



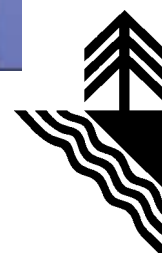
SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 354

Umweltgefährdende
Stoffe



Kurzkettige
chlorierte
Paraffine

Stoffflussanalyse



Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL

**SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 354**

**Umweltgefährdende
Stoffe**

**Kurzkettige
chlorierte
Paraffine**

Stoffflussanalyse

Avec résumé en français
Con riassunto in italiano
With summary in English

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL
Bern, 2003**

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
(BUWAL)

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

Autoren

Roman Bolliger, Anke Randegger-Vollrath

Zitiervorschlag

BOLLIGER R., RANDEGGER-VOLLRATH A.
(2003): Kurzkettige Chlorierte Paraffine – Stofffluss-
analyse. Schriftenreihe Umwelt Nr. 354. Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 96 S.

Begleitung BUWAL

Eduard Back
Hans Hosbach
Georg Karlaganis
Hans-Peter Saxer
Andreas Weber

Titelfotos

BUWAL/Docuphot

Bezug

BUWAL
Dokumentation
CH-3003 Bern
Fax + 41 (0) 31 324 02 16
docu@buwal.admin.ch
www.buwalshop.ch

Bestellnummer / Preis:

SRU-354-D / CHF 12.– (inkl. MWSt)

© BUWAL 2003 7.2003 600 94555/176

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	6 Toxizität für die Umwelt und den Menschen	72
Vorwort	7	6.1 Aquatische Lebewesen	72
Zusammenfassung	9	6.2 Terrestrische Lebewesen	73
Résumé	11	6.2.1 Akute Toxizität	73
Riassunto	13	6.2.2 Haut- und Augenirritationen	73
Summary	15	6.2.3 Chronische Toxizität	73
1 Ausgangslage	17	6.2.4 Karzinogenität	73
2 Grundlagen	18	6.2.5 Toxizität für die Entwicklung	74
2.1 Chemische Identität	18	6.2.6 Neurologische Effekte	75
2.2 Physikalische Eigenschaften von SCCP	20	6.2.7 Vergleich mit anderen chlorierten organischen Stoffen	75
2.3 Vorgehen	21	7 Diskussion	76
3 Strukturierung des Systems	22	7.1 Wichtige Stoffflüsse	76
3.1 Überblick über das Gesamtsystem	22	7.2 Datenlücken	76
3.2 Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung	24	7.3 Ungenauigkeiten	77
3.3 Teilsystem Abfallwirtschaft	26	7.4 Trends	78
3.4 Teilsystem Umwelt	27	7.4.1 EU	78
4 Anwendungsbereiche	29	7.4.2 Schweiz	78
5 Stoffflüsse im Gesamtsystem Schweiz	35	7.4.3 Trendanalyse 2002 (CH-Markt)	79
5.1 Überblick über die Stoffflüsse	35	8 Massnahmen ausländischer Regierungen und internationaler Organisationen	82
5.2 Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung	36	9 Schlussfolgerungen	89
5.2.1 Import/Export	36	10 Literaturverzeichnis	91
5.2.2 Transport	37		
5.2.3 Nutzung	37		
5.2.4 Zusammenfassung der Stoffflüsse im Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung	46		
5.3 Teilsystem Abfallwirtschaft	48		
5.3.1 Die einzelnen Sektoren der Abfallwirtschaft	48		
5.3.2 Zusammenfassung der Stoffflüsse im Teilsystem Abfallwirtschaft	52		
5.4 Teilsystem Umwelt	56		
5.4.1 Die einzelnen Sektoren des Teilsystems Umwelt	56		
5.4.2 Zusammenfassung der Stoffflüsse im Teilsystem Umwelt	68		

Abstracts

Keywords:
Substance flow
analysis, short-chained
chlorinated paraffins,
SCCP

This substance flow analysis examines the turnover of short-chain chlorinated paraffins (SCCPs) in the whole system Switzerland for 1994. Subsystems considered are: production / trade / use; waste management; the environment. The main inputs of SCCPs into the environment are via goods containing them. These substances may also escape into the environment from oils for metalworking and for lubrication, from coatings, PVC, sealants and adhesives. From sewage works, SCCPs reach the environment indirectly via SCCP-containing sludge used in agriculture and via purified wastewater containing residual quantities of SCCPs, carried into rivers and lakes. Various international efforts are underway to restrict the use of SCCPs, as they are particularly toxic to aquatic organisms.

Stichwörter:
Stoffflussanalyse,
kurzkettige chlorierte
Paraffine, SCCP

In der vorliegenden Stoffflussanalyse wurde innerhalb des Gesamtsystems Schweiz für das Jahr 1994 der Stoffumsatz von kurzkettigen chlorierten Paraffinen (SCCP) untersucht. Die betrachteten Teilsysteme sind Produktion/Handel/Nutzung, Abfallwirtschaft und Umwelt. Einträge in die Umwelt entstehen vor allem aus Gütern, die SCCP enthalten. Aus Anwendungen wie Metallbearbeitungs- und Schmierölen, Beschichtungen, PVC, Dichtungsmitteln und Klebstoffen können SCCP direkt in die Umwelt entweichen. Via Abwasserreinigungsanlagen gelangen die Stoffe indirekt in die Umwelt, indem SCCP-haltiger Klärschlamm landwirtschaftlich genutzt wird und das gereinigte Abwasser, das noch Restmengen von SCCP enthält, in die Gewässer geleitet wird. Auf internationaler Ebene sind verschiedene Bemühungen in Gang, den Verbrauch von SCCP einzuschränken, da sie insbesondere für Wasserorganismen stark toxisch sind.

Mots-clés:
Analyse de flux de
substance, paraffines
chlorée à chaîne
courte, PCCC

La présente analyse de flux de substances examine la circulation des paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC) à l'intérieur du système spatial « Suisse » pour l'année 1994. Les systèmes partiels considérés sont les suivants : production/commerce/utilisation, gestion des déchets et environnement. Les apports de PCCC dans l'environnement proviennent essentiellement des biens qui en contiennent. Ces substances peuvent pénétrer directement dans l'environnement lors de l'utilisation d'huiles lubrifiantes ou d'huiles pour le traitement des métaux, de revêtements, de PVC, de mastics d'étanchéité et de colles. Elles peuvent aussi y parvenir par l'intermédiaire des stations d'épuration des eaux usées, soit sous forme de résidus dans l'eau épurée, soit lors de la valorisation agricole des boues d'épuration. Sur le plan international, on s'efforce de différentes manières de réduire la consommation de PCCC en raison de leur forte toxicité notamment pour les organismes aquatiques.

Parole chiave:
Analisi di flussi di
sostanze, paraffine
clorurate a catena
corta, PCCC

La presente analisi dei flussi di sostanze esamina la circolazione di paraffine clorurate a catena corta (PCCC) all'interno del sistema «Svizzera» nel 1994. I sistemi parziali valutati sono: produzione/commercializzazione/utilizzazione, gestione dei rifiuti e ambiente. L'immissione di PCCC nell'ambiente proviene essenzialmente dai prodotti in cui sono contenute. L'immissione diretta avviene nell'ambito dell'utilizzazione di oli lubrificanti o di oli per metalli, di rivestimenti, PVC, agenti sigillanti e colle. Quella indiretta è possibile attraverso gli impianti di depurazione delle acque, i cui fanghi di depurazione contaminati da PCCC sono spanti nell'agricoltura. Sul piano internazionale, sono in atto diversi sforzi per ridurre il consumo, data l'elevata tossicità, soprattutto per gli organismi acquatici.

Vorwort

Kurzkettige chlorierte Paraffine gehören zu den halogenierten organischen Stoffen, die persistent, bioakkumulierend und toxisch sind. Obwohl industriellen Ursprungs, wurden sie selbst in entlegenen Regionen, wie zum Beispiel der Arktis, in der Umwelt und in Organismen gefunden. 1995 wurde im Rahmen der Pariskonvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung vom Lande aus (PARCOM/OSPAR) beschlossen, den Verbrauch dieser Stoffe bis Anfang 2000 stark einzuschränken. Verschiedene Staaten sowie die EU sind daran, diesen Beschluss, wenn auch mit etwas Verspätung, zu verwirklichen.

Aufgrund eines 1992 im Nationalrat verabschiedeten Postulats ist unser Amt beauftragt, in Zusammenarbeit mit den Kantonen für ökologisch wichtige Schadstoffe gesamtschweizerische Stoffbilanzen zu erstellen. Es geht in diesen nicht um eine Analyse des Gefährdungspotentials, sondern darum, das Vorkommen und die Verteilungswege dieser Stoffe genauer zu untersuchen. Mit der vorliegenden Stoffflussanalyse liegt erstmals eine Abschätzung des Gebrauchs und der Stoffflüsse der SCCP in der Schweiz vor, bezogen auf das Jahr 1994.

Es ist häufig schwierig, kurzkettige chlorierte Paraffine zu erfassen, da sie oft mit mittel- und langkettigen zusammen allgemein als Chlorparaffine bezeichnet werden. Die Untersuchung der kurzkettigen Chlorparaffine erhielt Priorität, als feststand, dass diese erstens von Lebewesen besonders stark akkumuliert werden und zweitens toxischer als mittel- und langkettige sind. Mittelkettige Chlorparaffine werden auf internationaler Ebene aber bereits ebenfalls untersucht. Es sollte verhindert werden, dass kurzkettige chlorierte Paraffine nur durch mittelkettige chlorierte Paraffine ersetzt werden; stattdessen sollte nach ungefährlichen Ersatzstoffen gesucht werden, die es erlauben, langfristig die Schadstoffkonzentrationen in der Umwelt weitestgehend zu senken.

Allen Personen, die an diesem Bericht mitgewirkt haben, möchte ich herzlich danken. Nur durch ihre gemeinsame Unterstützung konnte dieser Bericht erstellt werden.

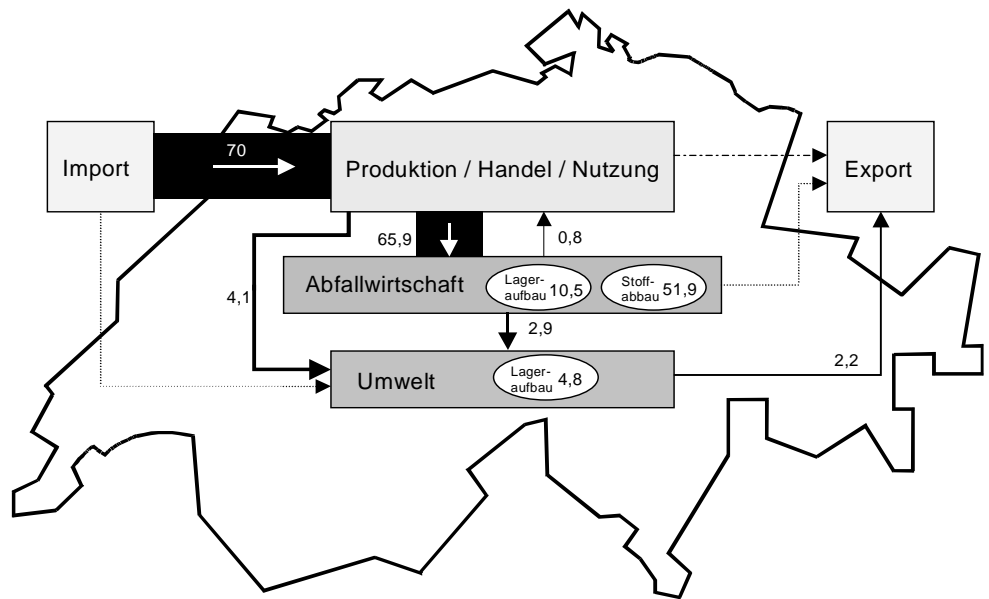
Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft

*Georg Karlaganis
Chef der Abteilung
Stoffe, Boden, Biotechnologie*

Zusammenfassung

In der vorliegenden Stoffflussanalyse wurde innerhalb des Gesamtsystems Schweiz für das Jahr 1994 der Stoffumsatz von kurzkettingen chlorierten Paraffine untersucht (SCCP).

Überblick über die Stoffflüsse im Gesamtsystem Schweiz, in dieses hinein oder aus diesem hinaus



- abgeschätzt für das Jahr 1994, Zahlen in Tonnen/Jahr, die Breite der Pfeile ist proportional zur fließenden Stoffmenge;
- mögliche Stoffflüsse, wahrscheinlich von geringem Ausmass;
- - - mögliche Stoffflüsse, wahrscheinlich von signifikantem Ausmass; die umkreisten Zahlen entsprechen den prozessinternen Veränderungen.

Kurzkettige Chlorparaffine sind Mischungen von Stoffen, die aus unverzweigten Kohlenstoffketten von 10 bis 13 C-Atomen bestehen und einen Chlorierungsgrad zwischen 48 und 71% aufweisen. Sowohl die Kettenlänge als auch der Chlorierungsgrad können einen Einfluss haben auf das chemische, physikalische und biologische Verhalten des Stoffes, was eine Stoffflussanalyse allgemein erschwert.

SCCP haben schmierende, flammhemmende, weichmachende und korrosionsverhindernde Eigenschaften. 1994 wurden nach Angaben der Chemischen Industrie in der Schweiz 70 Tonnen SCCP verbraucht. Die Aufteilung auf die einzelnen Anwendungsgebiete wurde im Rahmen des vorliegenden Berichts in erster Linie aufgrund des Verbrauchsmusters in der EU abgeschätzt. Metallbearbeitungs- und Schmieröle stellen das wichtigste Anwendungsgebiet dar (71%), gefolgt von Beschichtungen (9%), PVC (7%), Dichtungsmitteln (5%), Leder (3%), Gummi (3%) und Textilien (1%). Daneben kommen Lavalampen, Spezialpapier und Tinte oder Toner für Drucker als Anwendungsgebiete in Betracht.

In der Schweiz wird kein SCCP hergestellt; alles SCCP wird importiert. Wieviel SCCP in importierten Gütern enthalten ist, kann mit Ausnahme von Kautschukpro-

dukten (2 Tonnen/Jahr) und Lavalampen (0,3 Tonnen/Jahr) nicht abgeschätzt werden.

Einträge in die Umwelt entstehen vor allem aus Gütern, die SCCP enthalten. Bei der Anwendung von SCCP in Metallbearbeitungs- und Schmierölen sowie in Lederbearbeitungsflüssigkeiten gelangt ein Teil des SCCP in das Abwasser oder in die Gewässer. Aus Beschichtungen, Dichtungsmitteln und PVC können SCCP durch Verflüchtigung in die Atmosphäre entweichen.

Ein Grossteil der SCCP wird in der Abfallwirtschaft zerstört, insbesondere da sich die Stoffe ab einer Temperatur von 200 °C zersetzen. Ein Teil sammelt sich in Deponien an. Einträge in die Umwelt aus der Abfallwirtschaft entstehen vor allem via Kläranlagen, indem SCCP-haltiger Klärschlamm landwirtschaftlich genutzt wird und das gereinigte Abwasser, das noch Restmengen von SCCP enthält, in die Gewässer geleitet wird.

Aus der Atmosphäre gehen die SCCP wahrscheinlich nach kurzer Zeit auf den Boden oder in die Gewässer. Wegen ihrer geringen Wasserlöslichkeit sammeln sich SCCP im Boden, in Sedimenten und Lebewesen an. Es handelt sich um äusserst persistente Substanzen, die sich praktisch nicht abbauen.

SCCP sind sehr toxisch für Wasserlebewesen, bereits ab Konzentrationen von einigen µg pro Liter zeigen sich negative Auswirkungen. Die geschätzte Konzentration von SCCP in Schweizer Flüssen ist 0,1 µg. Ab einer oralen Aufnahme von 100 mg pro Tag und kg Körpergewicht lösen SCCP in Ratten und Mäusen Krebs aus. SCCP sind in der Nahrungskette enthalten, reichern sich aber entlang dieser nicht an. Menschen nehmen pro Jahr etwa 3 mg SCCP auf.

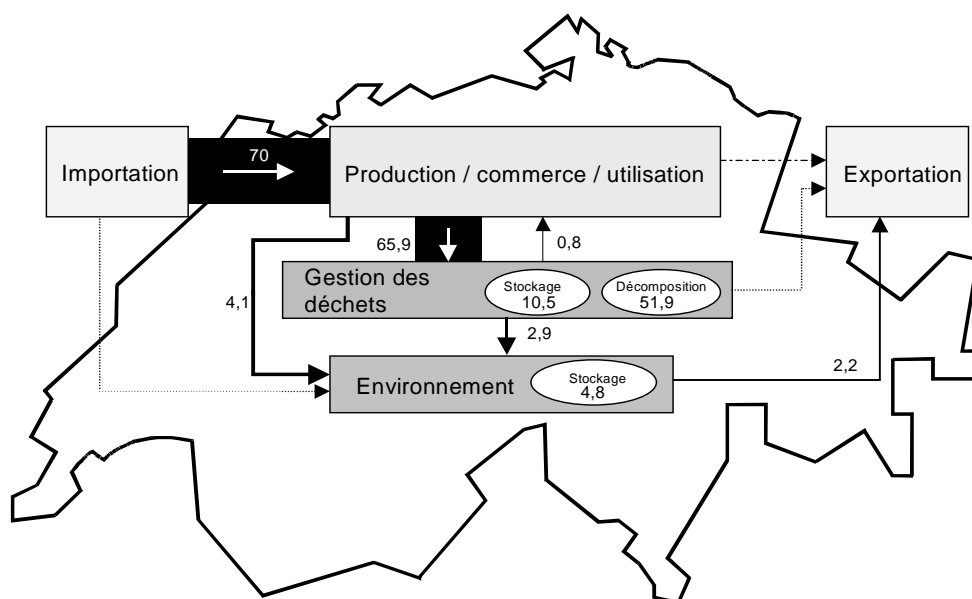
Bei Messungen, die im Jahre 2002 in rund 170 verschiedenen Gütern im System Schweiz durchgeführt wurden, konnten keine kurzkettigen chlorierten Paraffine nachgewiesen werden. Dagegen wurden zum Teil noch mittelkettige chlorierte Paraffine gefunden.

Im Rahmen des OSPAR-Übereinkommens haben verschiedene Staaten 1995 eine weitgehende Reduktion des SCCP-Verbrauchs beschlossen. Auch die EU will den Verbrauch von SCCP einschränken.

Résumé

La présente analyse de flux de substances examine la circulation des paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC) à l'intérieur du système spatial « Suisse » pour l'année 1994.

Flux de substances:
entrée, sortie et circulation pour l'ensemble du système spatial « Suisse »



— estimation pour l'année 1994, en tonnes par année; la largeur de la flèche est proportionnelle au flux de substances;
 flux de substances possible, vraisemblablement de faible importance;
 - - - - flux de substances possible, vraisemblablement d'importance significative;
 les nombres figurant dans les champs ovales correspondent aux étapes internes aux processus

Les paraffines chlorées à chaîne courte sont des mélanges de substances composées de chaînes non ramifiées de 10 à 13 atomes de carbone (C) et présentant un taux de chlore de 48 à 71%. La longueur de la chaîne et le taux de chlore ont tous deux une influence sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques de la substance, ce qui complique l'analyse des flux.

Les PCCC ont des propriétés lubrifiantes, ignifuges, plastifiantes et anti-corrosives. En 1994, selon les données de l'Industrie chimique, la Suisse en a utilisé 70 tonnes. Dans le cadre du présent rapport, leur répartition dans les différents domaines d'utilisation a été estimée en se fondant principalement sur le modèle de consommation de l'UE. L'utilisation d'huiles pour le traitement des métaux ou comme lubrifiant constitue le principal domaine d'application des PCCC (71%); viennent ensuite les revêtements (9%), le PVC (7%), les mastics d'étanchéité (5%), le cuir (3%), le caoutchouc (3%) et les textiles (1%). Les lampes à lave, les papiers spéciaux ainsi que les encres ou poudres pour imprimantes sont également pris en considération parmi les utilisations possibles.

La Suisse ne produit pas de PCCC, elle en importe uniquement. Il est toutefois impossible d'estimer la quantité de PCCC contenue dans les biens importés, sauf en

ce qui concerne les produits en caoutchouc (2 tonnes par an) et les lampes à lave (0,3 tonne par an).

Les apports de PCCC dans l'environnement proviennent surtout des marchandises qui en contiennent. Lorsque les PCCC sont utilisées pour le traitement des métaux, comme lubrifiant ou pour le travail du cuir, elles parviennent en partie dans les eaux usées ou dans les eaux naturelles. Par ailleurs, les PCCC contenues dans les vêtements, dans les mastics d'étanchéité et dans le PVC peuvent se volatiliser dans l'atmosphère.

Les PCCC sont en grande partie détruites dans le cadre de la gestion des déchets, puisqu'elles se décomposent lorsque leur température dépasse 200°C. Une autre partie aboutit dans les décharges. Dans le domaine de la gestion des déchets, les apports de PCCC dans l'environnement se font essentiellement par l'intermédiaire des stations d'épuration: d'une part, des boues d'épuration contenant des PCCC ont été souvent utilisées dans l'agriculture; d'autre part, l'eau épurée, qui contient encore des résidus de ces substances, est déversée dans les eaux naturelles.

Il est vraisemblable que les PCCC présentes dans l'atmosphère pénètrent rapidement dans les sols et dans les eaux. En raison de leur faible solubilité, elles se concentrent dans les sols, dans les sédiments et dans les êtres vivants. Il s'agit donc de substances extrêmement persistantes, qui ne se dégradent pratiquement pas.

Les PCCC sont très toxiques pour les êtres vivants aquatiques; des effets négatifs apparaissent déjà pour des concentrations de quelques μg par litre. La concentration de ces substances dans les cours d'eau suisses est estimée à 0,1 μg par litre. Chez les rats et les souris, les PCCC provoquent des cancers à partir d'une ingestion quotidienne de 100 mg par kilogramme de poids corporel. Les PCCC sont présentes dans la chaîne alimentaire, mais elles ne s'y accumulent pas. L'homme avale environ 3 mg de ces substances par an.

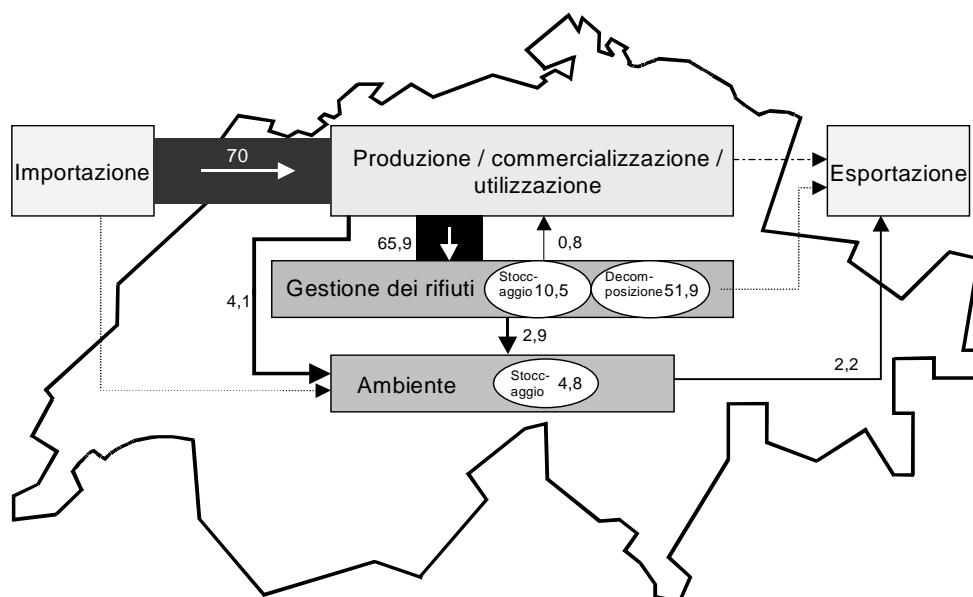
Les mesures réalisées en 2002 dans le système spatial « Suisse » sur quelque 170 objets différents n'ont pas décelé de paraffines chlorées à chaîne courte. En revanche, on a parfois encore détecté des paraffines chlorées à chaîne moyenne.

En 1995, dans le cadre de la Convention OSPAR, divers Etats ont décidé de réduire fortement la consommation de PCCC. L'UE veut elle aussi restreindre leur utilisation.

Riassunto

La presente analisi dei flussi di sostanze esamina la circolazione di paraffine clorate a catena corta (PCCC) all'interno del sistema "Svizzera" nel 1994.

Panoramica dei flussi di sostanze: entrata, uscita e circolazione del sistema "Svizzera"



— Stime per il 1994, cifre in tonnellate per anno; la larghezza delle frecce è proporzionale al flusso di sostanze;
 flussi di sostanze possibili, probabilmente in quantità ridotta;
 - - - - flussi di sostanze possibili, probabilmente in quantità significativa; le cifre che figurano nelle figure ovali corrispondono alle tappe interne delle modifiche.

Le paraffine clorate a catena corta sono delle miscele di sostanze, formate da catene non ramificate da 10 a 13 atomi di carbonio C e presentano una percentuale di clorazione che oscilla tra il 48 e il 71%. Sia la lunghezza della catena che la percentuale di clorazione possono avere un influsso sulle proprietà chimiche, fisiche e biologiche della sostanza, ciò che complica l'analisi generale del flusso.

Le PCCC hanno delle proprietà lubrificanti, ignifughe, plastificanti e anticorrosive. Nel 1994, secondo le indicazioni dell'industria chimica, la Svizzera ne ha utilizzate 70 tonnellate. Nel presente rapporto, la loro ripartizione fra i diversi ambiti di utilizzazione è stata valutata soprattutto sulla base del modello di consumo dell'UE. Le PCCC sono impiegate principalmente negli oli per il trattamento di metalli e di lubrificanti (71%) seguiti dai rivestimenti (9%), dal PVC (7%), dagli agenti sigillanti (5%), dal cuoio (3%), dalla gomma (3%) e dai tessuti (1%). Inoltre, tra gli usi possibili, sono presi in considerazione anche le lampade a lava, la carta speciale, l'inchiostro o le cartucce per stampanti.

In Svizzera non si producono le PCCC; queste ultime vengono infatti importate. È impossibile stimare la quantità di PCCC contenute nei prodotti importati, salvo per quelli in caucciù (2 tonnellate per anno) e le lampade a lava (0,3 tonnellate per anno).

Le immissioni di PCCC nell'ambiente provengono soprattutto dai prodotti che contengono tali sostanze. Nell'utilizzazione di PCCC negli oli per il trattamento di metalli e di lubrificanti come pure nell'impiego di liquidi per la lavorazione del cuoio, una parte delle PCCC giunge nelle acque di scarico o nei corsi d'acqua. Le PCCC contenute nei rivestimenti, negli agenti sigillanti e nel PVC possono volatilizzarsi nell'atmosfera.

Gran parte delle PCCC viene distrutta nell'ambito della gestione dei rifiuti, specialmente poiché tali sostanze si decompongono quando la temperatura supera i 200° C. Un'altra parte finisce nelle discariche. Le immissioni di PCCC nell'ambiente generate dalla gestione dei rifiuti avvengono essenzialmente mediante gli impianti di depurazione delle acque: i fanghi di depurazione contaminati da PCCC sono infatti spesso utilizzati nell'agricoltura e l'acqua depurata che contiene ancora dei residui di tali sostanze si riversa nei corsi d'acqua.

Probabilmente le PCCC presenti nell'atmosfera penetrano rapidamente nel suolo o nei corsi d'acqua. A causa della loro ridotta idrosolubilità, si concentrano nel suolo, nei sedimenti e negli organismi viventi. Si tratta dunque di sostanze estremamente persistenti che praticamente non si degradano.

Le PCCC sono molto tossiche per gli organismi acquatici; gli effetti negativi si manifestano già a partire da concentrazioni di alcuni µg per litro. In Svizzera si stima che la concentrazione di PCCC nei corsi d'acqua è di 0,1 µg per litro. Nei ratti e nei topi, l'ingestione orale di una quantità di PCCC pari o superiore a 100 mg al giorno e per chilogrammo di peso corporeo, provoca il cancro. Le PCCC sono presenti nella catena alimentare, ma non si accumulano. Annualmente l'uomo ingerisce circa 3 mg di tali sostanze.

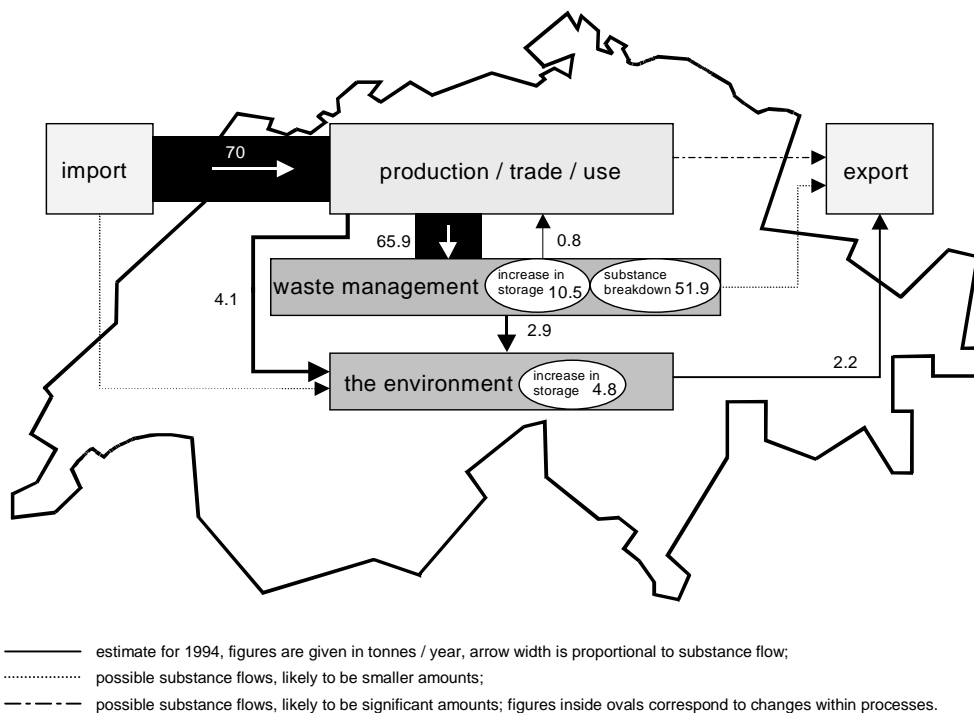
Le misurazioni effettuate nel 2002 all'interno del sistema "Svizzera" su circa 170 diversi prodotti non hanno rilevato la presenza di paraffine clorate a catena corta. Per contro, sono state riscontrate delle paraffine clorate a catena media.

Nel 1995, nell'ambito della Convenzione OSPAR, diversi Stati hanno deciso di ridurre fortemente l'utilizzazione delle PCCC; anche l'UE vuole seguire tale esempio.

Summary

This substance flow analysis examines the turnover of short-chain chlorinated paraffins (SCCPs) in the whole system Switzerland for 1994.

Overview of substance flows within the whole system Switzerland, with imports and exports



Short-chain chlorinated paraffins are mixtures of substances with unbranched chains of 10 to 13 carbon atoms and 48 to 71% chlorine content. Both chain length and chlorine content can have an effect on the physical, chemical, and biological properties of the substance, and this makes substance flow analysis generally difficult.

SCCPs have properties as lubricants, flame-retardants, plastifiers and corrosion inhibitors. According to data from the Swiss chemical industry, 70 tonnes of SCCPs were used in Switzerland in 1994. In the present report, the split between different areas of use was estimated basically following the pattern of use in the EU. Oils for metalworking and for lubrication represent the most important area of use (71%), followed by coatings (9%), PVC (7%), sealants (5%), leather (3%), rubber (3%) and textiles (1%). Other areas of use that must be considered are lava lamps, special paper and ink or toner for printers.

No SCCPs are manufactured in Switzerland; all SCCPs are imported. The amount of SCCPs contained in imported goods cannot be estimated, with the exception of rubber products (2 tonnes / year) and lava lamps (0.3 tonnes / year).

The main inputs of SCCPs into the environment are via goods containing them. When SCCPs are used in oils for metalworking and for lubrication, or in liquids for the treatment of leather, some of the SCCP gets into the wastewater or into lakes and rivers. SCCPs from coatings, sealants and PVC may escape into the atmosphere.

A large proportion of SCCP is destroyed in the process of waste management, especially since these substances decompose at temperatures above 200 °C. Some accumulates in landfill sites. Inputs into the environment from waste management are above all via sewage works, because SCCP-containing sewage sludge is used in agriculture and the purified wastewater, containing residual amounts of SCCPs, is carried to lakes and rivers.

SCCPs in the atmosphere probably reach the ground or lakes and rivers within a short time. As a result of their low solubility in water, SCCPs collect in the soil, in sediments and in living organisms. These are highly persistent substances, which remain practically undegraded.

SCCPs are highly toxic to aquatic organisms, showing negative effects at concentrations as low as a few µg per litre. The concentration of SCCPs in Swiss rivers is estimated to be 0.1 µg per litre. An oral uptake of 100 mg SCCPs per day per kg body weight causes cancer in rats and mice. SCCPs are present in the food chain, but do not become concentrated in the food chain. Human beings take up about 3 mg of SCCPs per year.

Measurements carried out in 2002 on about 170 different goods in the whole system Switzerland did not reveal any short-chain chlorinated paraffins. However, some medium-chain chlorinated paraffins were found.

In 1995, various states agreed on a considerable reduction in the use of SCCPs, through the OSPAR Convention. The EU also wishes to restrict the use of SCCPs.

1 Ausgangslage

Aufgrund eines am 17. Juni 1992 im Nationalrat verabschiedeten Postulats [64] ist der Bundesrat beauftragt, zusammen mit den Kantonen für alle wichtigen im Ökosystem zirkulierenden Schadstoffe Stoffbilanzen zu erstellen. Im vorliegenden Bericht wird eine Stoffflussanalyse für kurzkettige chlorierte Paraffine vorgestellt. Den Gebrauch dieser Gruppe von schwer abbaubaren, bioakkumulierbaren und ökotoxischen Stoffen einzuschränken, ist seit rund zehn Jahren das Ziel verschiedener Länder, Organisationen und internationaler Abkommen.

Die vorliegende Stoffflussanalyse soll darüber Auskunft geben, durch welche Anwendungsgebiete von kurzkettigen chlorierten Paraffinen und in welchem Ausmass die Umwelt in der Schweiz belastet wird. Sie dient der Abklärung von Quellen und Verteilungswegen dieser Stoffe.

Stoffbilanzen spielen in der Integrierten Produktpolitik (IPP) eine wichtige Rolle. Problematische Auswirkungen der Verwendung von Stoffen sollen durch eine umfassende Betrachtung des gesamten Lebensweges eines Stoffes frühzeitig erkannt und verhindert werden. IPP erlaubt es, durch Einflussnahme auf das öffentliche Beschaffungswesen und durch Anreize wie die Vergabe von Umweltlabels oder eine differenzierte Besteuerung gezielt Produkte mit hoher Umweltfreundlichkeit zu fördern [69].

2 Grundlagen

2.1 Chemische Identität

Chlorparaffine sind unverzweigte Kohlenstoffketten (n-Alkane) unterschiedlicher Länge, die wiederum in unterschiedlichem Ausmass chloriert sind, das heisst an einer oder mehreren Stellen statt eines H-Atoms ein Chloratom enthalten. Chlorparaffine sind zwischen 10 und 30 C-Atome lang.

Im allgemeinen werden chlorierte Paraffine (= Chlorparaffine, CP) aufgrund ihrer Kettenlänge in drei Klassen unterteilt:

Kurzkettige (C₁₀₋₁₃) = **SCCP**

Mittelkettige (C₁₄₋₁₇) = **MCCP**

Langkettige (C₁₈₋₃₀) = **LCCP**

Die verschiedenen CAS-Nummern für chlorierte Paraffine lassen sich einer oder mehrerer dieser Klassen zuordnen.

CAS-Nummer	EINECS Bezeichnung	Klassen
85535-84-8	Alkanes C ₁₀₋₁₃ , chloro	SCCP
85535-85-9	Alkanes, C ₁₄₋₁₇ , chloro	MCCP
85535-86-0	Alkanes, C ₁₈₋₂₈ , chloro	LCCP
61788-76-9	alkanes, chloro	SCCP, MCCP, LCCP
85422-92-0	Paraffin oil and hydrocarbon oil, chloro	SCCP, MCCP
63449-39-8	Paraffin wax and hydrocarbon wax, chloro	LCCP
68920-70-7	Alkanes, C ₆₋₁₈ , chloro	SCCP, MCCP
71011-12-6	Alkanes, C ₁₂₋₁₃ , chloro	SCCP
84082-38-2	Alkanes, C ₁₀₋₂₁ , chloro	SCCP, MCCP, LCCP
84776-06-7	Alkanes, C ₁₀₋₃₂ , chloro	SCCP, MCCP, LCCP
85049-26-9	Alkanes, C ₁₆₋₃₅ , chloro	MCCP, LCCP
85536-22-7	Alkanes, C ₁₂₋₁₄ , chloro	SCCP, MCCP
85681-73-8	Alkanes, C ₁₀₋₁₄ , chloro	SCCP, MCCP
97553-43-0	Paraffin, normal C>10, chlorinated	SCCP, MCCP, LCCP
97659-46-6	Alkanes, C ₁₀₋₂₆ , chloro	SCCP, MCCP, LCCP
106232-85-3	Alkanes, C ₁₈₋₂₀ , chloro	LCCP
106232-86-4	Alkanes, C ₂₂₋₄₀ , chloro	LCCP
108171-26-2	Alkanes, C ₁₀₋₁₂ , chloro	SCCP
108171-27-3	Alkanes, C ₂₂₋₂₆ , chloro	LCCP

In der Literatur werden folgende Synonyme für Chlorparaffin verwendet [18]:

Chlorinated paraffins; Alkanes, chlorinated; alkanes (C₁₀₋₁₂), chloro (70%); alkanes (C₁₀₋₁₃), chloro (50–70%); alkanes (C₁₄₋₁₇), chloro (40–52%); alkanes (C₁₈₋₂₈), chloro (20–50%); alkanes (C₂₂₋₂₆), chloro (43%); C₁₂, 60% chlorine; C₂₃, 43% chlorine; chlorinated alkanes; chlorinated hydrocarbon waxes; chlorinated paraffin waxes; chlorinated waxes; chloroalkanes; chlorocarbons; chloroparaffin waxes; paraffin,

chlorinated; paraffins, chloro; paraffin waxes, chlorinated; paraffins, chlorinated; polychlorinated alkanes; polychloro alkanes.

In dieser Stoffflussanalyse werden nur kurzkettige chlorierte Paraffine (SCCP) untersucht. Diese Gruppe hat sich als diejenige erwiesen, die am stärksten umweltgefährlich ist.

Der Chlorierungsgrad von kurzkettigen chlorierten Paraffinen reicht von 48–71% [2], bezogen auf den Gewichtsanteil. Ein Chlorierungsgrad von 71% ist erreicht, wenn jedes C-Atom genau ein Chloratom kovalent gebunden hat. Einen höheren Chlorierungsgrad zu erreichen ist technisch nicht möglich [4], da ein C-Atom der Kette, ob terminal oder zentral, nicht mehr als ein Chloratom binden kann.

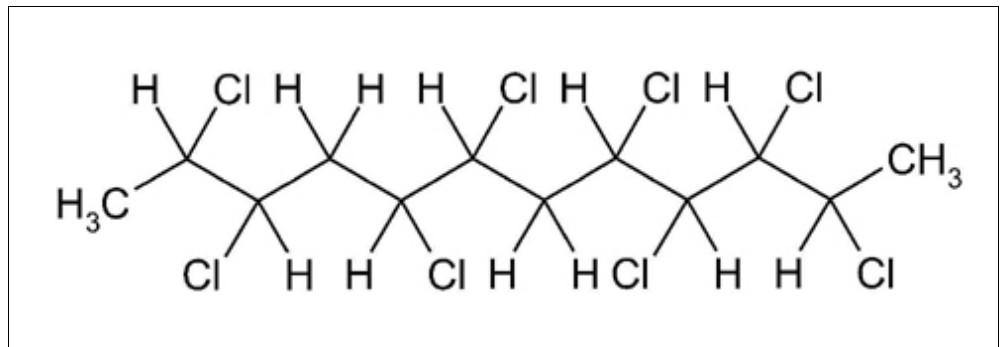


Abb. 2.1.
Beispiel eines kurzkettigen chlorierten Paraffins

In Abb. 2.1. ist ein kurzkettiges chloriertes Paraffin der Kettenlänge C_{12} gezeichnet mit acht Chloratomen, was einem Chlorierungsgrad von 63% entspricht.

Kommerziell produzierte Chlorparaffine sind komplexe Mischungen von Stoffen unterschiedlicher Chlorierung und unterschiedlicher Kettenlänge. Dies macht eine Stoffflussanalyse dieser Stoffe schwierig, da sowohl die Kettenlänge als auch der Chlorierungsgrad einen Einfluss auf das chemische, physikalische und biologische Verhalten haben. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Chlorierungsgrade von SCCP nicht berücksichtigt. Damit ergeben sich beim Verteilungsverhalten in der Umwelt von vornherein Ungenauigkeiten, was aber praktisch nicht zu verhindern ist.

SCCP werden hier als Chlorparaffine definiert, die eine Kohlenstoffkettenlänge zwischen und inklusive 10 und 13 sowie bezogen auf das Gewicht einen Chlorierungsgrad zwischen 48 und 71% haben.

2.2 Physikalische Eigenschaften von SCCP

Die folgenden Angaben sind, wenn nicht anders angegeben, aus [1] und [2] zusammengetragen. Eine gute Zusammenstellung der Stoffeigenschaften findet sich auch in [68].

Zustand:	klare bis gelbliche flüssige oder visköse ölige Flüssigkeit mit nur schwachem Geruch
Dichte:	1,18–1,59 g/cm ³ bei 20 °C
Löslichkeit:	nur schlecht löslich in Wasser; in der Literatur werden verschiedene Werte angegeben: 150–470 µg/l [1] 0–10 µg/l [42] 5–150 µg/l [10] 470 µg/l [14]
Siedepunkt:	gut löslich in hydrophoben Lösungsmitteln höher als 200 °C; ab 200 °C beginnt rasche Zersetzung unter HCl – Abgabe
Dampfdruck:	49% Chlorgehalt: 0,0213 Pa bei 40 °C ca. 0,7 Pa bei 80 °C
Flüchtigkeit:	24 h, 90 °C, 49% Chlorgehalt: ca. 100 g/kg 24 h, 90 °C, 70% Chlorgehalt: ca. 5 g/kg
Log Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizient	4,39–8,69, abhängig vom Chlorierungsgrad

2.3 Vorgehen

Das Vorgehen bei der Erstellung der Stoffflussanalyse richtete sich nach der vom BUWAL herausgegebenen Anleitung [32]. Im wesentlichen werden die folgenden Schritte gemacht:

- Die möglichen Anwendungsgebiete werden ermittelt.
- Das System Schweiz wird in verschiedene Teilsysteme und Prozesse unterteilt, deren Stoffflüsse untereinander genauer betrachtet werden.
- In den einzelnen Teilsystemen und Sektoren werden die Verknüpfungen mit anderen Teilsystemen und Prozessen bestimmt, die jeweiligen Stoffzuflüsse oder Stoffabflüsse abgeschätzt und bilanziert.
- Die Teilsysteme werden zu einem Gesamtsystem zusammengefasst.

Als Datenquellen dienten in erster Linie einerseits eine Angabe der Schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie zum Gesamtverbrauch von kurzkettigen Chlorparaffinen in der Schweiz 1994 und andererseits der EU-Risikobewertungsbericht [1], in dem die prozentmässigen Anteile der einzelnen Anwendungen am Gesamtverbrauch für Westeuropa aufgeschlüsselt sind. Es wurde angenommen, dass die relative Aufteilung des Gebrauchs an kurzkettigen chlorierten Paraffine auf die einzelnen Anwendungsgebiete in der Schweiz gleich ist wie gesamthaft in Westeuropa.

Diesem Vorgehen war vor ein paar Jahren der Versuch vorausgegangen, durch eine Umfrage unter Verwendern von Chlorparaffinen für verschiedene Anwendungsgebiete eine Abschätzung zum Verbrauch zu machen. Diese Umfrage war aber unvollständig ausgefallen; auf einen zweiten Anlauf zur Durchführung einer Umfrage wurde für die vorliegende Analyse verzichtet.

Als weitere Datenquelle wurde der Technische Bericht zur Abfallstatistik 1998 verwendet. Die Zollstatistik enthielt praktisch keine verwendbaren Zahlen. In den Data-Star Datenbanken wurden keine Einträge gefunden. Einige Zahlen wurden dem Eurostat-Jahrbuch [21], dem Statistischen Jahrbuch der Schweiz [20] sowie dem Bericht «Umwelt in der Schweiz» [23] entnommen.

In der Schweiz durchgeführte Messungen von Chlorparaffinen in Metallbearbeitungs- und Schmierölen [65], in Fugendichtungen [66], in Klärschlamm [19, 24], KVA-Schlackenlöschwasser [26], in Sedimenten und menschlichem Fettgewebe [19] wurden in die Stoffflussanalyse miteinbezogen.

Daneben wurden zahlreiche Berichte zu Chlorparaffinen aus anderen Ländern verwendet, insbesondere solche aus dem Vereinigten Königreich [5, 31, 40], Schweden [3, 9, 43], Deutschland [2, 10, 11, 36] und Kanada [16], sowie verschiedene einzelne Publikationen.

Tabelle 3.1. Aufteilung des Gesamtsystems in Teilsysteme und Prozesse

	Ebene 1	Ebene 2 (Teilsysteme)	Ebene 3 (Prozesse)
innerhalb Systemgrenze Schweiz	Anthroposphäre Schweiz	Produktion/Handel/ Nutzung	Transport Primärverbrauch Sekundärverbrauch
		Abfallwirtschaft	Verbrennung in KVA und Zementwerken Abwasserreinigungsanlage Recycling Sonderabfallbehandlungsanlage Deponien
	Biosphäre Schweiz	Umwelt	Wasser Sedimente Boden Atmosphäre Lebewesen
ausserhalb Systemgrenze		Import	Import durch Warenverkehr und über Umweltmedien
		Export	Export durch Warenverkehr und über Umweltmedien

Für jeden Prozess werden Input und Output bilanziert. Mit anderen Worten sind die Prozesse «die Raunteile im System, die bilanziert werden» [70]. Teilsysteme oder das Gesamtsystem können als Oberprozess verstanden und ebenfalls bilanziert werden.

In den einzelnen Prozessen können sich kurzkettinge chlorierte Paraffine in einem Lager ansammeln, sie können aus einem bestehenden Lager freigesetzt werden, oder sie können vernichtet werden. Neben den Stoffflüssen zwischen verschiedenen Prozessen sind somit auch prozessinterne Veränderungen möglich. Sie haben meistens zur Folge, dass die Stoffmenge, die in einen Prozess hineinfliesst, nicht gleich der Stoffmenge ist, die aus diesem Prozess hinausfliesst. In den Graphiken wird dies durch eine umkreiste Zahl mit Angabe der Art der Netto-Veränderung gekennzeichnet. Prozessinterne Veränderungen können sich aber auch gegenseitig ganz oder teilweise aufheben, wenn zum Beispiel gleichzeitig Lageraufbau und -abbau stattfindet. Als prozessinterne Veränderung wird hier jedoch nur die Summe der verschiedenen Veränderungen betrachtet.

Um die Daten zu den Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Prozessen zu präsentieren, wurden zwei verschiedene Darstellungen gewählt:

- Die drei Teilsysteme Produktion/Handel/Nutzung, Abfallwirtschaft und Handel sowie deren Prozesse werden in drei verschiedenen Diagrammen dargestellt. Es ist darauf hinzuweisen, dass jeweils nur diejenigen Stoffflüsse eingezeichnet sind, die das entsprechende Teilsystem betreffen, also in dieses hinein, aus diesem hinaus oder in diesem selbst fließen.
- In Stoffflussmatrizen werden die Stoffflüsse in und aus den Teilsystemen Umwelt und Abfallwirtschaft nach den einzelnen Prozessen genauer aufgeschlüsselt.

3.2 Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung

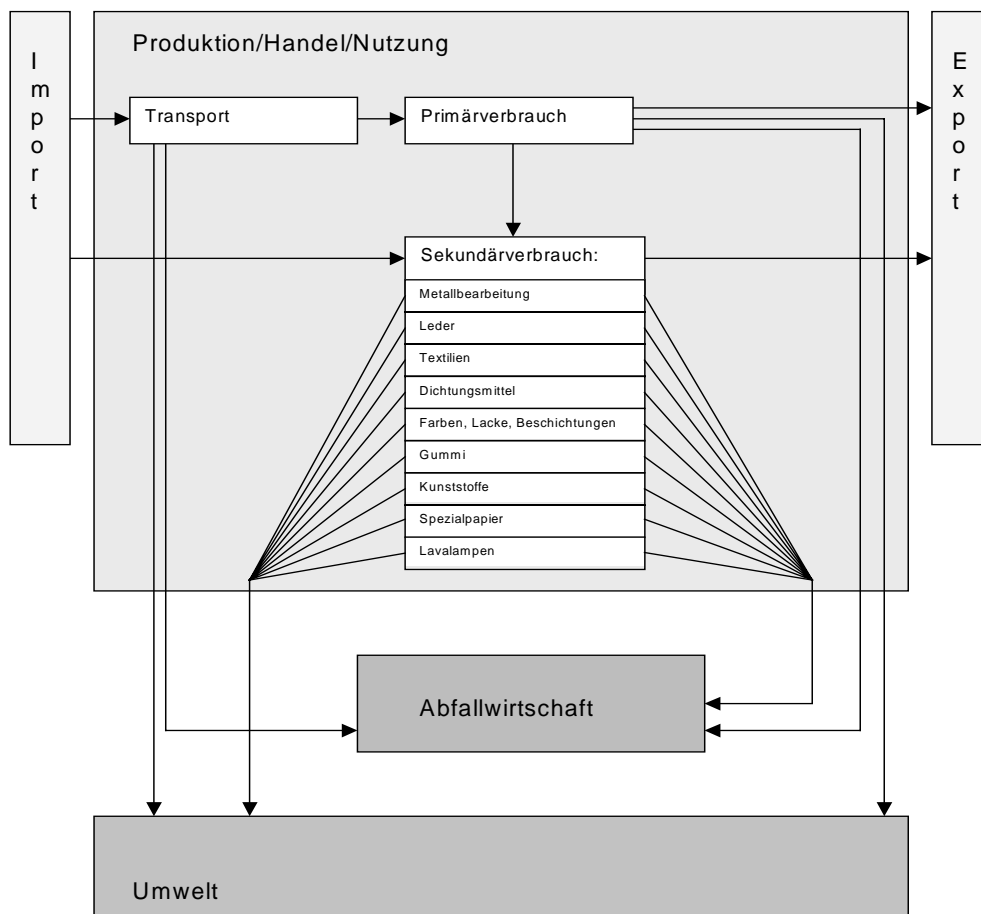


Abb. 3.2.
Das Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung sowie dessen Verknüpfungen.

In Abb. 3.2. ist das Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung sowie dessen Verknüpfungen dargestellt.

In der Schweiz werden kurzkettige und andere chlorierte Paraffine nicht mehr hergestellt. Bei der Chlorierung von Trink- und Abfallwasser entstehen wahrscheinlich nur höchst geringe Mengen chlorierter Paraffine [31]. Die Stoffe entstehen wahrscheinlich nicht de novo aus anderen Verbindungen bei Verbrennungsprozessen [16]. Da demzufolge keine kurzkettigen chlorierten Paraffinen in der Schweiz entstehen, wurde der Prozess «Produktion» weggelassen.

Die einzige Quelle von kurzkettigen chlorierten Paraffinen ist der Import. Dieser kann einerseits im Import der Stoffe selbst (Import → Primärverbrauch) oder andererseits im Import von Gütern bestehen, die diese Stoffe enthalten (Import → Sekundärverbrauch).

Importe von kurzkettigen chlorierten Paraffinen zum Primärverbrauch können entweder direkt oder via Handel zwischen den Verbrauchern und dem Ausland

stattfinden. Mangels entsprechender Daten können diese beiden Wege aber nicht unterschieden werden. Der Prozess «Handel» wurde deshalb auf «Transport» zwischen dem Ausland und dem Primärverbrauch reduziert.

Die Nutzung wurde in Primär- und Sekundärverbrauch unterteilt. Primärverbrauch bedeutet, dass kurzkettige chlorierte Paraffine direkt aus dem Ausland oder via Handel im Inland bezogen, verwendet und eventuell zu Produkten zum Weitverkauf verarbeitet werden. Sekundärverbrauch umfasst den Umgang mit Produkten, die kurzkettige chlorierte Paraffine enthalten.

Die Prozesse Sekundärverbrauch und Primärverbrauch wurden weiter unterteilt nach den in der Schweiz vorkommenden Anwendungsgebieten von kurzkettigen chlorierten Paraffinen. Einträge in die Umwelt oder die Abfallwirtschaft entstehen vor allem beim Sekundärverbrauch. Zwecks besserer Übersicht sowie wegen ihrer geringeren Bedeutung für die Abfallwirtschaft und die Umwelt wurde darauf verzichtet, in Abb. 3.2. und 5.2.1. auch den Primärverbrauch nach Anwendungsgebieten aufzuteilen.

3.3 Teilsystem Abfallwirtschaft

Die folgenden Sektoren wurden im Teilsystem Abfallwirtschaft unterschieden:

- Verbrennung in KVA und Zementwerken
- Abwasserreinigungsanlagen
- Recycling
- Sonderabfallbehandlungsanlagen
- Deponien

Die untersuchten Verknüpfungen sind in Abb. 3.3. dargestellt. Primär- und Sekundärverbrauch sind mit verschiedenen Prozessen aus der Abfallwirtschaft verbunden. Der Sekundärverbrauch ist in diesem Diagramm nicht nach einzelnen Anwendungsgebieten aufgeteilt. Der Prozess «Recycling» bezieht sich, analog zu den anderen Prozessen, nicht nur auf das Recycling von kurzketigen chlorierten Paraffinen, sondern auch auf Produkte, die diesen Stoff enthalten.

Aus dem Teilsystem Abfallwirtschaft hinaus führen verschiedene Pfade: Einerseits vom Recycling zurück zum Sekundärverbrauch; andererseits von den Abwasserreinigungsanlagen in die Gewässer oder via Klärschlammaustragung auf Feldern in den Boden. Möglicherweise wird auch die Atmosphäre belastet. Durch Recycling wird ein Teil der SCCP wieder dem Sekundärverbrauch zur Verfügung gestellt. Es wurde angenommen, dass keine Verknüpfung zwischen der Abfallwirtschaft und dem Import oder dem Export besteht. Für Sonderabfälle aus der Metallbearbeitung wird diese Annahme durch die Sonderabfallstatistik [67] bestätigt.

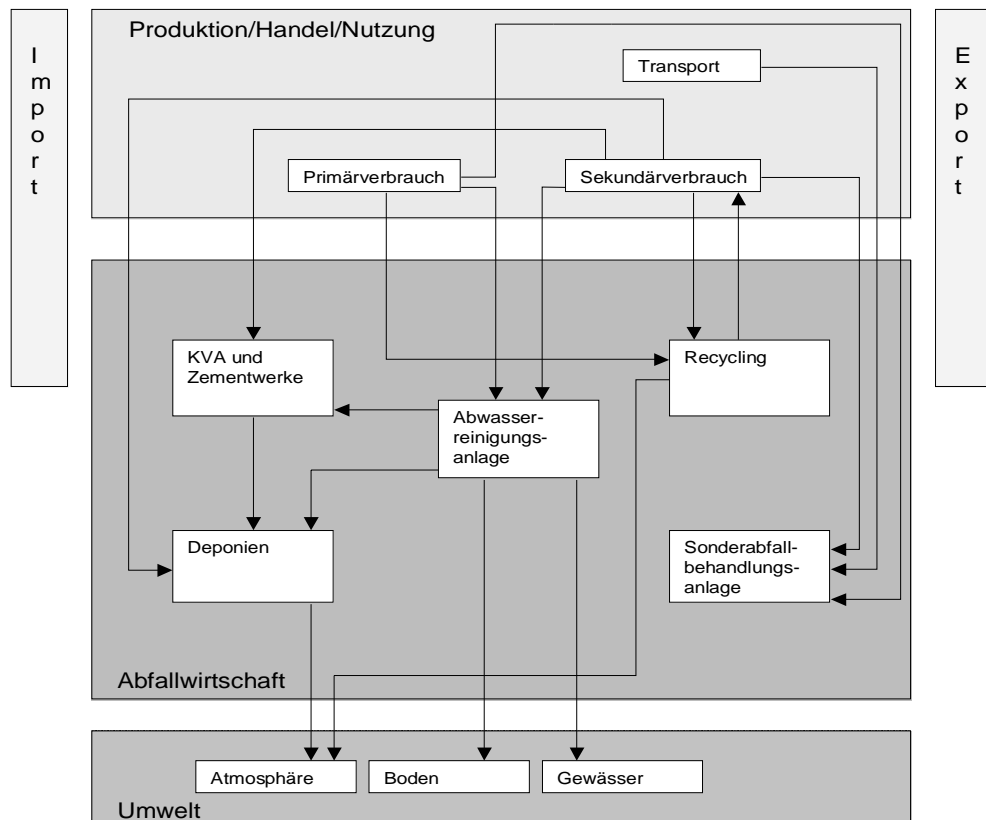


Abb. 3.3.
Das Teilsystem Abfallwirtschaft sowie dessen Verknüpfungen.

3.4 Teilsystem Umwelt

In Abb. 3.4. sind die Verknüpfungen des Teilsystems Umwelt dargestellt. Das Teilsystem Abfallwirtschaft wird hier nur als ganzes gezeichnet, da Stoffflüsse zwischen den einzelnen Prozessen der Abfallwirtschaft und der Umwelt bereits in Abb. 3.3. eingezeichnet sind. Sowohl bei der Verwendung von kurzkettingen chlorierten Paraffinen an sich (Primärverbrauch) als auch bei der Verwendung von Produkten, die kurzkettinge chlorierte Paraffine enthalten (Sekundärverbrauch), können Einträge in die Umwelt stattfinden. Wegen der Flüchtigkeit von SCCP bei höheren Temperaturen, der Bildung von Aerosolen bei der Metallbearbeitung und diffuser Verflüchtigung aus Kunststoffen ist mit einem Vorkommen der SCCP in der Atmosphäre zu rechnen [2]. Einträge in das Umweltkompartiment Wasser können zum Beispiel durch Wegwaschen von Rückständen bei der Metallbearbeitung [1] oder durch Auswaschen von SCCP aus Beschichtungen [2] erfolgen. Beim Auswaschen und Reinigen von Trommeln, in denen Chlorparaffine transportiert wurden, gehen wahrscheinlich ebenfalls gewisse Mengen in das Umweltkompartiment Wasser.

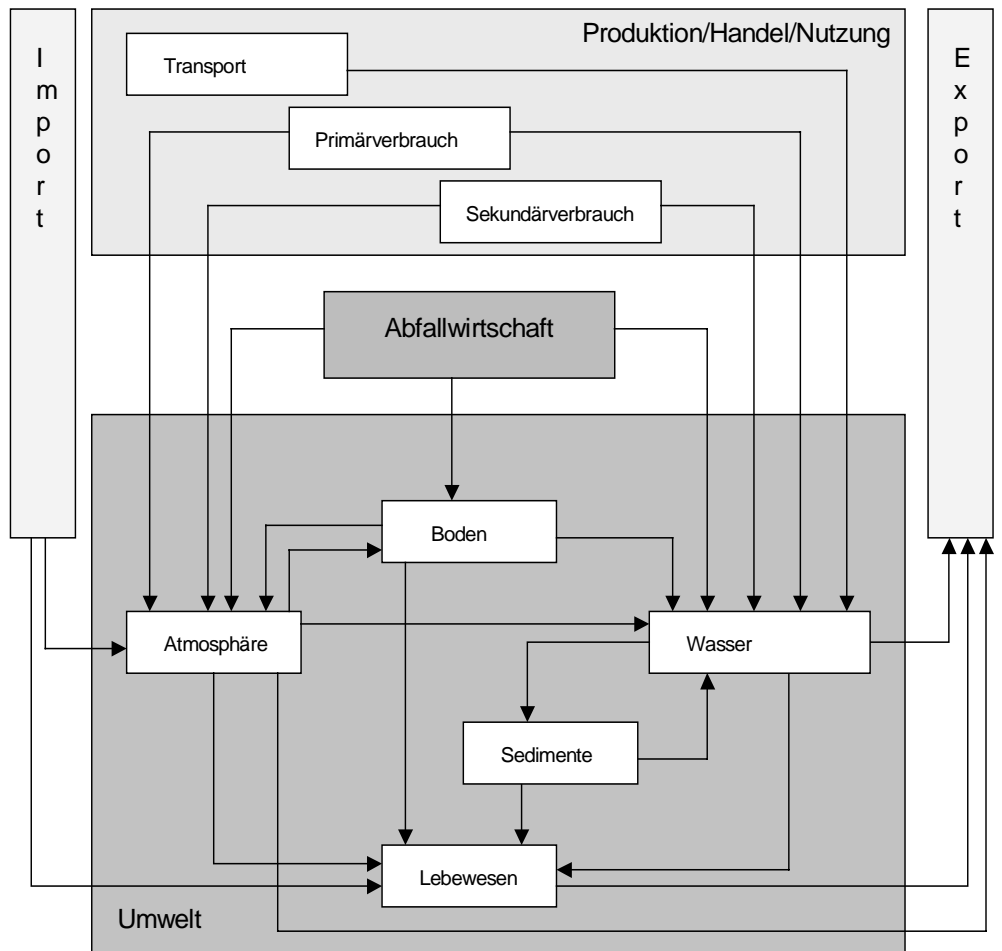


Abb. 3.4.
Das Teilsystem Umwelt
sowie dessen Verknüpfungen.

Kurzkettige chlorierte Paraffine werden nicht auf natürliche Weise gebildet [31]. Sie können hingegen möglicherweise durch Abbau längerkettiger chlorierter Paraffine entstehen (→ Kap. 5.4.).

Aus der Abfallwirtschaft können durch Abwasser und Klärschlamm Belastungen des Bodens und des Wassers entstehen. Eventuell können auch aus Deponien mit der Zeit chlorierte Paraffine entweichen.

Kurzkettige chlorierte Paraffine können über lange Distanzen in der Atmosphäre transportiert werden. Dies stellt damit eine Möglichkeit für Import und Export via Umweltmedien dar. Es gibt keine Messungen von Konzentrationen von Chlorparaffinen in der Atmosphäre. Es kann aber angenommen werden, dass etwa eine gleich grosse Menge via Atmosphäre importiert wie exportiert wird, so dass sich diese Beiträge aufheben.

Anders sieht es beim Umweltkompartiment Wasser aus: Es fliesst praktisch nur Wasser in Flüssen aus der Schweiz hinaus und keines hinein. SCCP können also durch das Umweltmedium Wasser exportiert werden. Der hohe Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient (→ Kap. 5.4.) zwischen 4,8 und 7,2 je nach Chlorierungsgrad zeigt, dass SCCP nur wenig wasserlöslich sind und sich bevorzugt in Sedimenten anlagern [2]. Sedimente stellen damit die wichtigste Senke im Teilsystem Umwelt dar. Innerhalb des Kompartiments Wasser sind Grundwasser und Gewässer miteinander verbunden; oft wird aber nur von Gewässern gesprochen.

Kurzkettige chlorierte Paraffine akkumulieren sich in Lebewesen. Am ehesten sind davon Wasserlebewesen wie Fische betroffen. Kurzkettige chlorierte Paraffine finden sich aber auch in Landlebewesen und den Menschen.

4 Anwendungsbereiche

Chlorierte Paraffine haben folgende technische Eigenschaften:

- Schmierend unter hohem Druck
- Flammhemmend, insbesondere in Verbindung mit Antimontrioxid oder Aluminiumhydroxid
- Weichmachend
- Chemisch resistent
- Wasserresistent

Kurzkettige chlorierte Paraffine werden in Europa vor allem bei der Metallbearbeitung, in der Leder- und Textilindustrie, in Gummi, Dichtungen und Klebstoffen, Lacken und Beschichtungen sowie als sekundäre Weichmacher in PVC eingesetzt.

In der Schweiz wurden nach einer Schätzung der Schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie (SGCI) 1994 insgesamt 60 Tonnen SCCP verwendet, verteilt auf sämtliche Anwendungsgebiete [71]. In der Schätzung von SGCI sind die sowohl SCCP als auch MCCP beinhaltenden Paraffinöle [2] als separate Kategorie aufgeführt. Es wird hier angenommen, dass 50% der in dieser Kategorie angegebenen 20 Tonnen SCCP sind. Damit ergibt sich eine Gesamtmenge von 70 Tonnen SCCP, die 1994 in das Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung floss.

In Westeuropa wurden 1994 insgesamt 13208 Tonnen SCCP produziert [5, 1]. Das Verbrauchsmuster sah wie folgt aus:

Tabelle 4.1. Verbrauchsmuster von SCCP in Westeuropa 1994

Anwendung	verbrauchte Menge an SCCP (Tonnen/Jahr)	Prozentualer Anteil am Gesamtverbrauch
Metallbearbeitung (inkl. Schmieröle)	9380	71.02
Gummi	1310	9.91
Beschichtungen	1150	8.71
Dichtungsmittel (inkl. Klebstoffe)	695	5.26
Leder	390	2.95
Andere	100	0.75
Total	13208	100

In der einen Quelle bezieht sich dieser Wert auf die EU [5], in einer anderen auf ganz Westeuropa, also inklusive Schweiz und Norwegen [1]. Unter der Annahme, dass der Wert für die EU gilt und der Verbrauch etwa proportional zur Grösse der Bevölkerung ist, kann so ein Verbrauch für die Schweiz von 264 Tonnen/Jahr abgeschätzt werden, da die EU mit ihren 370 Mio Einwohnern rund 50 mal mehr Einwohner hat als die Schweiz [21]. Der von SGCI angegebene Wert von 70 Tonnen/Jahr liegt deutlich tiefer. Es wird für 1994 von diesem Wert ausgegangen.

1998 betrug der Verbrauch in Europa noch 4075 Tonnen. Gegenüber 1994 ist er damit um einen Faktor 3 zurückgegangen (→ Kap 7.4.).

Um die Anteile am Gesamtverbrauch in der Schweiz abzuschätzen, wurde angenommen, dass diese in der Schweiz etwa so sind wie oben in der Tabelle für die EU angegeben. Allerdings wurden drei Korrekturen vorgenommen: Wie aus einem späteren Bericht hervorgeht [5], bezieht sich der unter «Andere» aufgeführte Wert auf Verkäufe durch Verteiler und nicht wie man annehmen könnte auf zusätzliche Anwendungsgebiete. Die unter diesem Punkt eingetragene Menge wird deshalb hier auf die anderen Anwendungsgebiete proportional zu ihren Anteilen am Gesamtverbrauch verteilt. Die zweite Korrektur bezieht sich auf die weiter unten begründete Annahme, dass in der Schweiz relativ gesehen vermutlich wesentlich weniger SCCP auf die Herstellung von Gummi entfällt als im EU-Durchschnitt. Es wird für die Schweiz von einem Wert von 2 Tonnen/Jahr ausgegangen. Die dritte Korrektur schliesslich bezieht mit ein, dass von den 70 Tonnen SCCP, die in der Schweiz jährlich verbraucht werden, ca. 5 Tonnen für die Herstellung von PVC eingesetzt werden. Auch dies ist weiter unten genauer erklärt. Damit ergeben sich folgende Anteile am Gesamtverbrauch für die einzelnen Anwendungsgebiete:

Tabelle 4..2. Abgeschätztes Verbrauchsmuster von SCCP in der Schweiz 1994

Anwendung	verbrauchte Menge an SCCP (Tonnen/Jahr)	Prozentualer Anteil am Gesamtverbrauch
Metallbearbeitung (inkl. Schmieröle)	50	72
Leder	2.1	3.0
Textilien	1.0	1.4
Dichtungsmittel (inkl. Klebstoffe)	3.7	5.3
Beschichtungen	6.1	8.8
Gummi	2.0	2.9
PVC	5.0	7.1
Total	70.0	100

Spezialpapier ist ein weiteres mögliches Anwendungsgebiet von kurzkettigen chlorierten Paraffinen, das aufgrund fehlender Zahlen jedoch nicht quantifiziert werden kann. SCCP kommen auch in Lavalampen vor; es wird aber angenommen, dass diese als solche importiert und nicht in der Schweiz hergestellt werden.

Abgesehen von Lavalampen und Gummi kann nicht abgeschätzt werden, wieviele SCCP-haltige Produkte in die Schweiz importiert oder aus der Schweiz exportiert werden. Gemäss dem hier gemachten Modell geben deshalb die Primärverbraucher von SCCP alle Produkte an schweizerische Sekundärverbraucher ab und diese beziehen keine SCCP-haltigen Produkte aus dem Ausland.

Im Folgenden werden die einzelnen Anwendungsgebiete genauer beschrieben:

Metallbearbeitungs- und Schmieröle

In der Metallbearbeitung sind kurzkettige chlorierte Paraffine Bestandteile von Ölen und Wasser/Öl-Emulsionen, die beim Bohren, Schneiden, Ziehen, Sägen und Stanzen von Metallen gebraucht werden. Während der Metallbearbeitung entsteht aus einem Teil der chlorierten Paraffine HCl, das mit den Metalloberflächen zu Metallchloriden reagiert und so eine schmierende Wirkung entfaltet [1, 4]. Kurzkettige chlorierte Paraffine werden als Hochdruck-Additive bei Schmiermitteln für Fahrzeuge, im Maschinenbau und in der feinmechanischen Industrie eingesetzt [2, 5]. Rostlöser und Kettensprays, die kurzkettige chlorierte Paraffine enthalten können [36, zit. in 27], werden hier ebenfalls den Schmierölen zugeordnet.

In der Schweiz wurden gemäss oben gemachter Schätzung 1994 etwa 50 Tonnen SCCP in Metallbearbeitungs- und Schmierölen verwendet.

Lederindustrie

In der Leder- und Pelzindustrie werden chlorierte Paraffine als fettverflüssigende Agentien eingesetzt. Sie fetten das Leder und machen es weich. Zum Teil handelt es sich um sulphochlorierte Paraffine [4]. Kurzkettige chlorierte Paraffine werden zu 95% bis 99% vom Leder aufgenommen [5].

Für die Schweiz ergibt sich ein Verbrauch von etwa 2,1 Tonne / Jahr.

Textilindustrie

Kurzkettige chlorierte Paraffine können Textilien flammhemmende und wasserabstossende Eigenschaften verleihen sowie Vermoderung verhindern. Dementsprechend sind ihre Anwendungsgebiete in der Textilindustrie Segeltücher, Lastwagenplanen, industrielle Schutzkleidung, Militärzelte, Seile, o.ä. [1, 2, 4, 6].

Die oben gemachte Abschätzung des Verbrauchs an kurzkettigen chlorierten Paraffinen in der Textilindustrie ergibt eine Verbrauchsmenge von etwa 1 Tonne/Jahr.

Dichtungsmittel

Kurzkettige chlorierte Paraffine werden in Dichtungsmitteln und Klebmassen als Additiv verwendet, um als Weichmacher dem Produkt die gewünschte Härte und Elastizität zu verleihen. In Verbindung mit Antimontrioxid oder Aluminiumhydroxid sind sie darüber hinaus effiziente Flammschutzmittel. Anwendungsgebiete sind Polymere wie Polyacrylate, Polyurethane und Polysulfiddichtmassen in der Bauindustrie und im Automobilbau sowie Fugendichtungen [1, 2, 3, 5, 66]. SCCP werden in diesem Gebiet als Ersatz für das gefährliche PCB verwendet [6, 7]. Eine Untersuchung von Fugenkitten in Basel-Stadt [66] hat ergeben, dass in einem Drittel von 44 untersuchten Proben Chlorparaffine vorhanden sind. Am häufigsten kamen kurzkettige chlorierte Paraffine vor. (Weitere Untersuchungen siehe → Kap 7.4.3 Trendanalyse 2002). Die meisten modernen Fugendichtungen basieren jedoch auf Silikonkautschuk und enthalten keine chlorierten Paraffine [66]. Gemäss einer Umfrage unter den Mitgliedern des Fachverbands der Klebstoff-Industrie im Jahr 1995 wurden 1993 in Klebstoffen rund 70 Tonnen Chlorparaffine verwendet. Aus

den Fragebogen ging nicht hervor, wie gross der Anteil der kurzkettigen chlorierten Paraffine war.

Aufgrund der oben gemachten Schätzung werden etwa 3,7 Tonnen SCCP pro Jahr in der Schweiz in Dichtungsmitteln verwendet. Dichtungsmittel wird hier als Oberbegriff für verschiedene Anwendungen verstanden, inklusive Klebstoffe.

Farben, Lacke und Beschichtungen

SCCP (und auch MCCP) können als Weichmacher eingesetzt werden; LCCP werden als Bindemittel gebraucht. SCCPs machen Beschichtungen wie Farben, Lacke u. ä. wasser-, witterungs- und korrosionsbeständig sowie schwer entflammbar [1, 2, 3]. Zu ihren Einsatzbereichen zählen deshalb beständige Grundierungen, Lacke und Beschichtungen für Schiffe, Maschinen, Brücken und Masten, Holz, Schwimmbekken, Fassaden- und Strassenmarkierungsfarben sowie flammhemmende Beschichtungen.

Die in der Schweiz gebrauchte Menge wird auf 6,1 Tonnen/Jahr geschätzt.

Gummiindustrie

Wegen ihrer flammhemmenden Eigenschaften werden SCCPs in Transportbändern beim Bergbau, in schallisolierenden Stoffen, in Schläuchen sowie als Dichtungen bei der Elektroinstallation und im Fahrzeugbau verwendet [1, 2, 3, 5]. Es werden hier ausschliesslich kurzkettige chlorierte Paraffine gebraucht, da diese einen pro Gewicht höheren Chlorierungsgrad aufweisen können als etwa mittelkettige chlorierte Paraffine und damit stärker flammhemmend sind.

Da das Hauptanwendungsgebiet für chlorierte Paraffine in der Gummiindustrie schwerentzündliche Förderbänder für die Bergwerkindustrie sind und es in der Schweiz keine Bergwerke gibt, wird angenommen, dass der prozentuale Verbrauch in der Schweiz in diesem Gebiet wesentlich tiefer liegt als der durchschnittliche prozentuale Verbrauch in der EU. Als grobe Schätzung wird hier angenommen, dass der prozentuale Anteil des Verbrauchs von SCCP für Gummi, bezogen auf den Gesamtverbrauch, in der Schweiz ein Drittel des prozentualen Anteils in der EU beträgt. Dies entspricht 2 Tonnen pro Jahr.

Für Gummi kann eine Abschätzung gemacht werden, wieviel SCCP-haltige Güter importiert werden. Unter der Tarifnummer 4002.3900 sind in der Zollstatistik Chlorbutylkautschuk und Brombutylkautschuk in Primärformen oder in Platten, Blättern oder Streifen zusammengefasst. Gemäss einer Angabe aus der Industrie enthalten Chlorbutylkautschukbänder etwa 10% Chlorparaffine. 1995 wurden unter dieser Tarifnummer 44,3 Tonnen importiert, und 0,4 Tonnen exportiert. Unter der groben Annahme, dass etwa die Hälfte der unter dieser Nummer aufgeführten Menge chlorierte Paraffine enthielt, und unter der Verwendung eines Anteils am Chlorbutylkautschuk von 10%, ergibt sich, dass etwa 2 Tonnen SCCP pro Jahr in Chlorbutylkautschuk importiert wurden. 1990 wurden unter der Tarifnummer 4002.3900 76,7 Tonnen importiert und 0,25 exportiert, 2000 55,3 Tonnen importiert

und 0,063 exportiert. Der Verbrauch von SCCP in Gummi ist also über die neunziger Jahre gesehen mehr oder weniger stabil geblieben.

Da sonst für kein anderes Anwendungsgebiet bekannt ist, wieviel SCCP-haltige Güter importiert werden, wird der Wert von 2 Tonnen in Gummi importierten SCCP nicht für die Stoffflussanalyse verwendet. Diese Zahl zeigt aber, dass es die Stoffflussanalyse insgesamt wesentlich beeinflussen würde, wenn man auch den Import von SCCP-haltigen Gütern mit einbezöge.

Weichmacher in Kunststoffen

Chlorierte Paraffine (vor allem MCCP, aber auch SCCP und LCCP) dienen in PVC und anderen Kunststoffen als Weichmacher und Flammhemmmittel [2, 3, 5]. Sie werden im allgemeinen als sekundäre Weichmacher verwendet, um die benötigte Menge an primärem Weichmacher zu senken, können aber nicht gut als alleinige Weichmacher verwendet werden. Sie werden eingesetzt, weil sie billig sind und flammhemmenden Eigenschaften besitzen. Die flammhemmende Wirkung kommt einerseits dadurch zustande, dass bei hohen Temperaturen die Halogenverbindungen sich auflösen und unbrennbare Gase entstehen, die den Sauerstoff von der Oberfläche fernhalten, und andererseits durch Radikalreaktionen, welche das Polymer daran hindern, sich in leichte, brennbare Moleküle zu zersetzen [3].

Die wichtigsten Produktgruppen von CP-haltigem PVC sind elektrische Kabel und Schläuche sowie Folien, Platten, Boden- und Wandbeläge. In letzteren wird sogenanntes «plastisol»-artiges, als Beschichtung verwendbares PVC benutzt [5]. In [4] sind auch Möbel, in [8] Schuhe als mögliches Anwendungsgebiet aufgezählt.

In Kanada und Europa wurden 1991 resp. 1994 mehr als fünfzig Prozent der chlorierten Paraffine in Kunststoffen wie PVC eingesetzt [18, 6]. Allerdings ist unklar, wie gross der Anteil der kurzkettigen chlorierten Paraffine war. 1994 wurden in der EU keine kurzkettigen chlorierten Paraffine in dieser Anwendung deklariert [1, 5]. 1999 wurden in Grossbritannien 45 Tonnen/Jahr in PVC verwendet [5]. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch in früheren Jahren grössere Mengen an kurzkettigen chlorierten Paraffinen in Kunststoffen eingesetzt wurden. Unter der Annahme, dass der Verbrauch an SCCP in diesem Anwendungsgebiet etwa proportional zur Bevölkerung ist, kann aufgrund des Verhältnisses der Bevölkerungszahlen von UK zu CH von 8:1 abgeschätzt werden, dass in der Schweiz etwa 5 Tonnen/Jahr kurzkettige chlorierte Paraffine in der Kunststoffherstellung verwendet werden. Eine Umfrage in der Schweiz unter den Mitgliedern des Kunststoffverbandes hat ergeben, dass 1994 25 Tonnen verwendet wurden für flammhemmendes PVC. Allerdings handelte es sich dabei laut Angaben der Firmen vor allem um langkettige chlorierte Paraffine. Im Folgenden wird von einem Schätzwert von 5 Tonnen kurzkettiger chlorierter Paraffine pro Jahr ausgegangen.

Papierindustrie

Spezialpapier aus Finnland enthielt 130 mg CPs pro A4-Blatt [4]. In kohlefreiem Durchschreibpapier ist Chlorparaffin enthalten, das Farbstoffe mikroverkapselt; beim Durchschreibvorgang werden die Farbstoffe freigesetzt [2].

In Finnland wurden 1991 schätzungsweise 150 Tonnen chlorierte Paraffine, die in Spezialpapier enthalten waren, auf Deponien gebracht. Sonst liegen aber keine Angaben zum Verbrauch von Chlorparaffinen in der Papierindustrie vor. Der Verbrauch in der Schweiz in diesem Anwendungsgebiet kann deshalb nicht abgeschätzt werden.

Lavalampen

Chlorierte Paraffine sind Komponenten des farbigen Zweiphasensystems, das in den dekorativen Lavalampen verwendet wird [5]. Lavalampen sind in letzter Zeit wieder in Mode gekommen. Für das UK wurde angegeben, dass 1999 2 Tonnen/Jahr in Lavalampen verwendet wurden [5]. Allerdings fehlt der Verwendungszweck zu rund 30% der im UK verwendeten SCCP. Es wird deshalb von einem um 30% höheren Wert von 2,6 Tonnen/Jahr ausgegangen. Auf die Schweiz proportional zur Bevölkerung umgerechnet heisst das, dass in der Schweiz etwa 0,3 Tonnen SCCP pro Jahr als Bestandteile von Lavalampen verwendet werden. Lavalampen werden wahrscheinlich nicht in der Schweiz hergestellt. Es ist deshalb anzunehmen, dass diese direkt von Sekundärverbrauchern importiert werden.

Neue Anwendungsbereiche

Eine Patentrecherche in Chemical Abstracts der Jahrgänge 1992–1994 hatte ergeben [27], dass für Chlorparaffine auf folgenden bisher nicht erwähnten Anwendungsgebieten Patente bestehen:

- Bestandteil von Tinten für Tintenstrahldrucker
- Bestandteil für Toner in Laserdruckern
- Carrier für Insektizide

Auch in [4] findet sich ein Hinweis, dass Chlorparaffine in Drucktinten vorkommen. Laut den Angaben des Schweiz. Wirtschaftsverbandes der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik (SWICO) verwenden ihre Verbandsmitglieder keine chlorierten Paraffine in ihren Produkten noch werden solche Produkte in die Schweiz importiert.

5 Stoffflüsse im Gesamtsystem Schweiz

5.1 Überblick über die Stoffflüsse

In Abb. 5.1.1. sind die Stoffflüsse zwischen den Teilsystemen Produktion/Handel/Nutzung, Abfallwirtschaft und Umwelt sowie die Stoffflüsse in das und aus dem Gesamtsystem Schweiz zusammengefasst. Die Herleitung der Zahlen wird in den Kapiteln 5.2. bis 5.4. erklärt. In der Schweiz findet keine Produktion von SCCP statt (→ Kap. 3); das Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung wird nur zum besseren Vergleich mit anderen Stoffflussanalysen so benannt. Ausgehend vom Import verläuft der hauptsächliche Stofffluss über das Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung in die Abfallwirtschaft. Es werden jährlich etwa 70 Tonnen SCCP importiert. Einträge in die Umwelt entstehen einerseits bei der Nutzung in der Höhe von 4,1 Tonnen/Jahr, andererseits aus der Abfallwirtschaft in der Höhe von 2,9 Tonnen/Jahr. Nur eine geringe Menge von SCCP gelangt von der Abfallwirtschaft durch Recycling wieder in die Nutzung. Export aus dem Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung konnte nicht quantifiziert werden; es handelt sich dabei aber um nicht unwesentliche Mengen. Export aus dem Teilsystem Umwelt wurde auf 2,2 Tonnen/Jahr geschätzt. Es wurde angenommen, dass kein Abfall exportiert wird.

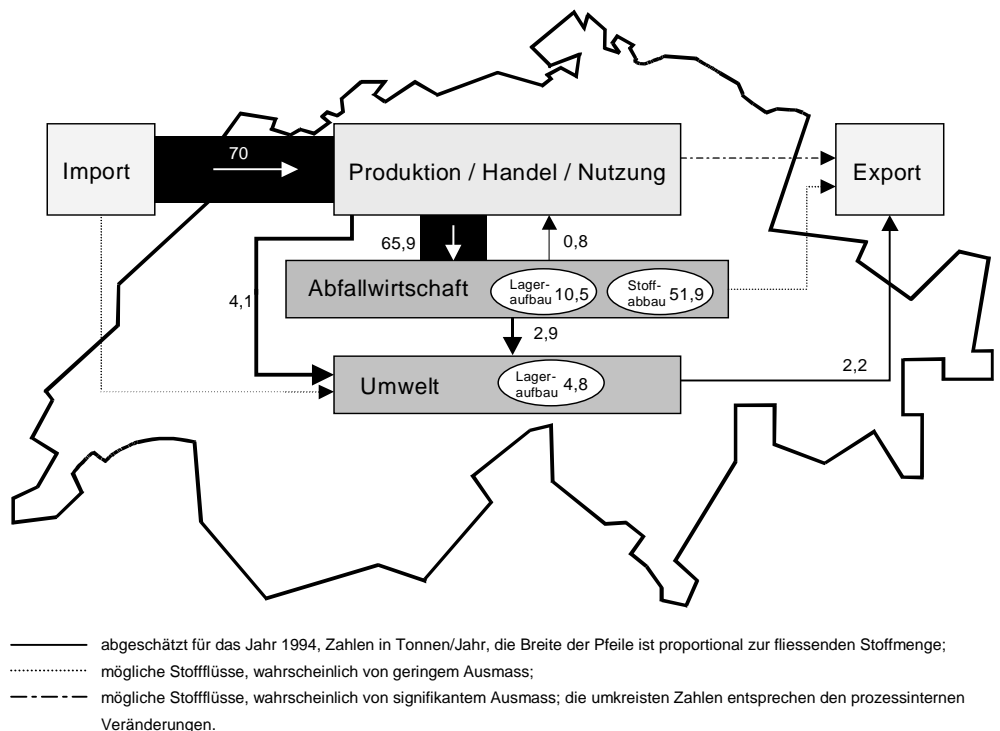


Abb. 5.1.1.
Überblick über die Stoffflüsse im Gesamtsystem Schweiz, in dieses hinein oder aus diesem hinaus.

Der Export über Umweltmedien wurde auf 2,2 Tonnen/Jahr geschätzt. In dieser Zahl ist ausschliesslich der Export über das Wasser, nicht aber über die Atmosphäre berücksichtigt.

Schätzungsweise 0,012 Tonnen SCCP werden jährlich in Lebensmitteln importiert. Da diese in der Nahrungskette stehen, werden sie in Kap. 5. 4. der Umwelt zugerechnet. Unter Import in die Umwelt versteht man aber eigentlich nur Stofftransport

durch Umweltmedien; dieser kann nicht genau quantifiziert werden, da der grösste Beitrag wahrscheinlich als Stofftransport über die Atmosphäre erfolgt und die Konzentration von SCCP in der Luft unbekannt ist. Deshalb ist die Verknüpfung zwischen Import und Umwelt nur als gepunktete Linie gezeichnet.

Tabelle 5.1.1. zeigt die prozessinternen Veränderungen: In der Abfallwirtschaft findet ein grosser Stoffabbau, 62,3 Tonnen/Jahr, statt; etwa 5 Tonnen lagern sich jährlich in der Umwelt ab. Im Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung finden keine prozessinternen Veränderungen statt.

Tabelle 5.1.1. Prozessinterne Veränderungen im Teilsystem Umwelt

	Produktion/ Handel/Nutzung	Abfall- wirtschaft	Umwelt
Summe Input	70	65.9	7
Summe Output	70	3.6	2
Prozessinterne Veränderungen setzen sich zusammen aus:	0	62.3	5
Lagerveränderung Stoffabbau		62.3	5

5.2 Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung

5.2.1 Import/Export

Import

→ Primärverbrauch

Zum Import von kurzkettingen chlorierten Paraffinen liegt ein Wert von 70 Tonnen/Jahr vor, der von der Schweizerischen Gesellschaft der Chemischen Industrie, SGCI, gemacht wurde [71].

Import

→ Sekundärverbrauch

Zum Import von Produkten, die kurzkettinge chlorierte Paraffine enthalten, gibt es keine Zahlen. Die Zollstatistik ist dazu zu wenig detailliert, und die Industrie ist bis jetzt dazu nicht befragt worden. Eine Abschätzung kann höchstens für SCCP in Butylkautschuk gemacht werden (→ Kap. 4). Dieser Stoffweg kann deshalb in der Stoffflussanalyse nicht quantifiziert werden.

Primärverbrauch

→ Export

Kurzkettige chlorierte Paraffine oder Produkte, die diesen Stoff enthalten, können exportiert werden. Da in der Schweiz keine Produktion von kurzkettingen chlorierten Paraffinen stattfindet, ist anzunehmen, dass das in die Schweiz importierte Chlorparaffin auch hier verwendet und nicht ins Ausland weiterverkauft wird.

Sekundärverbrauch

→ Export

Andererseits ist es gut möglich und wurde aus der Industrie in einer Umfrage auch gemeldet, dass chlorparaffinhaltige Produkte zum Teil exportiert werden. Da jedoch zu wenig Daten vorliegen, kann dieser Stoffweg nicht berücksichtigt werden.

5.2.2 Transport

Chlorparaffine werden in Trommeln transportiert. Beim Auswaschen solcher Trommeln entstehen eventuell Sonderabfälle oder Einträge in die Umwelt. Diese möglichen Stoffflüsse können jedoch nicht quantifiziert werden.

5.2.3 Nutzung

Für jedes der Anwendungsgebiete von kurzkettigen chlorierten Paraffinen werden die folgenden Stoffflüsse genauer betrachtet:

Primärverbrauch (Verarbeitung)	→ Umwelt
Primärverbrauch (Verarbeitung)	→ Abfallwirtschaft
Sekundärverbrauch (Gebrauch)	→ Umwelt
Sekundärverbrauch (Gebrauch)	→ Abfallwirtschaft

Metallbearbeitung

Primärverbrauch
→ Umwelt

Chlorierte Paraffine werden bei der Herstellung von Metallbearbeitungsölen verwendet. Im EU Risikobewertungsbericht wird angegeben, dass etwa 1% des Öls bei der Verarbeitung verloren geht [1]. Der grösste Teil davon sind kontrollierte Verluste, die als Sonderabfall entsorgt werden. Typischerweise gelangt 0,25% des Schneid- und Schmieröls in das Abwasser. Einträge in die Atmosphäre sind bei der Herstellung dieser Öle minimal.

Es wurde oben angenommen, dass in der Schweiz jährlich 50 Tonnen SCCP für die Produktion von Metallbearbeitungsölen eingesetzt werden; wenn davon 0.25% in das Abwasser gelangt, entspricht dies einem Wert von 0,13 Tonnen pro Jahr. Es wird angenommen, dass das Abwasser aus dem Primärverbrauch zu 100% in Abwasserreinigungsanlagen geleitet wird, also keinen direkten Eintrag in die Umwelt darstellt.

Primärverbrauch
→ Abfall

0,75% oder 0,38 Tonnen/Jahr werden als Sonderabfall entsorgt. Die Sonderabfallstatistik [67] gibt an, dass 1994 etwa 10% der Schneid- und Bearbeitungsöle recycelt, 80% chemisch-physikalisch behandelt und 10% verbrannt wurden. Letztere beiden Entsorgungswege werden hier unter Sonderabfallbehandlungsanlagen zusammengefasst. Folglich gehen 0,34 Tonnen/Jahr in eine Sonderabfallbehandlungsanlage und 0,04 Tonnen/Jahr ins Recycling.

Sekundärverbrauch
→ Umwelt

Chlorparaffinhaltige Metallbearbeitungsöle werden entweder in der Schweiz hergestellt oder in die Schweiz importiert. Da keine Zahlen zum Import vorliegen, wird, wie oben erwähnt, im Folgenden die (wohl unkorrekte) Annahme gemacht, dass keine Metallbearbeitungsöle importiert werden und in der Schweiz nur soviel Metallbearbeitungsöl verwendet wird, wie auch in der Schweiz hergestellt wird. Diese Annahme gilt im übrigen analog auch für die anderen Anwendungsbereiche.

Der Risikobewertungsbericht der EU, abgekürzt EU RAR für EU Risk Assessment Report, gibt an, dass bis zu 16% der in Schneidölen enthaltenen SCCP bei der

Metallbearbeitung direkt und 2% via Luft indirekt ins Abwasser gelangen [1]. Aus verschiedenen Gründen sind diese Werte möglicherweise ungenau:

- Bei der Verwendung von SCCP als Hochdruck-Additiv in der Metallbearbeitung können SCCP abgebaut werden: Auf der Zersetzung von SCCP zu HCl und beruht ja gerade deren schmierende Wirkung. Im EU RAR ist nicht berücksichtigt, dass SCCP auf diese Weise verschwinden können.
- Aus anderen zur Metallbearbeitung zählenden Anwendungen als Schneidölen entstehen möglicherweise mehr Einträge in die Umwelt als bei Schneidölen. Bei der Verwendung von SCCP als Schmiermitteladditiv in Ketten-, Hydraulik- oder anderen Ölen ist damit zu rechnen, dass ein grosser Anteil in die Umwelt entweicht. Interessante Hinweise zu diesem Thema liefert eine kürzlich veröffentlichte Studie aus Schweden [29], in der Chlorparaffine im Kompost nachgewiesen wurde in einer Konzentration von 0,5 bis 48 µg/kg TS. Als Quelle der Chlorparaffine wird Hydrauliköl vermutet, das vom Sammelfahrzeug in das Grüngut gelangte. Bei der Anwendung von Kettensprays und anderen Schmierölen ist anzunehmen, dass SCCP auf die Strassen gelangen, von diesen durch Regenwasser weggewaschen und in die Gewässer eingeleitet werden [31]. Diese Beispiele zeigen, dass bei der Anwendung von Metallbearbeitungs- und Schmierölen erhebliche Verluste anfallen können, die nicht berücksichtigt werden, wenn nur der Gebrauch von Schneidölen untersucht wird.
- Es wird im EU RAR davon ausgegangen, dass abgesehen von den Verlusten maximal 10% des eingesetzten Schneidöls in das Abwasser geleert wird. In der Literatur wird mehrfach erwähnt, dass gerade die unsachgemässe Entsorgung von gebrauchtem Schneidöl, das heisst, wenn verbrauchtes Schneidöl einfach in die Kanalisation oder Gewässer entleert wird, eine bedeutende Quelle für Einträge in die Umwelt darstellen kann [13, 28]. Diese Vermutung wurde auch in Zusammenhang mit einer schweizerischen Untersuchung zum Vorkommen von chlorierten Paraffinen im Klärschlamm geäussert [24, 26]. Der EU RAR unterschätzt deshalb eventuell den tatsächlichen Wert.
- Im EU RAR Bericht wird angegeben, dass für grosse Anlagen die Verluste an Schneidflüssigkeiten und damit auch an SCCP 48% betragen. Diese 48% sind an der Gesamtmenge an SCCP in Schneidflüssigkeiten gemessen, die jährlich in Gebrauch sind, und beziehen sich *nicht* auf die Menge der in einem Jahr von den Firmen bezogenen SCCP. Mit anderen Worten müssen jährlich 48% der Menge an Schneidflüssigkeiten, die in Gebrauch sind, ersetzt werden. Es gehen deshalb netto nicht bloss 48% der neu bezogenen SCCP verloren, sondern 100%, nur macht diese Menge eben 48% von der Menge aus, die insgesamt in Gebrauch ist. Korrekterweise müssten deshalb die angegebenen Verluste im EU RAR mit einem Faktor zwei multipliziert werden. Dies macht einen entscheidenden Unterschied aus in der Menge der in die Umwelt gelangenden SCCP, und es ist schwer ersichtlich, weshalb diese Überlegung nicht in den EU RAR einbezogen wurde.

Ein wesentlich höherer Wert der in die Umwelt entweichenden SCCP findet sich in einem Bericht aus Schweden [3]: Hier wird angenommen, dass etwa 45% der chlorierten Paraffine bei dieser Verwendung in die Luft oder das Wasser gelangen.

In einem finnischen Bericht wird geschätzt, dass bei der Metallbearbeitung 70% entweder zerstört werden, in die Umwelt gelangen oder auf Deponien abgelagert werden [4]. In einem kanadischen Bericht steht, dass bei der Entsorgung von gebrauchten Trommeln, die Metallbearbeitungsöl enthalten haben, beim Wegtragen von bearbeiteten Metallteilen und bei der Entsorgung von gebrauchtem Metallbearbeitungsöl Verluste in die Umwelt entstehen können [16].

Angesichts der erheblichen Unsicherheiten bezüglich des Anteils der SCCP, die beim Gebrauch in Schneid- und Schmierölen in die Umwelt gelangen, bleibt nichts anderes übrig, als von einer Schätzung auszugehen. Es wird hier angenommen, dass 30% oder 14,9 Tonnen/Jahr (t/a) entweder als Sonderabfall anfallen oder in die Gewässer oder das Abwasser gelangen und 2% oder 1 t/a in die Atmosphäre entweicht. Gemäss einer unten erklärten Rechnung aufgrund der Abfallstatistik werden 7,5 t/a als Sonderabfall entsorgt. Abzüglich der beim Primärverbrauch abgeschätzten Sonderabfallmenge sind es 7,1 t/a. Damit bleiben 7,8 t/a übrig, die in das Abwasser gelangen. Dies entspricht 15% und liegt damit unter Einbezug der Einträge in die Atmosphäre von 2% wieder fast genau gleich wie der im Risk Assessment Report verwendete Wert von maximal 18% als Anteil der SCCP, die in die Umwelt gelangen. Im Unterschied zum EU Bericht wird hier zwar von einer grösseren maximalen Menge ausgegangen, die in die Abwässer oder die Umwelt gelangen kann, im Gegenzug jedoch angenommen, dass eine grössere Menge als Sonderabfall entsorgt wird. Es ist nicht klar, wieviel von den 7,8 t/a als Abwasser in die Abwasserreinigungsanlagen und wieviel über Regenwasserkanäle direkt in die Gewässer geleitet wird. Mangels besserer Zahlen wird hier angenommen, dass 25% oder 2 t/a in die Gewässer und 75% oder 5,8 t/a in die Kläranlagen eingeleitet werden. Industrieabwässer werden zwar im Prinzip zu 100% in Kläranlagen gereinigt, doch ist wie oben erwähnt mit diffusen Quellen, zum Beispiel Fahrzeugen auf Strassen, zu rechnen.

Sekundärverbrauch
→ **Abfall**

In der Sonderabfallstatistik [67] sind unter der Ziffer 1432 chlorierte Schneid- und Bearbeitungsöle aufgeführt. Ziffer 1450, die für chlorierte Isolieröle steht, wird nicht berücksichtigt, da nicht klar ist, inwiefern es sich bei Isolierölen um Anwendungsgebiete von chlorierten Paraffinen handelt. 1994 fielen unter Ziffer 1432 insgesamt 102 Tonnen Abfall an. Eine Untersuchung von Schneid- und Schmierölen in der Schweiz [8] hat gezeigt, dass 38% der Proben, in denen chlorierte Paraffine nachgewiesen wurden, kurzkettige chlorierte Paraffine enthielten. In diesen Proben lag der durchschnittliche Anteil an kurzkettigen chlorierten Paraffinen bei 20%. Somit lässt sich abschätzen, dass etwa 7,5 Tonnen SCCP in Form von Schneid- und Schmierölen als Sonderabfall entsorgt wurden. Von dieser Menge sind die 0,4 Tonnen SCCP abzuziehen, die bereits beim Primärverbrauch als Sonderabfall entfernt werden (siehe oben); somit gelangen vom Sekundärverbrauch schätzungsweise 7,1 Tonnen SCCP in den Sonderabfall. Diese Zahl lässt sich mit den Angaben aus dem EU-Risikobewertungsbericht vergleichen: Danach sind es in grösseren Betrieben bis zu 12% der ursprünglich eingesetzten Öle, die statt in die Hydrosphäre zu gelangen als Sonderabfall entsorgt werden [1]. Dies würde in der

Schweiz etwa 6 Tonnen/Jahr entsprechen, was gut mit der hier verwendeten Zahl übereinstimmt.

Wie bei den Abfällen aus dem Primärverbrauch kann aufgrund der Sonderabfallstatistik geschätzt werden, dass 90% des Sonderabfalls oder 6,4 Tonnen/Jahr in einer Sonderabfallbehandlungsanlage durch chemisch-physikalische Behandlung oder Verbrennung unschädlich gemacht werden und 10% oder 0,7 Tonnen/Jahr ins Recycling gehen.

Gemäss EU RAR-Bericht werden zudem 3%–9% der ursprünglich gebrauchten Metallbearbeitungsöle in Form von Metallabfällen auf Deponien eingelagert [1]. Hier wird von einem Wert von 3% oder 1,5 Tonnen/Jahr ausgegangen.

Wie oben bereits erwähnt, wurde in einem Bericht aus Schweden festgestellt, dass sich im Kompost 0,5 bis 48 µg/kg Trockengewicht chlorierte Paraffine befanden. Laut Abfallstatistik [22] gab es 1994 rund 400'000 Tonnen Kompost. Unter Annahme einer Konzentration von 10 µg/kg TS entspricht dies einer Menge von 0,004 Tonnen CP / Jahr. Diese Menge ist wohl vernachlässigbar. Es ist aber trotzdem interessant, dass eher unerwarteterweise auch im Kompost Chlorparaffine zu finden sind.

Der grösste Teil der anfallenden Verluste besteht aus Metallbearbeitungsöl, das an Metallteilchen (engl. Swarf) haften bleibt. Diese werden grösstenteils eingeschmolzen und von der Stahlindustrie wiederverwertet. Bei diesem Prozess werden die Chlorparaffine zerstört. Der Anteil der so zerstörten Chlorparaffine beträgt je nach Literaturangabe 27%–81% [1] respektive 25% [4]. Es wird hier angenommen, dass der Anteil, der weder in die Umwelt (Gewässer und Atmosphäre s. Tab. 5.4.9) noch in Abwasserreinigungsanlagen, Sonderabfallbehandlungsanlagen oder auf Deponien gelangt (s. Tab. 5.3.7.), also 66% der in Metallbearbeitungsölen verwendeten SCCP oder 32,9 Tonnen/Jahr, auf diese Weise im Metallrecycling zerstört werden.

Es bleibt unklar und wird nicht in die Rechnungen einbezogen, wieviel SCCP beim Recycling und beim Putzen von Trommeln, die Metallbearbeitungsöle enthalten, in die Umwelt oder den Abfall gelangen [4, 16, 31] und wieviele SCCP beim Gebrauch selbst durch Bildung von HCl zerstört werden [1, 2, 4].

Primärverbrauch
→ **Umwelt**

Lederindustrie

Chlorierte Paraffine werden in der Lederindustrie als Mischungen mit sulphonierten Verbindungen als fettverflüssigende Agentien eingesetzt, um das Leder weich zu machen [17].

Der Transferkoeffizient für die Freisetzung in die Atmosphäre beträgt 0,001% und für die Freisetzung in die Hydrosphäre 2% [1]. Es wurde abgeschätzt, dass in der Schweiz etwa 2 Tonnen SCCP pro Jahr in der Lederverarbeitung verwendet werden (Kap. 4). Bei der Herstellung des Gemisches für die Lederverarbeitung gelangen somit in der Schweiz weniger als 0,0001 Tonnen/Jahr in die Atmosphäre und 0,04 Tonnen/Jahr in die Hydrosphäre.

Primärverbrauch
→ **Abfall**

Es wird angenommen, dass das in die Hydrosphäre entwichene SCCP vollumfänglich in die Abwasserreinigungsanlagen eingeleitet wird. Ansonsten liegen keine Angaben dazu vor, wieviel SCCP-haltiger Abfall bei der Herstellung von Lederbearbeitungsflüssigkeiten entsteht

Sekundärverbrauch
→ **Umwelt**

Bei der Lederbehandlung sind die Transferkoeffizienten für die Freisetzung in die Atmosphäre 0,1% und für die Freisetzung in die Hydrosphäre 5% [1, 17]. Damit gelangen 0,002 Tonnen/Jahr in die Atmosphäre und 0,1 Tonnen/Jahr in die Hydrosphäre, wobei auch hier angenommen wird, dass Einträge in die Hydrosphäre nicht in die Umwelt, sondern in den Prozess Abwasserreinigungsanlage gelangen.

Aus den Niederlanden wird berichtet, dass ein Grossteil der dort hergestellten Lederprodukte exportiert wird [17]. Für die Schweiz können diese anteilmässig eventuell wichtigen Stoffflüsse mangels der dazu nötigen Daten nicht berücksichtigt werden, wie oben schon bemerkt wurde.

Sekundärverbrauch
→ **Abfall**

Es wird angenommen, dass sich der Prozess Sekundärverbrauch bei der Lederverarbeitung in einem Fließgleichgewicht befindet und sich somit bei der Bilanzierung die In- und Outputs ausgleichen. Dies ist eine Näherung erster Ordnung und wird in der Literatur als stationärer Fall bezeichnet [70]. Die Lederprodukte nehmen bei der Verarbeitung etwa 95% der Chlorparaffine auf [1, 17]. Um ein Fließgleichgewicht zu erhalten, wird angenommen, dass eine gleich grosse Menge von Chlorparaffinen jährlich aus dem Sekundärverbrauch in den Abfall gelangt. Dies bedeutet, dass jährlich gleich viele Lederprodukte in den Abfall gelangen wie hergestellt werden. In diesen Lederprodukten sind ca. 2 Tonnen SCCP enthalten. Gemäss der Abfallstatistik [22] teilten sich 1994 brennbare Abfälle wie folgt auf: In KVA wurden 74% entsorgt, auf Deponien 26%. Somit gelangten durch Lederprodukte etwa 1,5 Tonnen SCCP in KVAs und 0,5 Tonnen auf Deponien. Zum Vergleich: In Finnland wurden 1990 die Menge der in Form von Lederabfällen in den Abfall gelangenden chlorierten Paraffine auf 2 bis 4 Tonnen geschätzt [4].

Textilindustrie

Primärverbrauch
→ **Umwelt**

Nur geringe Mengen an chlorierten Paraffinen werden während der Produktionsprozesse von Textilien in die Umwelt freigesetzt, da die chlorierten Paraffine in

dieser Anwendung meist in Verbindung mit einer Polymermatrix angewendet werden, so dass nur Abfälle von Polymeren entstehen, die chlorierte Paraffine enthalten. Diese Polymerabfälle können fachgerecht entsorgt werden, und die chlorierten Paraffine gelangen somit nicht in die Umwelt [1]. Es wird damit angenommen, dass in der Schweiz aus der Anwendung im Textilbereich keine Umweltbelastung durch chlorierte Paraffine entsteht.

Primärverbrauch
→ **Abfall**

Es stehen keine Untersuchungen zur Verfügung, die über die bei der Textilbehandlung anfallenden SCCP-haltigen Abfälle Auskunft geben könnten.

Sekundärverbrauch
→ **Umwelt**

Es liegen keine Angaben dazu vor, wieviel SCCP beim Gebrauch von chlorparaffinhaltigen Textilien in die Umwelt entweichen.

Sekundärverbrauch
→ **Abfall**

Es wird angenommen, dass jährlich gleich viele Textilprodukte in den Abfall gelangen wie hergestellt werden, und somit 1 Tonne SCCP anfällt. Gemäss Angaben aus der Abfallstatistik [22] wurden davon etwa 0,7 Tonnen in KVAs verbrannt und 0,3 Tonnen auf Deponien entsorgt.

Beschichtungen und Dichtungsmittel

Primärverbrauch
→ **Umwelt**
→ **Abfall**

Es liegen keine Angaben vor zum Anteil der Chlorparaffine, die bei der Herstellung von CP-haltigen Beschichtungen und Dichtungsmitteln in die Umwelt oder die Abfallwirtschaft gelangen.

Sekundärverbrauch
→ **Umwelt**

Chlorparaffine können aus Farben, Lacken, Beschichtungen sowie aus Dichtungsmitteln durch Auswaschen oder Verflüchtigung entweichen [2, 16, 1].

Im Vordergrund stehen dabei zunächst Beschichtungen, die dem Wasser ausgesetzt sind, wie Beschichtungen von Schiffen oder Schwimmbecken [2]. Allerdings sind gerade die chlorparaffinhaltigen Beschichtungen von Schiffen oft mit einer zweiten Schicht bedeckt, die eine Auswaschung minimieren [1].

Falls die Beschichtungen durch Besprühen auf die zu behandelnden Oberflächen gebracht werden, ist das Risiko besonders gross, dass Einträge von chlorierten Paraffinen in die Hydrosphäre erfolgen, wenn die entstehenden Farbrückstände nicht fachgerecht entsorgt werden [16].

Im EU RAR werden die Umwelteinträge aus den beiden Kategorien Beschichtungen und Dichtungsmittel als minimal angesehen und nicht weiter quantifiziert. Dies ist nicht unbedingt gerechtfertigt. Chlorierte Paraffine kommen in so zahlreichen Anwendungen von Beschichtungen und Farben vor, dass mit einem nicht vernachlässigbaren Eintrag in die Umwelt gerechnet werden muss, besonders da zum Beispiel Bootsanstriche und Strassenmarkierungsfarben in ständigem oder häufigem Kontakt mit Wasser sind und damit ein Wegwaschen von SCCP über mehrere Jahre hinweg gesehen wahrscheinlich ist und andererseits chlorierte Paraffine ähnlich wie bei Kunststoffen sich aus Farben und Anstrichen verflüchtigen können [2].

In der Bewertung des EU Risks Assessments durch das Scientific Committee for Toxicity, Ecotoxicity and the Environment wird ein kürzlich veröffentlichter Bericht erwähnt, in dem Emissionen von Oberflächen gemessen wurden, die mit einer SCCP-haltigen Beschichtung versehen waren [42]. Jährliche Emissionen betragen jenem Bericht zufolge 0,78% des in der Beschichtung enthaltenen SCCP.

Jährlich werden schätzungsweise rund 6 Tonnen SCCP in Beschichtungen und 4 Tonnen in Dichtungsmitteln in der Schweiz eingesetzt. Zu Emissionen aus Dichtungsmitteln ist nichts bekannt. Es wird angenommen, dass sie sich gleich verhalten wie bei Beschichtungen. Unter der Annahme eines Transferkoeffizienten von 0,78% entweichen somit aus Beschichtungen 0,05 Tonnen/Jahr und aus Dichtungsmitteln 0,03 Tonnen/Jahr in die Umwelt. Da Beschichtungen unter Umständen dem Wasser ausgesetzt sind, wird angenommen, dass die Hälfte in die Gewässer und die andere Hälfte in die Atmosphäre gelangt. Von den Dichtungsmitteln wird angenommen, dass die Emissionen in die Atmosphäre gehen.

Die im letzten Abschnitt angegebenen Zahlen beziehen sich auf die SCCP-Mengen, die pro Jahr in Beschichtungen oder Dichtungsmitteln verwendet werden. Es sind aber auch signifikante Emissionen von Beschichtungen und Dichtungsmitteln zu erwarten, die aus früheren Jahren stammen [42]. Diesem Umstand wird hier mit einem Faktor 10 Rechnung getragen. Insgesamt wird deshalb angenommen, dass aus Beschichtungen 0,25 Tonnen/Jahr in die Atmosphäre und 0,25 Tonnen/Jahr in die Gewässer sowie aus Dichtungsmitteln 0,3 Tonnen/Jahr in die Atmosphäre gelangen.

Sekundärverbrauch

→ Abfall

Von den in der Form von Beschichtungen und Dichtungsmitteln anfallenden SCCP wird ein grosser Teil vermutlich als Bauabfall entsorgt. Die jährlichen Einträge in die Umwelt ändern fast nichts an den noch im Material vorhandenen SCCP. Bauabfall gelangt generell gesehen zu 90% auf Deponien und zu 10% als brennbarer Abfall in KVAs [23]. Dichtungsmittel werden wahrscheinlich vor allem als brennbarer Abfall entsorgt. Es wird hier davon ausgegangen, dass alle Dichtungsmittel als brennbarer Abfall entsorgt werden, wobei dieser zu 74% in KVA und zu 26% auf Deponien entsorgt wird [22]. Es wird analog zu anderen Anwendungszwecken angenommen, dass sich bei Sekundärverbrauch von SCCP in Beschichtungen und Dichtungsmitteln die In- und Outputs aufheben, die Prozesse sich also im Fließgleichgewicht befinden. Von den in jährlich neu produzierten Dichtungsmitteln enthaltenen 3,7 Tonnen SCCP gelangen 3,4 Tonnen SCCP damit als brennbarer Abfall in die Abfallwirtschaft; davon gehen 74% oder 2,5 Tonnen in KVAs und 26% oder 0,9 Tonnen auf Deponien. Von den 3,7 Tonnen SCCP kompensieren 0,3 Tonnen SCCP den Lagerabbau, der durch Emissionen in die Umwelt hervorgerufen wird. Von den 6,1 Tonnen SCCP in Beschichtungen gelangen 5,6 Tonnen SCCP in den Abfall; davon werden schätzungsweise 90% oder 5 Tonnen auf Deponien und 10% oder 0,6 Tonnen in KVAs entsorgt. 0,5 Tonnen SCCP kompensieren den Lagerabbau.

Gummiindustrie

Primärverbrauch

→ Umwelt

→ Abfall

Es liegen keine Angaben vor zum Anteil der Chlorparaffine, die bei der Herstellung von SCCP-haltigem Gummi in die Umwelt oder die Abfallwirtschaft gelangen.

Sekundärverbrauch

→ Umwelt

Kurzkettige chlorierte Paraffine werden als Flammmhemmmittel in der Gummiproduktion verwendet. Im EU Risikobewertungsbericht wird angenommen, dass weniger als 0.001% der chlorierten Paraffine beim Gebrauch in der Gummiindustrie freierwerden [1]. Diese Angabe ist aber wahrscheinlich unzuverlässig; sie stützt sich auf einen kanadischen Bericht [16], der wiederum einen schwedischen Bericht zitiert [3]; es ist aber nicht nachvollziehbar, auf welche Stelle im schwedischen Bericht sich der kanadische Bericht bezieht. Eventuell wurde der schwedische Bericht falsch zitiert. Es kann deshalb keine Aussage zu Einträgen in die Umwelt durch den Gebrauch SCCP-haltiger Gummiprodukte gemacht werden.

Sekundärverbrauch

→ Abfall

Es wird angenommen, dass jährlich ebensoviel SCCP mit Gummiprodukten entsorgt wird, wie jährlich in Gummiprodukten verwendet wird. Die Aufteilung der Abfallwege auf Verbrennung und Deponien richtet sich nach der Kategorie brennbare Abfälle der Abfallstatistik [22]. Somit gelangen jährlich 1,5 Tonnen SCCP in Gummi in die Verbrennung und 0,5 Tonnen auf Deponien.

Kunststoffe

Primärverbrauch

→ Umwelt

→ Abfall

Es wird davon ausgegangen, dass 1994 etwa 5 Tonnen SCCP in der Schweiz für die Herstellung von Kunststoffen verwendet wurden. Es liegen keine Angaben vor, wieviel SCCP bei diesem Prozess in die Umwelt oder in die Abfallwirtschaft gelangt.

Sekundärverbrauch

→ Umwelt

In der Literatur wird berichtet, dass sich aus Kunststoffschichten, ähnlich wie bei Beschichtungen und Dichtmassen, die als sekundäre Weichmacher eingesetzten Chlorparaffine verflüchtigen können [2, 13], obwohl die organischen Matrizen die chlorierten Paraffine weitgehend zurückhalten [17]. Da die Chlorverbindungen sehr beständig sind, können Kunststoffe noch nach einem Jahrhundert Chlorparaffine in die Umwelt freisetzen [18]. SCCP können sich aus Kunststoffen ebenso verflüchtigen wie aus Beschichtungen. Aufgrund einer Schätzung könnten sich sogar 10% der eingesetzten Chlorparaffine verflüchtigen [17]. Es wird hier angenommen, dass wie bei Beschichtungen 0,78% der Chlorparaffine pro Jahr aus allen vorhandenen Kunststoffen durch die Luft entweichen. Es wurde abgeschätzt, dass jährlich etwa 5 Tonnen kurzkettige chlorierte Paraffine in Kunststoffen verwendet werden. Dies entspricht einer Menge von 0,04 Tonnen/Jahr, die in die Atmosphäre entweichen. Dazu kommen aber noch Kunststoffe, die schon in früheren Jahren hergestellt wurden und SCCP enthalten. Dieser Umstand wird hier mit einem Faktor 10 berücksichtigt: es findet somit ein Eintrag von schätzungsweise 0,4 Tonnen/Jahr in die Umwelt statt.

Sekundärverbrauch→ **Abfall**

Chlorparaffinhaltige Kunststoffe werden vermutlich grösstenteils über den Hausmüll entsorgt [2]. Es wird wie bereits für andere Anwendungsbereiche ein Fließgleichgewicht des Prozesses Sekundärverbrauch angenommen. Unter dieser Annahme enthalten Kunststoffabfälle somit pro Jahr 4,6 Tonnen SCCP. 0,4 Tonnen von den insgesamt 5 Tonnen/Jahr, die jährlich in Kunststoffen gebraucht werden, kompensieren die Emissionen in die Umwelt aus dem bestehenden Lager. Kunststoffe sind brennbare Abfälle, deren anteilmässige Aufteilung in [22] gegeben ist. Ein Teil der Kunststoffe wird von Industrie und Gewerbe wiederverwertet. Da aber der Anteil an der Gesamtmenge aus der Abfallstatistik nicht hervorgeht, kann dies hier nicht berücksichtigt werden. 3,4 Tonnen/Jahr werden somit schätzungsweise in KVAs verbrannt, 1,2 Tonnen auf Deponien entsorgt.

Papierindustrie

Es ist nicht bekannt, ob und wieviel chlorparaffinhaltiges Spezialpapier in der Schweiz hergestellt wird und wie gross der Anteil der dabei eingesetzten kurzkettigen chlorierten Paraffine ist. Eine Abschätzung aufgrund des EU Risikobewertungsberichts ist nicht möglich, da dieses dort nicht erfasst sind. Von den Stoffflüssen könnte am ehesten derjenige vom Sekundärverbrauch in den Abfall von Bedeutung sein:

Sekundärverbrauch→ **Abfall**

Chlorierte Paraffine in kohlefreiem Durchschreibpapier gelangen entweder via Hausmüll in die KVAs oder via Altpapier in das Papierrecycling. In Finnland wurden 1991 schätzungsweise 150 Tonnen chlorierte Paraffine, die in Spezialpapier enthalten waren, auf Deponien gebracht.

Da weder für die Schweiz noch für andere europäische Länder ausser Finnland Zahlen zum Gebrauch von Chlorparaffin enthaltendem Durchschreibpapier vorliegen, wird hier auf eine Abschätzung verzichtet.

Lavalampen**Primärverbrauch**→ **Umwelt**→ **Abfall**

In der Schweiz werden vermutlich keine Lavalampen hergestellt.

Sekundärverbrauch→ **Umwelt**

Da die chlorierten Paraffine während der ganzen Lebensdauer der Lavalampen in diesen eingeschlossen bleiben, sind keine Einträge in die Umwelt zu erwarten [5].

Sekundärverbrauch→ **Abfall**

Lavalampen sind erst seit kurzem beliebt geworden. Ein Grossteil von ihnen wird vermutlich noch in Gebrauch sein. Jährlich sind schätzungsweise 0,3 Tonnen kurzkettige chlorierte Paraffine in neu gekauften Lavalampen enthalten. Unter der Annahme, dass etwa 1/10 der Menge an jährlich gekauften Lavalampen im selben Zeitraum entsorgt wird, erhält man einen Wert von 0,03 Tonnen SCCP/Jahr, die entsorgt werden. Da Lavalampen einen bedeutenden Anteil Chlorparaffine enthalten, müssten sie als Sonderabfall entsorgt werden. Auf den Verpackungen fehlt aber ein entsprechender Hinweis. Wahrscheinlich wird deshalb ein bedeutender Anteil der nicht mehr gebrauchten Lavalampen über die normale Kehrrichtabfuhr und die

KVAs entsorgt. Es ist nicht bekannt, wie gross der Anteil der von den Händlern zurückgenommenen an den total in den Abfall gelangten Lavalampen ist.

Neue Anwendungsbereiche

SCCP kommt möglicherweise in Tinten für Tintenstrahldrucker, Tonern für Laserdrucker und Carriern für Insektizide vor (→ Kap 4). Laut den Angaben des Schweiz. Wirtschaftsverbandes der Informations- Kommunikations- und Organisationstechnik (SWICO) kann man aber annehmen, dass die ersten beiden Patente nicht in käuflichen Produkten verwirklicht worden sind. Da Insektizide womöglich auf Feldern verwendet werden, besteht die Möglichkeit, dass durch eine solche Anwendung SCCP in den Boden gelangt.

5.2.4 Zusammenfassung der Stoffflüsse im Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung

Überblick

Der Hauptstofffluss im Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung verläuft vom Ausland via Transport und Primärverbrauch zum Sekundärverbrauch (Abb. 5.2.1.). Anteilsmässig verzeichnen Metallbearbeitungs- und Schmieröle die grössten Verbrauchsmengen. Der weitere Weg führt grösstenteils in die Abfallwirtschaft, zum Teil aber auch in die Umwelt. Vermutlich signifikante Stoffflüsse wie Import und Export SCCP-haltiger Güter sind in dieser Graphik nur als gestrichpunktete Linien dargestellt, da dazu keine Daten vorliegen.

Prozessinterne Veränderungen

Es wurde für alle Prozesse im Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung angenommen, dass sie sich in einem Fließgleichgewicht befinden. Diese Annahme widerspiegelt sich darin, dass keine prozessinternen Veränderungen auftreten (Tabelle 5.2.1).

Tabelle 5..2.1. Prozessinterne Veränderungen im Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung

	Transport	Primärverbrauch	Sekundärverbrauch
Summe Input	70	70	69.5
Summe Output	70	70	69.5
Prozessinterne Veränderungen, setzen sich zusammen aus:	0	0	0
Lagerveränderung Stoffabbau			

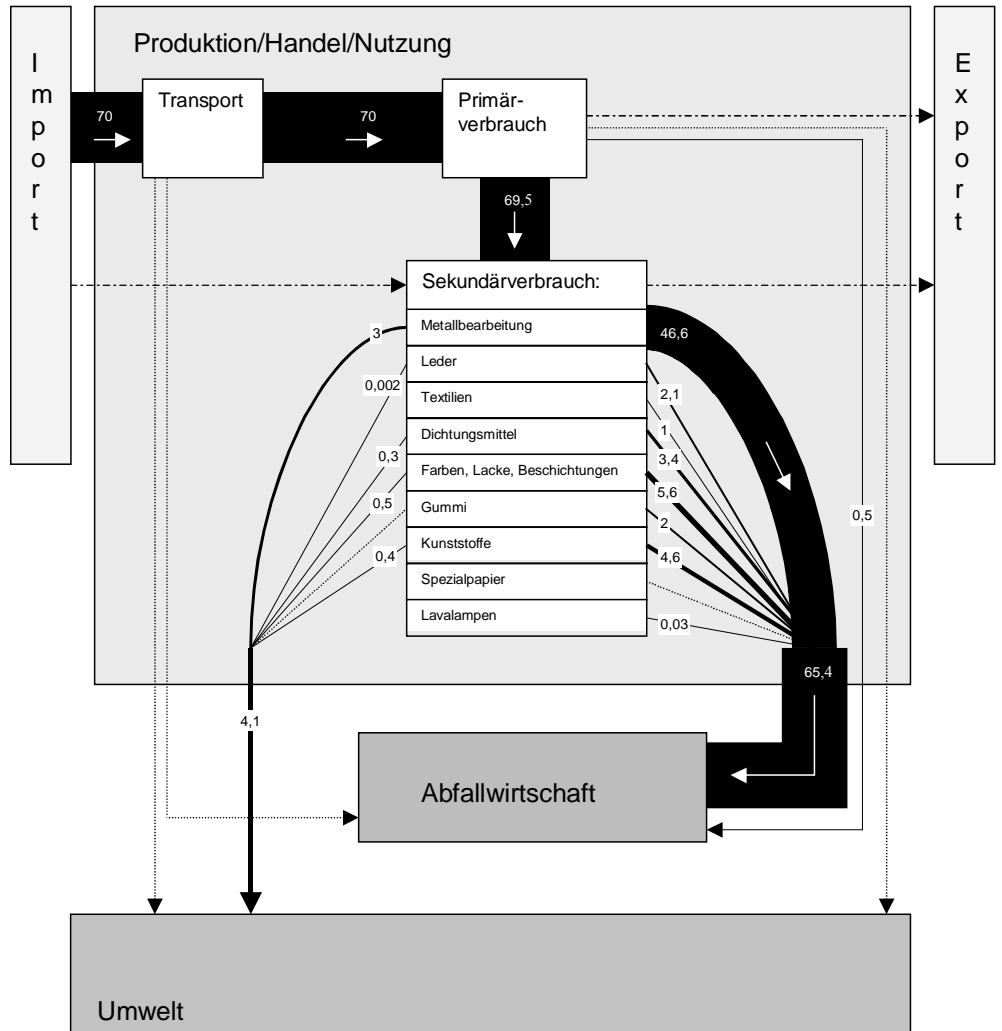


Abb. 5.2.1.
Stoffflüsse in das Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung hinein, aus diesem hinaus oder in diesem

5.3 Teilsystem Abfallwirtschaft

5.3.1 Die einzelnen Sektoren der Abfallwirtschaft

Abwasserreinigungsanlagen

Insgesamt erhalten Abwasserreinigungsanlagen (ARA) 6,1 Tonnen/Jahr SCCP mit dem Abwasser.

Tabelle 5.3.1. Herkunft der SCCP in Abwasserreinigungsanlagen

Herkunft	Menge SCCP (t/a)	
	Primärverbrauch	Metallbearbeitung
Lederindustrie		0.04
Sekundärverbrauch	Metallbearbeitung	5.8
	Lederindustrie	0.1
Total		6.1

Industrie- und Gewerbeabwasser werden nach einer Auskunft der Abteilung Gewässerschutz zu 100% in Abwasserreinigungsanlagen aufbereitet, es gelangt praktisch nichts direkt in die Gewässer. Wegen der geringen Wasserlöslichkeit der SCCP binden diese etwa zu 90% an den Klärschlamm [1]. Es kann damit abgeschätzt werden, dass 0,6 Tonnen/Jahr aus den Kläranlagen in die Gewässer gehen und 5,5 Tonnen/Jahr im Klärschlamm verbleiben.

Diese Zahlen können anhand von Kontrollgrössen in Form von gemessenen Konzentrationen von Chlorparaffinen in Klärschlämmen überprüft werden:

Aus den achtziger Jahren gibt es verschiedene Messungen zum Gehalt von Chlorparaffinen im Klärschlamm in der Schweiz [24]:

Tabelle 5.3.2. Messungen vom CP-Gehalt in Klärschlamm in der Schweiz

Anlage	Probenahme (Jahr)	Chlorparaffine gefunden (ppb= $\mu\text{g}/\text{kg}=\text{mg}/\text{tonne Trockensubstanz}$)
ZH-Glatt	1984	500
ZH-Werdhölzli	1985	60'000
Lausanne-Vidy	1985	80'000
Fällanden	1983	0
Baden	1983	30'000
Durchschnitt		34'100

Die Werte sind sehr unterschiedlich. Dies deutet darauf hin, dass die Quellen der Verschmutzung industrieller und nicht diffuser Art sind [25]. Wahrscheinlich ist dies darauf zurückzuführen, dass manche ARAs viel und andere weniger Abwasser von Betrieben erhalten, die zum Beispiel Chlorparaffin enthaltende Metallbearbei-

tungsöle verwenden. Besonders bedeutend ist wahrscheinlich die unsachgemässe Entsorgung von verbrauchten Schneidölen, das heisst Entleerung in die Kanalisation [24, 26]. Nicht ins Gewicht fallen hingegen Schlackenlöschwässer von KVAs, wie aus einer Untersuchung von KVAs hervorging [26].

Die gemachten Messungen werden von Angaben aus anderen Ländern bestätigt. In Deutschland wurden in Klärschlämmen 1991 65'000 µg SCCP/kg Trockengewicht und 1993 47'000 µg SCCP/kg Trockengewicht gemessen [33].

Unter Verwendung des Mittelwerts der Messungen aus der Schweiz, ergibt sich folgende Rechnung, um die Gesamtmenge der SCCP in Klärschlämmen in der Schweiz abzuschätzen: 1998 fielen 200'000 Tonnen Klärschlamm an [22]. In diesen befanden sich demnach etwa 6 Tonnen chlorierte Paraffine. Die nachgewiesenen CP hatten ihren Schwerpunkt im Bereich mittlerer Kettenlänge [24]. Der Anteil kurzkettiger chlorierter Paraffine wird hier mit 1/3 veranschlagt. Damit ergibt sich, dass etwa 2 Tonnen SCCP pro Jahr im Klärschlamm anfielen. Dieser Wert liegt unter den oben abgeschätzten 5,5 Tonnen.

Anders sieht es aus, wenn die Angaben aus Deutschland verwendet werden, vor allem weil unter den gemessenen Chlorparaffinen fast nur SCCP vorkamen, während MCCP nur in Spuren gefunden wurden. Unter Verwendung des Mittelwerts von 56'000 µg SCCP/kg Trockengewicht und einem Anteil von SCCP von 100% ergibt sich ein Wert von 11,2 Tonnen. Dieser Wert liegt über den oben abgeschätzten 5,5 Tonnen.

Es zeigt sich somit, dass je nach durchschnittlichem CP-Gehalt im Klärschlamm und SCCP-Gehalt die Kontrollgrössen unterschiedliche Werte für die Gesamtmenge von SCCP im Klärschlamm ergeben. Insgesamt liegen diese Werte aber in der gleichen Grössenordnung wie der abgeschätzte Wert.

Gemäss der Abfallstatistik 1998 [22] wird 42% des Klärschlammes in der Landwirtschaft verwertet; 51% wird verbrannt in Schlammverbrennungsanlagen, industriellen Feuerungen, KVAs und Zementwerken; 7% wird auf Deponien abgelagert. Somit gelangen 2,3 Tonnen/Jahr SCCP via Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft in das Umweltkompartiment Boden, 2,8 Tonnen/Jahr in die Verbrennung und 0,38 Tonnen/Jahr auf Deponien.

Verbrennungsanlagen

Ein Teil der SCCP-haltigen Abfälle wird in Kehrrechtverbrennungsanlagen, Zementwerken, Schlammverbrennungsanlagen oder industriellen Feuerungen verbrannt. Die folgende Tabelle fasst die oben abgeschätzten für die einzelnen Anwendungszwecke anfallenden Mengen SCCP zusammen. Unter ARA ist die Menge SCCP aufgeführt, die mit dem Klärschlamm verbrannt wird. Insgesamt werden 13 Tonnen SCCP in Verbrennungsanlagen entsorgt.

Tabelle 5.3.3. Herkunft der SCCP in Verbrennungsanlagen

Herkunft		Menge SCCP (t/a)
Sekundär- verbrauch	Metallbearbeitung	0
	Lederindustrie	1.5
	Textilindustrie	0.7
	Beschichtungen	0.6
	Dichtungsmittel	2.5
	Gummiindustrie	1.5
	Kunststoffe	3.4
	Lavalampen	0.03
Abfallwirtschaft	ARA	2.8
Total		13.0

Da SCCP thermisch labile Verbindungen sind, ist anzunehmen, dass sie bei der Verbrennung zerstört werden [31]. Chlorierte Paraffine zersetzen sich bei Temperaturen ab etwa 200 °C [2]. Es ist aber möglich, dass ein Anteil Chlorparaffin mit der Schlacke aus der Verbrennung kommt [26]. KVA mit schlechtem Ausbrand der Schlacke weisen in dieser 5–10% organisches C auf [26]. Gesetzlich erlaubt sind seit 1990 höchstens drei Gewichtsprozent unverbrannte Anteile gemäss der Technischen Verordnung über Abfälle (Art. 38 Abs. 1 Ziff. b). Bei den meisten KVAs wird die Schlacke nass gelöscht; das Schlackenwasser kann deshalb Chlorparaffine enthalten. 1985 wurde in einem von vier untersuchten schweizerischen KVAs Chlorparaffine im Schlackenwasser nachgewiesen [26]. Die Konzentration in dieser Probe betrug 0,4 µg/l Wasser, die Erfassungsgrenze lag bei ca. 0,05 µg/l. Im KVA, das untersucht wurde, waren Metallbearbeitungsöle die Quelle der gefundenen Chlorparaffine. Das Schlackenlöschwasser gelangte in jenem KVA aber nicht in die Kanalisation, da das Löschwasser im Rezirkulationsverfahren angewendet wurde. Eine Schlackenlöschung im Durchlaufverfahren, bei dem man das Löschwasser als Abwasser ableitet, wurde nur in einem der beiden anderen untersuchten KVAs angewandt, in denen keine Chlorparaffine gefunden wurden.

Die Höchstmenge von SCCPs, die durch Löschwasser von KVAs in das Abwasser gelangen könnte, lässt sich folgendermassen abschätzen: Jährlich fallen etwa 3 Millionen Tonnen brennbarer Abfall an [22]. Pro Tonne Abfall wurde in einer der untersuchten KVA 500 Liter Wasser gebraucht [26]. Selbst wenn alle KVAs der Schweiz mit dem Durchlaufverfahren arbeiteten und 500 Liter Wasser pro Tonne Abfall somit als Abwasser anfielen, würde bei einer Konzentration von 0,05 µg SCCP/l im Löschwasser weniger als 1 kg SCCP in das Abwasser gelangen. Es kann deshalb angenommen werden, dass bei der Verbrennung von CP-haltigen Abfällen keine Gewässerbelastung entsteht [25]. Lediglich in der Schlacke dürfte noch eine messbare Konzentration von Chlorparaffinen vorhanden sein [26]. Unter Berücksichtigung des vorgeschriebenen Grenzwerts von 3% unverbrannter Anteile an der Schlacke, lässt sich abschätzen, dass sich nur wenige Prozent der in Verbrennungsanlagen gelangten SCCP nach der Verbrennung noch in der Schlacke befinden.

Hier wird von einem Anteil von 1% ausgegangen, was etwa 0,13 Tonnen entspricht. Dieser wird grösstenteils auf Deponien endgelagert.

Deponien

Aus den verschiedenen Anwendungsgebieten und Abfallanlagen kommen etwa 10,4 Tonnen SCCP pro Jahr auf Deponien (siehe Tabelle 5.3.4.). Es ist unwahrscheinlich, dass aus auf Deponien abgelagerten Produkten chlorierte Paraffine in die Hydrosphäre entweichen können, da diese Stoffe nur schwer wasserlöslich sind und damit stark am Boden haften bleiben [1]. Möglicherweise können SCCP von hier jedoch in die Atmosphäre entweichen. Es wird hier angenommen, dass sich in Deponien chlorierte Paraffine ansammeln, ohne in die Umwelt zu gelangen; dies ist aber zu überprüfen.

Tabelle 5.3.4. Herkunft der SCCP in Deponien

Herkunft		Menge SCCP (t/a)
Sekundär- verbrauch	Metallbearbeitung	1.5
	Lederindustrie	0.5
	Textilindustrie	0.3
	Beschichtungen	5.0
	Dichtungsmittel	0.9
	Gummiindustrie	0.5
	Kunststoffe	1.2
Abfall- wirtschaft	ARA	0.4
	Verbrennungsanlagen	0.1
Total		10.4

Recycling

Kurzkettige chlorierte Paraffine können durch Metallteilchen, die mit Metallbearbeitungsöl in Kontakt gekommen sind, durch Metallbearbeitungsöle selbst, die als Sonderabfall abgegeben worden sind, oder durch kohlefreies Durchschlagpapier ins Recycling kommen.

Tabelle 5.3.5. Herkunft der SCCP im Recycling

Herkunft		Menge SCCP (t/a)
Primärverbrauch	Metallbearbeitung	0.04
Sekundärverbrauch	Metallbearbeitung	32.9
Total		32.9

Beim Schmelzen der Metallteilchen für den Wiedergebrauch werden die Chlorparaffine laut dem EU-Risikobewertungsbericht zerstört [1]. Auch hier wird angenommen, dass dies der Fall ist und somit 32,9 Tonnen SCCP pro Jahr abgebaut, das heisst in andere Stoffe umgewandelt werden. Das wissenschaftliche Komitee, das

den Risikobewertungsbericht zu beurteilen hatte, hielt jedoch fest, dass beim Metallrecycling möglicherweise nicht alles SCCP zerstört wird, da die Metallteilchen vor dem Schmelzen oft mit heisser Luft vorgewärmt werden, wodurch Chlorparaffine in die Atmosphäre entweichen können [42].

Es ist möglich, dass beim Papierrecycling chlorierte Paraffine in das Abwasser gelangen [2]. Dies kann aber nicht genauer quantifiziert werden.

Ein bisher noch nicht erwähnter Punkt ist, dass Shredderanlagen Punktquellen von Emissionen, insbesondere in die Atmosphäre, darstellen können. Wenn SCCP-haltige Kunststoff- oder Gummiteile, wie zum Beispiel Kabel, zerkleinert werden, gehen dabei möglicherweise SCCP in die Atmosphäre. Diese Möglichkeit wird hier aber nicht weiterverfolgt.

Recycelte Metallbearbeitungsöle, schätzungsweise 0,7 Tonnen SCCP/Jahr enthaltend, werden wieder dem Sekundärverbrauch zur Verfügung gestellt. Dabei ergeben sich wahrscheinlich keine Einträge in die Umwelt, da Sonderabfall vermutlich mit der nötigen Sorgfalt gehandhabt wird.

Sonderabfallbehandlungsanlagen

Sonderabfall wird entweder durch chemisch-physikalische Behandlung oder durch Verbrennung in dafür eingerichteten Anlagen unschädlich gemacht. Aus dem Primär- und Sekundärverbrauch zur Metallbearbeitung fallen jährlich etwa 6,8 Tonnen SCCP in Sonderabfall an. Dieses SCCP wird höchstwahrscheinlich vollständig zerstört.

Tabelle 5.3.6. Herkunft der SCCP in Sonderabfallbehandlungsanlagen

Herkunft		Menge SCCP (t/a)
Primärverbrauch	Metallbearbeitung	0.34
Sekundärverbrauch	Metallbearbeitung	6.41
Total		6.8

5.3.2 Zusammenfassung der Stoffflüsse im Teilsystem Abfallwirtschaft

Überblick

In Abb. 5.3.1. sind die Stoffflüsse im Teilsystem Abfallwirtschaft zusammengefasst. SCCP kommen vor allem durch Sekundärverbrauch in die Abfallwirtschaft. In Verbrennungsanlagen, im Metallrecycling und in Sonderabfallbehandlungsanlagen werden sie vorwiegend zerstört, währenddem ein Teil sich in Deponien ansammelt. Aus Abwasseranlagen gibt es Einträge von SCCP in die Umwelt, namentlich in den Boden und die Gewässer. Mögliche, hier aber nicht quantifizierte Pfade in die Umwelt sind vom Recycling oder von Deponien in die Atmosphäre.

Der Stofffluss zwischen dem Sektor Transport aus dem Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung und der Abfallwirtschaft ist nur als gepunktete Linie gezeichnet, da dessen Grösse nicht abgeschätzt werden kann und wahrscheinlich von eher geringem Ausmass ist.

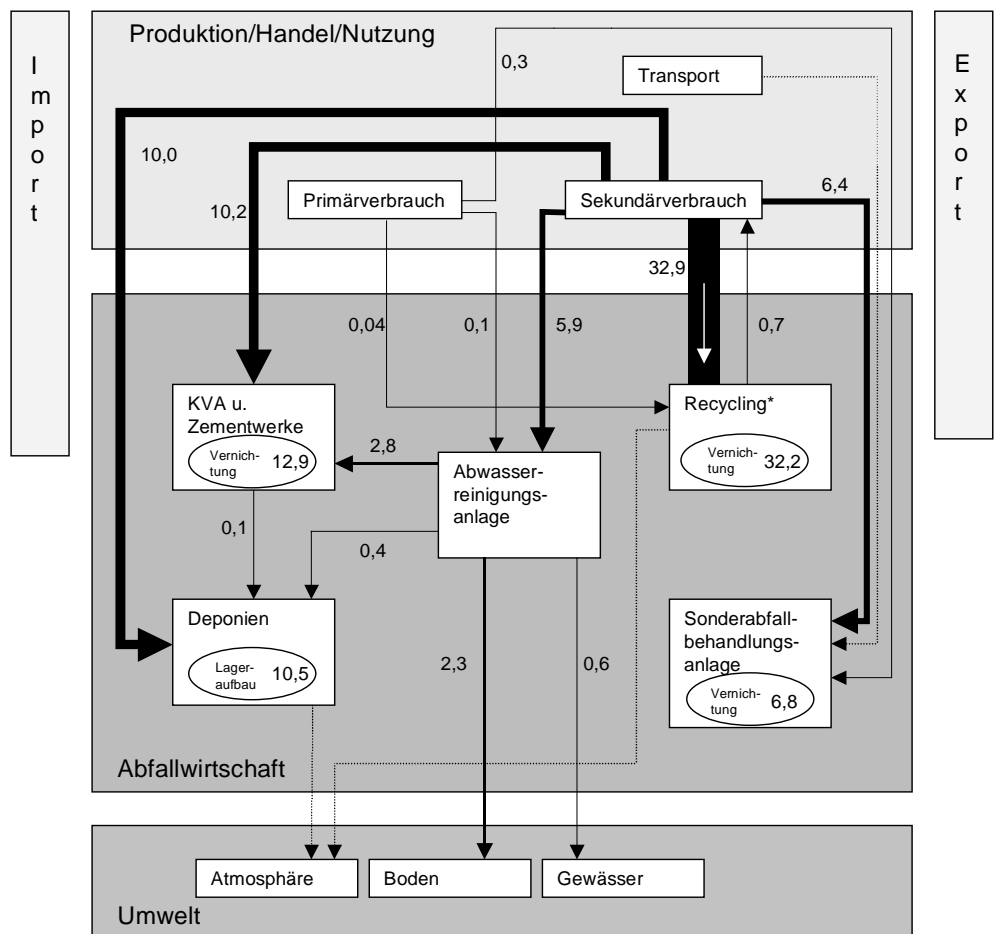


Abb. 5.3.1.
Stoffflüsse in das Teilsystem Abfallwirtschaft hinein, aus diesem hinaus oder in diesem

— abgeschätzt für das Jahr 1994, Zahlen in Tonnen/Jahr, die Breite der Pfeile ist proportional zur fließenden Stoffmenge;
 mögliche Stoffflüsse, wahrscheinlich von geringem Ausmass;
 die umkreisten Zahlen entsprechen den prozessinternen Veränderungen.

Stoffflüsse in das Teilsystem Abfallwirtschaft hinein

Die verschiedenen Stoffflüsse in das Teilsystem Abfallwirtschaft können wie folgt zusammengefasst werden:

Tabelle 5.3.7. Stoffflüsse in die Abfallwirtschaft hinein in Tonnen/Jahr

von		hin zu				
		ARA	Sonderabfall- behandlungs- anlage	Verbrennung in KVA u. Zementwerken	Deponien	Metall- recycling
Primär- verbrauch	Metallbearbeitung	0.1	0.3			0.04
	Lederindustrie	0.04				
	Textilindustrie			+	+	
	Beschichtungen			+	+	
	Dichtungsmittel			+	+	
	Gummiindustrie			+	+	
	Kunststoffe					
Sekundär- verbrauch	Metallbearbeitung	5.8	6.4		1.5	32.9
	Lederindustrie	0.1		1.5	0.5	
	Textilindustrie			0.7	0.3	
	Beschichtungen			0.6	5.0	
	Dichtungsmittel			2.5	0.9	
	Gummiindustrie			1.5	0.5	
	Kunststoffe			3.4	1.2	
Lavalampen			0.03			
Total		6.07	6.75	10.2	9.9	32.9

+) möglich, aber nicht näher quantifiziert

Insgesamt gehen vom Primärverbrauch etwa 0,5 und vom Sekundärverbrauch 67 Tonnen/Jahr in die Abfallwirtschaft.

Es wird kein Abfall importiert.

Stoffflüsse innerhalb des Teilsystems Abfallwirtschaft

Die vorkommenden Stoffflüsse zwischen den einzelnen Sektoren innerhalb des Teilsystems Abfallwirtschaft sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 5.3.8. Stoffflüsse innerhalb der Abfallwirtschaft in Tonnen/Jahr

von	hin zu	
	Verbrennung in KVA u. Zementwerken	Deponien
ARA	2.8	0.4
Verbrennungsanlagen	-	0.1

Stoffflüsse aus dem Teilsystem Abfallwirtschaft hinaus

Wenn kurzkettinge chlorierte Paraffine das Teilsystem Abfallwirtschaft verlassen, geschieht dies vor allem in die Umwelt. Schätzungsweise 0,6 Tonnen/Jahr (oder 0.9% vom gesamten Verbrauch) gehen aus den Abwasserreinigungsanlagen in die Gewässer, 2,3 Tonnen/Jahr (oder 3,3% vom gesamten Verbrauch) in den Boden. Nur ein kleiner Teil, 0,7 t/a (oder 1% vom gesamten Verbrauch), erreicht wieder den Sekundärverbrauch via Recycling. Es wird angenommen, dass kein SCCP-haltiger Abfall exportiert wird.

Tabelle 5.3.9. Stoffflüsse aus der Abfallwirtschaft hinaus in Tonnen/Jahr

von	hin zu			
	Produktion/Handel/Nutzung	Umwelt		
	Sekundärverbrauch	Gewässer	Atmosphäre	Boden
Abwasserreinigungsanlagen		0.6		2.3
Sonderabfallbehandlungsanlage				
Verbrennung in KVA u. Zementwerken				
Deponien			+	
Recycling	0.7	+		
Total	0.7	0.6		2.3

+) möglich, aber nicht näher quantifiziert

Prozessinterne Veränderungen

Für jeden der einzelnen Sektoren der Abfallwirtschaft können jetzt die Input- und Outputgrößen bilanziert werden:

Tabelle 5.3.10. Prozessinterne Veränderungen

	ARA	Sonderabfall- behandlungs-anlage	Verbrennung in KVA und Zementwerken	Deponien	Recycling
Summe Input	6.1	6.8	13.0	10.4	32.9
Summe Output	6.1	0	0.1	0	0.7
Prozessinterne Veränderungen setzen sich zusammen aus:	0	6.8	12.9	10.4	32.2
Lagerveränderung Stoffabbau		6.8	12.9	10.4	32.2

Der grösste Teil der kurzkettingen chlorierten Paraffine, 52 t/a von insgesamt 70 t/a, der gesamten in der Schweiz vorkommenden Menge, oder 74%, wird in der Abfallwirtschaft zerstört. 10,4 t/a oder 15% lagern sich in Deponien an, wo sie sich über Jahrzehnte wenn nicht gar Jahrhunderte hinweg ansammeln [18].

5.4 Teilsystem Umwelt

5.4.1 Die einzelnen Sektoren des Teilsystems Umwelt

Atmosphäre

Bei der Metallbearbeitung, der Lederverarbeitung, aus Dichtungsmitteln, Beschichtungen und PVC-Produkten entstehen Einträge von kurzkettigen chlorierten Paraffinen in die Luft, insgesamt schätzungsweise 1,9 Tonnen/Jahr.

Wegen des geringen Dampfdrucks der kurzkettigen chlorierten Paraffine wird angenommen, dass SCCP aus der Atmosphäre grösstenteils nach kurzer Zeit in die Gewässer oder auf den Boden gelangen [1]. Es gibt jedoch Anzeichen dafür, dass SCCP in der Atmosphäre auch über längere Distanzen transportiert werden können: In der Literatur wird über weitverbreitete geringe Kontaminationen berichtet, die in von der Industrie abgelegenen Gebieten, sogar in der Arktis vorkommen [16]. Dies lässt darauf schliessen, dass an Schwebstoffe adsorbierte SCCP über weite Distanzen in der Atmosphäre transportiert werden können [2, 28]. Zudem weiss man, dass dies auch für PCB möglich ist, das einen von den SCCP nicht sehr unterschiedlichen Dampfdruck hat [16]. Hingegen ist es unwahrscheinlich, dass grössere Mengen von SCCP in die obere Atmosphäre transportiert werden und die Ozonschicht schädigen [16].

Durch photochemischen Abbau wird ein Teil der SCCP in der Atmosphäre abgebaut. SCCP haben berechnete Halbwertszeiten in der Atmosphäre von 0.9 bis 7.2 Tagen [2, 28]. Wahrscheinlich gelangt jedoch der grösste Teil auf den Boden oder in die Gewässer, bevor es zu einem Abbau kommt.

Es gibt keine Messungen der Konzentration der SCCP in der Luft. Sie ist wahrscheinlich gering. Im Regenwasser konnten mit einer Erfassungsgrenze von 0,05 µg/l keine chlorierten Paraffine nachgewiesen werden [24].

Es kann nur schwer abgeschätzt werden, welcher Anteil via Atmosphäre die Systemgrenze Schweiz verlässt und welcher Anteil in die Gewässer oder auf den Boden gelangt. Obwohl der letztere Weg der wahrscheinlichere ist, sind die über die Atmosphäre transportierten Stoffmengen möglicherweise ebenfalls wichtig [17]. Eine Abschätzung ist hier aber nicht unbedingt nötig: Wenn man annimmt, dass gleich viele SCCP die Schweiz via Atmosphäre verlassen wie importiert werden, verhält es sich netto so, wie wenn alle in der Schweiz in die Atmosphäre gelangten SCCP in die Gewässer oder auf den Boden gehen würden. Es wird hier angenommen, dass 1,9 Tonnen/Jahr aus der Atmosphäre schätzungsweise je zur Hälfte in den Boden oder die Gewässer gehen.

Boden

Die eine Hauptquelle für SCCP im Sektor Boden ist die Klärschlammaustragung auf landwirtschaftlich genutzten Feldern mit schätzungsweise 2,3 Tonnen/Jahr.

Daneben kommen auch aus der Atmosphäre SCCP auf den Boden, schätzungsweise 1 Tonne/Jahr.

Verschiedene Faktoren bestimmen das Verhalten von kurzkettigen chlorierten Paraffinen im Boden:

- Auflösung des Stoffes im Wasser
- Verflüchtigung
- Sorption (Adsorption oder Absorption)
- Abbau
- Bioakkumulation

Da kurzkettige chlorierte Paraffine eine geringe Wasserlöslichkeit und einen hohen Octanol-Wasser Verteilungskoeffizienten $\log K_{OW}$ haben, kann man auf eine starke Sorption im Boden schließen. Der Octanol-Wasser Verteilungskoeffizient gibt an, ob sich ein Stoff bevorzugt in Octanol oder in Wasser aufhält, und ist damit ein Mass für die Lipophilie eines Stoffes. Der Boden hat im Gegensatz zur Atmosphäre ein hohes Akkumulationspotential [2].

Trotzdem ist mit einer nachweisbaren Auswaschung ins Grundwasser zu rechnen, da in Versuchssäulen für die meisten organischen Schadstoffe nach Düngung mit Klärschlamm ein Eintrag ins Grundwasser festgestellt wurde [30]. Eine erhebliche Bedeutung hat wahrscheinlich trotz des hohen Octanol-Wasser Verteilungskoeffizienten der Austrag der Substanzen über oberflächlich abfließendes Wasser, wie dies bei anderen organischen Schadstoffen beobachtet wurde [30]. Auswaschung setzt nicht unbedingt voraus, dass die Stoffe gelöst und mobil sind, sie können auch kolloidal gebunden und so ausgewaschen werden.

Die Verflüchtigung des Stoffes kann aufgrund der Henry-Konstante und des Octanol-Wasser Verteilungskoeffizienten abgeschätzt werden. Die Henry-Konstante ist ein Mass dafür, wie hoch der Partialdruck eines Stoffes in der Luft relativ zu seiner Konzentration in einer sich darunter befindenden Flüssigkeit ist. Sie wurde auf $11 \text{ Pa m}^3/\text{mol}$ geschätzt [16]. Zusammen mit dem Wert für den Octanol-Wasser Verteilungskoeffizienten von 4,39 bis 8,69 [2] sind damit die Bedingungen erfüllt, dass kurzkettige chlorierte Paraffine nach der von Wild und Jones entwickelten Definition [34, zitiert in 30] als schwach flüchtig gelten. Man kann deshalb davon ausgehen, dass sich aus dem Boden keine SCCP in die Atmosphäre verflüchtigen.

SCCP sind bei normalen Temperaturen sehr stabile Verbindungen [1]. Sie sind resistent gegen chemischen und physikalischen Abbau für mehr als hundert Jahre [18]. Sie können jedoch von Lebewesen aufgenommen und von diesen akkumuliert oder abgebaut werden.

Unter gewöhnlichen Testbedingungen findet man, dass chlorierte Paraffine von Mikroorganismen nicht abgebaut werden [1, 2]. Bestimmte Bakterien können jedoch unter aeroben Bedingungen kurzkettige chlorierte Paraffine abbauen [35, zitiert in 1, 2]. Es ist deshalb möglich, dass ein biologischer Abbau von SCCP in

der Umwelt stattfindet. Allerdings dürfte dieser langsam sein [1]. Da kurzkettige chlorierte Paraffine relativ zu anderen Kohlenstoffquellen nur in geringem Ausmass in der Umwelt vorkommen, ist es wahrscheinlich, dass sich die Bakterien in erster Linie von normalen, unchlorierten Kohlenstoffquellen ernähren, und deshalb praktisch kein Abbau in der Umwelt stattfindet. Umgekehrt ist es auch möglich, dass aus länger-kettigen, niedrigchlorierten Paraffinen durch Kometabolisierung kurzkettige chlorierte Paraffine entstehen [10]. Diese mögliche Quelle von SCCP ist wahrscheinlich nur von geringer Bedeutung und wird hier nicht berücksichtigt.

Die Bioakkumulation wird weiter unten im Sektor Lebewesen beschrieben. Dort wird abgeschätzt, dass Nutzpflanzen und -tiere ca. 0,008 Tonnen SCCP pro Jahr aus dem Boden aufnehmen.

Abschliessend betrachtet sehen die Stoffflüsse im Umweltkompartiment Boden schätzungsweise wie folgt aus: Etwa ein Viertel der 3,3 Tonnen SCCP, die jährlich in den Boden gelangen, oder 0,8 Tonnen/Jahr werden aus diesem durch Oberflächenwasser weggewaschen; eine etwa gleich grosse Menge gelangt aus dem bereits bestehenden Lager in das Grundwasser. Pro Jahr findet somit netto ein Lageraufbau von 1,6 Tonnen/Jahr statt.

Wasser

Aus der Abfallwirtschaft (s. Tab. 5.4.10) und der Nutzung (s. Tab. 5.4.9) fallen etwa 2,8 Tonnen SCCP an, die in die Gewässer gehen. Von den anderen Sektoren des Teilsystems Umwelt sind die Atmosphäre, der Boden und die Sedimente mit den Gewässern verknüpft. Aus dem Sektor Atmosphäre fließen etwa 1 Tonne/Jahr, aus dem Sektor Boden etwa 0,8 Tonnen/Jahr in die Gewässer und 0,8 Tonnen/Jahr ins Grundwasser. Insgesamt wird das Wasser somit jährlich mit etwa 5,4 Tonnen SCCP belastet. Aus dem Wasser gehen die SCCP grösstenteils in die Sedimente.

Der SCCP-Gehalt in den Gewässern kann folgendermassen abgeschätzt werden: Es wird angenommen, dass die SCCP-Konzentration in den Flüssen und Seen konstant bleibt, das heisst, die jährlichen Einträge von 5,4 Tonnen dafür sorgen, dass im neu hinzukommenden Wasser gerade dieselbe Konzentration vorliegt wie im bereits vorhandenen oder abgeflossenen Wasser. Die hinzukommende Menge von Wasser ist gleich der abfliessenden Menge von Wasser. Näherungsweise befindet sich das Umweltkompartiment Wasser im Fließgleichgewicht, es finden keine zeitabhängigen Mengenveränderungen von SCCP im Wasser statt. Im langjährigen Durchschnitt fließen im Rhein 1051 m^3 Wasser pro Sekunde über die Schweizer Grenze, in der Rhone 342 m^3 Wasser pro Sekunde [20]. Dies entspricht zusammen etwa $4,4 \cdot 10^{13}$ Litern pro Jahr. In Inn und Ticino fliesst vergleichsweise wenig Wasser ab; ausserdem liegen sie in Gebieten, die weniger industrienah und daher weniger mit SCCP belastet sind als Rhein und Rhone. Die Betrachtung des Umweltkompartiments Wasser beschränkt sich deshalb hier auf die Flüsse Rhein und Rhone. Da der Rhein bis zur Schweizer Grenze auch Zuflüsse aus Deutschland hat sowie an Deutsches Gebiet grenzt, wird angenommen, dass die Schweiz nur zur Hälfte für die SCCP-Konzentration in der Gesamtwassermenge verantwortlich ist,

also für $2,2 \cdot 10^{13}$ Liter pro Jahr. 5,4 Tonnen SCCP verteilt auf diese Wassermenge ergibt eine Konzentration von 0,25 µg/l. Ein signifikanter Anteil davon wird aber nicht im Wasser bleiben sondern in die Sedimente gehen.

Als Kontrollgrößen können die in Gewässern gemessenen Konzentrationen von chlorierten Paraffinen verwendet werden, wie sie in verschiedenen Berichten publiziert sind. Dabei macht es einen Unterschied aus, ob unfiltrierte oder filtrierte Wasserproben gemessen werden [1]. Viele Chlorparaffine sind wegen ihrer geringen Wasserlöslichkeit (→ Kap. 2.2.) an im Wasser schwebende Partikel gebunden und nicht wirklich in Wasser gelöst. Die Konzentration von Chlorparaffinen im Wasser ist deshalb zu einem grossen Teil auf Schwebepartikel aus den Sedimenten zurückzuführen [11]. Bei den meisten im Folgenden angegebenen Messungen wurden unfiltrierte Wasserproben untersucht, die also noch Partikel enthielten.

- Aus Deutschland liegen verschiedene Analysenergebnisse aus den Jahren 1987 und 1994 vor. Sie wurden an unfiltrierten Wasserproben bestimmt.

Tabelle 5.4.1. Kurzkettige chlorierte Paraffine in der Lech, 1994, [11]:

Probenahmeort	Konzentration (µg/l)
Lech bei Rain	0,110
Lechkanal bei Langweid	0,090
Lech bei Gersthofen	0,071
Lech bei Augsburg	0,048

Die Probenahmeorte sind in dieser Tabelle stromaufwärts angeordnet, das heisst Augsburg liegt am weitesten stromaufwärts, Rain am weitesten stromabwärts, unmittelbar vor der Mündung in die Donau. Die Bestimmungsgrenze lag bei 0,005 µg/l. Es ist hier der Mittelwert der Doppelbestimmung wiedergegeben, im Gegensatz zu [1], wo nur die Resultate einer der beiden Testserien wiedergegeben wurde.

Es ist aus dieser Tabelle zu erkennen, dass die Konzentration an kurzkettigen chlorierten Paraffinen zunimmt, je weiter flussabwärts gemessen wird, was auf Einträge aus der Industrie hindeutet. Zwischen Augsburg und Rain liegen etwa 40 km. Zwischen Gersthofen und Langweid steht ein Produktionsort von chlorierten Paraffinen der Hoechst AG. Es konnte jedoch nicht eindeutig gezeigt werden, dass dieses Werk für den Anstieg der Konzentration an kurzkettigen chlorierten Paraffinen verantwortlich ist.

Ein genereller Vergleich zwischen 1987 und 1994 zeigt, dass 1994 im Vergleich zu den früheren Messwerten ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen ist (Tabelle 5.4.2.)

Tabelle 5.4.2. SCCP in der Donau und der Lech, 1987 und 1994, [2], [11]:

Probenahmeort	Konzentration ($\mu\text{g/l}$)	
	1987	1994
Donau vor Lechmündung	1,2	0,055
Donau nach Lechmündung	1,2	0,062
Lechkanal bei Langweid	0,6	0,090
Lech bei Gersthofen	0,5	0,071

- Aus dem Vereinigten Königreich liegen verschiedene Messserien vor. Im Sommer 1986 wurden durch die Firma ICI die Konzentrationen an kurzkettigen chlorierten Paraffinen in Flüssen an sechzehn Standorten gemessen. Nur in der Hälfte der Proben konnten SCCP nachgewiesen werden. Die gemessenen Konzentrationen lagen zwischen 0,12 und 1,45 $\mu\text{g/l}$ [1].

Campbell und McConnell [13] untersuchten 1980 Chlorparaffine in verschiedenen Gewässern. Allerdings konnte die von ihnen verwendete Methode Chlorparaffine mit Kettenlängen von C_{13} bis C_{20} nicht unterscheiden. Es wird angenommen, dass etwa 1/3 der Gruppe von chlorierten Paraffinen mit einer Kettenlänge zwischen C_{13} und C_{20} SCCP waren [1]. In weitab von der Industrie liegenden Süßwassergewässern konnten in mehr als der Hälfte der Proben keine Chlorparaffine nachgewiesen werden; in den Fällen, wo etwas gemessen werden konnte, lagen die berechneten SCCP-Konzentrationen zwischen 0,1 und 0,3 $\mu\text{g/l}$. In marinen Gewässern lagen die Konzentrationen zwischen 0,1 und 1,3 $\mu\text{g/l}$. In Gewässern in industrialisierten Gebieten wurde in praktisch allen Proben Chlorparaffine nachgewiesen und die berechneten Werte für SCCP lagen deutlich höher, zwischen 0,1 und 2 $\mu\text{g/l}$.

- In einem Fluss in den USA, in den Abflüsse eines Produktionsortes von chlorierten Paraffinen eingeleitet werden, ergaben Messungen an ungefilterten Wasserproben SCCP-Konzentrationen von 0,05 bis 0,3 $\mu\text{g/l}$ [14], [15]. Im Rückhaltebecken wurden Konzentrationen bis zu 3,3 $\mu\text{g/l}$ gemessen. Bei Messungen in der Nähe eines anderen Werkes, das CP-haltige Schmieröle verwendete, konnten keine CPs nachgewiesen werden, wahrscheinlich weil andere halogenierte organische Stoffe die Messung beeinträchtigt hatten.

Aus der Schweiz liegen keine Messdaten zur Konzentration von chlorierten Paraffinen im Wasser vor. Eine Schätzung kann jedoch aufgrund der gefundenen Sedimentkonzentrationen gemacht werden. Die Schätzung basiert auf den Sediment- und Wasserkonzentrationen in der Lech: In diesem Fluss wurden bei einer SCCP-Konzentration im Sediment von 73 $\mu\text{g/kg}$ Trockensubstanz 0,09 $\mu\text{g/l}$ SCCP im Wasser gemessen (Tabelle 5.4.3.).

Tabelle 5.4.3. SCCP-Konzentrationen in Sediment und Wasser [11]

Probenahmeort	SCCP-Gehalt in Sediment ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockensubstanz)	SCCP-Gehalt in Wasser ($\mu\text{g}/\text{l}$)
Lech Langweid (oberhalb Hoechst AG)	5	0.07
Lechkanal Langweid (unterhalb Hoechst AG)	73	0.09

Dies stimmt gut mit anderen Angaben aus der Literatur überein, die einen Unterschied in der Konzentration von chlorierten Paraffinen zwischen der Sedimentschicht und dem darüberliegenden Wasser um einen Faktor 100–1000 [16] respektive 1000–2000 [13, zit. in 31] angeben. Bei Rheinfeldern betrug der SCCP-Gehalt im Sediment $57 \mu\text{g}/\text{kg}$ Trockensubstanz und lag damit in derselben Grössenordnung wie in der Lech. Grob geschätzt wird also auch im Rhein die SCCP-Konzentration in der Grössenordnung von $0,1 \mu\text{g}/\text{l}$ liegen. Dieser Wert ist mit Unsicherheiten behaftet, da keine direkten Messergebnisse zur Konzentration von SCCP im Wasser des Rheins vorliegen.

Es wurde oben abgeschätzt, dass die SCCP-Konzentration in den Gewässern etwa $0,25 \mu\text{g}/\text{l}$ betrage, falls alles SCCP im Wasser verbliebe. Die abgeschätzte SCCP-Konzentration würde mit der Kontrollgrösse von $0,1 \mu\text{g}/\text{l}$ übereinstimmen, wenn man annimmt, dass drei Fünftel oder $3,2$ Tonnen/Jahr der in das Wasser gelangenden SCCP in die Sedimente gehen und zwei Fünftel oder $2,2$ Tonnen/Jahr den Lagerabbau von SCCP im Wasser kompensiert, der durch das Abfließen des Wassers zustande kommt. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass dies so ist.

Aufgrund der oben gemachten Feststellung, dass ein Faktor 100–2000 zwischen der SCCP-Konzentration im Wasser und im Sediment liegt, könnte man meinen, dass nur $1/100$ bis $1/2000$ der ins Wasser gelangten Menge im Wasser verbleibt; dies ist aber nicht so, da der hohe Konzentrationsunterschied von SCCP in Sedimenten und im Wasser nur zum Teil auf die geringe Wasserlöslichkeit von SCCP zurückzuführen ist. Der Unterschied lässt sich teilweise auch dadurch erklären, dass sich in Sedimenten SCCP über Jahre hinweg ansammeln, währenddem das Wasser immer wieder durch frisches, noch SCCP-freies Wasser aus Niederschlägen ersetzt wird.

Zur Verdeutlichung der Vorgänge im Kompartiment Wasser sei noch einmal zusammengefasst: Am Anfang eines Jahres befindet sich eine gewisse Menge von SCCP in den Gewässern. Im Verlaufe des Jahres kommen $5,4$ Tonnen SCCP hinzu. $2,2$ Tonnen davon werden zu einem Teil durch die Flüsse ins Ausland verfrachtet und ersetzen zu einem anderen Teil Mengen des Stoffes, die sich schon zu Jahresbeginn in den Gewässern befunden haben, im Verlaufe des Jahres jedoch ins Ausland gelangten. Wie gross das Verhältnis zwischen den beiden Anteilen ist, hängt von der Fliessgeschwindigkeit und der gesamten Wassermenge in der Schweiz ab, spielt aber hier keine Rolle. Netto fließen aus Gewässern pro Jahr $2,2$ Tonnen ins Ausland. Die übrigen $3,2$ Tonnen gehen in die Sedimente.

Es geht hier lediglich um Angaben zu den durchschnittlichen Mengen in einem stationären Zustand; in der Realität sieht die Sache wesentlich komplizierter aus, da die Gewässer nicht an allen Stellen die gleiche Konzentration von SCCP haben, und es vielmehr einen Gradienten gibt, wie Tabelle 5.4.1. zeigt; ausserdem kann die Konzentration von SCCP in den Gewässern über die Jahre zu- oder abnehmen.

Sedimente

Wegen ihrer geringen Wasserlöslichkeit reichern sich Chlorparaffine in Sedimenten an. Sie stellen die Hauptsenke für SCCP in der Umwelt dar. Jährlich lagern sich etwa 3,2 Tonnen SCCP aus dem Wasser in den Sedimenten ab.

Es liegen zahlreiche Messungen zu Konzentrationen von Chlorparaffinen in Sedimenten vor, einige davon auch aus der Schweiz oder an der Schweizer Grenze:

Tabelle 5.4.4. CP- und SCCP-Konzentrationen in Sedimenten in oder nahe der Schweiz

Probenahmeort	SCCP-Gehalt (µg/kg Trockensubstanz)	Gesamt-CP-Gehalt (µg/kg Trockensubstanz)
Bodensee, Mitte (Oberschicht)	10	80
Rheinfelden Km 141 **	36	95
Rheinfelden Km 152 (Oberschicht) **	57	197
Zürichsee	2*	5

*) Schätzwert

**) deutsches Ufer

Die Messresultate für die Proben im Bodensee und in Rheinfelden stammen aus dem Jahr 1994 [11], das Resultat für den Zürichsee aus dem Jahr 1985 [19]. Für die ersten drei Probenahmeorte wurden kurz- und mittelkettige chlorierte Paraffine separat bestimmt. Der Gesamt-CP-Gehalt bezieht sich hier auf das Total für SCCP und MCCP. Für die Sedimentprobe aus dem Zürichsee wurde ein Gesamtwert für alle chlorierten Paraffine, also auch langkettige, angegeben. Der Anteil kurzkettiger chlorierter Paraffine wurde als 1/3 des Gesamt-CP-Gehaltes abgeschätzt.

Die gesamte Lagermenge von kurzkettigen chlorierten Paraffinen muss relativ gross sein. Seit ihrem ersten Vorkommen in den dreissiger Jahren des letzten Jahrhunderts haben sich chlorierte Paraffine vor allem in Sedimenten angesammelt. Im Moment ist es wohl immer noch so, dass die Konzentration in den Sedimenten ansteigt, netto also mehr SCCP vom Wasser in die Sedimente geht als von den Sedimenten ins Wasser. Sollte die Konzentration von SCCP im Wasser fallen, wird sich dies jedoch umkehren, und die Sedimente werden SCCP in das Wasser abgeben. Dies folgt aus allgemeinen Prinzipien der Thermodynamik. Im Falle eines völligen Verzichts auf den Einsatz von SCCP werden Sedimente deshalb noch über einige Jahre, wenn nicht Jahrzehnte hinweg als Quellen von SCCP funktionieren.

Wahrscheinlich nehmen in Sedimenten lebende Organismen gewisse Mengen von SCCP auf und bringen sie in die Nahrungskette. Allerdings ist nichts darüber bekannt, und die Grösse eines solchen Stoffflusses kann deshalb hier nicht abgeschätzt werden.

Fische und Weichtiere

Lebewesen

Kurzkettige chlorierte Paraffine akkumulieren sich in verschiedenen Organismen [1]. Besonders stark betroffen sind Fische und Weichtiere.

Die Bioakkumulation hängt insbesondere von folgenden Faktoren ab [30]:

- Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient
- Persistenz, d. h. Halbwertszeit der Stoffe im Organismus

Das Verhältnis der Konzentration eines Stoffes in einem Organismus zur Konzentration im umgebenden Medium wird als Biokonzentrationsfaktor (BCF) bezeichnet. In Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) wurde für die Leber ein BCF von 2800–16000 und für den ganzen Fisch ein BCF von 3600–5300 gefunden, nachdem diese während 168 Tagen SCCP-Konzentrationen von 3,1 µg/l in einem und 14,3 µg/l in einem anderen Experiment ausgesetzt worden waren [37, zitiert in 1]. Spätestens 70 Tage nach den 168 Tagen, während derer die Fische in SCCP-haltigem Wasser schwammen, starben alle, die der höheren, und 50% derjenigen, die der geringeren Konzentration ausgesetzt worden waren; dies obwohl die Stoffe mit einer Halbwertszeit von 19 Tagen bezogen auf den ganzen Körper relativ schnell wieder ausgeschieden wurden.

Ein Vergleich von kurzkettigen chlorierten Paraffinen mit unterschiedlichem Chlorierungsgrad zeigte, dass höherchlorierte Stoffe weniger schnell aufgenommen, dafür auch langsamer wieder ausgeschieden wurden. Es gab Anzeichen dafür, dass chlorierte Paraffine teilweise in andere Stoffe umgewandelt wurden [1].

Die höchsten Biokonzentrationsfaktoren wurden in Muscheln (*Mytilus edulis*) gemessen. Nach 147 Tagen bei einer Konzentration von 2,35 µg/l betrug der Biokonzentrationsfaktor 226'400. Es gab keine erhöhte Mortalität. Nach 91 Tagen bei einer Konzentration von 10.1 µg/l betrug der BCF 104'000. 1/3 der 130 untersuchten Muscheln starben entweder während der Zeit, wo sie dem SCCP-haltigen Wasser ausgesetzt waren, oder innerhalb der 84 folgenden Tage [38, zitiert in 1].

Es ist damit klar, dass Organismen unter Umständen die kurzkettigen chlorierten Paraffine noch stärker akkumulieren als Sedimente.

In der marinen Umwelt wurden um Grossbritannien im Jahr 1980 und um Schweden im Jahr 1993 in Fischen Konzentrationen von chlorierten Paraffinen gemessen, die zum Teil unter 50 µg/kg lagen, zum Teil jedoch bis zu 200 µg/kg betrugten [13, 39, zitiert in 1]. Da insbesondere die neueren Daten auf tiefere Konzentrationen hindeuten, wird für die Stoffflussanalyse hier ein Wert von 50 µg/kg angenommen. Dieser Messwert wird hier nicht als Kontrollgrösse verwendet, sondern als Basis für

Schätzungen. Gemäss BUWAL-internen Schätzungen beträgt die gesamte Masse des Fischbestandes in der Schweiz 9000–15000 Tonnen. Unter Annahme eines Wertes von 12000 Tonnen ergibt sich damit, dass in der Schweiz etwa 0,6 kg chlorierte Paraffine in Fischen gespeichert sind. Der Anteil der kurzkettigen chlorierten Paraffine ist ungewiss. Allerdings ist anzunehmen, dass diese den grössten Anteil an dieser Menge stellen, da sie stärker bioakkumulativ sind als längerkettige [40, zitiert in 1]. Unter der Annahme, dass 2/3 der in Fischen gemessenen Chlorparaffinen kurzkettig sind, erhält man einen Wert von 0,4 kg SCCP, die sich in Fischen in der Schweiz befinden.

Um abzuschätzen, wie gross der jährliche Stofffluss aus dem Wasser in die Fische ist, könnte man eine Rechnung aufgrund der folgenden Angaben durchführen:

- Die durchschnittliche Lebenserwartung eines Fisches
- Der Anteil des kurzkettigen chlorierten Paraffins, der pro Jahr in einem Fisch umgesetzt, das heisst aufgenommen und abgebaut wird.

Man kann aber auch aus den Fangmengen Rückschlüsse auf die Stoffflüsse ziehen, indem man annimmt, dass die Menge der jährlich wachsenden Biomasse an Fischen in etwa der Fangmenge entspricht. Unter Annahme einer Fangmenge von 3000 Tonnen pro Jahr, was etwa einem Viertel des Gesamtbestandes entspricht, lässt sich berechnen, dass jährlich rund 0,1 kg SCCP in gefangenen Fischen zu finden sind, also mindestens diese Menge von Fischen jährlich aufgenommen wird.

Jährlich werden in der Schweiz 55000 Tonnen Fische und Schalentiere als Nahrungsmittel verbraucht [20]. Etwa 52000 Tonnen Fisch werden somit importiert und enthalten etwa 1,7 kg SCCP.

In Muscheln wurden Konzentrationen von durchschnittlich 3250 µg/kg gemessen [13, zitiert in 1]. Wahrscheinlich haben auch andere aquatische Weichtiere ähnlich hohe Konzentrationen. Obwohl Weichtiere in der Schweiz wohl insgesamt eine geringere Biomasse haben als die Fische, ist es gut möglich, dass in ihnen eine ebenso grosse Menge SCCP gelagert ist wie in den Fischen. Es wird deshalb angenommen, dass von Tieren aus dem Wasser jährlich etwa 0,3 kg SCCP aufgenommen werden. Wieviel von Wasserpflanzen und Algen aufgenommen wird, bleibt hier unberücksichtigt.

Landtiere

Auch in terrestrischen Organismen wurden Chlorparaffine nachgewiesen:

Tabelle 5.4.5. CP- und SCCP-Konzentrationen in Landtieren

Spezies	Konzentration CP in µg pro kg Lipide	Lipid- anteil	Konzentration CP in µg pro kg Körpergewicht	Anteil SCCP	Jahr	Quelle
Kaninchen (Muskel)	2900	1.1%	31.9		1993	[39, zitiert in 1]
Maus (Muskel)	4400	2%	88		1993	[39, zitiert in 1]
Schwein	69			30%	1995	[41, zitiert in 1]
Kuhmilch	74			21%	1995	[41, zitiert in 1]

Jährlich werden in der Schweiz etwa 300 000 Tonnen Fleisch produziert [20]. Unter Annahme eines durchschnittlichen Fettgehalts von 10% und des SCCP-Gehalts von Schweinen, erhält man einen Wert von 0.6 kg SCCP, die jährlich im Fleisch enthalten sind, und das damit von den Tieren jährlich aufgenommen wird.

In der Schweiz werden jährlich rund 3 900 000 Tonnen Milch produziert [20]. Aus den obigen Zahlen kann unter Verwendung eines MilCHFettanteils von 3,7% abgeschätzt werden, dass darin total rund 2 kg SCCP enthalten sind.

Pflanzen

In pflanzlichen Nahrungsmitteln wurden chlorierte Paraffine in folgenden Mengen gefunden (Tabelle 5.4.6.):

Tabelle 5.4.6. SCCP-Konzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln

Nahrungsmittel	Konzentration C _{10–20} CP µg/kg	Jahr	Quelle
Pflanzenöle und Zubereitungen	150	1980	[13, zitiert in 1]
Obst, Gemüse	5	1980	[13, zitiert in 1]

Es wird geschätzt, dass kurzkettige chlorierte Paraffine einen Anteil von 2/3 am Gesamtgehalt von C₁₀₋₂₀ chlorierten Paraffinen ausmachen, da erstere bevorzugt von Organismen aufgenommen werden.

In Tabelle 5.4.7. sind Jahresproduktionen von Obst und Gemüse aufgeführt; sie wurden Tabelle T7.3.3.1.1. des Statistischen Jahrbuchs Schweiz entnommen [20]. Zu der angegebenen Produktionsmenge von Gemüse wurde die in Tabelle T7.3.3.2.1. separat angegebene Gruppe Kartoffeln und Kartoffelstärke hinzugezählt. Die zusätzlich importierte Menge wurde aufgrund der Tabelle T7.3.3.2.1. berechnet auf der Basis des Anteils der Inlandproduktion. Die Jahresproduktion von pflanzlichen Ölen wurde aus dem Gesamtverbrauch und dem Anteil der Inlandproduktion wiederum aufgrund der Tabelle T7.3.3.2.1. abgeschätzt.

Tabelle 5.4.7. SCCP-Mengen in pflanzlichen Nahrungsmitteln

Nahrungsmittel	Jahresproduktion CH 1994 (Tonnen)	Menge C10–20 CP (Tonnen)	Menge SCCP (Tonnen)	in Nahrungsmitteln importierte Menge SCCP (Tonnen)
Obst	493000	0.0025	0.0016	0.0011
Gemüse	578000	0.0029	0.0019	0.0018
Pflanzliche Öle, Fette	19300	0.0029	0.0019	0.0073
Total		0.0083	0.0054	0.010

In der in Tab. 5.4.6. zitierten Studie fand man in Getränken keine chlorierten Paraffine. Im Folgenden wird angenommen, dass in den bisher nicht erwähnten Nahrungsmittelkategorien wie Getreideprodukte, Zucker, Honig, Hülsenfrüchte und Kakao, Eier ebenfalls keine chlorierten Paraffine enthalten sind.

Es kann damit abgeschätzt werden, dass etwa 5,5 kg SCCP via in der Schweiz produziertem Obst, Gemüse und pflanzlichen Ölen vom Boden zu den Menschen geführt werden. Durch Milch sind es etwa 2 kg, durch Fleisch 0,6 kg. Zusammen ergibt das 8 kg SCCP. Dieses SCCP stammt vom Boden. Von den Schweizer Gewässern nehmen Menschen durch Fischfang etwa 0,1 kg auf.

Es wird hier angenommen, dass keine Exporte von SCCP-haltigen Lebensmittelprodukten stattfinden, obwohl dies natürlich insbesondere für Käse nicht stimmt.

In importierten pflanzlichen Nahrungsmitteln sind etwa 10 kg SCCP enthalten, wie aus obiger Tabelle zu entnehmen ist. Fleisch wird zu 86%, gemessen an der darin enthaltenen Energie, im Inland produziert; der durch Import in die Schweiz gelangende Teil wird hier vernachlässigt. In importierten Fischen und Schalentieren gibt es etwa 1,7 kg SCCP.

Menschen

Die Schweizer Bevölkerung nimmt demzufolge durch Nahrungsmittel jährlich insgesamt 20 kg SCCP auf. Diese Zahl dividiert durch rund 7 Millionen Einwohner und ausländischen Gäste ergibt eine Aufnahme von rund 2900 µg pro Person und Jahr.

Im EU Risk Assessment ist angegeben, dass maximal 438 000 µg pro Person (60 kg) und Jahr aufgenommen werden; dieser Wert stützt sich auf maximale Konzentrationen von chlorierten Paraffinen im Fisch von 12 000 µg/kg und im Fleisch von 4400 µg/kg.

Als Kontrollgrösse kann hier die Messung von Chlorparaffinen in Fettgewebe verwendet werden. Als zusätzliche Information ist in Tab. 5.4.8. auch der CP-Gehalt in Brustmilch angegeben.

Tabelle 5.4.8. CP- und SCCP-Konzentrationen im menschlichen Körper

	Konzentration Gesamt-CP µg/kg Lipide	Konzentration SCCP µg/kg Lipide	Jahr der Messung	Quelle
menschliches Fettgewebe	200		1985	[19]
menschliche Brustmilch	45	6,4	1995	[41, zitiert in 1]

Unter Annahme eines Körpergewichts von 60 kg und eines Fettanteils von 12% [72] ergibt sich, dass ein Mensch durchschnittlich 1400 µg chlorierte Paraffine im Fett gespeichert hat; wenn wiederum angenommen wird, dass davon 2/3 SCCP sind, entspricht dies etwa 900 µg SCCP. Es wurden auch in der Leber und der Niere chlorierte Paraffine gefunden, doch lagen in diesen die Konzentrationen durchschnittlich tiefer als im Fettgewebe [13, zitiert in 2]. Der abgeschätzte Wert von 2900 µg SCCP-Aufnahme pro Jahr befindet sich etwa in derselben Grössenordnung wie die im Fettgewebe gefundene Menge von 900 µg. Falls ein Mensch alle chlorierten Paraffine, die er mit der Nahrung aufnimmt, speichern und nicht wieder abbauen oder ausscheiden würde, müsste sich allerdings eine viel höhere Konzentration an chlorierten Paraffinen aufbauen. Dass dies nicht der Fall ist, zeigt, dass entweder nicht alles SCCP, das sich in der Nahrung befindet, auch in den Körper aufgenommen wird, oder dass es wieder ausgeschieden oder abgebaut wird. Es sollte aber auch bedacht werden, dass der Wert von 900 µg SCCP pro Person die tatsächliche Menge leicht unterschätzt, da sich dieser Wert nur auf das Fettgewebe bezieht.

Die durch die Nahrungskette vom Menschen aufgenommene Mengen von SCCP stellen die Mindestmengen dar, die Lebewesen vom Wasser oder vom Boden aufnehmen. Es wurde bereits abgeschätzt, dass Weichtiere aus dem Wasser mindestens eine ebenso grosse Menge von SCCP aufnehmen wie Fische. Es müssten weiter im Sediment lebende Organismen, Algen, Gräser, Bäume, usw. einbezogen werden. Von all diesen Lebewesen ist jedoch nicht bekannt, wieviel SCCP sie aufnehmen. Für die Menge der von den Lebewesen aufgenommenen SCCP wird deshalb die vom Menschen mit der Nahrung aufgenommene Menge verwendet. Die tatsächliche Menge liegt jedoch wahrscheinlich um ein Vielfaches höher.

Je nach der Konzentration von SCCP in der Atmosphäre, insbesondere der Innenluft von Gebäuden, bei deren Bau SCCP eingesetzt wurden, werden SCCP möglicherweise von Menschen und anderen Lebewesen auch über die Atemwege aufgenommen. Aufgrund fehlender Informationen zur Konzentration von SCCP in der Luft kann dazu keine Abschätzung gemacht werden. SCCP werden jedoch vermutlich vor allem über die Nahrung aufgenommen.

Es gibt keine Anzeichen für Biomagnifikation, einer Anreicherung von Schadstoffen entlang der Nahrungskette, wie dies zum Beispiel für PCB der Fall ist [30].

5.4.2 Zusammenfassung der Stoffflüsse im Teilsystem Umwelt

Überblick

Die Stoffflüsse innerhalb des Teilsystems Umwelt sind in Abb. 5.4.1. überblicksmässig dargestellt. Vom Sekundärverbrauch gehen etwa 4 Tonnen in die Umwelt, etwa zu gleichen Teilen in die Atmosphäre und die Gewässer. Wegen ihrer geringen Flüchtigkeit bleiben die SCCP nicht lange in der Atmosphäre und setzen sich entweder auf dem Boden oder im Wasser ab. Aus der Abfallwirtschaft gelangt etwa eine gleich grosse Menge wie vom Sekundärverbrauch in die Umwelt, wobei es sich vor allem um Klärschlammaustragung auf Feldern handelt.

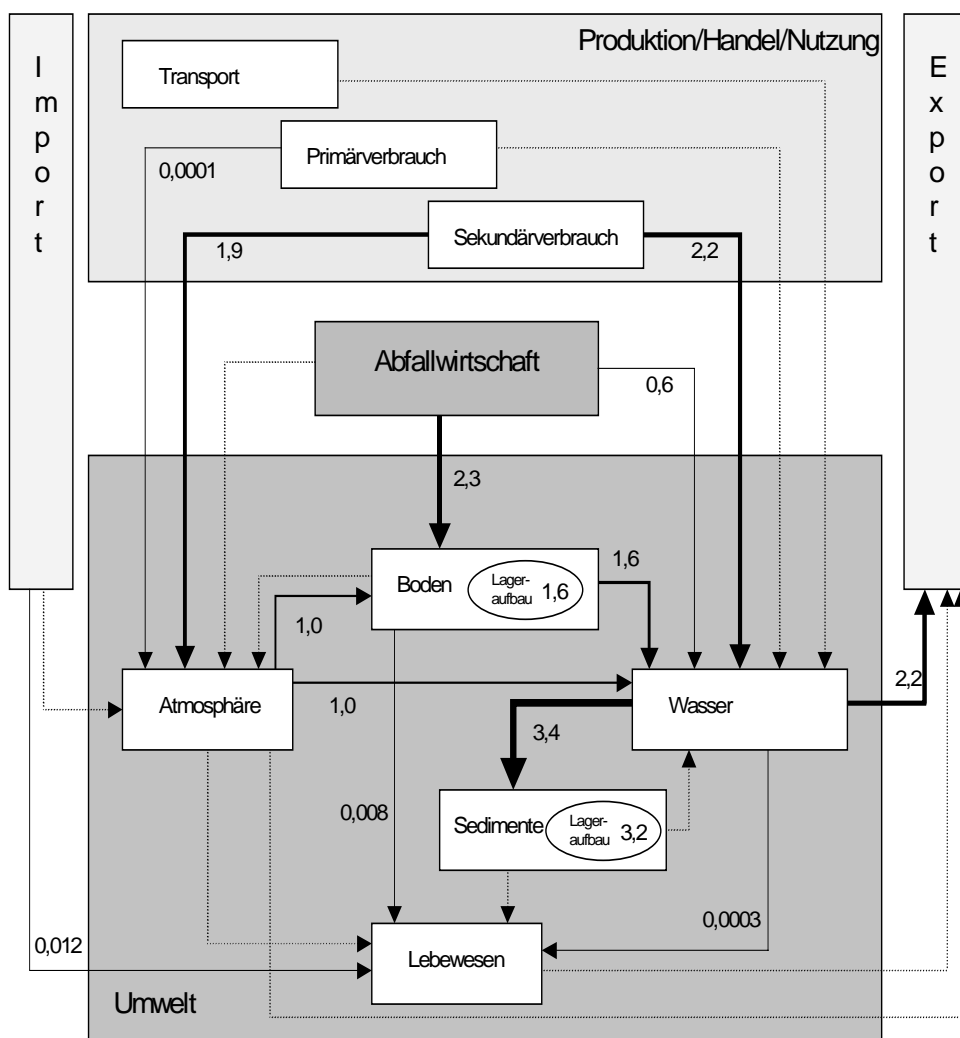


Abb. 5.4.1.
Stoffflüsse in das
Teilsystem Umwelt
hinein, aus diesem
hinaus oder in diesem

— abgeschätzt für das Jahr 1994, Zahlen in Tonnen/Jahr, die Breite der Pfeile ist proportional zur fließenden Stoffmenge;
 mögliche Stoffflüsse, wahrscheinlich von geringem Ausmass;
 die umkreisten Zahlen entsprechen den prozessinternen Veränderungen.

Vom Boden geht ein namhafter Anteil in das Wasser, der Rest wird im Boden abgelagert. SCCP werden durch das Wasser entweder ins Ausland transportiert oder sammeln sich in Sedimenten an, wo ein Lageraufbau stattfindet. Lebewesen nehmen SCCP vor allem via Boden und Wasser auf, eventuell auch über die Atmosphäre oder die Sedimente. Einige Lebewesen wie zum Beispiel Fische akkumulieren die SCCP stark. Innerhalb des Sektors Lebewesen werden die SCCP mit der Nahrungskette weitergegeben, allerdings beobachtet man keine höhere Konzentration, je weiter oben ein Lebewesen in dieser Kette steht. Der Mensch nimmt SCCP vor allem mit der Nahrung auf.

Stoffflüsse in das Teilsystem Umwelt hinein

Einträge aus dem Teilsystem Produktion/Handel/Nutzung in das Teilsystem Umwelt fließen entweder in die Gewässer oder in die Atmosphäre. Jährlich gehen, praktisch ausschliesslich vom Sekundärverbrauch, 2,2 Tonnen SCCP in die Gewässer und 1,9 Tonnen in die Atmosphäre. Die folgende Tabelle schlüsselt diese Zahlen nach den einzelnen Anwendungsgebieten auf:

Tabelle 5.4.9. Stoffflüsse aus der Nutzung in das Teilsystem Umwelt

		Wasser t/a	Atmosphäre t/a
Primärverbrauch	Metallbearbeitung		
	Lederindustrie		0.0001
	Textilindustrie		
	Beschichtungen		
	Dichtungsmittel		
	Gummiindustrie		
	Kunststoffe		
	Papierindustrie		
	Lavalampen		
	Total	0	0.0001
Sekundärverbrauch	Metallbearbeitung	2	1
	Lederindustrie		0.002
	Textilindustrie		
	Beschichtungen	0.2	0.2
	Dichtungsmittel		0.3
	Gummiindustrie		
	Kunststoffe		0.4
	Papierindustrie		
	Lavalampen		
	Total	2.2	1.9

Aus dem Teilsystem Abfallwirtschaft gelangen etwa 0,6 Tonnen/Jahr in die Gewässer und 2,3 Tonnen/Jahr in den Boden (Tab. 5.4.10). Im ersten Fall handelt es sich

um SCCP, die im Abwasser waren und von Kläranlagen nicht herausgefiltert wurden, im zweiten Fall um Klärschlammaustragung auf landwirtschaftliche Felder.

Tabelle 5.4.10. Stoffflüsse aus der Abfallwirtschaft in das Teilsystem Umwelt

	Wasser t/a	Boden t/a
Verbrennung in KVA und Zementwerken		
Abwasserreinigungsanlage	0.6	2.3
Recycling		
Sonderabfallbehandlungsanlage		
Deponien		
Total	0.6	2.3

Wie bereits in Kapitel 3 angetönt, ist es auch möglich, dass über die Atmosphäre eine gewisse Menge SCCP importiert werden. Allerdings handelt es sich dabei wahrscheinlich nur um kleine Mengen, und es ist anzunehmen, dass eine etwa gleich grosse Menge die Schweiz via Atmosphäre wieder verlässt, so dass sich diese Beiträge aufheben. Ebenfalls nicht quantifiziert wurden mögliche Einträge in die Umwelt aus dem Transport von SCCP. Ferner wurde ausgerechnet, dass in importierten pflanzlichen Nahrungsmitteln und Fisch etwa 0,012 Tonnen SCCP enthalten sind.

Stoffflüsse innerhalb des Teilsystems Umwelt

Aus der Atmosphäre gehen die SCCP in den Boden und das Wasser. Aus dem Boden fliesst ein Teil ebenfalls ins Wasser. Aus dem Wasser lagert sich ein Gross- teil der Stoffe in Sedimenten ab. Lebewesen nehmen SCCP vom Wasser und vom Boden, wahrscheinlich aus Sedimenten und eventuell von der Atmosphäre auf. Mit Lebewesen sind hier nur Nutztiere und Nutzpflanzen erfasst.

Tabelle 5.4.11. Stoffflüsse in Tonnen/Jahr innerhalb des Teilsystems Umwelt

von	hin zu				
	Wasser	Atmosphäre	Boden	Sedimente	Lebewesen
Wasser				3.2	0.0003
Atmosphäre	1.0		1.0		+
Boden	1.6				0.008
Sedimente					+
Lebewesen					

+: mögliche Verknüpfung, jedoch nicht näher quantifiziert

Stoffflüsse aus dem Teilsystem Umwelt hinaus

Mögliche Stoffflüsse aus dem Teilsystem Umwelt hinaus führen über die Atmosphäre oder das Wasser sowie über Produkte aus der Landwirtschaft. Die Menge, die durch die Atmosphäre ins Ausland transportiert wird, kann hier nicht beziffert

werden. Die Menge SCCP, die die Schweiz durch ins Ausland fließende Flüsse verlassen, wird auf 2,2 Tonnen pro Jahr geschätzt. Die Mengen, die durch Produkte aus der Landwirtschaft exportiert werden, sind gering.

Tabelle 5.4.11. Stoffflüsse in Tonnen/Jahr innerhalb des Teilsystems Umwelt; +: mögliche Verknüpfung, jedoch nicht näher quantifiziert.

	Export
Wasser	2.2
Atmosphäre	+
Boden	
Sedimente	
Lebewesen	+

Prozessinterne Veränderungen

In der Atmosphäre und im Wasser sammeln sich SCCP nicht an, sondern werden an andere Umweltkompartimente weitergegeben oder aus dem System Schweiz hinaus transportiert. Boden und Sedimente sind die Senken des Systems; hier lagern sich die meisten SCCP ab, und es findet ein Lageraufbau statt. SCCP reichern sich auch in Lebewesen an. Inwieweit Lebewesen SCCP abbauen oder wieder ausscheiden, ist nicht bekannt.

Tabelle 5.4.12. Prozessinterne Veränderungen in Tonnen/Jahr im Teilsystem Umwelt

	Wasser	Atmosphäre	Boden	Sedimente	Lebewesen
Summe Input	5.4	1.9	3.3	3.2	0.02
Summe Output	5.4	1.9	1.6	0	?
Prozessinterne Veränderungen setzen sich zusammen aus:	0	0	1.6	3.2	?
Lagerveränderung Stoffabbau			1.6	3.2	

6 Toxizität für die Umwelt und den Menschen

6.1 Aquatische Lebewesen

Für Fische und andere Wasserlebewesen gibt es zahlreiche Messungen zur akuten und chronischen Toxizität. Einige wichtige sind hier zusammengestellt.

- 50% einer Gruppe von Regenbogenforellen, *Oncorhynchus mykiss*, starben bei den folgenden SCCP-Konzentrationen nach der angegebenen Anzahl Tagen [54]:

3050 µg/l	30,4 Tage
1070 µg/l	31 Tage
350 µg/l	44,7 Tage

Da diese SCCP-Konzentrationen über der in Wasser löslichen Konzentration von SCCP lagen, wurde ein wenig Aceton (500 ppm v/v) beigegeben, um die Löslichkeit zu erhöhen.

50% einer Gruppe von Regenbogenforellen, *Oncorhynchus mykiss*, starben innerhalb von 70 Tagen, nachdem sie während 168 Tagen einer Konzentration von 3,1 µg/l ausgesetzt worden waren [48, zit. in 1].

- Das Wachstum der Süßwasseralgae *Selenastrum costatum* war signifikant gehemmt, nachdem sie 10 Tage einer SCCP-Konzentration von 19,6 µg/l ausgesetzt war. Kein Effekt wurde bei einer Konzentration von 12,1 µg/l beobachtet [49, zit. in 31].
- Im Süßwasser lebende Crustaceae der Art *Daphnia magna*, grosser Wasserfloh, starben innerhalb von sechs Tagen bei einer Konzentration von 16,3 µg/l. Bei 8,9 µg/l, starben 37% der Nachkommen, verglichen mit 9% im Kontrollexperiment. Kein Effekt auf die Überlebens-, Reproduktions- oder Wachstumsrate wurde bei einer Konzentration von 5 µg/l festgestellt [50, zit. in 31].
- SCCP-Konzentrationen von 13,7 µg/l während 96 Stunden führten zu signifikant erhöhter Mortalität bei marinen Shrimps der Art *Mysidopsis bahia* [51, zit. in 1].
- Ein Drittel der Muscheln *Mytilus edulis* starben, nachdem sie während 147 Tagen einer SCCP-Konzentration von 10,1 µg/l ausgesetzt waren. Im Kontrollexperiment starben 7% [52]. In einem anderen Experiment wurde gezeigt, dass bei einer Konzentration von 9,3 µg/l das Wachstum bei diesen Muscheln signifikant reduziert wurde [53].

Die beobachteten Effekte betreffen eine grosse Anzahl von im Wasser lebenden Arten. Bei den meisten von ihnen wurden Schädigungen bei SCCP-Konzentrationen von wenigen µg/l gefunden. Laut der EU-Klassierung gelten SCCP deshalb als sehr giftig für Wasserorganismen.

Die Dauer der Tests ist von entscheidender Bedeutung für die Beurteilung der Toxizität von kurzkettigen chlorierten Paraffinen [16]. Dies wird durch die oben angegebenen Studien belegt [54, 48]. In Fischen und anderen Organismen zeigt sich möglicherweise erst nach einigen Monaten die tatsächliche Toxizität dieser Stoffe. Es ist deshalb möglich, dass bei entsprechend langfristigen Tests zur chronischen Toxizität auch bei geringeren Konzentrationen als oben angegeben noch Effekte gefunden werden.

Fische und andere Wasserlebewesen sind nicht nur von der SCCP-Konzentration im Wasser betroffen, sondern auch von der SCCP-Konzentration in ihrer Nahrung. Dieser Aspekt ist weniger gut dokumentiert und auch schwieriger zu ermitteln. In Sedimenten werden durchschnittlich 100- bis 1000-fach höhere SCCP-Konzentrationen gemessen als im Wasser. Es ist gut möglich, dass via sedimentbewohnende Organismen Fische SCCP aufnehmen. Ins Gewicht fallen hier insbesondere auch die hohen Biokonzentrationsfaktoren (→ Kap. 5.4).

6.2 Terrestrische Lebewesen

Da von besonderem Interesse für den Menschen, sind vor allem Säugetiere gut untersucht worden. Daneben gibt es auch Studien in Vögeln. Im folgenden wird ausschliesslich auf Säugetiere eingegangen, wobei eine kleine Auswahl von Berichten zitiert wird. Eine umfassendere Darstellung findet sich im EU-Risikobewertungsbericht [1].

6.2.1 Akute Toxizität

Die bisher untersuchte akute Toxizität ist gering. Muskuläre Störungen bei Ratten wurden ab einer oralen Dosis von 4g/kg Körpergewicht beobachtet [57].

6.2.2 Haut- und Augenirritationen

Es gibt verschiedene Studien, auch an freiwilligen Versuchspersonen, die eine durch chlorierte Paraffine hervorgerufene Haut- oder Augenirritation belegen [1]. Die Irritation kann stärker ausfallen, wenn der Kontakt mit chlorierten Paraffinen mehrmals erfolgt.

6.2.3 Chronische Toxizität

In einer 90-Tage Studie, die von der Working Party of the Chlorinated Paraffin Manufacturers Toxicology Testing Consortium durchgeführt wurde [58], wurden Ratten mit kurzkettigen chlorierten Paraffinen in Dosen von 0, 10, 100 oder 625 mg/kg Körpergewicht/Tag gefüttert. Ab einer Dosis von 100 mg/kg Körpergewicht/Tag wurde eine Zunahme des Gewichts der Leber und der Niere festgestellt. Ab derselben Schwelle häuften sich hepatozelluläre Hypertrophie bei Männchen und Weibchen sowie Hypertrophie und Hyperplasie der Schilddrüsen und chronische Nephritis bei Männchen. Bei der höchsten Dosis wurde auch eine Zunahme des Gewichts der Schilddrüse festgestellt sowie Hypertrophie und Hyperplasie der Schilddrüse und Pigmentierung der Nierenkanäle bei Weibchen.

6.2.4 Karzinogenität

Gruppen von Mäusen wurden während zwei Jahren an fünf Tagen pro Woche mit je 0, 125 oder 250 mg SCCP/kg Körpergewicht gefüttert. In weiblichen Versuchstie-

ren wurden bei der höheren Konzentration signifikant mehr Todesfälle beobachtet als in der Kontrolle. In den Versuchen mit der höheren und der geringeren Konzentration entwickelten sich vermehrt Adenome und Karzinome in der Leber; in den Versuchen mit der höheren Konzentration wurden zusätzlich bei den weiblichen Versuchstieren vermehrt Adenome und Karzinome in der Schilddrüse, bei männlichen vermehrt Karzinome in den Bronchien oder den Lungenbläschen beobachtet [55, 56, zit. in 16].

Ähnliche Resultate ergaben sich bei Versuchen mit Ratten, die während zwei Jahren an fünf Tagen pro Woche mit je 0, 312 oder 625 mg/kg Körpergewicht gefüttert wurden [55, 56]. Bei männlichen Ratten wurde zudem eine signifikante Häufung von Adenomen in den Nierenkanälen festgestellt.

Eine von der Europäischen Kommission eingesetzte Expertengruppe kam 1997 zum Schluss, dass für die Lebertumoren Peroxisomenproliferation und für die Schilddrüsentumoren ein hormonelles Ungleichgewicht verantwortlich ist [1]. Diese beiden Mechanismen haben nach der Meinung der Experten keine Bedeutung für den Menschen. Hingegen blieb unklar, auf welchen Mechanismus die Nierentumoren zurückzuführen sind. Die Expertengruppe konnte deshalb nicht ausschliessen, dass kurzkettige chlorierte Paraffine auch beim Menschen Nierentumor auslösen können.

1996 wurde herausgefunden, dass chlorierte Paraffine die interzelluläre Kommunikation von Leberzellen durch Zell-Zell-Verbindungen («gap junctions») stark und rasch inhibieren [62, 63], wobei kurzkettige chlorierte Paraffine bei geringeren Konzentrationen wirken als mittelkettige. Inhibierung der Zell-Zell-Kommunikation ist ein Mechanismus, der bei vielen Tumorpromotoren anzutreffen ist. Es ist wahrscheinlich, dass auch kurzkettige chlorierte Paraffine auf diese Weise Tumorbildung auslösen können. Da die für die Zell-Zell-Verbindungen verantwortlichen Proteine, die Connexine, von Genen codiert sind, die in der Evolution stark konserviert worden sind, ist anzunehmen, dass kurzkettige chlorierte Paraffine auch beim Menschen auf diese Weise Krebs auslösen können. Damit besteht wahrscheinlich für den Menschen ein grösseres Krebsrisiko durch kurzkettige chlorierte Paraffine, als dies von der oben genannten Expertengruppe angenommen wurde.

6.2.5 Toxizität für die Entwicklung

In Kaninchen wurde eine Embryotoxizität bei einer oralen Aufnahme von 30 mg/kg Körpergewicht/Tag durch das Muttertier festgestellt [59, zit. in 16]. In einer Untersuchung von MCCP, die möglicherweise auch für SCCP relevant ist, wurden Männchen und Weibchen von 28 Tagen vor der Paarung bis 21 Tage nach der Geburt der Nachkommen mit Dosierungen von 0, 6, 62 oder 384 mg/kg Körpergewicht/Tag für Männchen und 0, 8, 74, 463 mg/kg Körpergewicht/Tag für Weibchen gefüttert [60, zit. in 16]. Die Nachkommen wurden, nachdem sie sich nicht mehr von der Muttermilch ernährten, mit ähnlich grossen MCCP-Menge behandelt wie ihre Eltern, nämlich pro kg Körpergewicht und pro Tag mit 0, 5,7 oder 58,7 für die männlichen Jungtiere und mit 0, 7,2 und 70,1 mg pro kg Körpergewicht und Tag für

die weiblichen Jungtiere, bis zu einem Alter von 70 Tagen. Bei den erwachsenen Tieren wurden keine Veränderungen beobachtet. Alle Nachkommen, deren Mutter der höchsten MCCP-Konzentration (463 mg/kg Körpergewicht/Tag), und einige der Nachkommen, deren Mutter der mittleren Konzentration (74 mg/kg Körpergewicht/Tag) ausgesetzt war, starben, bevor sie sich von der Muttermilch entwöhnten. Die Nekropsie ergab, dass sie bleiche Leber, Nieren und Lungen hatten, zudem fand man Blut in der Schädelhöhle, dem Gehirn, dem Magen und den Eingeweiden. In den Gruppen der mittleren und hohen MCCP-Konzentration fand man verletzte Stellen, verminderte Aktivität, angestregtes Atmen und bleiche Verfärbungen und/oder Blut um Körperöffnungen (engl. «orifices»). Diese Gruppen wurden zudem auf Erythrozytenzahl, Hämoglobin und Hämatokrit untersucht und es wurden relativ zur Kontrolle reduzierte Werte gefunden. Bei allen Gruppen wurde ein leicht verringertes Gewicht gegenüber der Kontrolle festgestellt. Es ist nicht klar, ob die beobachteten Effekte in utero ausgelöst oder ob sie durch MCCPs in der Muttermilch hervorgerufen wurden. Jedenfalls gibt diese Studie Hinweise darauf, dass schon bei einer Konzentration von 7,2 mg/kg Körpergewicht/Tag schädliche Folgen für die Nachkommen eintreten können. Eine ähnliche Studie sollte für SCCP unbedingt durchgeführt werden, da SCCP eher noch toxischer sind als MCCP und der im EU-Risikobewertungsbericht angenommene NOEL-Wert (Dosis, bei der kein Effekt beobachtet wird) von 100 mg/kg Körpergewicht/Tag damit möglicherweise viel zu hoch liegt.

6.2.6 Neurologische Effekte

Einer 10 Tage alten männlichen und einer gleichaltrigen weiblichen Maus wurde eine einzelne Dosis von 1 mg Polychlorohexadecane (MCCP) pro kg Körpergewicht verabreicht, und als Folge davon wurde eine 65%-ige Abnahme der V_{\max} der natriumabhängigen Cholinaufnahme festgestellt [61]. Dies deutet auf einen starken präsynaptischen Effekt von Chlorparaffinen auf das cholinergische System hin.

6.2.7 Vergleich mit anderen chlorierten organischen Stoffen

Es ist wenig bekannt darüber, auf welche Weise SCCP für Tiere und Menschen schädlich sein und eventuell Krebs auslösen können. Man sollte sich aber gegenwärtigen, dass auch über andere chlorierte organische Stoffe, z. B. PCB, das anerkanntermassen karzinogen ist, über die Wirkungsmechanismen vergleichsweise wenig bekannt ist. Das Wissen, das man hat, ist zu einem grossen Teil auf Störfälle zurückzuführen, bei denen Menschen grössere Mengen von PCB aufgenommen haben. Es ist gut möglich, dass ein ähnlicher Störfall mit Chlorparaffinen auch bei diesem Stoff die Gefährlichkeit schlagartig verdeutlichen würde, oder dass man umgekehrt bei PCB ohne die eingetretenen Störfälle noch heute darüber rätseln würde, ob sie kanzerogen sind.

7 Diskussion

7.1 Wichtige Stoffflüsse

Die Stoffflussanalyse soll vor allem darüber Auskunft geben, wie stark die Umwelt durch welche Anwendungsgebiete mit SCCP belastet wird. Die folgenden Verknüpfungen sind deshalb in Bezug auf die für das Jahr 1994 gemachten Abschätzungen hervorzuheben:

- Einträge in die Umwelt entstehen vor allem aus Gütern, die SCCP enthalten.
- Unsachgemässe Entsorgung von Schneidölen sowie die offene Anwendung von Schmierölen in Fahrzeugen führen zu einer Belastung des Abwassers, wodurch die SCCP-Konzentration in Gewässern, im Boden und im Grundwasser steigt.
- Aus Beschichtungen, Dichtmassen, Klebstoffen und PVC verflüchtigen sich SCCP und setzen sich in verschiedenen Umweltmedien ab. Besonders kritisch sind Beschichtungen von Wasserfahrzeugen, da ab einem gewissen Alter der Beschichtungen aus diesen die Stoffe direkt ins Wasser gelangen; für Wasserorganismen sind SCCP besonders toxisch.
- Die Klärschlammaustragung auf Feldern ist problematisch, da dadurch SCCP auf den Boden gelangen und von dort wahrscheinlich teilweise in das Grundwasser oder die Oberflächengewässer ausgewaschen werden.
- Etwa 2 Tonnen SCCP werden jährlich durch Flüsse aus der Schweiz ins Ausland transportiert.

7.2 Datenlücken

In folgenden Bereichen sind Datenlücken vorhanden, die zum Teil erhebliche Auswirkungen auf die Stoffbilanz haben könnten:

- Man weiss zu wenig über Verteilvorgänge von SCCP in der Metallbearbeitung. Da dies der grösste Anwendungsbereich von SCCP ist, sollte man diesen genauer untersuchen. Im EU Risikobewertungsbericht wurden aufgrund einer Fehlüberlegung die Einträge in die Umwelt möglicherweise um einen Faktor 2 unterschätzt (→ Kap. 5.2.). Es müsste abgeklärt werden, wieviel SCCP bei der Metallbearbeitung durch Umwandlung zu HCl zerstört wird. Beim Recycling von Metallteilchen (engl. Swarf) entweicht eine unbekannte Menge von SCCP in die Umwelt.
- Es ist nicht klar, wieviel SCCP in kohlefreiem Durchschlagpapier enthalten ist.
- Es gibt bisher erst wenige Messungen, die darüber Auskunft geben, wieviel SCCP sich aus Beschichtungen, PVC und Dichtmassen verflüchtigen. Das Verteilverhalten von SCCP in der Atmosphäre ist allgemein nur schlecht untersucht.
- Es ist nicht klar, ob SCCP durch Verflüchtigung aus Deponien entweichen.
- Es liegen keine auf die Anwendungsgebiete bezogenen Zahlen zum Verbrauch von SCCP in der Schweiz vor.
- Es ist völlig unklar, wieviel SCCP-haltige Produkte importiert oder exportiert werden.
- Es liegen zu wenig Angaben zu bestehenden Lagern vor, zum Beispiel von SCCP in Kunststoffen, Beschichtungen usw.

7.3 Ungenauigkeiten

In erster Linie begrenzen die folgenden Faktoren die Genauigkeit der hier präsentierten Zahlen:

- Die vorliegende Stoffflussanalyse basiert auf einer Schätzung des Gesamtverbrauchs durch die Schweizerische Gesellschaft der Chemischen Industrie. Da nicht bekannt ist, auf welche Quellen sich SGCI stützt, kann über die Genauigkeit dieser Schätzung nichts gesagt werden. Der von der SGCI angegebene Wert liegt um einen Faktor vier unter der Menge, die auf die Schweiz käme, wenn sie proportional zur Bevölkerung gleich viel SCCP verbrauchte wie Westeuropa.
- Dieser Bericht setzt voraus, dass sich die Gesamtmenge in der Schweiz im wesentlichen gleich auf die Anwendungsgebiete verteilt wie in der EU. Diese Annahme führt dazu, dass die Zahlen in diesem Bericht keinen grossen Anspruch auf Genauigkeit haben können und vielmehr nur in der Lage sind, eine Vorstellung von der Grössenordnung der bestehenden Stoffflüsse zu geben.
- Da keine Angaben zum Import und Export von SCCP-haltigen Produkten vorliegen, entstehen grosse Ungenauigkeiten in der Stoffflussanalyse.
- In diesem Bericht wurden keine Abschätzungen zu Lagern gemacht. Bei Beschichtungen, Dichtungsmassen und Kunststoffen wurde ein Faktor 10 einbezogen, um Emissionen von SCCP-haltigen Produkten aus früheren Jahren einzubeziehen. Dieser Faktor ist aber möglicherweise ungenau. Die Grösse der Lager hat einen wesentlichen Einfluss auf die Stoffflüsse.

An verschiedenen Stellen im Bericht wurden Kontrollgrössen als Vergleichsmaßstab oder als Grundlage für Schätzungen gebraucht. Falls sie als Vergleichsmaßstab gebraucht werden, können sie als Anhaltspunkte für die Genauigkeit der abgeschätzten Zahlen dienen:

- Eine Abschätzung der Konzentration von SCCP im Wasser hat ergeben, dass die Konzentration etwa 0,25 µg/l beträgt, unter der Annahme, dass die SCCP-Konzentration in den Gewässern in erster Näherung konstant bleibt und noch nichts in die Sedimente geht. Diese Abschätzung liegt etwa in der gleichen Grössenordnung wie Messungen von SCCP-Konzentrationen aus verschiedenen europäischen Gewässern. Aufgrund von Sedimentkonzentrationen wurde für den SCCP-Gehalt im Wasser des Rheins von einer Konzentration von rund 0,1 µg/l ausgegangen. Dieser Kontrollwert liegt in der gleichen Grössenordnung wie der geschätzte Wert, die Differenz kann durch Abgabe in Sedimente erklärt werden.
- Es wurde abgeschätzt, dass Menschen ca. 2900 µg SCCP pro Jahr aufnehmen. Im menschlichen Fettgewebe wurden Chlorparaffine in einer Konzentration nachgewiesen, die auf das gesamte Körpergewicht eines durchschnittlichen Menschen bezogen insgesamt 1400 µg Chlorparaffine oder schätzungsweise 900 µg SCCP ergibt. Da nicht alles SCCP aus der Nahrung aufgenommen wird und ein Teil abgebaut oder wieder ausgeschieden wird, stimmt die Kontrollgrösse relativ gut mit der Angabe zur Aufnahme von SCCP mit der Nahrung überein.
- Es wurde abgeschätzt, dass etwa 5,5 Tonnen SCCP im Klärschlamm zu finden sind. Berechnungen aufgrund von Messungen aus der Schweiz und Deutschland ergaben Werte von 2 respektive 11 Tonnen. Die Abschätzung liegt damit zumindest in der gleichen Grössenordnung wie die Kontrollgrössen.

Insgesamt zeigt sich, dass dort wo Kontrollgrössen vorliegen, diese in der gleichen Grössenordnung liegen wie die in der Stoffflussanalyse gemachten Schätzungen. Man kann deshalb vermutlich davon ausgehen, dass die angegebenen Zahlen höchstens um einen Faktor 10, im besseren Fall vielleicht um einen Faktor 2 neben den tatsächlichen Werten liegen.

Die Ungewissheit zur Konzentration von SCCP in der Umwelt könnte durch neue Messungen vermindert werden. Es gibt zum Beispiel noch keine Messungen in der Schweiz von SCCP-Konzentrationen im Wasser von Flüssen.

7.4 Trends

7.4.1 EU

Im EU Markt hat die Verwendung von SCCP zwischen 1994 und 1998 insgesamt um einen Faktor 3 abgenommen, wie Tabelle 7.1. zeigt [5]. Am meisten zu Buche schlägt die Verringerung des Gebrauchs von SCCP bei der Metallbearbeitung.

Tabelle 7.1. Verbrauch von SCCP in der EU 1994 und 1998

Anwendungsgebiet	1994	1998	Faktor zwischen 1998 und 1994
PVC	nichts deklariert	13	
Metallbearbeitung	9380	2018	5
Flammschutzmittel in Textilien und Gummi	1310	617	2
Wasserdichte Textilien	183	21	9
Beschichtungen, Dichtungsmittel und Klebstoffe	1845	713	3
Leder	390	45	9
Verkäufe durch Verteiler	100	648	0.2
Total	13208	4075	3

7.4.2 Schweiz

Laut einer Schätzung des Verbandes Schweizerischer Schmierölimporteure wurden im Jahre 2001 nur noch etwa 5 Tonnen SCCP für die Metallbearbeitung eingesetzt. Im Vergleich zu 1994 entspricht dies einer Abnahme um einen Faktor 10.

Zu beachten ist, dass die Menge von Verkäufen durch Verteiler gestiegen ist und man nicht weiss, wohin diese Mengen gegangen sind. Es ist deshalb möglich, dass in bisher unbekanntem Anwendungsgebieten von SCCP der Verbrauch zunimmt.

Die Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie, SGCI, hat in ihren Angaben zum Gesamtverbrauch von SCCP in der Schweiz neben dem Jahr 1994 auch

die Jahre 1993, 1990 und 1987 aufgeführt (Tab. 7.2.). Die Zahlen zeigen, dass zwischen 1987 und 1994 der Verbrauch an SCCP um die Hälfte zurückgegangen ist.

Tabelle 7.2. Verbrauch von SCCP in der Schweiz zwischen 1987 und 1994 gemäss SGCI

Stoffgruppe	1987	1990	1993	1994
SCCP	120	120	60	60
Paraffinöle (SCCP und MCCP)	20	20	20	20

Um die Trends zum Verbrauch von SCCP genauer abzuschätzen, bräuchte man Zahlen zum Import und Export von SCCP sowie von SCCP-haltigen Gütern.

Durch den Entscheid des Bundesrates vom 26. März 2003, ab Mai 2003 ein Verbot der Klärschlammdüngung stufenweise einzuführen, ist zu erwarten, dass neue Einträge von SCCP in die Umwelt stark abnehmen. Bisher machten Stoffflüsse von Kläranlagen zum Boden durch die Austragung von Klärschlamm den grössten Teil der Einträge von SCCP aus der Abfallwirtschaft in die Umwelt aus.

7.4.3 Trendanalyse 2002 (CH-Markt)

Um einen Anhaltspunkt über den Einsatz von Chlorparaffinen in verschiedenen Gütern im System Schweiz zu erhalten, wurden im Jahre 2002 in Zusammenarbeit mit dem BUWAL drei verschiedene Untersuchungen durchgeführt:

1. Messkampagne Kantonales Laboratorium BS: Publikumsprodukte
2. Messkampagne Kantonales Laboratorium AG: gewerbliche Produkte
3. Schwerpunktaktion Kantonales Laboratorium AG: Fugendichtungen aus Bauobjekten

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass SCCP weder in Publikumsprodukten noch in gewerblichen Produkten nachgewiesen werden konnten. Auch bei den untersuchten Fugendichtungen aus dem Zeitraum 1991–2002 wurden keine SCCP gefunden. Dagegen werden heute z. T. noch mittelkettige, chlorierte Paraffine (MCCP) bei den Beschichtungen und Dichtungsmitteln (inkl. Fugendichtungen) verwendet.

Messkampagne Kantonales Laboratorium BS: Publikumsprodukte

Proben/Probenahme

Insgesamt wurden 61 Proben aus vier verschiedenen Anwendungsgebieten untersucht.

- | | |
|--|----|
| 1. Kettensprays, Rostlöser, Schmiermittel: | 15 |
| 2. Farben, Lacke und Beschichtungen: | 29 |
| 3. Dicht-, Kitt- und Spachtelmassen: | 13 |
| 4. Tinten für Tintenstrahldrucker: | 4 |

Diese Proben wurden im Zeitraum April-Juni 2002 in Do-it-yourself Läden, bei Velohändlern oder in Farbenfachgeschäften käuflich erworben. D.h. es wurden nur im Handel erhältliche Produkte (Publikumsprodukte), keine gewerblichen Produkte untersucht.

Resultate

In keiner Probe konnten SCCP nachgewiesen werden. Dagegen wurden in 9 von 61 Proben (15%) MCCP (mittelkettige, chlorierte Paraffine) mit einem Chlorierungsgrad von 52% nachgewiesen. Die Konzentrationen an MCCP lagen zwischen 0,1–50 Gewichtsprozent.

Zusammenfassung

Kurzkettige chlorierte Paraffine scheinen in diesen Anwendungsgebieten nicht mehr eingesetzt zu werden. Diese Aussage bezieht sich auf Publikumsprodukte, in gewerblichen Produkte müsste man dies noch abklären. Die SCCP könnten z.T. durch mittelkettige Chlorparaffine ersetzt worden sein. Bei den Farben und Lacken betrifft das vor allem die Schwimmbecken- und Strassenmarkierungsfarben, bei den Dichtungsmitteln die Acryldichtmassen.

Das Patent von SCCP in Tinten für Tintenstrahldruckern scheint nicht auf den Markt gebracht worden zu sein, was mit den Aussagen des schweiz. Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik übereinstimmt.

Proben/Probenahme

Messkampagne des Kantonalen Laboratorium AG: gewerbliche Produkte [76]

Der erste Teil der Untersuchung umfasste 21 gewerbliche oder vorwiegend im Gewerbe eingesetzte Produkte aus 5 verschiedenen Anwendungsgebieten, für welche eine BAG-Registrierung mit CP vorlag.

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Farben und Lacke: | 7 |
| 2. Kunststoffe: | 1 |
| 3. Dicht-, Kitt- und Spachtelmassen: | 9 |
| 4. Reinigungsmittel: | 1 |
| 5. Hilfsstoffe: | 3 |

In einem zweiten Teil der Untersuchung wurden 6 weitere gewerbliche oder vorwiegend im Gewerbe eingesetzte Produkte analysiert, ohne dass für diese eine BAG-Registrierung mit CP vorlag. Es handelte sich hierbei um 5 Dichtmassen und eine Strassenmarkierungsfarbe. Die Proben wurden im Zeitraum November-Dezember 2002 erhoben.

Resultate

1. Teil: In den untersuchten Produkten waren keine SCCP mehr zu finden. In der Regel werden in den Produkten mittelkettige CP (MCCP) eingesetzt (insbesondere alle untersuchten Dichtmassen). Lediglich 2 Hilfsstoffe und 1 Kunststoff enthielten langkettige CP. Die ermittelten CP-Gehalte wichen häufig von den gemäss Registrierung angegebenen Gehalten ab und werden durch das BAG beanstandet. Obwohl eine Registrierung mit CP vorlag, wurden bei den meisten Farben und Lacken keine CP festgestellt, da diese offensichtlich durch andere Substanzen ersetzt worden sind.

2. Teil: Für keines der untersuchten Produkte besteht eine Registrierung auf der Basis CP, trotzdem konnten in einem Polyurethan-Schaum (Gruppe Dichtmassen) mittelkettige CP ermittelt werden.

Zusammenfassung

Kurzkettige chlorierte Paraffine scheinen auch in gewerblichen Produkten nicht mehr eingesetzt zu werden. Heute werden mittelkettige CP oder andere Weichmacher eingesetzt (insbesondere Dichtmassen inklusive Polyurethanschäume). Bei den Farben und Lacken können die Untersuchungen dahingehend interpretiert werden, dass CP weitgehend durch andere Substanzen wurden.

**Schwerpunktaktion Kantonales Laboratorium AG:
Fugendichtungen aus Bauobjekten [76]**

Proben/Probenahme

Im Rahmen einer gesamtschweizerischen Schwerpunktaktion wurden Bauobjekte hinsichtlich PCB (polychlorierte Biphenyle) und CP untersucht. In 2 Erhebungskampagnen wurden insgesamt 91 Fugendichtungen nahezu ausschliesslich aus kantonalen Objekten erhoben.

Resultate

Je ¼ der untersuchten Fugendichtungen enthielt polychlorierte Biphenyle bzw. kurzkettige Chlorparaffine (Tabelle 7.3). Gemäss diesen Untersuchungen wurde PCB in den Jahren 1960 - 75 und kurzkettige CP in den Jahren 1971 - 90 eingesetzt. Die etwas weniger problematischen mittelkettigen CP wurden weniger häufig (12%), aber über alle in der Tabelle aufgeführten Zeitabschnitte hinweg eingesetzt. In einem Drittel der Proben konnte weder PCB noch CP nachgewiesen werden. Fugendichtungen aus dem Zeitraum bis 1975 enthielten tendenziell höhere CP-Gehalte als diejenigen jüngeren Datums. Zwei Drittel der CP-haltigen Fugendichtungen enthielten eine Konzentration von mindestens 10% CP.

Tabelle 7.3. Nachweis von Chlorparaffinen (CP) und polychlorierten Biphenylen (PCB) in Fugendichtungen verschiedener Alterskategorien

Analytisch nachgewiesene Substanz	Anzahl Fugendichtungen mit Substanznachweis pro Alterskategorie ¹⁾						
	1960–70	1971–75	1976–90	1991–2002	Unbekannt	Total	(%)
PCB	18	6	-	-	1	25	(27)
kurzkettige CP	-	15	6	-	4	25	(27)
mittelkettige CP	2	4	3	2	-	11	(12)
kein PCB, keine CP	3	6	11	7	6	33	(36)
Total	23	31	20	9	11	91	(100)

¹⁾ da 3 Proben sowohl CP als auch PCB enthielten, liegt die gesamte Probenzahl um 3 tiefer als die Summe der Bereiche.

Zusammenfassung

Kurzkettige chlorierte Paraffine scheinen seit den neunziger Jahren nicht mehr in Fugendichtungen verwendet zu werden und nicht durch mittelkettige CP ersetzt worden zu sein, obwohl letztere zum Teil noch verwendet werden. Ältere Fugendichtungen, insbesondere aus den frühen siebziger Jahren, enthalten jedoch noch in vielen Fällen kurzkettige chlorierte Paraffine.

8 Massnahmen ausländischer Regierungen und internationaler Organisationen

Berichte zu chlorierten Paraffinen liegen aus zahlreichen europäischen Ländern [2, 3, 4, 5, 6, 17], den USA [14] und Kanada [16] vor. Das «International Programme on Chemical Safety», das von der Weltgesundheitsorganisation WHO, der International Labour Organisation und dem United Nations Environment Programme finanziert wird, hat 1996 ebenfalls einen Bericht veröffentlicht [18]. In Europa haben verschiedene Organisationen an der Vorbereitung zumindest eines teilweisen Phasing-Out von kurzkettingen chlorierten Paraffinen mitgewirkt: Die EU, die Kommission des OSPAR-Übereinkommens, sowie die OECD.

OSPAR

OSPAR ist ein Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks, das am 22. September 1992 geschlossen wurde und zwei frühere Konventionen in sich vereinigt: Das Oslo-Abkommen von 1972, das verhindern soll, dass Abfälle zur Beseitigung ins Meer geworfen werden, sowie das Paris-Abkommen von 1974 zur Verhütung der Meeresverschmutzung vom Lande aus. Das OSPAR-Übereinkommen trat 1998 in Kraft.

Mitglieder der OSPAR-Konvention sind einerseits die Europäische Gemeinschaft selbst und alle EU-Staaten mit Ausnahme von Österreich, Griechenland und Italien, sowie andererseits die Nicht-EU-Staaten Norwegen, Island und die Schweiz. Finnland, Luxemburg und die Schweiz waren neue Vertragsstaaten, die bei der Oslo- oder der Pariskonvention noch nicht dabei waren. Die Beschlüsse aus diesen Konventionen wurden von den neuen Vertragsstaaten jedoch zum Teil übernommen.

Der Beschluss 95/1, der kurzkettinge chlorierte Paraffine betrifft, wurde von der Kommission für die Durchsetzung der Paris-Konvention, PARCOM, 1995 gefasst. Nicht unterzeichnet wurde der Beschluss von der Europäischen Gemeinschaft. Das Vereinigte Königreich machte Vorbehalte gegenüber dem Beschluss. Die Schweiz hat diesen Beschluss zusammen mit anderen PARCOM-Beschlüssen vorbehaltlos übernommen. Der Beschluss 95/1 wurde aber in der Schweiz noch nicht in nationales Recht transformiert.

Im Entschluss 95/1 der PARCOM wurde festgelegt, in folgenden Kategorien die Verwendung kurzkettinger Chlorparaffine einzustellen:

- a) Verwendung als Plastifiziermittel in Farben und Beschichtungen
- b) Verwendung als Plastifiziermittel in Dichtungsmassen
- c) Verwendung in Metallbearbeitungsölen
- d) Verwendung als Flammschutzmittel in Gummi, Kunststoffen und Textilien

Für einen Teil von Kategorie b, die Anwendung in Dichtungsmassen für Dämme, sowie für einen Teil der Kategorie d, die Anwendung in Förderbändern für den exklusiven Gebrauch im unterirdischen Bergbau, wurde ein Phasing-Out bis zum 31. Dezember 2004 beschlossen. Für alle anderen Anwendungen gilt eine Frist bis zum 31. Dezember 1999.

Darüber hinaus wurde im Entschluss vereinbart, alle Anwendungen von sämtlichen chlorierten Paraffinen zu untersuchen, die zu diffusen Emissionen in das Abwasser

oder das Oberflächenwasser führen, mit der Absicht, diese Emissionen zu reduzieren.

Weiter ist im Entschluss festgeschrieben, dass Informationen über akzeptable Ersatzstoffe ausgetauscht werden sollen.

Der Entschluss stützte sich auf folgende Beweggründe:

- Kurzkettige chlorierte Paraffine wurden in der aquatischen Umwelt in industriellen und nicht-industriellen Gebieten sowie in aquatischen und terrestrischen Organismen gefunden.
- Kurzkettige chlorierte Paraffine sind persistente Substanzen.
- Es wurde gezeigt, dass diese Substanzen für aquatische Organismen toxisch sind und sich in einigen Arten akkumulieren.
- Es ist erwiesen, dass sie in Ratten und Mäusen karzinogen sind.
- Für die meisten grösseren Anwendungsgebiete können kurzkettige chlorierte Paraffine durch weniger umweltgefährdende Substanzen ersetzt werden.

Der PARCOM Beschluss 95/1 ist von den OSPAR-Vertragsstaaten bisher in unterschiedlichem Masse verwirklicht worden [43]. In Finnland und den Niederlanden gab es nationale Beschlüsse, die dem PARCOM Beschluss 95/1 äquivalent sind. In Norwegen ist ein entsprechender Vorschlag in Bearbeitung. In Schweden wurde ein komplettes Phasing-out von kurzkettigen chlorierten Paraffinen durch freiwillige Mittel erreicht. In Deutschland und Norwegen wurden kurzkettige chlorierte Paraffine fast vollständig aus Metallbearbeitungsölen eliminiert. Ähnliche Aktivitäten gibt es auch in Belgien und dem Vereinigten Königreich.

Im schon zitierten kürzlich veröffentlichten OSPAR-Dokument [43] werden folgende weitere Schritte vorgeschlagen:

- Der PARCOM Beschluss 95/1 soll in der Beschlussfassung der Europäischen Union voll umgesetzt werden.
- SCCP sollen in die «Water Framework Directive»-Liste über vorrangig zu behandelnde Substanzen einbezogen werden.
- Die Vertragsstaaten von OSPAR sollen sich stärker dafür einsetzen, dass der Beschluss 95/1 in ihren Ländern umgesetzt wird.
- Informationen über akzeptierbare Alternativen zu SCCP sollen gesammelt und unter den Vertragsstaaten ausgetauscht werden.
- Die Vertragsstaaten sollen Massnahmen treffen, um zu verhindern, dass SCCP durch MCCP substituiert werden, da der Verbrauch von MCCP in Zukunft vermutlich ebenfalls eingeschränkt werden muss.
- Es sind zusätzliche Informationen über MCCP und LCCP notwendig.
- Spätestens bis 2003 sollte das Bedürfnis für weitere Aktionen abgeklärt werden; das Ziel ist, dass bis 2020 keine Emissionen und Verluste von gefährlichen Substanzen mehr stattfinden, um langfristig in der marinen Umwelt Konzentrationen zu erreichen, die nahe bei Null liegen.

OECD

Im Mai 1993 wurde ein «OECD Clearing House on Chlorinated Paraffins» initiiert, in dem die Schweiz den Vorsitz übernahm. Das Clearing House diente als Diskussionsforum für alle Mitgliedsländer der OECD, also neben den europäischen Ländern auch für USA, Kanada, Australien und Japan. Es wurde regelmässig eine Liste von vorhandenen Berichten zu chlorierten Paraffinen und den Kontaktstellen der verschiedenen Länder erstellt. Kurzkettige chlorierte Paraffine wurden 1996 am 4. OECD SIDS Initial Assessment Meeting besprochen. 1999 wurde in der Schweiz ein Expertentreffen über kurzkettige chlorierte Paraffine durchgeführt. Ziel dieses Treffens war es, einen Erfahrungsaustausch zwischen verschiedenen Staaten zu ermöglichen, die Massnahmen für das Risiko-Management von kurzkettigen chlorierten Paraffinen ergriffen haben oder solche in Erwägung ziehen. Insbesondere wurden Massnahmen im Sinne von Emissionsbeschränkungen für gewisse Anwendungen, Einschränkungen des Gebrauchs, freiwilligen Massnahmen der Industrie und einer besseren Information der Konsumenten verglichen. Es wurde beschlossen, auf einer passwortgeschützten Website Informationen zu Ersatzprodukten, spezifischem Risikomanagement und Risikomanagementstrategien weiterhin auszutauschen. Am 30. Joint Meeting des «Chemicals Committee» und der «Working Party on Chemicals» im Jahr 2000 wurden die Resultate des Expertentreffens besprochen.

EU

Die EU hat eine Risikobewertung der kurzkettigen chlorierten Paraffine durchführen lassen. Dies geschah im Rahmen des EU-Programms für Altstoffe und der Verordnung EWG Nr. 793/93. Obwohl Art. 15 dieser Verordnung der Kommission in Zusammenarbeit mit dem Ministerrat die Kompetenz gäbe, aufgrund der Risikobewertung Massnahmen zu ergreifen, entschloss sich die Kommission für ein Verfahren unter Einbezug des Europäischen Parlaments, das sogenannte Verfahren der Mitentscheidung des Art. 251 EG-Vertrag. Dieses Verfahren kommt nach Art. 14 EG-Vertrag zur Anwendung, wenn es um das Funktionieren des Binnenmarkts geht. Da einige Mitgliedstaaten im Anschluss an den PARCOM-Beschluss 95/1 die Verwendung kurzkettiger Chlorparaffine eingeschränkt haben oder einzuschränken planen, ist eine Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten auf diesem Gebiet erforderlich. Die einzige Handlungsmöglichkeit für die Gemeinschaft besteht in der 20. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates «zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen». Eine Änderung dieser Richtlinie ist für alle EU-Länder verbindlich.

Die EU-Risikobewertung wurde vom Vereinigten Königreich durchgeführt. Die Schlussfolgerungen sind, dass es unwahrscheinlich ist, dass SCCP in Beschichtungen, Dichtungsmitteln und Textilien ein Risiko für die Umwelt darstellen. Hingegen stellt deren Gebrauch in Metallbearbeitungsölen und in der Lederbearbeitung ein Risiko für aquatische Organismen in Oberflächenwasser dar. Sediment- und bodenbewohnende Organismen sind möglicherweise ebenfalls bedroht durch die Formu-

lierung und den Gebrauch von Metall- und Lederbearbeitungsflüssigkeiten. Für die Gesundheit des Menschen besteht nur ein geringes Risiko.

Es wird im EU-Risikobewertungsbericht vorgeschlagen, Massnahmen zur Risikoverminderung der Metall- und Lederbearbeitung zu treffen. Zusätzliche Toxizitätsmessungen für sediment- oder bodenbewohnende Organismen wären nötig, erübrigen sich aber allenfalls, wenn Massnahmen für den Schutz der aquatischen Organismen getroffen werden.

Die Resultate des EU-Risikobewertungsberichts wurden 1998 vom Scientific Committee for Toxicity, Ecotoxicity and Environment (CSTEE) bewertet [42]. Grundsätzlich wurde der Bericht als «gutes Dokument» bezeichnet. Kritikpunkte waren unter anderem die folgenden:

- Im Risikobewertungsbericht wird nichts über Exporte aus der EU oder Importe in die EU von SCCP gesagt.
- Bei der Wiederverwertung von Metallteilchen, die durch die Metallbearbeitung anfallen, werden möglicherweise nicht alle SCCP zerstört, und die Recycling-Anlagen könnten Punktquellen für SCCP-Emissionen in die Luft sein.
- Es wurde nicht erwähnt, dass bei der Verbrennung von SCCP möglicherweise toxischere Verbindungen wie PCN oder PCB entstehen.
- Emissionen von SCCP aus Gütern, die diese Stoffe enthalten, werden in der Risikobewertung nur sehr kurz diskutiert. In einem Bericht, der den Verfassern des EU-Risikobewertungsberichts nicht vorlag, wurden signifikante Emissionen von Beschichtungen gemessen, die SCCP enthalten. Auch ohne die Ergebnisse dieses Berichtes hätte in der Risikobewertung Wissen von anderen, ähnlichen Verbindungen, wie zum Beispiel PCB, verwendet werden können.
- Der Bericht präsentiert die erhältlichen Dokumentationen über Toxizität beim Mensch und beim Tier in akzeptabler Weise. Es wird in der Risikobewertung aber nicht erwähnt, dass SCCP die Zell-Zell-Kommunikation beeinflussen.
- Man kann die Möglichkeit nicht, wie in der Risikobewertung steht, völlig ausschliessen, dass SCCP bei den Menschen Leber-, Schilddrüsen- oder Nierenkrebs hervorrufen können. In Ratten ist die Entstehung dieser Krebsarten nachgewiesen worden. In der Risikobewertung wurde angenommen, dass dies durch Peroxisomenproliferation geschehe und deshalb für den Menschen nicht relevant sei. Das Scientific Committee for Toxicity, Ecotoxicity and Environment schliesst sich der Meinung einer Gruppe von Experten an, den sogenannten Specialised Experts, die zum Schluss gekommen waren, dass zuwenig Beweismaterial vorliegt um zu schliessen, dass Nierenkrebs nur bei Ratten vorkomme, und dass damit Bedenken für die Gesundheit des Menschen nicht ausgeschlossen werden können.

Aufgrund des EU-Risikobewertungsberichts machte die Kommission am 20. Juni 2000 dem Europäischen Parlament einen Vorschlag für eine Richtlinie zur 20. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG. Leitgedanke des Vorschlags war, dass die in einigen Ländern bereits erfolgte Umsetzung des PARCOM-Beschlusses 95/1 dem Prinzip eines einheitlichen Binnenmarktes zuwiderlaufen würde. Deshalb empfahl

die Kommission, dass aufgrund der Risikobewertung und einer Kosten/Nutzen-Analyse harmonisierte Vorschriften für kurzkettige Chlorparaffine eingeführt werden [45]. Hauptziel des Vorschlags war der Schutz der Umwelt unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Risikobewertung. Es wurde vorgeschlagen, dass kurzkettige Chlorparaffine

- in der Metallverarbeitung und
- zum Fettsossieren von Leder

nicht zur Verwendung als Stoffe oder Ersatzstoffe für Zubereitungen in Verkehr gebracht werden dürfen. Darüber hinaus sollen die Bestimmungen über kurzkettige Chlorparaffine bis zum 1. Januar 2003 von der Europäischen Kommission in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten und unter Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Gesundheits- und Umweltrisiken kurzkettiger Chlorparaffine überarbeitet werden.

Das Europäische Parlament war mit dem Entwurf der Kommission nicht einverstanden und schlug vor, das Verbot der Verwendung kurzkettiger Chlorparaffine um alle Verwendungen zu erweitern, die gemäss dem PARCOM-Beschluss 95/1 bis zum 31. Dezember 1999 hätten eingestellt werden sollen. Zur Begründung wird angefügt, dass auch diese Verwendungen erheblich zur Freisetzung kurzkettiger Chlorparaffine in die Umwelt beitragen können. Dabei beruft sich das Parlament auf den wissenschaftlichen Ausschuss CSTEE, in dem darauf hingewiesen wurde, dass Produkte wie zum Beispiel Farben eine wesentliche Quelle für die Freisetzung kurzkettiger Chlorparaffine sein können. Als Indiz für die weite Verbreitung von Chlorparaffinen wird die Tatsache gewertet, dass selbst in biologischem Material aus der Arktis kurzkettige Chlorparaffine nachgewiesen worden waren, so in Robben oder in der Muttermilch von Inuit-Frauen [43]. Mit einem weitergehenden Verbot des Einsatzes von kurzkettigen Chlorparaffinen würde nicht nur die Umwelt, sondern letztlich auch der Mensch vor den möglichen Gefahren des langfristigen Kontakts mit Chlorparaffinen geschützt. Zwischen dem Vorschlag der Kommission und dem PARCOM-Beschluss gab es Unterschiede, so dass das Funktionieren des Binnenmarktes weiterhin beeinträchtigt würde.

Die Kommission akzeptierte die Änderungen, die den Geltungsbereich des vorgeschlagenen Verbots ausweiten würden, nicht. Sie änderte ihren Vorschlag aufgrund der Stellungnahme des Parlaments nur leicht ab. Der Rat, der bei Uneinigkeit mit dem Europäischen Parlament nach dem Verfahren des Art. 251 einen gemeinsamen Standpunkt festlegen muss, sprach sich ebenfalls dafür aus, das Verbot für kurzkettige Chlorparaffine auf die zwei Bereiche Metall- und Lederbearbeitung zu beschränken.

Der gemeinsame Standpunkt des Rates wurde dem Parlament am 5. Juli 2001 übermittelt. Mit absoluter Mehrheit der Mitglieder änderte das Parlament den gemeinsamen Standpunkt des Rates wieder ab, um eine umfassende Umsetzung des PARCOM-Beschlusses 95/1 auf der Gemeinschaftsebene zu erreichen. Aufgrund

der ablehnenden Haltung des Rates wurde ein Vermittlungsausschuss zwischen dem Rat und dem Europäischen Parlament eingesetzt. In diesem setzte sich schliesslich der Rat durch.

Am 25. Juni 2002 wurde beschlossen [73], dass spätestens zu Beginn des Jahres 2004 in der ganzen EU ein Verbot gilt, chlorierte Paraffine als Stoffe oder Bestandteile von anderen Stoffen oder Zubereitungen in Konzentrationen von über 1% in der Metallverarbeitung und -bearbeitung sowie zum Fetten von Leder in Verkehr zu bringen. Die übrigen Anwendungsgebiete kurzkettiger Chlorparaffine werden «vor dem 1. Januar 2003 von der Kommission in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten und dem OSPAR-Ausschuss unter Berücksichtigung aller einschlägigen neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Gesundheits- und Umweltrisiken kurzkettiger Chlorparaffine erneut geprüft».

Es ist damit zu rechnen, dass aufgrund der Prüfung in Zusammenarbeit mit dem OSPAR-Ausschuss der Gebrauch von kurzkettigen Chlorparaffinen weiter eingeschränkt wird, da bereits der CSTEE-Ausschuss festgestellt hat, dass in der bisherigen Risikobewertung SCCP-Emissionen aus Gütern, die diesen Stoff enthalten, eindeutig zu kurz kamen.

Kurzkettige Chlorparaffine wurden Ende 1998 [74] auf EU-Ebene als gefährlich für die Umwelt bezeichnet (Symbol N) und mit den Gefahrensätzen R50/53 (Sehr giftig für Wasserorganismen/Kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben) versehen, sowie als krebserzeugend, Kategorie 3, eingestuft (Symbol Xn) und mit dem Gefahrensatz R40 (Irreversibler Schaden möglich) versehen. Im Jahr 2001 wurden kurzkettige Chlorparaffine zudem in die Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik aufgenommen [75].

USA

In einer Studie in den USA wurden kurzkettige chlorierte Olefine den kurzkettigen Paraffinen gleichgestellt, nachdem entdeckt wurde, dass auch Olefine in Metallbearbeitungsflüssigkeiten vorkommen und praktisch ununterscheidbar sind von chlorierten Paraffinen bezüglich Toxizität, Persistenz, Gebrauch und Entsorgung [14]. Falls dies zutrifft, hat dies insofern Konsequenzen, als dass klargestellt werden muss, dass in Europa beim Verbot von kurzkettigen chlorierten Paraffinen auch kurzkettige chlorierte Olefine einbezogen werden. Erstaunlicherweise ist dieser Hinweis bisher in keinem europäischen Dokument aufgenommen worden.

Chlorierte Paraffine wurden 1977 vom National Toxicology Program für Tests nominiert. Es wurde erkannt, dass chlorierte Paraffine ein Risiko für Wasserlebewesen darstellen und wahrscheinlich beim Menschen Krebs auslösen können. Genauere Studien zeigten, dass vor allem kurzkettige chlorierte Paraffine und Olefine zu ökologischen Bedenken Anlass geben und dass praktisch alle dieser Stoffe, die in US-Gewässern gefunden wurden, von Metallbearbeitungsölen stammen. Es wurde deshalb gefolgert, dass chlorierte Paraffine und Olefine nicht ein generelles Umweltrisiko darstellen, obwohl einige Städte mit viel Metallbearbeitungsindustrie

gefunden wurden, in denen die Konzentration im Wasser von chlorierten Paraffinen und Olefinen für einige Wasserlebewesen kritisch sein könnte.

Aufgrund dieser Studien in den USA wurden chlorierte Paraffine und Olefine um 1994 in das Toxic Release Inventory aufgenommen. Das Department of Labor's Occupational Safety and Health Administration wurde über mögliche Risiken für Metallarbeiter, und die Environmental Protection Agency Region 5 sowie das Great Lakes Program über potentielle Risiken für Personen, die häufig Fisch essen, informiert. Ausserdem wurde den zuständigen Stellen der Environmental Protection Agency mitgeteilt, dass ein potentielles Risiko besteht, dass beim Gebrauch von Metallbearbeitungsölen und der Verbrennung von gebrauchten Metallbearbeitungsflüssigkeiten Dioxine, stark krebserzeugende Substanzen, entstehen können [48]. Im diesjährigen Bericht über Karzinogene des National Toxicology Program [47] wird weiterhin festgehalten, dass kurzkettige chlorierte Paraffine der Kettenlänge C₁₂ mit einem Chlorierungsgrad von 60% vernünftigerweise als karzinogen beim Menschen eingestuft werden können («reasonably anticipated to be human carcinogens»), gestützt auf genügende Beweise («evidence») der Karzinogenität in Versuchstieren.

Es ist bemerkenswert, dass der EU-Risikobewertungsbericht behauptet, kurzkettige chlorierte Paraffine seien nicht karzinogen für den Menschen, obwohl er sich in weiten Teilen auf Experimente aus Studien in den USA stützt, die dort zur entgegengesetzten Schlussfolgerung geführt hatten.

9 Schlussfolgerungen

Bezogen auf das Jahr 1994 können folgende Aussagen gemacht werden: Kurzkettige chlorierte Paraffine gelangen aus verschiedenen Anwendungsgebieten in nicht unbedeutenden Mengen direkt oder indirekt in die Umwelt. Es ist davon auszugehen, dass das Verbrauchsmuster ähnlich ist wie dasjenige in anderen europäischen Ländern. Hauptquellen von SCCP-Emissionen in das Wasser sind Metallbearbeitungs- und Schmieröle sowie in unbekanntem Ausmass Beschichtungen wie zum Beispiel Bootsanstriche und Korrosionsschutzbeschichtungen. Hauptquellen von SCCP-Emissionen in die Atmosphäre sind Beschichtungen, Dichtungsmittel und Kunststoffe.

Aus der Stoffflussanalyse ergibt sich, dass das meiste SCCP, das jährlich gebraucht wird, durch Verbrennung entsorgt wird. Dieser Prozess ist jedoch nicht ganz unbedenklich, da bei der Verbrennung von kurzkettigen chlorierten Paraffinen Dioxine entstehen können. Auch bei der Verwendung von SCCP in Metallbearbeitungsölen besteht die Möglichkeit der Entstehung von Dioxinen. Die zuständigen Stellen sind auf diese möglichen Quellen von Dioxinen aufmerksam zu machen.

Trendanalysen haben gezeigt, dass der Einsatz von SCCP stark abgenommen hat und zumindest in den untersuchten Produkten weitgehend vermieden wird. Häufig sind SCCP durch MCCP ersetzt worden. Trotzdem könnten aufgrund des früheren Einsatzes von SCCP noch erhebliche Lager vorhanden sein, wie etwa Messungen aus Fugendichtungen verdeutlichen.

Um bestehende Datenlücken in der Stoffflussanalyse zu füllen, empfehlen sich einerseits Massnahmen zur besseren Überwachung der Stoffflüsse und andererseits weitere wissenschaftliche Untersuchungen. Zur besseren Überwachung der Stoffflüsse könnten folgende Massnahmen dienen:

- Ein ausführliches Produktregister, wie es etwa in Schweden verwirklicht ist, würde die Erstellung von Stoffbilanzen wesentlich vereinfachen. In einem Produktregister sollten alle Produkte, die gefährliche Stoffe enthalten, wie zum Beispiel SCCP, aufgeführt sein mit den Verkaufsmengen der entsprechenden Produkte. Natürlich muss ein solches Produktregister strenger Vertraulichkeit unterliegen. Das Bundesamt für Gesundheit führt zwar ein Produktregister, doch fehlen in diesem die Produktions- respektive Verkaufsmengen der einzelnen Produkte. Ausserdem sind in diesem Produktregister nur Stoffgemische eingetragen und keine Gegenstände, die SCCP enthalten, wie zum Beispiel Gummi oder Lavalampen. Ein gutes Produktregister würde die Effizienz des Umweltschutzes stark verbessern, da dadurch Stoffflüsse besser überschaubar wären und Probleme mit Stoffen frühzeitig erkannt werden könnten. Das bestehende Produktregister sollte deshalb ausgebaut werden.
- Durch die Einführung eines Verteilungsschlüssels in der Zollstatistik unter der Tarifnummer 2903.1900 durch die Zollverwaltung könnte besser verfolgt werden, welche Mengen an chlorierten Paraffinen in die Schweiz importiert werden. In der angegebenen Tarifnummer sind chlorierte Paraffine nur eine sehr kleine Teilmenge, so dass zur Zeit keine Abschätzung zur Grösse der importierten Menge gemacht werden kann. Bei der Einführung des Schlüssels sollte zwischen

kurz-, mittel- und langkettigen chlorierten Paraffinen unterschieden werden, zur besseren Erfassung der kurzkettigen Paraffine und auch im Hinblick auf mögliche zukünftige Regelungen bezüglich der mittel- und langkettigen chlorierten Paraffine.

- Es wäre interessant zu wissen, welche Mengen von Chlorparaffinen in die EU und die Schweiz importiert werden von Ländern ausserhalb der EU. Die im EU-Risikobewertungsbericht verwendeten Zahlen beziehen sich lediglich auf die in der EU produzierten Mengen von chlorierten Paraffinen. In China betrug die gesamte Produktion von chlorierten Paraffinen aller Kettenlängen 1997 etwa 100000 Tonnen [43]. Auch wenn nur ein kleiner Teil davon in die EU oder die Schweiz importiert wird, würde es sich um relativ bedeutende Mengen handeln.
- Es sollte unbedingt genauer untersucht werden, welche Mengen von Gütern, die kurzkettige chlorierte Paraffine enthalten, in die Schweiz importiert und exportiert werden.
- Das grösste Anwendungsgebiet von kurzkettigen chlorierten Paraffinen sind in der Schweiz wahrscheinlich ebenso wie in der EU Metallbearbeitungs- und Schmieröle. Es ist nicht genügend klar, wohin sich die kurzkettigen chlorierten Paraffinen bei diesen Anwendungen verteilen. Im EU-Risikobewertungsbericht wird angenommen, dass der grösste Teil davon beim Recycling von Metallteilen zerstört wird. Das wissenschaftliche Komitee CSTEE, das den Bericht bewertet hat, hielt aber fest, dass dies nicht unbedingt der Fall sein muss [42]. Zudem ergeben sich Unstimmigkeiten bei den im EU-Risikobewertungsbericht angegebenen Zahlen; möglicherweise wurden die tatsächlichen Emissionen um einen Faktor 2 unterschätzt (→ Kap 5.2.). Angesichts der erheblichen Unsicherheiten beim mengenmässig bedeutendsten Anwendungsgebiet von kurzkettigen chlorierten Paraffinen empfiehlt es sich, dieses genauer zu untersuchen.
- Möglicherweise werden beim PVC- und Kunststoff-Recycling kurzkettige chlorierte Paraffine durch die Abluft freigesetzt [27]. Dies bedarf einer Abklärung und eventuell entsprechender Massnahmen.

Auf wissenschaftlicher Ebene bieten sich folgende Massnahmen an:

- Zur Verifikation der Eintragungsschätzung und zur Erfolgskontrolle wäre es nötig, dass neue Messungen von kurzkettigen chlorierten Paraffinen in Gewässern, Sedimenten und Klärschlämmen gemacht werden.
- Es ist abzuklären, ob es sich bei den kurzkettigen chlorierten Olefinen (Alkene) um eine eigene Stoffgruppe handelt, die mit den gängigen Bestimmungsmethoden von kurzkettigen chlorierten Paraffinen (Alkane) unterschieden werden kann und eigene Anwendungsgebiete in der Industrie hat, oder ob sich die Stoffgruppe kurzkettige chlorierte Paraffine immer auch auf kurzkettige chlorierte Olefine bezieht.

10 Literaturverzeichnis

- [1] European Union Risk Assessment Report; alkanes, C10–13, chloro; European Chemicals Bureau; 2000
- [2] Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe (BUA) der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Chlorparaffine, BUA-Stoffbericht 93, Juni 1992, VCH, Weinheim New York Basel Cambridge, 1993
- [3] The Swedish National Chemicals Inspectorate (KEMI) and The Swedish Environmental Protection Agency (SNV) (1991), Risk Reduction of Chemicals, 167–187, Chapter 9: Chlorinated paraffins, KEMI report no. 1/91, Editor: L. Freij
- [4] A. B. Mukherjee, The use of chlorinated paraffins and their possible effects in the environment, National Board of Waters and the Environment, Helsinki 1990
- [5] Consultation Paper on the proposed EC directive on the use of SCCPs in metal working and leather finishing, Department of the Environment, Transport and the Regions, Annex C, UK, 2001
- [6] J. Black, S. I. Olsen, and S. H. Andersen, Chlorinated Paraffins in Denmark, Dansk Toksikologi Center, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, Nr. 51, 1994
- [7] Ullmann, Encyclopedia of Industrial Chemistry. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Germany, 1986
- [8] A. Randegger, Marktübersicht zu chlorierten Paraffinen, BUWAL (nicht publiziert), 1998
- [9] Chlorinated Paraffins, Background document for proposed PARCOM Decision, presented by Sweden, Paris convention for the prevention of marine pollution, Third meeting of the working group on diffuse sources, the Hague, 20–23 October 1992
- [10] Vorläufige Bewertung der Umweltgefährlichkeit der Kurzketigen Chlorparaffine, verabschiedet im BUA-Plenum am 25./26. Juni 1992, Deutsches Umweltbundesamt, Berlin
- [11] K. Ballschmiter, Bestimmung von kurz- und mittelkettigen Chlorparaffinen in Wasser- und Sedimentproben aus Oberflächenwässern, Analysenbericht, Universität Ulm, 10. 5. 1994
- [12] Hoechst, Unveröffentlichte Messungen in der Umgebung des Werkes Gersthofen, 1987
- [13] Campbell I, McConnell G, Chlorinated paraffins and the environment, Environ Sci Techn 10: 1209–1214, 1980
- [14] RM2 Exit Briefing on Chlorinated Paraffins and Olefins, Office of Pollution Prevention and Toxics (OPPT), USA, December 1, 1993
- [15] T. Murray et al., Chlorinated paraffins: A report on the findings from two field studies, Sugar Creek, Ohio, Tinkers Creek, Ohio. Volume 1, Technical report. United States Environmental Protection Agency Report EPA 50 /5-87-012, February 1988
- [16] Government of Canada, Canadian Environmental Protection Act. Priority Substances List Assessment Report. Chlorinated Paraffins. Government of Canada, Environment Canada, Health and Welfare Canada, 1993
- [17] National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands Report no. 710401016, Exploratory Report Chlorinated paraffins, W. Slooff et al., 1992
- [18] UN Environment Programme, International Labour Organization, and World Health Organization, International Programme on chemical safety, Environmental Health Criteria 181, Chlorinated Paraffins; K. Kenne et al., 1996

- [19] Schmid P and Müller M, Trace level detection of chlorinated paraffins in biological and environmental samples, using gas chromatography/mass spectrometry with negative-ion chemical ionization, *J Assoc Off Anal Chem*, Vol 68, No.3, 1985
- [20] Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2001, Bundesamt für Statistik, Verlag Neue Zürcher Zeitung, Zürich
- [21] Eurostat Jahrbuch 2001, Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften, download unter <http://www.statistik.zh.ch/europa/eujb01.html>
- [22] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Abfallstatistik 1998, Umwelt-Materialien Nr. 119, Abfälle, Bern 1999
- [23] Umwelt in der Schweiz 1997, Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1997
- [24] Die Rückstandsanalyse von Chlorparaffinen in Regenwasser und ausgewählten Klärschlammproben, Zwischenbericht zum Auftrag 319.202, M. Müller, Forschungsanstalt Wädenswil, 1985
- [25] Les paraffines chlorées, un rapport sur l'état des connaissances et la situation en Suisse, S. Mazzone, Office fédéral de la protection de l'environnement, Berne, 1998
- [26] KVA-Schlackenlöschwässer als Quellen für Chlorparaffine, M. Müller, Eidgenössische Forschungsanstalt Wädenswil, 1985
- [27] Kollotzek D., Hartmann E., Kassner W., Kurrle J., Lemmert-Schmitt E. und Beck A., Technische, analytische, organisatorische und rechtliche Massnahmen zur Verminderung der Klärschlammbelastung mit relevanten organischen Schadstoffen, Band 1. Forschungsbericht 103 50 123 UBA-FB 98-037. Berlin: Umweltbundesamt, Berlin, 1998
- [28] Alcock R.E., Sweetman A. and Jones K.C., Assessment of organic contaminant fate in waste water treatment plants I: Selected compounds and physicochemical properties. *Chemosphere* 38(10): 2247–2262, 1999
- [29] Nilsson C., *Organic Pollutants in Sewage Sludge*. Stockholm: The Swedish Environmental Protection Agency, 1996.
- [30] Risikoanalyse zur Abfalldüngerverwertung in der Landwirtschaft, Teil 1: Grob- beurteilung, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL, Reckenholz, Zürich, Juni 2001
- [31] Environmental hazard assessment: chlorinated paraffins, TSD/19, Toxic Substances Division, Department of the Environment, Watford, 1994
- [32] Stoffflussanalyse Schweiz, Anleitung, C. v. Schulthess u. M. Ziegler, Schriftenreihe Umwelt Nr. 251, Umweltgefährdende Stoffe, Bundesamt für Umwelt, Bern, 1996
- [33] Rieger, R. and Ballschmiter, K, Semivolatile organic compounds PCDD and PCDF, PCBs, HCB, 4,4'DDE and chlorinated paraffins (CP) as markers in sewer film. *Fres. J. Anal. Chem.* 352. 715–724, 1995
- [34] Wild S.R. and Jones K.C., Polynuclear aromatic Hydrocarbons in the United Kingdom Environment: a preliminary Source Inventory and budget, *Environmental Pollution* 88: 91–108, 1995
- [35] Omori T. et al., Bacterial cometabolic degradation of chlorinated paraffins, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 25, 553–557, 1987
- [36] Bewertung der Gefährdung von Mensch und Umwelt durch ausgewählte Altstoffe, Texte 38/95 Umweltbundesamt, 1995

- [37] Madeley J. R. and Maddock B. G. (1983b). the biocentration of a chlorinated paraffin in the tissues and organs of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). ICI Confidential Report BL/B/2310, 1983
- [38] Madely J. R. and Maddock B. G., Toxicity of a chlorinated paraffin over 60 days. (iv) Chlorinated paraffin – 58% chlorination of short chain length n-paraffins. ICI Confidential Report BL/B/2291, 1983
- [39] Jansson B. et al., Chlorinated and brominated persistent organic compounds in biological samples from the environment, *Environ. toxicol. Chem.*, 12, 1163–1174, 1993
- [40] Willis B. et al., Environmental hazard assessment: chlorinated paraffins. T SD/19. Building Research Establishment, Garston, Watford, United Kingdom, 1994
- [41] Greenpeace, Greenpeace Zur Sache: Chlorparaffine – Ein Umweltgift breitet sich aus, Mai 1995
- [42] Health and Consumer Protection – Scientific Committee for Toxicity, Ecotoxicity and Environment, Opinion on the results of the Risk Assessment of: Alkanes, C10-13, chloro {SCCP} carried out in the framework of council regulation (EEC)793/93 on the evaluation and control of the risks of existing substances – Opinion expressed at the 6th CSTE plenary meeting, Brussels, 27 November 1998
- [43] Draft OSPAR Background Document on Short Chain Chlorinated Paraffins, Presented by Sweden, ASMO-Meeting, Ostend:26-20 March 2001, HSC-Meeting, Stockholm: 2–6 April 2001
- [44] OSPAR Strategy with regard to Hazardous Substances, Reference Number: 1998-16, 1998
- [45] Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur zwanzigsten Änderung der Richtlinie 1976/769/EWG des Rates in bezug auf Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (kurzkettige Chlorparaffine), Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel, den 20.06.2000, KOM(2000) 260 endgültig, 2000/0104 (COD)
- [46] 9th Report on Carcinogens, Revised January 2001, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program
- [47] Brief der United States Environmental Protection Agency an das BUWAL vom 23. März 1994.
- [48] Madely J. R. and Maddock B. G., The bioconcentration of a chlorinated paraffin in the tissues and organs of rainbow trout (*Salmo gairdneri*), Imperial Chemical Industries PLC, Devon, England, Brixham report No. BL/B/2351, 1983
- [49] Thompson R. S. and Madeley J. R., Toxicity of a chlorinated paraffin to the green alga *Selenastrum costatum*, Imperial Chemical Industries PLC, Devon, England, Brixham report No. BL/B/2328, 1983
- [50] Thompson R. S. and Madeley J. R., The acute and chronic toxicity of a chlorinated paraffin to *Daphnia magna*, Imperial Chemical Industries PLC, Devon, England, Brixham report No. BL/B/2358, 1983
- [51] Thompson R. S. and Madeley J. R., The acute and chronic toxicity of a chlorinated paraffin to the mysid shrimp *Mysidopsis bahia*, Imperial Chemical Industries PLC, Devon, England, Brixham report No. BL/B/2373, 1983

- [52] Madeley J. R. et al., The bioconcentration of a chlorinated paraffin by the common mussel *Mytilus edulis*, Imperial Chemical Industries PLC, Devon, England, Brixham report No. BL/B/2351, 1983
- [53] Thompson R. S. and Shillabeer N., Effect of a chlorinated paraffin on the growth of mussels (*Mytilus edulis*), Imperial Chemical Industries PLC, Devon, England, Brixham report No. BL/B/2331, 1983
- [54] Thompson R. S. and Madeley J. R., The acute and chronic toxicity of Rainbow Trout Over 60 days, Imperial Chemical Industries PLC, Devon, England, Brixham report No. BL/B/2203, 1983
- [55] The National Toxicology Program (USA), Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Chlorinated Paraffins (C12, 60% chlorine) (CAS No. 73449-39-8) in F344/N rats and B6C3F1 mice (Gavage studies), NTP TR 308, NIH Publication No. 86-2561, Research Triangle Park, NC, 1986
- [56] Bucher J. R. et al., Comparative toxicity and carcinogenicity of two chlorinated paraffins in F344/N rats and B6C3F1 mice, *Fundamental and Applied Toxicology* 9: 454–468, 1987
- [57] Birtley R. D. N. et al., The toxicological effects of chlorinated paraffins in mammals, *Toxicol. and Appl. Pharmacol.* 54: 514–525, 1980
- [58] Serrone D.M. et al., Toxicology of chlorinated paraffins, *Food Chem. Toxicol.* 25(7):553–562, 1987
- [59] IRDC (International Research and Development Corporation), Teratology study in rabbits with chlorinated paraffin: 52% chlorination of short chain length n-paraffin. Studies conducted for the Working Party of the Chlorinated Paraffin Manufacturers Toxicology Testing Consortium, report Number 438-031, 1983
- [60] IRDC (International Research and Development Corporation), Reproduction range-finding study in rats with chlorinated paraffin: 52% chlorination of intermediate chain length n-paraffin. Studies conducted for the Working Party of the Chlorinated Paraffin Manufacturers Toxicology Testing Consortium, report Number 438-049, 1985
- [61] Eriksson P. and Nordberg A., the effects of DDT, DDOH-palmitic acid and a chlorinated paraffin on muscarinic receptors and the sodium-dependent choline uptake in the central nervous system of immature mice, *Toxicology and Applied Pharmacology* 85: 121–127, 1986
- [62] Warngard L, Bager Y, Kato Y, Kenne K, Ahlborg UG, Mechanistical studies of the inhibition of intercellular communication by organochlorine compounds. *Arch Toxicol Suppl.* 18:149–59, 1996
- [63] Kato Y, Kenne K, Inhibition of cell-cell communication by commercial chlorinated paraffins in rat liver epithelial IAR 20 cells. *Pharmacol Toxicol*, 79(1):23-8, Jul 1996
- [64] Motion 1 der Kommission des Nationalrates zur Legislaturplanung 1991–1995, 92.037, eingereicht am 19. Mai, zu Ziel 34; im Nationalrat am 17. Juni 1992 auf Vorschlag des Bundesrates in ein Postulat umgewandelt
- [65] Randegger-Vollrath A., Determination of chlorinated paraffins in cutting fluids and lubricants, *Fresenius J Anal Chem* 360:62-68, 1998
- [66] Untersuchung zu Chlorparaffinen in Fugendichtungen, Kantonales Laboratorium Basel-Stadt, 2001
- [67] Sonderabfallstatistik 1996, BUWAL, Bezugsquelle: BBL/EDMZ, Bestellnummer 319.810d

- [68] Flammenschutzmittel in Kunststoffen, Grundlagenstudie, Schlussbericht, Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Chemikalien, Entsorgung und Recycling Zürich, Abteilung Industrielle Gewässer, Autor D. Bürgi, korrigierte und ergänzte Version vom 27. 8. 2001
- [69] Umwelt, 3/2001, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, September 2001
- [70] Baccini P., Bader H.-P.; Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung und Steuerung; Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akad. Verl, 1996
- [71] Brief der Schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie an das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 23. Januar 1997
- [72] Löffler G., Petrides P.; Biochemie und Pathobiochemie; 6. korr. Aufl., Springer-Verlag Heidelberg, 1998
- [73] Richtlinie 2002/45/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 zur 20. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates hinsichtlich der Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (kurzkettige Chlorparaffine), Brüssel, Amtsblatt Nr. L 177 vom 06/07/2002 S. 0021–0022. Weitere Informationen siehe http://europa.eu.int/prelex/detail_dossier_real.cfm?CL=de&DosId=157081
- [74] Richtlinie 98/98/EG der Kommission vom 15. Dezember 1998 zur fünfundzwanzigsten Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt (Text von Bedeutung für den EWR), Amtsblatt Nr. L 355 vom 30/12/1998 S. 451
- [75] Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG (Text von Bedeutung für den EWR) Amtsblatt Nr. L 331 vom 15/12/2001 S. 0004
- [76] Jahresbericht Kantonales Laboratorium AG, 2002