



Dokumentation

Zu Empfehlungen der WHO und EU hinsichtlich Stickstoffdioxid-Grenzwerten

Zu Empfehlungen der WHO und EU hinsichtlich Stickstoffdioxid-Grenzwerten

Aktenzeichen:

WD 8 - 3000 - 024/19

Abschluss der Arbeit:

18. Februar 2019

Fachbereich:

WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und
Forschung

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Zu Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation, WHO	4
3.	Zu Empfehlungen der Europäischen Kommission	9
4.	Weiterführende Literatur	10

1. Einleitung

Stickoxide, d. h. sowohl Stickstoffmonoxid (NO) als auch Stickstoffdioxid (NO₂) entstehen beispielsweise in Industrieanlagen (etwa bei der Dynamit- und Nitrozelluloseherstellung), in Kraftwerken, im Verkehr und werden von Gebäudeheizungen emittiert. Aufgrund der Tatsache, dass NO nach einer Emission verhältnismäßig schnell zu NO₂ oxidiert wird, liegen Stickoxide in der Umgebungsluft zumeist als NO₂ vor. Dies hat zur Folge, dass sich die gesundheitliche Bewertung von Stickoxiden immer auf die gegebenen NO₂-Konzentrationen bezieht.

Eine Arbeit der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestags befasste sich 2017 mit der Begründung unterschiedlicher empfohlener Grenzwerte für den Arbeitsplatz und Außenluft.¹ Der gegenüber dem Arbeitsplatz allgemein niedrigere Außenluftgrenzwert wird damit begründet, dass er für alle Personengruppen, d. h. ebenso für Empfindliche wie Schwangere, Kinder und ältere Menschen wie auch für berufstätige Menschen und ständig (d. h. rund um die Uhr) gilt. Hierbei ist zu beachten, dass insbesondere empfindliche Personen wie Kinder, Schwangere, alte Menschen oder Menschen mit Vorerkrankungen wie Asthma tendenziell sensibler auf Umwelteinflüsse reagieren.

Eine Erörterung der Problematik der Stickstoffdioxid-Belastung und der Ableitung von Grenzwerten findet sich beispielsweise auf den Seiten der Weltgesundheitsorganisation², der Europäischen Union³ und des Umweltbundesamtes⁴.

Zur Ableitung von Grenz- und Richtwerten sind grundsätzlich die unterschiedlichen Rollen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Europäischen Union (EU) zu beachten:

Die WHO nimmt eine normative Rolle ein und bewertet die wissenschaftlichen Erkenntnisse, um Leitlinien und Empfehlungen zu entwickeln, während die EU eine politische Rolle spielt, Vorschläge erarbeitet und die in ihrer Zuständigkeit liegenden rechtsverbindlichen Entscheidungen trifft. Wie in der vorliegenden Arbeit darzustellen sein wird, orientieren sich die Richtwerte für Stickoxid der EU an den von der WHO vorgeschlagenen Werten.

2. Zu Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO)

Die WHO Publikation „Air pollution“ wurde 1958 in der Reihe der WHO Technical Report Series veröffentlicht und war die erste Publikation, die sich mit der Luftverschmutzung sowie ihren Auswirkungen auf die Gesundheit beschäftigte. Sie wurde von einer Expertengruppe für den

1 Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages: Stickoxidgrenzwerte der Außenluft und am Arbeitsplatz (Sachstand); WD 8 - 3000 - 035/17 vom 5. September 2017. Abrufbar unter <https://www.bundestag.de/blob/531762/6a7d2a26e62fab08cef1ebe7c79961be/wd-8-035-17-pdf-data.pdf>

2 Internetverweis: https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/ [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

3 Internetverweis: <https://www.eea.europa.eu/themes/air> [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

4 Internetverweis: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/stickstoffdioxid-belastung-hintergrund-zu-eu> [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

Ausschuss für Umwelthygiene geschrieben.⁵ Erstmals wurde der Fall der Luftqualitätsnormierung kurz betrachtet, aber konstatiert, dass nicht genügend Daten zur Verfügung ständen, um Normen zum Schutz der Gesundheit festzulegen. Es folgte eine Reihe von Publikationen, in denen u. a. auch die Einführung von Grenzwerten diskutiert wurde. Schließlich erschien 1964 ein Bericht, „Atmospheric pollutants“, in dem die Begriffe „Kriterien“ und „Leitfäden“ definiert und eingeführt wurden.⁶ Die Leitfäden wurden in vier Kategorien unterteilt, je nach Konzentration und Expositionzeiten in Bezug auf die zunehmende Schwere der Auswirkungen auf die Gesundheit und/oder die Umwelt. Der Begriff "Schwellenkonzentration" wurde nicht verwendet. Der Bericht kam zu dem Schluss, dass es unmöglich sein würde, international geltende Emissionsnormen festzulegen und dass das Vorschreiben solcher Normen im Ermessen der einzelnen Regierungen oder lokalen Behörden liegen müsse. Im Jahr 1972 erschien eine Publikation „Air quality criteria and guides for urban air pollutants“, in der zwar keine Leitlinien vorgeschlagen wurden, aber für SO₂, Rauch, CO und photochemische Oxidationsmittel die niedrigsten Umgebungskonzentrationen angegeben wurden, die mit schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit in Verbindung gebracht werden müssen.⁷

Seit Mitte der 80er Jahre koordiniert die WHO über das Regionalbüro für Europa die Entwicklung einer Reihe von WHO air quality guidelines (AQGs). Seit 1987 sind drei Ausgaben von Ambient AQGs erschienen. Obwohl es sich bei den Leitlinien weder um Normen noch um rechtsverbindliche Kriterien handelt, sollten sie als Orientierungshilfe bei der Verringerung der gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung dienen. Die Leitlinien basierten auf einer Expertenbewertung der verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse unter Berücksichtigung verschiedener Forschungsrichtungen (tierisch, toxikologisch, humanklinisch, epidemiologisch). Zu Beginn jedes Leitlinienentwicklungsprozesses wurden der methodische Ansatz und mehrere Kriterien für die Überprüfung von Evidenz und die Entwicklung von Leitlinien vereinbart.

Ein Richtwert ist ein numerischer Wert, ausgedrückt als Konzentration in der Umgebungsluft, verbunden mit einer Mittelungszeit. Im Falle der menschlichen Gesundheit stellt der Richtwert eine Konzentration dar, unterhalb derer keine nachteiligen Auswirkungen zu erwarten sind, obwohl er den absoluten Ausschluss von Wirkungen bei Konzentrationen unterhalb des vorgegebenen Wertes nicht garantiert. Seit 2006 arbeitet die WHO an der Entwicklung separater Leitlinien für die Raumluftqualität und hat eine Reihe Indoor-spezifischer AQGs veröffentlicht, die gesundheitsbezogene Empfehlungen zu ausgewählten Luftschadstoffen geben.

5 WHO (1958). Air pollution: fifth report of the Expert Committee on Environmental Sanitation. Geneva: World Health Organization (WHO Technical Report Series, No. 157; <http://apps.who.int/iris/handle/10665/40416>) [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

6 WHO (1964). Atmospheric pollutants: report of a WHO expert committee. Geneva: World Health Organization (WHO Technical Report Series, No. 271; <http://apps.who.int/iris/handle/10665/40578>) [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

7 WHO (1972). Air quality criteria and guides for urban air pollutants: report of a WHO expert committee. Geneva: World Health Organization (WHO Technical Report Series, No. 506; <http://apps.who.int/iris/handle/10665/40989>) [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

WHO AQG, 1987

Die erste Ausgabe der Luftqualitätsrichtlinien für Europa erschien 1987.⁸ Hierin wurde eine “Guideline values for individual substances based on effects other than cancer or odour/annoyance” gegeben. Für NO₂ wurden folgende Grenzwerte angegeben⁹:

Kurzfristiger Richtwert: 1 Stunde: 400 µg/m³

Evidenzbasis: 1 h Richtwert basierte auf der Einschätzung, dass der am wenigsten beobachtete Effektpiegel (LOEL) bei Asthmatikern (560 µg/m³, 0,3 ppm) nicht unbedingt negativ ist und ein etwas niedrigerer Richtwert einen zusätzlichen Schutz bietet.

Kurzfristiger Richtwert: 24 Stunden: 150 µg/m³

Evidenzbasis: Der 24 h-Richtwert basierte darauf, dass wiederholte Expositionen, die sich dem minimal wiederholend beobachteten Effektniveau nähern, zu vermeiden sind, um einen Schutzbereich gegen chronische Auswirkungen zu schaffen.

Langfristiger Richtwert: nicht festgelegt

WHO AQG, 2000

Die nachfolgende Leitlinie für Europa erschien im Jahr 2000.¹⁰ Hierin wurden folgende Grenzwerte für NO₂ vorgeschlagen¹¹:

Kurzfristiger Richtwert: 1 Stunde: 200 µg/m³

Evidenzbasis: Trotz zahlreicher kontrollierter Expositionsstudien am Menschen gab es keine Hinweise auf eine klare Definition der Konzentrations-Reaktionsbeziehung für die NO₂-Exposition. Bei akuten Expositionen wirken sich sehr hohe Konzentrationen (1990 µg/m³; > 1000 ppb) auf gesunde Menschen aus. Asthmatiker und Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung sind anfälliger für akute Veränderungen der Lungenfunktion, der Reaktionsfähigkeit der Atemwege und für Atemwegsbeschwerden.

Angesichts der kleinen Veränderungen in der Lungenfunktion und der Veränderungen in der Reaktionsfähigkeit der Atemwege, die in mehreren Studien berichtet wurden, war 375-565 µg/m³

8 WHO Regional Office for Europe (1987). Air quality guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe (WHO Regional Publications, European Series, No.3; <https://extranet.who.int/iris/restricted/handle/10665/107364>) [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

9 Informationen der WHO vom 15. Februar 2019.

10 WHO Regional Office for Europe (2000). Air quality guidelines for Europe, second edition. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe (WHO Regional Publications, European Series, No. 91; http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf) [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

11 Informationen der WHO vom 15. Februar 2019.

(0,20-0,30 ppm) ein klarer Wert für die niedrigste beobachtete Wirkung von NO₂. Eine Sicherheitsmarge von 50 % wurde vorgeschlagen, weil eine statistisch signifikante Zunahme für eine Atemwegsreaktion bei einer Exposition von 190 µg/m³ berichtet wurde und eine Meta-Analyse mit klassischen Schadstoffen zeigte, dass es Veränderungen der Reaktionsfähigkeit der Atemwege auch bei unter 365 µg/m³ gibt. Basierend auf diesen klinischen Daten wurde eine 1-Stunden-Richtlinie von 200 µg/m³ vorgeschlagen.

Langfristiger Richtwert: 40 µg/m³

Evidenzbasis: Die verfügbaren epidemiologischen und toxikologischen Studien deuten darauf hin, dass die Öffentlichkeit vor einer chronischen NO₂-Exposition geschützt werden muss, obwohl es keine spezifischen Studien oder Studiengruppen gab, die die Auswahl eines bestimmten Zahlenwerts für eine jährliche Durchschnittsleitlinie eindeutig unterstützen. Daher wurde in Ermangelung einer Unterstützung für einen alternativen Wert ein Jahreswert von 40 µg/m³, der im Dokument Environmental Health Criteria on Stickoxide empfohlen wird, als Luftqualitätsrichtlinie für NO₂ anerkannt.

Das UNEP/ILO/WHO International Programme on Chemical Safety Environmental Health Criteria Monographie Nr. 188 on Nitrogen Oxides (1997) leitete den Richtwert aus einer Meta-Analyse der Indoor-Exposition gegenüber NO₂ bei Säuglingen im Alter von 2 Jahren und jünger sowie der Atemwegssymptome und -erkrankungen sowie einer Meta-Analyse der Indoor-Exposition gegenüber NO₂ bei Kindern im Schulalter und den Symptomen und Erkrankungen der unteren Atemwege ab.

WHO AQG 2005:

Im Jahr 2005 erschien die dritte Auflage der Leitlinien für Europa.¹²

Kurzfristiger Richtwert: 1 Stunde: 200 µg/m³

Evidenzbasis: Viele neue kurzfristige experimentelle Studien der Humantoxikologie zeigten akute gesundheitliche Auswirkungen bei Werten über 500 µg/m³, und eine Meta-Analyse zeigte Wirkungen bei Werten über 200 µg/m³. Die gesammelten Hinweise rechtfertigten jedoch nicht, den Richtwert zu ändern, wie er in der im Jahr 2000 veröffentlichten WHO AQG festgelegt ist.

Langfristiger Richtwert: 40 µg/m³

Evidenzbasis: Neue Erkenntnisse aus tierexperimentellen Studien zeigten gesundheitsschädliche Auswirkungen der Langzeitbelastung mit NO₂ in Konzentrationen über der Umgebungskonzentration. In Bevölkerungsstudien war NO₂ mit gesundheitsschädlichen Auswirkungen korreliert, auch wenn die jährliche durchschnittliche NO₂-Konzentration dem jährlichen Richtwert der WHO von 40 µg/m³ entsprach. Auch einige Indoor-Studien ließen auf Auswirkungen auf die

12 WHO Regional Office for Europe. Air quality guidelines: global update 2005 – particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe (https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/) [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

Atemwegsbeschwerden bei Säuglingen bei Konzentrationen bei einer Konzentration von unter 40 µg/m³ schließen. Diese Ergebnisse unterstützen eine Senkung des jährlichen NO₂-Richtwertes. Da NO₂ jedoch stark mit anderen primären und sekundären Verbrennungsprodukten korreliert ist, war unklar, inwieweit die in epidemiologischen Studien beobachteten gesundheitlichen Auswirkungen auf NO₂ selbst oder auf andere korrelierte Schadstoffe zurückzuführen sind. Daher lieferte die verfügbare wissenschaftliche Literatur keine ausreichenden Nachweise, um den WHO AQG 2000 Richtwert von 40 µg/m³ für die jährliche NO₂-Konzentration zu ändern.

Im Jahr 2013 wurde eine Übersicht über neue wissenschaftliche Erkenntnisse über die negativen Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit veröffentlicht (Projekt REVIHAAP)¹³. Im Falle von NO₂ unterstützen neue Studien die Aktualisierung des WHO AQG, 2005 für NO₂, um einen epidemiologisch basierten kurzfristigen Richtwert und einen jährlichen durchschnittlichen Richtwert auf der Grundlage der neu gesammelten Erkenntnisse abzuleiten.¹⁴ Kernaussagen hinsichtlich NO₂ sind die folgenden¹⁵:

13 http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1 [zuletzt abgerufen am 17. Februar 2019].

14 Informationen der WHO vom 15. Februar 2019.

15 Seite 192 in: WHO: Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project – Technical Report; im Internet abrufbar unter: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1 [zuletzt abgerufen am 17. Februar 2019].

3. NO₂

- Since the release of the 2005 global update of the WHO air quality guidelines, new epidemiological studies have emerged, reporting associations with both short-term and long-term exposures to NO₂. Some of these, notably the short-term studies, report associations that are robust to inclusion of other pollutants.
- Many of these studies were in areas where concentrations were at or below the current EU limit values.
- The results of these new studies provide support for updating the current WHO air quality guidelines for NO₂, to give: (a) an epidemiologically based short-term guideline; and (b) an annual average guideline based on the newly accumulated evidence from outdoor studies. In both instances, this could result in lower guideline values.
- There is consistent short-term epidemiological evidence and some mechanistic support for causality, so that it is reasonable to infer that NO₂ has some direct effects. However, as with the short-term effects, NO₂ in the long-term epidemiological studies may represent other constituents. Despite this, the mechanistic evidence, particularly on respiratory effects, and the weight of evidence on short-term associations is suggestive of a causal relationship.
- There is no *health-based* case for either increasing or removing the NO₂ limit values in the EU Directive. Depending on the outcome of any revision of the WHO air quality guidelines for NO₂, there could then also be a case for the EU to consider revising the Directive limit values.
- There is no evidence to suggest changing the averaging time for the short-term EU limit value, which is currently 1 hour.

3. Zu Empfehlungen der Europäischen Kommission

Die erste wichtige Richtlinie zur Luftqualität war die Luftqualitätsrahmenrichtlinie 96/62/EG und ihre Tochterrichtlinien, die im Zeitraum bis 2004 Normen für eine Reihe von Schadstoffen wie Ozon, Partikel (PM10) und Stickstoffdioxid (NO₂) festgelegt haben. Die aktuellen Grenzwerte sind im Internet abrufbar.¹⁶ Die derzeit geltenden Grenzwerte orientieren sich dabei an den von der WHO vorgeschlagenen Richtwerten.

„Der gültige NO₂-Jahresmittelwert für die Außenluft von 40 µg/m³ wurde 1999 auf Vorschlag der EU-Kommission von den EU-Mitgliedstaaten beschlossen und 2008 von der EU bestätigt. Gleichzeitig wurde ein 1-Stunden-Mittelwert von 200 µg/m³ verabschiedet, der höchstens 18-mal pro

16 Quelle: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm> [zuletzt abgerufen am 17. Februar 2019].

Jahr überschritten werden darf (EU 2008). Die EU-Grenzwerte zur Luftreinhaltung wurden in allen Mitgliedstaaten und so auch in Deutschland in nationales Recht umgesetzt.“¹⁷

4. Weiterführende Literatur

Die Weltgesundheitsorganisation hat 2017 eine Publikation veröffentlicht mit dem Titel „**Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future**“.¹⁸ Dieses Dokument fasst die wichtigsten WHO-Publikationen auf dem Gebiet der Luftqualität und -gesundheit seit den 1950er Jahren zusammen. Hieraus resultierte eine Reihe von WHO-Luftqualitätsrichtlinien. Es wird die Entwicklung der wissenschaftlichen Erkenntnisse über die gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung und ihrer Interpretation, die die Politik und andere Entscheidungsträger bei der Festlegung von Strategien für das Management der Qualität der Außen- und Innenluft weltweit unterstützen, beschrieben. Außerdem werden aktuelle WHO-Aktivitäten und ihre zukünftige Ausrichtung in diesem Bereich vorgestellt.

Im Dezember 2018 ist eine österreichische Studie des International Institute for Applied Systems Analysis mit dem Titel „**Progress towards the achievement of the EU's Air Quality and Emissions Objectives**“ erschienen.¹⁹ In dieser Studie werden der Zustand und die prognostizierte Entwicklung der Emissionen und der Luftqualität in der Europäischen Union dargestellt und die Aussichten des Erreichens der WHO-Richtwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit untersucht.

Das Institut für Umweltwissenschaften (IES) ist ein britisches Fachgremium, das sich zum Ziel setzt, u. a. durch Unterstützung von Wissenschaftlern, das öffentliche Bewusstsein für Umweltwissenschaften zu fördern. In einem Internetartikel aus dem Jahr 2013 (**The evolution of air quality policies over the past 20 years**) wird die britische Entwicklung der Gesetzgebung hinsichtlich der Grenzwerte parallel zur europäischen Gesetzgebung dargestellt.²⁰ Auf die tatsächliche Höhe der Grenzwerte wird allerdings im Detail nicht eingegangen.

17 Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/stickstoffdioxid-belastung-hintergrund-zu-eu> [zuletzt abgerufen am 17. Februar 2019].

18 Weltgesundheitsorganisation: Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017; ISBN 9789289052306, im Internet abrufbar unter: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0019/331660/Evolution-air-quality.pdf?ua=1 [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

19 Markus Amann (Editor): Progress towards the achievement of the EU's Air Quality and Emissions Objectives ; korrigierte Version vom 18. Dezember 2018; im Internet abrufbar unter: http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/clean_air_outlook_overview_report.pdf [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

20 Martin Williams: The evolution of air quality policies over the past 20 years; Online-Artikel. Im Internet abrufbar: <https://www.the-ies.org/analysis/evolution-air-quality-policies> [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].

Für den Ausschuss für Umweltfragen, öffentliche Gesundheit und Lebensmittelsicherheit des Europäischen Parlaments, ENVI, ist 2016 eine Studie mit dem Titel „**Implementation of the Ambient Air Quality Directive**“ verfasst worden.²¹ Diese Studie analysiert Luftverschmutzungs-Hotspots in Europa und informiert zu Vertragsverletzungsverfahren. In vier Hotspots werden die Schadstoffbelastungen näher untersucht.

Bezugnehmend auf die durch die Europäische Union im Jahr 2008 eingeführte Luftqualitätsrichtlinie (2008/50/EC) wird in einem wissenschaftlichen Papier (**Air Quality Legislation and Standards in the European Union: Background, Status and Public Participation**) aus dem Jahr 2013 sowohl die Gesetzgebung als auch die Entwicklung der Luftqualität von 2001-2010 in Europa dargestellt.²²

-
- 21 Directorate General for Internal Policies of the European Parliament: Implementation of the Ambient Air Quality Directive, IP/A/ENVI/2015-15REV; im Internet abrufbar unter [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/578986/IPOL_STU\(2016\)578986_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/578986/IPOL_STU(2016)578986_EN.pdf) [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].
- 22 Gemmer, M., and B. Xiao, 2013: Air quality legislation and standards in the European Union: Background, status and public participation. *Adv. Clim. Change Res.*, 4(1), doi: 10.3724/SP.J.1248.2013.050. Im Internet abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674927813500062> [zuletzt abgerufen am 15. Februar 2019].