

Deckblatt zu 2,4,6-Trinitrotoluol (und Isomeren in technischen Gemischen)

[118-96-7]

BAR (2008) <1 µg 4-Amino-2,6-dinitrotoluol/L Urin
<4 µg 2-Amino-4,6-dinitrotoluol/L Urin
Probenahmezeitpunkt: Expositionsende
bzw. Schichtende

*Veröffentlichungen in der
MAK- und BAT-Werte-Liste:*

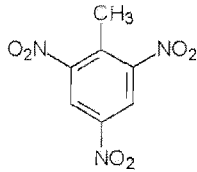
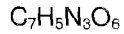
2008 Festlegung eines BAR (s. o.)

MAK-Wert (2008) –
Spitzenbegrenzung
Hautresorption (1958) H
Sensibilisierende Wirkung (2008) Sh
Krebserzeugende Wirkung (2008) Kategorie 2
Fruchtschädigende Wirkung –
Keimzellmutagene Wirkung (2008) Kategorie 3 B

Synonyma 2,4,6-Trinitro-1-methylbenzol
2,4,6-TNT
Trotyl
Triton
Tolit
Tritol
Tutol
Trilit



Formel



Molmasse

227,1 g/mol

Schmelzpunkt

81 °C

Siedepunkt

240 °C (Zündtemperatur)

2,4,6-Trinitrotoluol (und Isomeren in technischen Gemischen)

BAR (2008) <1 µg 4-Amino-2,6-dinitrotoluol/L Urin

<4 µg 2-Amino-4,6-dinitrotoluol/L Urin

Probenahmezeitpunkt: Expositionsende
bzw. Schichtende

Synonyma

2,4,6-Trinitro-1-methylbenzol

2,4,6-TNT

Trotyl

Triton

Tolit

Tritol

Tutol

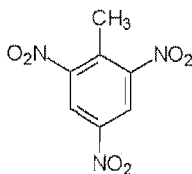
Trilit

CAS-Nr.

118-96-7

Formel

$C_7H_5N_3O_6$



Molmasse

227,1 g/mol

Schmelzpunkt

81 °C

Siedepunkt

240 °C (Zündtemperatur)

MAK-Wert (2008)

—

Hautresorption (1958)

H

**Krebserzeugende Wirkung
(2008)**

Kategorie 2

Trinitrotoluole (TNT) werden allein oder im Gemisch mit anderen Explosivstoffen in gewerblichen und militärischen Sprengladungen verwendet.

Bezüglich detaillierter Informationen zu Aufnahme, Verteilung, Metabolismus, Ausscheidung, toxischer und kanzerogener Effekte von 2,4,6-Trinitrotoluol wird auf die MAK-Begründung verwiesen (Greim 2008). Die wissenschaftliche Datengrundlage ist zudem in einer Übersichtsarbeit von Bolt et al. (2006) zusammengefasst.

1 Metabolismus und Toxikokinetik

2,4,6-Trinitrotoluol wird gut über die Haut, die Atemwege und den Verdauungstrakt in den Körper aufgenommen und dort u. a. durch Nitroreduktasen der Leber zu den beiden Hauptmetaboliten 2-Amino-4,6-dinitrotoluol (2-Amino-4,6-DNT) und 4-Amino-2,6-dinitrotoluol (4-Amino-2,6-DNT) metabolisiert. Das resorbierte 2,4,6-Trinitrotoluol bzw. seine Metaboliten werden hauptsächlich über den Urin ausgeschieden. In allen Untersuchungen ist 4-Amino-2,6-dinitrotoluol der Hauptmetabolit, gefolgt von 2-Amino-4,6-dinitrotoluol. In geringeren Konzentrationen wurden im Urin von Arbeitern auch unverändertes 2,4,6-Trinitrotoluol, 2,6-Diamino-4-nitrotoluol und 2,4-Diamino-6-nitrotoluol ausgeschieden (Bolt et al. 2006; Greim 2008; IARC 1996).

2 Kritische Toxizität

Mit 2,4,6-Trinitrotoluol werden dosisabhängig Irritationen der Haut und Schleimhäute, Leberfunktionsstörungen, Methämoglobinämie und aplastische Anämie sowie Verfärbungen von Haut und Haaren beobachtet. Darüber hinaus liegen Beobachtungen über hämolytische Anämien bei 2,4,6-Trinitrotoluol-exponierten Personen mit einem Glukose-6-Phosphat-dehydrogenase-Mangel vor. Des Weiteren wurden in einzelnen Studien nach Trinitrotoluol-Exposition gehäuft u. a. Katarakte der Augen (Greim 2008; Henschler 1988; Liu et al. 1995 a; Zhu et al. 2002) und Veränderungen des männlichen Samens und Störungen von sexuellen Funktionen (Liu et al. 1995 b) beobachtet.

3 Belastung und Beanspruchung

3.1 Beziehung zwischen äußerer und interner Belastung

Nach beruflicher 2,4,6-Trinitrotoluol-Exposition wurden in mehreren Studien die beiden Hauptmetaboliten 4-Amino-2,6-dinitrotoluol und 2-Amino-4,6-dinitrotoluol gemessen (s. Tabelle 1).

Eine Korrelation zwischen äußerer Exposition an 2,4,6-Trinitrotoluol und der inneren Belastung mit den Metaboliten ist aus diesen Daten nicht ableitbar.

Tab. 1.: Ausscheidung von 4-Amino-2,6-DNT und 2-Amino-4,6-DNT im Urin von 2,4,6-TNT-exponierten Arbeitern

Luft	Urin		Literatur
	4-Amino-2,6-DNT (µg/L)*	2-Amino-4,6-DNT (µg/L)*	
<0,01–2,53	9700 ± 7900 (Mittel ± SD) 100–44 000 (Bereich)		Woollen et al. 1986
~0,5	45 µg/g Kreatinin (Mittelwert) 10 µg/g Kreatinin (Median) <NWG–380 µg/g Kreatinin (Bereich)	10 µg/g Kreatinin (Mittelwert) 2 µg/g Kreatinin (Median) <NWG–110 µg/g Kreatinin (Bereich)	Ahlborg et al. 1988
0,18–0,49 (Gesamtstaub)	1.Tag: 730 (Mittelwert) <100–2340 (Bereich) 4.Tag: 5960 (Mittel) 1200–16 800 (Bereich)	1.Tag: 190 (Mittelwert) <100–780 (Bereich) 4.Tag: 1480 (Mittel) 100–4470 (Bereich)	Coombs und Schillack 1998
0,01–1**	143–16 832 (Bereich)	24–5787 (Bereich)	Bader et al. 1998
<NWG–3,25	231 (Median) <NWG–6693 (Bereich)	23 (Median) <NWG–1464 (Bereich)	Letzel et al. 2003

Abkürzung: NWG: Nachweisgrenze

* wenn nicht anders angegeben

** abgeleitet aus vorangegangenen Messungen

3.2 Beziehung zwischen innerer Belastung und Beanspruchung

Eine Studie an 82 Arbeitern, die an der Entsorgung von Rüstungsaltslasten in Deutschland beteiligt waren und von denen 51 Arbeiter regelmäßig (bis zu 3,25 mg/m³), 19 gelegentlich und 12 nicht gegen 2,4,6-Trinitrotoluol oder 2,4-Dinitro-

Tab. 2: Ausscheidung von 4-Amino-2,6-DNT und 2-Amino-4,6-DNT im Urin von 2,4,6-TNT-exponierten Arbeitern (Letzel et al. 2003)

Metaboliten	2,4,6-TNT-Exposition		
	keine (n=12)	gelegentlich (n=19)	regelmäßig (n=51)
2-Amino-4,6-DNT			
Median (µg/L)	<4 (NWG)	<4	23,0
Bereich (µg/L)	<4	<4	<4–1464,0
Anzahl an Proben über NWG	n=0	n=0	n=35
4-Amino-2,6-DNT			
Median (µg/L)	<1 (NWG)	<1	231,0
Bereich (µg/L)	<1	<1–44,0	<1–6693,0
Anzahl an Proben über NWG	n=0	n=9	n=47

Abkürzung: NWG: Nachweisgrenze

luol (bis zu 0,02 mg/m³) exponiert worden waren, ergab bei den regelmäßig exponierten Arbeitern maximale 4-Amino-2,6-dinitrotoluol- und 2-Amino-4,6-dinitrotoluol-Konzentrationen im Urin von 6693 µg/L bzw. von 1464 µg/L (s. Tabelle 1 und 2; Letzel et al. 2003).

Bei den regelmäßig exponierten Arbeitern traten signifikant vermehrt Symptome wie bitterer Geschmack, brennende Augen, Verfärbungen von Haut und Haaren und in den klinisch-chemischen sowie hämatologischen Untersuchungen ein signifikanter Anstieg der Laktatdehydrogenase im Serum auf ($p < 0,05$). Ähnliche Beschwerden wurden von den nicht oder nur unregelmäßig exponierten Personen nur in Einzelfällen geschildert (Letzel et al. 1997, 2003).

In der gleichen Studie ergab sich eine signifikante Erhöhung hinsichtlich chromosomaler Aberrationen mittels CISS-Analyse ($p < 0,01$) bzw. konventioneller Methode ($p < 0,05$) für die Personen, die eine hohe innere Belastung von mehr als 800 µg 4-Amino-2,6-dinitrotoluol/L aufwiesen, im Vergleich zu denen der Kontrollen und der Personen, die eine niedrige innere Belastung von weniger als 355 µg 4-Amino-2,6-dinitrotoluol/L aufwiesen (Letzel et al. 1997).

In einer Studie an 50 Arbeitern, die 2,4,6-Trinitrotoluol in Konzentrationen von bis zu 0,5 mg/m³ (Gruppe A und B), 0,3 mg/m³ (Gruppe C), 0,2 mg/m³ (Gruppe D) bzw. bis zu 0,1 mg/m³ (Gruppe E) ausgesetzt waren, war eine Korrelation zwischen der Mutagenität im Urin (Ames-Test) und der Konzentration an 2,4,6-Trinitrotoluol oder seinen Metaboliten statistisch signifikant nur für 4-Amino-2,6-dinitrotoluol. Die Konzentrationen dieses Metaboliten lagen im Median bei 5,84 µmol/mol Kreatinin (10 µg/g Kreatinin) und in einem Bereich von bis zu 218,14 µmol/mol Kreatinin (380 µg/g Kreatinin). Nach Angaben der Autoren war die Erhöhung der Rever-

Tab. 3: Ausscheidung von 4-Amino-2,6-DNT und 2-Amino-4,6-DNT im Urin von 2,4,6-TNT-exponierten Arbeitern und die Mutagenität des Urins in vitro im Ames-Test (Ahlborg et al. 1988)

Gruppe	Konzentration im Urin (µmol/mol Kreatinin)				Genotoxizität (Revertanten/mmol Kreatinin)			
	4-Amino-2,6-DNT		2-Amino-4,6-DNT		TA98		TA98NR	
	Median	Bereich	Median	Bereich	Median	Bereich	Median	Bereich
A	51,0	10,9–55,7	7,5	0,2–8,7	1040*	80–2720	140	0–260
B	71,9	22,5–218	24,4	2,2–65,3	880*	0–3040	560	120–800
C	38,6	9,1–68,2	8,5	1,1–16,0	160	140–180	120	80–160
D	5,6	3,2–6,8	1,3	0,5–4,4	20	0–100	110	100–160
E	1,2	0–72,2	0,7	0–24,4	30	0–440	140	0–300
F	2,2	1,5–6,2	0,7	0,7–2,4	10	0–160	90	0–800
G	3,6	1,0–9,1	2,0	0,6–2,0	20	0–80	0	0–100
nicht exp.	4,5	1,1–41,2	0,9	0–4,7	30	0–60	0	0–400

* $p < 0,05$

Abkürzungen: TA98: Salmonella typhimurium mit Nitroreduktaseaktivität; TA98NR: Salmonella typhimurium ohne Nitroreduktaseaktivität

tanzahl in TA98 mit dem Urin der Arbeiter aus Gruppe A und B, die mediane 4-Amino-2,6-dinitrotoluol-Konzentrationen von 51 bzw. 71,9 µmol/mol Kreatinin aufwiesen, statistisch signifikant. Eine deutliche Erhöhung der Revertanzahl zeigte sich aber auch mit dem Urin der Arbeiter von Gruppe C mit 4-Amino-2,6-dinitrotoluol-Konzentrationen von 38,6 µmol/mol Kreatinin (entsprechend 67 µg/g Kreatinin bzw. ca. 80 µg/L Urin unter Annahme von 1,2 g Kreatinin/L Urin) (Tabelle 3; Ahlborg et al. 1988).

Katarakte fanden sich bei 2,4,6-Trinitrotoluol-exponierten Arbeitern, die TNT-Hämoglobin (Hb)-Addukt-Konzentrationen von mehr als 140 ng/mg Hb aufwiesen. Eine TNT-Hb-Addukt-Konzentration von 115 ng/g Hb entsprach dabei einer inhalativ und dermal aufgenommenen Menge an 2,4,6-Trinitrotoluol von 70 mg. Bei TNT-Hb-Addukt-Konzentrationen von mehr als 1600 ng/g Hb wiesen alle Arbeiter Katarakte auf (Liu et al. 1995 a).

Bei Arbeitern, die im Median 4-Amino-2,6-DNT-Hb-Addukt-Konzentrationen von 59 ng/g Hb aufwiesen, waren die Odds Ratios (OR) für Hepatomegalie mit 7,6 (95% Konfidenzintervall (KI) 1,3–43,7), für Katarakte mit einem OR von 6,4 (95% KI 1,4–29,6) und für Splenomegalie mit einem OR von 9,6 (95% KI 1,1–85,3) signifikant erhöht (Sabbioni et al. 2005).

Bei 2,4,6-Trinitrotoluol-exponierten Arbeitern, die im Urin Konzentrationen an 4-Amino-2,6-dinitrotoluol von 2380 µg/L aufwiesen, wurden Linsentrübungen beobachtet, wogegen bei Arbeitern, die 1440 µg/L aufwiesen, keine Linsentrübungen

zu verzeichnen waren. Der Schweregrad der Linsentrübungen nahm mit zunehmender Metaboliten-Konzentration im Urin zu (Zhu et al. 2002).

Sabbioni und Rumler (2007) untersuchten gegenüber 2,4,6-Trinitrotoluol exponierte und nichtexponierte Arbeiter, die im Rahmen von Reinigungsarbeiten in der Munitionsentsorgung arbeiteten, sowie eine Kontrollgruppe von Arbeitern, die nicht in der Munitionsentsorgung beschäftigt waren. Dabei wurden Hb-Addukte und Urinmetaboliten des 2,4,6-Trinitrotoluols bestimmt. Hb-Addukte des 4-Amino-2,6-dinitrotoluols wurden bei 23% der exponierten und 6% der nichtexponierten Arbeiter nachgewiesen. Hb-Addukte des 2-Amino-4,6-dinitrotoluols wurden nicht nachgewiesen. Der Urinmetabolit 4-Amino-2,6-dinitrotoluol wurde bei 50% der exponierten und 23% der nichtexponierten Arbeiter, der Urinmetabolit 2-Amino-4,6-dinitrotoluol bei 18% der exponierten und 2% der nichtexponierten Arbeiter nachgewiesen. Die Hb-Adduktspiegel des 4-Amino-2,6-dinitrotoluols und die Spiegel der Urinmetaboliten 2-Amino-4,6-dinitrotoluol und 4-Amino-2,6-dinitrotoluol waren in der Gruppe der exponierten signifikant höher als in der Gruppe der nichtexponierten Arbeiter. Die Addukt- und Urinmetabolitenspiegel in der Kontrollgruppe lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Erythrozytenzahlen, Hämoglobin, Kreatinin, GPT und Lymphozytenzahlen waren bei exponierten im Vergleich zu nichtexponierten Personen signifikant niedriger. Harnstoffkonzentrationen und Retikulozytenzahlen im Blut waren bei exponierten Personen signifikant höher im Vergleich zur Kontrollgruppe. Exponierte Personen berichteten über Kopfschmerzen (26%), Schleimhautirritationen (16%), krankheitsbedingte Ausfallzeiten (18%), Abgeschlagenheit (8%), Angst (6%), Atemnot (3%), Übelkeit (5%) und allergische Reaktionen (8%). In der Gruppe der nichtexponierten Arbeiter fiel lediglich ein Arbeiter krankheitsbedingt aus. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die im Blut gemessenen Parameter zwischen Personen mit bzw. ohne Nachweis von 4-Amino-2,6-dinitrotoluol im Urin. Auch hinsichtlich der Beschwerdebilder (Kopfschmerzen, Schleimhautirritationen, krankheitsbedingte Ausfallzeiten, Abgeschlagenheit, Angst, Atemnot und allergische Reaktionen) zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Personen mit bzw. ohne Nachweis von 4-Amino-2,6-dinitrotoluol im Urin. Die Autoren kommen auf Grund der Ergebnisse der Studie zu dem Schluss, dass die Veränderungen der Blutparameter und die gesundheitlichen Beschwerden stärker durch andere Faktoren als durch die Exposition gegenüber 2,4,6-Trinitrotoluol beeinflusst werden.

4 Auswahl der Indikatoren

Die Hauptmetaboliten 4-Amino-2,6-dinitrotoluol und 2-Amino-4,6-dinitrotoluol werden mit dem Urin ausgeschieden. In geringeren Konzentrationen finden sich im

Urin auch unverändertes 2,4,6-Trinitrotoluol, 2,6-Diamino-4-nitrotoluol und 2,4-Diamino-6-nitrotoluol (Bolt et al. 2006; IARC 1996).

Hämoglobin-Addukte von 2,4,6-Trinitrotoluol, 4-Amino-2,6-dinitrotoluol und 2-Amino-4,6-dinitrotoluol und deren Metaboliten werden herangezogen, um die innere Belastung zu erfassen (Ewers et al. 2000; Hagmann et al. 2004; Jones et al. 2005; Liu et al. 1995 a; Neumann et al. 1995; Sabbioni et al. 1996, 2005, 2006). Es konnte gezeigt werden, dass die Hb-Addukt-Konzentration gut mit der externen 2,4,6-Trinitrotoluol-Belastung (Liu et al. 1995 a) und mit der Ausscheidung der beiden Hauptmetaboliten im Urin korreliert (Sabbioni et al. 1996). So fanden sich z. B. bei Arbeitern, die inhalativ und dermal über 8 Stunden 355 mg 2,4,6-Trinitrotoluol aufnahmen, Hb-Addukte mit 2,4,6-Trinitrotoluol von 1106 ng/g Hb (Liu et al. 1995 a), mit 4-Amino-2,6-dinitrotoluol von 174 ng/g Hb und mit 2-Amino-4,6-dinitrotoluol von 7,3 ng/g Hb (Sabbioni et al. 1996).

Die Analyse von 4-Amino-2,6-dinitrotoluol und 2-Amino-2,6-dinitrotoluol im Urin ist im Vergleich zur Hb-Adduktbestimmung besser praktikabel und methodisch weniger anspruchsvoll. Die Ausscheidung der beiden Hauptmetaboliten 4-Amino-2,6-dinitrotoluol und 2-Amino-4,6-dinitrotoluol im Urin ist daher für eine Erfassung der inneren Belastung am besten geeignet (Bolt et al. 2006).

5 Untersuchungsmethoden

Für den Nachweis von 2-Amino-4,6-dinitrotoluol und 4-Amino-2,6-dinitrotoluol existiert eine von der DFG validierte GC-MS-Methode (Angerer und Schaller 2006; Bader et al. 1998). Die Nachweisgrenze beträgt 1 µg/L für 4-Amino-2,6-dinitrotoluol und 4 µg/L für 2-Amino-4,6-dinitrotoluol.

6 Hintergrundbelastung

Ahlborg et al. (1988) führten Messungen bei 7 nichtexponierten Arbeitnehmern durch und fanden keine messbare Hintergrundbelastung mit den beiden Hauptmetaboliten des 2,4,6-Trinitrotoluols. Eine analytische Nachweisgrenze wird in der für die Methodenbeschreibung zitierten Arbeit nicht angegeben (Almog et al. 1983).

In einer Studie in einem Betrieb der Rüstungsaltslastenentsorgung wurden in der Kontrollgruppe ohne Exposition keine Konzentrationen der beiden Hauptmetaboliten über der Nachweisgrenze gemessen, während bei gelegentlicher bzw. regelmäßiger Exposition für 2-Amino-4,6-dinitrotoluol in 0% bzw. 69% und für 4-Amino-

2,6-dinitrotoluol in 47% bzw. 92% der Arbeiter Konzentrationen über der Nachweisgrenze festgestellt werden konnten (Letzel et al. 2003; s. auch Tabelle 2).

7 Evaluierung

Eine Korrelation zwischen äußerer Exposition gegenüber 2,4,6-Trinitrotoluol und der inneren Belastung mit den Metaboliten 2-Amino-4,6-dinitrotoluol oder 4-Amino-2,6-dinitrotoluol im Urin ist aus den vorliegenden Daten nicht ableitbar. Die vorliegenden Daten zu den Hämoglobin-Addukten sind ebenfalls nicht ausreichend. Eine EKA-Korrelation kann daher nicht aufgestellt werden.

Auf der Basis der derzeitigen analytischen Nachweisgrenze wird ein Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert (BAR) für die erwachsene, nicht exponierte Allgemeinbevölkerung von

<1 µg 4-Amino-2,6-dinitrotoluol/L Urin

<4 µg 2-Amino-4,6-dinitrotoluol/L Urin

und damit unterhalb der Nachweisgrenze festgelegt.

8 Interpretation

Ein Biomonitoring sollte zur Objektivierung der Expositionsintensität durchgeführt werden.

Der Urin von 2,4,6-Trinitrotoluol-exponierten Arbeitern, der mediane Konzentrationen an 4-Amino-2,6-dinitrotoluol von 38,6 µmol/mol Kreatinin (67 µg/g Kreatinin bzw. ca. 80 µg/L Urin unter Annahme von 1,2 g Kreatinin/L Urin) und darüber aufwies, war im Ames-Test in vitro mutagen (Ahlborg et al. 1988). Arbeiter, die Ausscheidungen von 800 µg 4-Amino-2,6-dinitrotoluol/L aufwiesen, ließen Chromosomenaberrationen in peripheren Lymphozyten erkennen (Letzel et al. 1997). Bei Arbeitern, die 4-Amino-2,6-dinitrotoluol im Urin in Konzentrationen von 2380 µg/L aufwiesen, wurden Linsentrübungen beobachtet (Zhu et al. 2002).

9 Literatur

- Ahlborg jr G, Einistö P, Sorsa M (1988) Mutagenic activity and metabolites in the urine of workers exposed to trinitrotoluene (TNT). *Br J Ind Med* 45: 353–358
- Almog J, Kraus S, Basch S (1983) Determination of TNT Metabolite in Urine. *Arch Toxicol*, Suppl 6: 351–353

- Angerer J, Schaller KH (2006) Aminodinitrotoluole im Harn als Metabolite des Trinitrotoluols. In: Greim H (Hrsg) Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Band 2: Analysen in biologischem Material, 17. Lieferung, Wiley-VCH, Weinheim
- Bader M, Göen T, Müller J, Angerer J (1998) Analysis of nitroaromatic compounds in urine by gas chromatography-mass spectrometry for the biological monitoring of explosives. *J Chromatogr B* 710: 91–99
- Bolt HM, Degen GH, Dorn SB, Plöttner S, Harth V (2006) Genotoxicity and potential carcinogenicity of 2,4,6-trinitrotoluene: structural and toxicological considerations. *Rev Environ Health* 21: 217–228
- Coombs M, Schillack V (1998) Determination of trinitrotoluene and metabolites in urine by means of gas-chromatography with mass detection. *Int Arch Occup Environ Health* 71: 22–25
- Greim H (Hrsg) (2008) 2,4,6-Trinitrotoluol (und Isomeren in techn. Gemischen). Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten, 45. Lieferung, Wiley-VCH, Weinheim
- Ewers U, Zwirner-Baier I, Neumann HG, Zelder E, Seuren-Kronenberg K (2000) Hämoglobin-Addukt-Konzentrationen sprengstofftypischer nitroaromatischer Verbindungen im Blut von Bewohnern von Rüstungsaltsandorten. Teil 2: Studie Stadtallendorf (ehemaliges DAG- und WASAG-Gelände). *Umweltmed Forsch Prax* 5: 277–284
- Hagmann M, Weiß T, Schaller KH, Angerer J (2004) Belastung und Beanspruchung bei der Entsorgung von Explosivstoffaltlasten – Dosismonitoring und biochemisches Effektmonitoring. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 39: 612–620
- IARC (International Agency for Research on Cancer) (1996) 2,4,6-Trinitrotoluene. IARC-Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to man, Band 65, Lyon, 449–475
- Jones CR, Liu YY, Sepai O, Yan H, Sabbioni G (2005) Hemoglobin adducts in workers exposed to nitrotoluenes. *Carcinogenesis* 26: 133–143
- Letzel S, Kraus T, Bader M, Neubauer S, Gebhart E, Angerer J, Lehnert G (1997) Untersuchungen zur Belastung und Beanspruchung bei der Entsorgung von Trinitrotoluol-haltigen Altlasten. In: Borsch-Galetke E, Struwe F (Hrsg) Psychomentele Belastungen und Beanspruchungen im Wandel von Arbeitswelt und Umwelt. Kanzerogenese und Synkanzerogenese. Dokumentationsband über die 37. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V., Gentner-Verlag, Stuttgart, 335–341
- Letzel S, Göen T, Bader M, Angerer J, Kraus T (2003) Exposure to nitroaromatic explosives and health effects during disposal of military waste. *Occup Environ Med* 60: 483–488
- Liu YY, Yao M, Fang JL, Wang YW (1995 a) Monitoring human risk and exposure to trinitrotoluene (t-TNT) using haemoglobin adducts as biomarkers. *Toxicol Lett* 77: 281–287
- Liu HX, Qin WH, Wang GR, Wang ZZ, Chang YX, Jiang QG (1995 b) Some altered concentrations of elements in semen of workers exposed to trinitrotoluene. *Occup Environ Med* 52: 842–845
- Neumann HG, Albrecht O, van Dorp C, Zwirner-Baier I (1995) Macromolecular adducts caused by environmental chemicals. *Clin Chem* 41: 1835–1840
- Sabbioni G, Wei J, Liu YY (1996) Determination of hemoglobin adducts in workers exposed to 2,4,6-trinitrotoluene. *J Chromatogr B Biomed Appl* 682: 243–248
- Sabbioni G, Liu YY, Yan H, Sepai O (2005) Hemoglobin adducts, urinary metabolites and health effects in 2,4,6-trinitrotoluene exposed workers. *Carcinogenesis* 26: 1272–1279
- Sabbioni G, Jones CR, Sepai O, Hirvonen A, Norppa H, Järventaus H, Glatt H, Pomplun D, Yan H, Brooks LR, Warren SH, Demarini DM, Liu YY (2006) Biomarkers of exposure, effect, and susceptibility in workers exposed to nitrotoluenes. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 15: 559–566

- Sabbioni G, Rumler R (2007) Biomonitoring of workers cleaning up ammunition waste sites. *Biomarkers* 12: 559–573
- Woollen BH, Hall MG, Craig R, Steel GT (1986) Trinitrotoluene: assessment of occupational absorption during manufacture of explosives. *Br J Ind Med* 43: 465–473
- Zhu Z, Li Z, Mi F, Lian S, Dong P, Wu Y, Sun X (2002) Study on the relationship between the opacity of lens and the levels of 2,6-dinitro-4-amino-toluene (DNAT) in the urine of workers exposed to trinitrotoluene (TNT) (chin.). *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi* 20: 42–43

Autoren: T. Kraus, S. Letzel

Von der Arbeitsgruppe verabschiedet: 26. Januar 2009