

## **Toxikologische Bewertung der Immissionsdaten zum Betrieb der ehemaligen Kaltgasfackel in Rodewald OT Neudorf**

### **Vorbemerkung**

Das NLGA hat mit Datum 14.03.2016 eine toxikologische Bewertung von mehreren Umweltgutachten zum ehemaligen BEB-Betriebsplatz Suderbruch in 31637 Rodewald-Neudorf und angrenzender Bereiche vorlegt. Unter diesen Umweltgutachten befand sich auch der Bericht des TÜV Hannover („Gutachterliche Stellungnahme über Emissionsmessungen an einer Kaltgasfackel bei der Firma BEB Erdgas Erdöl, District Barenburg, Schlager Damm 3, 2839 Barenburg, 07.09.1988“). Zur Bewertung der Gesamtbelastung in der Immission insbesondere durch Benzol, aber auch durch Schwefelwasserstoff an den Punkten sensibler Nutzungen in der Nachbarschaft zur Anlage (Wohnbebauung) wäre bereits 1988 eine Immissionsprognose sinnvoll und möglich gewesen. Das NLGA hatte deshalb in seiner abschließenden Bewertung angeregt zu prüfen, ob die Ermittlung/Prognose der Zusatzbelastung und der resultierenden Gesamtbelastung in der Immission - z.B. für Benzol und Schwefelwasserstoff - noch nachträglich vorgenommen werden kann, um auf dieser Basis das seinerzeitige gesundheitliche Risiko besser beurteilen zu können. Diese Anregung des NLGA wurde aktiv aufgegriffen und die Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe (ZUS LLG) des GAA Hildesheim wurde nachfolgend mit der Durchführung einer Immissionsprognose beauftragt. Die ZUS LLG hat nun mit Bericht vom 18.05.2016 eine „Immissionsprognose für den Betrieb einer Kaltgasfackel in Rodewald OT Neudorf“ vorgelegt.

### **A) Grundlagen der Immissionsprognose**

Gegenstand des Berichts der ZUS LLG ist die Ermittlung von Immissionskonzentrationen für Benzol (B), Toluol (T), Ethylbenzol (E), Xylole (X) (Stoffgruppe BTEX) und Schwefelwasserstoff im Nahbereich des ehemaligen Standortes der Kaltgasfackel der BEB Erdgas Erdöl GmbH in 31637 Rodewald-Neudorf durch eine Immissionsprognose. Die Basis der Immissionsprognosen sind die Emissionskonzentrationen der genannten Einzelstoffe aus der gutachtlichen Stellungnahme des

TÜV Hannover e. V. (07.09.1988). Die Emissionsmassenströme beruhen auf den in Anlage 1 und Anlage 6 des TÜV-Gutachtens aufgeführten Emissionskonzentrationen für Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole und dem in Abschnitt 6 des Berichts quantifizierten Volumenstrom der Kaltgasfackel berechnet. Um der Spannweite der messtechnisch ermittelten Schadstoffkonzentrationen Rechnung zu tragen, wurde ein maximaler und ein minimaler Emissionsmassenstrom, jeweils auf Basis des höchsten bzw. niedrigsten Einzelmesswertes des jeweiligen Stoffes, berechnet. Die verwendeten Daten sind der Tab. 1 zu entnehmen:

Tab. 1: Immissionsprognose: Verwendete Emissionskonzentrationen, Volumenströme und Massenströme (ZUS LLG, Mai 2016; TÜV Hannover, 1988)

| <b>Stoff</b>     | <b>Höchste Konzentration<br/>[mg/m<sup>3</sup>]</b> | <b>Niedrigste Konzentration<br/>[mg/m<sup>3</sup>]</b> | <b>Volumenstrom<br/>[m<sup>3</sup>/h]</b> | <b>Maximaler Massenstrom<br/>[g/h]</b> | <b>Minimaler Massenstrom<br/>[g/h]</b> |
|------------------|---|--|---|--|--|
| H <sub>2</sub> S | 70  | 25   | 60  | 4,2                                    | 1,5                                    |
| Benzol           | 1.890   | 1.664  | 60  | 113,4                                  | 99,8                                   |
| Toluol           | 282   | 206  | 60  | 16,9                                   | 12,4                                   |
| Ethylbenzol      | 21  | 8  | 60  | 1,3                                    | 0,5                                    |
| Xylole           | 30  | 11   | 60  | 1,8                                    | 0,7                                    |

Die Höhe der Quelle Kaltgasfackel wurde mit 8 m zugrunde gelegt. In Bezug auf die meteorologischen Situation wurde im vorliegenden Fall eine Ausbreitungsklassenstatistik der DWD-Station Hannover-Flughafen verwendet; die Daten dieser Station waren auch Grundlage der Ausbreitungsrechnung im Gutachten des TÜV Hannover e. V. (1988). Zur Ausbreitungsrechnung wurde das Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 verwendet, das den Anforderungen des Anhangs 3 der TA Luft (2002) entspricht. Weitere Detailinformationen sind unmittelbar dem Bericht der ZUS LLG (Mai 2016) zu entnehmen.

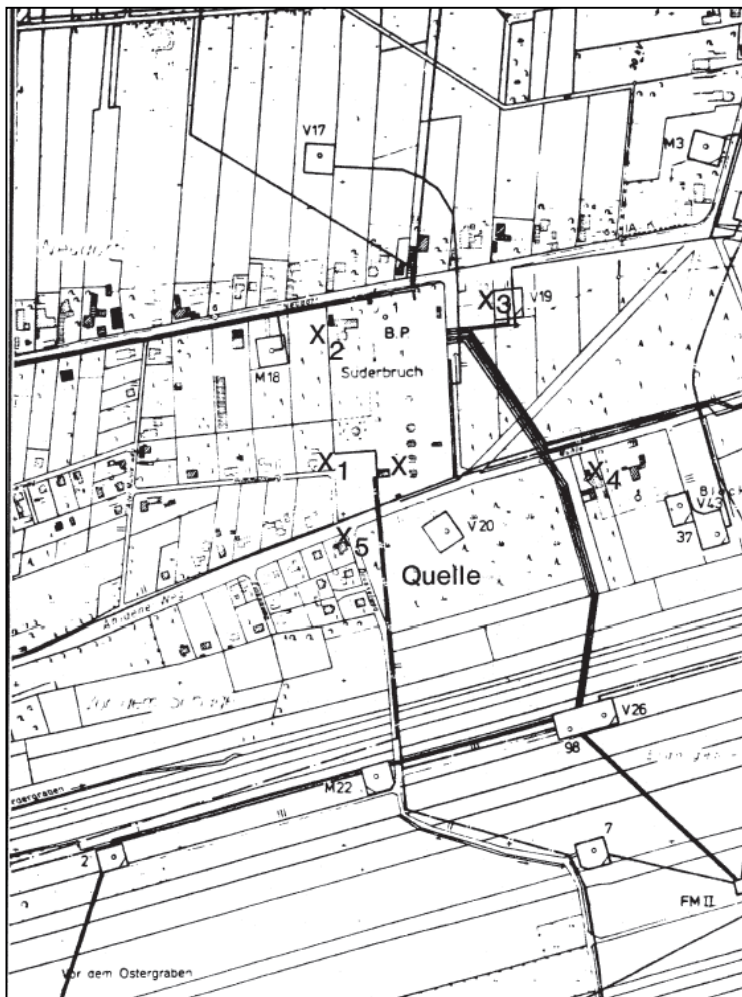
## **B) Prognostizierte Immissionskonzentrationen**

Tab. 2 zeigt die Ergebnisse der Immissionsprognose mit den an den Beurteilungspunkten (BUP) X<sub>1</sub>-X<sub>5</sub> resultierenden min./max.-Konzentrationen (ZUS LLG, Mai 2016). Die Beurteilungspunkte X<sub>1</sub>-X<sub>5</sub> repräsentieren die Orte der nächstgelegenen sensiblen Nutzung (Wohnbebauung). Die Abb. 1 informiert über die Lage der BUP in der direkten Nachbarschaft des ehemaligen BEB-Betriebsplatzes; die Kaltgasfackel ist hier mit X gekennzeichnet. Die nächstgelegene Wohnbebauung war von der Kaltgasfackel in nördlicher Richtung ca. 200 m, in westlicher Richtung ca. 100 m, in südwestlicher Richtung ca. 125 m und in östlicher Richtung ca. 300 m entfernt (Stand: 1988). In südlicher und östlicher Richtung lagen vorwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen mit Waldeinschluss.

Tab. 2: Ergebnisse der Immissionsprognose (ZUS LLG, Mai 2016)

| BUP            | Schadstoffkonzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |      |        |      |        |      |             |      |        |      |
|----------------|--|------|--------|------|--------|------|-------------|------|--------|------|
|                | Schwefelwasserstoff                                  |      | Benzol |      | Toluol |      | Ethylbenzol |      | Xylole |      |
|                | min.   | max. | min.   | max. | min.   | max. | min.        | max. | min.   | max. |
| X <sub>1</sub> | 0,06   | 0,15 | 3,62   | 4,12 | 0,44   | 0,61 | 0,02        | 0,05 | 0,02   | 0,06 |
| X <sub>2</sub> | 0,01   | 0,03 | 0,64   | 0,72 | 0,08   | 0,11 | < 0,01      | 0,01 | < 0,01 | 0,01 |
| X <sub>3</sub> | 0,01   | 0,03 | 0,82   | 0,94 | 0,10   | 0,14 | < 0,01      | 0,01 | 0,01   | 0,01 |
| X <sub>4</sub> | 0,01   | 0,04 | 0,95   | 1,11 | 0,12   | 0,17 | < 0,01      | 0,01 | 0,01   | 0,02 |
| X <sub>5</sub> | 0,03   | 0,07 | 1,75   | 2,19 | 0,22   | 0,33 | 0,01        | 0,02 | 0,01   | 0,03 |

Abb. 1: Lage der BUP X<sub>1</sub>-X<sub>5</sub> (Wohnbebauung) und der Kaltgasfackel (X) (Quelle: TÜV Hannover, 1988)



Die prognostizierten Immissionskonzentrationen (Tab. 2) sind nach Maßgabe der TA Luft (2002) Kenngrößen der Zusatzbelastung. Um die resultierenden Gesamtbelastungen abschätzen zu können, wurde die Hintergrundbelastung ländlicher Gebiete Niedersachsens zum Zeitpunkt der

Emissionsmessungen (TÜV, 1988) recherchiert. Die Datenlage dazu ist begrenzt (Tab. 3) (NLÖ, 1998).

Tab. 3: BTX-Konzentrationen (Jahresmittel) von 1991-1993 in ländlichen Gebieten Niedersachsens (NLÖ, 1998)

| LÜN-Station                           | Jahr | Benzol [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Toluol [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Xylole [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|---------------------------------------|------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Büddenstedt/Reinsdorf                 | 1991 | 3,2                                 | 3,4                                 | 4,2                                 |
|                                       | 1992 | 2,4                                 | 3,4                                 | 5,3                                 |
|                                       | 1993 | 2,3                                 | 3,4                                 | 4,7                                 |
| Solling/Dassel*                       | 1991 | 3,1                                 | 3,5                                 | 3,0                                 |
|                                       | 1992 | 2,2                                 | 3,2                                 | 4,6                                 |
|                                       | 1993 | 2,1                                 | 3,1                                 | 3,0                                 |
| Wurmberg*                             | 1992 | 2,0                                 | 3,0                                 | 3,0                                 |
|                                       | 1993 | 2,0                                 | 3,0                                 | 3,0                                 |
| Wilhelmshaven,<br>Utterser Landstraße | 1991 | 3,1                                 | 3,5                                 | 3,1                                 |
|                                       | 1992 | 2,1                                 | 3,1                                 | 3,0                                 |
|                                       | 1993 | 2,1                                 | 3,0                                 | 3,1                                 |

\*Wald

Der Bericht NLÖ (1998), eine Übersicht zu Daten des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN), nennt zu den Konzentrationen entsprechend Tab. 3 als Nachweisgrenzen für Benzol und Toluol jeweils  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und für die Summe der Xylole  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Insofern wären die Daten zum ländlichen Hintergrund (Tab. 3) kritisch zu hinterfragen, da nach DIN 32645:2008-11 (Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung) nur Werte  $\geq$  Bestimmungsgrenze als *quantifiziert* gelten. Als allgemeine Regel gilt, dass Bestimmungsgrenzen etwa das Dreifache der Nachweisgrenzen betragen; insbesondere für Benzol würde dieses bedeuten, dass Konzentrationen erst ab etwa  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als quantitativ sicher bestimmt gelten würden. Die Daten nach Tab. 3 beinhalten daher eine nicht unerhebliche Meßunsicherheit für Konzentrationen nur wenig oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen. BTEX-Hintergrundkonzentrationen unmittelbar zu Rodewald in dem interessierenden Zeitraum des Fackelbetriebs oder darüber hinaus sind nicht bekannt.

Für die Abschätzung der Gesamtbelastung (in 1988) wurden orientierend die arithmetischen Mittel der gemessenen Konzentrationen der BTX entsprechend Tab. 3 für das Jahr 1991 (gebildet aus den verfügbaren 3 Jahresmittelwerten) sowie die Maxima der prognostizierten

zusätzliche Immissionskonzentrationen nach Tab. 2 verwendet. Die resultierenden Gesamtbelastungen in der Immission sind in der Tab. 4 aufgeführt. Daten zur Vorbelastung waren zu Ethylbenzol und Schwefelwasserstoff nicht verfügbar, für diese beiden Stoffe kann deshalb die Gesamtbelastung nicht angegeben werden.

Tab. 4: Gesamtbelastungen BTX in der Immission an den BUP X<sub>1</sub>-X<sub>5</sub>, Vorbelastung: Hintergrundwerte ländlicher Raum Niedersachsen 1991

| <b>Gesamtbelastung Immission [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b> |                              |                               |                              |                               |                              |                               |
|--|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>BUP</b>   | <b>Benzol</b>                |                               | <b>Toluol</b>                |                               | <b>Xylole</b>                |                               |
|  | <b>Zusatz-<br/>belastung</b> | <b>Gesamt-<br/>belastung*</b> | <b>Zusatz-<br/>belastung</b> | <b>Gesamt-<br/>belastung*</b> | <b>Zusatz-<br/>belastung</b> | <b>Gesamt-<br/>belastung*</b> |
| X <sub>1</sub>   | 4,12                         | 7,25                          | 0,61                         | 4,08                          | 0,06                         | 3,59                          |
| X <sub>2</sub>   | 0,72                         | 3,85                          | 0,11                         | 3,58                          | 0,01                         | 3,54                          |
| X <sub>3</sub>   | 0,94                         | 4,07                          | 0,14                         | 3,61                          | 0,01                         | 3,54                          |
| X <sub>4</sub>   | 1,11                         | 4,24                          | 0,17                         | 3,64                          | 0,02                         | 3,55                          |
| X <sub>5</sub>   | 2,19                         | 5,32                          | 0,33                         | 3,80                          | 0,03                         | 3,56                          |

\* Vorbelastung: 3,13  $\mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$ ; 3,47  $\mu\text{g Toluol}/\text{m}^3$ ; 3,53  $\mu\text{g Xylole}/\text{m}^3$  (Daten aus Tab. 3)

Vor dem Hintergrund der anzunehmenden höheren Meßunsicherheit der niedersächsischen Hintergrunddaten insbesondere zum Zeitraum 1991-1993 (Tab. 3) wurden zusätzliche Literaturdaten ermittelt. Die Publikation des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) (1992) „Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen“ führt als Belastung für den ländlichen Raum eine „aus Gründen der Repräsentanz gemittelte“ Benzol-Konzentration von 0,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf<sup>1</sup>.

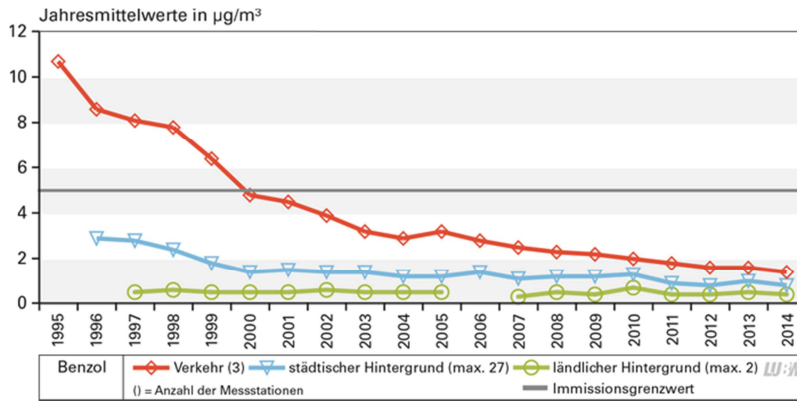
Als übliche Benzol-Konzentrationen in ländlichen Gebieten Deutschlands zitieren Wieben et al. (1999) sowie Wieben und Kruse (1999) Werte „< 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ “ bzw. „0,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ “.

Langjährige Datenreihen der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) zeigen Benzol-Jahresmittelwerte für den ländlichen Hintergrund im Zeitraum von 1997-2013 durchgehend von etwa 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , jedoch immer unterhalb von 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bemerkenswert ist hier, dass ab 1997, dem Beginn der systematischen Messungen, im ländlichen Hintergrund die Werte auf bereits niedrigem Niveau um 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lagen, obwohl an den Verkehrsmeßstationen zwischen 1997-1999 der Immissionsgrenzwert von 5  $\mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$  mit Konzentrationen von etwa 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 7,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und 6,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  noch überschritten worden ist. Die Benzol-Meßwerte zum städtischen Hintergrund lagen zwischen 1996-1999 ebenso deutlich

<sup>1</sup> Die Konzentration 0,7  $\mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$  wird in LAI (1992) auf den Seiten 125, 126 und 140 aufgeführt. Auf Seite 110 wiederum wird unter der Stoffbeschreibung Benzol ein Wert < 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  genannt. Die letztere Konzentration erscheint auch im „- Materialienband – Band II“ zu LAI (1992).

über der Hintergrundbelastung im ländlichen Raum, gehen dann ab dem Jahr 2000 auf Jahresmittel von etwa  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zurück und nähern sich an (Abb. 2).

Abb. 2: Benzol-Immissionsentwicklung in Baden-Württemberg. ( ) = Anzahl der ausgewerteten Messstationen. (Quelle: LUBW)



Die LUBW-Daten zu Benzol im ländlichen Raum unterstützen die Festsetzung des Benzolhintergrundwertes in ländlichen Gebieten von  $< 1$  bzw.  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durch den LAI.

Die auf Basis des LAI-Hintergrundwertes für den ländlichen Raum (1992) alternativ abgeschätzten Gesamtbelastungen für Benzol in der Immission sind der Tab. 5 zu entnehmen.

Tab. 5: Gesamtbelastungen Benzol in der Immission an den BUP  $X_1$ - $X_5$ , Vorbelastung: Hintergrundwert Benzol ländlicher Raum des Länderausschusses für Immissionsschutz (1992)

| BUP   | Benzol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                  |
|-------|-------------------------------------|------------------|
|       | Zusatzbelastung                     | Gesamtbelastung* |
| $X_1$ | 4,12                                | 4,82             |
| $X_2$ | 0,72                                | 1,42             |
| $X_3$ | 0,94                                | 1,64             |
| $X_4$ | 1,11                                | 1,81             |
| $X_5$ | 2,19                                | 2,89             |

\* Vorbelastung:  $0,7 \mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$  (LAI, 1992)

### C) Bewertung

Zur Bewertung der berechneten BTX-Immissionskonzentrationen (Gesamtbelastung) werden von uns im Folgenden international etablierte Beurteilungswerte, Beurteilungswerte der TA Luft (2002)/der 39. BImSchV und die der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) verwendet. Die entsprechenden Beurteilungsmaßstäbe zur Bewertung der chronisch-inhalativen Exposition (und orientierend zu Ethylbenzol sowie  $\text{H}_2\text{S}$ ) sind der Tab. 6 zu

entnehmen. Die aktuellen Werte der U.S. EPA und ATSDR zu Toluol und Xylole werden von uns bevorzugt verwendet, da sie insbesondere auf neueren Literaturdaten im Vergleich zu LAI (1997) beruhen.

Im Fall von Ethylbenzol wird in der gutachterlichen Praxis als Beurteilungsgröße auch der Wert 1/100 MAK (Tab. 6) verwendet. Die DfG-MAK-Kommission äußert sich demgegenüber dahingehend, dass der MAK-Wert nicht geeignet ist, mögliche Gesundheitsgefährdungen durch langandauernde Einwirkungen von Verunreinigungen der freien Atmosphäre, z.B. in der Nachbarschaft von Industrieunternehmen, anhand konstanter Faktoren abzuleiten (DfG, 2016). Nach LAI (2004) erscheint es *hilfsweise* vertretbar, 1/100 des jeweiligen Arbeitsplatzgrenzwertes heranzuziehen, wenn keine anderen Beurteilungsmaßstäbe zur Verfügung stehen. Mit dem MRL der ATSDR sowie der RfC der U.S. EPA ist dieses für Ethylbenzol (und auch mit der RfC zu Schwefelwasserstoff) allerdings nicht der Fall.

Tab. 6: Beurteilungsmaßstäbe der chronisch-inhalativen Exposition zur Bewertung der Gesamtbelastung in der Immission

| Stoff               | Wert  | Quelle   |
|---------------------|---|--|
| Schwefelwasserstoff | 0,002 mg/m <sup>3</sup> (RfC)   | U.S. EPA (2003/2016)                               |
| Benzol              | 5 µg/m <sup>3</sup> (Immissionswert zum Schutz der menschlichen Gesundheit <sup>a</sup> , Immissionsgrenzwert <sup>b</sup> )  | TA Luft (2002), 39. BImSchV (2010)                 |
| Toluol              | 5 mg/m <sup>3</sup> (RfC)<br>3,8 mg/m <sup>3</sup> (chronic inhalation MRL)<br>0,03 mg/m <sup>3</sup> (Zielwert für die staatliche Luftreinhalteplanung) <sup>c</sup>                 | U.S. EPA (2005/2016)<br>ATSDR (2015)<br>LAI (1997) |
| Ethylbenzol         | 1 mg/m <sup>3</sup> (RfC)<br>0,06 ppm (0,26 mg/m <sup>3</sup> ) (chronic inhalation MRL)<br>0,88 mg/m <sup>3</sup> (Beurteilungswert) <sup>d</sup>                                    | U.S. EPA (1991/2016)<br>ATSDR (2010)<br>LAI (2004) |
| Xylole              | 0,1 mg/m <sup>3</sup> (RfC)<br>0,05 ppm (0,217 mg/m <sup>3</sup> ) (chronic inhalation MRL)<br>0,03 mg/m <sup>3</sup> (Zielwert für die staatliche Luftreinhalteplanung) <sup>e</sup> | U.S. EPA (2003/2016)<br>ATSDR (2007)<br>LAI (1997) |

<sup>a</sup> TA Luft (2002), <sup>b</sup> 39. BImSchV (2010), <sup>c</sup> der Zielwert enthält einen (weiteren) Unsicherheitsfaktor von 10, die gesundheitliche Ableitung führte zu 0,3 mg Toluol/m<sup>3</sup>, <sup>d</sup> Basis ist 1/100 DfG-MAK, <sup>e</sup> der Zielwert enthält einen (weiteren) Unsicherheitsfaktor von 10, die gesundheitliche Ableitung führte zu 0,3 mg Xylole/m<sup>3</sup>; MRL = Minimal Risk Level, RfC = Reference Concentration

Rechtsverbindliche Beurteilungswerte für das Humankarzinogen Benzol gibt es in Deutschland ab 1995. Die 23. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (23. BImSchV) bildete die Grundlage dafür, Benzol in der Außenluft verpflichtend zu messen und die Einhaltung der Beurteilungswerte zu kontrollieren. Als Beurteilungswerte wurden ab 01.07.1995 15 µg Benzol/m<sup>3</sup> und ab 01.07.1998 10 µg Benzol/m<sup>3</sup> festgesetzt. Mit der 22. BImSchV erfolgte ab 2002 eine weitere Absenkung des Immissionsgrenzwertes auf 5 µg Benzol/m<sup>3</sup> mit definierten Toleranzmargen (Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes), die bis Ende 2009 gültig waren.

Ab Januar 2010 ist der Immissionsgrenzwert der 39. BImSchV in Höhe von  $5 \mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$  ohne die Möglichkeit der Überschreitung verbindlich.

Die Bewertung der Toluol- und Xylol-Gesamtbelastung in der Immission mit Hilfe des jeweils niedrigsten gesundheitlich abgeleiteten Beurteilungsmaßstabes, für Toluol also auf Grundlage des MRL von  $3,8 \text{ mg}/\text{m}^3$  und für Xylole der RfC von  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ , führt für die Maxima der Konzentrationen beider Stoffe nicht zu Überschreitungen. Auch die deutlich niedrigeren LAI-Zielwerte für Toluol und Xylole (LAI, 1997) werden von den maximalen Immissionskonzentrationen beider Stoffe um einen Faktor von jeweils etwa 8 unterschritten. Der aktuell gültige Benzol-Immissionsgrenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird am Ort der höchsten maximalen Immissionsbelastung aller BUP, dem BUP  $X_1$  sowie weiterhin am BUP  $X_5$  dagegen überschritten, wenn als Vorbelastung die Daten des LÜN (NLÖ, 1998) zu 1991 verwendet werden. Auf der Basis des LAI-Hintergrundwertes (1992) in Höhe von  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt keine Überschreitung für Benzol in der Immission vor, für das Maximum der Gesamtbelastung ( $4,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , BUP  $X_1$ ) wird der Grenzwert mit 97% jedoch nahezu ausgeschöpft.

Schwefelwasserstoff und Ethylbenzol können als Gesamtbelastung in der Immission nicht bewertet werden, da geeignete Informationen zur Hintergrundbelastung in ländlichen Gebieten fehlen. Die Beurteilungsmaßstäbe der beiden Stoffe in Tab. 6 können deshalb nur eine Vorstellung zur Größenordnung der prognostizierten Zusatzbelastungen nach Tab. 2 vermitteln.

#### D) **Diskussion**

Um eine Einordnung der Immissionskonzentrationen (Gesamtbelastung) entsprechend Tab. 4 und 5, die auf eine Situation bis Sommer 1989 (dem Ende des Einsatzes der Kaltgasfackel) abheben, in Relation zu gemessenen Werten der Luftqualität in Niedersachsen vornehmen zu können, wurden weitere Daten des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen zur Luftqualität in vorstädtischen, städtischen und industriell geprägten Gebieten recherchiert. Zu Benzol, Toluol und den Xylole liegen Werte aus systematischen Messungen wiederum erst ab 1991 vor (NLÖ, 1998); Daten zur Belastung in der Immission direkt für das Jahr 1988, davor oder für den Zeitraum 1988-1990 sind offenbar nicht verfügbar. Die Tab. 7-9 verdeutlichen die BTX-Belastungen (Jahresmittel) in niedersächsischen Städten und an einer Hintergrundstation des ländlichen Bereichs (Solling, vgl. Tab. 3) zwischen 1991 und 1997 (NLÖ, 1998).



Tab. 7: Benzol-Konzentrationen (Jahresmittel) von 1991-1997 im urbanen Raum Niedersachsens (NLÖ, 1998)

| LÜN-Station                  | Benzol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |      |      |      |      |      |        |
|------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|--------|
|                              | 1991                                | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997   |
| Hannover/Linden              | 3,5                                 | 3,1  | 3,1  | 2,3  | 2,3  | 2,4  | 2,3    |
| Hannover/Innenstadt          | 4,0                                 | 3,4  | 3,4  | 2,7  | 2,4  | 2,5  | -      |
| Hannover/Verkehrsstation     | 12,4                                | 10,5 | 10,0 | 9,8  | 6,6  | 6,9  | 6,2*   |
| Braunschweig/Broitzem        | 3,5                                 | 2,5  | 2,5  | 2,1  | 2,1  | 2,1  | 2,1    |
| Braunschweig/Innenstadt      | 4,8                                 | 3,5  | 3,7  | 2,7  | 2,6  | 2,7  | -      |
| Braunschweig/Verkehrsstation | -                                   | -    | -    | 14,7 | 12,2 | 12,4 | 13,1   |
| Osnabrück                    | 3,1                                 | 2,4  | 2,7  | 2,1  | 2,2  | 2,1  | 2,1    |
| Osnabrück/Verkehrsstation    | -                                   | -    | -    | 5,8  | 5,2  | 5,1  | 5,0**  |
| Hildesheim/Verkehrsstation   | -                                   | 6,5  | 6,4  | 5,0  | 4,2  | 4,1  | 6,5*** |
| Peine                        | 3,7                                 | 3,6  | 2,9  | 2,2  | 2,2  | 2,3  | -      |
| Wolfenbüttel                 | 3,9                                 | 3,3  | 3,3  | 2,6  | 2,4  | 2,5  | -      |
| Göttingen                    | 3,7                                 | 2,5  | 2,9  | 2,2  | 2,2  | 2,2  | 2,1    |
| Solling ****                 | 3,1                                 | 2,2  | 2,1  | -    | -    | -    | -      |

Erläuterungen zu Tab. 7: \*Baumaßnahmen mit teilweiser Verkehrssperrung in der Göttinger Str. ab Juli 1997, \*\* Betrieb der Verkehrsmeßstation bis Oktober 1997, \*\*\* Standort bis 09.06 als HICC, ab 05.97 als HIVS, Kaiserstr., \*\*\*\* ländlicher Hintergrund

Tab. 8: Toluol-Konzentrationen (Jahresmittel) von 1991-1997 im urbanen Raum Niedersachsens(NLÖ, 1998)

| LÜN-Station                  | Toluol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |      |      |      |      |      |         |
|------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|---------|
|                              | 1991                                | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997    |
| Hannover/Linden              | 5,2                                 | 4,5  | 4,3  | 3,7  | 3,7  | 4,2  | 3,9     |
| Hannover/Innenstadt          | 7,4                                 | 6,5  | 6,2  | 5,3  | 5,0  | 6,1  | -       |
| Hannover/Verkehrsstation     | 28,9                                | 24,8 | 21,9 | 24,2 | 16,8 | 17,5 | 15,3*   |
| Braunschweig/Broitzem        | 3,5                                 | 3,3  | 3,4  | <3   | <3   | <3   | 2,9     |
| Braunschweig/Innenstadt      | 7,7                                 | 6,4  | 6,3  | 4,7  | 4,6  | 5,2  | -       |
| Braunschweig/Verkehrsstation | -                                   | -    | -    | 36,5 | 31,5 | 32,2 | 33,4    |
| Osnabrück                    | 3,1                                 | 3,8  | 3,8  | 3,1  | <3   | 3,4  | 3,4     |
| Osnabrück/Verkehrsstation    | -                                   | -    | -    | 16,6 | 16,4 | 16,2 | 15,4**  |
| Hildesheim/Verkehrsstation   | -                                   | 14,7 | 12,6 | 11,4 | 9,9  | 9,5  | 16,7*** |
| Peine                        | 4,6                                 | 4,6  | 3,5  | 3,3  | 3,3  | 3,9  | -       |
| Wolfenbüttel                 | 6,4                                 | 6,3  | 5,2  | 5,1  | 4,7  | 6,0  | -       |
| Göttingen                    | 5,4                                 | 4,1  | 4,0  | 3,3  | 3,2  | 3,2  | 3,4     |
| Solling ****                 | 3,5                                 | 3,2  | 3,1  | -    | -    | -    | -       |

Erläuterung der Anmerkungszeichen siehe Tab. 7

Tab. 9: Xylol-Konzentrationen (Jahresmittel) von 1991-1997 im urbanen Raum Niedersachsens (NLÖ, 1998)

| LÜN-Station                  | Xylole ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |      |      |      |      |      |         |
|------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|---------|
|                              | 1991                                | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997    |
| Hannover/Linden              | 4,4                                 | 4,8  | 3,6  | 3,4  | 4,1  | 4,1  | 4,1     |
| Hannover/Innenstadt          | 3,9                                 | 4,2  | 4,8  | 4,7  | 4,9  | 5,0  | -       |
| Hannover/Verkehrsstation     | 20,2                                | 25,3 | 24,1 | 25,3 | 19,0 | 18,3 | 16,7*   |
| Braunschweig/Broitzem        | 3,0                                 | 3,2  | 3,1  | 3,0  | 3,1  | 3,1  | 3,1     |
| Braunschweig/Innenstadt      | 5,6                                 | 5,0  | 5,6  | 4,5  | 4,2  | 4,8  | -       |
| Braunschweig/Verkehrsstation | -                                   | -    | -    | 37,4 | 34,2 | 34,9 | 37,5    |
| Osnabrück                    | 3,1                                 | 3,1  | <3   | 3,0  | 3,3  | 3,6  | 3,4     |
| Osnabrück/Verkehrsstation    | -                                   | -    | -    | 20,2 | 20,7 | 20,0 | 19,4**  |
| Hildesheim/Verkehrsstation   | -                                   | 11,1 | 13,0 | 11,3 | 9,6  | 8,9  | 16,8*** |
| Peine                        | 3,4                                 | 3,6  | 3,1  | 3,5  | 3,5  | 3,6  | -       |
| Wolfenbüttel                 | 4,0                                 | 3,7  | 3,6  | 4,2  | 3,7  | 4,5  | -       |
| Göttingen                    | 3,7                                 | 3,0  | 3,7  | 3,1  | 3,3  | 3,3  | 3,2     |
| Solling ****                 | 3,0                                 | 4,6  | <3   | -    | -    | -    | -       |

Erläuterung der Anmerksungszeichen siehe Tab. 7

Auffällig sind die deutlich erhöhten Luftbelastungen der niedersächsischen Verkehrsmeßstationen im Vergleich zu innerstädtischen Meßstationen (wie auch zu den Stationen ländlicher Gebiete nach Tab. 3). Die allgemein höchsten Luftbelastungen an Verkehrsmeßstationen (Jahresmittel) wurden 1991 in Hannover gemessen (Benzol:  $12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Toluol:  $28,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Xylole:  $20,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Durchgehend hohe Benzol-Werte oberhalb von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit einem Maximum von  $14,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden in Braunschweig im Zeitraum 1994-1997 an der Verkehrsstation ermittelt. Auch für die Daten der Tab. 7-9 sind vor dem Hintergrund der realisierten analytischen Empfindlichkeit Unsicherheiten in Bezug auf die Validität der gemessenen Konzentrationen knapp ober der Nachweisgrenzen (Benzol und Toluol: jeweils  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Summe der Xylole:  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gegeben.

In der Gesamtschau der Daten aus den Tab. 4 und 5 sowie aus den Tab. 7-9 ist erkennbar, dass das Muster der *prognostizierten* BT(E)X-Konzentrationen - als Folge der Emissionen der Kaltgasfackel (Tab. 2) - sich klar von den flächenhaften Immissionen, wie sie für den allgemein ländlichen, vorstädtischen oder städtischen Hintergrund gemessen worden sind (Tab. 3, 7-9), unterscheidet. Doch selbst die durch die Emissionen der Kaltgasfackel besonders geprägten Benzol-Gesamtbelastungen an den BUP X<sub>1</sub> und BUP X<sub>5</sub> liegen noch unterhalb der für die großstädtischen Verkehrsmeßstationen (Hannover 1991-1994, Braunschweig 1994-1997) ermittelten Konzentrationen.

Aktuelle, im Meßzeitraum 01.01-31.12.2015 erhobene Benzoldaten (Jahresmittelwerte) von Stationen im ländlichen, vorstädtischen oder städtischen Hintergrund liegen demgegenüber im Bereich von  $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jadebusen) und  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Braunschweig, Göttingen, Hannover, Osnabrück und Ostfriesland) (ZUS LLG, 2016).

Inwieweit und in welchem Umfang zudem diffuse Emissionen von BT(E)X aus den Förderplätzen der Erdöl-Lagerstätte Suderbruch in Hinblick auf die Höhe der Immissionsvorbelastung, die hier als Hintergrund im ländlichen Raum angenommen worden ist, eine Rolle gespielt haben, kann nicht abschließend beurteilt werden. Ein entsprechender Beitrag zur Immissionsvorbelastung ist anzunehmen, kann aber nicht quantitativ abgebildet werden. In Anbetracht der Schwierigkeiten, die im konkreten Einzelfall tatsächlich zutreffende Vorbelastung in der Immission zu beschreiben, können die berechneten Gesamtbelastungen in der Immission die tatsächliche Situation nur näherungsweise charakterisieren.

Für die flächenhafte Belastung der Außenluft durch Benzol ist hauptsächlich der Straßenverkehr verantwortlich. Der Rückgang der Benzolkonzentrationen in der Außenluft geht vor allem auf die verbindliche Einführung des geregelten Katalysators bei den Benzinfahrzeugen ab 1989 (und die Absenkung des Benzolgehalts in Benzin ab Januar 2000 (vor 01.01.2000: 2,4 Volumenprozent, dann maximal 1 Volumenprozent)) zurück. Dieser Trend deutet sich bereits mit den Daten der Verkehrsmeßstationen von 1991 bis 1997 an (Tab. 7-9).

Benzol ist ein genotoxisches Kanzerogen (Muta. 1B und Carc. 1A nach Annex VI of Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP Regulation)). Beurteilungsmaßstäbe der regulatorischen Toxikologie für die chronisch-inhalative Exposition gegenüber Benzol (Endpunkt Kanzerogenität) sind daher immer *risikobasierte* Werte, die nicht von einer Wirkungsschwelle ausgehen. Rechtlich verbindliche Immissionsgrenzwerte für Benzol widerspiegeln also mit dem jeweils konkreten numerischen Wert der Luftkonzentration immer ein definiertes zusätzliches Lebenszeitrisko.

Immissionsgrenzwerte für Benzol sind letztlich Grenzwertfestsetzungen, die über gesundheitliche Kriterien hinaus zudem sozio-ökonomische Gesichtspunkte beinhalten<sup>2</sup>. Der Grenzwert der EU bzw. seine Umsetzung in nationales Recht entsprechend der TA Luft (2002) bzw. der 39.BImSchV für Benzol von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entspricht z.B. einem zusätzlichen kanzerogenen Lebenszeitrisko in Höhe von  $4,5 \times 10^{-5}$  (4,5 zusätzliche, durch Benzol bedingte Krebsfälle in einer Grundgesamtheit von 100.000 Personen) (LAI, 2004). Analog implizieren die früheren

---

<sup>2</sup> Aspekte des Risikomanagements kommen z.B. auch bei der rechtsverbindlichen Regulation von Benzol am Arbeitsplatz zum Tragen. Für ein *Toleranzrisiko* (Risiko  $4:1.000$  ( $4 \times 10^{-3}$ )) wurde eine Konzentration von  $1,9 \text{ mg}/\text{m}^3$  abgeleitet. Der Wert für das *Akzeptanzrisiko* von  $4:10.000$  ( $4 \times 10^{-4}$ , bis 2013) beträgt  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$  und nach 2013 bis spätestens 2018 für das Risiko  $4:100.000$  ( $4 \times 10^{-5}$ ) dann  $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$  (TRGS 910 und Begründung zu Benzol in BekGS 910, 2012).

Immissionsgrenzwerte in Höhe von  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (23. BImSchV, 1995-1998) bzw.  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Benzol (23. BImSchV, 1998-2002) zusätzliche kanzerogene Lebenszeitriskiken von  $1,35 \times 10^{-4}$  (1,35 zusätzliche, durch Benzol bedingte Krebsfälle in einer Population von 10.000 Personen) bzw.  $9 \times 10^{-5}$  (9 zusätzliche, durch Benzol bedingte Krebsfälle in einer Population von 100.000 Personen).

Die nominellen Überschreitungen des ab 2002 gültigen Immissionsgrenzwertes für Benzol in Höhe von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (zusätzliches Risiko  $4,5 \times 10^{-5}$  (4,5:100.000) an den BUP  $X_1$  ( $7,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und  $X_5$  ( $5,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nach Tab. 4 wären demnach mit zusätzlichen (leicht erhöhten) Lebenszeitriskiken von  $6,5 \times 10^{-5}$  (6,5 Fälle in 100.000 Personen) bzw.  $4,8 \times 10^{-5}$  (4,8 Fälle in 100.000 Personen) verknüpft. Diese zusätzlichen Lebenszeitriskiken beinhalten jedoch insbesondere die Unsicherheit der Validität der zwischen 1991-1993 gemessenen ländlichen Hintergrundkonzentrationen in Niedersachsen (Tab. 2), die meßtechnische Ursachen hat. Die zwischen 1994 und 2002 gültigen Benzol-Immissionsgrenzwerte ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis 1998 bzw.  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  von 1998-2002) wären naturgemäß nicht überschritten worden.

Die Immissionsgrenzwerte selbst bzw. die ihnen zugrunde liegenden Exposition-Risiko-Beziehungen für Benzol beinhalten zudem prinzipielle Unsicherheiten der toxikologisch-epidemiologischen Datenbasis.

Zur Frage möglicher Kombinationswirkungen wird grundsätzlich auf die Ausführungen in der NLGA-Stellungnahme „Toxikologische Bewertung von Umweltgutachten zum ehemaligen BEB-Betriebsplatz Suderbruch in 31637 Rodewald-Neudorf und angrenzender Bereiche“ (14.03.2016) verwiesen. Die Scientific Committees SCHER, SCENIHR und SCCS des „Directorate-General for Health & Consumers“<sup>10</sup> der Europäischen Kommission haben zur Bewertung der Kombinationswirkung von Chemikalien Anfang 2012 ein gemeinsames Positionspapier veröffentlicht. In Beispielen, in denen eine unabhängige Wirkung erwartet wurde, hat die Dosis-Addition demnach die tatsächliche Toxizität des Gemisches leicht überschätzt. Dieses weist darauf hin, dass die Anwendung des Dosis-Additionskonzeptes bei unbekanntem toxikologischen Wirkmechanismen ausreichenden Schutz bietet. Interaktionen treten nur bei mittleren und hohen Dosen auf. Außer für Gemische aus Substanzen mit identischen Wirkungseigenschaften ergibt sich kein Hinweis auf adverse Wirkungen bei Konzentrationen der einzelnen Substanzen unterhalb oder im Bereich ihrer NOELs (SCHER, SCENIHR & SCCS, 2012). Diese Situation ist insbesondere für die hier zu bewertenden Stoffe Toluol und die Xylole gegeben.

## E) Zusammenfassung

Vor allem die erheblichen Überschreitungen der Massenkonzentration für Benzol (im Abgas) und des Massenstroms (Basis: TA Luft, 1986) um ein Vielfaches begründeten die Empfehlung in der

NLGA-Stellungnahme vom 14.03.2016, nachträglich für die relevanten Stoffe eine Immissionsprognose zu erstellen. Diese wurde nun mit Datum 18.05.2016 von der ZUS LLG Hildesheim als Prognose der Zusatzbelastung vorgelegt.

Benzol ist als gentoxisches Kanzerogen eingestuft. Grenzwertfestsetzungen für Benzol gehen nicht von einer Wirkungsschwelle aus und sind deshalb immer risikobasiert. In der Regel implizieren sie also zusätzliche Elemente des Risikomanagements. Die früheren Immissionsgrenzwerte für Benzol waren mit  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (23. BImSchV, 1995-1998) bzw.  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (23. BImSchV, 1998-2002) deshalb noch deutlich höher.

Überschreitungen des derzeit verbindlichen Immissionsgrenzwertes für Benzol ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sind in der Immission (Gesamtbelastung) an zwei der fünf BUP dann gegeben, wenn die Hintergrundwerte des LÜN (NLÖ, 1998) für ländliche Gebiete Niedersachsens aus den Jahren 1991-1993 verwendet werden. Diese Überschreitungen wären bei lebenslanger Exposition mit zusätzlichen (leicht erhöhten) Lebenszeitriskien verbunden. Die Benzolkonzentrationen der BUP  $X_1$  und  $X_5$  unterschreiten aber immer noch die an großstädtischen Verkehrsstationen in Niedersachsen im Zeitraum von 1991-1997 gemessenen Belastungen der Außenluft. Wenn unmittelbar die Daten des Länderausschusses für Immissionsschutz (1992) zu Hintergrundwerten für Benzol im ländlichen Raum verwendet werden, liegen hingegen an allen Beurteilungspunkten  $X_1$ - $X_5$  keine Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes für Benzol in der Außenluft vor. Die Gesamtbelastung in der Immission und damit die Wahrscheinlichkeit, dass der toxikologische Beurteilungswert in der Immission überschritten werden kann, wird im vorliegenden Fall entscheidend geprägt von der Validität der Hintergrundwerte insbesondere für Benzol in der Außenluft ländlicher Räume. Die angegebenen Hintergrundwerte des LÜN speziell aus dem Zeitraum 1991-1993 liegen nur wenig oberhalb der analytischen Nachweisgrenzen, aber noch unterhalb der Bestimmungsgrenzen und sind deshalb mit einer erhöhten Meßunsicherheit verknüpft. Unbekannt ist im konkreten Einzelfall der Beitrag diffuser Emissionen von BT(E)X aus den Förderplätzen der Erdöl-Lagerstätte Suderbruch zur Vorbelastung. Insgesamt gestatten die verfügbaren Daten zur Vorbelastung nur eine näherungsweise Charakterisierung der Luftbelastung in der Immission.

Die Bewertung der Immissionskonzentrationen der aromatischen Kohlenwasserstoffe Toluol und die Xylole (Gesamtbelastung in der Immission) zeigt keine Überschreitungen von international etablierten, neueren toxikologischen Bewertungsmaßstäben und auch nicht der (auf älterer Datenbasis beruhenden) niedrigeren Zielwerte der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (1997). Ethylbenzol und Schwefelwasserstoff konnten wegen fehlender Informationen zu Vorbelastung nicht bewertet werden.

## Literatur

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2016)  
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp>

DfG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) (2016) MAK- und BAT-Werte-Liste 2016: Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 52

Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (23. BImSchV - Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten) vom 16. Dezember 1996

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27. Februar 1986

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (ohne Jahr)  
<http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/21965/>

Länderausschuß für Immissionsschutz (1992) „Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen“. Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) (2010)

Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (NLGA) Hannover (14.03.2016) Toxikologische Bewertung von Umweltgutachten zum ehemaligen BEB-Betriebsplatz Suderbruch in 31637 Rodewald-Neudorf und angrenzender Bereiche

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (1998) 20 Jahre Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen, Datenkatalog zur Luftgüte in Niedersachsen 1978-1997

Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER), Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS). Toxicity and Assessment of Chemical Mixtures. European Union, 2012.  
[http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/environmental\\_risks/docs/scher\\_o\\_155.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/environmental_risks/docs/scher_o_155.pdf)

TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ – Bek. d. BMAS v. 11.4.2016 – IIIb 3 – 35125 – 5 – <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-910.html>

TÜV Hannover (07.09.1988) Emissionsmessungen an Kaltgasfackel bei der BEB Erdgas Erdöl Schlaier Damm 3, 2839 Barenburg

U.S. EPA (U.S Environmental Protection Agency) (2019) Integrated Risk Information System <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/atoz.cfm>

Wieben, M, Kruse, H (1999) Toxikologische Bewertung von organisch-chemischen Triebwerksemissionen (zivile Luftfahrt) Institut für Toxikologie der Christian Albrechts-Universität Kiel, Juli 1999

Wieben, M, Kruse, H, Bartels, P (1999) Toxikologische Beurteilung der Zusatzemissionen durch eine neue Start- und Landebahn am Frankfurter Flughafen. Institut für Toxikologie der Christian Albrechts-Universität Kiel, Dezember 1999

ZUS LLG (Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe) Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (2016) Immissionsprognose für den Betrieb einer Kaltgasfackel in Rodewald OT Neudorf, 18.05.2016

ZUS LLG (Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe) Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (2016) Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen, Jahresbericht 2015, 05.08.2016

Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. BImSchV – ) (2002)

Hannover, 23.09.2016

Dr. K.-M. Wollin

(Dipl.-Chemiker, European Registered Toxicologist (ERT))