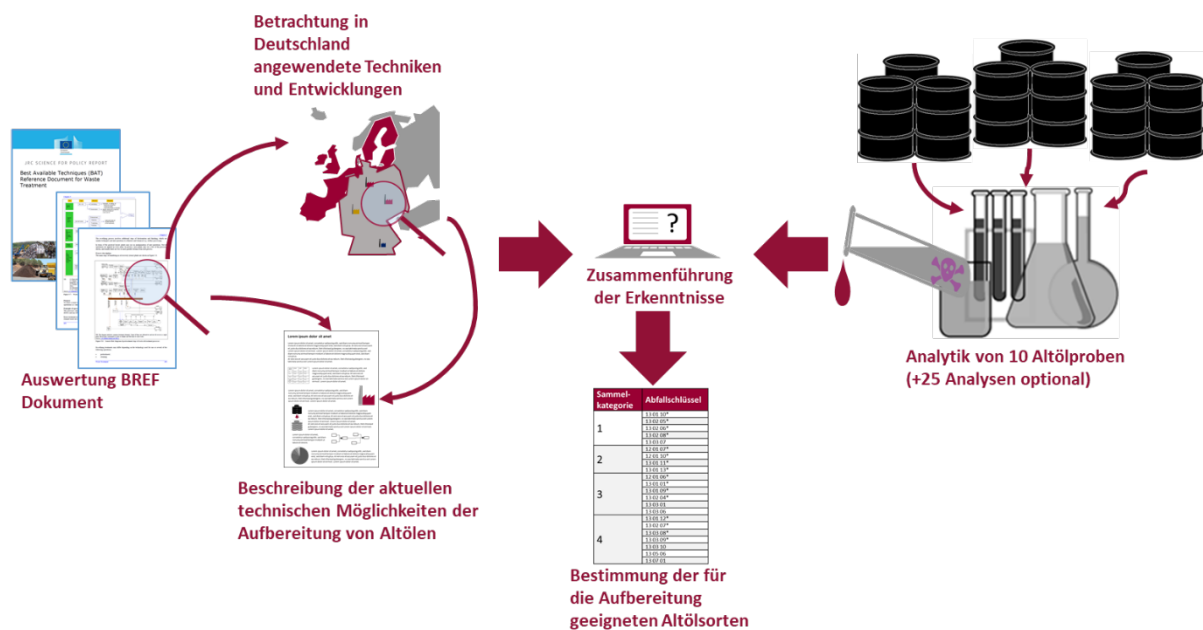
Das erste Arbeitspaket zielt auf die Analyse und Bestimmung der für die Aufbereitung geeigneten Altölsorten der Anlage 1 der AltöIV (vgl. Tabelle 1) ab.

Das Vorgehen hierzu ist in drei wesentliche Arbeitsschritte gegliedert:

- ▶ Recherche und Bewertung der technischen Möglichkeiten
 - Anhand einer Betrachtung des BREF-Dokuments
 - Anhand einer Akteursbefragung
 - Betrachtung der gesammelten Altölmengen bzw. der Altölsammelsituation
- ▶ Analytik
- ▶ Zusammenführung der Erkenntnisse und Bestimmung der für die Aufbereitung geeigneten Altölsorten

Diese einzelnen Arbeitsschritte bauen dabei wie in Abbildung 1 illustriert aufeinander auf.

Abbildung 1: Vorgehen zur Bestimmung der für die Aufbereitung geeigneten Altölsorten



2.1 Recherche und Bewertung der technischen Möglichkeiten der Aufbereitung von Altölen

Für die Recherche und Bewertung der technischen Möglichkeiten der Aufbereitung von Altölen werden zwei methodische Zugänge verfolgt.

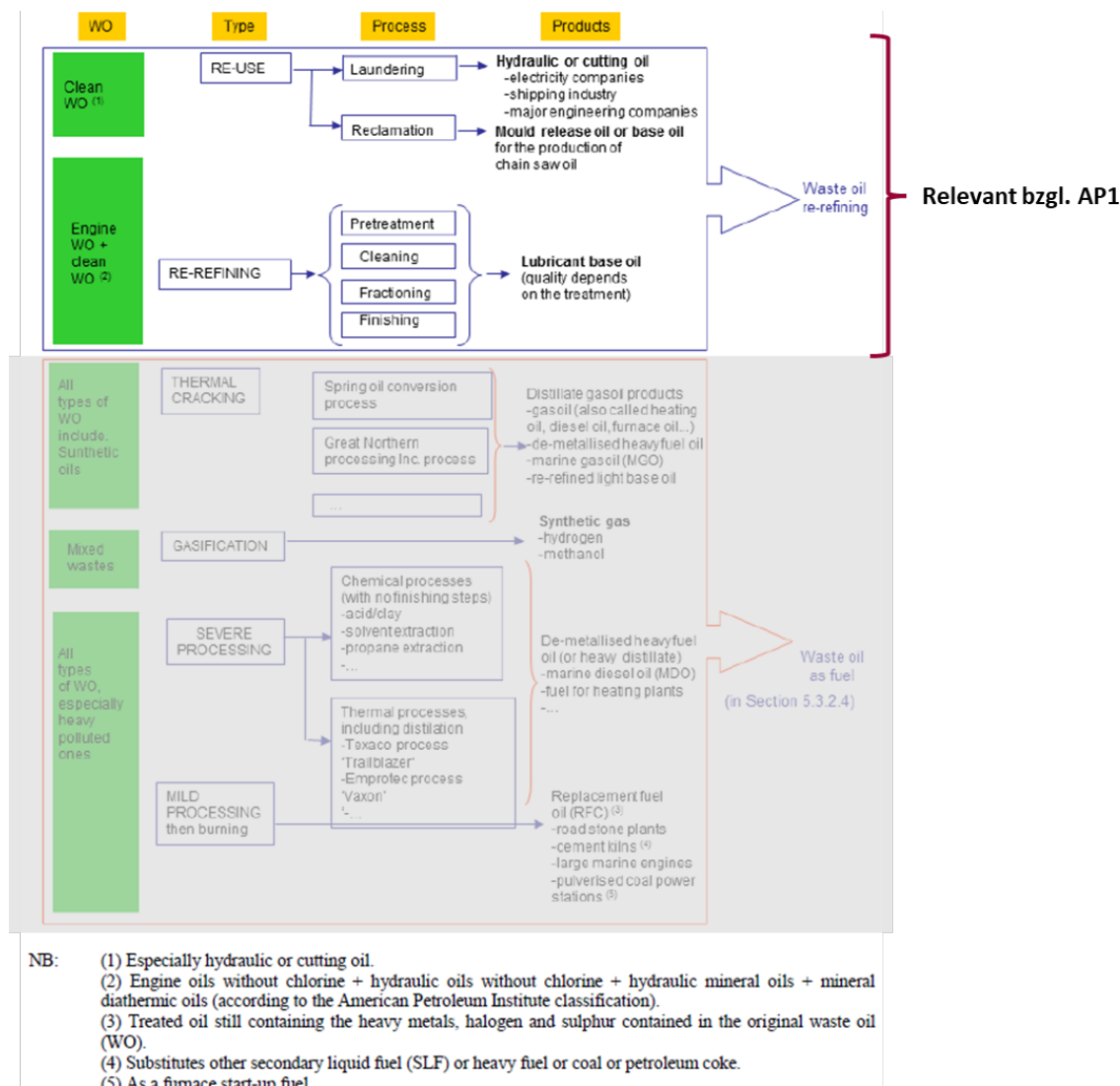
Zum einen werden die relevanten Inhalte des BREF-Referenzdokuments Abfallbehandlung (Pinasseau et al. 2018) geprüft und aufbereitet, zum anderen erfolgt eine Abfrage der in Deutschland ansässigen Altöl-Aufbereitungsunternehmen mit dem Ziel, deren jeweilige

Einschätzung zur technischen Aufbereikbaarheit von Altölen verschiedener Kategorien und Abfallschlüssel einzusammeln.

2.1.1 Auswertung BVT-Dokument Abfallbehandlung

Grundsätzlich wird im BVT-Dokument Abfallbehandlung (Pinasseau et al. 2018) zwischen Re-Refining (Aufbereitung zu Basisöl) und der Aufbereitung zu Brennstoffen unterschieden. Relevant in Bezug auf die Fragestellung sind die Prozesse des Re-Refinings (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Klassifizierung von Verfahren der Altölverwertung entsprechend BREF Dokument



Quelle: (Pinasseau et al. 2018)

Innerhalb des Re-Refinings wird dann weiter unterschieden zwischen der Reinigung von Altöl und dem eigentlichen Re-Refining. Die Schritte, die hierbei unterschieden und im Folgenden beschrieben werden, sind die Reinigung, die Fraktionierung und die Veredelung von Altöl.

2.1.1.1 Reinigung von Altöl – „Cleaning of waste oils“

Die Reinigung umfasst das Entasphaltieren bzw. die Entfernung von Asphaltrückständen wie Schwermetallen, Polymeren, Zusatzstoffen und anderen Abbauprodukten. Dies geschieht meist durch Destillation, Lösungsmittelextraktion und Zugabe von Säuren (Pinasseau et al. 2018).

2.1.1.2 Fraktionierung

Beim Fraktionieren werden die Grundöle anhand ihrer unterschiedlichen Siedetemperaturen getrennt, um zwei oder drei Schnitte (Destillationsfraktionen) zu erzeugen.

2.1.1.3 Veredelung von Altöl

Dabei handelt es sich in erster Linie um die Endreinigung der verschiedenen Fraktionen (Destillationsfraktionen) zur Erreichung bestimmter Produktspezifikationen (z. B. Verbesserung von Farbe, Geruch, Wärme- und Oxidationsstabilität, Viskosität). Die Endbearbeitung kann auch die Entfernung von PAKs im Falle einer starken Hydrofinishing-Behandlung (hohe Temperatur und hoher Druck) oder Lösungsmittlextraktion (niedrige Temperatur und niedriger Druck) beinhalten.

Das BVT-Dokument nennt fünf Techniken der Veredelung: alkali treatment, bleaching earth, clay polishing, hydrotreatment und solvent extraction (Pinasseau et al. 2018). Bei den drei erstgenannten Techniken werden u. a. die farblichen Eigenschaften des Öls verbessert, aber es findet keine umfassende Entfernung von Schadstoffen statt.

Beim **Hydrotreating** werden Chlor und Schwefel aus der Altölfraction bei hoher Temperatur unter Wasserstoffatmosphäre und in Kontakt mit einem Katalysator entfernt und in HCl und H₂S umgewandelt. Phosphor, Blei und Zink werden bei diesem Verfahren ebenfalls entfernt. PAKs können durch ein starkes Hydrofinishing (hohe Temperatur und mit Wasserstoff unter hohem Druck) entfernt werden (Pinasseau et al. 2018). Die Qualität der Destillate ist sehr hoch und die Mineralöl-Fractionen sind sofort marktfähig.

Bei der **Lösemittlextraktion** (solvent extraction) werden PAKs aus den Grundölen entfernt, indem sie in das Lösungsmittel extrahiert werden. Die Lösungsmittlextraktion verbessert auch die Farbe und den Viskositätsindex (Pinasseau et al. 2018). Für die Extraktion muss das Inputöl bereits von allen Schwermetallen etc. befreit und wie gewünscht fraktioniert sein. Das Produkt ist ein hochwertiges Basisöl (Pinasseau et al. 2018).

2.1.1.4 Bestandteile von Altöl

Neben einer Beschreibung des Schritte der Altölaufbereitung gibt das BREF-Dokument eine Übersicht über intendiert hinzugefügte Bestandteile (Additive) sowie über typischerweise enthaltene Verunreinigungen (Pinasseau et al. 2018). Diese sind in Tabelle 2 beziehungsweise Tabelle 3 dargestellt. Ergänzend werden im BVT-Dokument Angaben speziell zu in industriellen Altölen enthaltenen Bestandteilen gemacht. Diese sind in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 2: Arten von Altöl-Additiven und Bestandteile

Art des Additivs	Verwendete Verbindungen
Korrosionsschutz	Zinkdithiophosphate, Metallphenolate, Fettsäuren und Amine
Antischaummittel	Siliconpolymere, organische Copolymere
Antioxidationsmittel	Zinkdithiophosphate, gehinderte Phenole, aromatische Amine, geschwefelte Phenole
Verschleißschutz	Zinkdithiophosphate, saure Phosphate, organische Schwefel- und Chlorverbindungen, geschwefelte Fette, Sulfide und Disulfide

Art des Additivs	Verwendete Verbindungen
Waschmittel	Metallorganische Verbindungen von Natrium-, Calcium- und Magnesiumphenolaten, -phosphonaten und -sulfonaten
Dispersionsmittel	Alkylsuccinimide, Alkylsuccinester
Reibungsmodifikator	Organische Fettsäuren, Schmalzöl, Phosphor
Metall-Deaktivator	Organische Komplexe, die stickstoff- und schwefelhaltige Amine, Sulfide und Phosphite enthalten
Beruhigungsmittel für den Gießpunkt	Alkylierte Naphthalin- und Phenolpolymere, Polymethacrylate
Siegelquellmittel	Organische Phosphate, aromatische Kohlenwasserstoffe
Viskositätsmodifikator	Polymere aus Olefinen, Methacrylaten, Dienen oder alkylierten Styrolen

Quelle: Pinasseau et al. 2018

Tabelle 3: Indikative Liste möglicher Altölbestandteile

AltölkompONENTEN	Konzentrationsbereich (ppm, wenn nicht anders angegeben)	Herkunft/Bemerkungen
Al	4–1.112	Lagerverschleiß oder Motorverschleiß
Alkylbenzole	900	Öle auf Erdölbasis
Aromatische Verbindungen	14-30 w/w-%	Bei gebrauchtem Motoröl ergeben sich diese aus dem Grundöl des Schmierstoffs
Aliphatische Verbindungen	65,4 w/w-%	N-Alkane machen etwa 0,4 % des Altöls aus, aber die Verteilung ist zugunsten der längeren Moleküle verschoben, die weniger wahrscheinlich verdampfen: Tetralin 0,0012 % Dodekan 0,014 % Tridekan 0,014 % Octadecan 0,07 % Nonadecan 0,2 %
Frostschutzmittel	NI	NI
Als	< 0,5–67	NI
Aschegehalt	0,4–0,64 (¹)	NI

Altölkomponenten	Konzentrationsbereich (ppm, wenn nicht anders angegeben)	Herkunft/Bemerkungen
Ba	50–690	Waschmittelzusätze ⁷ , Additivpaket
BTEX	300–700	Eine Analyse zeigt einen hohen Anteil an Benzol (0,096-0,1 %), Xylole (0,3-0,34 %), Toluol (0,22-0,25 %) mit Siedepunkten unter 150 °C.
Ca	900–3.000	Additiv, überwiegend in Motorölen und zinkhaltigen Hydraulikölen,, um Verunreinigungen zu lösen und in Schwebe zu halten
Cd	0,4–22	NI
Cl	184–1.500 (²)	Chlor in Altölen entsteht durch: die (zufällige oder absichtliche) Verunreinigung mit chlorierten Lösungsmitteln und Transformatorenölen, die beide heute strenger kontrolliert werden; Schmieröl-Additive; den Bleifängern, die verbleitem Benzin zugesetzt werden. Kaltflussadditive.
Chlorkohlenwasserstoffe	37 6.300 18–2.800 18–2.600 3–1.300	Dichlordifluormethan Trichlortrifluorethan Trichlorethane Trichlorethylen Perchlorethylen Altöle können einen erheblichen, aber variablen Chlorgehalt aufweisen, einschließlich chlororganischer Verbindungen wie PCB, Dichlordifluormethan, Trichlortrifluorethan, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethylen und Tetrachlorethylen. Sie können sich bei der Verwendung von kontaminiertem Öl chemisch bilden.
Cr	2–89	Motorverschleiß
Cu	< 11–250	Lagerverschleiß
Motorrückschlag	8-10 w/w-%	Absorbiertes Gas, Benzin und Dieselkraftstoff. Eine Vielzahl von „thermischen Abbauprodukten“ ist ebenfalls in der Zusammensetzung von Altöl enthalten.
Fe	100–500	Motorverschleiß
Halogenide	bis zu 500	NI
Schwere Kohlenwasserstoffe		Sie entstehen durch Polymerisation und durch die unvollständige Verbrennung des Brennstoffs

⁷ Barium wird im industriellen Bereich als Waschmittelzusatz eingesetzt (ECHA 2023) und wurde insbesondere historisch häufig in Altölen festgestellt (Eurofins 2017).

Altölkomponenten	Konzentrationsbereich (ppm, wenn nicht anders angegeben)	Herkunft/Bemerkungen
Hg	0,05– < 11	NI
Leichte Kohlenwasserstoffe	5-10 w/w-%	Ein gewisser Anteil an unverbranntem Kraftstoff (Benzin oder Diesel) löst sich im Öl und entsteht auch bei der Zersetzung des Öls
Grundöl des Schmierstoffs	Bis zu 95 w/w-%	Hauptbestandteile sind aliphatische und naphthenische Kohlenwasserstoffe und/oder Olefinpolymere (z. B. Polybutene und Poly-alpha-Olefine in einigen Schmierstoffgrundölen). Geringe Mengen an aromatischen und polyaromatischen Kohlenwasserstoffen sind ebenfalls vorhanden. Der Gehalt an Schwermetallen beträgt weniger als 500 ppm. Phenole können in wenigen ppm vorhanden sein.
Metalle wie Al, As, Ba, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sr, Ti, V, Zn	Bis zu 10.000 kombiniert	Sie stammen aus den Schmieröladditiven, dem Motorverschleiß und aus Fremdquellen. Sie treten in Altölen als Additive im Schmieröl, durch Motorverschleiß und bei Bearbeitungsölen auf. Die Additive (insbesondere die Metalle) verbleiben in der Regel nach dem Gebrauch im Öl.
Mg	100–500	Waschmittelzusatzstoffe
Ni	10	Motorverschleiß
Naphthaline	9,7–470–2.300 (4)	Aus Basisölen
Stickstoffverbindungen	NI	Durch den Zusatz von Stickstoffverbindungen
Nicht-schmierstoffverwandte Verbindungen	NI	Altöl wird oft durch alle möglichen Stoffe verunreinigt, was in der Regel auf eine schlechte Sammlung/Segregation zurückzuführen ist. Dazu gehören Bremsflüssigkeit und Frostschutzmittel, Pflanzenöle, Zigarettenschachteln, Lösungsmittel usw.
P	6–1.000	Antioxidantien/Verschleißschutzadditive
PAKs	30,3–204– < 1.000 (3) Die Summe der 26 einzelnen PAK machte 0,17 % des Öls oder 1,2 % der aromatischen Fraktion aus.	Zu den Aromaten gehört auch eine große Bandbreite von PAK in Konzentrationen von bis zu 700 ppm für eine einzelne Art. Sie entstehen in Basisölen und bei unvollständiger Verbrennung. Beispiele sind Benzo(a)anthracen (0,87-30 ppm), Benzo(a)pyren (0,36-62 ppm), Pyren (1,67-33 ppm), Naphthalin (47 ppm), Biphenyl (6,4 ppm) und auch chlorierte Polyaromaten.

Altölkomponenten	Konzentrationsbereich (ppm, wenn nicht anders angegeben)	Herkunft/Bemerkungen
PCB	<0,5–11– < 50	Nach der Altölrichtlinie darf der PCB-Gehalt in Altöl, das zur Entsorgung aufbereitet werden soll, höchstens 50 ppm betragen. Er entsteht durch die Verunreinigung mit Transformatorenölen.
Pb	8–1.200 Bis zu 14.000 bei Verwendung von verbleitem Benzin	Verbleites Benzin/Lagerverschleiß
S	0,1-2,8 Gew.-%	Aus Basisöl und Verbrennungsprodukten.
Ablagerungen	0,5-2 Gew.-%	Ruß und Ablagerungen aus dem Verbrennungsraum, freie Metalle und Schmutz. Die Bildung von Ablagerungen wird durch die Vermischung von Altölen aus den Additivpaketen verschiedener Hersteller und aus Sammelquellen verstärkt.
Si	50–100	Zusatzstoffe/Wasser
Sn	Geringe Mengen	Lagerverschleiß
Tl	0,1	NI
V	300	Aus Basisöl
Wasser	5-10 w/w-% (4)	Verbrennung
Zn	6–4.080	Antioxidantien/Verschleißschutzadditive

(1) Beide Parametergrenzen sind Durchschnittswerte.

(2) Bis zu 8.452 ppm in gesammeltem Altöl aufgrund von Verunreinigungen mit chlorierten Lösungsmitteln und Meersalz aus Schiffsabfällen.

(3) Wenn drei Zahlen in einem Bereich erscheinen, entspricht die mittlere Zahl dem Durchschnitt.

(4) Bis zu 30 %.

NB: Die Additionen der Zahlen können nicht perfekt aufeinander abgestimmt werden, da sie verschiedenen Datensätzen entsprechen.

NI = Keine Information.

Quelle: Pinasseau et al. 2018

Tabelle 4: Indikative Liste möglicher Bestandteile industrieller Altöle

Altölkompone- nente	Konzentration*	Grund
Cadmium	50 % der Konzentration in Schmieröl oder 0,000155 %.	Cadmium wird derzeit schrittweise aus der Herstellung von Schmieröl entfernt.

Altölkompone- nente	Konzentration*	Grund
Chrom	100 % der Konzentration im Schmieröl oder 0,0028 %.	Üblich: Typischerweise in der gleichen Menge wie Motoröl verwendet
Kupfer	100 % der Konzentration in Schmieröl oder 0,025 %	Üblich: Typischerweise in der gleichen Menge wie Motoröl verwendet
Naphthalin	0,0042 %	Keine Daten, Naphthalin ist in allen Ölen enthalten, aber man würde erwarten, dass die Formulierung die geringstmögliche Menge enthält (ausgehend vom Gehalt in Heizöl ^{Nr. 6}), da es bei Raumtemperatur ein Feststoff ist und der Formulierung anscheinend nichts chemisch Nützliches hinzufügt.
Nickel	0,0028 %	Keine Daten für Schmieröle
PCB	NI	Gefunden in Transformator-Kühlmittelölen
Xylole	0,22 %	NI
Zink	50 % der Konzentration in Schmieröl oder 0,029 %	Häufiger Bestandteil bei der Bearbeitung, aber Zink scheint ein wichtiger Zusatzstoff in Schmierölen zu sein.

*) Für prozentuale Angaben zur Konzentration in Schmierölen vgl. Tabelle 3

NI = Keine Information.

Quelle: Pinasseau et al. 2018

2.1.2 Fazit

Das BVT-Dokument liefert grundlegende Beschreibungen der Prozesse der Altölaufbereitung sowie eine Übersicht typischer Weise in Altölen enthaltener Bestandteile. Direkte Rückschlüsse bezüglich weiterer (neben den in Sammelkategorie 1 enthaltenen) zur Aufbereitung geeigneter Altölsorten nach Abfallschlüsseln lassen sich auf dieser Basis nicht ziehen, da im BREF weder eine ausreichende Zuordnung von Bestandteilen zu Altölsorten noch eine ausreichend umfassende Darstellung der „Toleranz“ verschiedener Prozesse bzw. Technologien hinsichtlich verschiedener Bestandteile bzw. Verunreinigungen erfolgt. Insbesondere die Tabellen zu typischen Bestandteilen in Altölen (Tabelle 2 bis Tabelle 4) stellen jedoch eine Grundlage für die Planung der Altölanalysen dar.

2.2 Altölsammelsituation

Abfallstatistische Daten zu jährlichen Altölmengen, welche als Input in Abfallentsorgungsanlagen gehen, sind über das Statistische Bundesamt verfügbar (Tabellennummer 32111-0004)⁸. Die Mengen für die Abfallschlüssel der Altöl-Sammelkategorien (entsprechend AltöIV Anlage 1) sind in Tabelle 5 und Abbildung 3 dargestellt.

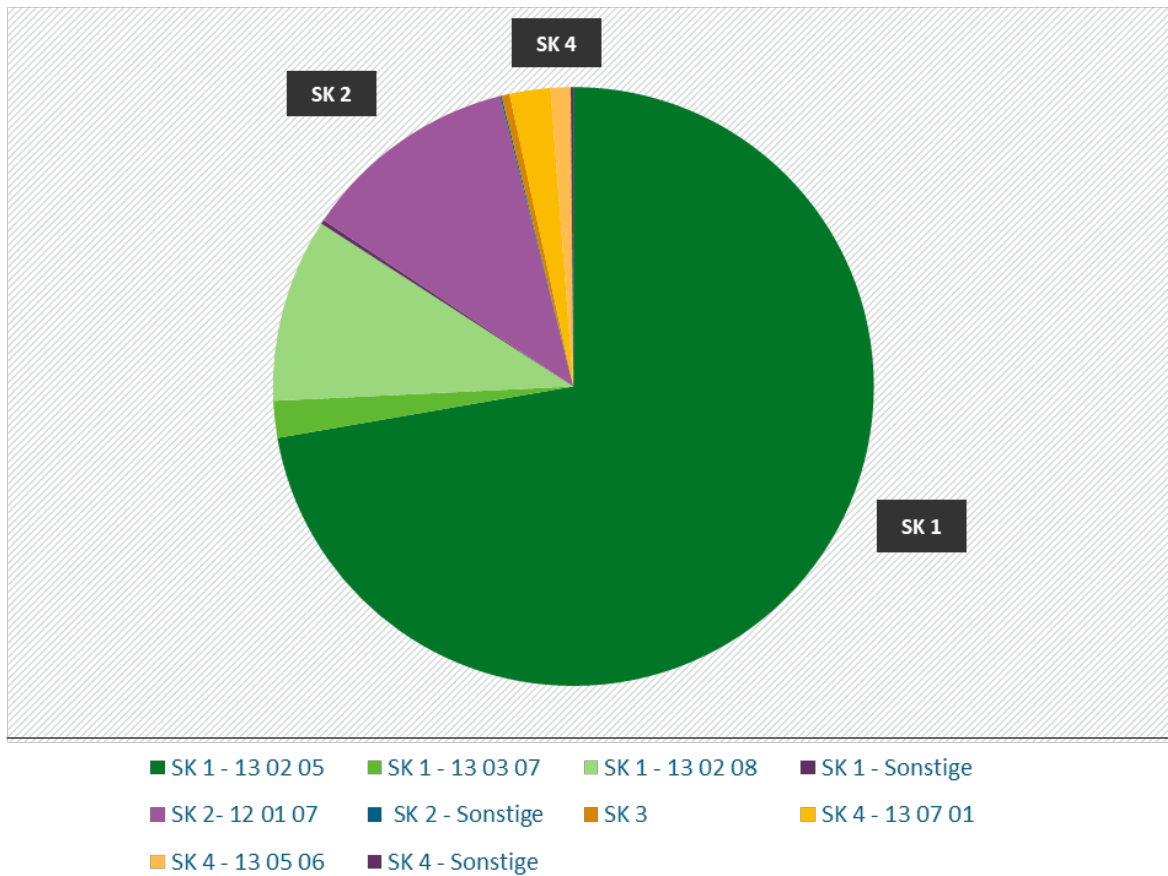
⁸ Datenbank genesis online

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass diese Mengen Wasseranteile beinhalten, während das Berechnungsmodell für die Altölstoffströme (Rückrechenmodell) mit wasserfreien Altölmengen (Trockenmengen) arbeitet. Auch Exporte aus dem Ausland sind in diesen Mengen eingeschlossen.

Abbildung 3: Altölsammelmengen

Altölsammelmengen, 2019

Input von Abfallentsorgungsanlagen / Abfallschlüssel entsprechend AltöIV Anlage 1



Quelle: Destatis, Erhebungen zur Abfallentsorgung

Tabelle 5: Sammelmengen der SK1-4 Altöle in 2019

Sammelkategorie	Abfallschlüssel	Beschreibung	Menge (Input von Abfallentsorgungsanlagen) [1000 t]
1	13 01 10*	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	1
	13 02 05*	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	450,9
	13 02 06*	synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,4
	13 02 08*	andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	61,9

Sammelkategorie	Abfallschlüssel	Beschreibung	Menge (Input von Abfallentsorgungsanlagen) [1000 t]
	13 03 07*	nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis	12,4
2	12 01 07*	halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)	73
	12 01 10*	synthetische Bearbeitungsöle	0,4
	13 01 11*	synthetische Hydrauliköle	0
	13 01 13*	andere Hydrauliköle	0,1
3	12 01 06*	halogenhaltige Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)	0,2
	13 01 01*	Hydrauliköle, die PCB enthalten	0,1
	13 01 09*	chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	-
	13 02 04*	chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	1
	13 03 01*	Isolier- und Wärmeübertragungsöle, die PCB enthalten	1,4
	13 03 06*	chlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 13 03 01 fallen	-
4	13 01 12*	biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle	0
	13 02 07*	biologisch leicht abbaubare Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0
	13 03 08*	synthetische Isolier- und Wärmeübertragungsöle	0,3
	13 03 09*	biologisch leicht abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle	0
	13 03 10*	andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle	0,6
	13 05 06*	Öle aus Öl-/Wasserabscheidern	6,7
	13 07 01*	Heizöl und Diesel	13,7

Quelle: Destatis, Erhebungen zur Abfallentsorgung

Die Altöle der Sammelkategorie 1 machen mit rund 83 % den mit Abstand größten Teil aus. Innerhalb der Sammelkategorie 1 ist es der Abfallschlüssel 13 02 05* (nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis), der 97 % der Mengen innerhalb dieser Sammelkategorie ausmacht. Sammelkategorie 2 macht 13 % der Gesamtmenge aus.

Innerhalb dieser Sammelkategorie sind die Mengen zu 99 % auf Abfallschlüssel 12 01 07* (halogenfreie Bearbeitungöle auf Mineralölbasis) zurückzuführen. Altöle der Sammelkategorie 3 machen weniger als ein Prozent der Gesamtmenge aus. Altöle der Sammelkategorie 4 belaufen sich auf etwas über ein Prozent. Innerhalb dieser Sammelkategorie ist Abfallschlüssel 13 05 06* (Öle aus Öl-/Wasserabscheidern) mit einem Anteil von 88 % besonders mengenrelevant.

Neben den Abfallschlüsseln, welche entsprechend AltölV den Sammelkategorien 1-4 zugeordnet sind, werden auch unter anderen Abfallschlüsseln (alt-)öhlhaltige Abfälle gesammelt. Dies sind zum einen Emulsionen (AS 120108*, 120109*, 130104*, 130105*), Bilgenöle (AS 130401*, 130402*, 130403*), weitere öhlhaltige Abfälle mit hohem Wasseranteil (AS 120119*, 130507*), Fette und Wachse (AS 12 01 12*), Kraftstoffe und Brennstoffe (130702*, 130703*, 190207*) sowie sonstige gemischte Abfälle, die mindestens einen gefährlichen Abfall beinhalten (AS 190204*).

Tabelle 6: Weitere (alt-)öhlhaltige Abfälle

Art / Typisierung	Abfallschlüssel	Beschreibung	Menge (Input von Abfallentsorgungsanlagen) [1000 t]
Emulsionen	120108*	Halogenhaltige Bearbeitungsemulsionen u. -lösungen	1,6
	120109*	Halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen	602,9
	130104*	Hydrauliköle: Chlorierte Emulsionen	-
	130105*	Hydrauliköle: Nichtchlorierte Emulsionen	7,3
Bilgenöle	130401*	Bilgenöle aus der Binnenschifffahrt	5,2
	130402*	Bilgenöle aus Molenablaufkanälen	-
	130403*	Bilgenöle aus der übrigen Schifffahrt	107,2
Sonstige öhlhaltige Abfälle mit hohem Wasseranteil	120119*	Öhlhaltige Metallschlämme (Schleifschlämme, etc.)	50,8
	130507*	Öliges Wasser aus Öl-/Wasserabscheidern	38,3
Fette und Wachse	120112*	Gebrauchte Wachse und Fette	5,5
Kraftstoffe und Brennstoffe	130702*	Benzin	0,9
	130703*	Andere Brennstoffe (einschließlich Gemische)	19,2
Sonstige gemischte Abfälle	190207*	Öl und Konzentrate aus Abtrennprozessen	161,1
	190204*	Vorgemischte Abfälle m. mind. einem gefährl. Abfall	994

Bezugsjahr: 2019

Quelle: Destatis

2.3 Akteursbefragung

Ergänzend zur Betrachtung des BVT-Dokuments ist eine Befragung von Akteuren der Altölaufbereitung erfolgt. Die beinhaltete zum einen die Abfrage von Input und Outputmengen, welche für die Aktualisierung des Rückrechenmodells herangezogen werden (siehe Abschnitt 3.3). Daneben wurde nach potenziell zur Aufbereitung geeigneten Altölsorten gefragt.

Dieser Befragungsteil hat ergeben, dass für verschiedene Abfallschlüssel aus den Sammelkategorien 2 und 4 Potenziale für die Aufbereitung gesehen werden.

Sammelkategorie 2

Innerhalb der Sammelkategorie 2 wurde insbesondere Abfallschlüssel 12 01 07*, halogenfreie Metallbearbeitungsöle auf Mineralölbasis, häufiger als (potenziell) zur Aufbereitung geeignet benannt. Als Voraussetzung wurde hier benannt, dass diese rein mineralölbasiert und keine Additivierung durch Fettsäuren erfolgt sei und keine übermäßige Kontamination aus der Anwendung bestehe. Für Esteröle wird hier von Akteursseite derzeit kein Aufbereitungspotenzial gesehen.

Von Seiten zweier Akteure wurde ein Aufbereitungspotenzial auch für die Abfallschlüssel 12 01 10* (synthetische Bearbeitungsöle) und 13 01 11* (synthetische Hydrauliköle) gesehen. Jeweils wurde als Bedingung genannt, dass es sich um Polyalphaolefine (PAO) und nicht Ester handle. Daneben wurde von zwei Akteuren auch Abfallschlüssel 13 01 13* (andere Hydrauliköle) als zur Aufbereitung geeignet benannt.

Grundsätzlich wird also für die verschiedenen Sammelkategorie 2 zugeordneten Altöle ein Aufbereitungspotenzial gesehen.

Sammelkategorie 3

Altöle der Sammelkategorie 3 wurden nicht als jetzt oder zukünftig zur Aufbereitung geeignet genannt.

Sammelkategorie 4

Von einzelnen Akteuren wurden Altöle der Sammelkategorie 4 als aktuell und zukünftig zur Aufbereitung geeignet benannt. Dies betrifft folgende Abfallschlüssel:

- ▶ 13 03 09* biologisch leicht abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle
- ▶ 13 03 10 andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle
- ▶ 13 05 06 Öle aus Öl-/Wasserabscheidern
- ▶ 13 07 01 Heizöl und Diesel

Bezüglich 13 03 10 (Isolier- und Wärmeübertragungsöle) existieren bereits etablierte Sammel- und Verwertungspfade im Rahmen fester Kooperationen zwischen Anwendern und Altölaufbereitern.

2.4 Durchführung von Altöl-Analysen

Die Durchführung der Altöl-Analysen erfolgte in mehreren Phasen. In der ersten Phase, welche in November 2021 bis Februar 2022 durchgeführt wurde, sind 10 Analysen erfolgt. Die Auswahl der hier beprobten Altölarnten und der Analyseparameter sind unter Berücksichtigung der in Abschnitt 2.1 bis 2.3 beschriebenen Erkenntnisse sowie in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt erfolgt.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieser ersten Phase haben zwei weitere Analysephasen stattgefunden.

2.4.1 Phase 1

In dieser ersten Phase der Altölanalytik wurden zehn Analysen durchgeführt: drei Analysen von SK1-Altölen aus unterschiedlichen Sammlungen sowie sieben Analysen von SK2-Altölen.

Analyse von SK1 Altölen

Die Altöle der SK1 machen den überwiegenden Anteil des Anfalls von Altölen in Deutschland aus. Die Anforderungen an die eingesetzten Schmierstoffe, die den Großteil dieser Kategorie generieren, steigen insbesondere für den Automotivebereich kontinuierlich. Dies führt zu einer ständigen Veränderung ihrer Zusammensetzung und gegebenenfalls neuen Inhaltsstoffen. Daneben dürften Inhaltsstoffe wie Chlorverbindungen und PCB durch deren Ausschleusen aus den Märkten eine immer geringere Rolle spielen. Es ist daher angebracht, die Zusammensetzung und deren Veränderungen in regelmäßigen Abständen zu untersuchen, dies auch im Hinblick auf Veränderungen, die gegebenenfalls eine Aufbereitung beeinträchtigen oder gar verhindern könnten. Auch im Zusammenhang der Bewertung einer möglichen Aufbereitungseignung der SK2-Altöle ist es notwendig entsprechende Daten als Vergleichsgrundlage zu erheben. Hierzu könnten entsprechende repräsentative Durchschnittsproben aus den in der Regel großen Einsatztanks von Aufbereitungsanlagen genommen werden, alternativ auch Proben aus einer Zwischenlagerung aus der Sammlung.

Analyseparameter:

- ▶ PCB, Chlor
- ▶ Ester (Anteil von zugemischten „Bioölen“ als FAME-Anteil)
- ▶ Elementscreening (Abrieb-, Additivelemente, Schwefel, zusätzlich As, Cd, Hg)
- ▶ Wasseranteil
- ▶ Mineralöltypische Standardparameter (Dichte, Viskositäten, Aschegehalt)
- ▶ Flammpunkt
- ▶ Siedebereichsanalyse GC (SIMDEST)

Analyse von SK2 Altölen

Innerhalb der SK2 Altöle spielen Altöle des Abfallschlüssels 12 01 07* (halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis) eine besondere Rolle. Dies liegt zum einen in der großen Mengenrelevanz dieses Abfallschlüssels begründet (rund 99 % der Menge an SK2 Altölen sind diesem Abfallschlüssel zuzuordnen, vgl. Abschnitt 2.2), zum anderen haben auch die bisherigen Ergebnisse der Akteursbefragung gezeigt, dass bzgl. AS 12 01 07* ein mögliches Potenzial für eine Aufbereitung gesehen wird.

Hieran anknüpfend ist eine Auswertung von 40 Sicherheitsdatenblättern zu Schmierstoffen, welche dem AS 12 01 07* zugeordnet werden, vorgenommen worden. Auf dieser Basis wurde entschieden, 3-4 Altöle aus verschiedenen Arten der Metallbearbeitung (Schleifen, spanende Bearbeitung von niedrig bis mittellegierten Stählen, spanende Bearbeitung von hochlegierten Stählen) an der Anfallstelle zur beproben und zu analysieren.

Die Auswertung der der Sicherheitsdatenblätter hat zudem gezeigt, dass verschiedene Schmierstoffe dem Abfallschlüssel 12 01 07* zugeordnet werden, die nicht in der Metallbearbeitung eingesetzt werden. Hier sind beispielsweise Wärmeüberträgeröle, Trennmittel für Polyether/Polyurethan, Schalttrennmittel zu nennen. Diese Öle können sich in Bezug auf Additive und Verunreinigungen aus der Anwendung von den Metallbearbeitungsölen unterscheiden. Um dem Rechnung zu tragen, wurde entschieden 3-4 Proben gemischter SK2-Altöle zu nehmen und zu analysieren.

Analyseparameter:

- ▶ PCB, Chlor
- ▶ Ester (Anteil von zugemischten „Bioölen“ als FAME-Anteil)
- ▶ Elementscreening (Abrieb-, Additivelemente, Schwefel, zusätzlich As, Cd, Hg)
- ▶ Wasseranteil
- ▶ Mineralöltypische Standardparameter (Dichte, Viskositäten, Aschegehalt)
- ▶ Flammpunkt
- ▶ Siedebereichsanalyse GC (SIMDEST)

2.4.1.1 Vorgehen Probenbeschaffung

Die Probennahmen der 10 Altölproben

- 1) 3 x SK1
- 2a) 4 x AVV 12 01 07*
- 2b) 3 x SK2-4

erfolgten im Zeitraum 23.11.2021 bis 16.02.2022.

Dabei wurden die Proben für 1) und 2b) jeweils aus Tankwagenanlieferungen in der Raffinerie Dollbergen in Form einer qualifizierten Probenahme nach DIN 51750-2 durch Labormitarbeiter*innen der AVISTA OIL Deutschland GmbH mittels Verschlussstechheber gezogen. Die Probenmenge betrug jeweils 1 Liter. Die Altöle der Tankwagenanlieferungen stammen aus größeren Tanklagern zur Zwischenlagerung der Altöle der jeweiligen Sammelkategorie aus der bundesweiten Einsammlung.

Die Proben für 2a) wurden direkt beim Abfallerzeuger in Form einer Nebenstromprobe nach DIN 51750-2 bei der Übernahme des Altöls in den Tankwagen gewonnen. Dabei wurde auch gleich im Probenahmeprotokoll die Art der Metallbearbeitung, aus dem das Muster stammt, vermerkt. Die Probenmenge betrug jeweils 0,5 Liter.

Die Proben wurde direkt nach der Probenahme in geeignete Probengefäße überführt und diese mit einer eindeutigen, rückverfolgbaren Kennzeichnung versehen. Die Proben 2a) aus den Anfallstellen wurden unverzüglich an das Labor der AVISTA OIL Deutschland GmbH für die weiteren Untersuchungen weitergeleitet.

2.4.1.2 Probenvorbereitung

Die Probenvorbereitung erfolgte jeweils gemäß den Anforderungen der einzelnen Analysenmethoden.

2.4.1.3 Informationen zur Laboranalytik

Sämtliche Analysen wurden durch das Labor der AVISTA OIL Deutschland GmbH durchgeführt. Folgende Analysemethoden kamen dabei für die einzelnen, festgelegten Parameter zur Anwendung:

- ▶ PCB-Gehalt: DIN EN 12766-1; DIN EN 12766-2
- ▶ Chlorgehalt: DIN 51577-4
- ▶ Esteranteile: DIN EN 14078
- ▶ Elementscreening: Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) gem. AVISTA Prüfanweisung PA_109
- ▶ Gesamtschwefel: DIN EN ISO 8754
- ▶ Wassergehalt: DIN ISO 3733
- ▶ Dichte bei 15°C: DIN EN ISO 3675
- ▶ Viskosität bei 40°C: ASTM D7279
- ▶ Oxidaschegehalt: DIN EN ISO 6245
- ▶ Flammpunkt PMCC: DIN EN ISO 2719
- ▶ Siedebereich GC: DIN 51435

2.4.1.4 Laborbericht / Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst:

Tabelle 7: Zusammenfassung der Analyseergebnisse der Altölproben

Probe-Nr. AN-	Probenahmedatum	Probenahmeort	1) Altöle Sammelkategorie 1			2a) Altöle Sammelkategorie 2 - AVV 12 01 07				2b) Altöle Sammelkategorie 2 - 4		
			0810944-02 13.12.2021	0810946-02 13.12.2021	0810995-02 14.12.2021	0816205-01 18.01.2022	0816684-01 01.02.2022	0816686-01 01.02.2022	0817434-01 16.02.2022	0808889-02 23.11.2021	0809844-02 02.12.2021	0810095-02 06.12.2021
Art der Bearbeitung 2a)	Altöleingang			Betrieb				Altöleingang				
Einstufung *	A			NA				BA				
Parameter	Einheit	Methode	A	A	A	NA	NA	NA	BA	NA	NA	NA
Dichte 15°C	kg/l	EN ISO 3675	0,882	0,878	0,873	0,896	0,837	1,04	0,875	0,860	0,887	0,861
Viskosität bei 40 °C (kin)	mm ² /s	ASTM D7279	72,1	54,4	55,7	83,8	10,4	n.b.	37	19,2	17,0	12,7
FAME - Gehalt	Vol.%	DIN EN 14078	0,3	1,2	1,8	23,7	3,0	n.n.	2,0	14,8	11,0	8,2
Flammpunkt PMCC	°C	DIN EN ISO 2719	>100	78	91	>70	84	75	>90	>90	68	76
Wasser, destillativ	Gew.%	DIN ISO 3733	2,7	6,9	4,5	<0,1	0,1	69	<0,1	<1,0	14,5	2,4
Oxid-Asche	Gew.%	DIN EN ISO 6245	0,56	0,50	0,56	<0,01	0,35	n.b.	1,68	0,47	0,09	0,09
Polychlorierte Biphenyle	mg/kg	DIN EN 12766-1,2(B)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,0	n.n.	0,5	n.n.	n.n.	1,5
Chlor, RFA	Gew.%	DIN 51577-4	0,0100	0,0042	0,0043	0,0020	0,0046	0,0295	0,0008	0,0100	0,0034	0,0458
Gesamtschwefel, RFA	mg/kg	DIN EN ISO 8754	3.090	2.530	2.980	13.300	1.700	1.689	5.940	6.270	5.976	1.410
Elementscreening RFA	AOD PA 109											
Aluminium	mg/kg		73	56	58	365	29	37	71	119	133	78
Antimon	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Arsen	mg/kg		1	1	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Barium	mg/kg		6	4	4	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	2
Bismut	mg/kg		n.n.	1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
Blei	mg/kg		3	3	4	n.n.	n.n.	n.n.	3	4	1	1
Brom	mg/kg		1	3	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Cadmium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Calcium	mg/kg		1.380	1.110	1.430	18	136	423	5.140	2.490	91	132
Chrom	mg/kg		1	2	3	n.n.	n.n.	1	1	n.n.	n.n.	1
Eisen	mg/kg		45	99	77	1	31	155	45	10	26	46
Kobalt	mg/kg		n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Kupfer	mg/kg		15	18	25	1	5	1	3	4	3	7
Magnesium	mg/kg		25	24	66	n.n.	n.n.	84	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Mangan	mg/kg		2	3	3	n.n.	n.n.	7	17	5	2	2
Molybdän	mg/kg		20	26	33	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	1	5
Nickel	mg/kg		4	4	4	3	3	1	3	3	3	3
Phosphor	mg/kg		545	546	649	163	52	526	38	180	264	207
Quecksilber	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Silicium	mg/kg		31	42	24	n.n.	7	25	8	19	14	3
Thallium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Titan	mg/kg		n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Vanadium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Wolfram	mg/kg		1	2	2	n.n.	n.n.	1	n.n.	1	1	1
Zink	mg/kg		543	587	659	5	24	60	107	58	33	86
Zinn	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Analyseergebnisse der Altölproben (fortgesetzt)

Probe-Nr. AN-	1j) Altöle Sammelkategorie 1			2a) Altöle Sammelkategorie 2 - AVV 12 01 07				2b) Altöle Sammelkategorie 2 - 4			
	0810944-02	0810946-02	0810995-02	0816205-01	0816684-01	0816686-01	0817434-01	0808889-02	0809844-02	0810095-02	
Probenahmedatum	13.12.2021	13.12.2021	14.12.2021	18.01.2022	01.02.2022	01.02.2022	16.02.2022	23.11.2021	02.12.2021	06.12.2021	
Probenahmeort	Altöleingang			Betrieb				Altöleingang			
Art der Bearbeitung 2a)				Tiefziehen Aluminium	Kaltumformung	Harddrehen - High Speed Cutting	Drehen - Zerspanen				
Einstufung *	A	A	A	NA	NA	NA	BA	NA	NA	NA	
Parameter	Einheit	Methode									
Simulierte Destillation GC	DIN 51435										
Simdest Siedebeginn	°C	175	179	119	185	177	n.b.	157	216	135	136
Simdest 5%	°C	352	380	370	201	191	n.b.	229	324	186	197
Simdest 10%	°C	383	399	392	417	199	n.b.	246	343	211	223
Simdest 15%	°C	398	410	403	445	203	n.b.	286	354	241	239
Simdest 20%	°C	409	419	410	459	211	n.b.	332	363	270	260
Simdest 25%	°C	417	426	416	469	225	n.b.	362	370	287	279
Simdest 30%	°C	424	433	422	478	317	n.b.	384	377	303	295
Simdest 35%	°C	430	441	426	487	340	n.b.	392	382	319	311
Simdest 40%	°C	437	449	431	496	357	n.b.	401	386	339	335
Simdest 45%	°C	444	457	436	505	371	n.b.	409	390	357	365
Simdest 50%	°C	452	467	442	514	385	n.b.	415	395	374	389
Simdest 55%	°C	461	476	448	524	396	n.b.	421	401	388	404
Simdest 60%	°C	470	485	455	535	410	n.b.	426	408	407	415
Simdest 65%	°C	480	494	463	547	423	n.b.	432	419	439	424
Simdest 70%	°C	491	504	471	560	437	n.b.	438	433	465	432
Simdest 75%	°C	503	514	480	575	453	n.b.	445	454	486	442
Simdest 80%	°C	517	526	490	592	471	n.b.	453	475	510	454
Simdest 85%	°C	534	538	503	609	490	n.b.	465	494	540	466
Simdest 90%	°C	556	554	521	616	510	n.b.	489	540	578	476
Simdest 95%	°C	592	579	547	626	539	n.b.	535	596	610	499
Simdest Siedeeinde	°C	638	635	632	642	609	n.b.	630	632	638	558

* A - aufbereitbar
 BA - bedingt aufbereitbar
 NA - nicht aufbereitbar

2.4.1.5 Interpretation und Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse der Analysen der 10 Altölproben sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 zusammengefasst. In der fünften Zeile (Einstufung) ist vermerkt, ob das jeweilige Altöl anhand der Analyseergebnisse als aufbereitbar (A), bedingt aufbereitbar (BA) oder nicht aufbereitbar (NA) einzustufen ist. Die Daten, die zur Einstufung NA bzw. BA geführt haben, sind rot hervorgehoben.

1) Altöle SK1:

Die Proben aus der Sammlung von SK1-Altölen zeigen erwartungsgemäß keine Auffälligkeiten. Sie weisen typische Daten auf und bestätigen damit die Eignung für die Aufbereitung zu Basisölen.

2a) Altöle AVV 12 01 07*:

Von den direkt beim Abfallanfall gezogenen Proben der AVV 12 01 07* sind 3 (Metallbearbeitung: Tiefziehen Aluminium / Kaltumformung / Hartdrehen – High Speed Cutting) als nicht geeignet für eine Aufbereitung einzustufen, während die Probe aus der Bearbeitungsart „Drehen – Zerspanen“ als bedingt aufbereitbar zu bewerten ist.

Erläuterungen zu den Bewertungskriterien:

- ▶ **Esteranteil:** Hohe Anteile von Estern, insbesondere von natürlichen Fettsäureestern, führen in den Verarbeitungsanlagen der Aufbereitung zur massiven Bildung von Rückständen („Fouling“), die zu häufigen Anlagenstillständen und hohem Reinigungsaufwand führen können. Darüber hinaus können Anteile, die nicht in den ersten Verarbeitungsstufen abgetrennt werden können und sich im Endprodukt Basisöl wiederfinden, zu Qualitätseinbußen führen (viele der verwendeten Ester sind hydrolyseempfindlich und thermisch instabil). Die Bestimmung des Esteranteils in den Altölen gehört daher zur Routineanalytik im Eingang der Aufbereitungsanlagen. Traditionell kommt hier die sogenannte „Luxprobe“ zum Einsatz, die aber relativ unspezifisch zu einer Ja-Nein-Aussage führt (vorhanden – nicht vorhanden). Alternativ können infrarotspektroskopische Verfahren zur Bestimmung des FAME-Gehaltes in Mineralölprodukten angewendet werden (hier DIN EN 14078), die eine etwas spezifischere Bewertung erlauben. Ein allgemein gültiger Grenzwert ist nicht zu nennen, jedoch kann man sagen, dass Gehalte von >3 % Esteranteil bestimmt als FAME zum Ausschluss für eine Eignung zur Aufbereitung führen sollten.

Herkunft der Esteranteile können zum einen sogenannte biologisch leicht abbaubare Schmierstoffe sein, die von vorneherein Esteröle als Basisöle verwenden. Altöle, die aus diesen Schmierstoffen anfallen, sind daher richtigerweise in die Sammelkategorie 4 eingestuft.

In dem hier betrachteten Fall der Metallbearbeitung ist die Herkunft allerdings in der Regel auf eine bestimmte Additivierung zurückzuführen. Sehr häufig werden bei bestimmten Bearbeitungsarten geschwefelte Fettsäureester als EP- (Extreme Pressure)/AW (Anti Wear)-Additive eingesetzt, wobei die Additivierung dann in der Regel auch recht hoch ist. In dem hier betrachteten Altöl aus dem Prozess „Tiefziehen-Aluminium“ lässt sich dies eindeutig durch die Werte für FAME (23,7 Vol.%) und Schwefel (13.300 mg/kg) erkennen.

- ▶ **Viskosität:** Insbesondere bei Metallbearbeitungsarten, bei denen der Schmierstoff in erster Linie zur Kühlung verwendet wird, kommen oft sehr „dünne“ Öle zum Einsatz.

Diese basieren auf Basisölen mit vergleichsweise sehr niedrigen Viskositäten. Bei der Aufbereitung von Altölen dieser Herkunft würde der überwiegende Teil des Basisöls im Nebenproduktstrom als Gasölkomponente anfallen. Dies führt zu Ausbeuteverlusten und gegebenenfalls (bei höheren Gehalten) zu Beeinträchtigungen der Prozessführung. Altöle der SK1 weisen in der Regel Viskositäten im Bereich zwischen 40 und 70 mm²/s bei 40°C (V40) auf. Das Altöl aus der Kaltumformung hat eine V40 von 10,4 mm²/s was einem Gasöl bzw. sehr dünnem Basisöl entspricht (die niedrige Dichte korrespondiert mit dieser Feststellung).

- ▶ **Wassergehalt:** Das Altöl aus dem Hartdrehen weist einen sehr hohen Wassergehalt mit 69 Gew.% auf. Der Umstand ist nicht erklärbar, da es sich um einen nicht wassermischbaren Schmierstoff (= keine Emulsion) handeln soll. Möglicherweise ist es im Betrieb zu einem Wassereintrag gekommen oder es stammt aus einem Reinigungsprozess, der zur Vermischung mit dem gebrauchten Schmierstoff geführt hat. Grundsätzlich kann man sagen, dass Altöle der SK1 zur Aufbereitung maximale Wassergehalte von ca. 7 % aufweisen. Einen eindeutigen Grenzwert kann man nicht benennen, da die Auswirkungen höhere Gehalte in erster Linie wirtschaftlicher Natur sind – Ausbeuteverluste, höherer Abwasseranfall, höherer Energieeintrag. In der Regel werden bei Gehalten von > 10 %, die bei SK1-Altölen festgestellt werden, die wirtschaftlichen Mehraufwendungen berechnet. Gehalte > 20 % dürften aber zur Ablehnung führen, da nicht auszuschließen ist, dass mit dem „zugemischten“ Wasser auch andere Störstoffe eingetragen wurden. In der Regel führen solche Ablehnungen auf Grund unzulässiger Zumischungen und damit Nichteignung für den Basisölstrang zur Sperrung und Separierung der Anlieferung. Ist es möglich die Ware in der Raffinerie anderweitig zu verarbeiten (bzw. weiter extern zu entsorgen), wird der Verursacher informiert und es wird die Übernahme der Kosten (bzw. Nichtvergütung) verhandelt. Bei keiner Einigung muss der Anlieferer die Ware zurücknehmen und einen neuen Entsorgungsvorgang starten.
- ▶ **Additivierung:** Das vierte AVV 12 01 07* Altöl aus dem Bereich Drehen-Zerspanen scheint eine höhere Additivierung zu besitzen, der Aschegehalt sowie die Gehalte an Schwefel und Calcium weisen darauf hin. Höhere Additivgehalte können zu entsprechend höheren Anteilen dieser Komponenten in bestimmten Nebenprodukten der Aufbereitung führen, sind aber in der Regel im Einzelfall nicht unbedingt ein Ausschlusskriterium. Daher wurde dieses Altöl, in Verbindung auch mit der etwas niedrigeren Viskosität als bedingt aufbereitbar eingestuft.
- ▶ **Metallgehalte:** Grundsätzlich können Altöle aus der Metallbearbeitung auch höhere Gehalte der jeweiligen bearbeiteten Metalle enthalten (s. Aluminiumgehalt des Altöls „Tiefziehen-Aluminium“). Diese liegen dann meist in fester Form als Partikel oder dispers gelöst vor. Bei einem Einsatz solcher Öle in Aufbereitungsanlagen müsste sichergestellt werden, dass diese Metallanteile entsprechend möglichst vollständig bereits im Einsatz zur Anlage abgetrennt werden, da sonst abrasive Effekte zu befürchten sind. In jedem Fall kommt es zu einer erhöhten Rückstandsbildung. Definierte Grenzwerte sind hier nicht zu nennen.

2b) Altöle SK2-4:

Alle drei Altöle aus der gemischten Sammlung der SK2-4 sind (erwartungsgemäß) als nicht aufbereitbar eingestuft worden. Alle Proben weisen mit 14,8 Vol.%, 11,0 Vol.% und 8,2 Vol.% hohe Esteranteile auf, die zum Ausschluss führen. Bei den ersten beiden Proben sind auch die Schwefelgehalte erhöht, was auf einen Anteil an geschwefelten Fettsäureestern deutet, während

der Esteranteil der dritten Probe wohl eher auf Vorhandensein von Altölen der SK4 (biologisch leicht abbaubare Öle) zurückzuführen sein dürfte. Darüber hinaus liegen alle Öle auch in einem niedrigen Viskositätsbereich (Erläuterungen siehe Ausführungen zu 2a). Bei der dritten Probe wurde außerdem ein erhöhter PCB-Gehalt (13 mg/kg) gemessen.

2.4.2 Phase 2

In den Analyseergebnissen der ersten Analysephase hat sich die Tendenz gezeigt, dass Altöle aus der Metallbearbeitung, speziell aus dem Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide (Bohren, Drehen, Fräsen) – ausgenommen die Bearbeitung von Aluminium und Buntmetallen, tendenziell zur Aufbereitung geeignet sind.

Altöle aus dem Zerspanen mit geometrisch unbestimmter Schneide (Honen, Schleifen, Läppen) hingegen, erscheinen entsprechend den Ergebnissen der ersten Analysephase ebenso wie Altöle aus Umformprozessen (Tiefziehen, Drahtziehen, Hochdruckumformen, Kaltmassivumformen) tendenziell nicht zur Aufbereitung geeignet zu sein.

Entsprechend wurde der Schwerpunkt für die nächsten 15 Analysen der zweiten Analysephase festgelegt: Zum einen soll die potenzielle Eignung zur Aufbereitung von Altölen aus dem Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide bestätigt werden. Zum anderen soll die nicht-Eignung der Altöle aus Umformprozessen und dem Zerspanen mit geometrisch unbestimmter Schneide bestätigt werden.

2.4.2.1 Vorgehen Probenbeschaffung

Da für die zweite Analysenrunde die Proben aus der Anwendung für bestimmte Arten der Metallbearbeitung bereitgestellt werden sollten, ergab sich die Problematik, dass gerade in diesem Zeitraum entsprechendes Altöl zur Entsorgung anfallen musste. Um das zu gewährleisten, wurde beim BVA Unterstützung angefragt. Koordiniert über den BVA haben verschiedene Unternehmen Altölproben aus den verschiedenen Fertigungsverfahren zur Analyse bereitgestellt. Die Proben wurden direkt beim jeweiligen Abfallerzeuger in Form einer Nebenstromprobe nach DIN 51750-2 bei der Übernahme des Altöls in den Tankwagen gewonnen. Die Proben wurden direkt nach der Probenahme in geeignete Gefäße überführt und diese mit einer eindeutigen, rückverfolgbaren Kennzeichnung versehen. Dabei wurde im Probenahmeprotokoll die Art der Metallbearbeitung gemäß Angabe des Erzeugers vermerkt. Die Probemenge betrug jeweils 0,5 Liter. Die Proben wurden in einem Zeitraum zwischen Juli und November 2022 gezogen und jeweils direkt an das Labor der AVISTA OIL Deutschland GmbH zur Untersuchung weitergeleitet. Folgende Proben standen zur Verfügung:

Tabelle 9: Übersicht über Proben der zweiten Analysephase

Probe-nummer	Probenahme-datum	PLZ des Betriebs	Art der Metallbearbeitung
1.2 - 01	07.07.2022	35XXX	Tiefziehen Leichtmetalle
1.2 - 02	07.07.2022	38XXX	Bearbeitungsöl, Metallbearbeitung Schmieden Kurbelwellen
1.2 - 03	12.07.2022	35XXX	Bearbeitungsöl Schraubensbearbeitung
1.2 - 04	04.08.2022	12XXX	Schneidöle Metallumformung Beschläge, Scharniere
1.2 - 06	31.08.2022	89XXX	Bearbeitungsöl Kühlen + Schmierer
1.2 - 07	24.08.2022	77XXX	Gewindeschneiden

Probenummer	Probenahmedatum	PLZ des Betriebs	Art der Metallbearbeitung
1.2 - 08	07.09.2022	70XXX	Schneidöl
1.2 - 09	27.09.2022	85XXX	Schleifen
1.2 - 10	17.10.2022	91XXX	Bohren
1.2 - 11	27.10.2022	90XXX	Drehen
1.2 - 12	07.11.2022	70XXX	Drehen
1.2 - 13	28.11.2022	87XXX	Schleifen, Drehen
1.2 - 14	29.11.2022	89XXX	Schleiföl
1.2 - 15	12.2022	09XXX	Fräsen / Bohren
1.2 - 16	11.11.2022	47XXX	Fräsen (Bolzen, Schrauben)

Quelle: Avista

2.4.2.2 Probenvorbereitung

Die Probenvorbereitung erfolgte jeweils gemäß den Anforderungen der einzelnen Analysemethoden.

2.4.2.3 Informationen zur Laboranalytik

Die Analysen wurde analog zur ersten Analysephase durch das Labor der AVISTA OIL Deutschland GmbH durchgeführt.

Folgende Analysemethoden kamen dabei für die einzelnen, festgelegten Parameter zur Anwendung:

- ▶ PCB-Gehalt: DIN EN 12766-1,2(B)
- ▶ Chlorgehalt: DIN 51577-4
- ▶ Esteranteile: DIN EN 14078
- ▶ Elementscreening: Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) gem. AVISTA Prüfanweisung PA_109
- ▶ Gesamtschwefel: DIN EN ISO 8754
- ▶ Wassergehalt: DIN ISO 3733
- ▶ Dichte bei 15°C: EN ISO 3675
- ▶ Viskosität bei 40°C: ASTM D7279
- ▶ Oxidaschegehalt: DIN EN ISO 6245
- ▶ Flammpunkt PMCC: DIN EN ISO 2719
- ▶ Siedebereich GC: DIN 51435

2.4.2.4 Laborbericht/ Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst:

Tabelle 10: Zusammenfassung der Analyseergebnisse der Altölproben Phase 2

			Altöle Metallbearbeitung														
Probe-Nr.			1.2-01	1.2-02	1.2-03	1.2-04	1.2-06	1.2-07	1.2-08	1.2-09	1.2-10	1.2-11	1.2-12	1.2-13	1.2-14	1.2-15	1.2-16
Labor-Nr.			0842434-01	842438-01	842439-01	842440-01	842442-01	23-002116-01	23-002121-01	23-002122-01	23-002157-01	23-002158-01	23-002159-01	23-002160-01	23-002163-01	23-002164-01	23-002165-01
Probenahmedatum			07.07.2022	07.07.2022	12.07.2022	04.08.2022	31.08.2022	24.08.2022	07.09.2022	27.09.2022	17.10.2022	27.10.2022	07.11.2022	28.11.2022	29.11.2022	12.2022	11.11.2022
Probenahmeort Betrieb (PLZ)			35000	38000	35000	12000	89000	77000	70000	85000	91000	90000	70000	87000	89000	09000	47000
Art der Bearbeitung			Tiefziehen Leichtmetalle	Bearbeitungs-öl Metallbearbeitung Schmieden Kurbelwellen	Bearbeitungs-öl Schraubenbearbeitung	Schneidöle Metallumformung Beschläge, Schmiere	Bearbeitungs-öl Kühlen + Schmierern	Gewindeschneiden	Schneidöl	Schleifen	Bohren	Drehen	Drehen	Schleifen, Drehen	Schleiföl	Fräsen / Bohren	Fräsen (Bolzen, Schrauben)
Einstufung *			NA	A	BA	NA	NA	NA	NA	BA	NA	NA	NA	A	BA	BA	NA
Parameter	Einheit	Methode															
Dichte 15°C	kg/l	EN ISO 3675	0,895	0,874	0,890	0,857	0,852	0,909	0,843	0,835	0,865	0,870	0,855	0,845	0,853	0,840	0,857
Viskosität bei 40 °C (kin)	mm²/s	ASTM D7279	88,70	46,90	47,00	13,30	14,62	114,00	6,29	10,42	25,30	23,84	18,40	26,47	21,45	18,88	16,45
FAME- Gehalt	Vol.%	EN 14078	8,1	0,8	3,9	14,7	5,4	16,7	14,0	4,3	9,1	10,4	3,5	1,9	2,6	5,1	12,7
Flammpunkt Pensky-Martens	°C	DIN EN ISO 2719	104	>140	95	81	85	>95	>95	95	87	>95	>95	>95	>95	>140	>140
Wasser, destillativ	Gew.%	DIN ISO 3733	<0,1	2,1	3,6	<0,1	<0,1	0,6	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Oxid-Asche	Gew.%	DIN EN ISO 6245	0,13	0,07	1,07	1,60	0,85	4,51	0,07	<0,01	0,21	0,42	0,11	0,11	0,44	0,06	0,12
Polychlorierte Biphenyle	mg/kg	DIN EN 12766-1,2(B)	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Chlor, RFA	Gew.%	DIN 51577-4	0,0100	0,0100	0,0100	n.n.	0,0700	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0100	0,3200	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Gesamtschwefel, RFA	mg/kg	DIN EN ISO 8754	11.560	6.610	3.327	17.980	6.128	40.510	529	6.780	2.270	26.210	3.130	4.300	6.250	8.100	7.460
Elementscreening RFA		AOD PA_109															
Aluminium	mg/kg		320	50	41	86	92	213	101	34	6	136	54	21	36	40	45
Antimon	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	<2	2	2	2	2	<2	<2	>2
Arsen	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	1	4	<1	1	n.n.	2	1	n.n.	n.n.	n.n.
Barium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	1	<1	8	2	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bismut	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	1	<1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Blei	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	2	178	<1	2	n.n.	15	72	3	n.n.	n.n.
Brom	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	<1	1	n.n.	11	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Cadmium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Calcium	mg/kg		7	95	209	483	3.015	12.400	18	<1	137	1.540	100	33	2.210	65	266
Chrom	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	2	<1	12	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Eisen	mg/kg		2	4	24	197	28	195	119	4	34	37	22	8	19	10	2
Kobalt	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	1	45	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Kupfer	mg/kg		2	3	2	16	4	48	6	2	224	9	11	49	2	3	1
Magnesium	mg/kg		13	<10	<8	n.n.	<10	n.n.	189	<3	<6	<3	<3	<7	<3	<3	<3
Mangan	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	3	1	<1	5	1	18	2	10	10	n.n.
Molybdän	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	1	<1	9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Nickel	mg/kg		3	3	4	5	4	n.n.	1	<1	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Phosphor	mg/kg		151	72	36	831	68	2.384	736	643	344	680	578	325	77	206	693
Quecksilber	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	1	<1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Silicium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	19	15	n.n.	39	<1	552	680	6	9	n.n.	n.n.	12
Thallium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	7	<1	1	n.n.	1	3	n.n.	n.n.	n.n.
Titan	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	<1	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1
Vanadium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	8	<1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Wolfram	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	8	2	n.n.	1	2	n.n.	n.n.	n.n.
Zink	mg/kg		4	25	9	869	43	2.992	50	2	345	38	153	346	7	74	11
Zinn	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	1	39	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Tabelle 11: Zusammenfassung der Analyseergebnisse der Altölproben Phase 2 (fortgesetzt)

Probe-Nr.	1.2-01	1.2-02	1.2-03	1.2-04	1.2-06	1.2-07	1.2-08	1.2-09	1.2-10	1.2-11	1.2-12	1.2-13	1.2-14	1.2-15	1.2-16	
Labor-Nr.	0842434-01	842438-01	842439-01	842440-01	842442-01	23-002116-01	23-002121-01	23-002122-01	23-002157-01	23-002158-01	23-002159-01	23-002160-01	23-002163-01	23-002164-01	23-002165-01	
Art der Bearbeitung	Tiefziehen Leichtmetalle	Bearbeitungsöl Metallbearbeitung Schmieden Kurbelwellen	Bearbeitungsöl Schraubenbearbeitung	Schneidöle Metallumformung Beschläge, Schamiere	Bearbeitungsöl Kühlen + Schmieren	Gewindschneiden	Schneidöl	Schleifen	Bohren	Drehen	Drehen	Schleifen, Drehen	Schleiföl	Fräsen / Bohren	Fräsen (Bolzen, Schrauben)	
Einstufung *	NA	A	BA	NA	NA	NA	NA	BA	NA	NA	NA	A	BA	BA	NA	
Parameter	Einheit	Methode														
Simulierte Destillation GC		DIN 51435														
Simdest Siedebeginn	°C	178	248	178	176	156		232	255	164	127	164	214	235	292	212
Simdest 5%	°C	199	375	194	187	236	184	266	324	306	369	337	324	350	359	361
Simdest 10%	°C	356	399	200	195	313	199	275	336	357	394	357	356	365	371	408
Simdest 15%	°C	428	411	208	199	342	337	281	343	357	405	369	380	374	377	412
Simdest 20%	°C	450	419	227	202	356	379	286	349	374	412	377	403	381	383	414
Simdest 25%	°C	464	426	314	208	366	407	291	354	380	417	385	416	387	388	415
Simdest 30%	°C	474	432	334	222	373	422	294	359	402	421	393	424	392	392	416
Simdest 35%	°C	483	439	352	319	379	431	297	364	419	425	400	430	398	396	417
Simdest 40%	°C	492	445	367	356	385	443	301	368	432	429	406	437	403	400	418
Simdest 45%	°C	502	451	381	380	390	453	304	372	444	434	411	443	408	404	419
Simdest 50%	°C	513	458	398	407	395	464	308	376	455	438	416	449	413	408	426
Simdest 55%	°C	527	465	414	426	401	486	312	380	467	44	421	456	418	413	434
Simdest 60%	°C	541	473	428	444	408	498	316	384	476	449	426	463	423	419	444
Simdest 65%	°C	558	480	444	462	415	509	321	389	483	456	431	470	429	427	454
Simdest 70%	°C	574	488	461	479	424	522	326	393	489	462	439	477	435	436	465
Simdest 75%	°C	590	498	478	496	433	538	335	398	496	470	448	485	441	447	475
Simdest 80%	°C	606	508	495	514	447	556	348	403	508	478	458	493	448	459	486
Simdest 85%	°C	614	522	513	537	467	579	363	409	529	489	471	502	457	477	498
Simdest 90%	°C	625	540	538	577	502	606	445	415	546	505	489	513	469	501	516
Simdest 95%	°C	639	571	586	617	566	627	545	424	586	532	518	531	496	537	560
Simdest Siedende	°C	657	645	647	655	637	651	616	491	636	631	613	608	616	624	625

- * A - aufarbeitbar
- BA - bedingt aufarbeitbar
- NA - nicht aufarbeitbar

2.4.2.5 Interpretation und Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse der Analysen der 15 Altölproben sind in Tabelle 12 zusammengefasst. In der dritten Spalte (Einstufung) ist vermerkt, ob das jeweilige Altöl anhand der Analysenergebnisse als aufbereitbar (A), bedingt aufbereitbar (BA) oder nicht aufbereitbar (NA) einzustufen ist.

In Tabelle 10 und Tabelle 11 findet sich diese Kennzeichnung in der sechsten bzw. vierten Zeile. Die Parameter, die zur Einstufung NA bzw. BA geführt haben, sind dort rot hervorgehoben. Zusätzlich sind hier weitere Parameter blau hervorgehoben, die auffällig sind, für sich allein jedoch nicht zwangsläufig zu einer negativen Bewertung hinsichtlich der Eignung zur Aufbereitung führen, aber in die abschließende Bewertung einfließen können.

Tabelle 12: Erläuterung der Einstufung der Altölproben

Probe	Art der Metallbearbeitung	Kommentar zur Einstufung*
1.2 - 01	Tiefziehen Leichtmetalle	NA: Ester- / Schwefelgehalt zu hoch, wahrscheinliche Verwendung von geschwefelten Fettsäureestern
1.2 - 02	Bearbeitungsöl, Metallbearbeitung Schmieden Kurbelwellen	A
1.2 - 03	Bearbeitungsöl Schraubensbearbeitung	BA: Estergehalt leicht zu hoch; die geringe Dichte weist auf einen hohen Anteil niedrigviskoser Komponenten hin, das wird auch durch den Siedeverlauf bestätigt; aufbereitbare Öle haben in der Regel einen Siedebeginn (Beginn Basisölanteil) bei 320°C unter 5Vol% Destillatanteil, hier liegt er bei 25 - 30Vol.%
1.2 - 04	Schneidöle Metallumformung Beschläge, Scharniere	NA: Ester- / Schwefelgehalt zu hoch, wahrscheinliche Verwendung von geschwefelten Fettsäureestern; hoher Anteil (ca. 35%) niedrigviskoser Komponenten; Oxidasche erhöht
1.2 - 06	Bearbeitungsöl Kühlen + Schmieren	NA: Ester-/Schwefelgehalt erhöht, Calciumgehalt (3.015 mg/kg) zu hoch
1.2 - 07	Gewindeschneiden	NA: Ester- / Schwefelgehalt zu hoch; Aschegehalt (4,51Gew%) und Ca, P, Zn jeweils zu hoch
1.2 - 08	Schneidöl	NA: Estergehalt zu hoch; Viskosität (6,29 mm ² /s) sehr niedrig und entsprechend Anteil niedrigsiedender Komponenten deutlich zu hoch (ca. 60%)
1.2 - 09	Schleifen	BA: Ester-/Schwefelgehalt erhöht; trotz niedriger Dichte/Viskosität zeigt der Siedeverlauf keinen erhöhten niedrigsiedenden Anteil, daher noch als bedingt aufbereitbar eingestuft
1.2 - 10	Bohren	NA: Siliciumgehalt mit 552 mg/kg deutlich zu hoch; Estergehalt zu hoch
1.2 - 11	Drehen	NA: Siliciumgehalt mit 680 mg/kg deutlich zu hoch; Estergehalt zu hoch
1.2 - 12	Drehen	NA: Chlorgehalt 0,32 Gew.%

Probe	Art der Metallbearbeitung	Kommentar zur Einstufung*
1.2 - 13	Schleifen, Drehen	A: trotz niedriger Dichte/Viskosität zeigt der Siedeverlauf keinen erhöhten niedrigsiedenden Anteil
1.2 - 14	Schleiföl	BA: Schwefelgehalt erhöht; Calciumgehalt erhöht; trotz niedriger Dichte/Viskosität zeigt der Siedeverlauf keinen erhöhten niedrigsiedenden Anteil, daher noch als bedingt aufbereitbar eingestuft
1.2 - 15	Fräsen / Bohren	BA: Ester-/Schwefelgehalt erhöht; trotz niedriger Dichte/Viskosität zeigt der Siedeverlauf keinen erhöhten niedrigsiedenden Anteil, daher gerade noch als bedingt aufbereitbar eingestuft
1.2 - 16	Fräsen (Bolzen, Schrauben)	NA: Ester- / Schwefelgehalt zu hoch

* Begründung zur jeweiligen Bewertung siehe auch 2.4.1.5.

2.4.3 Phase 3

In den Analysephasen 1 und 2 hat sich gezeigt, dass

- ▶ Bestimmte Altöle, die nach AltölV nicht der SK1 zuzuordnen sind, von einzelnen Anfallstellen durchaus zur Aufbereitung geeignet sein können,
- ▶ Diese Altöle in den analysierten Proben gehäuft aus der Metallbearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide (Bohren, Drehen, Fräsen) stammen;
- ▶ Sich aber keine grundsätzliche Eignung von Altölen aus diesen Verfahren für die Aufbereitung zeigt.

In der dritten Phase der Altölanalytik wurde versucht, gezielt Altöle von einzelnen großen Anfallstellen zu analysieren.

2.4.3.1 Vorgehen Probenbeschaffung

Die Probenbeschaffung wurde wieder durch die Unternehmen der zweiten Analysenrunde unterstützt. Als Vorgabe wurde gegeben, die Proben bei entsprechenden Großbetrieben wie z.B. Automobilherstellern oder entsprechenden Zulieferbetrieben zu ziehen. Die Proben wurden direkt beim jeweiligen Abfallerzeuger in Form einer Nebenstromprobe nach DIN 51750-2 bei der Übernahme des Altöls in den Tankwagen gewonnen. Die Proben wurden direkt nach der Probenahme in geeignete Gefäße überführt und diese mit einer eindeutigen, rückverfolgbaren Kennzeichnung versehen. Dabei wurde, wenn verfügbar im Probenahmeprotokoll die Art der Metallbearbeitung gemäß Angabe des Erzeugers vermerkt. Die Probemengen betragen zwischen 250 ml und 4.000 ml. Die Proben wurden in einem Zeitraum zwischen November 2023 und Mai 2024 gezogen und jeweils direkt an das Labor der AVISTA OIL Deutschland GmbH zur Untersuchung weitergeleitet. Folgende Proben standen zur Verfügung:

Tabelle 11: Übersicht über Proben der zweiten Analysephase

Probe-nummer	Probenahme-datum	PLZ des Betriebs	Art der Metallbearbeitung
1.2 - 17	04.2024	94XXX	Schleiföl

Probe-nummer	Probenahme-datum	PLZ des Betriebs	Art der Metallbearbeitung
1.2 - 18	02.05.2024	70XXX	Härteöl
1.2 - 19	25.03.2024	91XXX	Stanzen
1.2 - 20	04.04.2024	34XXX	Schneidöl
1.2 - 21	02.05.2024	70XXX	Umformöl
1.2 - 22	25.03.2024	91XXX	Umformöl
1.2 - 23	01.2024	73XXX	Keine Angabe
1.2 - 24	01.2024	73XXX	Keine Angabe
1.2 - 25	20.11.2023	38XXX	Keine Angabe
1.2 - 26	22.11.2023	70XXX	Keine Angabe
1.2 - 27	24.11.2023	38XXX	Keine Angabe

2.4.3.2 Probenvorbereitung

Die Probenvorbereitung erfolgte jeweils gemäß den Anforderungen der einzelnen Analysenmethoden.

2.4.3.3 Informationen zur Laboranalytik

Die Analysen wurde analog zur ersten und zweiten Analysephase durch das Labor der AVISTA OIL Deutschland GmbH durchgeführt.

Folgende Analysemethoden kamen dabei für die einzelnen, festgelegten Parameter zur Anwendung:

- ▶ PCB-Gehalt: DIN EN 12766-1,2(B)
- ▶ Chlorgehalt: DIN 51577-4
- ▶ Esteranteile: DIN EN 14078
- ▶ Elementscreening: Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) gem. AVISTA Prüfanweisung PA_109
- ▶ Gesamtschwefel: DIN EN ISO 8754
- ▶ Wassergehalt: DIN ISO 3733
- ▶ Dichte bei 15°C: EN ISO 3675
- ▶ Viskosität bei 40°C: ASTM D7279
- ▶ Oxidaschegehalt: DIN EN ISO 6245
- ▶ Flammpunkt PMCC: DIN EN ISO 2719
- ▶ Siedebereich GC: DIN 51435

2.4.3.4 Laborbericht/ Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst:

Tabelle 13: Zusammenfassung der Analyseergebnisse der Altölproben Phase 3

			Altöle Metallbearbeitung										
Probe-Nr.			1.2 - 17	1.2 - 18	1.2 - 19	1.2 - 20	1.2 - 21	1.2 - 22	1.2 - 23	1.2 - 24	1.2 - 25	1.2 - 26	1.2 - 27
Labor-Nr.			24-011478-01	24-012193-01	24-012194-01	24-012195-01	24-012196-01	24-012198-01	24-004000-01	24-004001-01	23-030322-01	24-030521-01	24-030801-01
Probenahmedatum			04.2024	02.05.2024	25.03.2024	04.04.2024	02.05.2024	25.03.2024	01.2024	01.2024	20.11.2023	22.11.2023	24.11.2023
Probenahmeort Betrieb (PLZ)			94xxx	70xxx	91xxx	34xxx	70xxx	91xxx	73xxx	73xxx	38xxx	70xxx	38xxx
Art der Bearbeitung			Schleiföl	Härteöl	Stanzen	Schneidöl	Umförmöl	Umförmöl	73xxx	73xxx	38xxx	70xxx	38xxx
Einstufung *			NA	A	BA	NA	NA	NA	BA	NA	NA	NA	NA
Parameter	Einheit	Methode											
Dichte 15°C	kg/l	EN ISO 3675	0,829	0,860	0,860	0,874	0,840	0,919	0,840	0,918	1,035	0,918	0,965
Viskosität bei 40 °C (kin)	mm ² /s	ASTM D7279	14,80	26,24	19,91	28,67	10,37	105,60	18,13	17,50 **	16,30	n.b.	45,10 **
FAHME - Gehalt	Vol.%	EN 14078	7,6	< 0,1	< 0,1	6,9	10,6	27,0	6,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Flammpunkt Pensky-Martens	°C	DIN EN ISO 2719	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90	> 98	> 98	> 70	> 70	> 70
Wasser, destillativ	Gew.%	DIN ISO 3733	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,8	42,4	46,8	30,0	42,7
Oxid-Asche	Gew.%	DIN EN ISO 6245	0,03	< 0,1	< 0,5	0,25	< 0,1	0,04	0,06	0,30	3,82	1,43	4,66
Polychlorierte Biphenyle	mg/kg	DIN EN 12766-1,2(B)	1,50	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,50	n.n.
Chlor, RFA	Gew.%	DIN 51577-4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n
Gesamtschwefel, RFA	mg/kg	DIN EN ISO 8754	9,900	4,640	6,830	13,160	2,940	45,450	8,570	2,490	3,180	1,760	10
Elementscreening RFA	AOD PA_109												
Aluminium	mg/kg		52	23	135	74	16	263	69	58	63	198	35
Antimon	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	2	2	2	2
Arsen	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Barium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bismut	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Blei	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
Brom	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.
Cadmium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Calcium	mg/kg		n.n.	72	2	389	127	n.n.	58	33	200	178	1
Chrom	mg/kg		1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Eisen	mg/kg		184	6	n.n.	986	50	4	47	233	49	379	1
Kobalt	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.
Kupfer	mg/kg		2	1	1	2	n.n.	2	5	1	13	1	1
Magnesium	mg/kg		n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	11	n.n.	7	7	8
Mangan	mg/kg		12	n.n.	n.n.	52	2	2	6	n.n.	2	8	n.n.
Molybdän	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	1	n.n.
Nickel	mg/kg		n.n.	n.n.	3	2	n.n.	3	3	3	4	3	9
Phosphor	mg/kg		338	13	36	608	267	702	182	42	257	328	n.n.
Quecksilber	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	10
Silicium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	33	n.n.	3	16	18	2660	n.n.
Thallium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Titan	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Vanadium	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Wolfram	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	11	n.n.	n.n.	n.n.
Zink	mg/kg		37	2	n.n.	47	11	3	67	1	25	7	11
Zinn	mg/kg		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	1	1	1

Tabelle 14: Zusammenfassung der Analyseergebnisse der Altölproben Phase 3 (fortgesetzt)

Probe-Nr.	1.2 - 17	1.2 - 18	1.2 - 19	1.2 - 20	1.2 - 21	1.2 - 22	1.2 - 23	1.2 - 24	1.2 - 25	1.2 - 26	1.2 - 27	
Labor-Nr.	24-011478-01	24-012193-01	24-012194-01	24-012195-01	24-012196-01	24-012198-01	24-004000-01	24-004001-01	23-030322-01	24-030521-01	24-030801-01	
Probenahmedatum	04.2024	02.05.2024	25.03.2024	04.04.2024	02.05.2024	25.03.2024	01.2024	01.2024	20.11.2023	22.11.2023	24.11.2023	
Probenahmeort Betrieb (PLZ)	94xxx	70xxx	91xxx	34xxx	70xxx	91xxx	73xxx	73xxx	38xxx	70xxx	38xxx	
Art der Bearbeitung	Schleiföl	Härteöl	Stanzten	Schneidöl	Umformöl	Umformöl						
Einstufung*	NA	A	BA	NA	NA	NA	BA	NA	NA	NA	NA	
Parameter	Einheit	Methode										
Simulierte Destillation GC		DIN 51435										
Simdest Siedebeginn	°C	313	295	302	297	275	333	304	261	223	234	195
Simdest 5%	°C	353	347	332	340	305	387	354	298	294	296	364
Simdest 10%	°C	363	363	346	358	318	403	366	313	314	314	398
Simdest 15%	°C	370	373	356	368	327	414	373	323	329	328	412
Simdest 20%	°C	374	382	364	377	335	422	378	333	342	340	422
Simdest 25%	°C	379	389	371	387	343	429	383	341	352	350	429
Simdest 30%	°C	383	396	377	395	349	436	387	348	363	359	437
Simdest 35%	°C	386	402	384	404	356	444	391	354	370	367	445
Simdest 40%	°C	389	408	390	411	359	451	396	360	381	375	453
Simdest 45%	°C	392	413	397	417	363	453	400	366	393	382	462
Simdest 50%	°C	395	417	404	423	368	467	405	372	406	389	471
Simdest 55%	°C	399	421	411	429	374	476	410	379	417	395	480
Simdest 60%	°C	402	425	418	435	380	486	419	388	426	402	489
Simdest 65%	°C	406	429	425	442	386	493	427	398	435	408	499
Simdest 70%	°C	411	433	433	451	392	506	437	409	447	416	511
Simdest 75%	°C	421	438	444	461	399	517	449	419	461	423	525
Simdest 80%	°C	437	443	456	474	406	528	465	428	477	439	540
Simdest 85%	°C	461	450	471	492	413	540	487	439	497	463	558
Simdest 90%	°C	492	459	489	516	421	557	514	456	522	493	581
Simdest 95%	°C	528	477	515	552	436	600	569	490	568	553	610
Simdest Siedende	°C	625	628	592	626	542	645	636	626	644	645	649

* A - aufarbeitbar
 BA - bedingt aufarbeitbar
 NA - nicht aufarbeitbar

** Werte aus der Ölphase

2.4.3.5 Interpretation und Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse der Analysen der 11 Altölproben der Phase 3 sind in Tabelle 15 zusammengefasst. In der dritten Spalte (Einstufung) ist vermerkt, ob das jeweilige Altöl anhand der Analyseergebnisse als aufbereitbar (A), bedingt aufbereitbar (BA) oder nicht aufbereitbar (NA) einzustufen ist. In Tabelle 13 und Tabelle 14 findet sich diese Kennzeichnung in der sechsten bzw. vierten Zeile. Die Daten, die zur Einstufung NA bzw. BA geführt haben, sind hier rot hervorgehoben. Zusätzlich sind hier weitere Parameter blau hervorgehoben, die auffällig sind, für sich nicht zwangsläufig zu einer negativen Bewertung hinsichtlich der Eignung zur Aufbereitung führen aber in die abschließende Bewertung einfließen können.

Tabelle 15: Übersicht über Proben der dritten Analysephase

Probe	Art der Metallbearbeitung	Kommentar zur Einstufung*
1.2 - 17	Schleiföl	NA: Ester- / Schwefelgehalt zu hoch, wahrscheinliche Verwendung von geschwefelten Fettsäureestern
1.2 - 18	Härteöl	A
1.2 - 19	Stanzen	BA: Schwefelgehalt erhöht; Aluminiumgehalt erhöht; trotz niedriger Viskosität zeigt der Siedeverlauf keinen erhöhten niedrigsiedenden Anteil, daher noch als bedingt aufbereitbar eingestuft
1.2 - 20	Schneidöl	NA: Ester- / Schwefelgehalt zu hoch, wahrscheinliche Verwendung von geschwefelten Fettsäureestern
1.2 - 21	Umformöl	NA: Estergehalt zu hoch; die niedrige Dichte/Viskosität korreliert mit dem späteren Siedebeginn
1.2 - 22	Umformöl	NA: Ester- / Schwefelgehalt deutlich zu hoch, wahrscheinliche Verwendung von geschwefelten Fettsäureestern
1.2 - 23	Keine Angabe	BA: Ester-/Schwefelgehalt erhöht; trotz niedriger Dichte/Viskosität zeigt der Siedeverlauf keinen erhöhten niedrigsiedenden Anteil, daher gerade noch als bedingt aufbereitbar eingestuft
1.2 - 24	Keine Angabe	NA: sehr hoher Wassergehalt, Vermischung mit anderen (wassermischbaren) Metallbearbeitungsflüssigkeiten zu vermuten
1.2 - 25	Keine Angabe	NA: sehr hoher Wassergehalt, Vermischung mit anderen (wassermischbaren) Metallbearbeitungsflüssigkeiten zu vermuten; hoher Ascheanteil
1.2 - 26	Keine Angabe	NA: sehr hoher Wassergehalt, Vermischung mit anderen (wassermischbaren) Metallbearbeitungsflüssigkeiten zu vermuten; erhöhter Ascheanteil, sehr hoher Siliziumgehalt
1.2 - 27	Keine Angabe	NA: sehr hoher Wassergehalt, Vermischung mit anderen (wassermischbaren) Metallbearbeitungsflüssigkeiten zu vermuten; hoher Ascheanteil

* Begründung zur jeweiligen Bewertung siehe auch 2.4.1.5.

Bei den Proben 1.2-24 bis 1.2-27 zeigt sich die Besonderheit, dass gerade in sehr großen Betrieben die jeweiligen gebrauchten Metallbearbeitungsflüssigkeiten offensichtlich nicht für

jede Maschine / Anwendung separat gelagert werden, sondern es am Ende nur einen gemeinsamen Abfallbehälter gibt. So ließen sich die nicht zu treffende Angabe der Bearbeitungsart und die sehr hohen Wassergehalte der Proben erklären.

2.5 Ergebnis: Zur Aufbereitung geeignete Altölsorten

Erwartungsgemäß weisen die Altöle aus der SK1-Sammlung ausschließlich typische Daten auf und bestätigen ihre Eignung für die Aufbereitung zu Basisölen. Die Untersuchungen der Altöle aus der gemischten Sammlung SK2-4 zeigten, dass diese nicht für eine Aufbereitung in Frage kommen.

Bei den vier untersuchten Altölen aus der gezielten Probenahme des ausschließlichen AVV 12 01 07* - Anfalls war das Ergebnis nicht ganz so deutlich. Während drei der Proben eindeutige Ausschlusskriterien aufwiesen, könnte die vierte Probe aus der Bearbeitungsart Drehen-Zerspanen durchaus für eine Aufbereitung geeignet sein.

Auf dieser Basis wurden in der zweiten Analyserunde gezielt Proben von Altölen aus der Metallbearbeitung analysiert. Hierbei hat sich zwar bestätigt, dass bestimmte Altöle, die nach AltölV nicht der SK1 zuzuordnen sind, von einzelnen Anfallsstellen durchaus zur Aufbereitung geeignet sein können, und diese Altöle in den analysierten Proben gehäuft aus der Metallbearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide (Bohren, Drehen, Fräsen) stammen. Es hat sich aber keine grundsätzliche Eignung von Altölen aus diesen Verfahren für die Aufbereitung gezeigt.

In der dritten Phase der Altölanalytik wurde versucht, gezielt Altöle von einzelnen großen Anfallstellen zu analysieren. Auch hier ließ sich keine eindeutige Tendenz ableiten. Insbesondere war auffällig, dass offensichtlich gerade in sehr großen Betrieben die gebrauchten Metallbearbeitungsflüssigkeiten nicht separat gelagert werden, sondern in einem gemeinsamen Abfallbehälter zur Entsorgung bereitgestellt werden. Die restlichen Proben wiesen überwiegend die schon in der zweiten Analysenrunde festgestellten Kriterien aus der Zusammensetzung / Additivierung auf, die sie für eine Aufbereitung ungeeignet machen.

Zusammenfassend lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass die bestehende Einstufung und Sortierung der Altöle in die Sammelkategorien der AltölV sich in der Praxis bewährt. Dringender Handlungsbedarf hinsichtlich den Vorgaben der AltölV scheint hier nicht gegeben.

Aus den in die SK2-4 einsortierten Altöle kommen nur sehr einzelne unter die AVV 12 01 07* fallende Altöle aus bestimmten Anwendungsbereichen für eine Aufbereitung in Frage. Da aber der überwiegende Anteil dieser gebrauchten Metallbearbeitungsöle in ihrer Zusammensetzung eine Aufbereitung massiv stören würde, ist von einer grundsätzlichen Einsortierung in die SK1 abzusehen. Im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufführung – soweit der praktische bzw. ökonomische Aufwand dem nicht entgegensteht - kann der Abfallerzeuger sich jedoch im Einzelfall an den Aufbereiter wenden, ob ein spezifisches Altöl für die Aufbereitung in Frage kommt und entsprechend separat entsorgt werden sollte. Dies erscheint insbesondere für einzelne Anfallstellen mit vergleichsweise großen Volumina sinnvoll. Neben der weiter fortschreitenden Lebensdauererlängerung/Kreislaufführung und damit Verminderung des Abfallanfalls durch Maßnahmen direkt an den Maschinen besteht sicher auch die Aufgabe an die Produktentwickler, die Eignung zur Aufbereitung beim Produktdesign zukünftiger Produkte mit zu berücksichtigen.

3 Bestimmung der Stoffströme der Altölsorten

In diesem Kapitel erfolgt die Bestimmung der Stoffströme der Altölsorten. Hierzu erfolgt zunächst eine Überprüfung des bestehenden Rechenmodells hinsichtlich Rücklaufquoten und Prozessausbeuten. Nach dieser Aktualisierung werden die Stoffströme für das Bezugsjahr errechnet. Als Betrachtungsjahr wurde in Absprache mit dem Umweltbundesamt 2019 ausgewählt.

Zunächst wird die Inverkehrbringung von Schmierstoffen für Deutschland dargestellt (Abschnitt 3.1). Im Anschluss daran werden die Rücklaufquoten für die einzelnen Sortengruppen geprüft und ggf. angepasst (Abschnitt 3.2). Die Aktualisierung der Ausbeutefaktoren der Altölaufbereitung ist Gegenstand von Abschnitt 3.3. Aufkommen aus Zweitaffination und energetische Verwertung werden in den Abschnitten 3.4 und 3.5 betrachtet.

Die Darstellung der Altölströme (Deutschland, 2019) findet sich im Abschnitt 3.6 wieder.

Im nachfolgenden Kapitel 4 wird schließlich geprüft, inwieweit die bestimmten Stoffströme zur Datenübermittlung der in Anhang IV des Durchführungsbeschlusses 2019/1004 der KOM geeignet sind.

3.1 Inverkehrbringung von Schmierstoffen

Daten zur Inlandsablieferung von Schmierstoffen sind aus den Statistiken der BAFA (Tabelle 10a der BAFA Amtlichen Mineralölstatistiken) verfügbar (BAFA 2020).

Demnach stellt sich die Inverkehrbringung nach Schmierstoffsortengruppen wie in Tabelle 16 dargestellt dar. In der Summe wurden in Deutschland im Jahr 2019 976.879 Tonnen Schmierstoffe in Verkehr gebracht.

Tabelle 16: Inlandsablieferung von Schmierstoffen, Deutschland, 2019

Sortengruppe	Spezifizierung	t	Anteil an Schmierstoffinverkehrbringung
Motorenöle	-	245.811	25,2%
Kompressorenöle	-	8.793	0,9%
Turbinenöle	-	1.405	0,1%
Getriebeöle	gesamt	128.027	13,1%
	KFZ	47.473	4,9%
	ATF	55.089	5,6%
	Industrie	25.465	2,6%
Hydrauliköle	-	62.823	6,4%
Elektroisolieröle	-	12.162	1,2%
Maschinenöle	-	69.884	7,2%
Andere Industrieöle nicht zum Schmieren	-	62.484	6,4%

Sortengruppe	Spezifizierung	t	Anteil an Schmierstoffinverkehr- bringung
Prozessöle	gesamt	140.293	14,4%
	technische Weißöle	26.169	2,7%
	medizinische Weißöle	45.155	4,6%
Metallbearbeitungsöle	gesamt	81.417	8,3%
	Härteöle	2.519	0,3%
	wassermischbare	31.693	3,2%
	nicht wassermischbare	40.808	4,2%
	Korrosionsschutzöle	6.397	0,7%
Schmierfette	gesamt	32.758	3,4%
	darunter für KFZ	8.442	0,9%
Basisöle	-	127.126	13,0%
Extrakte aus der Schmierölraffination	-	3.896	0,4%
Insgesamt	-	976.879	100,0%

Quelle: BAFA 2020

3.2 Prüfung Rücklaufquoten

Die Rücklaufquoten stellen eine zentrale Rechengröße im Stoffstrom-Modell der Altöle dar. Ausgehend vom Inlandsabsatz von Schmierstoffen (*Tabelle 10a BAFA Amtliche Mineralöl-daten*; vgl. Tabelle 16) wird für die unterschiedenen Schmierstoffanwendungen anhand von Rücklaufquoten das Altölpotenzial errechnet.

Die Rücklaufquoten, welche den Anteil der ursprünglichen in Verkehr gebrachten Mengen angeben, die zur Sammlung zu Verfügung stehen, stellen einen sensiblen Punkt im Berechnungsmodell dar. Einerseits machen gerade bei großvolumigen Schmierstoffsorten bereits wenige Prozentunterschiede bei den angenommenen Rücklaufquoten große Mengenunterschiede beim Altölpotenzial aus. Andererseits weisen die komplex zusammengesetzten Faktoren z. T. höhere Unsicherheiten auf.

3.2.1 Vorgehen

Von den zugrunde liegenden Verlustgrößen sind nur Teile direkt durch objektive Einflussgrößen determiniert (wie z. B. der Austragsverlust bei einer exakt dosierten Verlustschmierung). Andere Größen, wie z. B. die handhabungsbedingten Verlustanteile, können nur mit hohem Aufwand und begrenzter Repräsentativität bestimmt werden.

Zur Prüfung und ggf. Aktualisierung der angenommenen Rücklaufquoten erfolgt vor diesem Hintergrund eine sorgfältige Prüfung unter Berücksichtigung der Studien Sander et al.; Jepsen et al. (2006; 2016) sowie dem neueren Vorhaben (Zimmermann und Jepsen 2017), welches Ökopol

in Belgien durchgeführt hat. Die Erkenntnisse aus diesen Studien werden zunächst zusammengetragen, den bisherigen Annahmen im Berechnungsmodell gegenübergestellt und in Bezug auf den möglichen Anpassungsbedarf – unter Berücksichtigung der Qualität der Datengrundlagen – geprüft. Die in den jeweiligen Studien angenommenen Rücklaufquoten sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Übersicht zur Rücklaufquoten in verschiedenen Studien

Sortengruppen	Rücklaufquote aus (Sander et al. 2006)	Rücklaufquote aus (Jepsen et al. 2016)	Rücklaufquote aus (Zimmermann und Jepsen 2017)
Motorenöle	59,5 %	51,9 %	59 %
Kompressorenöle	50 %	50 %	50 %
Turbinenöle	70 %	70 %	77,5 %
Getriebeöle:	64 %	75,8 %	-
- Getriebeöle: KFZ	-	76,1 %	79 %
- Getriebeöle: ATF	-	76,1 %	79 %
- Getriebeöle: Industrie	-	75,0 %	77,5 %
Hydrauliköle	75 %	75,0 %	73 %
Elektroisolieröle	90 %	90 %	92,5 %
Maschinenöle	40 %	50 %	50 %
Andere Industrieöle nicht zum Schmieren	0 %	0 %	0 %
Prozessöle	0 %	0%	0 %
Metallbearbeitungsöle:	45 %	45 %	50 %
Schmierfette	0 %	0 %	0 %
Basisöle	50 %	50 %	-
Extrakte aus der Schmierölraffination	0 %	0 %	-

Zu beachten ist, dass Zimmermann und Jepsen (2017) sich auf die Situation in Belgien bezieht und insbesondere bei den Schmierstoffen im Automobilssektor sich Abweichungen durch Import- und Exportaktivitäten ergeben können.

Quellen: (Jepsen et al. 2016; Zimmermann und Jepsen 2017; Sander et al. 2006)

Zu Einzelaspekten werden im Zuge der Aktualisierung der Rückläufe einzelner Schmierstoffsorten Expert*innen kontaktiert. Für Elektroisolieröle erfolgt zudem eine Betrachtung von Daten der Abfallstatistik, wobei hier die in Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Einschränkungen zu beachten sind. Für bestimmte Schmierstoffsorten erfolgt zudem eine Aktualisierung unter Berücksichtigung aktueller statistischer Daten. (Zwischen-)Ergebnisse der Prüfung werden jeweils u.a. mit VSI und BVA diskutiert.

3.2.2 Möglichkeit der Nutzung von Daten der Abfallstatistik

Die Nutzung von Daten der Abfallstatistik für die Betrachtung der Altölströme bzw. als Input für das Rückrechenmodell ist nicht ohne Weiteres möglich.

Ein zentrales Hindernis besteht darin, dass die Daten der Abfallstatistik Wasseranteile enthalten, während das Rückrechenmodell mit wasserfreien Altölmengen arbeitet. Entsprechend sind die Daten der Abfallstatistik zunächst im Wasseranteile zu bereinigen, was mit Unsicherheiten behaftet ist.

Zudem ist in Hinblick auf die Aktualisierung der Rücklaufquoten für die einzelnen Schmierstoffsorten zu beachten, dass zum einen in vielen Fällen – wie in Tabelle 18 dargestellt – keine eindeutige Zuordnung von Sortengruppe zu Abfallschlüssel(n) möglich ist, zum anderen auch nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Entsorgung in jedem Fall unter dem passenden Abfallschlüssel erfolgt.

Tabelle 18: Zuordnung von Schmierstoffsortengruppen zu Abfallschlüsseln

Sortengruppen	Korrespondierende Abfallschlüssel	Erläuterung
Motorenöle Kompressorenöle Getriebeöle Maschinenöle Turbinenöle	13 02 05*	Nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
	13 02 06*	Synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
	13 02 04*	chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
	13 02 07*	biologisch leicht abbaubare Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
	13 02 08*	andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
Metallbearbeitungsöle	12 01 06*	halogenhaltige Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen u. Lösungen)
	12 01 07*	halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)
	12 01 10*	synthetische Bearbeitungsöle
Elektroisolieröle	13 03 01*	Isolier- und Wärmeübertragungsöle, die PCB enthalten
	13 03 06*	chlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 130301 fallen
	13 03 07*	nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis
	13 03 08*	synthetische Isolier- und Wärmeübertragungsöle
	13 03 09*	biologisch abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle
	13 03 10*	andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle
Hydrauliköle	13 01 01*	Hydrauliköle, die PCB (*) enthalten
	13 01 09*	chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis
	13 01 10*	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis

Sortengruppen	Korrespondierende Abfallschlüssel	Erläuterung
	13 01 11*	synthetische Hydrauliköle
	13 01 12*	biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle
	13 01 13*	andere Hydrauliköle

Quelle: Zusammenstellung durch Ökopool

Wie aus der tabellarischen Darstellung ersichtlich, werden die Schmierstoffsorten Motorenöle, Kompressorenöle, Getriebeöle, Maschinenöle, Hydrauliköle und Turbinenöle (teilweise) unter den gleichen Abfallschlüsseln gesammelt, so dass hier eine Nutzung abfallstatistischer Daten im Rahmen der Prüfung der Rücklaufquoten nicht in Frage kommt.

Einzig bei den Elektroisulierölen bietet sich das Heranziehen der abfallstatistischen Daten an (vgl. Abschnitt 3.2.9).

Hierfür sind in einem ersten Schritt die Daten der Abfallstatistik hinsichtlich der Wasseranteile zu bereinigen. Hierfür wird auf die Erkenntnisse aus dem Vorläufergutachten (Jepsen et al. 2016) zurückgegriffen (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Zusammenfassung der Wassergehalte und abgeleitete wasserfreie Mineralölgehalte

Abfall-schlüssel	Bezeichnung	Anzahl Analysen	Minimum [%]	Maximum [%]	Mittelwert [%]
13 03 01*	Isolier- und Wärmeübertragungsöle, die PCB enthalten	7	0,01	2,0	0,3
13 03 06*	chlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 130301 fallen	-	-	-	-
13 03 07*	nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis	58	0,003	27,0	1,3
13 03 08*	synthetische Isolier- und Wärmeübertragungsöle	1	0,1	0,1	0,1
13 03 09*	biologisch abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle	-	-	-	-
13 03 10*	andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle	2	0,1	0,1	0,1

Quelle: (Jepsen et al. 2016)

Unter Verwendung dieser Wassergehalte lassen sich auf Basis der Destatis Daten zur Abfallerhebung die um Wasseranteile bereinigten Altölmengen errechnen (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Altöle zur Abfallbehandlung in 2019 und Trocken-Mengen

Abfall-schlüssel	Beschreibung	Menge (Input von Abfallentsorgungsanlagen) [1000 t]	Angenommener Wassergehalt	Menge, trocken [1000t]
13 03 01*	Isolier- und Wärmeübertragungsöle, die PCB enthalten	1,4	0,3 %	1,4
13 03 06*	chlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 13 03 01 fallen	-	-	-
13 03 07*	nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis	12,4	1,3 %	12,2
13 03 08*	synthetische Isolier- und Wärmeübertragungsöle	0,3	0,1 %	0,3
13 03 09*	biologisch leicht abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle	0	-	-
13 03 10*	andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle	0,6	0,1 %	0,6

Quelle: Destatis, Erhebungen zur Abfallentsorgung, Wasseranteile aus (Jepsen et al. 2016); eigene Berechnungen

3.2.3 Schmierstoffsorten ohne Rücklauf

Bei einigen Schmierstoffsorten kommt es zu keinerlei Rücklauf. Dies ergibt sich entweder aus der Art der Schmierstoffanwendung (bspw. Verlustschmierung) oder dem Einsatz in Nicht-Schmierstoffanwendungen. Hierunter fallen Prozessöle, andere Industrieöle nicht zum Schmieren, Härteöle und Korrosionsschutzöle aus der Gruppe der Metallbearbeitungsöle, Schmierfette und Extrakte der Schmierölraffination.

In Übereinstimmung mit den Vorläufergutachten (Sander et al. 2006; Jepsen et al. 2016), verschiedenen vergleichbaren Studien (Kline & Company 2007, 2012; Kuczynski et al. 2014; Zimmermann und Jepsen 2017, 2018a) und der Kommissionsstudie aus 2020 (European Commission: Directorate-General for Environment et al. 2020) wird hier weiterhin von keinem Rücklauf von Altöl aus Prozessölen, anderen Industrieölen nicht zum Schmieren, Härteöle und Korrosionsschutzöle ausgegangen. Bezüglich Härteölen ist jedoch festzuhalten, dass unter den beteiligten Akteuren zwar Einigkeit besteht, dass diese als Altöl nicht für eine Aufbereitung geeignet sind, jedoch teilweise auch ein quantifizierbarer Rücklauf als möglich angesehen wird. Dies sollte in zukünftigen Gutachten erneut geprüft werden.

Tabelle 21: Schmierstoffsorten ohne Rücklauf

Schmierstoffsorte	Rücklaufquote	Begründung
Andere Industrieöle nicht zum Schmieren	0 %	Anwendungsbedingt kein Rücklauf
Prozessöl		

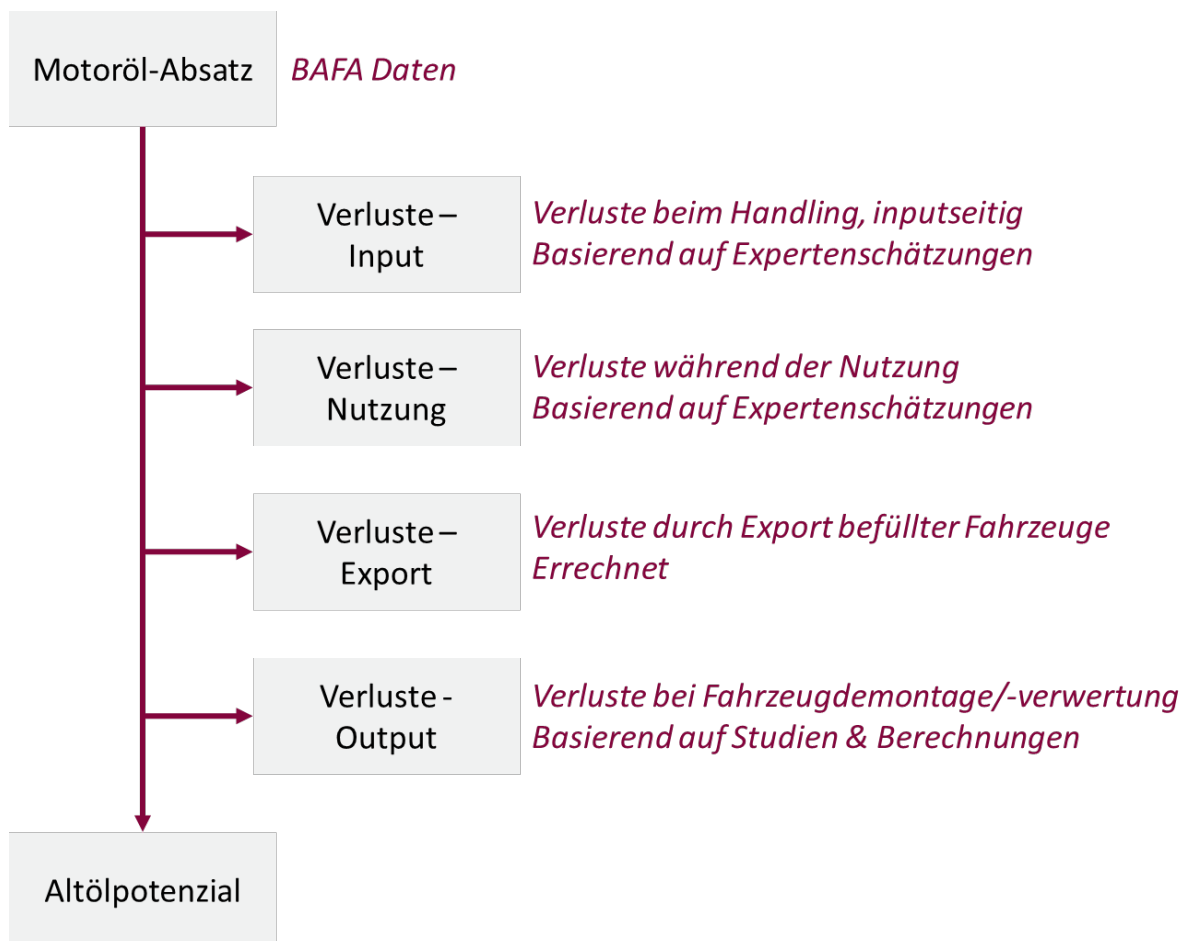
Schmierstoffsorte	Rücklaufquote	Begründung
Härteöle		
Korrosionsschutzöle		
Schmierfette		
Extrakte aus der Schmierölraffination		

Grundsätzlich lässt sich für zukünftige Fortschreibungen des Rechenmodells erwägen, die Sorten, welche nicht in Schmierstoffanwendungen gehen (Prozessöle, Korrosionsschutzöle, andere Öle nicht zum Schmieren), unberücksichtigt zu lassen. Diese sind zwar Teil der BAFA Statistik zur Inlandsabgabe von Schmierstoffen, werden aber weder zum Schmieren genutzt, noch resultieren sie in einen Rücklauf. Ein Ausklammern dieser Sorten wäre insofern konsistent, als dass ein Fokus auf Schmierstoffanwendungen gelegt würde. Zudem entspräche dies auch den Anforderungen an die Datenübermittlung an die EU-Kommission, wo die genannten Sortengruppen nicht in der Datenübermittlung zu berücksichtigen sind. Auf der anderen Seite würde keine vollständige Konsistenz gegenüber den früheren Berechnungen anhand des Rechenmodells mehr gegeben sein.

3.2.4 Motorenöle

Motorenöle stellen die mengenmäßig relevanteste Schmierstoffsorte dar. Entsprechend sensibel ist das Rechenmodell für Änderungen der hier angenommenen Rücklaufquote. Der potenzielle Rücklauf von Motoröl hängt von einer Reihe von Faktoren ab, die in Abbildung 4 schematisch dargestellt sind.

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Berechnungsweise für den Altölrücklauf bei Motoröl



Quelle: Eigene Abbildung (Ökopool)

Der Gesamtverlust ergibt sich aus Handlingsverlusten bei Ölwechseln und Be- bzw. Nachfüllvorgängen, dem spezifischen Verbrauch je gefahrenem Kilometer und der absoluten Fahrleistung sowie Verlustmengen aus dem Nettoexport befüllter Fahrzeuge.

Handlingverluste

Handlingverluste, d. h. bei Wartung bzw. Ölwechseln, ergeben sich aus Tropfverlusten während des Befüllungs-/Entnahmevorgangs sowie aus Restmengen, die in den Gebinden verbleiben.

Die Menge, die als Rest in Gebinden verbleibt, wird auf Basis der Auswertung in (Zimmermann und Jepsen 2017) mit <0,1 % angenommen.

Die Menge der Tropfverluste bei Input und Output (bei Ölwechseln und Nachfüllvorgängen) hängt von der Professionalität der Durchführung ab. Es ist davon auszugehen, dass bei der professionellen Durchführung in Werkstätten geringere Verluste auftreten als bei der privaten Durchführung. Es zeigt sich hierbei, dass die private Durchführung von Ölwechseln weiterhin rückläufig ist (vgl. Tabelle 22). Auch die Ölwechselhäufigkeit ist tendenziell weiterhin rückläufig. Dies hängt mit einer Abkehr von festen Ölwechselintervallen zusammen. Stattdessen kommen hier Technologien wie Ölgütesensoren und Kaltstartzähler zum Einsatz, welche eine effizientere Nutzung des Motoröls ermöglichen (DAT 2018, 2020).

Tabelle 22: Durchführung von Ölwechseln

Vorgang	Durchführender	2003	2013	2018	2019
Ölwechsel	Werkstätten und Tankstellen	82 %	89 %	90 %	91 %
	Private Durchführung	17 %	11 %	9 %	9 %
Nachfüllen	Werkstätten und Tankstellen	29 %	34 %	-	-
	Private Durchführung	71 %	63 %	67 %*	65 %*

* bezieht sich auf Kontrolle des Ölstandes

Quellen: (Sander et al. 2006; Jepsen et al. 2016; DAT 2020, 2018, 2016, 2014)

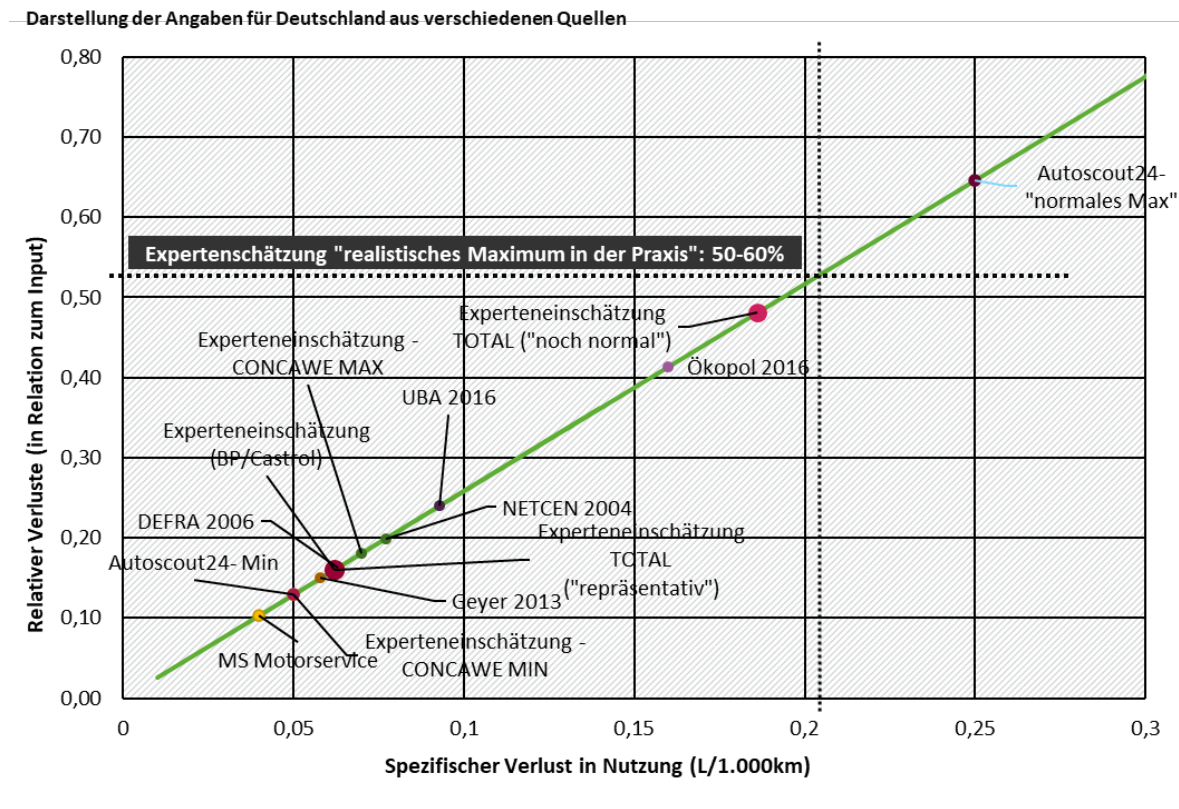
Bei angenommenen Restmengen in Gebinden von ~0,1 % und input- und outputseitigen Tropfverlusten von 0,6 % bis 0,7 % (vgl. hierzu Zimmermann und Jepsen 2017; Zimmermann et al. 2022b) wird der Gesamtverlust (Handling plus Tropfverluste Input und Output) auf 0,8 % geschätzt.

Nutzungsverluste

Die Verluste in der Fahrzeugnutzung hängen im Wesentlichen von der Fahrleistung ab. Konkret wird der Verlust anhand der Fahrleistung und eines Verlustfaktors (l/1000 km) errechnet.

Die Angaben zum spezifischen Verlust, welche von Expert*innen gemacht werden oder die sich in der Literatur finden, variieren teilweise deutlich voneinander. Von Zimmermann und Jepsen (2017) ist eine breite Expert*innenbefragung sowie eine Literaturlauswertung erfolgt. Die Ergebnisse für PKW sind in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5: Angaben zum relativen und spezifischen Motorölverlust – in der Nutzung (PKW)



*"Realistisches Maximum" auf Basis
Experteneinschätzungen (BP, Total, Castrol,
Werkstätten)

Quelle: Ökopool auf Basis (Zimmermann und Jepsen 2017)

In der Abbildung ist die lineare Beziehung zwischen dem spezifischen Verlust im Gebrauch und dem relativen Verlust (bezogen auf die Inputmenge) zu erkennen. Darüber hinaus ist ein Maximum für „realistische“ Annahmen und relative und spezifische Verluste dargestellt, das auf der Einschätzung der verschiedenen befragten Schmierstoffexpert*innen, einschließlich der von TOTAL im Rahmen der Studie (Zimmermann und Jepsen 2017) bereitgestellten Informationen beruht. Noch etwas höher als dieses „realistische Maximum“ liegen Angaben, die von Autoscout24 (AutoScout24 2019) als Obergrenze für einen „normalen Verbrauch“ definiert werden.

Ergänzend ist in der Abbildung ein absolutes Maximum markiert, welches einem vollständigen relativen Verlust in der Nutzung entsprechen würde.

Es zeigt sich, dass sich die Mehrheit der Angaben zwischen 0,05 und 0,07 L/1.000 km bewegen. Hier sind insbesondere hervorzuheben:

- ▶ Die Ergebnisse einer Befragung von Werkstätten im Rahmen der Studie von Jepsen et al. (2016) mit einem spezifischen Verlust von 0,05 L/1.000 km
- ▶ Die Einschätzungen von CONCAWE mit einem spezifischen Verlust zwischen 0,05-0,07 L/1.000 km
- ▶ Die Angaben von TOTAL sowie von BP/Castrol (Erhoben von Zimmermann und Jepsen (2017) mit einem spez. Verlust von 0,06 L/1.000 km

- Die Daten aus den beiden kalifornischen Studien (Geyer et al. 2013; Kuczynski et al. 2014) mit einem spezifischen Verlust von 0,058 L/1.000 km

Unter Berücksichtigung dieser Datenlage wird für PKW ein Verlustfaktor von 0,07 L/1.000 km angenommen, welcher am oberen Ende der Spanne der Mehrzahl der Datenpunkte liegt, aber dennoch einen gewissen Anteil von Fahrzeugen mit höheren Verlusten berücksichtigt.

Für den spezifischen Nutzungsverlust von Motorölen für LKW und Zweiräder sind deutlich weniger Angaben verfügbar. Auf Basis der Erhebung von Zimmermann und Jepsen (2017) wird für LKW ein Nutzungsverlust von 0,4 L/1.000 km und für Zweiräder von 0,3 L/1.000 km angenommen.

Verluste durch Export

Altölverluste ergeben sich durch den Export von Fahrzeugen im befüllten Zustand. Zum einen sind dies Exporte von befüllten Neufahrzeugen, zum anderen Gebrauchtfahrzeugexporte.

Als Datengrundlage werden hier Daten der Außenhandelsstatistik (Destatis 2022b), Daten von UBA/BMUV zum Export, insbesondere von Gebrauchtfahrzeugen (UBA und BMUV 2021) sowie Daten aus einer kürzlich abgeschlossenen Studie zur Altfahrzeugverwertung, welche teilweise Korrekturen der Annahmen von UBA und BMUV (2021) beinhaltet (Zimmermann et al. 2022a), herangezogen.

Demnach belaufen sich die Nettoexporte von PKW auf rund 3,2 Mio. Fahrzeuge. Nettoexporte von Bussen und LKW belaufen sich auf rund 100.000 Fahrzeuge. Bei Zweirädern gibt es einen Nettoimport von rund 40.000 Fahrzeugen.

Motoröl pro Fahrzeug

Für die Ermittlung des Motorölverlusts durch Exporte ist die Motorölmenge pro Fahrzeug zu bestimmen. Im Vorgängergutachten wurde hier ein Motorölgehalt von 5,5 L angenommen. Da die Zusammensetzung des Fahrzeugbestands jedoch deutliche Veränderungen im Zeitverlauf aufweist, mit beispielsweise jährlichen Wachstumsraten im zweistelligen Bereich bei SUVs und Geländewagen, erscheint hier eine Aktualisierung bzw. Prüfung geboten.

Dabei ist zu beachten, dass bei PKW der durchschnittliche Motorölgehalt pro Fahrzeug nicht dem Durchschnitt der Fahrzeugflotte im Bestand entspricht. Bei Gebrauchtwagenexporten sind insbesondere langlebigere Fahrzeugsegmente relevant, während Kleinwagen hier deutlich unterrepräsentiert sind (Zimmermann et al. 2022b).

Zur Prüfung wurden zum einen Daten des KBA zur Zusammensetzung des Bestands nach Fahrzeugsegmenten herangezogen. Für jedes Fahrzeugsegment wurde dann via Internetrecherche die Motorölmenge für 3 bis 5 ausgewählte repräsentative Fahrzeugtypen recherchiert.

Auf dieser Basis ist eine Anpassung der Motorölmenge bei Fahrzeugen im Export von 5,5 auf 6,1 L erfolgt.

Verluste – Fahrzeugverwertung / Altölnahme in der Demontage

Eine Erhebung unter Demontagebetrieben zur Praxis der Altfahrzeugdemontage, welche im Rahmen von (Zimmermann et al. 2022b) durchgeführt wurde, hat ergeben, dass von einer durchschnittlichen Gesamtmenge von Ölen pro Altfahrzeug von 9,7 Litern in der Regel rund 700 ml nach der Trockenlegung im Fahrzeug verbleiben. Neben Motoröl fallen hierunter Getriebeöle, Stoßdämpferöle, Differentialöle und Servolenkungsöle. Getriebeöle werden gesondert in Abschnitt 3.2.7 betrachtet. Der relative Verlust bei Motorölen ist dabei jedoch geringer als bei bspw. Getriebeölen und wird mit 3-5 % beziffert.

Unter Berücksichtigung zusätzlicher handlingbedingter Tropfverluste von 0,6 % wird der outputseitige Verlust auf 4,6 % geschätzt.

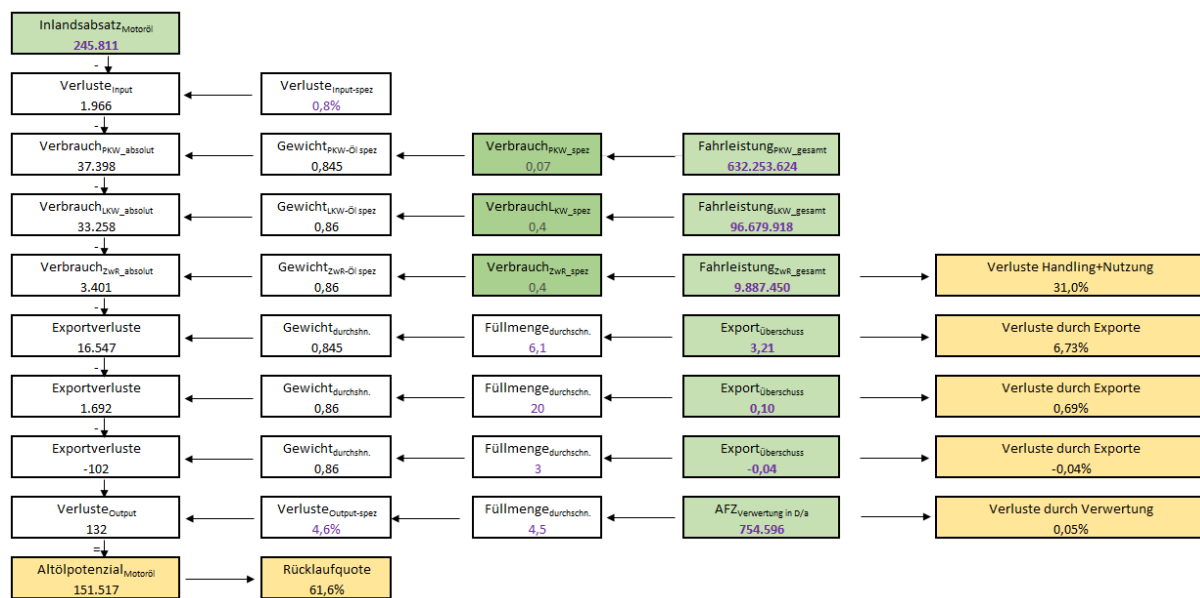
Dieser Verlust tritt bei Fahrzeugen auf, die in Deutschland verwertet werden. In 2019 waren dies 461.266 Fahrzeuge in der anerkannten Demontage (UBA und BMUV 2021). Hinzu kommen Fahrzeuge, die in nicht anerkannten Betrieben demontiert werden. Auf Basis der Erkenntnisse aus (Zimmermann et al. 2022a) wird die Anzahl der von nicht anerkannten Akteuren demontierten Fahrzeuge auf 293.000 geschätzt.

Während im Export eher Fahrzeuge mit größerem Hubraum vertreten und Kleinwagen unterrepräsentiert sind, stellt sich dies bei den Fahrzeugen, die in Deutschland zu Verwertung anfallen, anders dar. Hier hat die Erhebung der Verwertungssituation in Deutschland von Zimmermann et al. (2022a) eine durchschnittliche Altölmenge pro AFZ von 4,5 L ergeben. Wie beschrieben verbleiben hiervon im Schnitt 4,6 % im Fahrzeug bzw. gehen durch Handlingsverluste verloren.

Zusammenfassung

Die einzelnen Berechnungsschritte sind in Abbildung 6 zusammenfassend dargestellt. Im Ergebnis ergibt sich eine Rücklaufquote für Motoröl von 61,6 %.

Abbildung 6: Bestimmung der aktualisierten Rücklaufquote für Motoröl



Quelle: Ökopool, Berechnungsmodell für Rücklaufquoten von Motoröl

Exkurs: Zeitreihe der Rücklaufquoten für Motoröl

In den vergangenen Studien zum Verbleib von Altöl in Deutschland (Sander et al. 2006; Jepsen et al. 2016) wurden ebenfalls Rücklaufquoten für Altöl bestimmt. Diese beliefen sich auf 59,6 % (in 2006) und 51,9 % (in 2016).

In dieser Studie wurde wie zuvor beschrieben eine Rücklaufquote von 61,6 % ermittelt. Für die Datenübermittlung (vgl. Kapitel 4) wurden ergänzend die Rücklaufquoten für die Jahre 2020 und 2021 bestimmt. Diese belaufen sich auf 66,2 % und 60,3 %.

Ein Vergleich der 2006er und 2016er Zahlen mit den aktuell bestimmten ist hierbei jedoch nur eingeschränkt möglich. Dies liegt zum einen in den vorgenommenen Anpassungen des Berechnungsmodells begründet, welches in Hinblick auf Exportverluste und

Altfahrzeugverwertung weiter ausdifferenziert wurde. Zum anderen wurden Modellparameter aktualisiert. Hierunter fällt insbesondere der Faktor zu Berechnung der Nutzungsverluste von Motoröl sowie die Handlingsverluste beim Input- und Output. Durch diesen Methodikbruch lässt sich keine in sich stimmige Zeitreihe erstellen.

Näherungsweise kann jedoch eine Aktualisierung der 2006er und 2016er Quoten anhand der aktualisierten Parameter vorgenommen werden. Die hieraus resultierenden Werte sind in folgender Tabelle aufgeführt. Die Werte für den Motorölrücklauf bewegen sich zwischen rund 60 und 69 %. Wird ergänzend der jährlich schwankende Faktor der Motorölverluste durch Fahrzeugexporte herausgerechnet, ergeben sich Werte zwischen knapp 66 % und 75,5 %.

Tabelle 23: Motorölrücklauf entsprechender anderer Studien und Quellen

Rücklaufquote	Rücklaufquote 2006 (Sander et al. 2006)	Rücklaufquote 2016 (Jepsen et al. 2016)	Rücklaufquote 2019 (neu bestimmt)	Rücklaufquote 2020 (neu bestimmt)	Rücklaufquote 2021 (neu bestimmt)
Gemäß Studie	59,6 %	51,9 %	61,6%	66,2%	60,3%
Rücklauf, Parameter aus aktueller Studie	68,8 %	65,1 %	61,6%	66,2%	60,3%
Ohne Exporte	75,5%	72,0%	69,0%	71,4 %	65,7%

3.2.5 Kompressorenöle

Kompressorenöle weisen mit einem Anteil von 0,9 % an der Schmierstoffinverkehrbringung nur eine geringe Mengenrelevanz auf. Verluste von Kompressorenölen treten in Folge von Verdampfung und Leckagen sowie Restmengen in Gebinden und den Kompressoren selbst auf.

Die verschiedenen Vorgängerstudien (Sander et al. 2006; Jepsen et al. 2016; Zimmermann und Jepsen 2017) gehen von einer Rücklaufquote von 50 % aus. Ältere Studien mit anderen geographischen Bezügen nehmen teilweise höhere (85 % bei Kuczynski et al. (2014) und Kline & Company (2012), teilweise niedrigere (30 % in UNEP (2012) an.

Eine Konsultation von VSI und BVA hat Hinweise auf einen Anstieg der Rücklaufquote von ehemals 50 % geliefert. Hier seien bessere Abdichtungen in moderneren Maschinen und ein stärkerer Fokus auf Verlustminimierung aufgrund hoher Preise von Kompressorenölen relevante Trends, die zu einem Anstieg der Rücklaufquote geführt haben. Nach Einschätzung der befragten Expert*innen sei eine Rücklaufquote von 70 % realistischer für die gegenwärtige Situation. Dem folgend wird eine Rücklaufquote von 70 % ins Berechnungsmodell übernommen.

3.2.6 Turbinenöle

Turbinenöle weisen mit einem Anteil von 0,1 % an der Schmierstoffinverkehrbringung nur eine sehr geringe Mengenrelevanz auf.

Die Vorläufergutachten aus Deutschland (Sander et al. 2006; Jepsen et al. 2016) beziffern die Rücklaufquote mit 70 %, andere Studien geben Rücklaufquoten zwischen 75 % und 85 % an

(Zimmermann und Jepsen 2017; Kuczenski et al. 2014; DEFRA 2006; Kline & Company 2012, 2007; UNEP 2012).

Im Gutachten von Zimmermann und Jepsen (2017) zum Altölrücklauf in Belgien wurde eine Reihe von Akteursgesprächen geführt, in deren Ergebnis eine Anhebung der Rücklaufquote für Turbinenöle auf 75 % stand. Eine Konsultation des BVA hat ebenfalls ergeben, dass die bisher angenommene Rücklaufquote von 70 % mittlerweile nicht mehr der Realität entspreche und nach oben zu korrigieren sei. Moderne Maschinen mit besseren Abdichtungen sowie hohe Preise bzw. hochpreisige resultierende Altöle seien Faktoren, die hier zu einem Anstieg des Rücklaufs beigetragen hätten. Nach Ansicht der befragten Expert*innen sei eine Rücklaufquote zwischen 75 und 85 % als realistisch anzusehen.

Auf dieser Basis erfolgt für das Berechnungsmodell eine Anpassung der angenommenen Rücklaufquote auf 80 %.

3.2.7 Getriebeöle

Die Sortengruppe der Getriebeöle ist weiter zu untergliedern in KFZ-Getriebeöle, ATF-Getriebeöle (Automatic-Transmission-Fluids, welche in Fahrzeugen mit Automatikgetriebe eingesetzt werden) und Industriegetriebeöle.

3.2.7.1 KFZ und ATF Getriebeöle

Mögliche Verluste von KFZ und ATF Getriebeölen ergeben sich aus dem Handling bei der Befüllung, aus Verlusten in der Nutzung, Verlusten bei der Trockenlegung (in der Altfahrzeugverwertung) sowie durch den Export von Fahrzeugen.

Die Verluste bei der Befüllung werden auf 1,5 %, die Verluste in der Nutzung auf 0,5 % beziffert (Zimmermann und Jepsen 2018b, 2017). Unter Berücksichtigung von Erkenntnissen aus (Zimmermann et al. 2022a) und durchgeführten Gesprächen mit Altfahrzeugdemontagebetrieben und -werkstätten wird der Verlust beim Input auf 0,5 % und bei der Nutzung auf 0,3 % angepasst. Die Verluste bei der Trockenlegung in der AFZ-Verwertung werden auf Basis der Erhebungen von Zimmermann et al. (2022a) auf 6 % beziffert. Maßgeblich ist hier die Anzahl der pro Jahr in Deutschland zu Verwertung anfallenden Altfahrzeuge (vgl. hierzu Abschnitt 3.2.4).

Für die Verluste, die sich in Folge des Exports von Fahrzeugen ergeben, sind die Nettoexportzahlen maßgeblich, welche bereits in Abschnitt 3.2.4 dargestellt wurden. Neben den Nettoexportzahlen ist die Menge an Getriebeöl pro exportiertem Fahrzeug maßgeblich. Im Vorläufergutachten (Jepsen et al. 2016) wurde hier von 3,4 L Getriebeöl pro Fahrzeug ausgegangen. Hier erfolgt analog zum Vorgehen für den Motorölrücklauf eine Validierung anhand der Zusammensetzung des Bestands nach Fahrzeugsegmenten und spezifischer Getriebeölmengen nach Fahrzeugtypen. Auf dieser Basis wurde eine geringfügig höhere Getriebeölmenge von 3,7 L pro Fahrzeug ermittelt.

3.2.7.2 Industrieöle

Die Verluste von industriellen Getriebeölen ergeben sich aus Handlingverlusten (Befüllung, Entnahme), Leckagen sowie ggf. Verluste aus dem Export von Maschinen. Bisher wurde hier eine Gesamtverlustquote von 25 % angenommen. In Bezug auf die Größenordnung der Verlustquote besteht in den einschlägigen Studien weitgehend Konsens (Sander et al. 2006; Jepsen et al. 2016; Zimmermann und Jepsen 2017, 2018a; Kuczenski et al. 2012; Kuczenski et al. 2014; DEFRA 2006). Im Gutachten von Zimmermann und Jepsen (2017) zum Altölrücklauf in Belgien wurde eine Reihe von Akteursgesprächen geführt, in deren Ergebnis eine angenommene Verlustquote

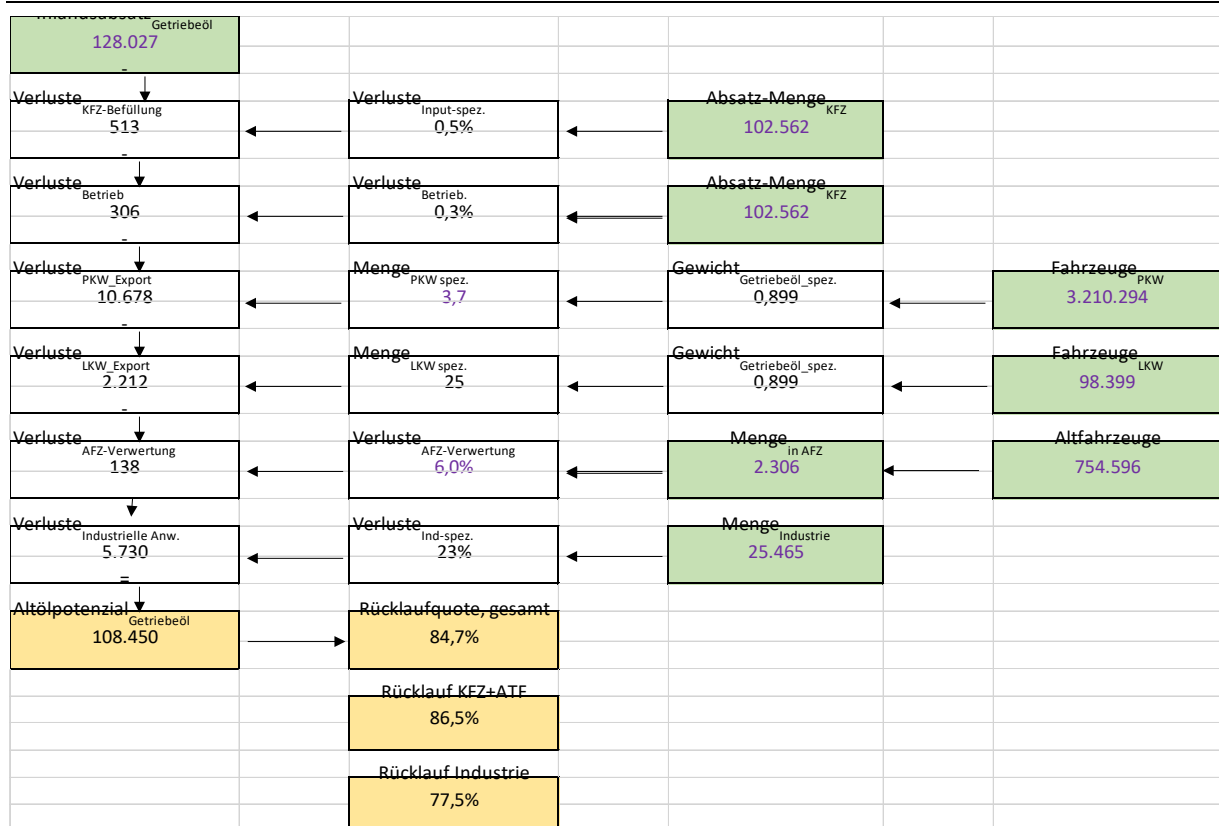
von 22,5 % stand. Diese Annahme wurde mit VSI und BVA rückgekoppelt und wird für die Situation in Deutschland übernommen.

3.2.7.3 Neuberechnung der Rücklaufquote

Auf Basis der vorstehenden Erläuterungen (Abschnitt 3.2.7.1 und 3.2.7.2) ist die Neuberechnung der Rücklaufquoten für Getriebeöle erfolgt. Für KFZ und ATF Getriebeöle beläuft sich die Rücklaufquote auf 86,5 %. Für Industriegetriebeöle auf 77,5 %.

Über alle Getriebeölsortengruppe ergibt sich ein Rücklauf von 84,7 % (gewichteter Durchschnitt, errechnet auf Basis der Rückläufe und Mengen der unterschiedenen Arten von Getriebeöl).

Abbildung 7: Berechnung Altölpotenzial Getriebeöle



Quelle: Ökopool, Berechnungsmodell für Rücklaufquoten von Getriebeöl

3.2.8 Hydrauliköle

Hydrauliköle kommen in diversen Anwendungsbereichen zum Einsatz. Dies sind sowohl stationäre Anwendungen (Anwendung in Werkzeugmaschinen oder Hebewerken) als auch mobile Anwendungen (Baumaschinen, Lader, Bagger, Grader, Flurförderfahrzeuge, Ackerschlepper, Flugzeug- und Marine-Hydrauliken). Der Anteil von Hydraulikölen an der Schmierstoffinverkehrbringung beläuft sich auf rund 6,4 %.

Die für Deutschland in den beiden Vorgängergutachten angenommenen Rücklaufquoten betragen jeweils 75 % (vgl. Übersicht in Tabelle 24). Diese Rücklaufquoten sind jeweils aus spezifischen Rücklaufquoten für mobile und stationäre Anwendungen errechnet.

Tabelle 24: Für Hydrauliköl in verschiedenen Studien angenommene Rücklaufquoten

Rücklaufquote aus (Sander et al. 2006)	Rücklaufquote aus (Jepsen et al. 2016)	Rücklaufquote aus (Zimmermann und Jepsen 2017)	Rücklaufquote aus (DEFRA 2006)
75 %	75 %	73 %	80 %

Für mobile Anwendungen (Bagger, Schlepper, mobile Kräne etc.) wurden die Verlustquoten im Rahmen einer Expert*innenkonsultation von vorher 40 bis 50 % der eingesetzten Menge (Sander et al. 2006; Jepsen et al. 2016) auf 32,5 % angepasst (Zimmermann und Jepsen 2017). Auch eine aktuell durchgeführte Konsultation der Expert*innen von BVA und VSI hat ergeben, dass die in der Vorgängerstudie angenommene Verlustbandbreite von 40 bis 50 % zu hoch sei. Hier wurde die Verlustquote eher auf 20-30 % beziffert. Entsprechend erfolgt eine Korrektur auf 25 %.

Bei stationären Anwendungen wurden die Verluste auf 20 % beziffert (Zimmermann und Jepsen 2017). Die aktuell durchgeführte Konsultation von BVA und VSI hat eine Verlustquote von 10-20 % ergeben. Hier erfolgt eine Anpassung der angenommenen Verlustquote auf 15 %.

Entscheidend für die Abschätzung der Gesamt-Verlustquote ist entsprechend die Aufteilung des Hydrauliköls auf stationäre und mobile Anwendungen. In Sander et al. (2006) wurde das Verhältnis von stationär zu mobil auf 60:40 bestimmt; diese Aufteilung wurde in (Jepsen et al. 2016) bestätigt. Zur Prüfung wurden Produktions- und Außenhandelsstatistik ausgewertet. Hieraus ergeben sich Hinweise, dass der Anteil mobiler Anwendungen potenziell höher ausfällt. Es erfolgt eine Anpassung des Verhältnisses auf 50:50, welche mit BVA und VSI rückgekoppelt wurde.

Nach näherer Prüfung der Studienlage und statistischen Daten sowie einer ersten Befragung von Akteuren hat sich der Export befüllter Produkte (Geräte, Maschinen) als möglicher bislang unterschätzter Verlustpfad gezeigt. Eine Auswertung der Außenhandelsstatistik für verschiedene Produkte, in denen Hydrauliköle Anwendung finden, zeigt einen deutlichen Exportüberschuss bei Kranen, Baggern und Pressen (siehe Tabelle 25). Es ist hierbei zu beachten, dass in der Außenhandelsstatistik die Angaben nur in Tonnen und Euro erfolgen. Um wie viele Maschinen oder Fahrzeuge es sich dabei jeweils handelt, ist daher nicht ohne Weiteres festzustellen.

Tabelle 25: Import-Export-Bilanz für Anwendungen von Hydrauliköl

WA	Erläuterung	Import-Export Bilanz [t]
WA841382	Hebwerke für Flüssigkeiten (ausgenommen Pumpen)	36
WA842541	Hebebühnen, ortsfest, Kraftfahrzeugwerkstätten	-907
WA842611	Konsolkrane oder Wandlaufkrane	-6.522
WA842619	Laufkrane, Portalkrane, Verladebrücken	-11.863
WA842620	Turmdrehkrane	-10.764
WA842630	Portaldrehkrane	-5.747
WA842641	Krane, selbstfahrend, mit luftbereiften Rädern	-43.410
WA842649	Mobilkrane und Krankraftkarren	-65.191
WA842691	Krane zum Aufbau auf Straßenfahrzeuge	11.894

WA	Erläuterung	Import-Export Bilanz [t]
WA842699	Derrickkrane, Kabelkrane und andere Krane, a.n.g.	-8.148
WA842951	Frontschaufellader, selbstfahrend	-33.735
WA842952	Bagger, selbstfahrend, mit drehbarem Oberwagen	-152.144
WA842959	Bagger, Schürflader und andere Schaufellader	10.692
WA843031	Schrämmaschinen u.a. Abbaumaschinen, selbstfahrend	138
WA843039	Schrämmaschinen u.a. Abbaumaschinen	-34.937
WA843340	Feldpressen für Heu oder Stroh, Aufnahmepressen	-18.769
WA843510	Pressen, Mühlen u.a. für Wein, Most u.a.	-524
WA843590	Teile von Pressen, Mühlen u.a. für Wein, Most u.a.	664
WA844140	Maschinen zum Formpressen von Waren aus Papier	-810
WA846291	Pressen, hydraulisch, für die Metallbearbeitung	-12.077
WA846299	Pressen, für die Metallbearbeitung	-4.589
WA846711	Werkzeuge, pneumatisch, handgeführt, rotierend	1.127
WA846719	Werkzeuge, pneumatisch, handgeführt	40
WA846789	Werkzeuge, handgeführt, mit Hydraulikmotor	-2.329
WA847480	Maschinen zum Pressen mineralischer Brennstoffe	-22.881
WA847930	Pressen zum Herstellen von Platten aus Holz	-27.926
WA860400	Schienenfahrzeuge zur Gleisunterhaltung u.a.	-3.217
WA870110	Einachsackerschlepper und Schlepper	114
WA870510	Krankkraftwagen (Autokrane)	-228.017
WA890510	Schwimmbagger	-6.005
WA930310	Vorderlader	3

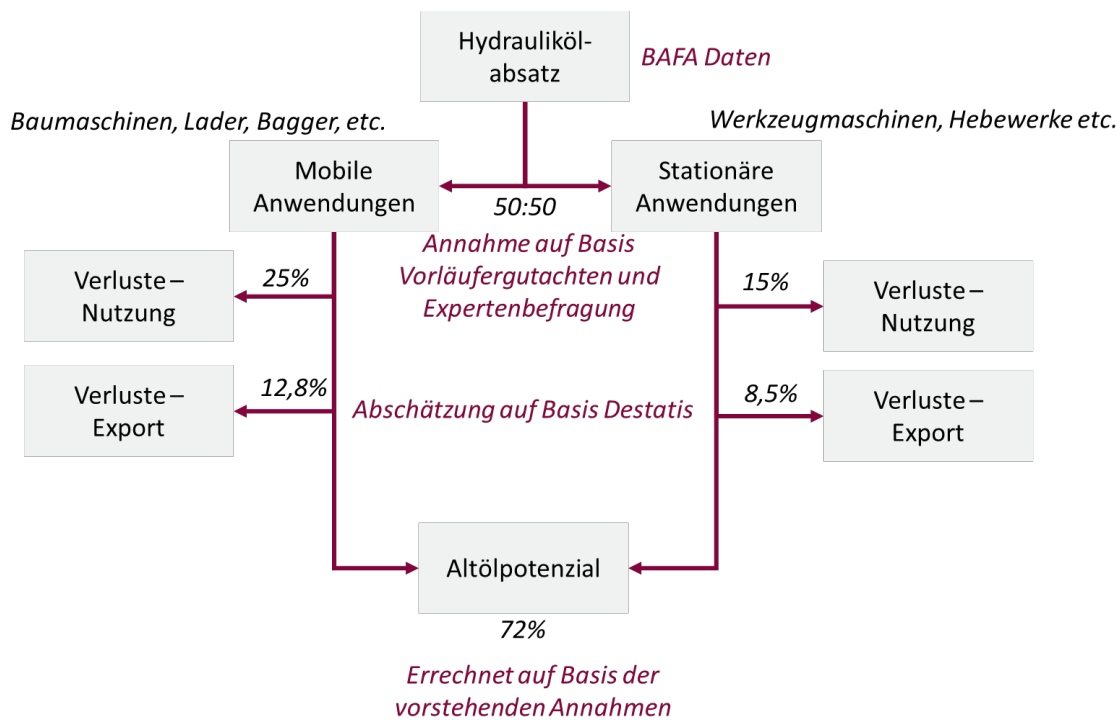
Quelle: Destatis, Außenhandelsstatistik; negative Werte bedeuten einen Exportüberschuss

Eine Befragung von Herstellern hat ergeben, dass insbesondere bei mobilen Anwendungen der Export typischerweise in befülltem Zustand erfolgt. Bei stationären Anwendungen (Pressen etc.) gibt es sowohl den betriebsfertigen (befüllten) als auch den unbefüllten Export.

Eine grobe Abschätzung des mengenmäßigen Ölverlusts durch Exporte auf Basis einer stichprobenartigen Erhebung von Gewichten und Hydraulikölmengen pro Fahrzeug/Maschine sowie ergänzenden Gesprächen mit Herstellern und Händlern hat einen Exportverlust von insgesamt rund 6.600 t für mobile und stationäre Anwendungen ergeben. Bezogen auf die in Verkehr gebrachte Menge von rund 63.000 t entspricht dies anteiligen Verlusten von rund 11 % bzw. bezogen auf mobile Anwendungen rund 12,8 % und für stationäre Anwendungen 8,5 % (vgl. Abbildung 8).

Entsprechend wird die Rücklaufquote angepasst auf 72 %.

Abbildung 8: Verluste und Rückläufe von Hydraulikölen - schematische Darstellung



Quelle: Eigene Darstellung, Ökopool

3.2.9 Elektroisolieröle

Elektroisolieröle haben einen Anteil von 1,2 % an der Schmierstoffinverkehrbringung. Die Vorläufergutachten geben eine Rücklaufquote von 90 % an (Jepsen et al. 2016; Sander et al. 2006). In anderen Gutachten lassen sich etwas höhere Rücklaufquoten finden (Zimmermann und Jepsen 2017; DEFRA 2006).

Tabelle 26: Für Elektroisolieröl in verschiedenen Studien angenommene Rücklaufquoten

Rücklaufquote aus (Sander et al. 2006)	Rücklaufquote aus (Jepsen et al. 2016)	Rücklaufquote aus (Zimmermann und Jepsen 2017)	Rücklaufquote aus (DEFRA 2006)
90 %	90 %	92,5 %	95 %

Quelle: Zusammenstellung durch Ökopool anhand der genannten Quellen

Wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, kann bei den Elektroisolierölen die Abfallstatistik Indikationen für Anpassungen der Rücklaufquote liefern. Tabelle 27 stellt die in Verkehr gebrachten Mengen und die Abfallmengen (trocken) für die Jahre 2014 bis 2019 dar. Ergänzend ist das Verhältnis von Abfallmenge und in Verkehr gebrachter Menge dargestellt. Über den dargestellten Zeitraum ergibt sich ein Verhältnis von rund 98,8 %.

Tabelle 27: Elektroisolieröle – Inverkehrbringung und Abfallmengen

Menge	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2014-2019
iVgM [t]	12.162	11.118	12.247	11.628	18.232	14.209	79.596
Abfallmenge, trocken [t]	13.761	12.474	13.167	12.672	13.464	13.167	78.705

Menge	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2014-2019
Abfallmenge/iVgM	113%	112%	108%	109%	74%	93%	99%

Quellen: BAFA, Destatis, Trockenmenge berechnet unter Nutzung der Wasseranteile in Tabelle 19

Vor diesem Hintergrund wird die Rücklaufquote für Elektroisieröle auf 98 % angepasst.

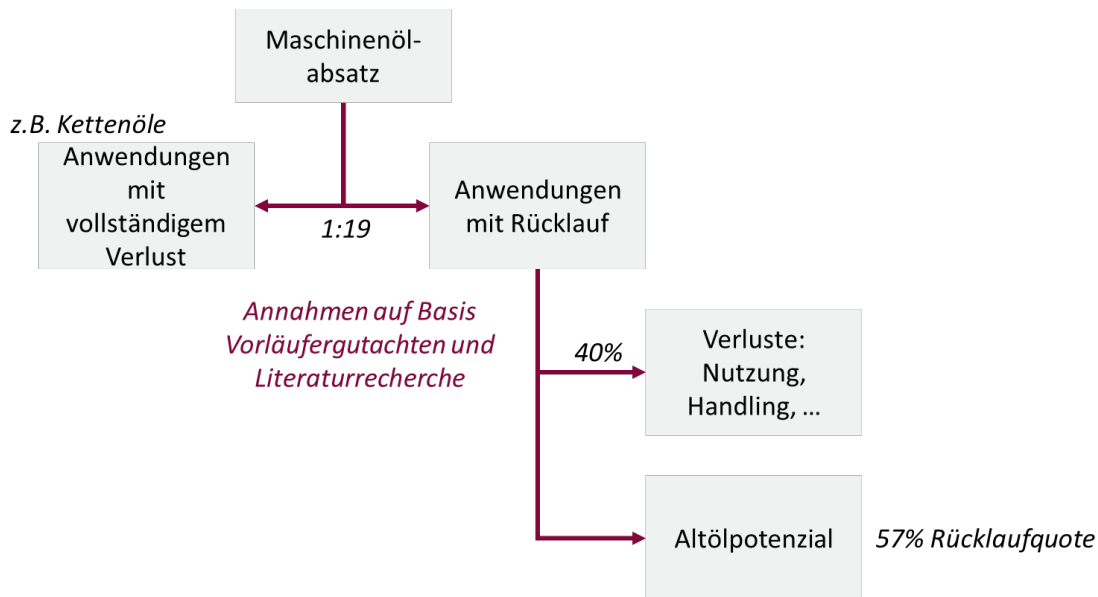
3.2.10 Maschinenöle

Maschinenöle finden sich in vielfältigen Anwendungen zur Schmierung von Maschinen und Maschinenteilen. Zu den Maschinenölen zählen (vgl. Sander et al. 2006)

- ▶ Zylinderschmieröle,
- ▶ Spindelschmieröle,
- ▶ Maschinenschmieröle,
- ▶ Haftöle,
- ▶ Bett-/ Gleitbahnöle,
- ▶ Alle Achsenöle,
- ▶ Textilmaschinenöle,
- ▶ Druckluftmaschinenöle und
- ▶ Kettenöle.

Hierunter sind Anwendungen mit und ohne Rücklauf von Altöl. Für die Anwendungen mit Rücklauf wird bislang eine Verlustquote von 40 % angenommen. Für die Bestimmung der Rücklaufquote ist die Aufteilung auf Anwendungen mit und ohne Rücklauf maßgeblich. Folgende Abbildung zeigt die Aufteilung, wie sie im Vorläufergutachten in Expertengesprächen ermittelt wurde.

Abbildung 9: Verluste und Rückläufe von Maschinenölen – schematische Darstellung



Quelle: Eigene Darstellung, Ökopool

Die Konsultation von VSI und BVA hat ergeben, dass diese Annahmen immer noch als realistisch eingeschätzt werden. Entsprechend wird eine Rücklaufquote von 57 % für Maschinenöle angenommen.

3.2.11 Metallbearbeitungsöle

Die Schmierstoffsortengruppe der Metallbearbeitungsöle lässt sich weiter unterteilen in wassermischbare (wmb) und nicht-wassermischbare (nwmb) Metallbearbeitungsöle sowie Härteöle und Korrosionsschutzöle. Letztere zählen zu den Schmierstoffsorten ohne Altölrücklauf und wurden bereits in Abschnitt 3.2.3 behandelt.

Wmb und nwmb Metallbearbeitungsöle werden als Schmier- und Kühlmittel beim Schneiden, Schleifen, Bohren und bei anderen Arbeitsgängen eingesetzt, bei denen Metallspäne anfallen. Bei diesen Anwendungen werden die eingesetzten Ölmengen in der Regel aufgefangen, gefiltert, um Schlamm und Metallspäne zu entfernen, und dann zur Wiederverwendung aufbereitet. Wmb und nwmb Metallbearbeitungsöle können auch zur Umformung eingesetzt werden. Dabei geht ein Teil als dünner Film auf dem Metallgegenstand verloren. Bei beiden Anwendungen, sowohl bei der spanenden Bearbeitung als auch beim Umformen, können Verluste durch Verdunstung, Leckagen und Ineffizienzen auftreten.

Durch Kreislaufführung von Schmierstoffen bei der spanenden Metallbearbeitung reduzieren sich Ölwechselfrequenzen und Verbräuche. Während die Kreislaufführung vor Ort die Nutzungsdauer der Metallbearbeitungsöle erhöht und den Jahresverbrauch senkt, erhöht es die Verluste im Verhältnis zum Schmierstoffeinsatz und verringert den erfassbaren Anteil: Je länger die Schmierstoffe verwendet werden, desto größer wird die relative Bedeutung der Verluste durch Anhaftung an Metallspänen, Handhabung usw. Auch Minimalmengenschmierung als Schmierstofftechnik mit zunehmender Bedeutung reduziert den absoluten Verbrauch, verringert aber die relative erfassbare Menge.

Der Trend zu Minimalmengenschmierung hat sich weiter fortgesetzt (Singh et al. 2020; Herrmann et al. 2017); Gespräche mit dem VSI haben hervorgebracht, dass neben dem Trend zur Minimalmengenschmierung zumindest für den Bereich der nwmb Metallbearbeitungsöle mittlerweile Systeme mit weitestgehender Kreislaufführung des Schmierstoffs die Regel

darstellen. Es kommt zu einem geringen Austrag über die Werkstücke, der gelegentliche Nachfüllungen an den Maschinen notwendig macht. Durch diese Kreislaufführung fällt bei diesen Systemen kaum Altöl an. Dies ist nur der Fall, wenn beispielsweise in Folge neuer Anforderungen der vorhandene Schmierstoff gänzlich ausgetauscht wird. Für den normalen Betrieb bedeutet dies eine sehr geringe Rücklaufquote <10 %. Der Austausch des kompletten Schmierstoffs lässt sich in seiner Häufigkeit schwerer beziffern. In Vorläufervorhaben wurde der Rücklauf von nwmb Metallbearbeitungsölen auf 52 % beziffert (Jepsen et al. 2016; Zimmermann und Jepsen 2017). Unter Berücksichtigung der Trends in der Schmierstoffpraxis erscheint diese Quote ggf. etwas zu hoch. Auch die Konsultation des BVA hat eine grundsätzliche Zustimmung zu dieser Einschätzung ergeben. Vor diesem Hintergrund erfolgt eine geringfügige Anpassung der angenommenen Rücklaufquote auf 50 %.

Für wmb Metallbearbeitungsöle wird bislang von höheren Verlusten als für nwmb Öle ausgegangen. In den verschiedenen Vorläufergutachten wird für wmb Öle von einer Rücklaufquote von 47 % ausgegangen (Sander et al.; Jepsen et al.; Zimmermann und Jepsen 2006; 2016; 2017).

Eine Studie des VDI Zentrum für Ressourceneffizienz von 2017 zu wmb Metallbearbeitungsölen hat Verluste über Anhaftungen an Späne und Werkstücken von rund 36 % ergeben (Herrmann et al. 2017). Die verbleibenden Emulsionen, die schließlich als Abfall anfallen und den Abfallschlüsselnummern 12 01 08* und 12 01 09* zuzuordnen sind, werden als gefährlicher Abfall gegen Kosten von rund 150 €/m³ an Entsorger abgegeben, welche eine Aufspaltung in Altölphase und wässrige Phase vornehmen. Die Altölphase geht typischer Weise nicht in die Aufbereitung (Destatis 2022a; Herrmann et al. 2017). Die vom Herrmann et al. (2017) ermittelte Verlustquote von 36 % gibt keinen Anlass, die bisher angenommene Rücklaufquote von 47 % zu erhöhen, da hier nur eine begrenzte Auswahl von Fertigungsprozessen abgebildet wird. Die Befragung des BVA hat die bisherigen Annahmen in der Größenordnung bestätigt.

Für wmb und nwmb Metallbearbeitungsöle werden die bislang angenommene Rücklaufquote beibehalten.

Es ist bei der Aktualisierung des Rückrechenmodells zu beachten, dass die wmb Metallbearbeitungsölen als Abfall unter Abfallschlüsselnummern fallen, welche nicht den Sammelkategorien 1-4 zugeordnet sind. Für zukünftige Fortschreibungen kann hier überlegt werden, entweder die Rücklaufquote auf 0 zu setzen oder die sonstige Abfallbehandlung (in thermischen Anlagen und chemisch physikalischen Behandlungsanlagen) zu ergänzen.

3.2.12 Basisöle

Bezüglich der Basisöle, welche bei der Schmierstoffinverkehrbringung mit berichtet werden, ist unklar, in welche Endanwendungen diese gehen. Gespräche mit Praxisakteuren haben hier gegenüber den Vorläufergutachten keine neuen Erkenntnisse erbracht.

Es sind verschiedene Ansätze denkbar, welche zumindest eine Orientierung für die Größenordnung des Rücklaufs von Basisöl geben können. Tabelle 28 stellt vier entsprechende Ansätze in der Übersicht dar. Die Rückläufe bewegen sich hier zwischen rund 24 % und 67 %.

Für das Berechnungsmodell wird weiterhin eine Rücklaufquote von 50% angenommen.

Tabelle 28: Verschiedene orientierende Berechnungen zum Rücklauf von Basisölen

Berechnungsansatz	Rücklaufquote
als Durchschnitt der Industrieöle mit Rücklauf	66,6%

als Durchschnitt der Industrieöle	23,8%
als Durchschnitt aller Schmierstoffe	34,9%
als Durchschnitt aller Schmierstoffe mit Rücklauf	65,8%
Im Berechnungsmodell angenommene Rücklaufquote	50,0%

Quelle: Berechnung durch Ökopool

3.2.13 Zusammenfassung: aktualisierte Rücklaufquoten

Auf Basis der vorstehend beschriebenen Einzelbetrachtungen der Aktualisierungen der Rücklaufquoten für die einzelnen Schmierstoffsortengruppen ergeben sich die in Tabelle 29 dargestellten Änderungen.

Tabelle 29: Zusammenfassung der Aktualisierung der Rücklaufquoten

Sortengruppe	Rücklaufquote - Bisherige Annahme	Rücklaufquote - Aktualisiert	Anmerkung
Motorenöle (siehe Abschnitt 3.2.4)	51,9%	61,6 %	Annahme aktualisiert. Verluste durch Exporte auf Basis aktueller Daten aktualisiert. Modell bzgl. Exportverluste verfeinert. Verluste durch Handling und Nutzung aktualisiert.
Kompressorenöle (siehe Abschnitt 3.2.5)	50,0%	70%	Annahme aktualisiert. Erhöhung der Rücklaufquote auf Grundlage der durchgeführten Expertenkonsultation.
Turbinenöle (siehe Abschnitt 3.2.6)	70,0%	80%	Annahme aktualisiert. Erhöhung der Rücklaufquote auf Grundlage der durchgeführten Expertenkonsultation und aktueller Studien.
Getriebeöle – insgesamt (siehe Abschnitt 3.2.7)	64,0%	79%	Annahme aktualisiert. Verluste durch Exporte auf Basis aktueller Daten aktualisiert. Modell bzgl. Exportverluste verfeinert. Verluste durch Handling und Nutzung aktualisiert.
- KFZ (Getriebeöle)	79%	82%	
- ATF	79%	82%	
- Industrie (Getriebeöle)	75%	77,5%	
Hydrauliköle (siehe Abschnitt 3.2.8)	75%	72 %	Annahme aktualisiert. Exportverluste in Berechnung aufgenommen. Aufteilung auf stationäre und mobile Anwendungen angepasst.
Elektroisolieröle (siehe Abschnitt 3.2.9)	90,0%	98,0%	Aktualisiert auf Basis von Daten der Abfallstatistik.
Maschinenöle (siehe Abschnitt 3.2.10)	50,0%	57%	Annahme aktualisiert. Berücksichtigung Aufteilung mobil:stationär und Verluste auf Basis Expertenkonsultation.

Sortengruppe	Rücklaufquote - Bisherige Annahme	Rücklaufquote - Aktualisiert	Anmerkung
Metallbearbeitungsöle (siehe Abschnitt 3.2.11)		49%	Beibehaltung der Annahme.
- Wmb	47%	47%	Beibehaltung der Annahme.
- Nwmb	52%	50%	Aktualisiert, geringfügige Anpassung.
Basisöle (siehe Abschnitt 3.2.12)	50,0%	50%	Aufteilung auf Anwendungen unklar, daher keine Aktualisierung möglich.
Prozessöle	0,0%	0,0%	Geprüft / Annahme hat weiter Bestand.
Andere Industrieöle nicht zum Schmieren	0,0%	0,0%	Geprüft / Annahme hat weiter Bestand.
Schmierfette	0,0%	0,0%	Geprüft / Annahme hat weiter Bestand.
Extrakte aus der Schmierölraffination	0,0%	0,0%	Geprüft / Annahme hat weiter Bestand.

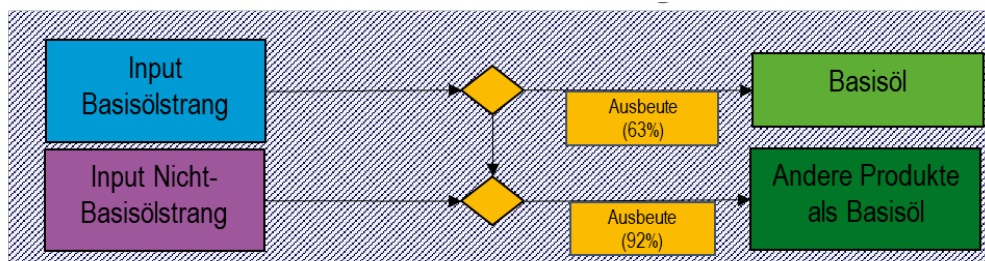
3.3 Aktualisierung der Ausbeutefaktoren

Zur Erhebung der Ausbeutefaktoren ist eine Befragung von Akteuren der Altölaufbereitung erfolgt. Hierzu wurden angenommene Altölmengen sowie Produktionsmengen (Basisöl und Nicht-Basisöl-Produkte) abgefragt.

Die in der Befragung abgedeckten Altölaufbereiter berichten in der Summe eine Basisölproduktion von 215.803 t. Dies entspricht rund 80 % der von der BAFA gemeldeten Produktion von Basisöl und Schmierstoffen aus Zweitraffination.

Die Abfrage hat insgesamt eine Ausbeute im Basisölstrang von 63 %, im Nicht-Basisölstrang von 92 % ergeben (vgl. Abbildung 10). Dies bedeutet jeweils eine geringfügige Steigerung gegenüber den im Vorläufergutachten (Jepsen et al. 2016) erhobenen Werten von 62,9% im Basisölstrang und 89,2% in Nicht-Basisölstrang.

Abbildung 10: Ausbeutefaktoren in Basisöl- und Nicht-Basisölstrang



(Zahlen für 2019)

Quelle: Berechnung durch Ökopol auf Basis einer Abfrage bei Altölaufbereitern

3.4 Aufbereitung/ Zweitraffination

Das Aufkommen aus Zweitraffination ist der BAFA-Statistik zu entnehmen; es wird in *Tabellenblatt 5j* differenziert nach Produkten berichtet. Die Mengen für die Jahre 2019 und 2020 sind in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 30: Aufkommen aus Zweitraffination

Produkt	2019	2020
Aufkommen aus Zweitraffination (Aufbereitung)	272.001	253.721
davon Basisöl	234.141	217.583
davon weitere Schmierstoffe	37.860	36.138
Andere Produkte als Basisöl und Schmierstoffen, Gesamt	200.268	193.740
davon Heizöl, leicht	13.954	15.816
davon Mitteldestillatkomponenten	4.393	4.136
davon Heizöl, schwer	135.515	131.567
davon HS-Komponenten	39.332	34.103
davon Spezialbenzin	7.074	8.118

Quelle: Aufkommen aus Zweitraffination, BAFA Tabelle 5j

3.5 Energetische Verwertung von Altölen

Etablierte Pfade zur energetischen Verwertung von Altölen in Deutschland sind die Verwertung in der Zementindustrie sowie die Verwertung in der Kalkindustrie.

Über die energetische Verwertung von Altölen in der Zementindustrie berichtet der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) periodisch in den „Umweltdaten der Zementindustrie“ (vdz 2020). Demnach wurden in 2019 70.000 t Altöl (50.750 t trocken) sowie 140.000 t Ölschlämme und organische Destillationsrückstände in der Zementindustrie energetisch verwertet.

Daten zur energetischen Kalkindustrie werden vom BV Kalk auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Demnach wurden im Jahr 2019 in der Kalkindustrie in Deutschland Altöl mit einem Heizwert von insgesamt 893.452 GJ verwendet. Unter Annahme eines Energiegehalts von 40 MJ/kg entspricht dies rund 22.000 t.

In der Summe ergeben sich für 2019 (ohne Berücksichtigung der Ölschlämme und organischen Destillationsrückstände) rund 72.000 t Altöle (trocken), die in die energetische Verwertung gehen. Für das Jahr 2020 belaufen sich die entsprechenden Mengen für Kalk- und Zementindustrie auf in der Summe rund 65.000 t (trocken).

In den vergangenen Sachverständigengutachten (Jepsen et al. 2016; Sander et al. 2006) wurde die Verwendung dieser beiden Datenquellen als Grundlage für die energetische Verwertung im Stoffstrommodell mit Akteuren kritisch diskutiert. Im Ergebnis wurde für das Berechnungsmodell der Altölströme an dem verfolgten Ansatz festgehalten.

Ein denkbarer alternativer Ansatz wäre das Vorgehen über die Daten der Abfallstatistik. Hier werden die Inputmengen von Altölen verschiedener Abfallschlüssen in thermische

Abfallbehandlungsanlagen, in Feuerungsanlagen sowie in chemisch-physikalische Behandlungsanlagen gemeldet (Tabelle 32111-0004).

Die Inputmengen von Altölen in thermische Abfallbehandlungsanlagen und in Feuerungsanlagen können direkt als Mengen für die energetische Verwertung ins Modell übertragen werden, wobei diese Mengen noch um den Wassergehalt zu bereinigen sind. Bei den CP-Anlagen sind nicht die Input- Mengen sondern die Outputmengen zu betrachten. Die Outputs an Altölen aus den CP-Anlagen gehen überwiegend in die energetische Verwertung, zu einem kleineren Teil auch in die Aufbereitung und die Beseitigung, was in der Abfallstatistik entsprechend ausgewiesen wird. Betreiber chemisch-physikalische Behandlungsanlagen bestätigen dies (Nehlsen 2023). Eine Rücksprache mit Aufbereitern ergab dabei, dass die Ölphasen aus der CP-Behandlung in den meisten Fällen nicht für eine Aufbereitung geeignet seien. Einsatzstoffe der CP-Anlagen seien in der Regel Öle mit hohen Wasseranteilen wie Emulsionen oder Öl-Wassergemische mit der Zielstellung einer Trennung der Öl- (energetische Verwertung) und Wasserphasen. Die hierbei zu Grunde liegenden Ölanteile seien in der Mehrheit nicht für die Aufbereitung geeignet. Nur in Ausnahmefällen, wenn der Input nahezu ausschließlich aus Altölen der SK I besteht (als Vorbehandlung zur Reduzierung des Wasseranteils, was sich aber durch den überwiegenden Anteil des gebundenen Wassers schwieriger gestaltet), könne eine geeignete Ölphase generiert werden. Dies betrifft allerdings sehr seltene Fälle, die zu vernachlässigen seien.

Die statistischen Mengen zur Verwertung in thermischen Abfallbehandlungsanlagen, in Feuerungsanlagen sowie in chemisch-physikalische Behandlungsanlagen beinhalten wie beschrieben Wassergehalte und sind für eine Betrachtung im Kontext des Rechenmodells entsprechend zu bereinigen. Für die Input-Mengen zur Verwertung in thermischen Abfallbehandlungsanlagen und in Feuerungsanlagen können hier als Näherung die Werte der Tabelle 36 in Abschnitt 4.3 herangezogen werden. Für die Input-Mengen in CP-Anlagen ist entsprechend der Informationen aus der Praxis davon auszugehen, dass diese deutlich höhere Wassergehalte aufweisen, während hier die Output-Mengen beim Wassergehalt den Werten der Tabelle 36 in Abschnitt 4.3 eher nahekommen. Entsprechend werden hier die Outputmengen aus CP-Anlagen als Mengen inkl. Wassergehalt angesetzt.

Tabelle 31: Daten zur energetischen Verwertung aus der Abfallstatistik (Jahr: 2019)

Abfall-schlüssel	Beschrei-bung	Input-mengen Ther-mische Abfallbe-handlung (1.000 t)	Input-mengen Feuerungs-anlagen (1.000 t)	Input-mengen CP-Anlagen (1.000 t)	Output CP-Anlagen zu energetisc her Ver-wertung (1.000 t)	Summe - Mengen zur energe-tischen Ver-wertung (1.000 t)	Summe (1.000 t, trocken)
120106	Halogen-haltige Bearbei-tungsöle auf Mineral-ölbasis	0,10	-	0,10	-	0,10	0,10
120107	Halogen-freie Bearbei-tungsöle auf	0,00	24,70	5,70	6,80	31,50	26,78

Abfall-schlüssel	Beschrei-bung	Input-mengen Ther-mische Abfallbe-handlung (1.000 t)	Input-mengen Feuerungs-anlagen (1.000 t)	Input-mengen CP-Anlagen (1.000 t)	Output CP-Anlagen zu energetisc-her Verwertung (1.000 t)	Summe - Mengen zur energetischen Verwertung (1.000 t)	Summe (1.000 t, trocken)
	Mineral-ölbasis						
120110	Synthe-tische Bearbei-tungsöle	-	-	0,30	-	0,00	0,00
130101	Hydraulik-öle, die PCB enthalten	0,10	-	-	-	0,10	0,09
130109	Chlorierte Hydrauliköle auf Mineralöl-basis	-	-	-	-	0,00	0,00
130110	Nicht-chlorierte Hydrauliköle auf Mineralöl-basis	-	-	0,50	-	0,00	0,00
130111	Synthe-tische Hydrauliköle	-	-	-	-	0,00	0,00
130112	Biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle	-	-	-	-	0,00	0,00
130113	Andere Hydrauliköle	0,00	-	-	-	0,00	0,00
130204	Chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,60	-	0,30	0,10	0,70	0,66
130205	Nicht-chlorierte Maschinen-, Getriebe-u. Schmieröle	0,60	16,70	85,40	23,90	41,20	37,29

Abfall-schlüssel	Beschrei-bung	Input-mengen Ther-mische Abfallbe-handlung (1.000 t)	Input-mengen Feuerungs-anlagen (1.000 t)	Input-mengen CP-Anlagen (1.000 t)	Output CP-Anlagen zu energetisc-her Verwertung (1.000 t)	Summe -Mengen zur ener-getischen Verwertung (1.000 t)	Summe (1.000 t, trocken)
130206	Synthe-tische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,10	-	-	-	0,10	0,10
130207	Biologisch leicht abbau. Maschinen-, Getriebeöle	-	-	-	-	0,00	0,00
130208	Andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,60	-	19,40	5,50	6,10	5,52
130301	Isolier- und Wärmeüber-tragungsöle mit PCB	1,10	-	0,00	-	1,10	1,10
130306	Chlor. Isolier- u. Wärmeüber-tragungsöle (oh.130301)	-	-	-	-	0,00	0,00
130307	Nichtchlorie rte Isolier- und Wärmeüber-tragungsöle	0,10	-	4,90	3,40	3,50	3,47
130308	Synthe-tische Isolier- und Wärmeüber-tragungsöle	0,00	-	0,10	-	0,00	0,00
130309	Biolog. leicht abbaub. Isolier-u. Wärme-übertr.öle	-	-	-	-	0,00	0,00

Abfall-schlüssel	Beschrei-bung	Input-mengen Ther-mische Abfallbe-handlung (1.000 t)	Input-mengen Feuerungs-anlagen (1.000 t)	Input-mengen CP-Anlagen (1.000 t)	Output CP-Anlagen zu energetisc her Verwertung (1.000 t)	Summe - Mengen zur energetischen Verwertung (1.000 t)	Summe (1.000 t, trocken)
130310	Andere Isolier- und Wärme-übertragung söle	0,00	-	-	-	0,00	0,00
Summe	über alle vorstehend aufgeführten Abfall-schlüssel-nummern	3,30	41,40	116,70	39,70	84,40	75,09
Zzgl. 120109	Halogen-freie Bearbei-tungsemul-sionen und -lösungen	1,20	-	499,20	19,90	200,20	19,90
Summe	über alle aufge-führten Abfall-schlüssel-nummern	4,50	41,40	615,90	59,60	284,60	94,99

Tabelle 32: Daten zur energetischen Verwertung aus der Abfallstatistik (Jahr: 2020)

Abfall-schlüssel	Beschrei-bung	Input-mengen Ther-mische Abfallbe-handlung (1.000 t)	Input-mengen Feu-erungs-anlagen (1.000 t)	Input-mengen CP-Anlagen (1.000 t)	Output CP-Anlagen zu energetisc her Verwertung (1.000 t)	Summe - Mengen zur energetischen Verwertung (1.000 t)	Summe (1.000 t, trocken)
120106	Halogen-haltige Bearbei-tungsöle auf Mineral-ölbasis	-	-	0,1	-	0	0

Abfall-schlüssel	Beschrei-bung	Input-mengen Ther-mische Abfallbe-handlung (1.000 t)	Input-mengen Feu-erungs-anlagen (1.000 t)	Input-mengen CP-Anlagen (1.000 t)	Output CP-Anlagen zu energetisc her Verwertung (1.000 t)	Summe - Mengen zur energetischen Verwertung (1.000 t)	Summe (1.000 t, trocken)
120107	Halogen-freie Bearbei-tungsöle auf Mineral-ölbasis	0	20,5	3,9	4	24,5	20,83
120110	Syn-thetische Bear-beitungsöle	-	-	0,3	-	0	0
130101	Hydraulik-öle, die PCB enthalten	-	-	-	-	0	0
130109	Chlorierte Hydrauliköle auf Mineralöl-basis	-	-	-	-	0	0
130110	Nicht-chlorierte Hydrauliköle auf Mineralöl-basis	-	-	0,6	-	0	0
130111	Syn-thetische Hydrauliköle	-	-	-	-	0	0
130112	Biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle	-	-	-	-	0	0
130113	Andere Hydrauliköle	-	-	-	-	0	0
130204	Chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,6	-	0,2	0,1	0,7	0,658
130205	Nicht-chlorierte Maschinen-,	2,2	10,6	89,3	25,1	37,9	34,3

Abfall-schlüssel	Beschrei-bung	Input-mengen Ther-mische Abfallbe-handlung (1.000 t)	Input-mengen Feu-erungs-anlagen (1.000 t)	Input-mengen CP-Anlagen (1.000 t)	Output CP-Anlagen zu energetisc her Verwertung (1.000 t)	Summe - Mengen zur energetischen Verwertung (1.000 t)	Summe (1.000 t, trocken)
	Getriebe-u. Schmieröle						
130206	Syn-thetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,1	-	-	-	0,1	0,1
130207	Biologisch leicht abbau. Maschinen-, Getriebeöle	-	-	-	-	0	0
130208	Andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,1	-	18,9	5	5,1	4,6155
130301	Isolier- und Wärme-übertra-gungsöle mit PCB	1	-	0	0	1	0,997
130306	Chlor. Isolier- u. Wärme-übertra-gungsöle (oh.130301)	-	-	-	-	0	0
130307	Nicht-chlorierte Isolier- und Wärme-übertra-gungsöle	0,1	-	4,4	-	0,1	0,1
130308	Syn-thetische Isolier- und Wärme-übertra-gungsöle	0,5	-	0,3	-	0,5	0,5

Abfall-schlüssel	Beschrei-bung	Input-mengen Ther-mische Abfallbe-handlung (1.000 t)	Input-mengen Feu-erungs-anlagen (1.000 t)	Input-mengen CP-Anlagen (1.000 t)	Output CP-Anlagen zu energetisc her Verwertung (1.000 t)	Summe - Mengen zur energetischen Verwertung (1.000 t)	Summe (1.000 t, trocken)
130309	Biolog. leicht abbaub. Isolier-u. Wärme-übertr.öle	-	-	-	-	0	0
130310	Andere Isolier- und Wärme-übertra-gungsöle	0,1	-	-	-	0,1	0,1
Summe	über alle vorstehend aufgeführten Abfall-schlüssel-nummern	4,70	31,10	118,00	34,20	70,00	62,19
Zzgl. 120109	Halogen-freie Bearbei-tungs-emulsionen und -lö-sungen	1,1	-	437,1	12,8	129,1	12,8
Summe	über alle aufgeführten Abfall-schlüssel-nummern	5,80	31,10	555,10	47,00	199,10	74,99

Für das Jahr 2019 ergeben sich auf dieser Basis Mengen für die energetische Verwertung in Höhe von rund 75.000 t bzw. rund 95.000 t bei Berücksichtigung von Emulsionen – gegenüber 73.000 t auf Basis der Meldungen von Kalk- und Zementindustrie. Für das Jahr 2020 ergeben sich Mengen für die energetische Verwertung in Höhe von rund 62.000 t bzw. rund 75.000 t bei Berücksichtigung von Emulsionen – gegenüber 65.000 t auf Basis der Meldungen von Kalk- und Zementindustrie.

Die Mengen zur energetischen Verwertung, die sich auf Grundlage der beiden Ansätze ermitteln lassen, zeigen also keine erhebliche Diskrepanz. Es ist zu überlegen, ob die Mengen der Abfallstatistik zukünftig im Rechenmodell verwendet werden sollten – analog zum Vorgehen für die EU-Berichterstattung.

Es ist jedoch festzuhalten, dass bezüglich der statistischen Daten offene Fragen bestehen, die nicht innerhalb dieses Vorhabens abschließend geklärt werden konnten:

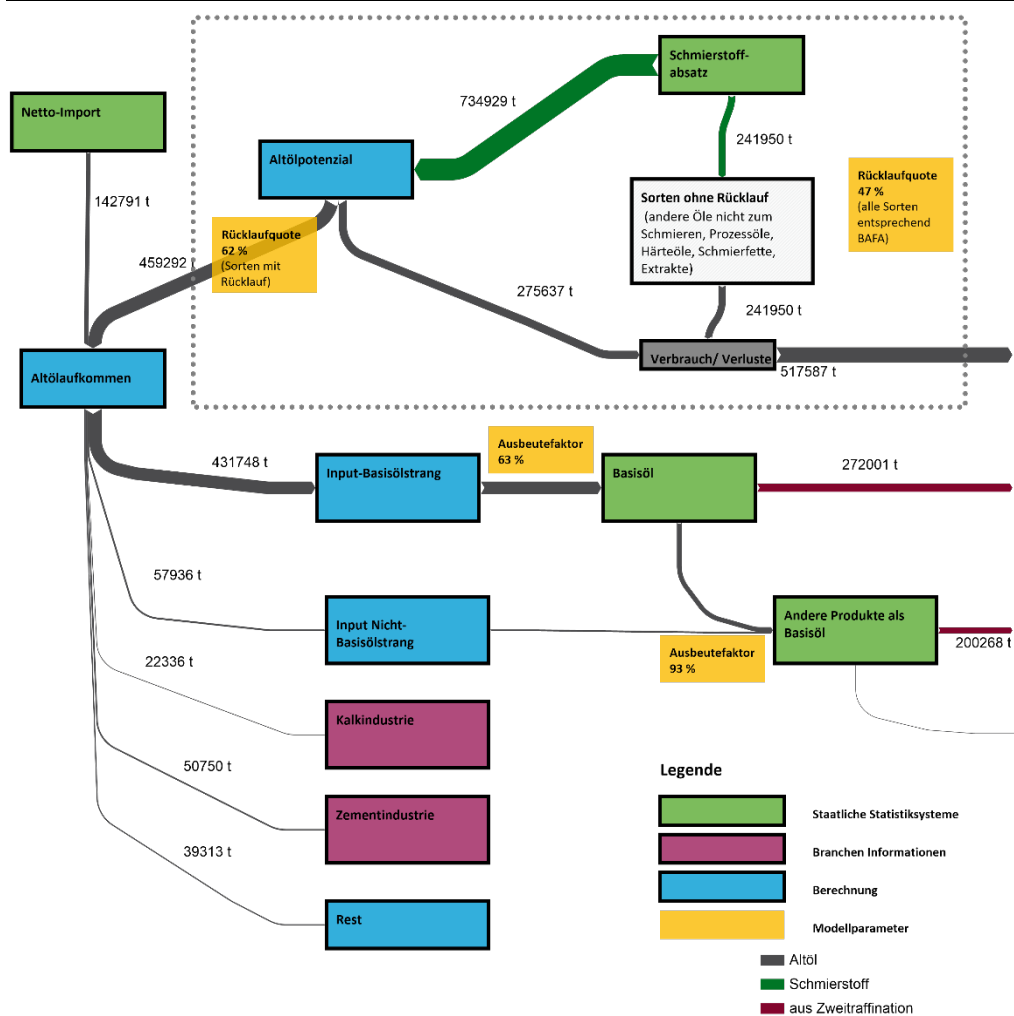
- ▶ Wie lassen sich die hohen Mengen der SK1-Altöle (insbesondere 130205 und 130208), die in CP-Anlagen behandelt und schließlich energetisch verwertet werden, erklären?
- ▶ Sind die angenommenen Wassergehalte für die Outputs der CP-Behandlung hinreichend genau?
- ▶ Welche weiteren relevanten Akteure der energetischen Verwertung gibt es neben Kalk- und Zementindustrie?

Diese Fragen sollten bei zukünftigen Untersuchungen mitbetrachtet werden.

3.6 Darstellung der Altölströme Deutschland 2019

Auf Basis der in den Abschnitten 3.1 bis 3.5 beschriebenen Daten und Betrachtungen erfolgt die Neu-Berechnung der Altölströme für Deutschland im Jahr 2019. Abbildung 11 stellt die Stoffströme der Schmierstoffe und Altöle in Deutschland als Sankey-Diagramm dar.

Abbildung 11: Altölströme Deutschland 2019



Quelle: Ökopoll

Bezogen auf die gesamte Inverkehrbringung über alle Schmierstoffsorten entsprechend der BAFA-Statistik von rund 977 kt in 2019 beträgt der Rücklauf (das Altölpotenzial) mit rund 459 kt etwa 47%. Bezieht man das Altölpotenzial nur auf die Inverkehrbringung von Sorten deren Anwendung einen Rücklauf zulässt, beläuft sich der Rücklauf auf 62 %.

Zuzüglich zum deutschen Altölpotenzial sind Nettoimporte von rund 143 kt zu berücksichtigen. Hieraus ergibt sich ein Gesamtaufkommen von 602 kt Altöl in Deutschland.

72 % hiervon gehen in die Aufbereitung zu Basisöl. Weitere 10 % in die sonstige Aufbereitung (Nicht-Basisölstrang). 12 % werden energetisch verwertet. Bei rund 7 % ist der Verbleib ungeklärt.

4 Prüfung der Eignung für die Datenübermittlung nach Anhang VI

Mit dem Durchführungsbeschluss (EU) 2019/1004 vom 7. Juni 2019 „zur Festlegung der Vorschriften für die Berechnung, die Prüfung und die Übermittlung von Daten über Abfälle gemäß der Richtlinie 2008/98/EG“ hat die EU-Kommission unter anderem Vorgaben zur Datenübermittlung zur Altölverwertungssituation erlassen. Die Vorgaben dienen als Grundlage zur Schaffung einer Datengrundlage, ob Maßnahmen zur Behandlung von Altöl getroffen werden können. Hierunter fallen auch die Festlegung von quantitativen Zielvorgaben für die Aufbereitung von Altöl und alle anderen Maßnahmen zur Förderung der Aufbereitung von Altöl (EU Kommission 2019).

Im Anhang VI des Durchführungsbeschlusses (EU Kommission 2019) findet sich die Konkretisierung des Formats zur Übermittlung der Daten über das Inverkehrbringen von mineralischen und synthetischen Schmier- und Industrieölen sowie über die Behandlung von Altölen.

Anhand zweier Tabellen wird das Format für die Datenübermittlung vorgegeben. Die erste Tabelle gibt vor für

- 1) Motor- und Getriebeöle,
- 2) Industrieöle,
- 3) Industrieöle (nur Emulsionen) und
- 4) Öl und Konzentrate aus Abtrennprozessen

die folgenden Daten zu übermitteln:

1. In Verkehr gebrachte Öle
2. Angefallene Altöle (trocken)
3. Getrennt gesammelte Altöle (einschließlich Wasser und trocken)
4. Ausgeführte Altöle (einschließlich Wasser und trocken)
5. Eingeführte Altöle (einschließlich Wasser und trocken)
6. Aufbereitung (einschließlich Wasser und trocken)
7. Sonstiges Recycling (einschließlich Wasser und trocken)
8. Energetische Verwertung (einschließlich Wasser und trocken)
9. Beseitigung (einschließlich Wasser und trocken)

Die zweite Tabelle gibt vor für

- 1-4) Aufbereitetes Basisöl (mit Unterscheidung nach Gruppe I bis Gruppe IV),
- 5) Recycelte Produkte,
- 6) "Brennstoffprodukte zur betriebsexternen energetischen Verwertung — leichtes Heizöl",
- 7) "Brennstoffprodukte zur betriebsexternen energetischen Verwertung — destilliertes Heizöl",
- 8) "Brennstoffprodukte zur betriebsexternen energetischen Verwertung — schweres Heizöl",
- 9) "Brennstoffprodukte zur betriebsexternen energetischen Verwertung — verwertetes Heizöl",
- 10) "Brennstoffprodukte zur betriebsexternen energetischen Verwertung — verarbeitetes Heizöl", Betriebsinterne energetische Verwertung und
- 11) Sonstige folgende Mengenangaben zu übermitteln:

1. Aufbereitung
2. Sonstiges Recycling
3. Energetische Verwertung oder Aufbereitung zu Materialien, die als Brennstoffe verwendet werden sollen
4. Beseitigung

Teilweise sind die Angaben nicht verpflichtend, sondern optional.

Im Folgenden wird für die einzelnen Datenpunkte beschrieben, welche Datenquellen hierfür verfügbar sind, wie für die Datenübermittlung vorzugehen ist und welche Aspekte ggf. zusätzlich bei der Dateneingabe zu beachten sind.

4.1 In Verkehr gebrachte Mengen

Daten zu in Verkehr gebrachten Mengen liegen für Deutschland in den periodisch von der BAFA veröffentlichten Zahlen der amtlichen Mineralölstatistik vor.

Für die hier unterschiedenen Sortengruppen ist eine Zuordnung zu den in den Datentabellen angefragten Kategorien „Motor- und Getriebeöle“, „Industrieöle“ sowie „Industrieöle (nur Emulsionen)“ vorzunehmen. Zudem sind einige Sortengruppen, welche in der BAFA Statistik gelistet werden, hier nicht einzubeziehen, da diese keiner Schmierstoffanwendung im engeren Sinne entsprechen und auch in anderen Mitgliedsstaaten nicht mitberichtet werden. Eine Nichtberücksichtigung dieser Sortengruppen ist zudem konsistent mit dem optionalen Tabellenblatt 3 der Vorlage der Kommission. Tabelle 33 fasst die Zuordnung zusammen.

Tabelle 33: Inlandsablieferung von Schmierstoffen, Deutschland, 2020

Sortengruppe	Spezifizierung	t	Einordnung
Motorenöle	-	264.829	Motor- und Getriebeöl
Kompressorenöle	-	9.301	Industrieöl
Turbinenöle	-	1.358	Industrieöl
Getriebeöle	gesamt		
	KFZ	43.364	Motor- und Getriebeöl
	ATF	49.007	Motor- und Getriebeöl
	Industrie	24.373	Industrieöl
Hydrauliköle		80.093	Industrieöl
Elektroisolieröle		11.803	Industrieöl
Maschinenöle		25.814	Industrieöl
Andere Industrieöle nicht zum Schmieren		57.627	-
Prozessöle	gesamt	117.334	-
	technische Weißöle	20.551	-
	medizinische Weißöle	41.594	-
Metallbearbeitungsöle	gesamt		
	Härteöle	2.460	-

Sortengruppe	Spezifizierung	t	Einordnung
	wassermischbare	27.995	Emulsionen
	nicht wassermischbare	31.902	Industrieöl
	Korrosionsschutzöle	5.336	Industrieöl
Schmierfette	gesamt	30.086	-
	darunter für KFZ	7.841	-
Basisöle	-	28.566	Industrieöl
Extrakte aus der Schmierölraffination	-	2.965	-
Insgesamt	-	814.213	-

In der Spalte „Einordnung“ mit „-“ gekennzeichnete Sortengruppen werden bei der Berichterstattung der in Verkehr gebrachten Mengen nicht berücksichtigt.

Quelle für Mengen der Inlandsablieferung: (BAFA 2020)

Anhang VI des Durchführungsbeschlusses (EU Kommission 2019) sieht vor, dass eine Berichtigung der iVgM um Exportverluste und Importgewinne durch insbesondere Fahrzeugimporte und -exporte erfolgt. Diese Korrektur wird bei der Datenübermittlung jedoch nicht an dieser Stelle vorgenommen.

Die Import-Export-Korrektur wird durch die angesetzten Rücklaufquoten (vgl. hierzu Abschnitt 3.2) berücksichtigt. Dies betrifft insbesondere Motor- und KFZ-Getriebeöle. Aber auch bei Hydraulikölen werden Exportverluste in der Rücklaufquote berücksichtigt. Dies ist in der Tabelle zur Datenübermittlung in Fußnote 1 angemerkt. In diesem Zusammenhang ist auch festzustellen, dass die als „Default“ vorgeschlagenen Rücklaufquoten, welche aus der Studie Jepsen et al. (2016) stammen, ebenfalls diese Korrektur beinhalten. Eine Korrektur bei den iVgM würde also zu einer doppelten Berücksichtigung führen. Entsprechend werden die Mengen zur Inlandsablieferung an Schmierstoffen aus der BAFA Statistik hier ohne weitere Anpassungen übernommen.

Ergebnis

Die entsprechenden Daten zur Datenübermittlung sowie die zugehörige Fußnote finden sich in Abbildung 12.

Abbildung 12: Berichterstattung zu „1: Oils placed on the market“

	1		
	Oils placed on the market ⁵		
	(t)	Standard footnotes	Explanatory footnote
Engine and gear box oils ¹	357.200		1 Based on
Industrial oils ²	213.210		1 Based on
Industrial oils (emulsions only) ³	27.995		1 Based on
Oil and concentrates from separation ⁴			

1 Based on BAFA data. The data of amounts placed on the market has not been adapted considering export losses of lubricant oils (e.g. export of lubricant oils within passenger cars) and import gains (e.g. imports of lubricant oils within passenger cars). This correction is included in the return rates which are applied to calculate waste oil return. Also in the provided default values for return rates this correction is included based on the situation in Germany (Ökopöl 2016, 2022).

Quelle: Ökopöl. Screenshot der ergänzten Excel Vorlage

4.2 Altölrücklauf

Unter Punkt (2) sind die Trockenmengen des Altölrücklaufs zu berichten. Diese werden auf Basis der iVgM für das Jahr 2020 (auf Basis der BAFA Statistiken zur Inlandsablieferung von Schmierstoffen) unter Verwendung der aktualisierten Rücklaufquoten (vgl. hierzu Abschnitt 3.2 bzw. 3.2.13) berechnet (hierzu entsprechend Fußnote 2 (Explanatory Footnote) in der Kommissionstabelle).

Hierbei ist zu beachten, dass die in Abschnitt 3.2 durchgeführte Aktualisierung der Rücklaufquoten für das Rückrechnenmodell das Bezugsjahr 2019 hat. Grundsätzlich kann bei den Rücklaufquoten davon ausgegangen werden, dass diese für einige Jahre nach dem Bezugsjahr eine hinreichend genaue Berechnungsgrundlage darstellen. Speziell 2020 ist jedoch aufgrund der Corona Pandemie in Bezug auf Export- und Importaktivitäten ein besonderes Jahr. Für Motoröle sowie für KFZ und ATF Getriebeöle wird daher eine Aktualisierung auf Basis der Import- und Exportaktivitäten in 2020 vorgenommen. Da die finalen Statistiken zu den Fahrzeugimporten und -exporten (Stückzahlen) noch nicht vorliegen, wird hier näherungsweise über die Eurowerte vorgegangen. Durch geringere Exportaktivitäten fallen die entsprechenden Verluste geringer und die Rücklaufquoten höher aus. Die angepassten Rücklaufquoten sind in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Anpassung der Rücklaufquoten für 2020

Schmierstoffsorte	Rücklaufquote – Basis 2019	Rücklaufquote angepasst für 2020
Motoröle	61,6%	66,2%
KFZ und ATF Getriebeöle	86,5%	88,2%

Die entsprechenden Daten zur Datenübermittlung sowie die zugehörige Fußnote finden sich in Abbildung 13.

Abbildung 13: Berichterstattung zu „2: Waste oil generated“

	2			
	Waste oil generated ⁶ (dry oil)			
	(t)	Standard footnotes	Explanatory footnote	
Engine and gear box oils ¹	256.788		2	Calculated
Industrial oils ²	140.668		2	Calculated
Industrial oils (emulsions only) ³	13.158		2	Calculated
Oil and concentrates from separation ⁴				

2 Calculated based on amounts placed on the market and return rates specific for the situation in Germany as determined in a study in 2022.

Quelle: Screenshot der ergänzten Excel Vorlage

4.3 Getrennt gesammelte Altöle

Anhang VI des Durchführungsbeschlusses sieht vor, dass für a) Motor- und Getriebeöle und b) Industrieöle unter (3) die getrennt gesammelte Menge, sowie unter (4) die ausgeführte und (5) eingeführte Menge, jeweils inkl. Wasseranteil und trocken, zu berichten sind.

Hier werden die Daten der Abfallstatistik von Destatis herangezogen⁹. Diese unterscheidet jedoch nicht in (Altöl aus) Motor- und Getriebeölen und Industrieölen sondern schlüsseln nach Abfallschlüsseln auf.

Das Guidance-Dokument der Kommission zur Datenübermittlung (EU KOM 2022) sieht folgende Zuordnung von Abfallschlüsseln zu den Berichtskategorien vor (Tabelle 35):

Tabelle 35: Vorgeschlagene Zuordnung von Abfallschlüsseln zu Berichtskategorien

Kategorie	Abfallschlüssel	Beschreibung
Motor- und Getriebeöle	13 02 04*	chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
	13 02 05*	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
	13 02 06*	synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
	13 02 07*	biologisch leicht abbaubare Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
	13 02 08*	andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
Industrieöle	12 01 06*	halogenhaltige Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)
	12 01 07*	halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)
	12 01 10*	synthetische Bearbeitungsöle
	12 01 19*	biologisch leicht abbaubare Bearbeitungsöle
	13 01 09*	chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis

⁹ Tabelle aus Datenbank genesis online. Tabellenummer 32111-0002.

Kategorie	Abfallschlüssel	Beschreibung
	13 01 10*	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis
	13 01 11*	synthetische Hydrauliköle
	13 01 12*	biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle
	13 01 13*	andere Hydrauliköle
	13 03 06*	chlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 13 03 01 fallen
	13 03 07*	nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis
	13 03 08*	synthetische Isolier- und Wärmeübertragungsöle
	13 03 09*	biologisch leicht abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle
	13 03 10*	andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle
Nicht zugeordnet	13 01 01*	Hydrauliköle, die PCB enthalten
	13 03 01*	Isolier- und Wärmeübertragungsöle, die PCB enthalten
Industrieöle (nur Emulsionen)	12 01 08*	halogenhaltige Bearbeitungsemulsionen und -lösungen
	12 01 09*	halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen
	13 01 04*	chlorierte Emulsionen
	13 01 05*	nichtchlorierte Emulsionen
	13 08 02*	andere Emulsionen
Öle und Konzentrate	19 02 07*	Öl und Konzentrate aus Abtrennprozessen

Zuordnung nach EU KOM (2022)

Diese Zuordnung entspricht jedoch nicht der Entsorgungspraxis in Deutschland. Sowohl Motor- und Getriebeöle als auch verschiedene Schmierstoffsorten der Industrieöle werden den gleichen Abfallschlüsseln zugeordnet (vgl. Abbildung 14). Insbesondere unter dem Abfallschlüssel 13 02 05* werden zahlreiche Sortengruppen gesammelt.

Abbildung 14: Zuordnung von Sortengruppen zu Abfallschlüsseln

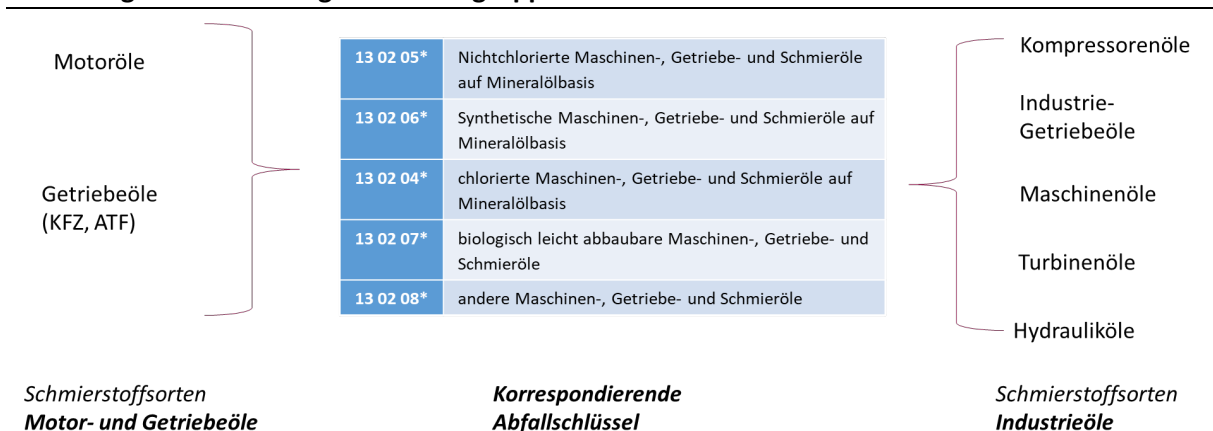


Abbildung: Ökopool

Aufgrund der Erfahrungen aus diesem und den Vorgängergutachten und gestützt durch die Berechnungen im Berechnungsmodell wird für die fünf in Abbildung 14 aufgeführten Abfallschlüssel eine Aufteilung von Motor- und Getriebeölen zu Industrieölen von 73:27 (entsprechend dem rechnerischen Mengenverhältnis der genannten Schmierstoffsorten auf Basis der Ergebnisse des Rückrechenmodells) angenommen.

Neben der Abfallmengen inklusive Wassergehalt ist eine Spalte für die Trockenmengen angelegt. Die Trockenmengen der getrennt erfassten Altöle werden standardmäßig nicht über Annahmen zum Wassergehalt berechnet, sondern werden automatisch berechnet als

- Importmenge
- + Menge in energetischer Verwertung
- + Menge in stofflicher Verwertung/ Aufbereitung
- + Menge in Beseitigung
- Exportierte Menge

Diese Berechnung führt dazu, dass die getrennt gesammelten Altölmengen (trocken) exakt den in der Tabelle berichteten Verwertungsmengen und Import-Export-Mengen entsprechen. Hierdurch wird eine Genauigkeit suggeriert, die sich in der Praxis jedoch nicht wiederfindet.

Neben eventuellen Ungenauigkeiten in den statistischen Daten sind die (an den anderen Stellen) angenommenen Wasseranteile mit Unsicherheiten verbunden. Zudem gibt es neben den berücksichtigten Abfallschlüsseln weitere, die ölhaltige Abfälle beinhalten, so wie beispielsweise Bilgenöle oder ölverschmutzte Betriebsmittel.

Vor diesem Hintergrund wird für die Trockenmengen der getrennt gesammelten Altöle nicht die vorgegebene automatische Berechnung genutzt. Stattdessen werden die entsprechenden Felder entsperrt und es erfolgt eine Eingabe der auf Basis der Abfallstatistik errechneten Trockenwerte. Hierzu werden folgende Wassergehalte für die einzelnen Abfallschlüssel genutzt:

Tabelle 36: Angenommene Wassergehalte nach Abfallschlüsseln

Abfallschlüssel	Erläuterung	Angenommener Wasseranteil
EAV-120106-G	halogenhaltige Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)	4,1%
EAV-120107-G	halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)	15,0%
EAV-120108-G	Halogenhaltige Bearbeitungsemulsionen u. -lösungen	90%
EAV-120109-G	Halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen	90%
EAV-120110-G	synthetische Bearbeitungsöle	7,2%
EAV-130101-G	Hydrauliköle, die PCB enthalten	9,4%
EAV-130104-G	Hydrauliköle: Chlorierte Emulsionen	90%
EAV-130105-G	Hydrauliköle: Nichtchlorierte Emulsionen	90%
EAV-130109-G	chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	7,1%

Abfallschlüssel	Erläuterung	Angenommener Wasseranteil
EAV-130110-G	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	4,00%
EAV-130111-G	synthetische Hydrauliköle	-
EAV-130112-G	biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle	5,5%
EAV-130113-G	andere Hydrauliköle	.
EAV-130204-G	chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	6,0%
EAV-130205-G	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	9,5%
EAV-130206-G	synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,2%
EAV-130207-G	biologisch leicht abbaubare Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	-
EAV-130208-G	andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	9,5%
EAV-130301-G	Isolier- und Wärmeübertragungsöle, die PCB enthalten	0,3%
EAV-130306-G	chlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 13 03 01 fallen	-
EAV-130307-G	nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis	1,0%
EAV-130308-G	synthetische Isolier- und Wärmeübertragungsöle	0,1%
EAV-130309-G	biologisch leicht abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle	-
EAV-130310-G	andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle	0,1%
EAV-130506-G	Öle aus Öl-/Wasserabscheidern	51,8%
EAV-130701-G	Heizöl und Diesel	23,6%
EAV-130802-G	Ölabfälle: Andere Emulsionen	90%
EAV-190207-G	Öl und Konzentrate aus Abtrennprozessen	23,4%

Quellen: (Sander et al. 2006; Jepsen et al. 2016; EU KOM 2022) sowie Befragung des BVA und Ergebnisse der Analytik (vgl. Abschnitt 2.4)

Die entsprechenden Daten zur Datenübermittlung sowie die zugehörige Fußnote finden sich in Abbildung 15.

Abbildung 15: Berichterstattung zu „3: Separately collected waste oils“

5	6	3					
		Separately collected ⁷ waste oils					
7		Including water (t)	Standard footnotes	Explanatory footnote	Dry oil ¹⁴ (t)	Standard footnotes	Explanatory footnote
8	Engine and gear box oils ¹	268.165		3 Deviating	242.888		7 Not
9	Industrial oils ²	188.652		3 Deviating	168.419		7 Not
10	Industrial oils (emulsions only) ³	509.500		4 Based on	58140		8 Calculated
11	Oil and concentrates from separation ⁴	123.600		9 Based on	99361,4		8 Calculated

3	Deviating from the guidance document for waste codes 13 02 04, 13 02 05, 13 02 06, 13 02 07 and 13 02 08, a split of 73:27 for engine and gearbox oils to industrial oils is assumed. This split better reflects the prevailing disposal practice in Germany.
4	Based on Destatis (Federal Statistical Office of Germany) data. In accordance with the guidance document, the following waste codes have been included here: 12 01 08, 12 01 09, 13 01 04, 13 01 05, 13 08 02.
7	Not calculated automatically but calculated based on the separately collected amounts and specific water content per waste code.
8	Calculated automatically.
9	Based on Destatis statistics (Federal Statistical Office of Germany).

Quelle: Ökopol. Screenshot der ergänzten Excel Vorlage

4.4 Ausfuhr von Altölen

Für die Zuordnung von Sortengruppen zu Abfallschlüsseln gelten die Ausführungen von Abschnitt 4.3. Die Mengen (inklusive Wassergehalt) sind aus den Statistiken zur grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen verfügbar.

Die Trockenmengen wurden auf Basis der Wassergehalte wie in Tabelle 36 dargestellt berechnet.

Die Daten für die Berichterstattung sowie die zugehörigen Fußnoten finden sich in Abbildung 16.

4.5 Einfuhr von Altölen

Für die Zuordnung von Sortengruppen zu Abfallschlüsseln gelten die Ausführungen von Abschnitt 4.3. Die Mengen (inklusive Wassergehalt) sind aus den Statistiken zur grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen verfügbar.

Die Berechnung der Trockenmengen erfolgt für „engine and gear box oils“ und „industrial oils“ anhand der Wassergehalte aus Tabelle 36, für „industrial oils (emulsions only)“ sowie „oil and concentrates from separation“ anhand der Default Wassergehalte von EU KOM (2022).

Die Daten für die Berichterstattung sowie die zugehörigen Fußnoten finden sich in Abbildung 16.

Abbildung 16: Berichterstattung zu „4: Exported waste oils“ und „5: Imported waste oils“

Country: Germany													
Reference year: 2020		4						5					
		Exported ⁹ waste oils						Imported ⁹ waste oils					
		Including water (t)	Standard footnotes	Explanatory footnote	Dry oil ¹⁴ (t)	Standard footnotes	Explanatory footnote	Including water (t)	Standard footnotes	Explanatory footnote	Dry oil ¹⁴ (t)	Standard footnotes	Explanatory footnote
	Engine and gear box oils ¹	7.762		9 Based on	7.030		11 Calculated	168.842		9 Based on	152.928		11 Calculated
	Industrial oils ²	12.925		9 Based on	11.539		11 Calculated	67.888		9 Based on	60.606		11 Calculated
	Industrial oils (emulsions only) ³	0		9 Based on	0			1.100		9 Based on	110,00		10 Calculated
	Oil and concentrates from separation ⁴	0		9 Based on	0			27.100		9 Based on	20.759		10 Calculated

9	Based on Destatis statistics (Federal Statistical Office of Germany).
10	Calculated using default water content.
11	Calculated using specific water content per waste code.

Quelle: Ökopol. Screenshot der ergänzten Excel Vorlage

4.6 Mengen der Aufbereitung

Unter Punkt 6 sind Inputmengen in die Aufbereitung zu berichten. Aufbereitete Altölmengen (Mengen aus Zweitraffination) sind aus den BAFA-Statistiken entnehmbar. Auf Basis dieser Mengen wird unter Anwendung der ermittelten Ausbeutefaktoren (vgl. Abschnitt 3.3) der Input in die Aufbereitung errechnet. Bei dem errechneten Input wird wiederum nicht zwischen Motor- und Getriebeölen und Industrieölen differenziert. Hier wird eine Aufteilung analog zur Mengenverteilung von Motor- und Getriebeölen zu Industrieölen im Altölrücklauf angenommen. Das entsprechende Mengenverhältnis beträgt 1,85:1.

Die entsprechenden Daten zur Datenübermittlung sowie die zugehörige Fußnote finden sich in Abbildung 17.

Abbildung 17: Berichterstattung zu "6: Regeneration" und "7: Other recycling"

	6						7					
	Regeneration ¹⁰			Other recycling ¹¹			Regeneration ¹⁰			Other recycling ¹¹		
	Including water (t)	Standard footnote	Explanatory footnote	Dry oil ¹⁴ (t)	Standard footnote	Explanatory footnote	Including water (t)	Standard footnote	Explanatory footnote	Dry oil ¹⁴ (t)	Standard footnote	Explanatory footnote
Engine and gear box oils ¹				260.197	9	Based on				38.320	9	Based on
Industrial oils ²				142.535	9	Based on				20.992	9	Based on
Industrial oils (emulsions only) ³	0		9	Based on	0	9	Based on	0		0		
Oil and concentrates from separation ⁴	0		9	Based on	0	9	Based on	0		0		

9 Based on Destatis statistics (Federal Statistical Office of Germany).

Quelle: Ökopol. Screenshot der ergänzten Excel Vorlage

4.7 Sonstiges Recycling

Die Datenermittlung zu „sonstiges Recycling“ erfolgt analog zu Punkt 6 (Regeneration). Die entsprechenden Daten zur Datenübermittlung sowie die zugehörige Fußnote finden sich in Abbildung 17.

4.8 Energetische Verwertung

Datengrundlage für die energetische Verwertung ist die Destatis Abfallstatistik (Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre, Anlagenart, Abfallarten; *Tabelle 32111-0004*). Bezüglich der relevanten Größen gelten hier die Ausführungen von Abschnitt 3.5: Relevant sind die Daten zu Inputmengen von Altölen verschiedener Abfallschlüssen in thermische Abfallbehandlungsanlagen, in Feuerungsanlagen sowie in chemisch-physikalische Behandlungsanlagen. Die Inputmengen von Altölen in thermische Abfallbehandlungsanlagen und in Feuerungsanlagen können direkt als Mengen für die energetische Verwertung übernommen werden, wobei diese Mengen um den Wassergehalt zu bereinigen sind. Bei den CP-Anlagen sind nicht die Input-Mengen, sondern die Output-Mengen zu betrachten. Die Outputs an Altölen aus den CP-Anlagen gehen überwiegend in die energetische Verwertung, zu einem kleineren Teil auch in die Aufbereitung und die Beseitigung, was in der Abfallstatistik entsprechend ausgewiesen wird.

Für die Aufteilung auf Motor- und Getriebeölen sowie Industrieölen wird das Verhältnis von 73:27 herangezogen, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben.

Die entsprechenden Daten zur Datenübermittlung sowie die zugehörige Fußnote finden sich in Abbildung 18.

Abbildung 18: Berichterstattung zu "8: Energy recovery" und "9: Disposal"

	8						9					
	Energy recovery ¹² (RI)						Disposal ¹³					
	Standard footnote	Explanatory footnote	Dry oil ¹⁴ (t)	Standard footnote	Explanatory footnote	Including water (t)	Standard footnote	Explanatory footnote	Dry oil ¹⁴ (t)	Standard footnote	Explanatory footnote	
Engine and gear box oils ¹			28.961						0	9	Based on	
Industrial oils ²			33.232					0	9	Based on		
Industrial oils (emulsions only) ³		9	Based on	11.090	10	Calculated	0	9	Based on	0	9	Based on
Oil and concentrates from separation ⁴		9	Based on	69.654	10	Calculated	0	9	Based on	0	9	Based on
9	Based on Destatis statistics (Federal Statistical Office of Germany).											
10	Calculated using default water content.											

Quelle: Ökopol. Screenshot der ergänzten Excel Vorlage

4.9 Beseitigung

Eine Beseitigung fand im Bezugsjahr nicht statt. Die entsprechenden Daten zur Datenübermittlung sowie die zugehörige Fußnote finden sich in Abbildung 18.

4.10 Behandlung von Altölen

In *Tabelle 2 (table 2)* der KOM Tabelle sind Daten zur Behandlung von Altölen bzw. zu Outputmengen von Aufbereitung und sonstigem Recycling zu berichten. Entsprechende Daten sind Teil der BAFA Statistik (Amtliche Mineralölstatistik; siehe nachfolgende Tabelle 37).

Tabelle 37: Outputmengen der Zweitraffination

Mineralölprodukte	Aufkommen aus Zweitraffination in 2020 [t]	Anmerkung bzgl. Datenübermittlung
Rohbenzin	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Ottokraftstoff	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Benzinkomponenten	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Dieselmotorkraftstoff	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Heizöl, leicht	15.816	Berücksichtigung unter "Light fuel oil" – "material that are to be used as fuels"
Mitteldestillatkomponenten	4.136	Berücksichtigung unter "Destillate fuel oil" - "material that are to be used as fuels"
Heizöl, schwer	131.567	Berücksichtigung gemeinsam mit "HS-Komponenten" als "Heavy fuel oil" - "material that are to be used as fuels"
HS-Komponenten	34.103	Berücksichtigung gemeinsam mit "Heizöl, schwer" als "Heavy fuel oil" - "material that are to be used as fuels"

Mineralölprodukte	Aufkommen aus Zweitraffination in 2020 [t]	Anmerkung bzgl. Datenübermittlung
Flüssiggas	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Raffineriegas	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Spezialbenzin	8.118	Berücksichtigung unter "Other material that are to be used as fuels"
Testbenzin	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Flugbenzin	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Flugturb.Kraftst.,leicht	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Flugturb.Kraftst.,schwer	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Andere Leuchtöle	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Basisöl	217.583	Berücksichtigung unter „Regeneration“ als „Other (base oils)“
weitere Schmierstoffe	36.138	Berücksichtigung unter „Other recycling“ als „other lubricants“
Bitumen	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Petrolkoks	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Wachse,Paraffine,Vaseline	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Andere Rückstände	0	(keine zu berücksichtigenden Mengen)
Gesamtmenge	447.461	(Gesamtmenge)

Quelle für Mengen: (BAFA 2020)

Basisöle werden in der BAFA Statistik nicht differenziert nach Gruppe 1-4 ausgewiesen. Die Menge von Basisölen aus Zweitraffination wird entsprechend unter „Regeneration“ - „other“ berichtet. Unter „other recycling“ wird die Produktion sonstiger Schmierstoffe aus Zweitraffination ausgewiesen. Die weiteren Produkte der Zweitraffination werden unterhalb von „material to be used as fuels“ berichtet wie in Tabelle 37 dargestellt.

Die entsprechenden Daten zur Datenübermittlung sowie die zugehörige Fußnote finden sich in Abbildung 19.

Abbildung 19: Berichterstattung zu „Reporting data on the treatment of waste oil“ (table 2)

Country: Germany							
Reference year: 2020							
Section 1		2		3		4	
Type of output from recovery	Regeneration ¹			Other recycling			Energy recovery or reprocessing into materials that are to be used as fuels (including regenerated oils used as fuel)
	(t)	Standard footnotes	Explanatory footnote	(t)	Standard footnotes	Explanatory footnote	(t) Standard footnotes Explanatory footnote
Regenerated base oil – group I ^{2,3}			12: Different base oil groups				
Regenerated base oil – group II ⁴			12: Different base oil groups				
Regenerated base oil – group III ²			12: Different base oil groups				
Regenerated base oil – group IV ⁴			12: Different base oil groups				
Recycled products ⁷ (specify)							
Fuel products for off-site energy recovery – Light fuel oil							15.816,00 13 Based on BAFA data.
Fuel products for off-site energy recovery – Distillate fuel oil							4.136,00 13 Based on BAFA data.
Fuel products for off-site energy recovery – Heavy fuel oil							165.670,00 13 Based on BAFA data.
Fuel products for off-site energy recovery – Recovered fuel oil							0,00 13 Based on BAFA data.
Fuel products for off-site energy recovery – Processed fuel oil							0,00 13 Based on BAFA data.
On-site energy recovery ⁸							0,00 13 Based on BAFA data.
Other	253.721,00		5: Base oil. Based on BAFA	36138			8118
[specify: 'other']				36.138,00		6: Other lubricants. Based on	8.118,00 14 Special fuel
[specify: 'other']							
[specify: 'other']							
5	Base oil. Based on BAFA data.						
6	Other lubricants. Based on BAFA data.						
12	Different base oil groups reported aggregated as "base oil" under "others".						
13	Based on BAFA data.						
14	Special fuel ("Spezialbenzin"). Based on BAFA data.						

Quelle: Ökopol. Screenshot der ergänzten Excel Vorlage

4.11 Zusammenfassende Bewertung zur Datenübermittlung

Anhand des Berechnungsmodells und der verfügbaren Statistiken von BAFA und Destatis (Abfallstatistik) lassen sich die zur Übermittlung notwendigen Daten erheben. Das Vorgehen hierzu ist im Einzelnen in den vorherigen Abschnitten 4.1 bis 4.10 beschrieben. Hierbei sind – teilweise in Abweichung zu den KOM Angaben zur Datenübermittlung – beim Vorgehen insbesondere folgende Punkte zu beachten:

- ▶ Es ist (vgl. Abschnitt 4.2) zu beachten, dass bei Verwendung der aktualisierten Rücklaufquoten (vgl. Abschnitt 3.2.13) wie auch bei Verwendung der Default-Rücklaufquoten keine Import-Export-Korrektur bei den Motorölen und KFZ-Getriebeölen zu erfolgen hat, da diese bereits in den Rücklaufquoten angelegt ist.
- ▶ Abweichend von den Vorgaben der KOM ist zu beachten, dass teilweise keine eindeutige Zuordnung von Abfallschlüsseln zu Schmierstoffsortengruppen möglich ist.
- ▶ Als Default ist in der KOM Tabelle angelegt, dass alle getrennt gesammelten Altölmengen (trocken) exakt den in der Tabelle berichteten Verwertungsmengen und Import-Export-Mengen entsprechen. Hier wird empfohlen, stattdessen die auf Basis der Abfallstatistik errechneten Trockenwerte einzugeben.

Die errechneten und eingegebenen Mengen ergeben insgesamt ein weitgehend stimmiges Bild. Auffällig ist jedoch, dass die errechnete Menge gesammelter Alt-Industrieöle mit 168.410 t die aus dem Berechnungsmodell übernommene Menge erzeugter Alt-Industrieöle von 140.668 t übersteigt. Dies lässt sich jedoch aufklären: Im Berechnungsmodell (auch im Default Ansatz der KOM Tabelle) wird anhand der jährlichen Inverkehrbringung die Abfallmenge berechnet. Dies stellt jedoch nur eine grobe Näherung dar, da Industrieöle in vielen Anwendungen tatsächlich Jahre in der Nutzung verbleiben. Bei konstanter wirtschaftlicher Entwicklung ist dieser Ansatz hinreichend genau. Im betrachteten Jahr 2020 mit den wirtschaftlichen Herausforderungen der Corona-Pandemie stößt dieser Ansatz jedoch an seine Grenzen. Während die Abfallmenge wie in

der Abfallstatistik dokumentiert Abfallmengen aus mehreren vergangenen Jahren enthält, ist der Absatz neuer Industrie-Öle in 2020 zurückgegangen. Entsprechend ergibt sich die beschriebene Differenz.

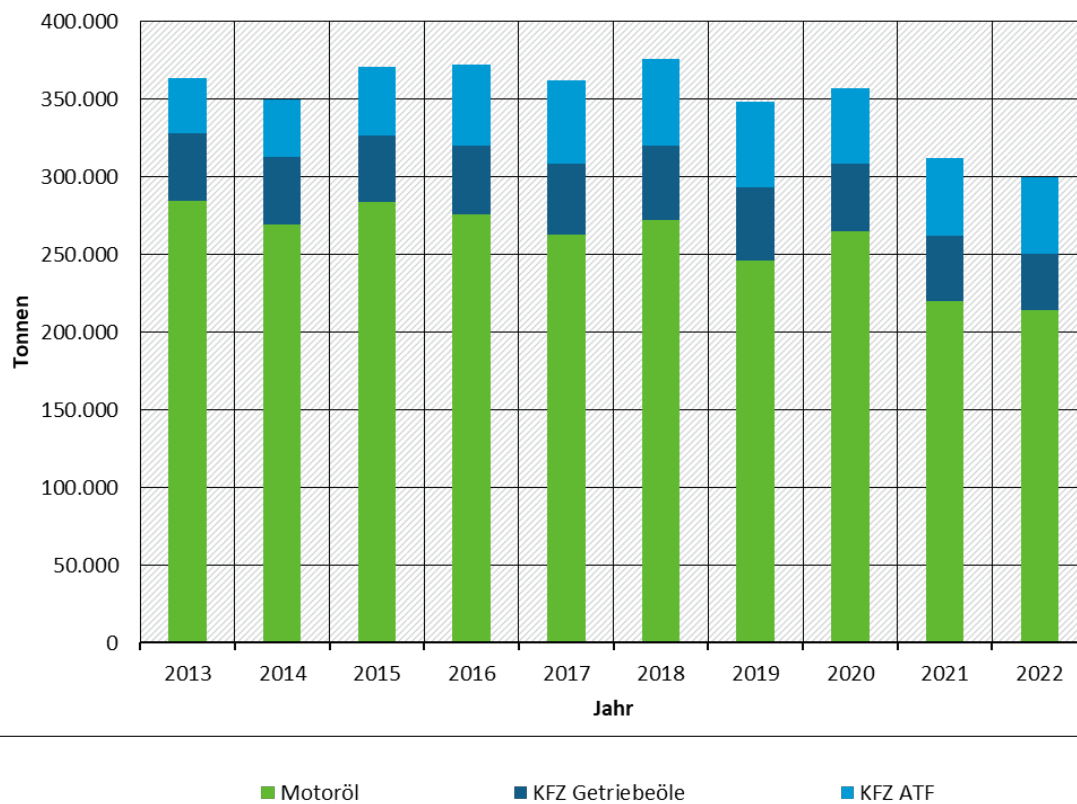
5 Zukünftige Trends: Veränderungen des Altölaufkommens

In diesem Arbeitspaket wird der Blick auf die Veränderungen des Altölaufkommens retrospektiv in den letzten fünf Jahren sowie perspektivisch in der näheren Zukunft bis 2030 geworfen. Hierbei geht es sowohl um mengenmäßige Trends als auch um Veränderungen der Altölqualität (Zusammensetzung, Additivierung, Verunreinigungen). Es wird bei der Betrachtung analog zu den vorherigen Betrachtungen grundsätzlich zwischen KFZ Motor- und Getriebeölen und Industrieölen unterschieden.

5.1 Motor- und Getriebeöle

Ein wesentlicher Indikator für das mengenmäßige Altölaufkommen aus Motor- und Getriebeölen ist der Inlandsabsatz dieser Öle. Die Betrachtung der Zeitreihe des Inlandsabsatzes (siehe Abbildung 20) zeigt in den letzten Jahren einen rückläufigen Trend. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass dies Corona-Jahre 2020 und 2021 umfasst, in denen auch die Neuzulassung von Fahrzeugen stark rückläufig war. In den Jahren davor ist der Inlandsabsatz jeweils um den Wert 350.000 t geschwankt.

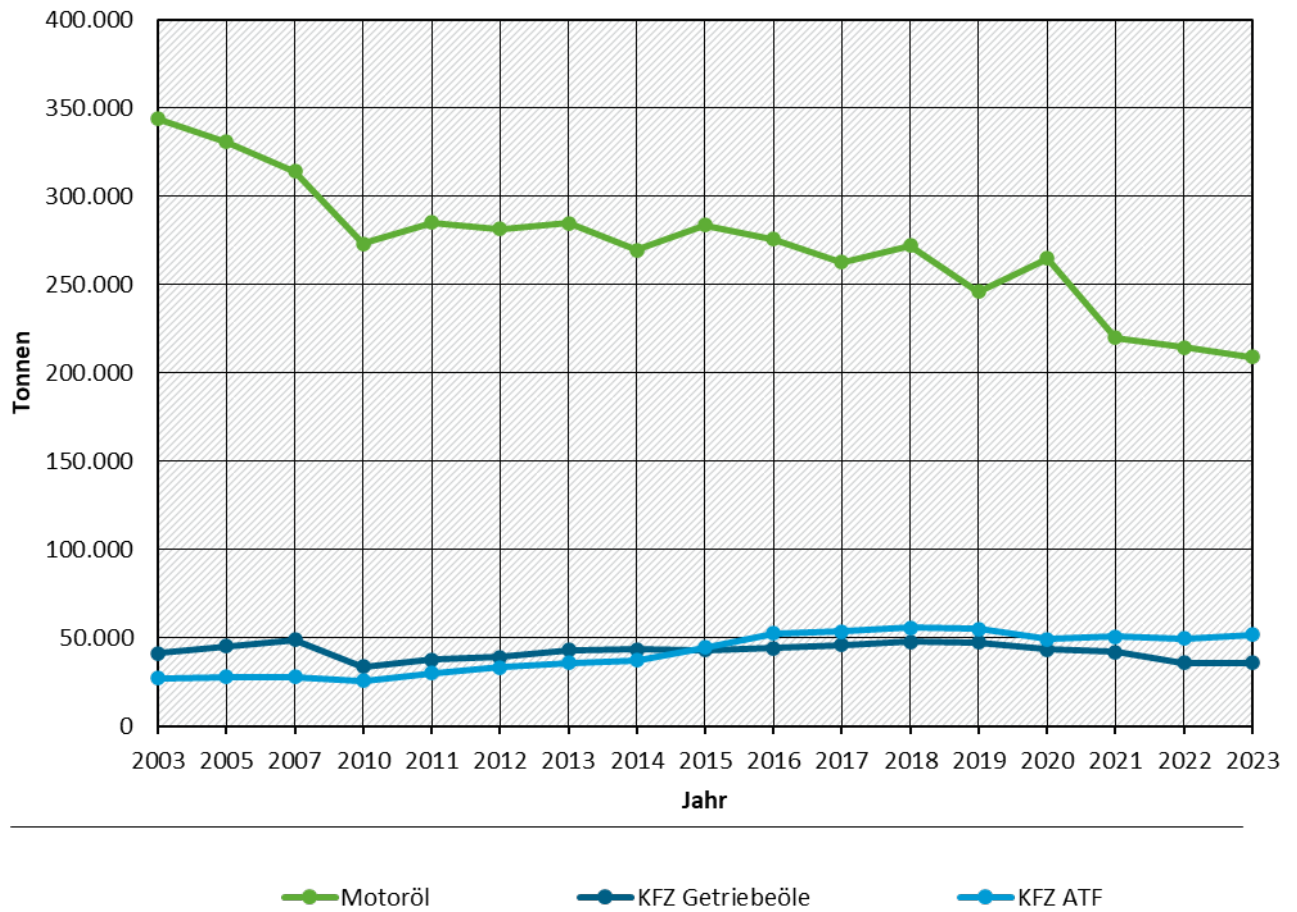
Abbildung 20: Inlandsabsatz von Motor- und Getriebeölen



Quelle: BAFA Amtliche Mineralölstatistik

Wird eine längere Zeitreihe der Inverkehrbringung herangezogen, wird der rückläufige Trend deutlicher:

Abbildung 21: Inverkehrbringung von Motor- und (KFZ) Getriebeölen

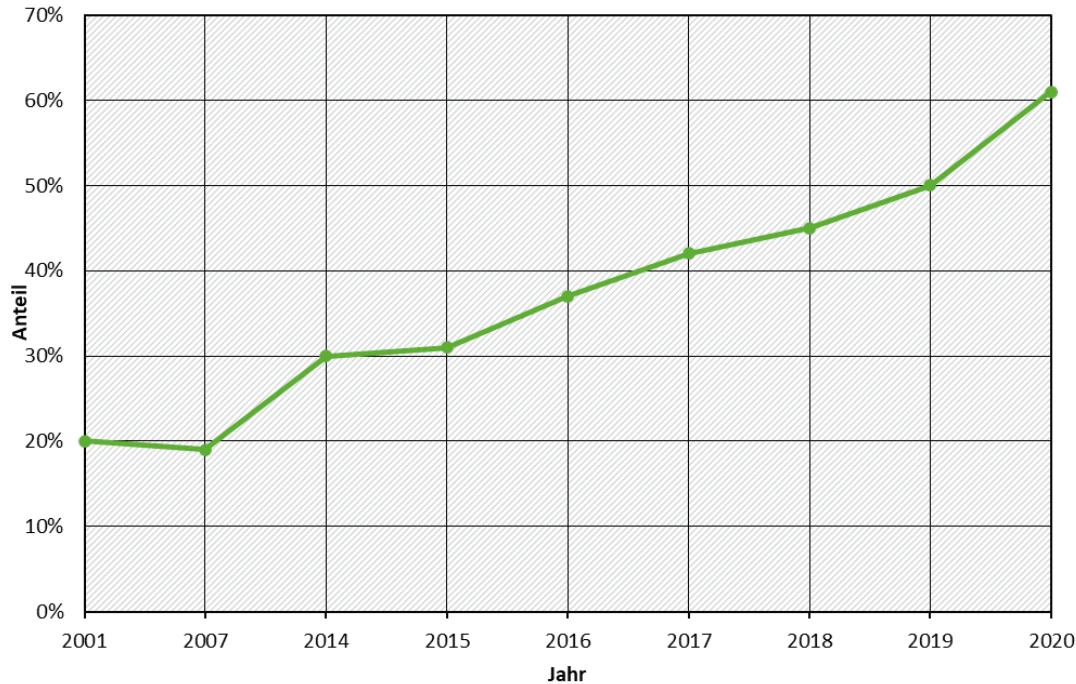


Quelle: BAFA Amtliche Mineralöldata

Hierbei zeigt sich auch die relativ deutliche Zunahme des Absatzes von Automatikgetriebeöle (ATF Öle). Diese resultiert aus der deutlichen Zunahme des Anteils von Automatikgetrieben am Markt (siehe Abbildung 22). Der Anteil von Neuwagen mit Automatikgetriebe hat sich auf dem deutschen Markt etwa verdreifacht zwischen 2001 und 2020, von etwa 20 % auf rund 60 %. Eine weitere Fortsetzung dieses Trends erscheint wahrscheinlich. Ein kontinuierlich wachsender Anstieg des Anteils von Neuwagen mit Automatikgetrieben zeigt sich in allen EU-Ländern (ICCT 2024). In Schweden betrug in 2020 der Anteil von Neuwagen mit Automatikgetrieben bereits 86 %. Da Automatikgetriebe eine höhere Füllmenge als Schaltgetriebe aufweisen, resultiert dies nicht in einen 1:1 Ersatz der beiden Ölarten, sondern führt – ohne Berücksichtigung weiterer Faktoren – zu einem geringen Anstieg der Menge. Gegenüber dem Motorölabsatz bleibt diese aber von untergeordneter Rolle.

Abbildung 22: Anteil von Neuwagen mit Automatikgetriebe

auf dem deutschen Markt

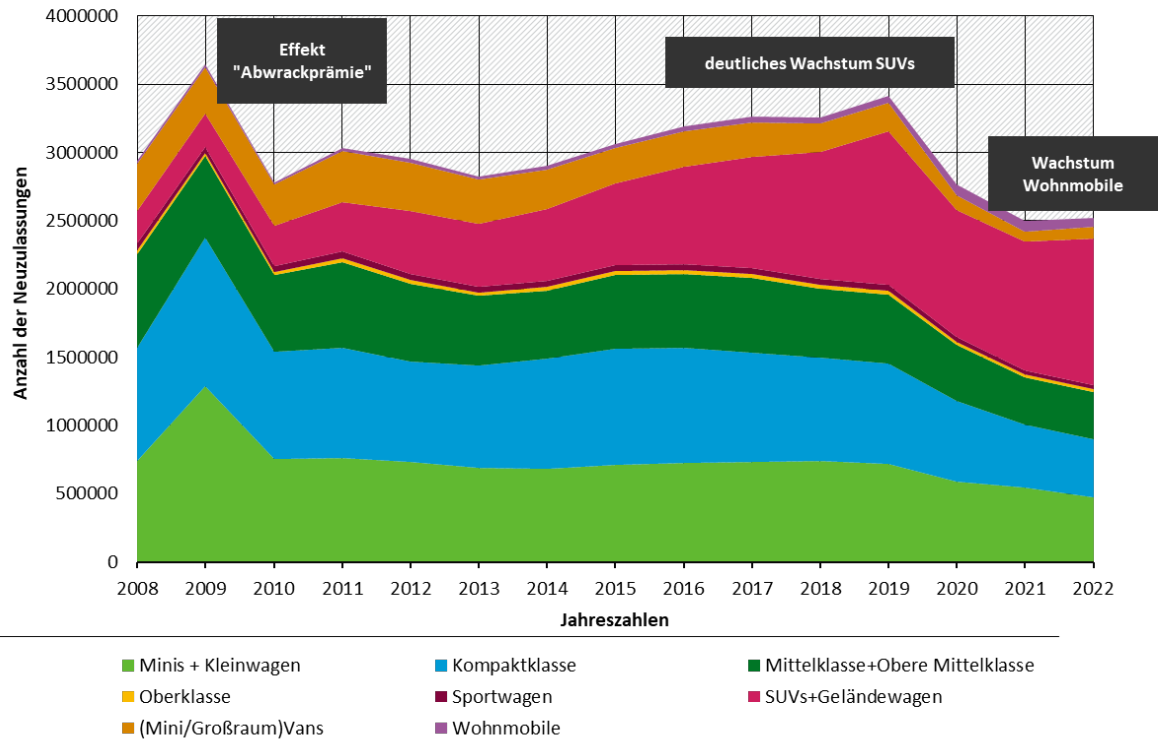


Quelle: ICCT (2024, 2021)

Für einen breiteren perspektivischen Blick auf die nähere Zukunft werden zunächst die Entwicklungen in der Fahrzeugflotte betrachtet. Die Betrachtung der Neuzulassungen zeigt eine deutliche Zunahme des Anteils von SUVs und Geländewagen (vgl. Abbildung 23). In 2019 waren die SUVs erstmals das mengenmäßig relevanteste Fahrzeugsegment. Im Jahr 2022 waren rund 43% der neu-zugelassenen Fahrzeuge SUVs oder Geländewagen. Diese Fahrzeuge weisen höhere Füllmengen an Motor- und Getriebeölen auf (vgl. Ausführungen in Abschnitt 3.2.4 und 3.2.7.1). Hieraus resultiert eine steigende Menge von Motor- und Getriebeölen im Bestand, die perspektivisch zu Altöl wird. Inwieweit dies zu einer wachsenden Altölmenge in Deutschland führen wird, ist jedoch nicht sicher zu beantworten. Auf der einen Seite erhöhen größere Füllmenge die Altölmengen, die pro Fahrzeug bei Ölwechseln anfallen, auf der anderen Seite reduziert sich die Gesamtmenge an Altöl durch längere Ölstandzeiten. Neben in Deutschland durchgeführten Ölwechseln, welche zu entsprechendem Altölanfall führen, ist auch relevant, wo die Verwertung der Altfahrzeuge stattfindet. Der Blick auf die Historie zeigt, dass insbesondere Oberklassefahrzeuge häufig exportiert und nicht in Deutschland verwertet werden (Sander et al. 2017; Zimmermann et al. 2022a). Ob sich ein entsprechender Trend ggf. auch für das Segment der SUVs und Geländewagen entwickeln wird, bleibt abzuwarten.

Abbildung 23: Entwicklung des Anteils verschiedener Fahrzeugsegmente

Jährliche Neuzulassungen Pkw



Quelle: KBA

Ein Blick auf die Neuzulassungen nach Motorisierung bzw. Kraftstoffen zeigt, dass die mengenmäßig lange Zeit vernachlässigbaren Elektrofahrzeuge ab 2020/21 deutlich an Relevanz gewonnen haben (siehe Abbildung 24). Eine Fortsetzung dieser Entwicklung kann bereits in näherer Zukunft einen deutlichen rückläufigen Effekt auf den Bedarf an Motor- und Getriebeöl haben. Perspektivisch wird die Verbreitung von Elektrofahrzeugen erhebliche Auswirkungen auf den Bedarf an Motor- und Getriebeöl haben (Kamchev 2021).

Hierbei ist jedoch festzuhalten, dass auch bei Elektrofahrzeugen weiterhin in einem im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor reduzierten Umfang (etwa 50%) Schmierstoffe zur Schmierung beweglicher Komponenten wie Elektromotor, Rad- und Wälzlager, Getriebe¹⁰ etc. benötigt werden (Shah et al. 2021; Addinol 2020; Zimmermann et al. 2022b), wobei hier keine routinemäßigen Ölwechsel durchzuführen sind; d.h. im Regelfall fällt erst bei der Demontage des Altfahrzeugs Altöl an.

Insbesondere bei der Kraftübertragung vom Elektromotor kommt Schmierstoffen in Elektrofahrzeugen eine wichtige Rolle zur Reduzierung der Reibung und somit zu Erhöhung der

¹⁰ Im Gegensatz zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren haben Elektromotoren ein breites Drehzahlband und bieten ein hohes Drehmoment über einen weiten Bereich. Dies ermöglicht es, dass Elektrofahrzeuge in den meisten Fahrsituationen ohne Getriebe auskommen können.

Einige Elektrofahrzeuge, insbesondere solche mit leistungsstarken Motoren oder speziellen Anforderungen wie Geländetauglichkeit oder Anhängelast, sind jedoch mit einem Getriebe ausgestattet. Diese Getriebe dienen dazu, die Leistung des Elektromotors an die Räder anzupassen und können beispielsweise eine verbesserte Beschleunigung oder eine höhere Höchstgeschwindigkeit ermöglichen. Es gibt auch Modelle mit zwei-Gang-Getrieben, die eine bessere Effizienz bei hohen Geschwindigkeiten bieten können.

Es ist jedoch wichtig anzumerken, dass viele moderne Elektrofahrzeuge ein sogenanntes "einstufiges Getriebe" verwenden, das technisch gesehen kein traditionelles Getriebe ist. Dieses Getriebe besteht aus einer einzigen festen Übersetzung, die die Kraft vom Elektromotor auf die Räder überträgt. Es hat keine schaltbaren Gänge wie ein herkömmliches Getriebe. Diese einfache Bauweise trägt zur Effizienz und Zuverlässigkeit der Elektrofahrzeuge bei.

Effizienz des Elektrofahrzeugs zu (Shah et al. 2021). Hierbei bestünden teilweise deutlich abweichende Anforderungen im Vergleich zu bei Verbrennern eingesetzten Schmierstoffen.

In Motornähe bspw. sei eine niedrige elektrische Leitfähigkeit eine zentrale Anforderung ebenso wie gute Hitzebeständigkeit, eine gute Verträglichkeit mit Kupfer und eine strikte Wasserabscheidung zur Vermeidung von elektrischen Überschlügen (Shah et al. 2021; Addinol 2020). Bestimmte Anforderungen, die an in Verbrennern eingesetzten Öle gestellt werden, wie Kühlung des Motors, die Reinigung von Ablagerungen und die Abdichtung zwischen Kolbenringen und Zylinderwänden fallen hingegen weg.

Eine Marktbetrachtung im Bereich Getriebeöle zeigt, dass sich durchaus Öle finden lassen, die sowohl für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren als auch für bestimmte Elektrofahrzeuge zugelassen sind.

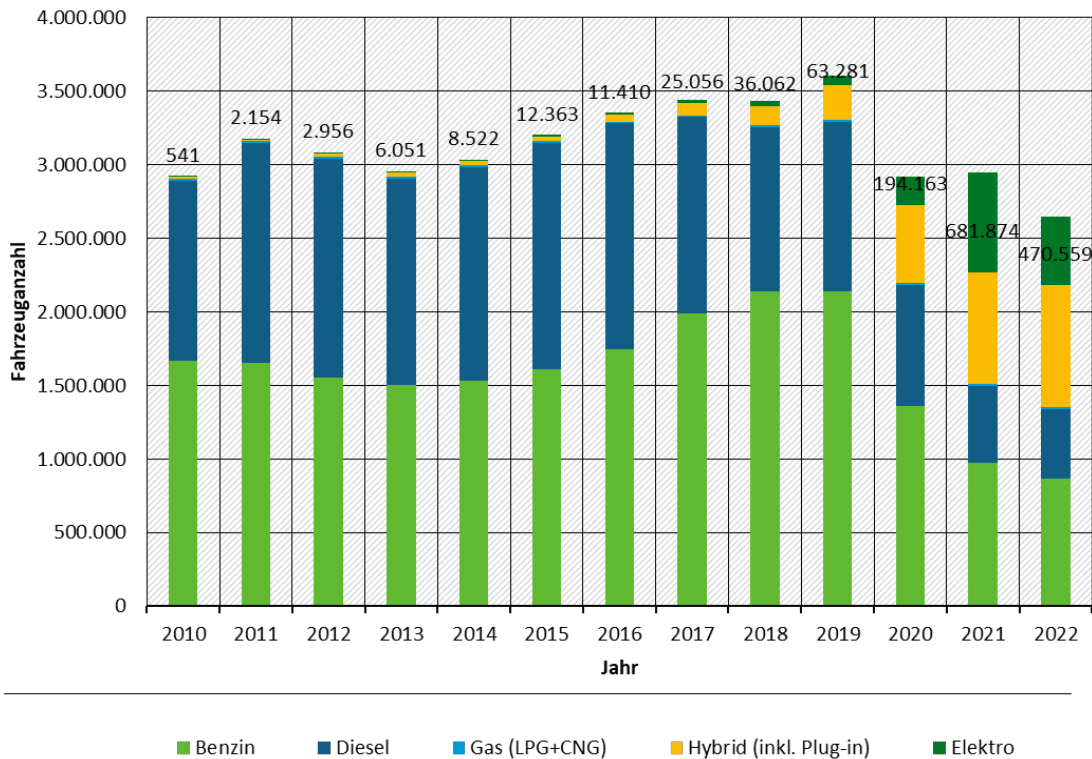
Grundsätzlich stellt sich die Entwicklung im Bereich der Schmierstoffe für Elektrofahrzeuge derzeit noch sehr dynamisch dar und es ist derzeit nicht absehbar, wie die Schmierstoffzusammensetzungen in den nächsten 10 Jahren sich hier entwickeln werden (Shah et al. 2021).

Eine Auswertung mehrerer Sicherheitsdatenblätter für Schmierstoffe für Elektrofahrzeuge zeigt, dass diese (als Altöl) den Abfallschlüsseln 13 02 05* (nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis) und 13 02 08* (andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle) zugeordnet werden, also weiterhin unter Altöle der Sammelkategorie 1 fallen. Trotz der oben beschriebenen dynamischen Entwicklungen lassen sich Stand jetzt keine Anzeichen finden, dass perspektivisch von einer abweichenden Einordnung auszugehen wäre. Gleichwohl gilt es natürlich wie beschrieben die Zusammensetzung zu beobachten.

Eine weitere Entwicklung mit Auswirkung auf das Altölaufkommen ist die zunehmende Standzeit moderner Motoröle. Neben der Motorölqualität tragen hierzu auch Technologien wie Ölgütesensoren, Kaltstartzähler und andere bei (DAT 2018).

Abbildung 24: Neuzulassungen von PKW nach Kraftstoffarten

in den Jahren 2010 bis 2022



Quelle: KBA (2023)

Die einzelnen beschriebenen Trends für Motor- und Getriebeöl sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 38: Zukünftige Trends im Bereich Motor- und Getriebeöle

Entwicklung	Auswirkung in vergangenen 5 Jahren	Auswirkung bis 2030	Fazit
Zunahme SUVs und Geländewagen	Höherer durchschnittlicher Motor- und Getriebeölbedarf pro Fahrzeug; höheres Altölaufkommen pro Fahrzeug	Zunahme der Motor- und Getriebeölmengen im Bestand, die perspektivisch zu Altöl werden. Relevant ist hierbei, ob die Altfahrzeuge in Deutschland zur Verwertung anfallen.	Perspektivischer Rückgang der Altölmengen aus Getriebe- und Motoröl.
Zunahme Elektrofahrzeuge	Reduktion durchschnittlicher Motor- und Getriebeölbedarf pro Fahrzeug; Reduktion Altölaufkommen pro Fahrzeug	Fortlaufende Reduktion der Motor- und Getriebeölmengen und resultierender Altölmengen. Veränderung der Zusammensetzung der Altöle, jedoch voraussichtlich weiterhin Zuordnung zu Sammelkategorie 1.	

Entwicklung	Auswirkung in vergangenen 5 Jahren	Auswirkung bis 2030	Fazit
Erhöhung Standzeit Motoröl	Reduktion Motorölbedarf, Reduktion Altölaufkommen	Reduktion Motorölbedarf, Reduktion Altölaufkommen	

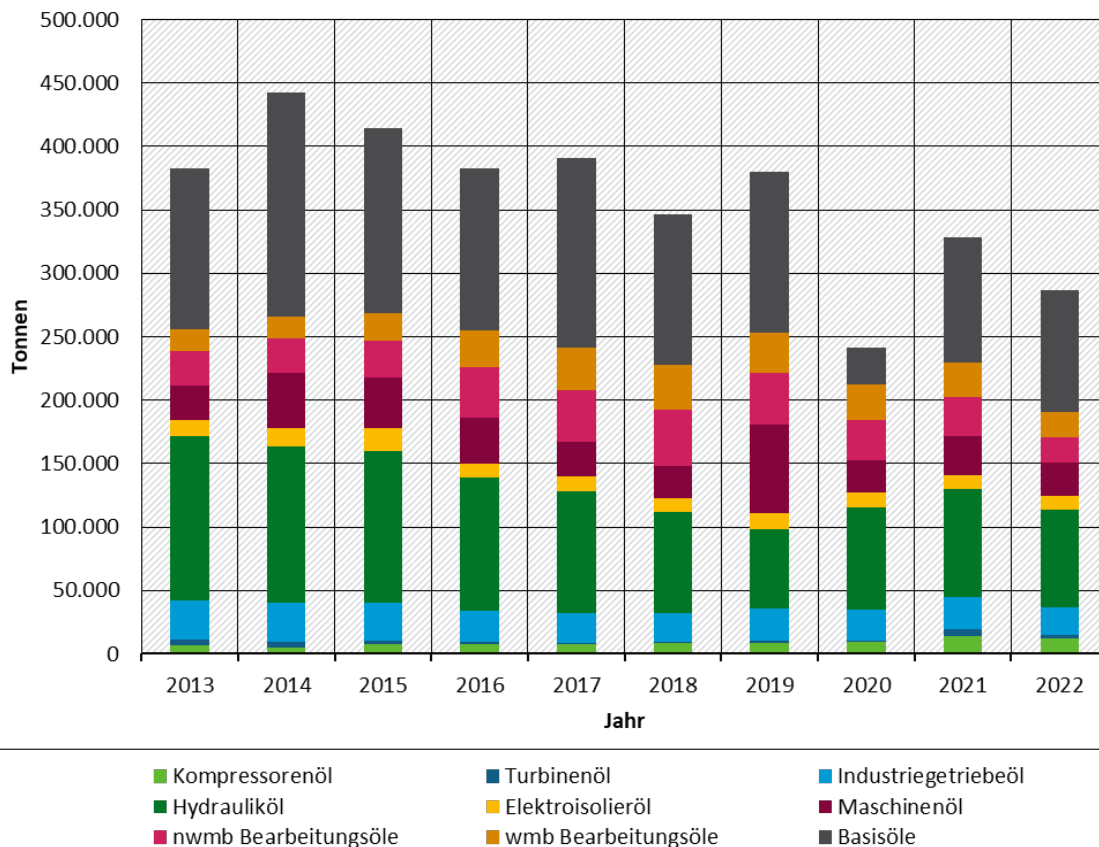
Zusammenstellung durch Ökopool

Die Schlussfolgerung der perspektivisch sinkenden Mengen deckt sich mit Erkenntnissen aus einer kürzlich erschienenen Kommissions-Studie (European Commission: Directorate-General for Environment 2023). Die hier verwendeten Modelle gehen davon aus, dass der Schmierstoffbedarf einer komplett elektrifizierten Fahrzeugflotte etwa 10 % des Bedarfs einer konventionellen Flotte entspricht.

5.2 Industrieöle

Folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Inverkehrbringung von Industrieölen. Insgesamt lässt sich feststellen, dass – mit Ausnahme der Effekte der Corona-Pandemie – keine direkte Kopplung von Schmierstoffverbrauch und Wirtschaftswachstum zu erkennen ist. Trotz tendenziell meist wachsendem BIP lässt sich ein insgesamt fallender Schmierstoffverbrauch beobachten. Gründe hierfür sind Produktionsverlagerungen, Trends zu kleineren Füllmengen und höherwertige Schmierstoffe (Baumgärtel 2020).

Abbildung 25: Entwicklung der Inverkehrbringung von Industrieölen



Quelle: BAFA Amtliche Mineralöldaten

Der Effekte der Corona-Pandemie im Jahr 2020, der neben einem deutlichen Rückgang bei den Maschinenölen insbesondere auf einen Rückgang im Bereich der Basisöle zurückzuführen ist, ist hingegen deutlich zu beobachten.

Über den betrachteten Zeitraum von 2013 bis 2022 sind für die verschiedenen unterschiedenen Schmierstoffsortengruppen folgende Trends zu beobachten:

- ▶ Kompressorenöl: kontinuierliches Wachstum
- ▶ Turbinenöle: Kein eindeutiger Trend. Zunächst Rückgang von 2013 bis 2020. Dann deutliche Zunahme.
- ▶ Industriegetriebeöle: rückläufige Tendenz
- ▶ Hydrauliköle: rückläufige Tendenz
- ▶ Elektroisoleröle: geringfügig rückläufige Tendenz
- ▶ Maschinenöle: kein klarer Trend
- ▶ Bearbeitungsöle: kein klarer Trend

Für Kompressorenöle, eingesetzt in Druckluft-, Gas- oder Kältekompressoren, liegt eine Fortsetzung des beobachteten Wachstums nahe. Für Anwendungsgebiete wie Wärmetauscher, Wärmepumpen, Klimatisierung, etc. ist in den nächsten Jahren von einem weiteren Wachstum auszugehen.

Eine Aussage zu zukünftigen Entwicklungen im Bereich der Turbinenöle erscheint schwierig. Ein – naheliegender Weise – zu vermutender Zusammenhang des Absatzes mit der Neu-Installation von Kraftwerkskapazitäten lässt sich auf Grundlage statistischer Daten (Kraftwerksliste Bundesnetzagentur, Fraunhofer ISF 2023) nicht bestätigen.

Die rückläufige Tendenz im Bereich der Industriegetriebeöle, Hydrauliköle und Elektroisoleröle und die weitere Entwicklung im Bereich der Maschinenöle und Bearbeitungsöle ist insbesondere folgenden Treibern unterworfen:

- ▶ Verbesserung der Schmierstoffqualitäten, die eine Reduktion von Einsatzmengen sowie längere Standzeiten ermöglichen (Möhr 2022; Krethe 2022; Schulz 2022; Baumgärtel 2020; Patnaik et al. 2021).
 - Hierunter fällt die kontinuierliche Weiterentwicklung der Schmierstoffe und Additive entsprechend der jeweiligen Anforderungen der Anwendung. Hierbei sind auch Änderungen im regulativen Umfeld zu beachten, die die Verwendung bestimmter Stoffe/Gemische als Additive ggf. beschränken.
 - In der wissenschaftlichen Literatur kommt der Verwendung von Nanopartikel zur Verbesserung der Schmierstoffeigenschaften – insbesondere hinsichtlich Verschleißschutz und Reibungsreduktion – eine wichtige Rolle zu (Han et al. 2022; Xinghe 2022; Gao et al. 2022).
- ▶ Zunahme alternativer Ansätze der Schmierung, wie Minimalmengenschmierung oder Trockenbearbeitung im Bereich der Metallbearbeitung (Schulz 2022; Herrmann et al. 2017; Weinert 2013).
- ▶ Reduktion des Schmierstoffverbrauchs durch optimiertes Handling (Optimierung des Einsatzes, Pflege, Überwachung): Hier wurden zwar in den vergangenen Jahren

Bemühungen angestoßen, es werden aber weiterhin breite Potenziale gesehen (Cornelius 2022; Baumgärtel 2020; Herrmann et al. 2017; Gosch 2020). Insbesondere auch durch

- Weiterentwicklung der Ansätze zur Ölreinigung im Betrieb: Durch den Einsatz betriebsintegrierter Ansätze zur Ölreinigung sind teilweise deutliche Standzeiterhöhungen möglich (Neumann 2022; Krethe 2020; Gosch 2020)
- Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Ölüberwachung: Öl-(Güte-) Sensoren sind bereits seit einigen Jahren verfügbar. Während in einigen Bereichen die Verbreitung schneller erfolgt, werden andere Bereiche nur langsamer durchdringen. Insgesamt aber nimmt die Verbreitung kontinuierlich zu (Krethe 2020; Gosch 2020).

Über die genannten Punkte hinweg wird deutlich, dass für die Zukunft von weiter steigenden Nutzungsdauern für Industrieöle sowie von tendenziell sinkenden Mengen der Inverkehrbringung ausgegangen werden kann. In Bezug auf Änderungen der Additivierung lassen sich Stand jetzt keine Hinweise finden, dass hieraus negative Auswirkungen auf die Eignung zur Aufbereitung resultieren. Diese werden üblicher Weise in der Re-Raffination vom Grundöl abgetrennt (Bruhnke 2022).

5.3 Zusammenfassendes Fazit zu zukünftigen Trends

Auf Basis der durchgeführten Betrachtungen lässt sich für die beiden unterschiedenen Bereiche, Motor- und Getriebeöle sowie Industrieöle – von perspektivisch sinkenden in Verkehr gebrachten Mengen und hieraus resultierenden Altölmengen ausgehen.

In beiden Bereichen tragen hierzu Entwicklungen der Schmierstoffqualität sowie technische Weiterentwicklungen bei. Im Bereich der Motor- und Getriebeöle ist die Elektrifizierung der Fahrzeugflotte ein weiterer relevanter Treiber der Entwicklung.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die in der Studie erfolgte Überprüfung der Zuordnung von Altölen verschiedener Abfallschlüssel zu Sammelkategorien anhand der Auswertung des BAT-Dokuments zur Abfallbehandlung (Pinasseau et al. 2018), einer Akteursbefragung sowie insbesondere der durchgeführten Altölanalysen hat gezeigt, dass Altöle außerhalb der Sammelkategorie 1 keine systematische Eignung zur Aufbereitung aufweisen. Eine Notwendigkeit zur Anpassung der Zuordnung der Abfallschlüssel zu Sammelkategorien der AltölV ergibt sich entsprechend nicht.

Altöle aus Sammelkategorie 2, hier insbesondere AVV 12 01 07*, zeigten in einzelnen Fällen eine Eignung zur Aufbereitung. Da aber der überwiegende Anteil der Altöle des Abfallschlüssels eine Aufbereitung stören würde, kann keine grundsätzlichen Einsortierung in die SK1 empfohlen werden. Im Einzelfall scheint es eher zielführend, wenn die Abfallerzeuger sich an den Aufbereiter wenden, ob ein spezifisches Altöl (der SK2-4, insbesondere aber SK2, AVV 12 01 07*) für die Aufbereitung in Frage kommt und entsprechend separat gesammelt werden sollte. Dies erscheint insbesondere für einzelne Anfallstellen mit vergleichsweise großen Volumina sinnvoll.

Das Rückrechenmodell zur Ermittlung Altölmengenströme wurde an verschiedenen Stellen überarbeitet. Modellparameter wurden aktualisiert und in Teilen wurde das Modell durch differenziertere Teilmodelle erweitert; so beispielsweise bei den Modellen zur Berechnung des Rücklaufs von Motor- und Getriebeölen. Die Rücklaufquoten aller unterschiedenen Schmierstoffsorten wurden geprüft und soweit erforderlich aktualisiert.

Ergänzend zur Betrachtung der Altölstoffströme anhand des aktualisierten Rückrechenmodells wurden die nun neu geltenden Anforderungen der Berichterstattung an die EU-Kommission geprüft und notwendige Daten-Inputs aus Rückrechenmodell und verfügbaren Statistiken, insbesondere Abfallstatistik, identifiziert. Es hat sich gezeigt, dass sich durch die EU-Datenübermittlung und die Berechnung anhand des Berechnungsmodells teilweise Synergien ergeben, teilweise aber auch unterschiedliche Anforderungen bzw. Unterschiede in der Modellstruktur und Herangehensweise bestehen (so bspw. bzgl. der berücksichtigten in Verkehr gebrachten Schmierstoffe oder der Ermittlung der Mengen der energetischen Verwertung). Entsprechende Unterschiede wurde in diesem Vorhaben identifiziert, aber zunächst wurden weiterhin beide Ansätze verfolgt.

In zukünftigen Studien kann geprüft werden, inwieweit weitere Anpassungen des Berechnungsmodells in Hinblick auf eine weitergehende Synchronisierung mit der EU-Berichterstattung sinnvoll sind. Eine der in diesem Kontext zu diskutierenden Fragen betrifft die (nicht-) Berücksichtigung von Ölen in nicht-Schmierstoffanwendungen wie „andere Industrieöle nicht zum Schmieren“, Prozessöle, Extrakte aus der Schmierölraffination und Härteöle sowie Schmierfette, die in keinen Rücklauf resultieren. In der Systematik der EU-Berichterstattung werden diese nicht mit berücksichtigt, im deutschen Rückrechenmodell hingegen schon. Zu betrachten wäre hinsichtlich dieses Aspekts zukünftig eher die Frage, inwieweit ein Rücklauf anhand der Anwendung kategorisch ausgeschlossen werden kann, als die Verwendung als Schmierstoff. Hinsichtlich Härteöle wurde bspw. festgestellt, dass eine erneute Prüfung möglicher Rückläufe im nächsten Gutachten stattfinden sollte.

Im Zuge der Prüfung der Eignung der verfügbaren Daten für die EU-Berichterstattung hat sich einerseits gezeigt, dass in Deutschland eine Berechnung unter Nutzung der vorhandenen Daten und Parameter in solider Qualität möglich erscheint. Dennoch lassen sich in Bezug auf die statistische Datengrundlage denkbare Verbesserungen feststellen. Hierunter fallen unter

anderem die Unklarheiten bei der Zuordnung von Schmierstoffsorten zu Abfallschlüsseln sowie in Teilen die in der Abfallstatistik berichteten Mengen.

Gleichwohl ist von einer deutlich höheren Datenqualität in Deutschland als in manchen anderen EU-Mitgliedsstaaten auszugehen. Dies wäre bei einer denkbaren Einführung verbindlicher quantitativer Zielvorgaben für die Altölsammlung und -verwertung entsprechend zu berücksichtigen.

Perspektivisch lässt sich aufgrund der absehbaren Mobilitäts- und Technikveränderungen feststellen, dass die steigende Bedeutung der Elektromobilität sowie veränderte Zusammensetzungen von Schmierstoffen und Additiven von geringeren Mengen der Schmierstoffinverkehrbringung und entsprechend geringeren Mengen Altölrücklauf auszugehen ist.

7 Quellenverzeichnis

- Addinol (2020): Brauchen Elektroautos Öl? Online verfügbar unter <https://addinol.de/produkte/automotive-schmierstoffe/oel-elektroautos/>, zuletzt aktualisiert am 28.10.2020, zuletzt geprüft am 23.05.2023.
- AltölV, 16.04.2002, zuletzt geändert 05.10.2020: Altölverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. April 2002 (BGBl. I S. 1368), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 5. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2091) geändert worden ist. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/alt_lv/BJNR023350987.html, zuletzt geprüft am 10.07.2024.
- AutoScout24 (2019): Ölverbrauch beim Auto – Beachtenswertes. In: *AutoScout24*, 26.03.2019. Online verfügbar unter <https://www.autoscout24.de/informieren/ratgeber/kfz-technik/oelverbrauch-beim-auto-beachtenswertes/>, zuletzt geprüft am 06.04.2022.
- BAFA (2020): Amtliche Mineralöl Daten für die Bundesrepublik Deutschland. 2019. Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Online verfügbar unter http://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Mineraloel/mineraloel_node.html.
- Baumgärtel, Stephan (2020): Die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf die Schmierstoffindustrie. In: *Schmierstoff und Schmierung* 1 (2), Artikel., S. 25–29. Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20202.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.
- DIN EN ISO 2719: Bestimmung des Flammpunktes_ - Verfahren nach Pensky-Martens mit geschlossenem Tiegel (ISO_2719:2016_+ Amd_1:2021); Deutsche Fassung EN_ISO_2719:2016_+ A1:2021.
- Bruhnke, Detlev (2022): Reraffinate - Beitrag zur Formulierung von nachhaltigen Schmierstoffen. In: *Schmierstoff und Schmierung* 3, S. 28–33. Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20223.pdf, zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- Cornelius, Michael (2022): Schmierstoffe länger einsetzen. In: *Schmierstoff und Schmierung* 3 (3). Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20223.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.
- DAT (2014): DAT Report 2014. Ostfildern: Deutsche Automobil Treuhand GmbH.
- DAT (2016): DAT Report 2016. Ostfildern: Deutsche Automobil Treuhand GmbH.
- DAT (2018): DAT Report 2018. Ostfildern: Deutsche Automobil Treuhand GmbH.
- DAT (2020): DAT Report 2020. Ostfildern: Deutsche Automobil Treuhand GmbH.
- DEFRA (2006): Review of the fate of lubricating oils in the UK. Hg. v. Report to Department for Environment, Food and Rural Affairs. Online verfügbar unter https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat07/0703280957_Review_of_Fate_Of_Lubricating_Oil_2005_NIR_Issue1_v1.3.1_cd4569rs.pdf, zuletzt geprüft am 09.10.2024.
- Destatis (2022a): Abfallstatistik. Erhebungen der Abfallentsorgung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Wiesbaden.
- Destatis (2022b): Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warenverzeichnis (8-Steller). Wiesbaden.
- ECHA (2023): Substance Information. Substance Infocard Barium Sulfate. Online verfügbar unter <https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.028.896>, zuletzt aktualisiert am 23.04.2023, zuletzt geprüft am 25.07.2023.
- EU KOM (2022): Guidance for the compilation and reporting of data on the placing on the market of mineral and synthetic lubrication and industrial oils and on the treatment of waste oils as required by the Commission Implementing Decision (EU) 2019/1004, Annex VI. Hg. v. European Commission.

EU Kommission (2019): Durchführungsbeschluss (EU) 2019/ 1004 der Kommission - vom 7. Juni 2019 - zur Festlegung der Vorschriften für die Berechnung, die Prüfung und die Übermittlung von Daten über Abfälle gemäß der Richtlinie 2008/ 98/ EG des Europäischen Parlaments und des Rates sowie zur Aufhebung des Durchführungsbeschlusses C(2012) 2384 der Kommission - (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen C(2019) 4114). C(2019) 4114, vom 07.06.2019. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019D1004&from=DA>, zuletzt geprüft am 06.04.2022.

Eurofins (2017): Sources of Barium. Online verfügbar unter <https://testoil.com/data-interpretation/sources-of-barium/>, zuletzt aktualisiert am 23.05.2017, zuletzt geprüft am 25.07.2023.

European Commission: Directorate-General for Environment (2023): Study to analyse lubricant and industrial oil EPR systems and waste oil collection schemes in EU Member States to support measures to increase collection rates: final report. Hg. v. Publications Office of the European Union. Bio Innovation Service; RDC environment; VVA. Brüssel. Online verfügbar unter <https://data.europa.eu/doi/10.2779/948514>, zuletzt geprüft am 09.10.2024.

European Commission: Directorate-General for Environment; Stahl, Hartmut; Merz, Cornelia (2020): Study to support the Commission in gathering structured information and defining of reporting obligations on waste oils and other hazardous waste. Hg. v. European Commission Publications Office. Öko-Institut. Freiburg. Online verfügbar unter <https://data.europa.eu/doi/10.2779/14834>, zuletzt geprüft am 01.04.2020.

DIN EN 14078: Flüssige Mineralölerzeugnisse_ - Bestimmung des Gehaltes an Fettsäuremethylester_(FAME) in Mitteldestillaten_ - Infrarotspektrometrisches Verfahren; Deutsche Fassung EN_14078:2014.

Fraunhofer ISF (2023): Jährlicher Zu- und Rückbau an installierter Netto-Leistung in Deutschland. Online verfügbar unter https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&chartColumnSorting=default&year=-1&expansion=installation_decommission&download-format=application%2Fxlsx, zuletzt aktualisiert am 29.10.2023, zuletzt geprüft am 01.11.2023.

Gao, Qiulong; Liu, Shuwen; Hou, Kaiming; Li, Zhangpeng; Wang, Jinqing (2022): Graphene-Based Nanomaterials as Lubricant Additives: A Review. In: *Lubricants* 10 (10), S. 273. DOI: 10.3390/lubricants10100273.

KrWG, 24.02.2012, zuletzt geändert 02.03.2023: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/BJNR021210012.html>, zuletzt geprüft am 15.07.2024.

Geyer, R.; Kuczenski, B.; Henderson, A.; Zink, T. (2013): Life cycle assessment of used oil management in California. Report produced for California Department of Resources Recycling and Recovery. Donald Bren School of Environmental Science and Management, University of California. Santa Barbara, CA, USA.

Gosch, Jürgen (2020): Kühlschmierstoff-System automatisch überwachen und steuern. In: *Schmierstoff und Schmierung* 1 (3). Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20203.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.

Han, Kun; Zhang, Yujuan; Song, Ningning; Yu, Laigui; Zhang, Pingyu; Zhang, Zhijun et al. (2022): The Current Situation and Future Direction of Nanoparticles Lubricant Additives in China. In: *Lubricants* 10 (11), S. 312. DOI: 10.3390/lubricants10110312.

Herrmann, Christoph; Madanchi, Nadine; Winter, Marius; Öhlschläger, Gerlind; Greßmann, Alexander; Zettl, Elisabeth et al. (2017): Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands: Wassermischbare Kühlschmierstoffe. Hg. v. VDI Zentrum Ressourceneffizienz. Berlin. Online verfügbar unter https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/Studie_Kuehlschmierstoffe_barrierefrei.pdf, zuletzt geprüft am 13.04.2022.

ICCT (2021): European Vehicle Market Statistics. Pocketbook 2020/21. Hg. v. Sonsoles Diaz, Peter Mock und International Council on Clean Transportation Europe (ICCT). Berlin. Online verfügbar unter <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/12/ICCT-EU-Pocketbook-2021-Web-Dec21.pdf>, zuletzt geprüft am 09.10.2024.

ICCT (2024): European Vehicle Market Statistics. Pocketbook 2023/24. Hg. v. International Council on Clean Transportation Europe (ICCT). Berlin. Online verfügbar unter https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/01/Pocketbook_202324_Web.pdf, zuletzt geprüft am 06.09.2024.

Jepsen, Dirk; Zimmermann, Till; Sander, Knut; Wagner, Jörg (2016): Erhebung der Struktur des Altölsammelmarktes und Optimierungspotenziale für bessere Altölqualitäten im Kontext der Abfallhierarchie. Hg. v. Umweltbundesamt. Ökopol Institut für Ökologie und Politik; Intecus. Dessau-Roßlau.

Kamchev, Boris (2021): EVs Forecast to Cut Engine Oil Demand. Online verfügbar unter https://www.lubesngreases.com/lubereport-emea/4_45/evs-forecast-to-cut-engine-oil-demand/, zuletzt aktualisiert am 09.11.2021, zuletzt geprüft am 28.02.2022.

Kline & Company (2007): Lubricant Consumption and Used Oil Generation in California: A Segmented Market Analysis. Part II: Collectable Used Oil Availability in California, 2000-2011. Hg. v. CalRecycle. Sacramento, CA, USA.

Kline & Company (2012): Lubricant Consumption and Used Oil Generation in California: A Segmented Market Analysis. Part II: Collectable Used Oil Availability in California, 2000-2011. published 03/03/2015. Hg. v. CalRecycle. Sacramento, CA, USA. Online verfügbar unter <https://www2.calrecycle.ca.gov/Publications/Download/1130?opt=dln>, zuletzt geprüft am 09.10.2024.

KOM (2020): Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf, zuletzt geprüft am 04.10.2020.

KOM (2023): Kreislaufwirtschaft für mineralische und synthetische Schmieröle und die Bewirtschaftung von industriellem Altöl in der EU. Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. COM(2023) 670 final. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52023DC0670>, zuletzt geprüft am 05.09.2024.

Krethe, Rüdiger (2020): Ölüberwachung - quo vadis? In: *Schmierstoff und Schmierung* 1 (2). Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20202.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.

Krethe, Rüdiger (2022): Grundöle - Rückfrat moderner Schmierstoffe. In: *Schmierstoff und Schmierung* 3 (3). Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20223.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.

Kuczenski, Brandon; Geyer, Roland; Henderson, Ashley; Zink, Trevor (2012): Used Oil Management in California. Coupling Material Flows and LCA. Presentation at LCA XII - 26 Sep 2012. University of California, Santa Barbara. Santa Barbara, CA, USA.

Kuczenski, Brandon; Geyer, Roland; Zink, Trevor; Henderson, Ashley (2014): Material flow analysis of lubricating oil use in California. In: *Resources, Conservation and Recycling* 93, S. 59–66. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.10.001.

DIN ISO 3733: Mineralölerzeugnisse und bituminöse Bindemittel_ - Bestimmung des Wassergehaltes_ - Destillationsverfahren (ISO_3733:1999).

DIN EN 12766-1, 11/2000: Mineralölerzeugnisse und Gebrauchtöle_ - Bestimmung von PCBs und verwandten Produkten_ - Teil_1: Trennung und Bestimmung von ausgewählten PCB_Congeneren mittels

Gaschromatographie_(GC) unter Verwendung eines Elektroneneinfang-Detektors_(ECD); Deutsche Fassung EN_12766-1:2000.

DIN EN 12766-2, 12/2001: Mineralölerzeugnisse und Gebrauchttöle_- Bestimmung von PCBs und verwandten Produkten_- Teil_2: Berechnung des Gehaltes an polychlorierten Biphenylen (PCB); Deutsche Fassung EN_12766-2:2001.

DIN EN ISO 6245: Mineralölerzeugnisse_- Bestimmung der Asche (ISO_6245:2001); Deutsche Fassung EN_ISO_6245:2002.

DIN EN ISO 8754: Mineralölerzeugnisse_- Bestimmung des Schwefelgehaltes_- Energiedispersive Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie (ISO_8754:2003); Deutsche Fassung EN_ISO_8754:2003.

Möhr, Sönke (2022): 20 Minuten mit Dr. Sönke Möhr. In: *Schmierstoff und Schmierung* 3 (3). Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20223.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.

Nehlsen (2023): Anlagentechnik: Chemisch-phys. Behandlung- Nehlsen AG. Online verfügbar unter <https://www.nehlsen.com/recycling-entsorgung/anlagen/chemisch-physikalische-behandlung>, zuletzt geprüft am 14.09.2023.

Neumann, Till Gerrit (2022): RecondOil: SKF-Technologie hält Industrieöle in der Kreislaufwirtschaft. In: *Schmierstoff und Schmierung* 3 (3). Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20223.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.

Patnaik, Amar; Singh, Tej; Kukshal, Vikas (Hg.) (2021): *Tribology in Materials and Manufacturing - Wear, Friction and Lubrication*: IntechOpen.

Pinasseau, Antoine; Zerger, Benoit; Roth, Joze; Canova, Michele; Roudier, Serge (2018): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control. Hg. v. JRC. Sevilla.

DIN 51750-2, 12/1990: Prüfung von Mineralölen; Probenahme; Flüssige Stoffe.

DIN 51435: Prüfung von Mineralölerzeugnissen_- Bestimmung des Siedeverlaufs_- Gaschromatographisches Verfahren.

DIN 51577-4, 11/2023: Prüfung von Mineralöl-Kohlenwasserstoffen und ähnlichen Erzeugnissen_- Bestimmung des Chlor- und Bromgehaltes_- Teil_4: Energiedispersive Röntgenfluoreszenz-Analyse mit Kleinspektrometern.

ARRL, 10.07.2024: Richtlinie 2008/98/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02008L0098-20240218>, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

DIN EN ISO 3675: Rohöl und flüssige Mineralölerzeugnisse_- Bestimmung der Dichte im Labor_- Äräometer-Verfahren (ISO_3675:1998); Deutsche Fassung EN_ISO_3675:1998.

Sander, K.; Wagner, L.; Sanden, J.; Wilts, H. (2017): Entwicklung von Lösungsvorschlägen, einschließlich rechtlicher Instrumente, zur Verbesserung der Datenlage beim Verbleib von Altfahrzeugen. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Ökopoll Institut für Ökologie und Politik. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 50/2017). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-06-08_texte_50-2017_verbleib-altfahrzeuge.pdf, zuletzt geprüft am 09.10.2024.

Sander, Knut; Jepsen, Dirk; Zangl, Stéphanie; Schilling, Stephanie (2006): Stoffstrom- und Marktanalyse zur Sicherung der Altölentsorgung. Hg. v. Umweltbundesamt. Ökopoll Institut für Ökologie und Politik. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 15/06).

Schulz, Joachim (2022): Metallbearbeitungsflüssigkeiten im Wandel der Zeit. In: *Schmierstoff und Schmierung* 3 (4). Online verfügbar unter https://www.vsi-schmierstoffe.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Publikationen/sus20224.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.

Shah, Raj; Gashi, Blerim; González-Poggini, Sergio; Colet-Lagrille, Melanie; Rosenkranz, Andreas (2021): Recent trends in batteries and lubricants for electric vehicles. In: *Advances in Mechanical Engineering* 13 (5). DOI: 10.1177/16878140211021730.

Singh, Gurpreet; Aggarwal, Vivek; Singh, Sehijpal (2020): Critical review on ecological, economical and technological aspects of minimum quantity lubrication towards sustainable machining. In: *Journal of Cleaner Production* 271, S. 122185. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122185.

UBA; BMUV (2021): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2019. Unter Mitarbeit von Regina Kohlmeyer. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) und BMUV. Dessau-Roßlau.

UNEP (2012): Compendium of Recycling and Destruction Technologies for Waste Oils. Hg. v. United Nations Environment Programm (UNEP). Osaka, Japan.

vdz (2020): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie. 2019. Hg. v. Verein Deutscher Zementwerke (VDZ). Düsseldorf. Online verfügbar unter <https://www.vdz-online.de/wissensportal/publikationen/umweltdaten-der-deutschen-zementindustrie-2019>, zuletzt geprüft am 09.10.2024.

Weinert, Klaus (2013): Trockenbearbeitung und Minimalmengenkühlschmierung. Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik. Heidelberg: Springer (VDI-Buch).

Xinghe, Ye (2022): Nanoparticle Additives for Improving Lubricant Performance. In: *Highlights in Science, Engineering and Technology* 17, S. 166–175. DOI: 10.54097/hset.v17i.2580.

Zimmermann, Till; Jepsen, Dirk (2017): Return rates for used lubricant oils in Belgium. Study on Waste Oil Return in Belgium on behalf of Valorlub vzw./asbl. Ökopol Institut für Ökologie und Politik. Hamburg.

Zimmermann, Till; Jepsen, Dirk (2018a): A framework for calculating waste oil flows in the EU and beyond – the cases of Germany and Belgium 2015. In: *Resources, Conservation and Recycling* 134, S. 315–328. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.02.011.

Zimmermann, Till; Jepsen, Dirk (2018b): Entwicklung von Methoden zur Berechnung von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen aus der Verwendung von Schmierstoffen und Wachsen. Projektnummer 85393. Hg. v. Umweltbundesamt. Ökopol Institut für Ökologie und Politik.

Zimmermann, Till; Sander, Knut; Memelink, Robin; Knode, Martin; Freier, Marcel; Porsch, Lucas et al. (2022a): Auswirkungen illegaler Altfahrzeugverwertung. Ermittlung der ökologischen, volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der nicht anerkannten Demontage von Altfahrzeugen und der illegalen Altfahrzeugverbringung sowie Ableitung von Maßnahmen zur Adressierung möglicher Auswirkungen. Hg. v. Umweltbundesamt. Ökopol. Hamburg, Dessau-Roßlau.

Zimmermann, Till; Sander, Knut; Memelink, Robin; Knode, Martin; Freier, Marcel; Porsch, Lucas et al. (2022b): Auswirkungen illegaler Altfahrzeugverwertung. Ermittlung der ökologischen, volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der nicht anerkannten Demontage von Altfahrzeugen und der illegalen Altfahrzeugverbringung sowie Ableitung von Maßnahmen zur Adressierung möglicher Auswirkungen. Hg. v. Umweltbundesamt. Ökopol Institut für Ökologie und Politik; RETEK; TSR. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 129/2022). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_129-2022_auswirkungen_illegaler_altfahrzeugverwertung_0.pdf, zuletzt geprüft am 09.10.2024.