

Belastung von Recycling-Toilettenpapier aus verschiedenen Ländern mit 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol (TMDD) und den endokrin aktiven Stoffen Bisphenol A, 4-*tert*-Octylphenol, technischem 4-Nonylphenol und Pentachlorphenol

Martin J. Gehring¹, Dirk Vogel², Bernd Bilitewski³

¹ Liaoning Province Key Lab of Clean Energy und Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Institute of Clean Energy & Environmental Engineering, Shenyang, China; CIM Frankfurt a. M.

² Pöyry GWK GmbH, Dresden

³ Technische Universität Dresden, Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten

Zusammenfassung

In Recycling-Papier sind viele Chemikalien zu finden, die in der Holz-, Papier-, Druck-, Verpackungs- und anderen Industrien gezielt und bestimmungsgemäß zum Einsatz kommen. Die vorliegende Arbeit bestätigt dies für Recycling-Toilettenpapiere und Bisphenol A (BPA) und verzweigtes, technisches 4-Nonylphenol (NP) erneut und für 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol (TMDD) erstmals. 4-*tert*-Octylphenol (OP) und Pentachlorphenol (PCP) waren in den untersuchten Proben nicht bestimmbar. Die in 12 Produkten aus Deutschland, China und Australien ermittelten Konzentrationen der endokrin aktiven Schadstoffe BPA und NP betragen bis zu 2,7 bzw. 87 mg/kg, die in 6 Produkten ermittelten TMDD-Gehalte bis zu 2,4 mg/kg. Die australischen Papiere waren insgesamt – aber nicht durchweg – am stärksten mit allen 3 nachweisbaren Schadstoffen belastet, die deutschen am geringsten mit NP, die chinesischen überhaupt nicht mit BPA. Dabei war kein systematischer Zusammenhang zwischen den NP- und BPA-Konzentrationen festzustellen. Die am höchsten mit BPA belastete Probe wies auch die höchste TMDD-Belastung auf, doch für eine fundierte Aussage hinsichtlich eines Zusammenhangs liegen nicht genügend TMDD-Meßwerte vor. Toilettenpapier wird meist nach dem bestimmungsgemäßen Gebrauch mit dem Abwasser entsorgt und gelangt über die Kanalisation in die Kläranlagen. Viele der vom Papier mitgebrachten Schadstoffe sind biologisch langsam abbaubar. Recycling-Toilettenpapier stellt deshalb eine relevante potentielle Quelle der Belastung von Klärschlamm und möglicherweise Gewässern mit BPA und in geringem Ausmaß mit NP und TMDD dar.

Abstract

Recycled paper products contain a variety of chemicals, which are intentionally and properly used in the wood, paper, printing, packaging and other industries. The data presented here confirm this once again in the cases of recycling toilet paper and bisphenol A (BPA) and branched, technical 4-nonylphenol and for the first time in the case of 2,4,7,9-tetramethyl-5-decyn-4,7-diol (TMDD). 4-*tert*-octylphenol (OP) und pentachlorophenol (PCP) were both not detectable in the samples analysed. The concentrations of the endocrine disrupting substances BPA and NP in 12 products from Germany, China and Australia amounted to up to 2.7 and 87 mg/kg, respectively, those of TMDD in 6 of the products to up to 2.4 mg/kg. The products purchased in Australia were generally but not in all cases those with the highest pollution with the 3 quantifiable chemicals. The products sold in Germany were least polluted with NP but those sold in China with BPA. No systematic relationship

between the concentrations of NP and BPA was found. The product with the highest BPA concentration did also show the highest TMDD concentration but the small number of TMDD data does not allow for a substantiated conclusion with regard to a relationship between the concentration data. After the intended use most of the toilet paper is disposed of with the wastewater and transported through the sewer system to the wastewater treatment plants. Many pollutants in the paper are only slowly biologically degradable. Recycling toilet paper is therefore a relevant potential source of the pollution of sewage sludge and possibly surface waters with BPA and, to a lesser extent, with NP and TMDD.

1 Einleitung

Toilettenpapier wird meist nach dem bestimmungsgemäßen Gebrauch mit dem Abwasser entsorgt und gelangt über die Kanalisation in die Kläranlagen. In Deutschland sind dies pro Jahr ca. 500'000 Mg [Bilitewski, 2002]. In Recycling-Papier sind viele Chemikalien zu finden, die in der Holz-, Papier-, Druck-, Verpackungs- und anderen Industrien gezielt und bestimmungsgemäß zum Einsatz kommen. Im Recycling-Produkt kann dies jedoch eine Kontamination darstellen, wie es bei Toilettenpapier der Fall ist, die zu unerwünschten Emissionen und Belastung von Klärschlamm und Gewässern führen kann. Da der Papiermarkt stark globalisiert ist, könnten die in Deutschland verkauften Toilettenpapiere sogar Chemikalien enthalten, deren Anwendung hierzulande nicht erfolgt.

Vornehmlich in den vergangenen 15 Jahren ist klar geworden, daß viele Chemikalien, die im Gegensatz zu manchen Medikamentenwirkstoffen nicht dafür entwickelt und eingesetzt wurden, mit den Hormonsystemen von Mensch und Tieren in Wechselwirkung treten können [Gore, 2008]. Über viele Substanzen ist dies sogar schon seit Jahrzehnten bekannt, über Bisphenol A z. B. seit den 1930er Jahren [Dodds & Lawson, 1936], aber hinsichtlich seiner potentiellen Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen lange Zeit unbeachtet geblieben. Ob die – möglicherweise lang andauernde – Exposition gegenüber komplexen Gemischen endokrin aktiver Stoffe aus der Umwelt bei jeweils sehr niedriger Dosis weitreichende gesundheitliche Folgen in der Bevölkerung hat, und wenn ja, welche, ist umstritten. Zahlreiche Studien legen diese Vermutung zumindest nahe, z. B. im Falle von Mißbildungen der Geschlechtsorgane männlicher Nachkommen exponierter Mütter (für Hypospadie siehe z. B. [Baskin, 2004]).

2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol (TMDD), Bisphenol A (BPA), 4-*tert*-Octylphenol (OP), verzweigtes, technisches 4-Nonylphenol (NP) und Pentachlorphenol (PCP) sind 5 Chemikalien, die weltweit in der Holz- und Papierindustrie zum Einsatz kommen bzw. bis zu ihrem Verbot kamen. Sie könnten deshalb in Altpapier und Recycling-Papierprodukten auftreten. Im Falle der endokrin aktiven Schadstoffe OP, NP und BPA wurde dies bereits früher gezeigt [Gehring *et al.*, 2005, Vingaard *et al.*, 2000]. Die Höhe der Belastung müßte maßgeblich u. a. von der Menge im Ausgangsmaterial sowie Wasserlöslichkeit und Adsorptionsneigung abhängig sein. Die in Abbildung 1 aufgelisteten logarithmierten Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten zeigen, daß die Neigung zum Übergang von Wasser in organisches Material bzw. Octanol als organische Modellsubstanz in der Reihenfolge TMDD < BPA < PCP < OP < NP zunimmt. Mit Blick auf das erstmals untersuchte TMDD bedeutet dies, daß eine eher geringe Belastung der Papiere vermutet werden kann.

Mit den hier berichteten Analysen sollten 4 Jahre nach der ersten Untersuchung neue Daten, erstmals über Produkte aus mehreren Ländern, gewonnen und evaluiert werden, ob Grund zu einer größeren, systematischen Studie besteht.

2 Probenahmen und analytische Methoden

Je 4 Sorten Toilettenpapier, die laut Informationen auf den Verpackungen zu 100 % aus Altpapier hergestellt wurden, wurden in Deutschland (Dresden, November 2008), China (Shenyang, Februar 2007) und Australien (Wollongong, März 2007) in lokalen Supermärkten erworben.

Je 2 in den Packungen diagonal gegenüberliegende Rollen wurden im Dezember 2008 entnommen und erst auf die Gehalte an PCP, OP, NP und BPA und anschließend an TMDD untersucht. Die Untersuchung auf OP, NP, BPA und PCP erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 18857-1 durch Extraktion und Analyse per GC-MS. 0,6 - 0,9 g Probe wurden mit 10 ml Cyclohexan-Aceton-Gemisch (9:1) überschichtet und 30 min mit Ultraschallunterstützung extrahiert. Die Konzentrationen von OP, NP und BPA wurden aus diesem Extrakt, jene von PCP nach der Derivatisierung mit TMSH bestimmt. Zur Analyse von TMDD wurde das zerkleinerte Probenmaterial mit Ethylacetat extrahiert. Die Bestimmung erfolgte nach Standardzugabe mittels GC/MS. Mit TMDD wurden auch die Trockensubstanzgehalte bestimmt, da die Packungen geöffnet, die Proben entnommen und verschickt und deshalb nicht mehr durchgehend trocken gelagert worden waren. Alle Analysen wurden durch akkreditierte Labore durchgeführt.

3 Zielsubstanzen

In Tabelle 1 sind ausgewählte chemisch-physikalische Eigenschaften der 5 Zielsubstanzen zusammengestellt. Die anschließenden detaillierteren Ausführungen konzentrieren sich auf TMDD, während auf die anderen 4, bekannten und relativ gut untersuchten Schadstoffe nur kurz eingegangen wird. Die chemische Struktur der Substanzen zeigt Abbildung 1.

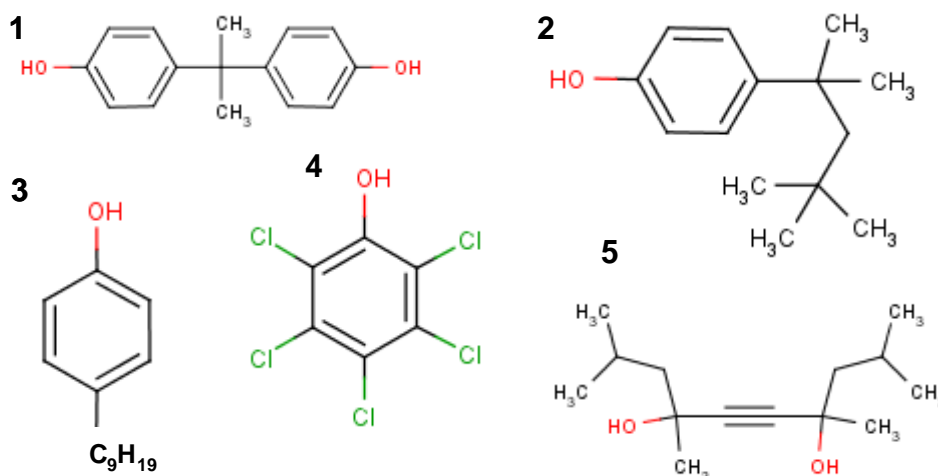


Abbildung 1: Strukturformeln der 5 Zielsubstanzen

1 Bisphenol A; 2 4-*tert*-Octylphenol; 3 4-Nonylphenol (verzweigt); 4 Pentachlorphenol;
5 TMDD; Grafiken: NLM

Tabelle 1: Zielsubstanzen und ausgewählte chemisch-physikalische Eigenschaften

Substanz [CASRN]	Abk.	Smp. ¹ (°C)	Sdp. ² (°C)	L ³ (mg/l)	logK _{ow}	Henry ⁴ (atm·m ³ /mol)
2,2-Bis(4-hydroxyphenyl)propan [80-07-05]	BPA	153		120	3,32	1,0 x 10 ⁻¹¹
4-Nonylphenole, verzweigt [84852-15-3]	NP		295	3 – 6 ^C	5,92	4,3 x 10 ⁻⁶
4- <i>tert</i> -Octylphenol [140-66-9]	OP	85		13 – 19 ^C	5,28	6,6 x 10 ⁻⁶
Pentachlorphenol [87-86-5]	PCP	174	310	14	5,12	2,5 x 10 ⁻⁸
2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol, Isomerenmischung [126-86-3]	TMDD	37 – 55 ^A 54 – 55 ^B	260 ⁵ 262 – 263 ^B	1'500 ^A 1'700 ^B	2,8 (22 °C)	8,6 x 10 ⁻⁷

¹ Schmelzpunkt; ² Siedepunkt (1.013 hPa); ³ Löslichkeit in Wasser bei 25 °C; ⁴ Henry-Konstante; ⁵ Druck nicht angegeben; ChemIDplus¹, ^A KEMI (2007), ^B IUCLID (2001), ^C Tennhardt (2004)

3.1 Bisphenol A (BPA)

2,2-Bis(4-hydroxyphenyl)propan oder Bisphenol A (BPA, CASRN 80-05-7) ist ein Monomer für Polycarbonat und verschiedene Harze, Kleber und Beschichtungen und wird als Antioxidationsmittel in Kunststoffen sowie als Bestandteil der Farbentwicklungsschicht von Temperatur-sensitivem „Thermopapier“ (carbon free paper) verwendet. Es ist akut gering toxisch, wenig wasserlöslich, gut aerob abbaubar, jedoch nicht anaerob, und ein verweiblichend wirkendes sog. Xenoestrogen. (ausführlicher siehe z. B. [Gehring, 2004], das Sonderheft zu BPA 24/2 (2007) von *Reproductive Toxikology*, die EU-Risikobewertung [ECB, 2003, 2008])

Studien zur Toxizität bei sehr geringer Dosis, zum Vorkommen in Blutplasma und Muttermilch sowie wegen der Freisetzung aus Trinkflaschen für Kleinstkinder, Zahnfüllungen und Innenbeschichtungen von Konservendosen haben BPA in jüngster Zeit wiederholt in die Schlagzeilen gebracht. Während die Behörden für Lebensmittelsicherheit in Deutschland, Europa, Japan und den USA die Ansicht vertreten, daß von der derzeitigen Exposition kein Risiko für den Menschen ausgeht [DGE, 2009], stehen die Umweltbehörden derselben Länder BPA kritisch gegenüber. Health Canada hat BPA für gefährlich erklärt und vorgeschlagen, Import, Verkauf und Bewerbung von Polycarbonat-Trinkflaschen für Kleinstkinder zu verbieten [Health Canada, 2008]². Im November 2007 hat mit dem Center for the Evaluation of Risks to Human Reproduction erstmals eine US-Behörde „Besorgnis“ über die bestehende Exposition gegenüber BPA geäußert [CERHR, 2007, 2008].

¹ <http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/>

² s.a. http://www.chemicalsubstanceschimiques.gc.ca/challenge-defi/bisphenol-a_e.html

Die US Food and Drug Administration (FDA) hat nach der Aufdeckung massiver Interessenkonflikte und Manipulationen im Hintergrund, heftiger Kritik des eigenen „Bisphenol A Subcommittee“ [Science Panel, 2008] an der Risikobewertung von BPA sowie den Bewertungen durch CERHR (2007, 2008) und Health Canada (2008) angekündigt, ihre eigene Beurteilung von BPA erneut zu prüfen, dafür jedoch keinen Zeitplan vorgelegt [FDA, 2008a,b]. In mindestens 14 US-Staaten laufen derzeit Initiativen, die Verwendung von BPA gesetzlich zu regulieren, der neue US-Präsident Barack Obama hat kurz vor seiner Wahl Umwelt- und Gesundheitsschützer/innen wegen BPA getroffen.³ In Deutschland ist der Gehalt an BPA in Lebensmitteln auf 0,6 mg/kg beschränkt [BedGgstV].

3.2 4-Nonylphenole, verzweigt (NP)

Technische Gemische verzweigter 4-Nonylphenol-Isomere (NP, CASRN 84852-15-3) werden meist vereinfacht als 4-Nonylphenol oder „Nonylphenol“ bezeichnet. Die Massenanteile der Isomere im Gemisch hängen vom Herstellungsprozeß ab, es kann bis zu 10 % 4-*tert*-Octylphenol enthalten. NP ist mikrobielles Transformationsprodukt nicht-ionischer Tenside, der Nonylphenolpolyethoxylate, die bis zur Selbstverpflichtung der deutschen Industrie im Jahr 1986 in großem Ausmaß verwendet wurden. NP ist akut hochtoxisch für Wasserorganismen und hatte sich in Klärschlamm, Sedimenten und Schwebstoffen der Gewässer angereichert [Giger *et al.*, 1984]. NP ist, wie auch seine Vorstufen im Abbauweg der Tenside, estrogen aktiv. In Deutschland ist die umweltoffene Anwendung von NP und seinen Vorläufern – ebenso wie in der EU – seit dem 17.01.2005 weitestgehend verboten [2003/53/EG, ChemVerbotsV]. (ausführlicher zu NP s. z. B. [Tennhardt, 2004]).

3.3 4-*tert*-Octylphenol (OP)

Eigenschaften und Verwendung von tertiär verzweigtem 4-*tert*-Octylphenol (OP, CASRN 140-66-9) sind sehr ähnlich zu denen von NP. Da technisches NP bis zu 10 % OP enthalten kann und dieses Verhältnis bei der Verarbeitung erhalten bleibt, fanden sich in Umweltproben in vielen Fällen OP-Konzentrationen von etwa 1/10 derjenigen von Nonylphenol. OP ist ebenfalls estrogen aktiv, seine Bindung an den Estrogenrezeptor und estrogene Wirkung sind jedoch in den meisten Testsystemen stärker gewesen als jene von NP. OP fällt jedoch weder unter die Selbstverpflichtungen der Industrie noch ist seine Verwendung verboten. (ausführlicher zu NP s. ebenfalls z. B. [Tennhardt, 2004]).

3.4 Pentachlorphenol (PCP)

Pentachlorphenol (PCP, CASRN 87-86-5) ist eine langsam abbaubare, kaum wasserlösliche, toxische Substanz, die vor allem als Fungizid in Holzschutzmitteln und in der Textil- und Lederindustrie eingesetzt wurde bzw. wird. Herstellung, Inverkehrbringen und Verwendung von PCP und PCP-haltigen Produkten sind in Deutschland seit 1986 ausgesetzt und seit 1989 weitestgehend verboten [ChemVerbotsV]. Aufgrund seiner POP-Eigenschaften ist PCP Gegenstand der PIC-Konvention (Rotterdam Übereinkommen)⁴. Eigenschaften und Verwendung in

³ zur Entwicklung in den USA s. z. B. die preisgekrönte „Chemical Fallout“-Artikelserie zu BPA im *Milwaukee Journal Sentinel*, zu Kanada s. z. B. die Artikel im *Toronto Globe and Mail*

⁴ siehe <http://www.pic.int/>

langlebigen Produkten führen dazu, daß PCP auch heute noch in vielen Umweltproben nachgewiesen wird.

Im Hefezell-Estrogenrezeptor-Transkriptionstest war PCP positiv (agonistisch), im Brustkrebszelltest (Zellwachstum) jedoch nicht [NICEATM, 2002a]. PCP bindet an den Androgenrezeptor [NICEATM, 2002b] und zeigt antithyroidale Aktivität, indem es zur Absenkung der freien und Plasmakonzentrationen der Schilddrüsenhormone T3 und T4 führt [Beard, 1999, BKH, 2002]. Die EU-Kommission stuft PCP deshalb als nachweislich endokrin ein [SEC(2004)1372].

3.5 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol (TMDD)

3.5.1 Stoffeigenschaften, Produktion und Verwendung

2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol (TMDD, CASRN 126-86-3) ist unter Normbedingungen eine feste, farblose bis blaßgelbe Substanz, gut wasserlöslich und schwer flüchtig (Tabelle 1). Industriell hergestelltes TMDD ist ein Gemisch aus Diastereoisomeren, das unter dem Handelsnamen Surfynol 104 vertrieben wird. TMDD ist ein chemisches Zwischenprodukt und nicht-ionisches Tensid und wird als Schaumhemmer und in wasserhaltigen Chemikalien wie Druckfarben, Klebern und Beschichtungen als Benetzungsmittel verwendet. Es haftet gut an festen Materialien mit geringer Oberflächenspannung, z. B. Kunststoffen, Holz und Papier. TMDD verbessert das Eindringen von Druckfarben in die bedruckte Oberfläche. Mit 2 - 3 Vol.-% wird TMDD in einigen Pestizidformulierungen eingesetzt. [KEMI, 2007] TMDD ist eine High Production Volume (HPV)-Substanz, das Produktionsvolumen in den USA wird für 1981 mit 1,36 Mio. Mg angegeben [NIH, 2002].

Die akute Exposition gegenüber TMDD durch Inhalation oder Hautkontakt kann Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Dehydrierung, Störungen des Elektrolythaushaltes, Reizung der Haut und Augen, Ekzeme, Kontaktdermatitis, Atemwegsödeme oder Atmungsprobleme verursachen. [NIH, 2002]

Andauernde Exposition am Arbeitsplatz kann zu Asthma führen, ansonsten ist über die chronische Toxizität von TMDD wenig bekannt. Mit Stand vom 28.02.2009 findet sich 1 Eintrag über toxikologische Literatur zur CASRN 126-86-3 in ToxNet⁵. Es ist online in der Hazardous Substances Data Bank (HSDB)⁵ eingetragen, jedoch weder in der GESTIS-Stoffdatenbank⁵ noch im öffentlich zugänglichen Teil des Informationssystems für Sicherheitsdatenblätter⁵ oder der HPV-Liste des European Chemicals Bureau⁵, aber dem Teil Sponsored Chemicals der Working List der Global Initiative on High Production Volume (HPV) Chemicals⁵. Die US National Safety Assessment Data geben an, daß TMDD nicht unter dem Verdacht steht, kanzerogen zu sein, konstatieren jedoch wesentliche Datenlücken zur Toxizität [Scorecard]. Das Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe konstatierte im Jahr 2006 oder später einen LOAEL von 200 mg/(kg*d) sowie fehlende Reproduktionstoxizität und kam zu der Einschätzung, daß „aufgrund der heutigen Erkenntnisse zur toxikologischen Bewertung und den bislang in den Gewässern gemessenen

⁵ <http://toxnet.nlm.nih.gov/index.html>, <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>,
<http://biade.itrust.de/>, <http://isi-online.hvbg.de/isiRecherche/anzeigen/SIRecherche.do>,
<http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/index.php?PGM=hpv>,
<http://www.epa.gov/HPV/pubs/update/spnchems.htm>,

Konzentrationen eine akute Gesundheitsgefährdung durch TMDD über das Trinkwasser auszuschließen ist.“ [TZW] Die potentielle Exposition gegenüber TMDD durch den Konsum von Mineralwasser in Getränkekartons wurde 1998 von Kleinschmitz & Schreier (1998) nachgewiesen, die in 11 von 18 untersuchten Produkten TMDD-Konzentrationen von $\leq 69'000$ ng/l feststellten.

3.5.2 Vorkommen und Verhalten in der Umwelt

TMDD wurde in einer Wasserprobe vom Juli 1995 aus der Meuse in Holland mit 190 ng/l [Hankemeier *et al.*, 1999], in allen im August 1999 genommenen Wasserproben der Lippe und ihrer Zuflüsse mit $\leq 1'500$ ng/l gemessen [Dsikowitzky *et al.*, 2004, Dsikowitzky, 2002] und im August 2002 im Wasser der Unteren Mulde detektiert [Heinzel, 2006], jedoch in beiden letzteren Studien nicht in den Gewässersedimenten. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) Nordrhein-Westfalen hat TMDD in das ständige Meßprogramm des Warn- und Alarmplanes Rhein aufgenommen.⁶ In den zurückliegenden 12 Monaten von März 2008 bis Februar 2009 erreichten die Konzentrationen $\leq 3'420$ ng/l [LANUV, 2009], im Juni 2007 $\leq 2'500$ ng/l [Püttmann & Guedez, 2008]. Im Winterhalbjahr 2007/2008 wurden in Rhein, Main und Nidda Werte $\leq 1'250$ ng/l ermittelt, der Mittelwert im Rhein betrug 514 ng/l [Püttmann & Guedez, 2008]. Nach Angabe von *Spiegel Online* betrug der bis September 2008 durch das LANUV gemessene Höchstwert 4'900 ng/l [Mrasek, 2008].

Im modifizierten Sturm-Test (OECD301B) wurde TMDD innerhalb von 28 Tagen nur zu 5 % abgebaut. Die Halbwertszeit von TMDD in Wasser ist > 1 Jahr, der Biomasse-Wasser-Verteilungskoeffizient beträgt 127. Die Massenbilanz einer Kläranlage ergab 4,5 % Elimination, der biologische Abbau betrug 0,1 %. [UCLIC, 2001] Im Ablauf der Kläranlage Hamm-West wurden im August 1999 4'300 ng/l gemessen [Dsikowitzky *et al.*, 2004, Dsikowitzky, 2002].

Angesichts der Verwendung von TMDD, des hohen Wertes im Kläranlagenablauf und der an vielen der beprobten Meßstellen ermittelten Werte der TMDD-Konzentrationen im Oberflächenwasser im unteren Mikrogramm-pro-Liter-Bereich ist von einem weit verbreiteten Eintrag von TMDD mit behandeltem Abwasser in die Gewässer auszugehen. Eine mittlere Konzentration von 1'000 ng/l in den Kläranlagenabläufen würde Emissionen von 9 bis 10 Mg/a in Deutschland bedeuten.⁷

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der hier präsentierten Untersuchung werden in mg/kg angegeben, da nicht vor jeder Analyse der Wassergehalt ermittelt wurde. Alle gemessenen Trockensubstanzgehalte betragen ≥ 97 % (Tabelle 2). Der Fehler von maximal 3 % beim Vergleich von Konzentrationsangaben aus der Literatur, die auf Trockensubstanz bzw. Trockenrückstand bezogen sind, mit den hier ermittelten, auf „Feuchtmasse“ bezogenen Werten wird vernachlässigt.

⁶ <http://luadb.lids.nrw.de/LUA/gues/welcome.htm>

⁷ Das in kommunalen Kläranlagen behandelte Abwasseraufkommen betrug im Jahr 2004 9,4 Mrd. m³. <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=2298>, Zugriff 01.03.2009

PCP war in keiner der 12 untersuchten Proben aus 3 Ländern bestimmbar (Tabelle 2), was den Schluß zuläßt, daß kein PCP-belastetes Papier oder Holz als Ausgangsmaterial verwendet wurde, denn die sehr geringe Wasserlöslichkeit von PCP läßt eine vollständige Elimination aus dem Material während der Herstellung des Toilettenpapiers unwahrscheinlich erscheinen.

TMDD war in allen 6 untersuchten Produkten mit Konzentrationen von 0,16 - 2,39 mg/kg ermittelbar (Tabelle 2, Abbildung 2). Diese Werte sind Indizien für die Bestätigung der beiden zuvor aufgestellten Hypothesen, daß aufgrund der Verwendung von TMDD mit einer Belastung der Papiere zu rechnen ist, diese jedoch aufgrund der Eigenschaften von TMDD eher niedrig ausfallen dürfte. Am höchsten mit TMDD war mit 2,4 mg/kg das untersuchte australische Papier belastet; in allen 4 deutschen und dem chinesischen Papier betragen die Gehalte < 1 mg/kg. Sollte der mittlere Gehalt an TMDD in dem gesamten in Deutschland verbrauchten Toilettenpapier ebenfalls 0,75 mg/kg betragen, wie hier für 6 Proben aus 3 Ländern ermittelt, würde das einen Eintrag in die Kläranlagen von ca. 37,5 Mg pro Jahr bedeuten.

Tabelle 2: Konzentrationen von BPA, NP, OP, PCP und TMDD in Recycling-Toilettenpapier aus 3 Ländern (mg/kg)

Probe	PCP	OP	NP	BPA	TMDD ^C	TS ^A
DE a	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,29	100
DE b	< 0,1	< 0,1	0,75 ± 0,4	8,2 ± 0,17	0,34	100
DE c	< 0,1	< 0,1	0,25 ± 0,13 ^D	16,5 ± 1,5	0,16	100
DE d	< 0,1	< 0,1	< 0,1	16,1 ± 0,59	0,45	97
AU a	< 0,1	< 0,1	2,7 ± 0,96	37,8 ± 5,77 ^B		
AU b	< 0,1	< 0,1	1,33 ± 0,22	7,5 ± 0,14		
AU c	< 0,1	< 0,1	1,25 ± 0,14	86,6 ± 21,13 ^B	2,39	99
AU d	< 0,1	< 0,1	0,75 ± 0,13	6,2 ± 0,45		
CN a	< 0,1	< 0,1	1,55 ± 0,38	< 0,1	0,85	98
CN b	< 0,1	< 0,1	0,8 ± 0,14	< 0,1		
CN c	< 0,1	< 0,1	1,18 ± 0,17	< 0,1		
CN d	< 0,1	< 0,1	0,68 ± 0,17	< 0,1		

Alle Angaben in mg/kg außer ^A in %; arithmetischer Mittelwert ± 95 % Konfidenzintervall; n = 4 außer ^B n = 6 und ^C n = 1, ^D bei NP für Berechnung von MEAN, SD, KONF in 1 von 4 Messungen 0,1 mg/kg für < Bestimmungsgrenze eingesetzt; PCP: Pentachlorphenol; OP: 4-*tert*-Octylphenol; NP: 4-Nonylphenole, verzweigt, technisches Gemisch; BPA: Bisphenol A; TMDD: 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol; TS: Trockensubstanz, DE: Deutschland; AU: Australien; CN: China

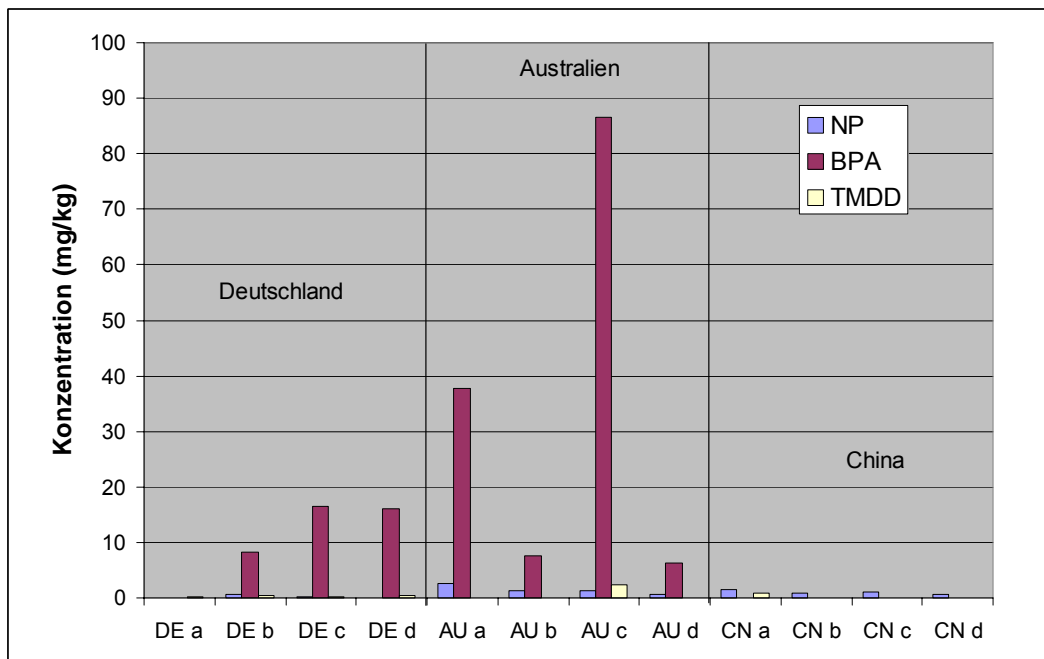


Abbildung 2: Konzentrationen von BPA, NP und OP in Recycling-Toilettenpapier aus 3 Ländern (mg/kg)

NP: 4-Nonylphenole, verzweigt, technisches Gemisch; BPA: Bisphenol A; TMDD: 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol

OP war in keinem der untersuchten Produkte bestimmbar (Tabelle 2), die Belastung der Papiere mit OP also niedriger als in vorausgegangenen Studien (Tabelle 3).

Tabelle 3: Konzentrationen von BPA, NP und OP in Recycling-Tissuepapier (mg/kg TS)

OP	NP	BPA	Referenz
< 0,1	< 0,1 – 2,7	< 0,1 - 87	Diese Arbeit
≤ 5,1	14 - 69	3,2 - 46	Gehring <i>et al.</i> (2005)
0,1 - 0,5	0,2 - 1,4	0,6 - 24	Vingaard <i>et al.</i> (2000)

Alle Angaben in mg/kg; NP: 4-Nonylphenole, verzweigt, technisches Gemisch; BPA: Bisphenol A; TMDD: 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol

Die in den 12 Papieren ermittelten NP-Konzentrationen betragen < 0,1 - 2,7 mg/kg, NP war in 10 der 12 Produkte bestimmbar. Diese Belastung ist deutlich niedriger, als in der eigenen früheren Untersuchung in Toilettenpapieren ermittelt (Gehring *et al.*, 2005), und etwa gleich hoch, wie die von Vingaard *et al.* (2000) in Küchentissuepapieren bestimmte. 2 Papiere aus Deutschland waren nicht mit NP belastet, und die (im Vergleich zu jenen aus China und Australien insgesamt etwas niedrigeren) NP-Gehalte der deutschen Papiere reflektieren möglicherweise die schrittweise Beendigung der Verwendung der Nonylphenolpolyethoxylat-Tenside seit den 80er Jahren in Europa.

BPA war in der jetzigen Studie in 7 der 12 untersuchten Produkte bestimmbar, die Konzentrationen betragen $< 0,1 - 87 \text{ mg/kg}$ (Tabelle 2), in einzelnen Teilproben bis 115 mg/kg (Tabelle 4). Die australischen Papiere wiesen insgesamt, aber nicht durchweg, die höchsten BPA-Konzentrationen auf, während BPA in keinem der chinesischen Papiere nachgewiesen wurde. Auch 1 Papier aus Deutschland war nicht mit BPA belastet. Da BPA in sämtlichen Altpapierfraktionen einer Sammelstudie in Dresden nachgewiesen wurde, und zwar in der Höhe der Konzentration abhängig vom mittleren Altpapiereinsatz zur Herstellung der entsprechenden Papiersorten (Abbildung 3 [Gehring *et al.*, 2005]), kann die Vermutung aufgestellt werden, daß bei der Herstellung der 5 unbelasteten Produkte entweder gar kein oder bestimmtes, nicht mit BPA belastetes Altpapier zum Einsatz kam. Zu untersuchen wäre dennoch, ob die Hersteller möglicherweise spezielle Technologien einsetzen, die den Schadstoffgehalt im Produkt effektiv minimieren, da auch PCP, OP, NP und TMDD in diesen 5 Produkten nicht oder kaum auftraten. Die sich über 2 Größenordnungen erstreckenden BPA-Konzentrationen in den Toilettenpapieren liefern erneut ein Indiz, daß der BPA-Gehalt im Recycling-Papierprodukt von jenem im Ausgangsmaterial (Altpapier) abhängig ist.

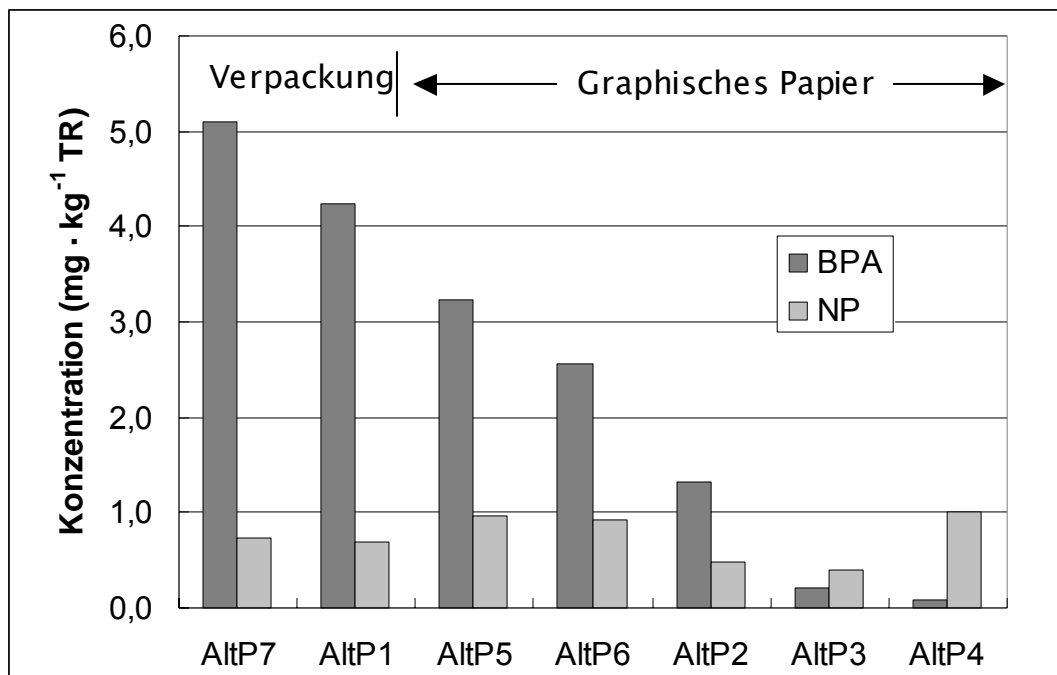


Abbildung 3: Konzentrationen an BPA und NP in Altpapierfraktionen aus Dresden (mg/kg TR) [Gehring *et al.*, 2005]

NP: 4-Nonylphenole, verzweigt, technisches Gemisch; BPA: Bisphenol A;
Altp1: Braune Wellpappe; Altp2: Werbebeilagen; Altp3: Magazine; Altp4: Kataloge;
Altp5: Tageszeitungen; Altp6: Kostenlose Werbezeitungen; Altp7: Chromokarton

Im Vergleich der Produkte aus den 3 Ländern sind die australischen Papiere am stärksten mit allen 3 nachweisbaren Schadstoffen belastet gewesen, die deutschen am geringsten mit NP, die chinesischen überhaupt nicht mit BPA. Dabei war kein systematischer Zusammenhang zwischen den NP- und BPA-Konzentrationen festzustellen. Die am höchsten mit BPA belastete Probe wies auch die höchste TMDD-Belastung auf, doch für eine fundierte Aussage hinsichtlich eines Zusammenhangs liegen nicht genügend TMDD-Meßwerte vor.

Recycling-Toilettenpapier stellt eine relevante potentielle Quelle der Belastung von Klärschlamm und möglicherweise Gewässern mit BPA und in geringem Ausmaß mit NP und TMDD dar.

Danksagung

Wir danken der Gesellschaft der Freunde und Förderer der TU Dresden, Dresden, und maßgeblich dem Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten, Pirna, für die Förderung der hier vorgestellten Untersuchungen.

Literatur

- 2003/53/EG: Richtlinie 2003/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2003 zur 26. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Nonylphenol, Nonylphenoethoxylat und Zement). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 178 v. 17.07.2003, 24-27.
- Baskin, L. S. (Hrsg.): Hypospadias and Genital Development. Advances in Experimental Medicine and Biology, vol. 545, Kluwer, New York, NY, USA.
- Beard, A. P. (1999): Endocrine and Reproductive Function in Ewes Exposed to the Organochlorine Pesticides Lindane or Pentachlorophenol. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 56/1, 23-46.
- BedGgstV: Bedarfsgegenständeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Dezember 1997 (BGBl. 1998 I S. 5), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 16. Juni 2008 (BGBl. I S. 1107).
- Bilitewski, B. (2002): Massenstromanalyse für Papier und Altpapier im Jahr 2000 in Deutschland. Präsentation der INTECUS GmbH, Dresden, auf der Sitzung des ZELLCHEMING-Fachausschusses RECO für Altpapierverwertung, 19.04.2002, Köln, Sitzungsunterlagen.
- BKH (RPS BKH Consultants B.V.) (2002): Endocrine Disruptors: Study on Gathering Information on 435 Substances with Insufficient Data. Report on behalf of the European Commission, in assoc. with DHI Water & Environment, Denmark, and Kiwa Water Research, The Netherlands.
- CERHR (Center for the Evaluation of Risks to Human Reproduction, National Toxicology Program) (2007): NTP-CERHR Expert Panel Report on the Reproductive and Developmental Toxicity of Bisphenol A. Vom 27.11.2007, <http://cerhr.niehs.nih.gov/chemicals/bisphenol/BPAFinalEPVF112607.pdf>, Zugriff 10.05.2008.
- CERHR (Center for the Evaluation of Risks to Human Reproduction, National Toxicology Program) (2008): NTP-CERHR Monograph on the Potential Reproductive and Developmental Effects of Bisphenol A. NIH Publication No. 08 – 5994, September 2008, <http://cerhr.niehs.nih.gov/chemicals/bisphenol/bisphenol.pdf>, Zugriff 01.03.2009.
- ChemVerbotsV: Chemikalien-Verbotsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. Juni 2003 (BGBl. I S. 867), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 21. Juli 2008 (BGBl. I S. 1328).
- DGE (2009): Bisphenol A aus Plastikbehältnissen gefährdet Verbraucher nicht. Presseinformation v. 03.02.2009, <http://www.dge.de/modules.php?name=News&file=print&sid=908>, Zugriff 01.03.2009.
- Dodds, E. C., Lawson, W. (1936): Synthetic Estrogenic Agents without the Phenanthrene Nucleus. Nature, 137, 996.

- Dsikowitzky, L. (2002): Umweltgeochemische Charakterisierung der niedermolekularen organischen Fracht des Flußsystems Lippe. Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Geowissenschaften. http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=96943636x&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=96943636x.pdf, Zugriff 28.02.2009.
- Dsikowitzky, L., Schwarzbauer, J., Kronimus, A., Littke, R. (2004): The anthropogenic contribution to the organic load of the Lippe River (Germany). Part I: qualitative characterisation of low-molecular weight organic compounds. *Chemosphere*, 57/10, 1275-1288.
- ECB (European Chemicals Bureau at the European Commission Joint Research Centre) (2003): European Union Risk Assessment Report: 4,4'-isopropylidenediphenol (Bisphenol-A). Document no. EUR-20843-EN.
- ECB (European Chemicals Bureau at the European Commission Joint Research Centre) (2008): European Union Risk Assessment Report: 4,4'-isopropylidenediphenol (Bisphenol-A). Document no. EUR-20843-EN, Teil Umwelt, aktualisiert Februar 2008.
- FDA (US Food and Drug Administration) (2008a): FDA Statement on Release of Bisphenol A (BPA) Subcommittee Report. October 2008, <http://www.fda.gov/bbs/topics/NEWS/2008/NEW01908.html>, Zugriff 01.03.2009.
- FDA (US Food and Drug Administration) (2008b): Brief an das Bisphenol A Subcommittee of the Science Panel to the Food and Drug Administration v. 03.12.2008, http://www.bdlaw.com/assets/attachments/FDA_Letter_to_Science_Panel_re_Additional_FDA_studies_on_BPA.pdf, Zugriff 01.03.2009.
- Gehring, M. (2004): Verhalten der endokrin wirksamen Substanz Bisphenol A bei der kommunalen Abwasserentsorgung. Dissertation an der Technischen Universität Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Beiträge zu Abfallwirtschaft und Altlasten, Bd. 34, Pirna: Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten.
- Gehring, M., Tennhardt, L., Vogel, D., Weltin, D., Bilitewski, B. (2005): Altpapier als Quelle für hormonell wirksame Schadstoffe in Abwasser und Klärschlamm. *Müll & Abfall*, 1/2005, 33-38.
- Giger, W., Brunner, P. H., Schaffner, C. (1984): 4-Nonylphenol in Sewage Sludge: Accumulation of Toxic Metabolites from Nonionic Surfactants. *Science*, 225/4662, 623-625.
- Gore, A. (2008): Endocrine-Disrupting Chemicals. From Basic Research to Clinical Practice. Humana Press, Totowa, NJ, USA.
- Hankemeier, Th., Steketee, P. C., Vreuls, J. J., Brinkman, U. A. Th. (1999): At-line SPE-GC-MS of micropollutants in water using the PrepStation. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 364/1, 106-112.
- Health Canada (2008): Proposed Risk Management Approach for Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene) bis (Bisphenol A). Oktober 2008, http://www.ec.gc.ca/substances/ese/eng/challenge/batch2/batch2_80-05-7_rm.cfm#11, Zugriff 01.03.2009.
- Heinzel, N. (2006): Screening, Identifizierung und quantitative Analytik organischer Substanzen in aquatischen Kompartimenten. Dissertation an der Universität Hamburg, Fachbereich Chemie. http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=978912802&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=978912802.pdf, Zugriff 28.02.2009.
- IUCLID (International Uniform Chemical Information Database) (2001): 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyne-4,7-diol. <http://www.epa.gov/hpv/pubs/summaries/tetramet/c13452rs.pdf>, Zugriff 28.02.2009.
- KEMI (Swedish Chemicals Agency) (2007): 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyne-4,7-diol. http://apps.kemi.se/flodessok/floden/kemamne_Eng/tetrametyldecyndiol_eng.htm, Zugriff 28.02.2009.

- Kleinschnitz, M., Schreier, P. (1998): Identification and semi-quantitative determination of a migration contaminant from beverage carton packages into mineral water by on-line solid phase extraction gas chromatography-mass spectrometry (SPE-GC-MS). *Chromatographia*, 48/7, 581-583.
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) (2009): Warn- und Alarmplan Rhein, Gewässergüte online. <http://luadb.lands.nrw.de/LUA/gues/welcome.htm>, Zugriff 01.03.2009.
- Mrasek, V. (2008): Rätselhafter Schadstoff belastet deutsche Flüsse. Spiegel Online, 01.10.2008, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,581138,00.html>, Zugriff 01.03.2009.
- NICEATM (National Toxicology Program (NTP) Interagency Center for the Evaluation of Alternative Toxicological Methods) (2002a): Background Document: Current Status of Test Methods for Detecting Endocrine Disruptors: In Vitro Estrogen Receptor Transcriptional Activation Assays. National Institute for Health Publication no. 03-4505.
- NICEATM (National Toxicology Program (NTP) Interagency Center for the Evaluation of Alternative Toxicological Methods) (2002b): Background Document: Current Status of Test Methods for Detecting Endocrine Disruptors: In Vitro Androgen Receptor Transcriptional Activation Assays. National Institute for Health Publication no. 03-4507.
- NIH (National Institute of Health) (2002): Hazardous Substances Data Base: 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyn-4,7-diol. <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>, zuletzt geändert 08.11.2002, Zugriff 28.02.2009.
- Püttmann, W., Guedez, A. (2008): Eintrag und Verbreitung von 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyn-4,7-diol (TMDD) in Oberflächengewässern. Tagungsband der 3. Gemeinsamen Jahrestagung von SETAC und Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der Gesellschaft Deutscher Chemiker am 23.09. - 26.09.2008 in Frankfurt am Main, 174-175.
- Science Panel (Bisphenol A Subcommittee of the Science Panel to the Food and Drug Administration) (2008): Scientific Peer-Review of the Draft Assessment of Bisphenol A for Use in Food Contact Applications. Vom 31.10.2008, <http://www.fda.gov/ohrms/dockets/ac/08/briefing/2008-4386b1-24.pdf>, Zugriff 01.03.2009.
- Scorecard (o.J.): National Safety Assessment Data: 1,4-DIISOBUTYL-1,4-DIMETHYLBUTYNEDIOL. http://www.scorecard.org/chemical-profiles/national-risk-characterization.tcl?edf_substance_id=126-86-3, Zugriff 28.02.2009.
- SEC(2004)1372: COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT on implementation of the Community Strategy for Endocrine Disruptors - a range of substances suspected of interfering with the hormone systems of humans and wildlife.
- Tennhardt, L. (2004): Potenzial technischer Abwasser- und Klärschlammbehandlungsverfahren zur Elimination endokrin aktiver Substanzen. Dissertation an der Technischen Universität Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Beiträge zu Abfallwirtschaft und Altlasten, Bd. 33, Pirna: Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten.
- TZW (Technologiezentrum Wasser Karlsruhe) (o.J.): Stellungnahme des DVGW-Technologiezentrums Wasser (TZW) zu 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyn-4,7-diol (TMDD). <http://www.tzw.de/pdf/abteilungen/portalmeldung/tmdd.pdf>, Zugriff 28.02.2009.
- Vingaard, A. M., Körner, W., Lund, K. H., Bolz, U., Petersen, J. H. (2000): Identification and Quantification of Estrogenic Compounds in Recycled and Virgin Paper for Household Use as Determined by an In Vitro Yeast Estrogen Screen and Chemical Analysis. *Chem. Res. Toxicol.*, 13, 1214 - 1222.

Anhang

Tabelle 4: Konzentrationen von BPA, NP, OP, PCP und TMDD in Recycling-Toilettenpapier aus 3 Ländern (mg/kg), Einzelmeßwerte der Teilproben

Probe	PCP	OP	NP	BPA	TMDD	TS ^A
D 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,29	100
D 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
D 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
D 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
D 3	< 0,1	< 0,1	1,1	7,9		
D 3	< 0,1	< 0,1	0,7	8,2		
D 4	< 0,1	< 0,1	0,2	8,3	0,34	100
D 4	< 0,1	< 0,1	1	8,2		
D 5	< 0,1	< 0,1	0,3	16,7		
D 5	< 0,1	< 0,1	0,4	14,4		
D 6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	17,2	0,16	100
D 6	< 0,1	< 0,1	0,2	17,8		
D 7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	16,1		
D 7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	15,2		
D 8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	16,6	0,45	97
D 8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	16,3		
A 1	< 0,1	< 0,1	2,4	34,9		
A 1	< 0,1	< 0,1	3	43,5		
A 1				29,5		
A 1				30,4		
A 2	< 0,1	< 0,1	4,4	41,3		
A 2	< 0,1	< 0,1	4,3	46,9		
A 3	< 0,1	< 0,1	1,4	7,7		
A 3	< 0,1	< 0,1	1,5	7,5		
A 4	< 0,1	< 0,1	1,4	7,4		
A 4	< 0,1	< 0,1	1	7,4		
A 5	< 0,1	< 0,1	1,1	103		
A 5	< 0,1	< 0,1	1,4	78,2		
A 5				56,3		
A 5				57		
A 6	< 0,1	< 0,1	1,2	115	2,39	99
A 6	< 0,1	< 0,1	1,1	110		
A 7	< 0,1	< 0,1	0,7	6,9		
A 7	< 0,1	< 0,1	0,9	6,1		
A 8	< 0,1	< 0,1	0,8	6		
A 8	< 0,1	< 0,1	0,6	5,9		
C 1	< 0,1	< 0,1	2,1	< 0,1	0,85	98
C 1	< 0,1	< 0,1	1,4	< 0,1		
C 2	< 0,1	< 0,1	1,2	< 0,1		
C 2	< 0,1	< 0,1	1,5	< 0,1		

C 3	< 0,1	< 0,1	0,6	< 0,1		
C 3	< 0,1	< 0,1	0,9	< 0,1		
C 4	< 0,1	< 0,1	0,8	< 0,1		
C 4	< 0,1	< 0,1	0,9	< 0,1		
C 5	< 0,1	< 0,1	1,4	< 0,1		
C 5	< 0,1	< 0,1	1	< 0,1		
C 6	< 0,1	< 0,1	1,2	< 0,1		
C 6	< 0,1	< 0,1	1,1	< 0,1		
C 7	< 0,1	< 0,1	0,7	< 0,1		
C 7	< 0,1	< 0,1	0,9	< 0,1		
C 8	< 0,1	< 0,1	0,6	< 0,1		
C 8	< 0,1	< 0,1	0,5	< 0,1		

Alle Angaben in mg/kg außer ^A in %; PCP: Pentachlorphenol; OP: 4-*tert*-Octylphenol; NP: 4-Nonylophenole, verzweigt, technisches Gemisch; BPA: Bisphenol A; TMDD: 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol; TS: Trockensubstanz

Lizenz

Dieses Werk ist nach Creative Commons Lizenz „Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland“ lizenziert. Weitere Informationen siehe (jeweils Zugriff 18.09.2008):

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/> und

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/legalcode>



Dem Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten, Pirna, sowie dem Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten der TU Dresden, Pirna, ist die kommerzielle Nutzung gestattet.

Zitierweise

Gehring, M., Vogel, D., Bilitewski, B. (2009): Belastung von Recycling-Toilettenpapier
Gehring, M., Vogel, D., Bilitewski, B. (2009): Belastung von Recycling-Toilettenpapier
aus verschiedenen Ländern mit 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol (TMDD) und den endokrin aktiven Stoffen Bisphenol A, 4-*tert*-Octylphenol, technischem 4-Nonylophenol und Pentachlorphenol. In: Bilitewski, B., Werner, P., Gehring, M. J. (2009): 4. Dresdner Tagung Endokrin aktive Stoffe in Abwasser, Klärschlamm und Abfällen. Beiträge zu Abfallwirtschaft und Altlasten, Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft und Altlasten der TU Dresden, **Bd. 61**, Pirna: Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten, 91-106. 3., korrigierte Fassung v. 09. Mai 2009.

Alle Korrekturen, die über Layout oder Tippfehler hinausgehen, wurden in grünem Font vorgenommen.