



Rheinisch-Westfälischer  
Technischer Überwachungs-  
Verein e.V., Sitz: Essen

Langemarckstraße 20  
D-45141 Essen  
Postfach 10 32 61  
D-45032 Essen  
Telefon 02 01/8 25-0  
Telefax 02 01/8 25-25 17

**Gutachtliche Stellungnahme  
zur Erdbebensicherheit einer Rohr-  
fernleitungsanlage zum Befördern  
wassergefährdender Stoffe**

**Kohlenmonoxid-Fernleitung  
DN 250, PN 40  
Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen**

Geschäftsstelle Essen

Zentralabteilung  
Pipelintetechnik, Bau / Montage,  
Auslandskoordination

**Auftraggeber:** Bayer MaterialScience AG, Dormagen  
**Antragsteller:** Bayer Industry Services GmbH&Co. OHG, Leverkusen  
**Auftrags-Nr.:** 8102067944/100  
**Geschäfts-Nr.:** 1409-84/05

Diese Stellungnahme umfasst 12 Textseiten.

Erstellt am: 01.03.2006 von: Dipl.-Ing. Chr. Engel

Die Weitergabe und Verwertung unserer Leistung über den vertraglich festgelegten Zweck hinaus, insbesondere deren Veröffentlichung, ist nur mit unserer vorherigen schriftlichen Zustimmung zulässig. Für die Einhaltung der für die Verwertung unserer Leistung geltenden gesetzlichen Bestimmungen (z. B. des Wettbewerbsrechts), insbesondere für den Inhalt von Werbeaussagen, ist ausschließlich der Kunde verantwortlich; er hat uns insoweit von sämtlichen Ansprüchen Dritter freizuhalten.

Langemarckstraße 20  
D-45141 Essen  
Tel.: 02 01/8 25-0  
Fax: 02 01/8 25-25 17  
Postfach 10 32 61  
D-45032 Essen

Langemarckstraße 28  
D-45141 Essen  
Tel.: 02 01/8 25-0  
Fax: 02 01/8 25-25 17  
Postfach 10 32 61  
D-45032 Essen

Berliner Straße 2  
D-44143 Dortmund  
Tel.: 02 31/51 86-0  
Fax: 02 31/51 86-2 05  
Postfach 10 33 55  
D-44033 Dortmund

Meldericher Str. 14-16  
D-47058 Duisburg  
Tel.: 02 03/3 04-0  
Fax: 02 03/3 04-2 20  
Postfach 10 13 61  
D-47013 Duisburg

Felthstraße 188  
D-58097 Hagen  
Tel.: 0 23 31/8 03-0  
Fax: 0 23 31/8 03-2 02  
Postfach 37 29  
D-58037 Hagen

Leimbachstraße 227  
D-57074 Siegen  
Tel.: 02 71/33 78-0  
Fax: 02 71/33 78-1 91  
Postfach 10 10 65  
D-57010 Siegen

Kohlenmonoxid-Fernleitung DN 250, PN 40, Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen  
Beurteilung der Erdbebensicherheit

---

**1. Antragsteller / Betreiber / Auftraggeber**

Antragsteller: Bayer Industry Services GmbH & Co. OHG

Betreiber: Bayer MaterialScience AG, Dormagen

Auftraggeber: Bayer MaterialScience AG, Dormagen

**2. Bezeichnung der Rohrfernleitungsanlage:**

Kohlenmonoxidfernleitung Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen  
DN 250, PN 40

**3. Fördermedium**

Kohlenmonoxid (CO)

**4. Prüfgegenstand**

Beurteilung der Erdbebensicherheit der Kohlenmonoxid-Fernleitung Köln-Worringen -  
Krefeld-Uerdingen.

**5. Prüfgrundlagen**

Unseren Prüfungen haben wir zugrunde gelegt:

- 5.1 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25.06.2005, BGBl. I 05 S. 1757, zuletzt geändert am 24.06.2005
- 5.2 Verordnung über Rohrfernleitungsanlagen (Rohrfernleitungsverordnung) vom 27.09.2002, zuletzt geändert am 25.11.2003

Kohlenmonoxid-Fernleitung DN 250, PN 40, Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen  
Beurteilung der Erdbebensicherheit

---

- 5.3 Technische Regel für Rohrfernleitungen – TRFL – vom 19. März 2003 zuletzt geändert am 16.04.2004
- 5.4 DIN 4149 – Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, Ausgabe April 2005

## 6. Eingereichte Unterlagen

Folgende Unterlagen lagen uns zur Prüfung vor:

- Übersichtspläne der Trasse im Maßstab 1 : 25 000

## 7. Stellungnahme

Die unter Nr. 6 aufgeführten Unterlagen haben wir geprüft und nehmen dazu wie folgt Stellung:

### 7.1 Allgemeines

Es ist vorgesehen, zwischen dem Chemiepark Dormagen in Köln-Worringen und dem Chemiepark Uerdingen in Krefeld-Uerdingen eine Kohlenmonoxid-Fernleitung DN 250, PN 40 neu zu errichten. Die Gesamtlänge beträgt ca. 66 km. Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens wurden wir aufgefordert, eine Stellungnahme zur Erdbebensicherheit der Leitung abzugeben.

Grundlagen für die Beurteilung der Erdbebensicherheit von Rohrfernleitungsanlagen in Deutschland sind die DIN 4149, Ausgabe April 2005 und der Eurocode 8 Teil 1 und Teil 4 (DIN V ENV 1998-1, Ausgabe Juni 1997 und -4, Ausgabe Juli 2001).

In der DIN 4149 sind insbesondere für Gebiete in Deutschland, die in stärkerem Maße von Erbeben betroffen sind Erdbebenzonen von 1 bis 3 festgelegt. Darüber hinaus ist die Zone 0 definiert. Der Grad der Erdbebengefährdung außerhalb der Zonen 1 bis 3, also der Zone 0, ist nach Kapitel 1 (4) der DIN 4149 als so gering einzuschätzen, dass die DIN 4149 nicht angewendet werden muss.

Im Bild 2 der DIN 4149 sind die Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland dargestellt. Zur genaueren Bestimmung der Erdbebenzonen haben wir auf ein im Internet verfügbares Suchprogramm des GeoForschungszentrums Potsdam ([www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)) zurückgegriffen.

Die Bayer CO-Fernleitung liegt danach ab der Stadtgrenze Hilden/Langenfeld bei etwa Leitungs-km 17 vollständig in der Erdbebenzone 0. Maßnahmen gegen Erdbebeneinwirkungen sind deshalb für den Leitungsabschnitt ab km 17 bis Uerdingen nicht erforderlich.

Für die ersten 17 km der Leitung, die in der Erdbebenzone 1 liegen ist eine differenzierte Betrachtung notwendig. Hierzu sind zunächst die charakteristischen Größen von Erdbebenereignissen auszuwerten.

## **7.2 Auswirkungen von Erdbeben**

Die bei Erdbeben auftretenden Phänomene, die Auswirkungen auf Bauwerke haben können umfassen nach [1]:

- Wellen
- Verwerfungen
- Erdrutsche
- Bodenverflüssigung

Die Schädigung unterirdischer Bauwerke wie z.B. Rohrleitungen erfolgt nach [1] im Wesentlichen durch die im Boden verlaufenden Wellen. Verwerfungen, Erdrutsche oder Bodenverflüssigung werden daher im Folgenden nicht betrachtet.

## 7.2 Bemessung der Stärke und Intensität von Erdbeben

Die Stärke und Intensität von Erdbeben wird durch verschiedene Größen beschrieben. Hierzu zählen unter anderem auch die Schwinggeschwindigkeit und Schwingbeschleunigung des Bodens auf der die meisten Berechnungsansätze basieren.

Es gibt aber auch Größen, die im Wesentlichen die Auswirkungen eines Bebens aufgrund von Beobachtungen beschreiben, wie die so genannte Erdbebenintensität. Intensitäten können über empirisch ermittelte Gleichungen in Schwinggeschwindigkeiten oder Schwingbeschleunigungen umgerechnet werden.

Die Magnitude eines Erdbebens beschreibt die standortunabhängige Stärke eines Bebens. Sie ist ein logarithmisches Maß für die im Erdbebenherd freigesetzte seismische Wellenenergie und wird im Allgemeinen durch die von Francis Richter eingeführte Richterskala gekennzeichnet.

Eine standortabhängige Maßzahl für die Stärke eines Erdbebens ist die Intensität, die auch die Auswirkung eines Erdbebens auf die Umgebung beschreibt. Hier existieren verschiedene Intensitätsskalen, wie z.B. die Mercalliskala, die Europäische Makroseismische Skala (EMS) oder die MSK-Skala nach Medvedev, Sponheuer und Karnik. Die Intensitätsklassen der EMS- und der MSK-Skala sind weitestgehend identisch (siehe Anhang).

Im Folgenden sind die Zusammenhänge zwischen den Erdbebenzonen nach der DIN 4149, der Erdbebenmagnitude nach Richter und der Erdbebenintensität nach der MSK-Skala gegenübergestellt.

Erdbebenzone nach DIN 4149	Magnitude $M$ nach Richter	Intensität MSK-Skala
0	$M < 5,1$	$I < 6,5$
1	$5,1 \leq M < 5,3$	$6,5 \leq I < 7$
2	$5,3 \leq M < 5,6$	$7 \leq I < 7,5$
3	$5,6 \leq M$	$7,5 \leq I$

In der Erdbebenzone 1 nach der DIN 4149 können demnach maximal Erdbeben der

Stärke 5,3 nach Richter bzw. der Intensität 7 der MSK-Skala auftreten.

Berechnungen der an der Rohrleitung auftretenden Spannungen bzw. Dehnungen sind allein auf Basis der Intensität nicht möglich. Die existierenden Berechnungsansätze basieren in der Regel auf der maximal auftretenden Schwingbeschleunigung oder Schwinggeschwindigkeit des Bodens. Ein Zusammenhang zwischen der Schwingbeschleunigung des Bodens PGA in  $m/s^2$ , der Schwinggeschwindigkeit des Bodens PGV in  $m/s$  und der Intensität I findet sich in [1]. Danach sind für die Intensitäten 6 bis 8 folgende Werte für die Schwingbeschleunigung und die Schwinggeschwindigkeit des Bodens angegeben:

	Intensität I		
	6	7	8
PGA [ $m/s^2$ ]	0,05 – <b>0,83</b> – 1,60	0,70 – <b>1,30</b> – 1,90	0,80 – <b>1,70</b> – 2,50
PGV [ $m/s$ ]	0,02 – <b>0,08</b> – 0,14	0,08 – <b>0,16</b> – 0,25	0,09 – <b>0,19</b> – 0,29

Angegeben sind jeweils der Mittelwert (fett gedruckt) sowie Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung. Es ist zu erkennen, dass die Werte einer starken Streuung unterliegen. Für die weiteren Berechnungen wird daher konservativ jeweils mit dem Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit in der jeweiligen Intensitätsklasse gerechnet.

### 7.3 Ermittlung der maximalen erdbebenbedingten Bodendehnung

Ebenfalls in [1] findet sich folgender empirischer Zusammenhang zwischen der maximalen Bodendehnung  $\epsilon$  und der maximalen Schwinggeschwindigkeit des Bodens  $v$ :

$$\epsilon = 2,536 \cdot 10^{-3} \cdot v^{1,26} \quad (1)$$

Bei einer in der Erdbebenzone 1 maximal auftretenden Schwinggeschwindigkeit von 0,25  $m/s$  (Erdbebenintensität 7) ergibt sich somit nach Gleichung 1 eine maximale Bodendehnung von 0,4  $mm/m$ .

Ein anderer Ansatz zur Ermittlung der maximalen Bodendehnung  $\epsilon$  findet sich ebenfalls in [1]. Danach ist die maximale Bodendehnung  $\epsilon$  der Quotient aus der maxima-

len Schwinggeschwindigkeit des Bodens  $v$  und der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  der Erdbebenwelle:

$$\varepsilon = v/c \quad (2)$$

Mit einer üblichen Wellenausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  von 500 m/s bei einer maximalen Schwinggeschwindigkeit von 0,25 m/s ergibt sich somit nach Gleichung 2 eine maximale Bodendehnung von 0,5 mm/m.

Somit ist in dem betrachteten Trassenabschnitt mit ausreichender Sicherheit anzunehmen, dass erdbebenbedingte Bodendehnungen größer 0,5 mm/m nicht auftreten. Es wird weiterhin konservativ angenommen, dass sich die Bodendehnung zu 100 % auf die Rohrleitung überträgt.

#### 7.4 Zulässige Rohrlängsdehnung

Nach der GEH Gestaltänderungs-Energie-Hypothese gilt der folgende Zusammenhang zwischen der Vergleichsspannung  $\sigma_v$ , der Längsspannung  $\sigma_l$  und der Umfangsspannung  $\sigma_u$ :

$$\sigma_v^2 = \sigma_l^2 + \sigma_u^2 - \sigma_u \cdot \sigma_l \quad (3)$$

Die zulässige Längsspannung  $\sigma_{l,zul}$  beträgt somit:

$$\sigma_{l,zul} = 0,5 \cdot \sigma_u \pm \sqrt{\sigma_{v,zul}^2 - 0,75 \cdot \sigma_u^2} \quad (4)$$

Die zulässige Längsdehnung  $\varepsilon_{l,zul}$  beträgt wegen der Querkontraktion  $\nu$  :

$$\varepsilon_{l,zul} = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_{l,zul} - \nu \sigma_u) \quad (5)$$

Unter Berücksichtigung der Leitungsdaten:

Kohlenmonoxid-Fernleitung DN 250, PN 40, Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen  
Beurteilung der Erdbebensicherheit

---

Maximal zulässiger Betriebsdruck:	40 bar
Rohraußendurchmesser:	273 mm
Rohrwanddicke:	5,6 mm
Werkstoff:	L 485 MB
Streckgrenze:	485 N/mm <sup>2</sup>

ergeben sich mit einer Umfangsspannung von 97,5 N/mm<sup>2</sup> die folgenden zulässigen Rohrlängsdehnungen:

Pressung:	-2,18 mm/m
Zerrung	2,37 mm/m

Die zulässigen Werte der Längsdehnung sind somit etwa 4 mal so groß, wie die maximal möglichen Bodendehnungen bei einem Erdbeben der Intensität 7 in Höhe von etwa 0,5 mm/m.

Die bei einem Erdbeben der Intensität 7 maximal auftretenden Bodendehnungen sind somit als unbedenklich für die Kohlenmonoxid-Fernleitung einzustufen, sofern keine nennenswerten Zusatzbeanspruchungen vorliegen, durch die die zulässige Materialdehnung der Rohre weitgehend ausgeschöpft ist. Hiervon ist auszugehen, da die durch Erdbeben maximal verursachte Längsdehnung nur etwa ein Viertel der zulässigen Rohrdehnung beträgt.

## **8. Zusammenfassung**

Für die geplante Kohlenmonoxidfernleitung DN 250, PN 40, Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen haben wir eine Beurteilung der Erdbebensicherheit vorgenommen.

Die Bayer CO-Fernleitung liegt ab der Stadtgrenze Hilden/Langenfeld bei etwa Leitungs-km 17 vollständig in der Erdbebenzone 0. Maßnahmen gegen Erdbebeneinwirkungen sind deshalb für den Leitungsabschnitt ab km 17 bis Uerdingen nicht erforderlich.

Kohlenmonoxid-Fernleitung DN 250, PN 40, Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen  
Beurteilung der Erdbebensicherheit

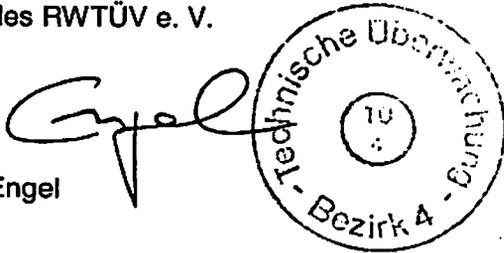
---

Für die ersten 17 km der Leitung, die in der Erdbebenzone 1 liegen wurde eine Berechnung der maximal möglichen erdbebenbedingten Bodendehnungen sowie der zulässigen Rohrlängsdehnung nach der Gestaltänderungs-Energie-Hypothese vorgenommen.

Die Berechnungen haben ergeben, dass die bei einem maximal denkbaren Erdbeben der Intensität 7 die maximal auftretenden Bodendehnungen als unbedenklich für die Kohlenmonoxid-Fernleitung einzustufen sind, sofern keine nennenswerten Zusatzbeanspruchungen vorliegen, durch die die zulässige Materialdehnung der Rohre weitgehend ausgeschöpft ist. Hiervon ist auszugehen, da die durch Erdbeben maximal verursachte Längsdehnung nur etwa ein Viertel der zulässigen Rohrdehnung beträgt.

Der Sachverständige  
des RWTÜV e. V.

Engel



Kohlenmonoxid-Fernleitung DN 250, PN 40, Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen  
Beurteilung der Erdbebensicherheit

---

## 9. Literatur

- [1] Gesamtkonzept zur Ermittlung der seismischen Vulnerabilität von Bauwerken  
am Beispiel unterirdischer Rohrleitungen  
Dissertation von Wolfram Kuhlmann an der RWTH Aachen, Fakultät für Bauin-  
genieur- und Vermessungswesen, Dezember 2004  
ISSN 1437-0840  
ISBN: 3-86130-755-3

Kohlenmonoxid-Fernleitung DN 250, PN 40, Köln-Worringen – Krefeld-Uerdingen  
Beurteilung der Erdbebensicherheit

---

**Kurzform der  
zwölfteiligen makroseismischen Intensitätsskala MSK-1964**

<b>Intensität</b>	<b>Beobachtungen</b>
<b>I</b>	Nur von Erdbebeninstrumenten registriert
<b>II</b>	Nur ganz vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen
<b>III</b>	Nur von wenigen verspürt
<b>IV</b>	Von vielen wahrgenommen. Geschirr und Fenster klirren
<b>V</b>	Hängende Gegenstände pendeln. Viele Schlafende erwachen
<b>VI</b>	Leichte Schäden an Gebäuden, feine Risse im Verputz
<b>VII</b>	Risse im Verputz, Spalten in den Wänden und Schornsteinen
<b>VIII</b>	Große Spalten im Mauerwerk; Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein
<b>IX</b>	An einigen Bauten stürzen Wände und Dächer ein. Erdbeben
<b>X</b>	Einstürze von vielen Bauten. Spalten im Boden bis 1m Breite
<b>XI</b>	Viele Spalten im Boden, Bergstürze
<b>XII</b>	Starke Veränderungen an der Erdoberfläche

**MSK-1964 = Medvedev-Sponheuer-Karnik Skala aus dem Jahre 1964**  
(siehe Sponheuer (1965))

entspricht mit Einschränkungen der in den USA gebräuchli-  
chen MM-Skala (Modified Mercalli Scale) und mit Einschrän-  
kungen auch der EMS-1998 (European Macroseismic Scale  
1998)

SPONHEUER, W. (1965): Bericht über die Weiterentwicklung der seismischen Skala (MSK  
1964).– Dtsch. Akad. d. Wiss., Veröff. Inst. Geodynamik, Jena, Heft 8, Akademie  
Verlag, Berlin.

## Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-1998

### Europäische Makroseismische Skala - 1998

Die Kurzform der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-98 stellt eine sehr starke Vereinfachung und Generalisierung der ausführlichen Fassung dar. Sie ist eine Weiterentwicklung der Skala MSK-1964.  
*Diese Kurzform ist nicht geeignet zur Abschätzung von makroseismischen Intensitäten.*

EMS Intensität	Definition	Beschreibung der maximalen Wirkungen (stark verkürzt)
I	nicht fühlbar	Nicht fühlbar.
II	kaum bemerkbar	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
III	schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern.
IV	deutlich	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
V	stark	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.
VI	leichte Gebäudeschäden	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von z. B. kleinen Verputzteilen.
VII	Gebäudeschäden	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden.
VIII	schwere Gebäudeschäden	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d.h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
IX	zerstörernd	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
X	sehr zerstörernd	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
XI	verwüstend	Die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und -ausführung, werden zerstört.
XII	vollständig verwüstend	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört.

EMS-1998 (1998): European Macroseismic Scale 1998. – Grünthal, G. (ed.); Musson, R.M.W., Schwarz, J. & M. Stucchi (assoc. eds.). European Seismological Commission - *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*. Vol. 15. 99 pp. Conseil de l'Europe, Luxembourg.