

im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

GEFÄHRDUNG VON GEWÄSSERN DURCH TRANSFORMATOREN- ISOLIERFLÜSSIGKEITEN

24. AUGUST 2020

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Arcadis Schweiz AG, Ifangstrasse 11, 8952 Schlieren

Ansprechpartner: Dr. Veerle Cloet, veerle.cloet@arcadis.com, Tel : 044 732 92 70

Hinweis: Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) erstellt. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhalt

1	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	1
2	DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN	2
2.1	Vorgehen	2
2.2	Verwendete Unterlagen	2
3	ZUSAMMENSTELLUNG DER STOFFDATENBANK	3
3.1	Erhebung der Inhaltstoffe und Additive	3
3.2	Identifikation von Abbauprodukten	4
3.3	Relevante Stoffeigenschaften	4
4	BEURTEILUNG DER ISOLIERÖLE	5
4.1	Anforderungen an leicht wassergefährdende Isolieröle	5
4.2	Methodik Gefährdungsabschätzung	6
5	ERGEBNISSE	6
6	ZUSAMMENFASSUNG	9

Tabellen

Tabelle 1: Zusammenfassung der Karbonsäuren, welche durch Degradation von Isolieröl gebildet werden.	4
Tabelle 2: Einstufung der Produkte gemäss VSE-Empfehlung	5
Tabelle 3: Biologische Abbaubarkeit der Inhaltstoffe, Abbauprodukte und Additive in Isolierölen.	7
Tabelle 4: Übersicht der Produkte und deren Inhaltstoffe mit RQ>1. Für jedes Produkt wird eine Beurteilung über einen möglichen Einsatz in den Grundwasserschutzzonen S2 und S3 vorgenommen (grün: Einsatz unproblematisch, orange: Einsatz nicht möglich)	8

1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

In Transformatorenhäusen garantieren Öle die Isolation der elektrischen Leiter untereinander und gegen die Erde, sowie die Wärmeabfuhr der Anlage. Diese Isolieröle bestehen aus Mineralölen oder Silikonölen, weshalb sie, gemäss dem Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE), als wassergefährdende Stoffe einzustufen sind. Die Empfehlung über den Schutz der Gewässer des VSE beschreibt die Aufstellungsbedingungen für Anlagen mit wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten [1]. Unterschieden wird dabei zwischen schwer und leicht wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten. Zur ersten Gruppe gehören Mineralöle und Silikonöle; Isolierflüssigkeiten, welche die Bedingungen bzgl. Ökotoxikologie, biologische Abbaubarkeit, Säugertoxizität und Organoleptik erfüllen (siehe Anhang B in [1]), gehören zu den leicht wassergefährdenden Stoffen.

Gemäss VSE-Empfehlung ist die Verwendung beider Typen von Isolierflüssigkeiten in der Grundwasserschutzzone S3 erlaubt, sofern die Schutzmassnahmen und die Maximalmenge eingehalten werden. In den Grundwasserschutzzonen S2 und S1 ist gemäss VSE-Empfehlung die Verwendung von Isolierflüssigkeiten jedoch verboten. Beim Ersatz eines Transformators in S2 oder S1 soll deshalb präferentiell ein Trockentransformator installiert werden. Ausnahmegenehmigungen für die Verwendung von leicht wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten in der Zone S2 können, nach Zustimmung des BAFU, durch das Eidgenössische Starkstrominspektorat (ESTI) erteilt werden. Das ESTI stützt sich bei der Beurteilung auf die gewässerschutz- und elektrizitätsrechtlichen Bestimmungen.

Für eine entsprechende Ausnahmegenehmigung ist ein Nachweis zu erbringen, dass von den Isolierflüssigkeiten keine Gefahr für das Trinkwasser ausgeht. Wirtschaftliche Gründe oder Nutzungsinteressen rechtfertigen aus Sicht des Grundwasserschutzes keine Ausnahmen [11]. Zudem ist im Einzelfall der Nachweis zu erbringen, dass eine Lösung mit Betriebsmitteln ohne wassergefährdende Flüssigkeit nicht zumutbar ist.

Ziel dieses Projektes ist eine Gefährdungsabschätzung der 11 häufigsten in der Branche verwendeten Isolierflüssigkeiten, damit abgeschätzt werden kann, inwiefern von diesen Isolierflüssigkeiten in der Grundwasserschutzzone S2 eine potenzielle Gefährdung für das Trinkwasser ausgeht. Diese 11 Produkte wurden vom VSE in einer Liste zusammengefasst [2].

Das generelle Vorgehen besteht aus einer 2-stufigen Beurteilung. In einem ersten Schritt wurden für diese 11 Produkte die Anforderungen des VSE an leicht wassergefährdende Isolierflüssigkeiten verifiziert [1]. Diese Beurteilung berücksichtigt die kurzfristige human- und ökotoxikologische Gefährdung durch die Produkte. Für eine Beurteilung der langfristigen Auswirkungen der wasserlöslichen Inhaltstoffen auf das Trinkwasser, wird in einem zweiten Schritt eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt. Anhand der chemischen und toxikologischen Eigenschaften der Hauptkomponenten, Additive und Abbauprodukte der Isolierflüssigkeiten wurde eine Gefährdungsabschätzung für jedes Produkt durchgeführt. Die Gefährdungsabschätzung wurde für Transformatoren mit Standort in der Grundwasserschutzzone S2 durchgeführt.

2 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

2.1 Vorgehen

In Absprache mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Auflisten der relevanter Inhaltstoffe, sowie der relevanten Abbauprodukte und Additive der vom VSE aufgelisteten Isolierölen, basierend auf Literaturrecherchen, Abklärungen bei Herstellern und Lieferanten (siehe Kapitel 3.1-3.2)
- Zusammenstellung Stoffdaten bez. chemischer Eigenschaften (Wasserlöslichkeit, Sorption am Untergrund), Humantoxizität und Persistenz in der Umwelt (siehe Kapitel 3.3)
- Definition von Freisetzungs- und Expositionsszenarien (siehe Kapitel 4.2)
- Gefährdungsabschätzung für das Trinkwasser ausgehend von Transformatoren in der Grundwasserschutzzone S2 (siehe Kapitel 5)

2.2 Verwendete Unterlagen

Der Bericht stützt sich neben den relevanten gesetzlichen Bestimmungen und technischen Richtlinien auf die folgenden Grundlagen:

- [1] Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE), Empfehlung des VSE über den Schutz der Gewässer bei Erstellung und Betrieb von elektrischen Anlagen mit wassergefährdenden Flüssigkeiten (2006).
- [2] Liste der 11 am häufigsten verwendeten Isolierflüssigkeiten, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (2019)
- [3] Tapan Kumar Saha & Purkait Prithwiraj (Eds.) Transformer Ageing: monitoring and estimation techniques. Wiley-IEEE Press (2017), ISBN: 978-1-119-23996, pp. 500.
- [4] Transformer oil, the main characteristics. GlobeCore, www.globecore.com.
- [5] Meena, R. R., Chaki, S., Khimani, A. J., & Deshpande, M. P. Transformer oil degradation study by chromatography, spectroscopy and dissolved gas analysis. Petroleum & Coal (2018), 60 (5), p. 872-878.
- [6] Ghani, S. A., Muhamad, N. A., Noorden, Z. B. A., Zainuddin, H., & Ambo, N. F. Impact of using antioxidants on the breakdown voltage properties of natural ester insulation oil. International multi-disciplinary graduate conference of Terengganu (2016), p. 533-536
- [7] Amaro, P. S., Pilgrim, J. A., Lewin, P. L., Brown, R. C. D., Wilson, G., & Jarman, P. N. Transformer oil passivation and impact of corrosive Sulphur. The fifth UHVnet Colloquium, University of Leicester, Leicester, United Kingdom, 18-19 Jan 2012, p. 11.
- [8] ECHA Website. <https://echa.europa.eu/de/home> (last visited 21.07.2020)
- [9] US EPA Webseite. <https://semspub.epa.gov/src/document/HQ/200044> (last visited 21.07.2020)
- [10] ChemSpider Website. www.chemspider.com. (last visited 21.07.2020)
- [11] BUWAL, Wegleitung Grundwasserschutz, 2004

3 ZUSAMMENSTELLUNG DER STOFFDATENBANK

3.1 Erhebung der Inhaltstoffe und Additive

Die vom VSE zur Verfügung gestellte Liste enthält die am häufigsten verwendeten Isolieröle auf dem Schweizer Markt. Die chemische Zusammensetzung aller 11 aufgelisteten Produkte wurde mittels Sicherheitsdatenblättern (SDB, Version 2019) erhoben. In den SDB werden die Konzentrationen von Hauptkomponenten und Additiven aufgelistet. Falls die Konzentrationen der Inhaltstoffe $< 0.1 \%^1$ sind, so ist ihre Auflistung im SDB nicht verpflichtet. Auch sind in den Produktdatenblätter weitere technische Spezifikationen des Isolieröls enthalten (z.B. Konzentration der Oxidationsinhibitoren, Schwefelkonzentrationen, Wassergehalt, Säuregehalt, usw.), welche bei der Beurteilung des Öls verwendet werden können. Bei Beurteilungen einer Ausnahmegenehmigung für einen Öltransformator soll der Gesuchsteller das aktuelle Sicherheitsdatenblatt zu den verwendeten Produkten mitliefern. Allfällige Änderungen im SDB im Vergleich zum SDB Version 2019 sollten erläutert werden.

Unter den 11 Produkten befinden sich 2 Produkte, welche synthetische Ester enthalten und ein Produkt, welches aus pflanzlichem Öl (z.B. Sojaöl) besteht. Die Mehrheit der Produkte besteht jedoch aus Mineralölen, welche im Wesentlichen durch Raffination aus Erdöl gewonnen werden. Grundsätzlich sind diese Mineralöle aus gesättigten aliphatischen Kohlenwasserstoffen (Paraffine, 10-15 wt%), gesättigten zyklischen Kohlenwasserstoffen (Naphthene, 60-70 wt%) und ungesättigten zyklischen Kohlenwasserstoffen (Aromaten, 15-20 wt%) aufgebaut. Geringe Mengen Stickstoffverbindungen ($< 0.8 \text{ wt}\%$) und Schwefelverbindungen ($< 1 \text{ wt}\%$) sind ebenfalls vorhanden [3][4]. Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind in den Mineralölen vorhanden und deren Gehalt muss von den Herstellern angegeben werden. Da viele der PAK sehr toxisch sind, wurden die PAK in der Gefährdungsabschätzung explizit betrachtet (siehe Kapitel 4).

Isolierflüssigkeiten werden häufig mit Additiven versetzt, um die Lebensdauer und Wirksamkeit des Isolieröls zu steigern. Zu den wichtigsten Additiven zählen die Schmiermittel, die Inhibitoren und die Metall-Passivatoren [3].

Schmiermittel sind auch Mineralöle, welche aus gesättigten (naphthenischen oder paraffinischen) Kohlenwasserstoffen bestehen und eine geringe Schwefelkonzentration ($< 0.03 \text{ wt}\%$) enthalten. Sie haben generell eine Kettenlänge zwischen C20 und C53.

Um die Oxidation (und somit die Haltbarkeit) der Isolieröle zu verlangsamen (siehe Kapitel 3.2) werden Oxidationsinhibitoren, wie z.B. 2,6-di-tert-butyl-p-cresol (DBPC) oder 2,6-di-tert-butylphenol (DBP), hinzugefügt [6]. Nicht alle Isolieröle enthalten zusätzliche Oxidationsinhibitoren, denn je nach Zusammensetzung enthalten die Mineralöle bereits natürliche schwefelhaltige Oxidationsinhibitoren (z.B. Methylthiophene, Dibenzylsulfide). Isolierflüssigkeiten mit beigefügten Oxidationsinhibitoren werden als «inhibiert» (*inhibited*) bezeichnet, im Gegensatz zu den «nicht-inhibierten» (*uninhibited*) Isolierflüssigkeiten. Sowohl die beigefügten als auch die natürlichen Oxidationsinhibitoren wurden in der vorliegenden Gefährdungsabschätzung berücksichtigt. Die Konzentration der beigefügten Oxidationsinhibitoren wird in den Produktdatenblätter des jeweiligen Produktes angegeben.

Metall-Passivatoren werden hinzugefügt, um Kupferelemente im Transformator vor Korrosion zu schützen. Durch die chemische Bindung zwischen Metall-Passivator und der Kupferoberfläche

¹ Dies gilt für Inhaltstoffe, welche wassergefährdend sind (H400) und/oder eine akute Toxizität (H300) aufweisen.

kann verhindert werden, dass natürliche Schwefelverbindungen im Isolieröl das Kupfer korrodieren. Beispiele von Metall-Passivatoren sind Tolyltriazol, Benzimidazol und Benzotriazol. Als repräsentative Konzentration von Metall-Passivatoren in Isolierölen kann ein Wert von rund 100 ppm angenommen werden [7].

3.2 Identifikation von Abbauprodukten

Die Zusammensetzung eines Isolieröls verändert sich im Verlauf der Betriebsdauer. Bei hohen Temperaturen beschleunigt gelöster Sauerstoff den Abbau des Isolieröls [4]. Die Oxidation der Isolieröle erfolgt in einer Reihe von Reaktionen, zuerst werden Peroxide gebildet, gefolgt von Alkoholen, Aldehyden, Karbonsäuren und Ester Verbindungen [3][5]. Die Zersetzung eines mineralischen Öls findet sowohl durch chemische als auch biologische Prozesse statt. Der Säuregehalt im Isolieröl wird als Indikator für die Qualität bzw. das Alter des Isolieröls verwendet; je höher der Säuregehalt, desto älter das Isolieröl. Der Säuregehalt wird anhand einer Titration mit Potassium Hydroxid (mg KOH pro g Öl) festgestellt. Ab einem Säuregehalt von 0.15 mg KOH/g sollte das Öl gereinigt oder ersetzt werden.

Sowohl kurzkettige als auch langkettige Karbonsäuren kommen im Öl vor. Eine Liste der häufigsten vorkommenden Karbonsäuren findet sich in Tabelle 1. Die kurzkettigen Karbonsäuren sind gut wasserlöslich und biologisch abbaubar, langkettige sind weniger löslich.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Karbonsäuren, welche durch Degradation von Isolieröl gebildet werden.

Isolieröl	Abbauprodukte
Pflanzliche Öle	Stearinsäure, Ölsäure
Mineralöle	Essigsäure, Ameisensäure, Buttersäure, Propionsäure, Azelainsäure, Pelargonsäure, Lävulinsäure, Stearinsäure, Naphthensäure

Weitere Abbauprodukte setzen sich in einem nicht-löslichen Schlamm ab («Sludge»). Dieser Schlamm bildet sich durch Umwandlung der Karbonsäuren zu harzartigen Molekülen, welche weniger löslich sind und somit im Isolieröl akkumulieren. Diese Schlämme wurden aufgrund ihrer geringen Löslichkeit nicht weiter betrachtet.

3.3 Relevante Stoffeigenschaften

Für die identifizierten Stoffe (Inhaltstoffe, Abbauprodukte und Additive) wurden CAS Nummer, chemische Formel, Molgewicht, Wasserlöslichkeit und Feststoff-Wasser Verteilungskoeffizienten (K_{oc}) aufgelistet (siehe Anhang 1).

Im Hinblick auf die Gefährdungsabschätzung ausgehend von Transformatoren in der Grundwasserschutzzone S2 wurden Stoffdaten zur Humantoxizität erfasst. Die Expositionswerte (Derived No Effect Level, DNEL) für langfristige orale Aufnahme der generellen Bevölkerung wurden für die Beurteilung der Humantoxizität verwendet. Liegen die Expositionswerte unterhalb dieser Konzentration besteht keinerlei Gefährdung für die Gesundheit des Menschen. Die Werte für alle Stoffe wurden von der europäischen Chemikalienagentur (ECHA) [8] oder vom amerikanischen Ministerium für Umweltschutz (EPA) [9] übernommen.

Die Beurteilung der Persistenz beziehungsweise der Abbaubarkeit der Stoffe erfolgte basierend auf den standardisierten OECD Tests bezüglich Abbaubarkeit innert 28 Tagen (Test 301/302). Im Grundwasser sind zwar nicht dieselben Bedingungen gegeben, jedoch erlauben die Testresultate einen relativen Vergleich der Abbaubarkeit zwischen den Stoffen. Alle Stoffe wurden anschliessend in drei Gruppen eingeteilt:

- Klasse A: Abbaubarkeit grösser als 70 % (gut biologisch abbaubar)
- Klasse B: Abbaubarkeit 70 % - 20 % (wenig abbaubar)
- Klasse C: Abbaubarkeit kleiner 20 % (nicht oder schlecht abbaubar)

4 BEURTEILUNG DER ISOLIERÖLE

4.1 Anforderungen an leicht wassergefährdende Isolieröle

Die Empfehlung des VSE unterscheidet zwischen schwer wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten und leicht wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten (siehe Kapitel 1). Der Einsatz von beiden Arten von Isolierflüssigkeiten ist gemäss VSE-Empfehlung in der Grundwasserschutzzone S2 verboten, jedoch können Ausnahmen für leicht wassergefährdende Isolierflüssigkeiten beantragt werden. Die von der VSE definierten Anforderungen an leicht wassergefährdende Isolierflüssigkeiten beziehen sich auf die Einstufung gemäss EU-Kriterien² bez. Ökotoxikologie, biologische Abbaubarkeit, (akute) Säugertoxizität und Organoleptik (siehe Anhang B in [1]).

Wendet man die VSE-Anforderungen auf die 11 ausgewählten Produkte an, können 4 Produkte als leicht wassergefährdend eingestuft werden (siehe Tabelle 2). Keines dieser Produkte wurde gemäss CLP Verordnung (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures) klassifiziert, und somit entsprechen diese Produkte den Anforderungen gemäss Anhang B der VSE-Empfehlung. Die verbleibenden 7 Isolierflüssigkeiten sind der Kategorie «schwer wassergefährdende Isolierflüssigkeiten» zuzuordnen (Definition Kategorie, siehe Kapitel 1).

Tabelle 2: Einstufung der Produkte gemäss VSE-Empfehlung

Produkt	Anforderungen Anhang B VSE
Cargill- Envirotemp 200	erfüllt
Cargill- Envirotemp FR3	erfüllt
Midel 7131	erfüllt
BP-Energol JS-A	erfüllt

Der VSE-Empfehlung zufolge könnte somit für diese 4 Produkte (Tabelle 2) eine Ausnahmegenehmigung für die Verwendung in der Grundwasserschutzzone S2 erteilt werden.

Mit dieser Beurteilung wurde die intrinsische Toxizität für Menschen und Wasserorganismen des Produktes, basierend auf den H-Sätzen (Gefahrenhinweise) der ECHA, betrachtet. Die H-Sätze

² In der VSE Empfehlung werden die Einstufungen gemäss Direktive 67/548/EWG, Anhang 6 erwähnt. Diese Direktive wurde jedoch 2008 durch die CLP Verordnung ersetzt (EG Nr 1272/2008 on the classification, labelling and packaging of substances and mixtures).

berücksichtigen allerdings noch kein Expositionsszenario (z.B. Leckage oder Havarie des Öls) und dessen Auswirkung auf das Trinkwasser. Auch die Persistenz und der humantoxikologische Einfluss von Abbauprodukten der Isolieröle auf das Trinkwasser wurde mit der vom VSE empfohlenen Beurteilung nicht bewertet. Mit der nachfolgenden Gefährdungsabschätzung wird das Gefährdungspotential der 11 Produkte auf das Trinkwasser beurteilt (siehe Kapitel 4.2).

4.2 Methodik Gefährdungsabschätzung

Zuerst wurden die wenig bis schlecht biologisch abbaubaren Stoffe (Klasse B und Klasse C, siehe Kapitel 3.3) identifiziert. Bei den biologisch gut abbaubaren Stoffen (Klasse A) kann davon ausgegangen werden, dass diese im Untergrund abgebaut werden, bevor sie die Trinkwasserfassung erreichen. Nur für Stoffe der Klasse B und C wird daher eine Gefährdungsabschätzung gemacht.

Da die Isolieröle und deren Additive sehr wenig wasserlöslich sind, liegen diese Öle im Untergrund (nach Leckage oder Havarie) in Phase vor. Für die vorliegende Gefährdungsabschätzung wird davon ausgegangen, dass beim Eindringen der Isolieröle in den Untergrund die wasserlöslichen Stoffe maximal bis zum Löslichkeitslimit in Lösung gehen. Die Konzentration der wasserlöslichen Stoffe in der Trinkwasserfassung wird für die vereinfachte Gefährdungsabschätzung hier dem Löslichkeitslimit des Stoffes gleichgestellt.

Die maximale Löslichkeit der wasserlöslichen Stoffe in der Trinkwasserfassung werden mit den humantoxikologischen Qualitätsanforderungen (DNEL, langfristige orale Aufnahme) verglichen. Eine Überschreitung der Qualitätsanforderungen führt zu einem Risikoquotienten (RQ) > 1.

5 ERGEBNISSE

Biologische Abbaubarkeit

Wie in Tabelle 3 ersichtlich, sind ungefähr die Hälfte der identifizierten Stoffe (Abbauprodukte, Additive) gut biologisch abbaubar. Dies bedeutet, dass sie bei einem allfälligen Eintrag in den Untergrund zwischen Eintragsort und Betrachtungsort abgebaut werden und somit keine Gefahr für das Trinkwasser darstellen. In den Klassen B und C befinden sich 11 Stoffe, welche mit Ausnahme der natürlichen Oxidationsinhibitoren, in den Additiven vorhanden sind. Produkte, welche kein Mineralöl (und natürliche Oxidationsinhibitoren und PAK) und keine Additive enthalten, können deshalb als gut biologisch abbaubar eingestuft werden.

Die leicht wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten, welche weder Mineralöl noch Additive enthalten, können als gut biologisch abbaubar eingestuft werden und stellen keine Gefahr für das Trinkwasser dar. Sowohl die beiden *Envirotemp* Isolieröle als auch das *Midel 7131* Isolieröl enthalten weder Mineralöl noch Additive und können problemlos in den Grundwasserschutz zonen S2 und Sh eingesetzt werden.

Das leicht wassergefährdende Isolieröl *Energol JS-A* besteht aus Mineralöl, allerdings ohne Additive. Auch wenn die VSE-Empfehlung dieses Produkt als leicht wassergefährdend einstuft, können natürliche Oxidationsinhibitoren allenfalls in *Energol JS-A* vorhanden sein, weshalb nicht ausgeschlossen werden kann, dass eine Gefahr für das Trinkwasser vorliegt. Dies gilt auch für alle schwer wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten, welche weniger gut bis schlecht biologisch abbaubar sind.

Für Produkte mit weniger gut bis schlecht abbaubaren Inhaltstoffen (Klasse B und C) wird durch Berechnung des Risikoquotienten die Gefährdung für das Trinkwasser beurteilt.

Tabelle 3: Biologische Abbaubarkeit der Inhaltstoffe, Abbauprodukte und Additive in Isolierölen.

	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Abbauprodukte	Karbonsäuren Ester		
Schwefelverbindungen	Dimethyl sulphate, Schwefelsäure		
Oxidationsinhibitoren	p-hydroxydiphenylamine, Pyramidone, Pentaerythritol		2,6-di-tert-butyl-p-cresol (DBPC), 2,6-di-tert-butylphenol
Natürliche Oxidationsinhibitoren	2-methylthiophene, 3-methylthiophene	Dibenzothiophen	Dibenzyl disulphide
Metall-Passivatoren	Benzothiazol	Benzimidazol	Benzotriazol, Tolyltriazol
Polyzyklische aromatisch Kohlenwasserstoffe (PAK)			Chryseno[4,5-bcd]thiophene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(e)pyrene, Benzo(a)pyrene

Berechnung des Risikoquotient (RQ)

Für die Inhaltstoffe der Klassen B und C wird zunächst eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt. Sowohl im Fall eines Verlusts von 5 % des Volumens als auch im «worst-case» Szenario (10% Volumenverlust), überschreiten 4 Inhaltstoffe RQ=1. In Tabelle 4 wird für jedes Produkt aufgelistet welche Inhaltstoffe den RQ=1 überschreiten. Von den leicht wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten wird nur *Energol JS-A* beurteilt, da die anderen 3 Produkte keine Mineralöle enthalten und somit keine Inhaltstoffe der Klassen B und C.

Weder die Oxidationsinhibitoren noch die PAK überschreiten in einem der Produkte den RQ=1. Auch für das «worst-case» Szenario mit einem 10%igen Verlust, werden keine Überschreitungen des Risikoquotienten für Oxidationsinhibitoren oder PAK festgestellt.

Von den identifizierten natürlichen Oxidationsinhibitoren (4 Substanzen in Tabelle 3) überschreitet nur Dibenzothiophen RQ=1. Für einen Einsatz in den Gewässerschutzzonen S2 und Sh sind Produkte mit diesem natürlichen Oxidationsinhibitor deshalb nicht zulässig. Ein Einsatz dieser Produkte in den Grundwasserschutzzonen S3 und Smist voraussichtlich möglich, denn aufgrund der grösseren Distanz zur Trinkwasserfassung (mind. 110 m) und dem starken Rückhalt von Dibenzothiophen im Untergrund (Feststoff-Wasser Verteilungskoeffizient, $K_d = 100 \text{ L/kg}$) kann die Konzentration im Abstrom des Transformators reduziert werden. Dibenzothiophen überschreitet den DNEL-Wert nur um einen Faktor 4, weshalb es – je nach Standort und Untergrund - nicht ausgeschlossen ist, dass die Konzentration in der Trinkwasserfassung durch die zusätzlichen Transportdistanz und die entsprechende Verdünnung und Adsorption mindestens um einen Faktor 4 reduziert wird.

Tabelle 4: Übersicht der Produkte und deren Inhaltsstoffe mit RQ>1. Für jedes Produkt wird eine Beurteilung über einen möglichen Einsatz in den Grundwasserschutz zonen S2 und Sh, und S3 und Sm vorgenommen (grün: Einsatz unproblematisch, orange: Einsatz nicht möglich)

Produkt	Natürliche Oxidationsinhibitoren	Metall Passivatoren	Einsatz in S2 und Sh	Einsatz in S3 und Sm ³
Cargill- Envirotemp 200	-	-	ja	ja
Cargill- Envirotemp FR3	-	-	ja	ja
Midel 7131	-	-	ja	ja
BP-Energol JS-A	Dibenzothiophene	-	nein	ja
Nynas- Taurus	Dibenzothiophene	-	nein	ja
Shell-Diala S2 ZU – I	Dibenzothiophene	-	nein	ja
Motorex- Transformatorenöl SEV naphtenbasisch	Dibenzothiophene	-	nein	ja
Ergon Refining- Hyvolt III	Dibenzothiophene	-	nein	ja
Shell Diala S4- ZX-I	Dibenzothiophene	Benzimidazole, Benzotriazole, Tolyltriazol	nein	nein
Nynas- Nytro 4000 X	Dibenzothiophene	Benzimidazole, Benzotriazole, Tolyltriazol	nein	nein
Nynas- Nytro Lyra X	Dibenzothiophene	Benzimidazole, Benzotriazole, Tolyltriazol	nein	nein

Die Auswahl der natürlichen Oxidationsinhibitoren und der Metall-Passivatoren beruht in der vorliegenden Gefährdungsabschätzung auf Literaturrecherchen und kann somit abweichen von der effektiven Zusammenstellung des Öls. Nichtsdestotrotz, zeigt die Gefährdungsabschätzung, dass vor allem Metall-Passivatoren eine mögliche Gefahr für das Trinkwasser darstellen. Von den 4 evaluierten Metall-Passivatoren (siehe Tabelle 3) führen 3 Stoffe der Klassen B und C zur Überschreitung des RQ (Benzimidazol, Benzotriazol und Tolyltriazol). Diese werden im Gegensatz zu Dibenzothiophen im Untergrund nur schwach zurückgehalten ($K_d = 0.5 \text{ L/kg}$), weshalb diese Metall-Passivatoren zu vermeiden sind. Alle Produkte, welche Metall-Passivatoren enthalten, können somit weder in der Grundwasserschutzzone S2 noch in der Grundwasserschutzzone S3 eingesetzt werden.

³ Der Einsatz in den Grundwasserschutzzone S3 und Sm ist ggf. mit einer standortspezifischen Beurteilung zu prüfen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der Gefährdungsabschätzung war es, zu beurteilen, welche der in der Schweiz am häufigsten eingesetzten Isolierflüssigkeiten eine mögliche Gefahr für das Trinkwasser darstellen. Gemäss VSE-Empfehlung ist der Einsatz von leicht wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten in der Grundwasserschutzzone S2 nur in Ausnahmen genehmigungsfähig. Mit der vorliegenden Gefährdungsabschätzung wurden sowohl die leicht wassergefährdenden als auch die schwer wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten bzgl. ihrer potenziellen Gefahr für das Trinkwasser beurteilt.

Basierend auf der vorliegenden Gefährdungsabschätzung können die 11 am häufigsten in der Schweiz eingesetzten Produkte in 3 Gruppen eingeteilt werden. Unproblematisch für die Verwendung in den Grundwasserschutz zonen S2 und Sh sind die 3 leicht wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten, welche aufgrund der biologischen Abbaubarkeit aller Inhaltsstoffe als unkritisch eingestuft werden (*Envirotemp 200*, *Envirotemp FR3* und *Midel 7131*). Mineralöl-basierte Produkte ohne Metall-Passivatoren enthalten den natürlichen Oxidationsinhibitor Dibenzothiophen. Diese Produkte können voraussichtlich, dank der hohen Adsorption von Dibenzothiophen am Feststoff des Untergrunds, in den Grundwasserschutz zonen S3 und Sm eingesetzt werden. Eine standortspezifische Beurteilung ist ggf. für diese Mineralöle durchzuführen. Die verbleibenden schwer wassergefährdenden Isolierflüssigkeiten, welche Metall-Passivatoren enthalten, sollten weder in den Grundwasserschutz zonen S2 und Sh noch in den Grundwasserschutz zonen S3 und Sm eingesetzt werden.

Die Projektleiterin



Dr. Veerle Cloet

Arcadis Schweiz AG



Dr. Michael Ochs

Schlieren, 24. August 2020

Projekt: CH0119.000124_BAFU - Beurteilung der Gefährdung von Gewässern durch Transformatoren-Isolierflüssigkeiten

Arcadis Schweiz AG hat diese Untersuchung unter Einsatz ihres besten professionellen Könnens und in Übereinstimmung mit allgemein anerkannten Grundsätzen ausgeführt. Die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen im Untersuchungsbericht stützen sich auf die der Arcadis Schweiz AG zum Zeitpunkt der Berichtverfassung vorliegenden Informationen. Diese Erkenntnisse und Schlussfolgerungen können nicht unüberprüft auf zukünftige Verhältnisse übertragen werden.

