

VAIS Positionspapier

**Empfehlungen zur Bewertung von
Luftschadstoffemissionen industrieller
Prozesse bei der Verbrennung von Wasserstoff
(am Beispiel von Stickoxidemissionen)**

April 2025

Präambel

Dieses Dokument basiert auf den Ergebnissen eines vom Bundesverband der Deutschen Glasindustrie BV Glas und vom Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. initiierten „runden Tisches“ mit Vertretern relevanter Verbände und Unternehmen. Im Januar 2025 wurde ein gemeinsames Diskussionspapier unter dem Titel „Bewertung von Luftschadstoffemissionen industrieller Prozesse auf dem Weg zur Klimaneutralität am Beispiel von Stickstoffoxidemissionen bei der Verbrennung von Wasserstoff“ herausgegeben.

Das VAIS-Positionspapier hat daraus die für den energie- und verfahrenstechnischen Anlagenbau und -betrieb relevanten Erkenntnisse in den in diesem Dokument aufgeführten Empfehlungen zusammengefasst.

Vorwort

Wasserstoff wird in der zukünftigen Strom- und Wärmeversorgung als ein vielseitiger Energieträger eine zunehmend zentrale Rolle spielen, der sowohl zur Versorgungssicherheit, zur Dekarbonisierung der Energie- und Rohstoffversorgung als auch zur Schaffung von Speicherlösungen für erneuerbare Energien beitragen kann. Neben der Nutzung in Kraftwerken zur Sicherung von Residualleistung ist die Bereitstellung von Hochtemperaturwärme für industrielle Prozesse essenziell. Wasserstoff kann hier als Brennstoff eingesetzt werden, um die z.B. in der Metallverarbeitung, in der chemischen oder Glasindustrie erforderlichen hohen Temperaturen zu erzeugen, die bisher durch fossile Brennstoffe bereitgestellt werden.

Um Wasserstoff allein oder als Zusatzbrennstoff einzusetzen, ist eine Neubewertung von Grenzwerten für Luftschadstoffemissionen erforderlich. Die Verbrennung von Wasserstoff verändert das Abgasvolumen, was eine passende Festlegung der geeigneten Mess- und Berechnungsmethoden erfordert, wenn beispielsweise NO_x-Emissionsgrenzwerte für Wasserstoff festgelegt werden. In laufenden und zukünftigen Genehmigungsverfahren wird diese Problematik immer häufiger auftreten, da für solche Anwendungen derzeit kein „Stand der Technik“ und keine auf realen Anlagen basierende Emissionsmesswerte existieren.

Um einen harmonisierten und effizienten EU-Markt zu erreichen, sind einheitliche Genehmigungsanforderungen für die Wasserstoffverbrennung erforderlich. Die Industrieemissionsrichtlinie (IE-Richtlinie; 2024/1785/EU) – umgesetzt in deutsches Recht durch Bundes-Immissionsschutzgesetz (BimSchG); Umsetzung bis 01.07.2026 abgeschlossen – ist die wesentliche europäische Regelungsgrundlage für die Zulassung und den Betrieb von Industrieanlagen. Im Zuge des Inkrafttretens vom 04.08.2024 besteht die Notwendigkeit, die für Verbrennungsprozesse relevanten BREFs bzw. BVT-Merkblätter (z. B. LCP BREF und WI BREF) anzupassen und in nationales Recht zu überführen, u.a. durch Modifizierung der relevanten BimSchV.

Hierzu soll dieses Papier eine Gesprächsgrundlage und Empfehlung zur Vorgehensweise bieten, die den neuen Anforderungen der sich wandelnden Technologielandschaft besser genügt. Ziel dieses Dokuments ist es nicht, konkrete Grenzwerte für Schadstoffemissionen vorzuschlagen. Diese müssen je nach Prozess und Stand der Technik spezifiziert werden.

Alternative Ansätze für Emissionsgrenzwertdefinitionen am Beispiel NO_x

Die aktuelle Bewertung der NO_x-Emissionen industrieller Anlagen, basierend auf der Konzentration im trockenen Abgas, führt für Wasserstoff zu erheblich höheren Emissionswerten z. B. im Vergleich zu Erdgas H bei gleichem emittierten NO_x-Massenstrom (Annahme: Verbrennung mit Luft). Dies ist auf die Korrektur der Messwerte auf trockene Abgasbedingungen, auf das leistungsspezifisch geringere Abgasvolumen und auf die Umrechnung auf einen Bezugssauerstoffgehalt zurückzuführen.

Die Begrenzung der Schadstofffracht ist jedoch das vom Gesetzgeber angestrebte Schutzziel und nicht die Limitierung der Schadstoffkonzentration. Daher ist es naheliegend, bestehende Vorgehensweisen bei der Bewertung von Schadstoffemissionen auf neue Brennstoffe oder Feuerungstechnologien hin anzupassen oder ggfs. zu ersetzen. Darüber besteht in weiten Teilen der Industrie sowohl aus Sicht von Betreibern und Anlagenbauern Konsens.

Dieses Dokument erörtert im Folgenden drei Alternativen, die derzeit im wissenschaftlichen und industriellen Umfeld diskutiert werden:

- I. Umrechnungsfaktoren bzw. eigene Konzentrationsgrenzwerte
- II. Bezug des NO_x-Massenstroms auf eine Produktmenge
- III. Bezug des NO_x-Massenstroms auf die eingebrachte Energie

Es ist anzumerken, dass diese Ansätze für fast alle in der TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 21.08.2021) oder anderen relevanten Regelwerken genannten Luftschadstoffe anwendbar sind und NO_x in diesem Fall lediglich als Beispiel angeführt wird. Zudem sind alle genannten Verfahren sowie die heutige Vorgehensweise nur bedingt auf prozessbedingte Schadstoffemissionen anwendbar, die nicht unmittelbar mit der Wärmefreisetzung zusammenhängen.

I. Umrechnungsfaktoren bzw. eigene Konzentrationsgrenzwerte

Der naheliegendste Ansatz für die Erfassung der Emissionen ist die Definition von Umrechnungsfaktoren oder auch die Festlegung eigener verfahrensspezifischer Konzentrationsgrenzwerte für verschiedene Brennstoffe bzw. Brennstoff-Oxidator-Kombinationen. Der Vorteil dieser Variante ist, dass bewährte Prozeduren zur Bestimmung der Emissionsintensität beibehalten werden können. Für die Überwachung der Emissionen ist die gleiche oder vergleichbare Messtechnik verwendbar.

Es ergeben sich jedoch zahlreiche Nachteile. So muss für jeden Brennstoff, der in einer Anlage umgesetzt wird, ein separater Grenzwert definiert werden, um eine transparente und vergleichbare Basis für die Bewertung der NO_x-Emissionen zu gewährleisten. Dies wird ungleich komplexer, wenn die Zusammensetzung des Brennstoffs zeitlich schwankt, wie bspw. bei der Verwendung von Ersatzbrennstoffen, dem Einsatz von Mischgasen oder der flexiblen Beimischung von Wasserstoff zu Erdgas zur unmittelbaren Reduktion der CO₂-Emissionen.

Gleiches gilt ebenso für den flexiblen Einsatz von Sauerstoff als Oxidator zur Steigerung der Energieeffizienz oder für die Verbrennung mit reinem Sauerstoff. Schließlich muss für jeden Prozess und jede mögliche Brennstoff-Oxidator-Kombination ein separater Grenzwert definiert werden. Dies ist allerdings erst dann möglich, wenn repräsentative Langzeit-Betriebserfahrungen mit der jeweiligen Prozesskonfiguration vorliegen. Insbesondere im Fall des Einsatzes von Wasserstoff ist dies jedoch nicht gegeben.

II. Bezug des NO_x-Massenstroms auf eine Produktmenge

Eine weitere Option ist der Bezug des emittierten NO_x-Massenstroms auf eine Produktmenge, bspw. pro Tonne produziertes Produkt (kg NO_x/t Produkt) oder erzeugte elektrische Energie (kg NO_x/kWh elektrisch). Vorteilhaft an einer solchen Lösung ist, dass sie bereits heute in manchen Branchen und Anwendungen eingesetzt wird, wenn über Abgaskonzentrationen kein sinnvoller Grenzwert gebildet werden kann. Dies gilt bspw. für elektrisch beheizte oder mit reinem Sauerstoff befeuerte Glasschmelzwannen. Diese Betrachtungsweise ist unabhängig vom Energieträger und erspart eine ggfs. sehr aufwändige Ermittlung der Brennstoffeigenschaften. In manchen Prozessen ist die Produktmenge ohnehin deutlich leichter zu erfassen als die Brennstoffeigenschaften (bspw. Feuerungen mit Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie und Messung der Produktmenge über die Klinkerwaage).

Auch dieses Vorgehen hat gewisse Nachteile. So wird die Energieeffizienz einer Anlage implizit an die Schadstoffemissionen gekoppelt, sodass sich weniger Freiheitsgrade beim Anlagenbetrieb ergeben können. Bei manchen Prozessen müssen auch hohe Betriebstemperaturen beibehalten werden, selbst wenn nicht produziert wird (bspw. Erwärmungsöfen in der Stahlindustrie), um die Anlage vor Schaden zu bewahren. In einem solchen Fall liegt keine Produktion vor, es werden aber dennoch Schadstoffe emittiert. Gleiches gilt für das An- und Abfahren der Anlagen ohne bzw. mit eingeschränkter Produktion. Es werden grundsätzlich größere Intervalle für die Messungen und das Reporting notwendig (bspw. Tages- oder Wochenmittelwerte), da die Produktivität einer Anlage sehr stark schwanken kann, dies aber u. U. nicht direkt an die Emissionen gekoppelt ist. Eine unmittelbare Bewertung der aktuell auftretenden Emissionen ist nicht möglich, da die Bilanzierung immer nur im Nachgang erfolgen kann.

III. Bezug des NO_x-Massenstroms auf die eingebrachte Leistung

Eine weitere Alternative stellt der Bezug des NO_x-Massenstroms auf die eingebrachte Leistung dar. So ergibt sich bspw. eine Angabe in [mg/MJ] oder [mg/kWh]. Diese Betrachtung hat den Vorteil, dass sie unabhängig vom eingesetzten Energieträger ist und auch bei variablen Brennstoffzusammensetzungen angewendet werden kann. Selbst elektrische oder hybride Heizsysteme können konsistent berücksichtigt werden. Dies gilt ebenso für die Wahl des Oxidators.

Diese Form der Bewertung von Schadstoffemissionen ist grundsätzlich aus anderen Branchen (bspw. beim Einsatz von Gebläsebrennern) und Ländern (bspw. USA) bekannt und erprobt. Die Bewertung von Schadstoffemissionen und Prozesseffizienz sind vollständig entkoppelt. Die Umrechnung von gemessenen Konzentrationen auf leistungsbezogene Emissionen ist physikalisch einfach zu realisieren und in manchen Industrienormen und Standards (z. B. DIN EN 267: 2021 oder DIN EN 676: 2023) bereits hinterlegt. Die benötigten Brennstoffeigenschaften (volumetrischer Heizwert und minimales spezifisches trockenes Abgasvolumen) können leicht anhand der Brennstoffzusammensetzung ermittelt werden.

Bei einigen Industrieprozessen sind wesentliche Eigenschaften der Brennstoffe nur schwer erfassbar oder schwanken sehr stark, so dass eine Anwendung dieser Methodik nicht überall möglich oder sehr aufwändig ist.

Bewertung und Empfehlung

Von den drei genannten Alternativen bietet sich der Bezug der Emissionen auf die eingebrachte Leistung in den meisten Anwendungsfällen der Thermoprozess- und Kraftwerkstechnik an, um Schadstoffemissionen bei sehr unterschiedlichen Brennstoffen und Prozessen sinnvoll und transparent zu quantifizieren und miteinander zu vergleichen. Es gibt prozessbedingte Ausnahmen, wo der Bezug auf die Produktmenge leichter zu realisieren ist, etwa in Prozessen, bei denen die Brennstoffzusammensetzung kaum erfassbar ist.

Es sei hier ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es nicht Ziel dieses Dokuments ist, konkrete Grenzwerte für Schadstoffemissionen bei technischen Verbrennungsprozessen vorzuschlagen. Diese müssen, je nach Prozess und Stand der Technik, individuell für Branchen und Anwendungen spezifiziert werden. Es geht an dieser Stelle ausschließlich darum, auf die Problematik der bestehenden Vorgehensweise hinzuweisen und eine alternative Methodik zur Quantifizierung und Bewertung von energiebedingten Schadstoffemissionen vorzustellen, die den neuen Anforderungen der Energielandschaft besser Rechnung trägt.

Aus Sicht des Anlagenbaus scheint der Bezug der Emissionen (Massenstrom) auf die eingebrachte Leistung für die meisten energetischen Prozesse die bevorzugte Alternative zur bisherigen Bewertung zu sein, wobei es einige Ausnahmen gibt, etwa im Bereich der Zementindustrie, wo der Bezug auf die Produktmenge favorisiert wird. Es ist der Wunsch des VAIS e. V., Empfehlungen für die zukünftige Handhabung der Bewertung von Schadstoffemissionen mit den beteiligten Stakeholdern im Dialog zu erarbeiten, um zukünftige Genehmigungsverfahren zu vereinfachen und den Weg zu einer klimafreundlichen Produktion zu beschleunigen.

Anhang: Umrechnung von Emissionsgrenzwerten

In Europa und damit auch in Deutschland ist die Emission von Luftschadstoffen mittels Emissionsgrenzwerten reguliert. Diese Grenzwerte werden über die Massenkonzentration im Abgas beschrieben.

Beispiel NO_x: Die Angabe erfolgt in der Einheit mg NO_x pro m³ trockenem Abgas bei einem definierten Bezugssauerstoffgehalt im trockenen Abgas (bei Gasen meist 3 Vol.-% oder 5 Vol.-%), sowie Normbedingungen für Druck und Temperatur (101325 Pa, 273,15 K). Der gemessene NO_x Konzentrationswert (in ppm) wird mit Standardformeln umgerechnet:

$$Q_{NO_x,dry,ref} \left[\frac{mg}{m^3} \right] = Q_{NO_x,dry,meas} [ppm] \cdot \left(\frac{21 - y_{O_2,dry,ref}}{21 - y_{O_2,dry,meas}} \right) \cdot \rho_{NO_2}$$

mit

$Q_{NO_x,dry,ref}$	NO _x -Konzentration im trockenen Abgas bei Referenz-O ₂ -Konzentration
$Q_{NO_x,dry,meas}$	gemessene NO _x -Konzentration im trockenen Abgas
$y_{O_2,dry,ref}$	Referenz-O ₂ -Konzentration im trockenen Abgas
$y_{O_2,dry,meas}$	gemessene O ₂ -Konzentration im trockenen Abgas
ρ_{NO_2}	Normdichte NO ₂ (= 2,05 kg/m ³)

Die Umrechnung in eine leistungsbezogene Angabe, z. B. in mg/kWh, erfolgt unter Einbeziehung des Heizwertes H_i des Verbrennungsgases:

$$Q_{NO_x} \left[\frac{mg}{kWh} \right] = Q_{NO_x,moist} \left[\frac{mg}{m^3} \right] \cdot \frac{v_{og,moist}}{H_i} = Q_{NO_x,dry} \left[\frac{mg}{m^3} \right] \cdot \frac{v_{og,dry}}{H_i}$$

mit

$Q_{NO_x,moist}$	NO _x -Konzentration im Abgas
$Q_{NO_x,dry}$	NO _x -Konzentration im trockenen Abgas
$v_{og,moist}$	Spezifische Abgasmenge
$v_{og,dry}$	Spezifische trockene Abgasmenge
H_i	Heizwert (ggfs. des Gasgemischs)

Die oben genannte Gleichung gilt für den Fall, dass die tatsächliche spezifische Abgasmenge am Emissionsmesspunkt sicher berechnet werden kann. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, sind ggf. weitere Messungen wie z.B. des Brennstoffmassenstroms und des tatsächlichen Abgasvolumenstroms am Emissionsmesspunkt notwendig.

Ihre Ansprechpartner

Dr. Dietmar Kestner

Geschäftsführer VAIS e.V.

T: +49 (0) 211 49870 33

F: +49 (0) 211 49870-36

d.kestner@vais.de

Karsten Letz

Leiter Umwelttechnik und Nachhaltigkeit

T: +49 (0) 211 49870 35

F: +49 (0) 211 49870 36

k.letz@vais.de

VAIS Verband für Anlagentechnik & IndustrieService e.V.

Sternstraße 36

40479 Düsseldorf

T: +49 211 49870 33

F: +49 211 49870 36

info@vais.de