

„Expositionen gegenüber Stickoxiden im konventionellen Tunnelbau“

10. April 2018

1 Allgemeines

Die Gefahrstoffverordnung [1] fordert den Arbeitgeber in den §§ 7, 9 und 10 auf, zu ermitteln, ob die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten sind. Dies kann durch Arbeitsplatzmessungen oder durch andere geeignete Methoden zur Ermittlung der Exposition erfolgen. Falls keine Arbeitsplatzgrenzwerte vorliegen, ist die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen durch geeignete Beurteilungsmethoden nachzuweisen.

Diese Expositionsbeschreibung stellt eine solche geeignete Methode dar. Es liegt für die beschriebenen Tätigkeiten eine ausreichende Anzahl von Arbeitsbereichsanalysen mit eindeutigem Befund vor, und es sind auch verfahrensbedingt in Zukunft keine Änderungen zu erwarten. Daher können diese Ergebnisse unmittelbar zur Beurteilung der Konzentrationen in der Luft in Arbeitsbereichen herangezogen werden. Weitere Messungen sind nicht erforderlich.

Ungeachtet der hier vorgelegten Ergebnisse ist die Gefährdungsbeurteilung gemäß § 5 Arbeitsschutzgesetz [2], § 6 Gefahrstoffverordnung [1] bzw. § 3 Betriebssicherheitsverordnung [3] für die entsprechenden Tätigkeiten durchzuführen. Die Verpflichtungen zum Einsatz von Stoffen und/oder Verfahren mit geringerem Risiko, zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen und zur Unterrichtung und Unterweisung der Beschäftigten usw. bleiben bestehen.

2 Anwendungsbereich

Diese Expositionsbeschreibung umfasst den konventionellen Tunnelbau. Dabei erfolgt der Tunnelausbruch abschlagsweise in der Regel mittels des Bohr- und Sprengverfahrens. Nach der Sprengung wird das Ausbruchmaterial geladen und aus dem Tunnel abtransportiert (Schuttern). Anschließend erfolgt die Sicherung des Hohlraumes u.a. mittels Baustahlmatten, Ausbaubogen und Spritzbeton (Sichern). Zur Komplettierung der Hohlraumsicherung können im letzten Arbeitsschritt des Abschlages die Anker und Spiesse gebohrt und eingebaut (Bohren) werden. Zur Vorbereitung des nächsten Abschlages werden nun mit dem vor Ort befindlichen Bohrwagen die Löcher für die nächste Sprengung gebohrt und mit Sprengstoff besetzt.

In einer Schicht werden i.d.R. je nach erforderlichem Sicherungsaufwand bis zu drei Abschlüsse vorgenommen.

Es werden Kriterien für einen Verzicht auf die messtechnische Überwachung der Stickoxid-Exposition bei diesen Arbeiten festgelegt. Wird der Tunnelausbruch in Abhängigkeit von der Gesteinsfestigkeit rein mechanisch durch Einsatz eines Tunnelbaggers oder mittels Teilschnittmaschine vorgenommen, ist die Exposition der Beschäftigten immer geringer und daher auf der sicheren Seite liegend mit dieser Expositionsbeschreibung abgedeckt.

Die Expositionen gegenüber Dieselmotoremissionen werden in der Expositionsbeschreibung „Expositionen gegenüber Dieselmotoremissionen (DME) von Baumaschinen und -fahrzeugen“ dargestellt.

3 Arbeitsverfahren

Beim Bohren der Sprenglöcher werden elektrohydraulisch betriebene Bohrwagen eingesetzt, die nur zum Fahren mit einem Dieselmotor angetrieben werden. Nach der Sprengung wird etwa 15 Minuten abgewartet, bis durch die mit voller Leistung betriebene Tunnelbelüftung die Sprengschwaden ausgewettert wurden. Nachdem der Sprengberechtigte den Arbeitsbereich freigemessen hat, kann das Schuttern zugelassen werden.

Beim Schüttern lädt ein Radlader das gelöste Gestein auf die bereitgestellten Muldenkipper, die das Ausbruchsmaterial aus dem Tunnel transportieren.

Zum Sichern werden zunächst mit einer Hubarbeitsbühne die Baustahlmatten an der Ausbruchlaibung befestigt und anschließend der Ausbaubogen aufgestellt und ausgerichtet. Die Hubarbeitsbühnen neuerer Bauart sind mit einem E-Power-Pack ausgestattet, welches im Hubbetrieb einen reinen elektrohydraulischen Betrieb zulässt und der Dieselmotor nur noch zum Verfahren benötigt wird. Im nächsten Arbeitsschritt des Sicherns werden die Baustahlmatten und der Ausbaubogen mit Spritzbeton eingespritzt. Dazu wird ein elektrohydraulisch betriebenes Spritzmobil eingesetzt, welches den Dieselantrieb ebenfalls nur zum Verfahren benötigt. Dieselbetriebene Betonmischer, in aller Regel LKW's mit Strassenzulassung, übergeben den Beton für die Spritzbetonherstellung in die Betonpumpe des Spritzmobils.

Mit dem Bohren wird die Hohlräumeicherung komplettiert. Dazu steht der elektrohydraulisch angetriebenen Bohrwagen vor der Ortsbrust und stellt die Bohrungen zum Einbau der Anker und Spieße her. Wie das Spritzmobil und die Hebebühne wird auch der Bohrwagen nur zum Verfahren mit einem Dieselmotor angetrieben.

Je nach Sicherungsaufwand können pro Schicht bis zu 3 komplette Abschlüge (Sprengen, Warten, Schüttern, Sichern, Bohren) hergestellt werden. Dafür wird in der Schicht insgesamt 45 Minuten nach den Sprengungen gewartet, 3 Stunden geschüttet, 3,5 Stunden gesichert und 3,5 Stunden gebohrt. Bei schlechten geologischen Verhältnissen werden nur noch 2 Abschlüge getätigt, die Zeiteile für das wesentlich geringer exponierte Sichern und Bohren erhöhen sich dadurch.

4 Gefahrstoffe

Dieselbetriebene Motoren haben im Abgas neben Dieselruß (Dieselmotoremission, DME) ein großes Spektrum von Gefahrstoffen, unter anderem Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂) sowie Stickoxide (NO und NO₂). Auch die bei der Sprengung entstehenden Sprengschwaden enthalten Stickoxide. In dieser Expositionsbeschreibung werden die Stickoxid-Expositionen für den konventionellen Tunnelbau betrachtet.

Tabelle 1: Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide

		Arbeitsplatzgrenzwerte		Bezogen auf eine 10 Stunden-Schicht
Stickstoffmonoxid	NO	2 ml/m ³ (ppm)	2,5 mg/m ³	1,6 ml/m³ (ppm)
Stickstoffdioxid	NO ₂	0,5 ml/m ³ (ppm)	0,95 mg/m ³	0,4 ml/m³ (ppm)

Bei der Bewertung der in Kapitel 5 aufgeführten Expositionen wird von einer 10 Stunden-Schicht ausgegangen, jeweils zu einem Drittel Schüttern, Sichern und Bohren. Damit bewegt man sich auf der sicheren Seite, denn 3 Stunden Schüttern (Tätigkeit mit den höchsten Expositionen) sind weniger als ein Drittel der 10 Stunden-Schicht.

Die folgenden Expositionen sind in Relation zu den in der letzten Spalte aufgeführten - auf eine 10 Stunden-Schicht bezogenen Grenzwerten - zu setzen.

5 Gefahrstoffexpositionen

2009 bis 2011 sowie 2017 und 2018 hat die BG BAU Messungen von NO und NO₂ auf zahlreichen Tunnelbaustellen durchgeführt. Die Probenahme erfolgte entweder an der Person getragen oder stationär im Arbeitsbereich

Die Expositionen bei den drei Tätigkeiten Schüttern, Sichern, Bohren, wurden jeweils getrennt ausgewertet. In Tabelle 2 sind die statistischen Daten der Messdaten-Kollektive aufgeführt.

Bei den Messungen 2017/18 entsprach die überwiegende Anzahl der in den Maschinen eingesetzten Dieselmotoren der Abgasstufe III B (Richtlinie 97/68/EG für mobile Maschinen), während bei der

ersten Messskampagne von 2009 bis 2011 Dieselmotoren der Abgasstufe III A im Einsatz waren, da die Stufe III B zu diesem Zeitpunkt noch gar nicht in Kraft getreten war.

Bei zwei der Baustellen wo 2017/18 gemessen wurde, waren jedoch relativ alte Maschinen im Einsatz, so dass hier die Motoren der Abgasstufe III A noch überwogen haben. Daher wurde das 2017/18er Kollektiv einmal mit und einmal ohne diese beiden Baustellen (mit überwiegend III A Motoren) ausgewertet.

In den Berechnungen der Auswertungen wurden Messungen, bei denen die Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze lagen, mit der Hälfte des unteren Messbereiches berücksichtigt. Die unterschiedlichen Minimalwerte im Zeitraum 2009 bis 2011 bzw. 2017 bis 2018 resultieren aus der Verwendung von unterschiedlichen Messgeräten: Ständen 2009 – 2011 nur Geräte mit geringerer Empfindlichkeit zur Verfügung, konnten die Messungen 2017 – 2018 mit neuen, empfindlicheren Messgeräten durchgeführt werden.

Tabelle 2: NO-/NO₂-Expositionen (ml/m³, ppm) durch den Einsatz dieselbetriebener Maschinen beim konventionellen Tunnelbau

Messungen	Tätigkeit	Anzahl NO / NO ₂	Min NO / NO ₂	50% NO / NO ₂	95% NO / NO ₂	Max NO / NO ₂
2009/11	Schuttern	32 / 36	1,3 / < 0,5	3,8 / 1,4	6,6 / 2,1	7,0 / 2,1
	Bohren	4 / 7	1,0 / 0,5	< 1,0 / < 0,5	< 1,0 / < 0,5	1,0 / < 0,5
	Sichern	10 / 10	1,0 / 0,5	< 1,0 / < 0,5	4,2 / 0,8	4,9 / 0,9
2017/18	Schuttern (mit III A Motoren)	20 / 19	< 0,3 / < 0,04	1,6 / 0,4	5,8 / 1,3	7,3 / 3,1
	Bohren	9 / 9	< 0,3 / < 0,04	0,5 / 0,1	0,6 / 0,4	0,6 / 0,6
	Sichern	15 / 14	< 0,3 / < 0,04	0,9 / 0,1	1,8 / 0,3	1,9 / 0,3
	Schuttern (ohne III A Motoren)	13/12	< 0,3 / < 0,04	1,4 / 0,3	2,7 / 0,9	2,7 / 1,0

6 Befund

Die im Kapitel 5 in Tabelle 2 dargestellten Messungen zeigen eine Entwicklung hin zu niedrigeren Expositionen der Beschäftigten gegenüber den Stickoxiden. Die Messungen 2017/18 haben beim Schuttern einen 95%-Wert von 5,8 ppm für NO (gegenüber 6,6 ppm bei den Messungen 2009/11) und 1,3 ppm für NO₂ (gegenüber 2,2 ppm bei den Messungen 2009/11) gezeigt. Allerdings waren wie beschrieben bei den Messungen 2017/18 auf zwei Baustellen zum Schuttern mehrheitlich „alte Maschinen“ mit der Abgasstufe III A im Einsatz.

Nimmt man bei der Auswertung der Messdaten die Tunnelbaustellen mit den III A Motoren heraus und wertet für das Schuttern nur die Baustellen aus, bei denen überwiegend III B Motoren im Einsatz waren, liegen die 95%-Werte bei 2,7 ppm für NO bzw. 0,9 ppm für NO₂. In Tabelle 3 wird die schichtbezogene Exposition unter Berücksichtigung der in Kapitel 3 angegebenen Tätigkeiten in der Schicht ermittelt.

Tabelle 3: Schichtbezogene Bewertung der NOx-Expositionen beim konventionellen Tunnelbau

	NO (ppm)		NO ₂ (ppm)	
	Tätigkeit	Schicht	Tätigkeit	Schicht
Schuttern	2,7	0,9	0,9	0,27
Bohren	0,6	0,2	0,4	0,13
Sichern	1,8	0,6	0,3	0,1
Schicht		1,7		0,5

Mit 1,7 ppm für NO und 0,5 ppm für NO₂ liegt die schichtbezogene Exposition im Bereich der auf eine 10 Stunden Schicht umgerechneten AGW für die Stickoxide.

7. Empfehlungen

Im Vergleich zu den Messungen 2009/11 zeigen die aktuellen Messungen 2017/18 bei überwiegender Einsatz von Maschinen mit III B Motoren eine deutlich niedrigere Exposition gegenüber Stickoxiden beim konventionellen Tunnelbau. Höhere Expositionen in der gleichen Größenordnung wie bei den Messungen 2009/11 wurden 2017/18 auch dann ermittelt, wenn überwiegend Maschinen mit III A Motoren eingesetzt wurden.

Bei einigen Messungen konnte der Nachweis nicht erbracht werden, dass die in der TRGS 554 für „Bauarbeiten unter Tage“ geforderte Frischluftmenge von 4 m³ / kW*min konsequent zugeführt wurde.

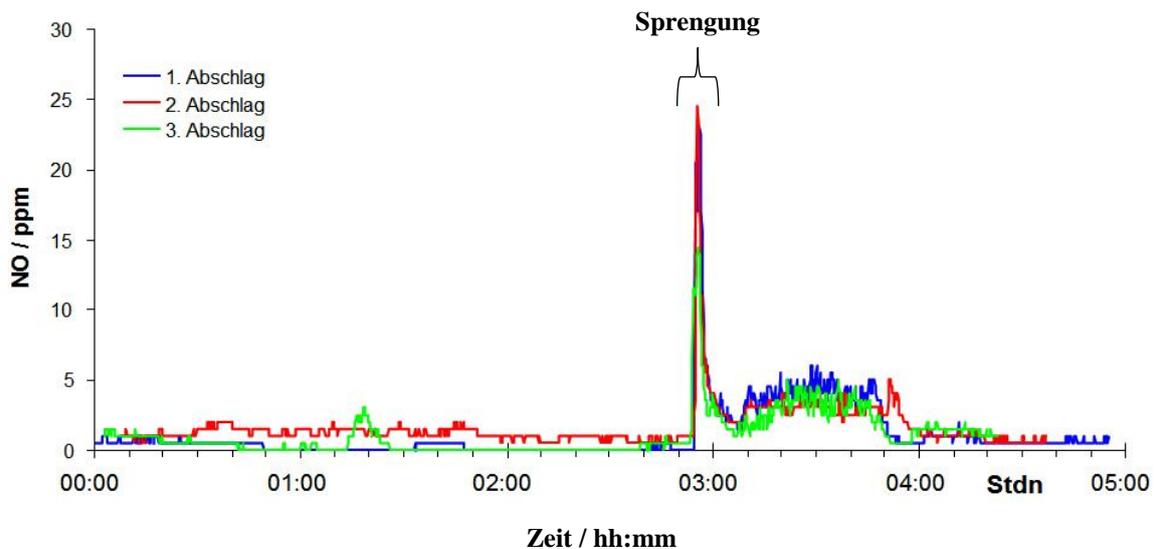


Abbildung 2: Verlauf der NO-Exposition beim Sichern, Bohren, bei der Sprengung und beim Schüttern; es wurden drei Messungen übereinander gelegt

Daher ist davon auszugehen, dass unter

- konsequenter Einhaltung der in der TRGS 554 vorgeschriebenen Bewetterung,
- strikter Einhaltung der Arbeitspause nach der Sprengung bis die Schwaden ausgewettert wurden,
- stufenweisem Ersatz der Maschinen mit III A Motoren durch neuere, die mindestens die Abgasstufe III B erfüllen,
- Einsatz des Dieselantriebs für Spritzmobile und Bohrwagen ausschließlich für Fahrbewegungen und
- Minimierung des Einsatzes von Maschinen mit Dieselmotoren < 56 kW Leistung (da diese, selbst wenn Abgasgrenzwerte existieren, noch immer sehr hohe Mengen an Stickoxiden mit dem Abgas freisetzen)

die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten werden können. Diese Maßnahmen sind Gegenstand der Branchenlösung der Sozialpartner der Bauwirtschaft zur Minderung der Stickoxidexpositionen beim konventionellen Tunnelbau.

Ein Summenindex ist nach TRGS 900 für Stickoxide aus Dieselaabgasen nicht zu berücksichtigen.

8. Anwendungshinweise

Der Anwender dieser Expositionsbeschreibung muss bei Verfahrensänderungen und ansonsten regelmäßig, mindestens aber einmal jährlich, die Gültigkeit der Voraussetzungen überprüfen und das Ergebnis dokumentieren. Hierzu zählt u.a. die Prüfung der unveränderten Gültigkeit dieser Expositions-

beschreibung. Die Überprüfung kann im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 Arbeitsschutzgesetz, § 6 Gefahrstoffverordnung bzw. § 3 Betriebssicherheitsverordnung erfolgen.

Diese Expositionsbeschreibung gibt dem Arbeitgeber praxisgerechte Hinweise, wie er seinen Pflichten insbesondere nach § 7 Abs. 8 der Gefahrstoffverordnung nachkommen kann. Bei Anwendung dieser Expositionsbeschreibung bleiben andere Anforderungen der Gefahrstoffverordnung bestehen, insbesondere zur Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung (§ 6), zum Einsatz von Stoffen und/oder Verfahren mit geringerem Risiko, einschließlich der Dokumentation eines eventuellen Verzichts auf eine Substitution § 7(3), die Verpflichtung zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen (§ 7(4)) sowie die Verpflichtung zur Unterrichtung und Unterweisung der Beschäftigten einschließlich der Erstellung schriftlicher Betriebsanweisungen (§ 14).

9 Überprüfung

Diese Expositionsbeschreibung wurde im April 2018 verabschiedet. Sie wird in jährlichen Abständen überprüft. Sollten Änderungen notwendig werden, werden diese veröffentlicht.

10 Verfasser

Diese Expositionsbeschreibung wurde gemeinsam erarbeitet von der

- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft,
- dem Hauptverband der deutschen Bauindustrie und
- der Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt.

11 Literatur

1. Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010 (BGBl. I S 1643), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49)
2. Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz) vom 7. August 1996 (BGBl. 1, S. 1246 ff.), zuletzt geändert durch Artikel 427 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)
3. Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV) vom 03. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), zuletzt geändert durch Artikel 15 der Verordnung vom 2. Juni 2016 (BGBl. I S. 1257)
4. Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). B ArbB1 (2006) Nr. 1, S. 41 – 55, zuletzt geändert und ergänzt durch GMB1 2016, S. 474 v. 24.6.2016 [Nr. 24]
5. Expositionsbeschreibung „Expositionen gegenüber Dieselmotoremissionen (DME) von Baumaschinen und -fahrzeugen“, BG BAU, Juli 2017, www.gisbau.de ; Expositionsbeschreibungen Service‘