

## 6.25 Benzothiazole

Vorhergehende Berichte: HLfU 1997 (für 1991-1996), S. 144-148; HLfU 1999 (für 1997-1998), S. 69-71; HLUg 2003a (für 1999-2000), S. 155-159  
 Tabellen: HLUg 2003b, Tab. 98-100

### I. Allgemeine Angaben

1996-2000 wurden vier ausgewählte Benzothiazole in hessischen Oberflächengewässern sowie im Ablauf kommunaler und industrieller Kläranlagen untersucht. Es handelte sich um

- 1,3-Benzothiazol (BT)
- 2-Methylbenzothiazol (MeBT)
- 2-Chlorbenzothiazol (2-CIBT)
- 2-Methylthiobenzothiazol (MeSBT).

Benzothiazol besteht aus einem Benzolring und einer heterocyclischen Azolverbindung, die ein Stickstoff- und ein Schwefel-Atom enthält. Benzothiazol und seine Derivate werden in sehr unterschiedlichen Bereichen, darunter als Vulkanisationshilfsmittel, eingesetzt und sind ubiquitär verbreitet; eine Hauptquelle in der Umwelt ist Abrieb von Gummi-Reifen. Die Benzothiazole sind z.T. nicht abbaubar und bioakkumulativ; einige der Verbindungen des Benzothiazolsystems wie 2-Methylthiobenzo-thiazol (MeSBT) sind ausgesprochen ökotoxisch. Zielwerte liegen nicht vor.

### II. Verfügbare Messdaten

<b>Übersicht 6.25.1: Benzothiazole – Messdaten 1996-2000</b>			
<b>Probenahmeort: Ortstyp/Matrix</b>	<b>Stoffgruppe/ Parameter</b>	<b>Jahre</b>	<b>Anmerkungen</b>
<b>1. Oberflächengewässer</b> Wasser	Benzothiazole	1996-1998 1999-2000	13 Oberflächengewässer, 15 Messstellen 18 Oberflächengewässer, 19 Messstellen
<b>2. Kommunale Kläranlagen</b> Ablauf (Wasser)	Benzothiazole	1996-2000	9 KKA
<b>3. Industrielle Kläranlagen</b> Ablauf (Wasser)	Benzothiazole	1996-1998 1999-2000	6 IKA 2 IKA

### III. Herkunft – Umweltverhalten – Toxizität

#### 1. Umwelteinträge und Vorkommen

Benzothiazol und seine Derivate werden in unterschiedlichen Anwendungsbereichen eingesetzt. 1,3-Benzothiazol (BT) und 2-Methylthiobenzothiazol (MeSBT) können in der Umwelt auch als Abbauprodukte des Fungizids 2-(Thiocyanomethylthio)benzothiazol (TCMTB) bzw. von 2-Mercaptobenzothiazol (MBT, Vulkanisationsbeschleuniger) auftreten. Daher wird auch auf diese Derivate kurz eingegangen. Eine

Übersicht zu den Benzothiazolen und ihrem Vorkommen in der Umwelt geben u.a. Schmeigel (1995) und Krumwiede (2002). Zu 2-Mercaptobenzothiazol (MBT) liegt ein BUA-Bericht (BUA 1991), zu MBT und seinem Quasi-Dimeren MBTS (2,2'-Dithiobisbenzothiazol), TCMTB und anderen Benzothiazolen eine Bewertung des UBA vor (UBA 1996). Diesen Quellen sind viele der nachfolgenden Angaben entnommen.

*1,3-Benzothiazol (BT)* wird wegen seines hohen Siedepunktes von 227 °C technisch manchmal als Lösungsmittel für bei hohen Temperaturen ablaufende Reaktionen eingesetzt. Größere Anwendungsbedeutung haben die verschiedenen, 2-substituierten Derivate des 1,3-Benzothiazols, so als Vulkanisationsbeschleuniger in der Gummiherstellung, als Biozide, als Korrosionsinhibitoren, als Grundstoff in der Farbstoffherstellung, als pharmakologisch aktive Substanz, als Stabilisatoren, Fällungshilfsmittel u.a.m.

Die zu *2-Mercaptobenzothiazol (MBT)* im BUA-Bericht (BUA 1991) und der Bewertung des UBA (UBA 1996) aufgeführten Verwendungen betreffen u.a. seinen Einsatz als Stabilisator von Filmemulsionen (Photobereich), als Sammler bei Flotation von Erzen, als Fällungsmittel für Schwermetallsalze (Laborbereich), Hilfsstoff bei der elektrochemischen Metallbeschichtung, als Korrosionsschutzmittel (Kühlwasserkreisläufe, Galvanik), als Antioxidans in Gummiartikeln und Schmierölen. Salze des MBT werden oder wurden u.a. als Zwischenprodukt bei der Herstellung von TCMTB, als Korrosionsschutzmittel in Kühlschmierstoffen und anderen Metallbearbeitungsflüssigkeiten oder Kühlwasserkreisläufen, als Korrosionsinhibitor in der Papierindustrie oder Vulkanisationsbeschleuniger verwendet. Nur einige dieser Verwendungen sind oder waren mengenmäßig von Bedeutung, ohne dass darüber im einzelnen quantitative Daten vorliegen. Mengenmäßig entscheidend ist die Verwendung von Benzothiazol-Derivaten in der Gummi-Industrie als Vulkanisationsbeschleuniger für Reifen und technische Gummi-Artikel wie Dichtungen, Schläuche, Kabelmäntel, Förderbänder, Schuhwerk usw..

MBT, seine Salze, MBTS sowie Benzothiazolsulfenamide wurden lt. UBA (1996) in der Bundesrepublik nicht hergestellt. Für Anfang der 90er Jahre wird in der gleichen Quelle ein Jahresbedarf in der Bundesrepublik von 3.500-5.000 t Derivate, bezogen auf den MBT-Gehalt, angegeben.

Umwelteinträge von MBT, MBTS und Folgeprodukten wie Benzothiazol und 2-Methylbenzothiazol (MeSBT) können bei der Vulkanisation und Herstellung von Kautschuk-Mischungen in Abluft und Abwasser auftreten, insbesondere aber durch Reifenabrieb (15 Prozent der Masse eines Autoreifens gelangen in die Umwelt). In Reifenabrieb wurden 124,3 mg Benzothiazol/kg gemessen, in Straßenstaub 4,4 mg Benzothiazol/kg (UBA 1996). Die Benzothiazol-Belastung von kommunalen Kläranlagen ist nach Krumwiede (2002) zu wesentlichen Teilen auf Straßenablaufwasser mit Reifenabrieb zurückzuführen, was auch in einem entsprechenden Emissionsszenario der OECD berücksichtigt wird (OECD 2004).

Als Abbauprodukt von 2-Mercaptobenzothiazol (MBT) kann in dessen verschiedenen Anwendungsbereichen ebenfalls *2-Methylthiobenzothiazol (MeSBT)* entstehen. Ein wesentlicher Eintragspfad in die Umwelt ist hier ebenfalls Reifenabrieb. Baumann/Ismaier (1997) errechneten für die Bundesrepublik eine jährliche Freisetzungsmenge von 18,3 t MeSBT aus dieser Quelle.

Den Zusammenhang mit Reifenabrieb legen auch folgende Daten aus der Untersuchung von Schmegel (1995) nahe: Im städtischen Gebiet von Bremen lagen die Konzentrationen von sieben Benzothiazol(-Derivaten) an 14 Probenahmestellen in Gewässern unter 1 µg/L. Höhere Konzentrationen von 1-6 µg/L BT und MeSBT fanden sich im straßennahen Wallgraben (Stadtgraben) und einem Graben mit Regenablaufwasser der Autobahn. In einer wässrigen Straßenkanalprobe (Probe aus dem Reinigungswagen) und einer Sickerwasserprobe von einer Mülldeponieanlage waren die Gehalte an BT, MeBT und MeSBT mit ca. 60 µg/L bzw. 65-96 µg/L um zwei Zehnerpotenzen höher als in den restlichen Wasserproben. Im Schlamm aus Straßenkanälen wurden die drei Benzothiazole jeweils mit Konzentrationen von über 2 mg/kg TS analysiert.

Bester et al. (1997) fanden MeSBT und Benzothiazol in Nordseewasser-Proben von 1995 in Konzentrationen von 0,04-1,37 ng/L (MeSBT) und 0,03-1,23 ng/L (BT). Einige Benzothiazolderivate wurden im Seewasser der Arktis nachgewiesen; insofern muss das Benzothiazolsystem als persistent angesehen werden (UBA 1996).

*2-(Thiocyanomethylthio)benzothiazol (TCMTB)* wird als Ersatzfungizid für Chlorphenole in der Holz- und besonders der Lederindustrie eingesetzt. Wo es gegenwärtig z.B. in Lederkonservierungsmitteln wie „Preventol CR plus“ der Bayer AG vorkommt, wird es als Vorprodukt importiert (Bayer AG 2003). Für 1990 berichtete das UBA (1996) noch einen Abwassereintrag von 250 kg MBT/a aus der TCMTB-Herstellung bei der Bayer AG. Umweltfreisetzungen können bei der Verarbeitung auftreten (vgl. ZEMA 1998). In Gerberei-Abwässern sowie Klärschlämmen wurden sowohl TCMTB wie Benzothiazol und MeSBT gefunden (UBA 1996). TCMTB soll auch als Tributylzinn-Substitut verwendet werden (van Wezel/van Vlaardingen 2001).

*2-Methylbenzothiazol (MeBT)* ist eine Vorläufersubstanz für einige Cyaninfarbstoffe. Umweltfunde (Abwasser einer Teppichfabrik) hängen ev. mit der Transformation oder Verunreinigung entsprechender Farbstoffe zusammen (Schmegel 1995).

Zu *2-Mercaptobenzothiazol* als Ausgangsverbindung für umweltrelevante Benzothiazole liegen ein IUCLID-Datensatz (IUCLID 2001) sowie eine die neuere Literatur zusammenführende Toxizitätsabschätzung vor (Stock 2001). In der Bundesrepublik wird das aus MBT synthetisierte Herbizid Methabenzthiazuron nicht hergestellt und sind entsprechende Pflanzenschutzmittel auch nicht mehr zugelassen (Kussatz et al. 1999).

## 2. Stoffeigenschaften, Toxizität

*Benzothiazol* (BT) ist mit 3 g/L in Wasser mäßig löslich. Bei einem log  $K_{ow}$  von 1,99 ist keine relevante Bioakkumulation zu erwarten. In Egel (Hirundinea) wurden Konzentrationen bis 1.400 µg/kg gemessen (UBA 1996; Schmegel 1995). Bei der Untersuchung von Gerbereiabwässern stellten Reemtsma et al. (1995) die Bildung von BT unter anaeroben Bedingungen aus nicht identifizierbaren Vorläufersubstanzen fest. Im aeroben Milieu wird BT gut abgebaut. Es kann den Autoren zufolge als leicht biologisch abbaubar klassifiziert werden (Reemtsma et al. 2002). Der Nachweis von BT in Oberflächengewässern sowie im Kläranlagenablauf deutet jedoch auf einen langsamen bzw. nicht vollständigen Abbau hin (Reemtsma et al. 1995). Photoabbau im Wasser ist offenbar ohne Bedeutung.

Für Benzothiazol werden akute Wirkkonzentrationen im mg/L-Bereich angegeben (Mikroorganismen: 10d-EC<sub>40</sub>, Respirationshemmung = 1,5 mg/L; 20h-EC<sub>50</sub>, Lumineszenzhemmung = 4,4 mg/L; Fische: 48h-LC<sub>50</sub> = 110 mg/L; nach UBA 1996). Benzothiazol ist als „wassergefährdend“ (WGK 2) eingestuft.

*2-Methylthiobenzothiazol* (MeSBT) hat eine geringere Wasserlöslichkeit (125 mg/L) als BT und ist mit einem log K<sub>ow</sub> von 3,1 lipophiler; Bioakkumulation ist zu erwarten. In Egeln wurden Konzentrationen bis von 2.200-10.900 µg/kg gemessen. In Labortest zum biologischen Abbau erwies sich MeSBT als nicht abbaubar (UBA 1996); es ist in der Kläranlage aerob biologisch schwer abbaubar. TCMBT wird unter aeroben Bedingungen zu MBT abgebaut, das seinerseits zu MeSBT methyliert werden kann (Reemtsma et al. 1995). Im anaeroben Milieu kann MeSBT zu MBT demethyliert werden (Krumwiede 2002).

MeSBT ist die toxischste der untersuchten Benzothiazol-Testsubstanzen. Im Leuchtbakterientest weist sie eine EC<sub>10</sub> von 1,8 µg/L auf (Schmegel 1995). Diese Konzentration liegt im Bereich der gemessenen Umweltkonzentrationen oder darunter. Als EC<sub>50</sub> für Lumineszenzhemmung werden Werte zwischen 160 µg/L (Schmegel 1995) bzw. 2 mg/L (Reemtsma et al. 1995) angegeben.

Zu den im Rahmen der orientierenden Messungen nicht analysierten *Vorläufer- und Abbauprodukten* von Benzothiazolderivaten gehören, wie bereits angeführt, TCMTB und MBT. *2-(Thiocyanomethyl-thio)benzothiazol* (TCMTB) hat eine Wasserlöslichkeit von 40 mg/L und einen log K<sub>ow</sub> von 3,12 (UBA 1996). Insofern ist Bioakkumulation zu erwarten. TCMTB wird im Wasser hydrolytisch (DT<sub>50</sub> bei pH 5 und 7 >35d, bei pH 9 2-3d) und photolytisch (DT<sub>50</sub> 1,5-3,9d) zu MBT abgebaut. In der Kläranlage erfolgt unter aeroben Bedingungen mikrobieller Abbau zu MBT, anaerob zu BT. Es wurde für TCMTB eine Daphnien-NOEC (21d) von 3,8 µg/L gefunden; der 96h-LC<sub>50</sub>-Wert für Fisch liegt bei 21 µg/L. Als maximal duldbare Gewässerkonzentration werden 0,38 µg/L vorgeschlagen (Reemtsma et al. 1995; van Wezel/van Vlaardingen 2001). *2-Mercaptobenzothiazol* (MBT), das als anaerobes Methylierungsprodukt von MeSBT und als Abbauprodukt von TCMTB auftreten kann, ist ebenfalls toxisch; die niedrigste NOEC liegt bei 41 µg/L (89d, Längenwachstum von Fisch-Larven), der 20h-EC<sub>50</sub> im Test auf Lumineszenzhemmung wird mit 0,12 mg/L angegeben (UBA 1996).

### 3. Bewertungsgrundlagen – Zielwerte

Zielwerte für Benzothiazole liegen nicht vor.

### IV. Hessische Werte: Einzeldaten und Trends

Die folgende Analyse zeigt, dass die Benzothiazol-Befunde in Oberflächengewässern und im Ablauf von Kläranlagen stark von der Höhe der BG abhängig sind. Die BG betrug

- für Oberflächengewässer und kommunale Kläranlagenabläufe 1996 0,5 µg/L, in den beiden folgenden Jahren 0,1 µg/L, 1999/2000 0,05 µg/L;
- für industrielle Kläranlagen 1996 1 µg/L, 1997 0,1-0,5 µg/L und 1998-2000 0,5 µg/L.

#### 1. Benzothiazole im Wasser hessischer Oberflächengewässer 1996-2000

Von 1996 bis 1998 wurden 13, 1999/2000 18 hessische Oberflächengewässer auf Benzothiazole beprobt.

Benzothiazol (BT), 2-Methylbenzothiazol (MeBT) und 2-Chlorbenzothiazol (2-CIBT) waren in allen Jahren nicht oder fast nicht nachweisbar, während 2-Methylthiobenzothiazol (MeSBT) 1996 nicht, nach Reduzierung der BG in einigen und mit erneuter Reduzierung der BG ab 1999 in rd. der Hälfte der Gewässerproben auffindbar war:

- BT war nur 1997 und 1999 je zweimal mit 0,23 µg/L im Schwarzbach, 0,17 µg/L in der Diemel und mit je 0,07 µg/L in Gersprenz und Mümling nachzuweisen.
- MeBT wurde überhaupt nicht oberhalb der BG gefunden.
- 2-CIBT trat einmal mit 0,7 µg/L (Modau, 1997) auf.
- MeSBT: 1997 drei (0,11-0,17 µg/L), 1998 zwei positive Befunde (0,12-0,2 µg/L). 1999 wurde MeSBT in 7 von 19 Proben mit 0,05-0,11 µg/L nachgewiesen, 2000 in 9 von 19 Proben (0,05-0,16 µg/L). Das Maximum von 0,2 µg/L wurde 1998 im Schwarzbach registriert, die übrigen Höchstwerte in Weschnitz und Rodau.

*Vergleichswerte:* Im Jahresverlauf 1996/1997 wurde die Elbe im Längsverlauf beprobt. MeSBT konnte über das ganze Jahr in allen untersuchten Proben mit Werten zwischen 0,01 und 0,06 µg/L (Mittelwerte: 0,022-0,043 µg/L) nachgewiesen werden. Bei der Einmündung der Mulde in die Elbe traten höhere Werte (0,05-0,38 µg/L, MW 0,143 µg/L) auf (Details: HLFU 1997, 1999). 2001 fand sich das in den hessischen Gewässerproben nicht nachweisbare 2-Methylbenzothiazol in zwei von 16 Proben aus Werra, Saale, Weißer Elster und Unstrut in Konzentrationen von 0,02-0,03 µg/L (vgl. HLU 2003a), also unterhalb der bei den Orientierenden Messungen gegebenen BG von 0,05 µg/L.

## 2. Benzothiazole im Ablauf (Wasser) kommunaler und industrieller Kläranlagen 1996-2000

1996 bis 2000 wurden die Abläufe von neun *kommunalen Kläranlagen* überprüft.

- *Benzothiazol* konnte ab 1997 gelegentlich, ab 1999 häufig nachgewiesen werden. Wegen der niedrigeren BG von 0,05 µg/L sind die Werte für 1999/2000 am aussagefähigsten: 11 von 18 Messwerten lagen in diesen beiden Jahren über der BG zwischen 0,05 und 0,24 µg/L. Die Mittelwerte betragen 0,07 bzw. 0,08 µg/L. Die relativ niedrigen Konzentrationen konnten in den Vorjahren bei höherer BG gar nicht (1996) bzw. nur teilweise (1997/98: 4 von 18 Messwerte oberhalb 0,1 µg/L) detektiert werden.
- *2-Methylbenzothiazol (MeBT)* und *2-Chlorbenzothiazol (2-CIBT)* traten in keinem Ablauf auf.
- *2-Methylthiobenzothiazol (MeSBT)* war 1996 nur mit zwei Werten von 0,5 bzw. 1,5 µg/L nachweisbar und wurde ab 1997 (BG = 0,1 µg/L bzw. 1999/2000 = 0,05 µg/L) stets gefunden. Die Werte lagen zwischen 0,1 und 7,8 µg/L, die Mittelwerte zwischen 0,94 und 1,41 µg/L. Der Mittelwert für die einzelnen Kläranlagen aus den Messwerten für die Jahre 1997-2000 beträgt i.d.R. zwischen 0,18 und 0,53 µg/L; zwei der kommunalen Kläranlagen fallen mit Mittelwerten von 2,45 µg/L (Fulda-Gläserzell) bzw. 5,79 µg/L (Hanau) deutlich aus dem Rahmen. Bei der KKA Fulda-Gläserzell wird dies durch einen ungewöhnlich hohen Wert (5,36 µg/L, 2000) bewirkt, während bei der KKA Hanau 1997-2000 stets Werte zwischen 4,1 und 7,8 µg/L auftraten, also mehr als das Zehnfache der sonst üblichen Belastungen.

An *industriellen Kläranlagen* wurden 1996-1998 sechs, 1999/2000 nur zwei überprüft. Die BG war, wie o.a., deutlich höher als bei den KKA und Oberflächengewässern (1996 1 µg/L, 1997 0,1-0,5 µg/L, sonst 0,5 µg/L). Dies schränkt die Vergleichbarkeit mit den KKA und die Aussagefähigkeit der Messergebnisse ein.

- *Benzothiazol* war oberhalb der BG von 0,5 µg/L nur 1997/1998 bei I11 mit je 2,2 µg/L und 1997 bei I31 (1,6 µg/L; kein Gummi-Betrieb) nachweisbar.
- *2-Methylbenzothiazol* wurde einmal mit 0,11 µg/L bei I11 (1997) gefunden, *2-Chlorbenzothiazol* in keinem Fall.
- *2-Methylthiobenzothiazol* (MeSBT) trat nur 1997 bei I11 (0,28 µg/L) und I31 (0,26 µg/L) auf.

Fazit: Benzothiazole konnten nur in zwei von sechs IKA 1997 und einmal 1998 nachgewiesen werden und lagen sonst unter 0,5 µg/L bzw. 1 µg/L (1996).

## **V. Bewertung**

### *1. Zielwerte und Zielwertüberschreitungen*

Für die untersuchten Benzothiazole liegen keine Zielwerte vor.

### *2. Belastungstrend und Vergleichsdaten*

Der häufigere Nachweis einzelner Benzothiazole in Oberflächengewässern und Abläufen von Kläranlagen gelingt nur bei einer BG unter 0,1 µg/L. Da die BG bis 1998 darüber lag, sind Trenaussagen nicht möglich.

Die in hessischen Oberflächengewässern gefundenen Konzentrationen an MeSBT – die am häufigsten nachgewiesene Benzothiazol-Verbindung – lagen meist im zwei-stelligen ng/L-Bereich. Dies entspricht Vergleichsdaten aus der Elbe (Fooken/Stachel 2000). Die hessischen Maxima um 0,1-0,2 µg/L stammten aus kleineren, schmutzwasserreichen Gewässern und lagen über den in der Elbe 1996 gefundenen MeSBT-Höchstwerten (<0,1 µg/L) mit Ausnahme des Mündungsbereichs der Mulde in die Elbe (dort Maximum 0,38 µg/L).

2-Methylbenzothiazol (MeBT) war in den hessischen Gewässern auch bei einer BG von 0,05 µg/L nicht nachweisbar. Positive Einzelbefunde aus Unstrut und Weißer Elster waren kleiner als 0,05 µg/L. Insgesamt gesehen sind die hessischen Messwerte nicht auffällig.

### *3. Zusammenfassende Bewertung*

Einzelne Benzothiazole, insbesondere MeSBT, sind in Oberflächengewässern im zwei- bis dreistelligen ng/L-Bereich nachweisbar. Benzothiazol (BT) tritt im Ablauf kommunaler Kläranlagen mit Mittelwerten um 80 ng/L (BT) auf und wurde bei zwei IKA-Abläufen im µg/L-Bereich gefunden. MeSBT wird normalerweise mit Mittelwerten von 180-530 ng/L (MeSBT) bei KKA nachgewiesen, bei einzelnen kommunalen Kläranlagen auch mit MW zwischen 2,5 und 5,8 µg/L. Für die Belastung der Oberflächengewässer ist der Eintrag primär über kommunale Abwässer offenbar entscheidend. Hierfür sprechen auch die Untersuchungen über Ablaufwasser von Straßen (Reifenabrieb).

Die vorliegenden Angaben zur aquatischen Toxizität von Benzothiazolen sind insgesamt ungenügend. Die in Hessen für MeSBT in mehreren Fällen nachgewiesenen

Gewässerkonzentrationen oberhalb 100 ng/L liegen nur um eine Zehnerpotenz unter dem niedrigsten bekannt gewordenen Wirkwert für aquatische Organismen (1,8 µg/L). Bei Kläranlagenabläufen treten MeSBT-Konzentrationen in der Größenordnung dieses Wertes auf. Angesichts fehlender Daten zu chronischer Toxizität, Gen-toxizität u.a. Effekten ist ein Sicherheitsfaktor von 1000 anzusetzen, woraus eine provisorische Zielvorgabe von 2 ng/L abzuleiten wäre (vgl. HLFU 1997). Es liegen mithin keine ausreichenden Sicherheitsabstände vor, so dass von einer Umweltge-fährdung durch MeSBT gesprochen werden muss. Bei Benzothiazol (BT) beträgt der gemessene Höchstwert in Oberflächengewässern 0,23 µg/L, der niedrigste berichte-te Wirkwert 1,5 mg/L. Der Abstand ist auch hier geringer als 1000. Insgesamt ist eine Minderung der Benzothiazol-Einträge in Gewässer angezeigt, die auf der Verwen-dungsseite (Vulkanisationsbeschleuniger, Belastung aus Reifenabrieb) einsetzen müsste.

## **VI. Lit.**

- W. Baumann/M. Ismeier, Exemplarische Erfassung der Umweltexposition ausge-wählter Kautschukderivate bei der bestimmungsgemäßen Verwendung in Rei-fen und deren Entsorgung. Endbericht zum UBA-FE-Vorhaben 20602081, In-stitut für Umweltforschung (INFU), Dortmund 1997
- Bayer AG, Dr. K.D. Stroech, schriftl. Mitt. v. 13.3.2003
- K. Bester et al., Results of non-target screening of lipophilic organic pollutants in the German Bight I: benzothiazoles, in: Sc. Tot. Environ. 207, 1997, S. 111-118
- BUA (Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker), Mercaptobenzothiazol. (2-(3-H)-Benzothiazolthion) und Salze, BUA-Stoffbericht 74, Weinheim [VCH] 1991
- C. Fooker/B. Stachel, Ausgewählte organische Spurenverunreinigungen in der Elbe und in Elbenebenflüssen im Zeitraum 1994-1999, ARGE Elbe (Arbeitsgemein-schaft für die Reinhaltung der Elbe), Hamburg 2000
- HLfU (Hessische Landesanstalt für Umwelt) 1997: C. Fooker, R. Gühr, M. Häckl, P. Seel, Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersu-chungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewäs-sern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-1996. HlfU, Umweltplanung, Ar-beits- und Umweltschutz H. 233, Wiesbaden 1997
- HLfU (Hessische Landesanstalt für Umwelt) 1999: C. Fooker, R. Gühr, P. Seel, Ori-entierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwäs-sern und Klärschlämmen 1991-1998. Ergänzender Bericht zu 1997-1998. HLfU, Wiesbaden o.J. [1999]
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2003a: A. Leisewitz, P. Seel, S. Fengler, Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließ-gewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-2001, Ergänzender Bericht zu 1999-2001, HLUG [Wiesbaden 2003]
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2003b: S. Fengler, C. Foo-ken, R. Gühr, P. Seel, Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landes-weite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-2001, Analysenergeb-nisse, HLUG [Wiesbaden 2003]
- IUCLID Data Set Benzothiazole-2-thiol, CAS No. 205-736-8, 5. 11. 2001

- D. Krumwiede, Umwelteintrag von Benzothiazolen aus dem Reifenabrieb über Kanalisation und Kläranlage und vergleichende Untersuchungen zu umweltrelevanten Eigenschaften von Benzothiazolen, Benzimidazolen und Benzoxazolen, Diss. FB Biologie/Chemie Univ. Bremen, 2002
- C. Kussatz et al., Zielvorgaben für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, Umweltbundesamt, Texte 76/99, Berlin 1999
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), Emission Scenario Document on Additives in Rubber Industry. OECD Environmental and Health and Safety Publications. Series on Emission Scenario Documents No. 6, Paris 2004 (ENV/JM/Mono(2004)11)
- T. Reemtsma et al., Microbial Transformation and Biological Effects of Fungicide-Derived Benzothiazoles Determined in Industrial Wastewater, in: Environ. Sci. Technol. 29, 1995, S. 478-485
- T. Reemtsma et al., Removal of Sulfur-Organic Polar Micropollutants in a Membrane Bioreactor Treating Industrial Wastewater, in: Environ. Sci. Technol. 36, 2002, S. 1102-1106
- C. Schmegel, Struktur-Wirkungsbeziehungen in der prospektiven Analyse von Umweltgefährdungen am Beispiel der Substanzklasse der Benzothiazole, Diss. FB Biologie/Chemie Univ. Bremen, 1995
- F. Stock, Beurteilung der ökotoxikologischen Risiken verschiedener Vulkanisationsbeschleuniger. Vergleich der gesetzlich vorgeschriebenen Methode mit einer multidimensionalen Methode, Dipl. Arbeit FB Biologie/Chemie Univ. Bremen, 2001
- UBA (Umweltbundesamt) 1996: J. Ahlers et al., Bewertung der Umweltgefährlichkeit ausgewählter Altstoffe durch das Umweltbundesamt, Teil II, Umweltbundesamt, Texte 38/96, Berlin 1996
- A.P. van Wezel/P. van Vlaardingen, Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for antifouling substances Irgarol 1051, dichlofluanid, ziram, chlorothalonil and TCMTB, Riksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven/NL, 2001
- ZEMA („Zentrale Störfallmelde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in Verfahrenstechnischen Anlagen“ im Umweltbundesamt), [www.infosis.bam.de/zema\\_barrierefrei/index.php](http://www.infosis.bam.de/zema_barrierefrei/index.php), Eintrag Nr. 291