



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Postfach 103439 · 70029 Stuttgart

Regierungspräsidium Karlsruhe
Regierungspräsidium Tübingen

Stuttgart 21.12.2015

Name Gregor Stephani

Durchwahl 0711 126-2636

E-Mail Gregor.Stephani@um.bwl.de

Aktenzeichen 4-8820.10-17.VO

(Bitte bei Antwort angeben!)

Nachrichtlich:

Regierungspräsidium Stuttgart

Umsetzung der 17. BImSchV in der Zementindustrie

Anlage

- Beschluss des AISV zu „Eckpunkten zur Umsetzung der novellierten 17. BImSchV in der Zementindustrie vom 22.09.2015“

Sehr geehrte Damen und Herren,

das Umweltministerium bittet, der Umsetzung der novellierten 17. BImSchV in der Zementindustrie die beiliegenden Eckpunkte des Bund/Länderausschusses Anlagenbezogener Immissionsschutz, Störfallvorsorge (AISV) zugrunde zu legen (Anlage).

Hinsichtlich der zum 01.01.2016 in Kraft tretenden neu eingeführten Grenzwerte für NH₃ soll möglichst stufenweise verfahren werden. In einer ersten Stufe kann soweit erforderlich für bestehende Anlagen, für die ein Umsetzungsplan vorliegt (vgl. Ziff. 9 des AISV-Eckpunktepapiers), unter den dort genannten Anforderungen an die Begründung, eine zeitlich eng befristete Ausnahme für rohstoffbedingte Ammoniakemissionen gewährt werden, um eine ggf. noch ausstehende Klärung der geplanten Maßnahmen herbei zu führen (z. B. bis 30.06.2016). Danach sollten weitere Ausnahmen und deren Befristung in Abhängigkeit vom Fortschritt der Umsetzung des Maßnahmenplans (Stufenplan) erfolgen. Die Anwendung der Ziff. 8 des AISV-Eckpunktepapiers (fundierte Begründung für Ausnahmen) soll vollumfänglich für längerfristige Ausnahmelösungen gefordert werden.

Beurteilung und weitere Diskussion der vorliegenden Maßnahmenpläne mit den
bern soll unter Berücksichtigung folgender Punkte erfolgen :

Vereinbarung/Festlegung, bis wann die Grenzwerte für Stickstoffoxide in Höhe
von 200 mg/m^3 und für Ammoniak in Höhe von 30 mg/m^3 jeweils im Tagesmit-
tel durch den Betreiber vollumfänglich eingehalten werden

die Beurteilung, ob die durch den Betreiber dargelegten Maßnahmen zur Ein-
haltung der Grenzwerte für die Anlagen geeignet sind und ob innerhalb des
vom Betreiber angegebenen Zeitraums die Grenzwerte eingehalten werden
können

mit welchen verwaltungstechnischen Maßnahmen von Ihrer Seite der Prozess
begleitet und die Einhaltung der Grenzwerte sowie die Einhaltung des Zeit-
plans dazu sicherstellt werden kann (z.B. öffentlich – rechtlicher Vertrag, Auf-
lage etc.), damit keine weiteren Verzögerungen bei der Umsetzung der Pläne
entstehen können.

JM bittet darüber hinaus, wesentliche Verfahrensschritte und wesentliche Ent-
scheidungen vorab dem UM vorzulegen.

Josef Kreuzberger

9/3

Bund/Länder-Ausschuss für Immissionsschutz (LAI)

Umlaufbeschluss des Ausschusses Anlagenbezogener Immissionsschutz/ Störfallvorsorge (AISV)

**Eckpunkte zur Umsetzung der novellierten 17. BImSchV
in der Zementindustrie, hier**

Stand der Technik bei der Verminderung der Emissionen an Stickstoffoxiden (NO_x)
und Ammoniak (NH₃) in der Zementindustrie mit Drehrohröfen (nicht für z.B.
Schachtöfen)

Stand 21.09.2015

Arbeitsauftrag:

Der der Ausschuss für anlagenbezogenen Immissionsschutz, Störfallvorsorge (AISV) der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) hat auf seiner 135. Sitzung am 07./08. Juli 2015 in Dresden eine Ad-hoc-Arbeitsgemeinschaft gebeten, dass das in der Sitzung vorgestellte Thesenpapier zur Umsetzung der Grenzwerte der 17. BImSchV in der Zementindustrie entsprechend der Präsentation in Gesprächen der Bundesländer untereinander, aber auch mit der Zementindustrie, weiter aufbereitet wird. Daraufhin haben Gespräche zwischen den Bundesländern und mit der Zementindustrie stattgefunden. Die Beratungsergebnisse sind in den nachfolgenden Eckpunkten zusammengefasst, die der AISV im Umlaufverfahren (Fristablauf am 21. September 2015) beschlossen hat:

Eckpunkte zum Stand der Technik in der Zementindustrie

- 1) Der Ammoniakgrenzwert von 30 mg/m^3 im Tagesmittel in Anlage 3, Ziff. 2.1 b) der 17. BImSchV ist als ein **Summengrenzwert**, d.h. er umfasst sowohl die Ammoniakemissionen aus dem Prozess (rohstoffbedingt) als auch die Emissionen aus der Entstickung (Schlupf) zu verstehen.
- 2) **Der Stand der Technik bei der Verminderung der Emissionen an Stickstoffoxiden (NO_x) und Ammoniak (NH_3) in der Zementindustrie hat sich fortentwickelt.** Der erfolgreiche Abschluss der Pilotprojekte in den Zementwerken Mergelsteden (BW) und Rohrdorf (BY) zeigt, dass die **selektive katalytische Reduktion (SCR) auch in der Zementindustrie Stand der Technik** für die Verminderung der Emissionen an Stickstoffoxiden (NO_x) und Ammoniak (NH_3) ist. **Das Verfahren erlaubt die sichere und gleichzeitige Einhaltung der in der 17. BImSchV für beide Schadstoffe festgelegten Grenzwerte, einschließlich der Emissionen aus den Rohstoffen.** Die Verfügbarkeit der SCR-Technologie wird derzeit mit über 95% angegeben. Falls die SCR-Anlage dennoch ausfällt, sind für die Ausfallzeiten ersatzweise Minderungsmaßnahmen vorzusehen (z.B. Vorhalten der SNCR-Technologie mit entsprechend angepasstem NO_x -Grenzwert (350 mg/m^3) und mit angepasstem NH_3 -Grenzwert). Durch das Vorhalten einer SNCR-Anlage bei Ausfall der SCR-Anlage ist ein Weiterbetrieb des Zementofens über die im § 21 Abs. 4 der 17. BImSchV genannten Zeiten möglich.

- 3) Damit ist der **Vorbehalt im BVT-Merkblatt** (S. 349, „SCR ist Stand der Technik soweit geeignete Katalysatoren und Verfahren für die Zementindustrie verfügbar sind“) **ausgeräumt**. Die SCR-Technologie ist Stand der Technik im Sinne von § 3 Abs. 6 BImSchG. **Der Einsatz von SCR ist damit in der Regel verhältnismäßig und zumutbar**
- 4) Mit Hilfe der SCR-Technologie können auch die rohstoffbedingten NH_3 -Emissionen in aller Regel abgebaut werden. Sie dienen dabei als Reduktionsmittel für die Minderung der NO_x -Emissionen und helfen Betriebskosten einzusparen. **Rohstoffbedingte Ausnahmen sind für NH_3 somit in der Regel nicht mehr erforderlich.**
- 5) Darüber hinaus ist festzuhalten, dass auch bezüglich der NO_x -Minderung **SCR deutlich leistungsfähiger ist als SNCR** und dass bei Einsatz von SCR auch die Emissionen organischer Stoffe (Gesamt-C, außer Methan) deutlich gemindert werden. Darüber hinaus wirkt sich das SCR-Verfahren auch emissionsmindernd auf die PCDD/PCDF- und Benzolemissionen aus.
- 6) Aufgrund der **Technologieoffenheit des BImSchG** bleiben grundsätzlich auch andere Verfahren zur Einhaltung der Grenzwerte möglich. Voraussetzung ist allerdings, dass die NH_3 -Grenzwerte ohne Zulassung rohstoffbedingter Ausnahmen eingehalten werden können. Denn mit Verfügbarkeit des SCR-Verfahrens liegen die Voraussetzungen für eine rohstoffbedingte Ausnahme in der Regel nicht mehr vor (weil nicht erforderlich). Denkbar bleibt aber, dass eine Kombination von umfangreichen Primärmaßnahmen mit einer high-efficiency SNCR-Anlage die Einhaltung der NH_3 - Grenzwerte auch ohne rohstoffbedingte Ausnahmen ermöglicht. Desweiteren befindet sich derzeit das sog. DECONOX-Verfahren in der Erprobung. Sollte dieses erfolgreich sein, kann es genauso zur Anwendung kommen.
- 7) Im Einzelfall kann sich eine andere Beurteilung ergeben, etwa wenn aufgrund besonderer Umstände die Vorgaben der 17. BImSchV auch ohne den Einsatz von SCR-Verfahren weitestgehend erfüllt werden bzw. eine SCR-Nachrüstung im Einzelfall (z.B. auch wegen der zu erwartenden Restlaufzeit einzelner Werke;) unverhältnismäßig wäre.

Rahmenbedingungen für Ausnahmen, wenn die Ammoniak-Grenzwerte **weitestgehend eingehalten** werden (nur Bestandsanlagen):

- Im Verbundbetrieb müssen die NH_3 -Grenzwerte eingehalten werden, Ausnahmen nur für zeitlich weit untergeordnete Direktbetriebsphasen mit Festlegung eines eigenen Grenzwertes für den Direktbetrieb (es soll

- ein TMW für die NH_3 -Gesamtemissionen von 60 mg/m^3 angestrebt werden)
- Der Direktbetrieb soll in den Betriebsstunden eine klar untergeordnete Rolle spielen (max. 15% der jährlichen Betriebsstunden)
 - Einhaltung eines NH_3 - Grenzwertes als Jahresmittelwert von max. 25 mg/m^3 , berechnet aus allen Halbstundenmittelwerten.
- 8) Anträge auf rohmaterialbedingte Ausnahmen für Ammoniak sind in jedem Fall fundiert zu begründen. Vom Antragsteller ist aus technischer und wirtschaftlicher Sicht schlüssig darzulegen, warum der Betrieb einer SCR-Anlage unverhältnismäßig wäre. In diesem Zusammenhang ist die NH_3 -Emissionssituation des Werkes ausführlich darzustellen, z. B. durch Auswertung der kontinuierlichen Emissionsmessungen (auch für Direkt-/Verbundbetrieb). Neben einer Stickstoffbilanz sind darüber hinaus Angaben zu den zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten der infrage kommenden Abgasreinigungsanlagen (SCR / SNCR) vorzulegen. Die rohmaterialbedingten Emissionen müssen im Rahmen eines geeigneten Gutachtens unter den realen Bedingungen vor Ort dargelegt werden (u. a. in Anlehnung an die Bestimmung der freigesetzten Ammoniumverbindungen als NH_3 gemäß VDI 3496, Blatt 1 aus repräsentativen Rohmaterialproben). Die bisher durchgeführten NH_3 - und NO_x -Minderungsmaßnahmen sowie die Erfolge dieser Maßnahmen sind ausführlich zu dokumentieren. Ausnahmen sollen i.d.R. befristet sein.
- 9) Bis zur Nachrüstung der Anlagen mit einer SCR-Anlage oder anderen Techniken können **temporäre Ausnahmen für rohstoffbedingte Ammoniakemissionen** erforderlich sein. Die Befristung sollte sich an der praktischen Umsetzbarkeit der Nachrüstung und dem Inkrafttreten der NO_x -Grenzwerte am 01.01.2019 orientieren. Weitere Bedingung sollte sein, dass vom Betreiber ein Konzept zur zeitnahen Einhaltung der Grenzwerte für NO_x und Ammoniak vorliegt.
- 10) In der 17. BImSchV sollte bei der nächsten Gelegenheit eine Klarstellung hinsichtlich der o.g. Punkte erfolgen.
- 11) Für Standorte mit einer Tagesproduktionskapazität von weniger als 1.000 Tonnen gelten die o. g. Ausführungen nicht grundsätzlich. Hier ist die Verhältnismäßigkeit gesondert zu prüfen.

Erläuterungen

Mit Bezug auf die Argumentation der Branche, der Ammoniakgrenzwert von 30 mg/m³ im Tagesmittel in Anlage 3, Ziff. 2.1 h) der 17. BImSchV gelte nur für den Schlupf und über die Ausnahmeregelung in Ziff. 2.1.4 habe der Verordnungsgeber die rohstoffbedingten Emissionen von vorneherein (und wie bisher) frei stellen wollen werden folgende **ergänzende Hinweise** gegeben:

- Bis zur Novellierung im Jahr 2013 enthielt die 17. BImSchV keinen Grenzwert für NH₃. Für Zementwerke hätte ein solcher auch nicht mittels Rückgriff auf die TA Luft festgelegt werden können. Zwar gibt diese für NH₃ in Nr. 5.2.4 einen allgemeinen Emissionswert von 30 mg/m³ vor, der jedoch gem. Nr. 5.4.2.3 TA Luft für Zementwerke keine Anwendung findet. Dies war der Tatsache geschuldet, dass kein Verfahren zur Minderung der (rohstoffbedingten) NH₃-Emissionen zur Verfügung stand. Das gängige Verfahren zur NO_x-Minderung war bislang das nicht katalytisch arbeitende SNCR-Verfahren, bei dem Ammoniak oder Harnstoff im Bereich eines geeigneten Temperaturfensters in den Gasstrom eingedüst wird. Im Gegensatz zu diesem bewusst eingebrachten Reduktionsmittel kann jedoch das aus den natürlichen Rohstoffen freigesetzte Ammoniak bei diesem Verfahren weder als Reduktionsmittel wirken, noch wird es selbst abgebaut. Das rohstoffbedingte NH₃ entsteht nämlich im Bereich des Vorwärmers und damit - aus Sicht des Abgases - erst nach Durchlaufen der SNCR-Anlage. Dort ist die Temperatur für eine Reaktion mit den im Abgas enthaltenen Stickstoffoxiden zu niedrig. Bei Einsatz von SNCR wird das rohstoffbedingte NH₃ deshalb ungehindert emittiert.
- Anders stellt sich die Situation in einer SCR-Anlage dar. Diese ist nämlich dem Vorwärmer nachgeschaltet, unabhängig davon, ob als High-Dust- oder Low-Dust-Variante ausgeführt. In einer SCR-Anlage wirkt deshalb das im Vorwärmer entstandene rohmaterialbedingte NH₃ genauso NO_x mindern wie das zu diesem Zweck eigens eingedüste Reduktionsmittel und es wird dabei auch selbst abgebaut.
- Vor diesem Hintergrund umfasst der Ammoniakgrenzwert von 30 mg/m³ bewusst sowohl die Ammoniakemissionen aus dem Prozess als auch die Emissionen aus der Entstickung. Dies war vom Bundesumweltministerium bereits im Ursprungsentwurf so vorgesehen. Eine Intervention seitens der Wirtschaftsverbände, die darauf hinwiesen, dass der Grenzwert rohmaterialbedingt nicht

einheitlich und daher als „Schlupf“ zu formulieren sei, fand letztlich keine Berücksichtigung.

- Die Grenzwertsetzung ist in Verbindung mit dem Ausnahmetatbestand in Anlage 3, Ziff. 2.1.4 der 17. BImSchV auch schlüssig, weil sie den zum Zeitpunkt des Erlasses der Verordnung bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich des Umfangs des rohstoffbedingten Frachten und der Möglichkeit zu deren Minderung mittels (des damals noch zu erprobenden) SCR-Verfahrens Rechnung trug.
- Die geltenden Emissionsvorgaben in den Ziffern 2.1 d und h sowie in Ziffer 2.3 des Anhangs der Anlage 3 zur 17. BImSchV entsprechen voll umfänglich der Verabredung aus dem Jahre 2008 zwischen dem Bundesumweltministerium und der Zementindustrie. Nach damaliger gemeinsamer Auffassung von Branche und Bundesumweltministerium würde eine deutliche Absenkung der NOx-Grenzwerte bei gleichzeitiger Begrenzung der Ammoniakemissionen den Einsatz der SCR-Technologie erfordern. Die aus Sicht der Industrie seinerzeit noch offenen Fragen wurden verabredungsgemäß im Rahmen von zwei Pilotvorhaben geklärt.

Stuttgart, 07.03.2016

Leitlinien für die Umsetzung der beabsichtigte Vereinbarung zwischen den Ländern
und den Zementwerksbetreibern zur Umsetzung der 17. BImSchV
in Baden-Württemberg

**A. Geänderte Grenzwerte für NO_x und neu eingeführte
Grenzwerte für NH₃**

Buchstabe A. konkretisiert die Eckpunkte des AISV zum Stand der Technik in der Zementindustrie vom (Entwurf Stand 20.08.2015). Als weitere Erkenntnisquellen sind die Forschungsberichte zu den SCR-Modellprojekten in Mergelstetten und Rohrdorf, das Gutachten von ifeu / ITB Bingen vom Juni 2015 sowie Erkenntnisse aus dem Vollzug in Baden-Württemberg eingeflossen.

Grundüberlegung A: Leistungsvermögen einer SNCR-Anlage

Das SNCR-Verfahren, die selektive nichtkatalytische Reduktion, reduziert NO durch Eindüsen eines stickstoffhaltigen Reduktionsmittels (i.d.R. 25%-ige Ammoniaklösung oder Harnstoff).

Abschätzungen und Betriebserfahrungen zu den mittels der (high efficiency) SNCR erreichbaren NO_x-Minderungsraten nennen den Wert von bis zu 80%. Erfahrung aus dem Anlagenbetrieb legen nahe, dass Minderungsraten in der genannten Größenordnung im Praxisbetrieb nicht erreichbar sind. Vor allem im Hinblick auf die sichere Einhaltung eines generell erwarteten NO_x-Grenzwertes von 200 mg/m³ und eines Grenzwertes für Ammoniak in Höhe von 30 mg/m³ im Tagesmittel scheint die SNCR-Technik daher an ihre Grenzen zu stoßen. So war im Rahmen einer Untersuchung kein Anlagenbauer bereit, eine Gewährleistung für Altanlagen mit NO_x-Rohgaswerten von 1.200 mg/m³ zur sicheren Einhaltung des

NO_x-Grenzwertes zu geben. Nach Einschätzung der Anlagenbauer wäre ohnehin der Grenzwert für Ammoniak in Höhe von 30 mg/m_N³ allein mit dem (errechneten) Schlupf überschritten.

Unabhängig davon stößt die Einhaltung des NH₃-Grenzwertes auf die nicht beeinflussbare Freisetzung von Ammoniak während der Aufwärmphase des Rohmehls. Dieses rohmaterialbedingte Ammoniak wird im Wärmetauscher bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen freigesetzt. Es steht deshalb für den SNCR-Prozess nicht zur Verfügung und wird auch selbst nicht abgebaut.

Somit stellt sich die Frage, ob nicht die SCR-Technologie mit höherem Minderungspotenzial eine mittlerweile wirtschaftliche Alternative geworden ist.

Grundüberlegung B: Wirtschaftlichkeit:

Die höheren Investitionen einer SCR-Anlage gehen in die Gestehungskosten je Tonne Klinker ein. In der Tendenz lässt sich sagen: je höher die Jahresproduktion, desto geringer sind die Zusatzkosten einer SCR-Anlage je Tonne Klinker.

Die laufenden Kosten für die Versorgung mit Reduktionsmittel sind dagegen beim Einsatz der SCR-Technik tendenziell niedriger als bei einer SNCR-Anlage. Hier ist u. a. zu berücksichtigen, dass beim Einsatz des SNCR-Verfahrens die Absenkung des NO_x-Emissionsniveaus von beispielsweise 300 mg/m_N³ auf 200 mg/m_N³ zu signifikant höherem Reduktionsmittelbedarf führt. Der Reduktionsmittelbedarf einer vergleichbaren SCR-Anlage beträgt demgegenüber nur 30 – 50% dieses Niveaus. Darüber hinaus steht hier – im Gegensatz zur SNCR-Anlage – auch das rohmaterialbedingte NH₃ für den Reduktionsprozess zur Verfügung, was zu einer zusätzlichen Einsparung von Reduktionsmittel führen kann. Unabhängig von der damit einhergehenden und aus Sicht des Umweltschutzes zu fordernden Minderung der Ammoniakemissionen dürfte eine SCR-Anlage deshalb insbesondere für Werke mit vergleichsweise hohen NO_x-Rohgaskonzentrationen (>800 mg/m_N³) und

/ oder hohen Rohmaterialbedingten Ammoniakemissionen wirtschaftlich attraktiv ein.

Soweit die Betreiber darauf abheben, dass beim Weiterbetrieb einer vorhandenen SNCR-Anlage keine oder nur geringe Investitionskosten zu berücksichtigen seien ist dieses methodisch nicht korrekt. Auch die Ertüchtigung einer vorhandenen SNCR-Anlage zu einer sogenannten „high efficiency-Anlage“ bedingt Investitionskosten von bis zu 1 Mio. €. Zudem ist zu bedenken, dass auch bei der SCR-Technik nach deren Abschreibung (ca. 10 Jahre) „nur“ noch deren Betriebskosten relevant sind. Da diese nach gegenwärtigen Erkenntnissen deutlich niedriger als diejenigen der SNCR-Technik sein werden (wegen deutlich geringerem Reduktionsmittelbedarf und trotz höherer Stromkosten und Kosten für den Austausch von Katalysatorlagen) werden sich längerfristig die Kosten der Entstickung tendenziell verringern (bezogen auf das gesetzlich vorgegebene und unstrittige NO_x -Niveau von 200 mg/m_N^3).

Daraus lassen sich folgende Leitlinien für die Entstickung ableiten:

1) Neubauten oder durchgreifende Werksmodernisierungen

- Mit Blick auf die Zukunftsfähigkeit der Investition sollte der aktuell beste Stand der Technik bei der Entstickung (gegenwärtig: SCR-Verfahren) zur Anwendung kommen
- Aufgrund der Technologieoffenheit des BImSchG bleibt die Anwendung der SNCR möglich, wenn Grenzwerte ohne Ausnahmen eingehalten werden können.
- Sofern dies aufgrund niedriger NO_x -Rohgaskonzentrationen ($>600 \text{ mg/m}_N^3$) und niedriger rohstoffbedingter NH_3 -Emissionen ($>20 \text{ mg/m}_N^3$)¹ im Bereich des Möglichen erscheint (z.B. aufgrund einer Herstellergarantie), könnte zunächst die SNCR Technik zum Einsatz kommen. Erst wenn das NO_x -Niveau

¹ Beim Betrieb einer SNCR-Anlage ist mit einem Schlupf (verstanden als NH_3 -Emissionen aufgrund Eindüsung von Reduktionsmitteln) von $5 - 10 \text{ mg/m}_N^3$ zu rechnen. In der Summe mit rohstoffbedingten NH_3 -Emissionen $> 20 \text{ mg/m}_N^3$ könnten die Grenzwerte vermutlich schon im Verbundbetrieb, jedenfalls aber im Direktbetrieb nicht eingehalten werden.

und die Ammoniakemissionen tatsächlich ermittelt worden sind, kann entschieden werden, inwieweit weitere Maßnahmen (z.B. eine SCR-Anlage) erforderlich sind. Eine solche Vorgehensweise müsste allerdings zwischen Betreiber und Behörde frühzeitig im Sinne eines gestuften Vorgehens (Verpflichtung zu weiteren Maßnahmen, falls mit SNCR Grenzwerte nicht eingehalten werden können) verabredet werden

- Denkbar erscheint auch, dass mit Blick auf die Komplexität der Inbetriebnahme eines neuen Werkes dieses zunächst ohne die SCR-Anlage in Betrieb geht und letztere nach Einfahren des Werkes nachgerüstet wird (innerhalb von zwei Jahren).

Begründung:

Bei Neubauten oder Modernisierungen, die einem Neubau gleich kommen, besteht die Erwartung dass diese dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Soll dennoch am SNCR-Verfahren festgehalten werden müssen die Grenzwerte in allen Betriebszuständen ohne rohstoffbedingte Ausnahmen eingehalten werden. Anderes wäre nicht vermittelbar.

Da durch den Einsatz des SCR-Verfahrens im Nebeneffekt auch die Emissionen an ^{gesamt}C weitgehend (40 – 60%) gemindert werden, wären Ausnahmen auch aus diesem Grund nicht vertretbar. Mit Blick auf die Komplexität der Errichtung und Inbetriebnahme eines neuen Werkes erscheint eine begrenzte zeitliche Streckung denkbar.

2) Die Anwendung des SNCR-Verfahrens erscheint bei **Bestandsanlagen** in erster Näherung nicht plausibel bei

- NO_x -Rohgaswerten $> 1.000 \text{ mg/m}_N^3$ und/oder
- hohen rohstoffbedingten NH_3 -Emissionen ($> 40 \text{ mg/m}_N^3$)
- Notwendigkeit rohstoffbedingter Ausnahmen im Verbundbetrieb.

Begründung:

Aufgrund der beschriebenen chemisch-physikalischen Zusammenhänge ist bei Rohgaswerten $> 1.000 \text{ mg/m}_N^3$ eine Einhaltung der NO_x -Grenzwerte nicht möglich bzw. nur durch einen massiven Anstieg der NH_3 -Emissionen erreichbar. Vorschläge der Betreiber, die Grenzwerte mittels des SNCR-Verfahrens einhalten zu wollen, sind entsprechend kritisch zu hinterfragen.

3) Rohstoffbedingte Ausnahmen für Bestandsanlagen

wenn bei niedrigem NO_x -Rohgaswerten mit SNCR die NO_x -Grenzwerte eingehalten und die Ammoniak-Grenzwerte weitestgehend eingehalten werden. Die Betriebserfahrungen zeigen dass dies im Verbundbetrieb in etlichen Fällen erreichbar erscheint. Daher konzentriert sich die Betrachtung auf den Umgang mit den Direktbetriebszeiten:

- Im Verbundbetrieb müssen die GW eingehalten werden,
- Ausnahmen kommen nur für den Direktbetrieb in Betracht. Grundvoraussetzungen sind:
 - o Der Direktbetrieb muss eine klar untergeordnete Rolle spielen (<15% der Betriebsstunden)
 - o **Begrenzung der NH_3 -Emissionen im Direktbetrieb auf max. 60 mg/m_N^3**
 - o **Begrenzung der Emissionen im Jahresmittel: Einhaltung eines Jahresmittelwerte $< 25 \text{ mg/m}_N^3$, berechnet aus allen Halbstundenmittelwerten.**
- Liegen diese Voraussetzungen vor, hat eine Abwägung nach § 24 i.v.m. Ziff. 2.1.4 der Anlage 3 zur 17. BImSchV zu erfolgen.

Begründung:

In der 17. BImSchV sind für NH_3 Tagesmittelwerte und Halbstundenmittelwerte vorgegeben. Dies dient der Steuerung der anwendbaren Verfahren. Ein Jahresmittelwert ist –anders als für NO_x – nicht vorgesehen. Da bei Einsatz eines SCR-Verfahrens im realen Betrieb mit NH_3 -Emissionen von ca. 10 mg/m_N^3 und in der Tendenz von NO_x -Emissionen deutlich $< 200 \text{ m}_N^3$ zu rechnen ist stellen genannten Vorgaben sicher, dass die Möglichkeit für Ausnahmeentscheidungen nur für Fälle eröffnet wird, in denen das Niveau der Minderung der N-Emissionen weitestgehend dem einer SCR-Anlage entspricht. Dabei wird von einer Ausfallzeit der SCR-Anlage von 5% ausgegangen.

Allerdings ist auch in diesen Fällen eine Abwägungsentscheidung zu treffen. Im Rahmen der Abwägung sind zusätzlichen Minderungen beim

Einsatz einer SCR-Anlage bei der N-Fracht (untergeordnet) sowie an gesamt C (mit dem entsprechenden Gewicht, falls Grenzwertüberschreitungen vorliegen), Dioxinen, Furanen, PCDD, PAH u. a. zu berücksichtigen. Zu bedenken ist weiter, dass sich die NH₃-Emissionen im Vergleich zu den NO_x-Emissionen in der näheren Umgebung der Anlage nachteiliger auswirken können (siehe unten 7.). Dem stehen der betriebliche Aufwand und die Kosten gegenüber. Sofern sich bestätigen sollte, dass die Mehrkosten des SCR-Verfahrens eher gering sein dürften, könnte sich der Spielraum für Ausnahmen weiter einengen. Ggf. könnte eine längere Übergangsfrist berücksichtigt werden.

4) SCR-Verfahren könnte unverhältnismäßig sein wenn

- Produktionskapazität < 1.000 t/d
- Restlaufzeit des Werks < 10 Jahre.

Ausnahmeanträge sind gemäß Ziff. 6 fundiert zu begründen.

Begründung:

Die Kosten beim Betrieb einer SCR-Anlage werden in den ersten 10 Jahren (Abschreibungszeitraum) von den Investitionskosten geprägt. Es ist anzunehmen, dass die relativen Kosten je Tonne produzierten Klinkers bei höheren Jahreskapazitäten sinken.

Im Falle einer Restlaufzeit des Werkes von < 10 Jahren müssen die Investitionskosten ebenfalls auf eine geringere Produktionsmenge verteilt werden bzw. können die längerfristigen Vorteile der SCR-Anlage (geringere Betriebsmittelkosten) nicht zum tragen kommen.

5) Nachweis von wirtschaftlicher Unverhältnismäßigkeit (Betriebsgefährdung) nach § 24 der 17. BImSchV bleibt möglich.

6) Fundierte Begründung von Ausnahmen

Anträge auf rohmaterialbedingte Ausnahmen für Ammoniak sind in allen Fällen fundiert zu begründen. Dazu gehören insbesondere Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit (siehe oben).

Ausnahmen – auch wenn sie gemäß Ziff. 3 auf einen längeren Zeitraum ange-

legt sind - sollen in der Regel nur zeitlich befristet gewährt werden und nur erteilt werden, wenn ein Konzept zur zeitnahen Umsetzung der Grenzwerte vorliegt.

7) Berücksichtigung der N-Belastung für Biotope/Schutzgebiete

Sofern aufgrund der (Vor-)Belastung von Biotopen/Schutzgebieten weitergehende Anforderungen erforderlich sind, gehen diese den Ziff. 1) – 6) vor.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich *NH₃-Emissionen* aufgrund der höheren Sinkgeschwindigkeit im näheren Umkreis der Anlagen belastender als *NO_x-Emissionen* auswirken können.

B. Gesamtstaub

Aus Gründen der Verhältnismäßigkeit soll die Umsetzung der Gesamtstaubgrenzwerte im Zuge von ohnehin anstehenden Genehmigungsverfahren umgesetzt werden. Dabei sind auch die ungedeckten Quellen auf Minderungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik zu überprüfen.

C. Überschreitungen bei schon bisher geltenden Grenzwerten (ohne Änderung bei der jüngsten Novelle 2013)

In vielen Zementwerken werden die Grenzwerte für gesamtC , CO und SO_2 zum Teil massiv überschritten. Dies beruht in Teilen auf der Zusammensetzung der natürlichen Rohstoffe. Auch bei Hg gibt es z.T. Überschreitungen. Die 17. BImSchV sah und sieht deshalb die Möglichkeit zu Gewährung rohstoffbedingter Ausnahmen vor. Im Zuge der Überprüfung der Genehmigungen stellt sich deshalb die Frage wie mit diesen Überschreitungen weiter umgegangen werden soll.

1. Grundsätzliches

Im Zentrum der Überprüfung stehen die durch die Novelle der 17. BImSchV explizit geänderten / neu eingeführten Grenzwerte für NO_x und NH_3 (siehe oben, A.). Insoweit ist fest zu stellen, dass sich zu deren Umsetzung mit der Verfügbarkeit des SCR-Verfahrens auch der Stand der Technik der Abgasreinigung in der Zementindustrie weiter entwickelt hat. Soweit sich die Verfügbarkeit des SCR-Verfahrens auch auf die unter C. behandelten Schadstoffe auswirkt (trifft unmittelbar auf gesamtC und ggf. mittelbar auf CO zu) ist dies entsprechend zu berücksichtigen.

Im Übrigen sind einerseits das Ausmaß der zugelassenen Überschreitungen und deren Nachweis (Ziel: realitätsnahe Festlegung), andererseits die Möglichkeiten zur Emissionsminderung durch optimierten Betrieb der vorhandenen betrieblichen Anlagen zu überprüfen.

2. Nachweis durch Gutachten

Sofern die Emissionen nicht mit Maßnahmen nach dem Stand der Technik (in der Zementindustrie) gemindert werden können, liegen die Voraussetzungen für rohstoffbedingte Ausnahmen vor. Der Betreiber hat einen entsprechenden Antrag zu stellen und dies durch ein geeignetes Gutachten nachzuweisen. Die Tragfähigkeit der hierzu im Auftrag der Betreiber vom VDZ erstellten Gutachten zu den rohstoffbedingten Emissionsanteilen (gesamtC , CO und NH_3) wird aktuell im Dialog zwischen Ländern und VDZ geklärt. Hierzu erfolgt ggf. eine gesonderte Unterrichtung.

Bei der Prüfung der Gutachten ist auf die gesetzliche Vorgabe zu achten, dass die Emissionen, die aus dem Einsatz von Abfällen resultieren, nicht mittels einer rohstoffbedingten Ausnahme zugelassen werden dürfen (vgl. Anlage 3 zur 17. BImSchV, Nr. 2.1.2, 2.1.4 und 2.4.2).

3. gesamtC

Die Verfügbarkeit des SCR-Verfahrens wirkt sich auch auf die Emissionen organischer Stoffe (gesamtC, außer Methan) aus: diese werden nach den Erfahrungen aus den Pilotprojekten deutlich gemindert (40 – 60%). Sofern Überschreitungen vorliegen und künftig eine SCR-Anlage installiert wird, ist von einer Minderung nach dem Stand der Technik auszugehen. Für ggf. noch verbleibende Grenzwertüberschreitungen können nach dem beschriebenen Vorgehen Ausnahmen erteilt werden

Sofern am SNCR-Verfahren festgehalten werden soll, ist im Falle von Ausnahmeanträgen für NH₃ die verpasste Minderung bei gesamtC mit dem entsprechenden Gewicht in die Abwägung einzustellen. Werden die NH₃-Grenzwerte ohne Gewährung von Ausnahmen eingehalten erscheint die Forderung nach Installation einer SCR-Anlage allein zur Einhaltung der Grenzwerte bei gesamtC mit Blick auf die Entstehungsgeschichte der Novelle 2013 nicht angezeigt, sofern damit deutliche Mehrkosten je Tonne Klinker verbunden sind (da mutmaßlich nicht vom Willen des Gesetzgebers gedeckt).

4. CO

Die Installation einer SCR-Anlage hat keinen unmittelbaren Einfluss auf die CO-Emissionen. Allerdings gibt es deutliche Hinweise darauf, dass ein Teil der CO-Emissionen auf eine unvollständige Verbrennung aufgrund sauerstoffreduzierter Bedingungen bei der Sekundärfeuerung im Bereich des Ofeneinlaufs zurück zu führen sein könnte. Grund hierfür könnte das Bestreben des Betreibers sein, das NO_x-Niveau im Rohgas zu begrenzen, um mittels der SNCR-Verfahrens die geforderten NO_x-Grenzwerte einhalten zu können. Eine weitere Ursache für erhöhte CO-Konzentrationen könnte in der Art der Aufgabe der (Ersatz-)Brennstoffe im Ofeneinlauf liegen (z.B. stückige Aufgabe von Altreifen). Der Einsatz des SCR-Verfahrens könnte künftig Spielräume für eine veränderte

Fahrweise der Anlage (verstärkte Sauerstoffzufuhr) schaffen.

Daher sind einerseits das Ausmaß der beantragten Überschreitungen und deren Nachweis (Ziel: realitätsnahe Festlegung und ohne Berücksichtigung der Emissionen, die aus dem Einsatz von Abfällen resultieren), andererseits die Möglichkeiten zur Emissionsminderung durch optimierten Betrieb der vorhandenen betrieblichen Anlagen zu überprüfen. Aus der Praxis sind hierzu folgende Maßnahmen bekannt:

- Einbau eines optimierten Brenners für die Primärfeuerung
- Vergleichmäßigung der Sauerstoffzufuhr (gleichmäßige Temperatur der Primärluft durch verbesserte Vorwärmung im Bereich des Klinkerkühlers)
- Computerunterstützte Optimierung der Brennstoffeindüsung und Sauerstoffzufuhr bei der Primärfeuerung
- ggf. verbesserte Konditionierung /durchdachtere Mischung und Aufgabe der Brennstoffe im Bereich der Sekundärfeuerung (Ofeneinlauf)².

5. SO₂

Die Anwendung des SCR-Verfahrens wirkt sich nicht mindernd auf die SO₂-Emissionen aus.

Es sind ggf. das Ausmaß der zugelassenen Überschreitungen und deren Nachweis (Ziel: realitätsnahe Festlegung), sowie die Möglichkeiten zur Emissionsminderung durch optimierten Betrieb der vorhandenen betrieblichen Anlagen zu überprüfen.

6. Quecksilber

Die Minderung der **Quecksilberemissionen** wird in näherer Zukunft verstärkt Gegenstand der Bemühungen zur Minderung der Schadstoffbelastungen für die Umwelt sein. Auf internationaler Ebene haben sich die EU und Deutschland in der Minamata-Konvention auf verstärkte Maßnahmen verpflichtet. Dementsprechend waren die Möglichkeit zur Minderung der Hg-Emissionen Gegenstand intensiver Diskussionen im Prozess zur Erarbeitung des aktualisierten BVT-Merkblatts für Großfeuerungsanlagen. Die erforderlichen Minderungseinrichtungen sind vorhanden und werden **z.T. auch bereits in der Zementindustrie**

² Hierzu gibt es ein Forschungsprojekt der Bayerischen LfU.

angewandt (z.B. Anlage zur Eindüsung von Aktivkohle und Regelung zur Ausschleusung quecksilberbelasteter Filterstäube). Der Beitrag der Zementindustrie an den Gesamtemissionen an Quecksilber in Baden-Württemberg ist mit 117 kg und einem Anteil von knapp 18% signifikant.

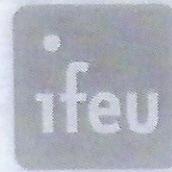
Der Einfluss des SCR-Verfahrens auf die Hg-Emissionen ist noch nicht ausreichend verstanden. Aus den Pilotprojekten wird berichtet, dass das Quecksilber im Abgas sich bei Durchströmen des Katalysators verstärkt von der elementaren in die ionische Form umwandelt und dadurch leichter im Staubfilter abgeschieden werden könnte.

Vor diesem Hintergrund soll bezüglich Hg wie folgt verfahren werden:

Neuanlagen / durchgreifende Werksmodernisierungen müssen die Grenzwerte ohne rohstoffbedingte Ausnahmen einhalten.

Auch Bestandsanlagen sollen die Grenzwerte ohne Ausnahmen einhalten. Im Zuge anstehender Genehmigungsverfahren soll daher ggf. auf die Nachrüstung entsprechender Minderungseinrichtungen hingewirkt werden. Ausnahmen dürfen nur bei Vorliegen gewichtiger Gründe (große technische Schwierigkeiten; hohe Kosten) erteilt werden.

19/



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Untersuchung zur Umsetzung der novellierten 17. BImSchV in der Zementindustrie bezüglich der neuen Emissionsgrenzwerte für Stickoxide und Ammoniak

für das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
Referat 42, Immissionsschutz, Lärm, Störfallvorsorge

Regine Vogt und Horst Fehrenbach, IFEU Heidelberg

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Glinka, ITB Bingen

Heidelberg, Bingen Juni 2015

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
1 Einführung	4
2 Entstickungstechnologien in der Zementindustrie	6
2.1 Beschreibung SNCR- und SCR-Technologie	6
2.1.1 SNCR-Verfahren	6
2.1.2 SCR-Verfahren	9
2.2 Beschreibung zu realisierten SCR-Anlagen	11
2.2.1 Erste High-Dust-SCR-Großanlagen in Solnhofen und Monselice	12
2.2.2 Betriebsdaten und -erfahrungen der SCR-Anlagen in Mergelstetten, Rohrdorf und Mannersdorf	12
2.2.3 Geplante SCR-Anlagen mit NO _x -Reingaswerten unter 200 mg/m _N ³	19
2.3 Zementwerke in Baden-Württemberg	20
2.4 Auslegungsbasis für Kostenkalkulation und Einschätzung Umweltwirkungen	21
3 Wirtschaftliche Auswirkungen einer Einführung der SCR Technologie	24
3.1 Allgemeine Vorbemerkungen	24
3.2 Investitionskosten	24
3.2.1 Kostenstruktur	24
3.2.2 Investitionskosten SNCR	25
3.2.3 Investitionskosten SCR	26
3.2.4 Zusammenfassung Investition	29
3.3 Betriebsmittelkosten	30
3.3.1 Chemikalienbedarf	30
3.3.2 Energiebedarf	32
3.4 Zusammenfassung der Kosten	34
3.5 Zusammenfassende Bewertung	36
4 Auswirkungen auf die Umwelt bei einer Einführung der SCR Technologie	39
5 Zusammenfassung	44
6 Anhang Daten zu SCR-Großanlagen	46
Literaturverzeichnis	48

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 3.1: Zusammenfassung Investitionskosten
- Abbildung 3.2: Vergleich Betriebsmittelkosten für Ammoniakwasser Fehler! Textmarke nicht definiert
- Abbildung 3.3: Vergleich Energiekosten
- Abbildung 3.4: Vergleich Gesamtkosten
- Abbildung 3.5: Vergleich Gesamtkosten nach Kostenanteilen
- Abbildung 4.1: Schematische Darstellung Systemgrenze für Vergleich SNCR- und SCR-Technologie
- Abbildung 4.2: T-Diagramm high efficiency SNCR-Technologie versus High-Dust SCR
- Abbildung 4.3: T-Diagramm high efficiency SNCR-Technologie versus Low-Dust SCR
- Abbildung 4.4: T-Diagramm Low-Dust SCR versus High-Dust SCR
- Abbildung 6.1: Herstellerangaben zu Betriebsdaten SCR Mergelstetten
- Abbildung 6.2: Herstellerangaben zu Auslegungs- und Betriebsdaten SCR Mergelstetten
- Abbildung 6.3: Auszüge aus dem Abschlussbericht zur Low-Dust SCR in Rohrdorf
- Abbildung 6.4: Erreichte Minderungen NO_x und NH₃-Frachten durch die SCR in Rohrdorf

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 2.1: Eckdaten zu SNCR und SCR-Technologie in der Zementindustrie
- Tabelle 2.2: Betriebsdaten zu Zementwerken mit SCR-Technologie
- Tabelle 2.3: Daten zu SCR-Anlagen bei Zementwerken mit NO_x-Reingaswerten von 200 mg/m_N³ im Tagesmittel
- Tabelle 2.4: Auslegungsdaten und Rechenwerte untersuchte Basisvarianten
- Tabelle 2.5: Auslegungsdaten und Rechenwerte high efficiency SNCR
- Tabelle 3.1: Investitionskosten SNCR
- Tabelle 3.2: Spezifikation Katalysatoren
- Tabelle 3.3: Investitionskosten High-Dust-SCR
- Tabelle 3.4: Investitionskosten Low-Dust-SCR
- Tabelle 3.5: Zusammenfassung Investitionskosten
- Tabelle 3.6: Chemikalienkosten SNCR
- Tabelle 3.7: Chemikalienkosten SCR
- Tabelle 3.8: Energiekosten Druckverlust Katalysator
- Tabelle 3.9: Beispielhafte Zusammenstellung der Gesamtkosten SCR in €/t Klinker
- Tabelle 3.10: Beispielhafte Zusammenstellung der Gesamtkosten SNCR in €/t Klinker
- Tabelle 4.1: Emissionsfaktoren für THG-Emissionen
- Tabelle 4.2: Spezifische Ergebnisse der Varianten
- Tabelle 4.3: Gesamtlasten in Deutschland und Einwohnerspezifische Beiträge

1 Einführung

Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg hat das IFEU Heidelberg und ITB Bingen für eine Untersuchung zur Darlegung der wirtschaftlichen Auswirkungen sowie der Auswirkungen auf die Umwelt bei einer Einführung der SCR Technologie in der Zementindustrie beauftragt. Dies vor allem vor dem Hintergrund, dass Teile der Zementwerksbranche mit dem Argument hoher Kosten am hergebrachten SNCR-Verfahren in der Weiterentwicklung als „high efficiency“ festhalten wollen.

Rechtlicher Rahmen

Die high efficiency SNCR ist allerdings i.d.R. nicht geeignet die Anforderungen der novellierten 17. BImSchV (2013) zu erfüllen. Für Zementwerke relevant ist diese bei der Mitverbrennung von Abfällen. Nach § 9 (2) gelten hierfür die Regelungen in Anlage 3 Nummer 2 der 17. BImSchV, außer die Anlagen erzeugen mehr als 40% der Feuerungswärmeleistung mit gefährlichen Abfällen, dann gelten die gleichen Regelungen wie für Abfallverbrennungsanlagen (§ 9 (3)).

Nach Anlage 3 Nummer 2 der 17. BImSchV müssen Anlagen zur Herstellung von Zementklinkern und Zement für NO_x einen Tagemittelwert von 200 mg/m³ einhalten sowie für NH₃ einen Tagemittelwert von 30 mg/m³, sofern ein SCR- oder SNCR-Verfahren eingesetzt wird (Bezugssauerstoffgehalt 10 Vol%). Die Werte gelten seit in Kraft treten der 17. BImSchV am 02.05.2013 für Neuanlagen. Bestehende Anlagen zur Herstellung von Zementklinker und Zementen müssen den Grenzwert für NH₃ ab dem 1. Januar 2016 einhalten (§ 28 (1)) und den Grenzwert für NO_x spätestens ab dem 1. Januar 2019 (§ 28 (5))¹.

Für Zementwerke, die keine Abfälle mitverbrennen, gelten die Vorgaben der TA Luft (2002) Nummer 5.4.2.3 (bzw. allgemeine Anforderungen nach 5.2). Bestimmte Vorsorgeanforderungen daraus sind mit der Veröffentlichung durch das BMU im Bundesanzeiger zur Bekanntmachung des Fortschreitens des Standes der Technik nicht mehr bindend. Dies betrifft u.a. Nr. 5.4.2.3 der TA Luft für Stickstoffoxide und 5.4.2.3 sowie 5.2.4 der TA Luft für Ammoniak (BAnz AT 09.01.2014 B3). Für die betroffenen Anforderungen hat der LAI Vollzugsempfehlungen für einen neuen Stand der Technik vorgelegt (LAI 2013). Danach sollen Neuanlagen bei NO_x-Emissionen die Massenkonzentration von 0,20 g/m³ nicht überschreiten (BVT Nr. 19) und, sofern ein SCR- oder SNCR-Verfahren eingesetzt wird, bei NH₃-Emissionen nicht die Massenkonzentration von 30 mg/m³ (BVT Nr. 20). Für den strengeren NO_x-Grenzwert wird in der Vollzugsempfehlung für Altanlagen eine Übergangsfrist gewährt. Diese müssen den neuen Grenzwert ab dem 01.01.2019 einhalten. Bis dahin sollen die NO_x-Emissionen die Massenkonzentration von 0,35 g/m³ nicht überschreiten. Die vorgeschlagenen Emissionswerte entsprechen auch den Anforderungen der Anlage 3, Nr. 2.1 der 17. BImSchV für Anlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden.

Bedeutung der Schadstoffe

Die Bedeutung von NO_x- und NH₃-Emissionen wird durch internationale Übereinkünfte deutlich, welche die Senkung von Luftschadstoffen zum Ziel haben, um negative Effekte auf die menschliche Gesundheit und Ökosysteme zu verringern. Hierzu zählt das Göteborg-Protokoll², ein Multikomponentenprotokoll, das von den Parteien der Genfer Luftreinhaltekonvention³ in Göteborg beschlossen wurde und im Mai 2005 in Kraft trat. Eine Novellierung erfolgte im Mai 2012. Darin sind Emissionsminderungsverpflichtungen bis zum Jahr 2020 und

¹ Bei wesentlichen Änderungen dieser Anlagen bis zum 31.12.2018 ist nach 17. BImSchV, Anlage 3, Nr. 2.1.1 zu prüfen, ob die Anforderungen zur Begrenzung von NO_x für Neuanlagen unter verhältnismäßigem Aufwand eingehalten werden können. Möglichkeiten, die NO_x-Emissionen zu vermindern, sind auszuschöpfen.

² http://www.unece.org/env/lrtap/multi_b1.html

³ Dazu gehören die EU-Mitgliedstaaten, die Europäische Kommission, osteuropäische und asiatische Staaten sowie die USA und Kanada.