

TEXTE

144/2023

Weiterentwicklung ausgewählter methodischer Grundlagen der Schornsteinhöhen- bestimmung und der Ausbreitungsrechnung nach TA Luft

Abschlussbericht

TEXTE 144/2023

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3714 43 204 0
EF001153

Weiterentwicklung ausgewählter methodischer Grundlagen der Schornsteinhöhenbestimmung und der Ausbreitungsrechnung nach TA Luft

Abschlussbericht

von

Ulf Janicke, Lutz Janicke
Ingenieurbüro Janicke, Überlingen

Wolfgang Bächlin
Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe

Wolfgang Theurer
Ingenieurbüro Theurer, Hanhofen

vertreten durch

Ingenieurbüro Janicke
Hermann-Hoch-Weg 1
88662 Überlingen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Ingenieurbüro Janicke
Hermann-Hoch-Weg 1
88662 Überlingen

Abschlussdatum:

Oktober 2018

Redaktion:

Fachgebiet II 4.1
Alfred Trukenmüller

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Weiterentwicklung ausgewählter methodischer Grundlagen der Schornsteinhöhenbestimmung und der Ausbreitungsrechnung nach TA Luft

In dem Forschungsvorhaben wurden in Vorbereitung zur Überarbeitung der TA Luft methodische Grundlagen zu folgenden Themenbereichen entwickelt: 1) Ungestörter Abtransport und ausreichende Verdünnung der Abgase (Nr. 5.5 der TA Luft). 2) Fortschreibung von Ausbreitungsrechnung und Abgasfahnenüberhöhungsmodell (Anhang „Ausbreitungsrechnung“ der TA Luft). Die Arbeiten sind detailliert in einem separaten Technischen Bericht beschrieben. Der vorliegende Bericht enthält zu jedem der beiden Themenbereiche die Hauptergebnisse, den Entwurfstext der überarbeiteten TA Luft und einen Vorschlag für ihre Kommentierung.

Abstract:

In the research project, methodological foundations were developed in preparation for the revision of the TA Luft on the following topics: 1) Undisturbed removal and sufficient dilution of the exhaust gas (No. 5.5 of TA Luft). 2) Update of dispersion calculation and plume rise model (Annex "Dispersion calculation" of TA Luft). The work is described in detail in a separate technical report. The present report contains for each of the topics the key results, the draft text of the revised TA Luft and a proposal for its annotation.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	8
Zusammenfassung.....	9
Summary	10
1 Einleitung.....	11
2 Ungestörter Abtransport und ausreichende Verdünnung der Abgase	12
2.1 Ungestörter Abtransport	12
2.1.1 Anforderungen.....	12
2.1.2 Umsetzung in der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4	13
2.1.3 Großflächige Gebäude mit flachen Dächern	14
2.2 Ausreichende Verdünnung	14
2.2.1 Altes Verfahren	14
2.2.2 Neues Verfahren	16
2.2.3 Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchs	16
2.2.4 Berücksichtigung von unebenem Gelände	17
2.3 TA Luft (neu), Nr. 5.5.....	17
2.4 Kommentar zur TA Luft (neu), Nr. 5.5.....	20
3 Fortschreibung der Ausbreitungsrechnung.....	27
3.1 Anhang 2, „Ausbreitungsrechnung“	27
3.1.1 Abschnitt 1, „Allgemeines“	27
3.1.2 Abschnitt 2, „Festlegung der Emissionen“	27
3.1.3 Abschnitt 3, „Ausbreitungsrechnung für Gase“	27
3.1.4 Abschnitt 4, „Ausbreitungsrechnung für Stäube“	28
3.1.5 Abschnitt 5, „Ausbreitungsrechnung für Geruchsstoffe“	28
3.1.6 Abschnitt 6, „Bodenrauigkeit“	28
3.1.7 Abschnitt 7, „Abgasfahnenüberhöhung“	30
3.1.8 Abschnitt 8, „Rechengebiet und Aufpunkte“	30
3.1.9 Abschnitt 9, „Meteorologische Daten“	30
3.1.10 Abschnitt 10, „Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit“	31
3.1.11 Abschnitt 11, „Berücksichtigung von Bebauung“	31
3.1.12 Abschnitt 12, „Berücksichtigung von Geländeunebenheiten“	33
3.1.13 Abschnitt 13, „Verwendung einer Häufigkeitsverteilung der stündlichen Ausbreitungssituationen“	33
3.1.14 Abschnitt 14, „Ausbreitungsrechnung zur Bestimmung der Schornsteinhöhe“	33

3.2	TA Luft (neu), Anhang 2	34
3.3	Kommentar zur TA Luft (neu), Anhang 2	43
4	Quellenverzeichnis	54

Abkürzungsverzeichnis

AKS	Ausbreitungsklassenstatistik
AUSTAL	Ausbreitungsrechnung nach TA Luft
BESMIN	Bestimmung von Mindestschornsteinhöhen
CLC	CORINE Land Cover
GIS	Geographisches Informationssystem
LBM-DE	Landbedeckungsmodell Deutschland
PDF	Portable Document Format
PM	Particulate Matter
PM ₁₀	PM mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 10 µm (Feinstaub)
PM _{2,5}	PM mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 2,5 µm
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Zusammenfassung

In dem Forschungsvorhaben wurden in Vorbereitung für die Überarbeitung der TA Luft zu folgenden Themenbereichen methodische Grundlagen entwickelt:

1. Ungestörter Abtransport und ausreichende Verdünnung der Abgase, Nr. 5.5 („Ableitung von Abgasen“) der TA Luft.
2. Fortschreibung von Ausbreitungsrechnung und Überhöhungsmodell, Anhang 2 („Ausbreitungsrechnung“) der TA Luft.

Die Arbeiten sind detailliert in einem Technischen Bericht beschrieben, der an anderer Stelle veröffentlicht wurde (Janicke, U., Janicke, L., Bächlin, W., Flassak, T., Theurer, W., Trukenmüller, A., 2017: *Weiterentwicklung ausgewählter methodischer Grundlagen der Schornsteinhöhenbestimmung und der Ausbreitungsrechnung nach TA Luft*, Berichte zur Umweltphysik Nummer 9, Auflage 1, Ingenieurbüro Janicke, ISSN 1439-8222; Deutsche Nationalbibliothek, urn:nbn:de:101:1-201709132627).

Der vorliegende Bericht enthält eine kompakte und allgemeinverständliche Zusammenfassung der Arbeiten. Zu jedem der beiden Themenbereiche werden die Hauptergebnisse, der Text gemäß dem Entwurf der überarbeiteten TA Luft (Stand 16. Juli 2018) sowie ein Vorschlag für ihre Kommentierung aufgeführt. Die Kommentierung baut auf der von Hansmann zur TA Luft 2002 auf (Hansmann, K., 2004: *TA Luft, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft*, 2. Auflage, C.H. Beck, München).

Summary

In the research project, methodological foundations were developed in preparation for the revision of the TA Luft on the following topics:

1. Undisturbed removal and sufficient dilution of the exhaust gas, No. 5.5 ("Removal of exhausts") of TA Luft.
2. Update of dispersion calculation and plume rise model, Annex 2 ("Dispersion calculation") of TA Luft.

The work is described in detail in a technical report published elsewhere (Janicke, U., Janicke, L., Bächlin, W., Flassak, T., Theurer, W., Trukenmüller, A., 2017: *Enhancement of selected methodological foundations for the calculation of stack height and the dispersion calculation according to TA Luft*, Reports on Environmental Physics Number 9, Edition 1, Ingenieurbüro Janicke, ISSN 1439-8222; German National Library, urn: nbn: de: 101: 1-201709132627).

This report contains a compact and more general summary of the work. The key results, the text according to the draft of the revised TA Luft (as of 16 July 2018) and a proposal for its annotation are listed for each of the two topics. The annotation is based on the one of Hansmann for TA Luft 2002 (Hansmann, K., 2004: *TA Luft, Technical Instructions on Air Pollution*, 2nd edition, C.H. Beck, Munich).

1 Einleitung

In dem Forschungsvorhaben wurden in Vorbereitung für die Überarbeitung der TA Luft zu folgenden Themenbereichen methodische Grundlagen entwickelt:

1. Ungestörter Abtransport und ausreichende Verdünnung der Abgase, Nr. 5.5 („Ableitung von Abgasen“) der TA Luft.
2. Fortschreibung von Ausbreitungsrechnung und Überhöhungsmodell, Anhang 2 („Ausbreitungsrechnung“) der TA Luft.

Das Vorhaben wurde von drei Experten-Workshops begleitet. Die Arbeiten und Ergebnisse der Workshops sind detailliert in einem Technischen Bericht beschrieben, der im Rahmen der Schriftenreihe „Berichte zur Umweltphysik“ des Ingenieurbüros Janicke veröffentlicht wurde (Janicke et al., 2017). Er steht ebenso in der Deutschen Nationalbibliothek als kostenfreie PDF-Datei zur Verfügung (urn:nbn:de:101:1-201709132627).

Der vorliegende Bericht enthält eine kompakte und allgemeinverständliche Zusammenfassung der Arbeiten. In weiten Teilen wird unmittelbar auf Texte des Technischen Berichtes ohne gesonderte Kennzeichnung zurückgegriffen.

Zu den beiden obigen Themenbereichen werden in den Abschnitten 2 und 3 die Hauptergebnisse der Untersuchungen sowie der entsprechende Text aus dem Entwurf der überarbeiteten TA Luft aufgeführt. Hierbei wird auf den Überarbeitungsstand vom 16. Juli 2018 Bezug genommen (TA Luft, Juli 2018), der im Folgenden als „TA Luft (neu)“ referenziert wird.

An den Text der TA Luft (neu) schließt jeweils ein Kommentarteil an, der beispielsweise für eine offizielle Kommentierung der TA Luft herangezogen werden kann. Die Kommentierung baut auf der von Hansmann zur TA Luft 2002 auf (Hansmann, 2004). Textteile hieraus wurden übernommen (als Zitat gekennzeichnet) bzw. so angepasst und erweitert, dass sich eine aktualisierte, in sich geschlossene Kommentierung zu Nr. 5.5 („Ableitung von Abgasen“) und zum Anhang 2 („Ausbreitungsrechnung“) der TA Luft (neu) ergibt.

2 Ungestörter Abtransport und ausreichende Verdünnung der Abgase

Das Immissionsschutzrecht ist einer der zentralen Rechtsbereiche des Umweltschutzes. Geregelt durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz, verfolgt es die Ziele, den Menschen und seine Umwelt vor potenziell schädlichen Einwirkungen (Immissionen) zu schützen (Gefahrenabwehr) und ihrem Entstehen vorzubeugen (Vorsorge). Grundsätzlich sind die Immissionen vorrangig zu vermeiden oder durch eine Verringerung der Emissionen unter dem Einsatz der besten verfügbaren Technik zu minimieren. Lassen sich Emissionen dennoch nicht vermeiden, so gilt es, die schädlichen Einwirkungen auf den Menschen, Tiere und Pflanzen so gering wie möglich zu halten. Das bedeutet, dass Abgasemissionen in die Atmosphäre möglichst gut verdünnt werden müssen. Eine ausreichende Verdünnung wird erreicht, wenn die Freisetzung der Abgase hinreichend hoch über Grund und in die von Bebauung und sonstigen Hindernissen nicht gestörte, freie Luftströmung der Atmosphäre erfolgt.

2.1 Ungestörter Abtransport

In der TA Luft und auch in anderen Regelwerken und Richtlinien hat sich der Begriff des „ungestörten Abtransportes von Abgasen mit der freien Luftströmung“ festgesetzt. Gemeint ist damit die Ableitung der Abgase so, dass sie nicht in den direkten Einflussbereich von Gebäuden und sonstigen Hindernissen gelangen. Eine ähnliche Formulierung findet sich auch in anderen Richtlinien, z. B. in der Richtlinie VDI 2280 (Ausgabe August 2005). Hier ist der Ort der Freisetzung so zu wählen, dass er nicht im Bereich von „Störzonen“ liegt bzw. ein Eintrag der Abgase in die Störzonen weitgehend vermieden wird.

Der Ausdruck „ungestörter Abtransport“ ist allerdings missverständlich, weil ein gänzlich ungestörter Abtransport, d. h. die Ableitung in einen Bereich der atmosphärischen Grenzschicht, der nicht durch die Bebauung und andere Hindernisse beeinflusst ist, zu unrealistisch hohen Schornsteinhöhen führen würde. Der Ausdruck „ungestörter Abtransport von Abgasen mit der freien Luftströmung“ ist daher als eine Konvention im Sprachgebrauch zu sehen. Gemeint ist hiermit eine Freisetzung außerhalb der in Abschnitt 2.1.1 näher definierten Rezirkulationszonen oder Störzonen der Hindernisse.

Die Anforderungen und Randbedingungen für einen „ungestörten Abtransport mit der freien Luftströmung“ im Sinne dieser Definition werden in der überarbeiteten Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017) „Umweltmeteorologie – Ableitbedingungen für Abgase – Kleine und mittlere Feuerungsanlagen sowie andere als Feuerungsanlagen“ allgemein dargelegt. Die Richtlinie VDI 2280 aus dem Jahr 1977, auf die in der TA Luft 2002 Nr. 5.5.2 Abs. 5 verwiesen wird, wurde zwischenzeitlich zurückgezogen. Die neu erschienene Richtlinie VDI 2280 „Ableitbedingungen für organische Lösemittel“ aus dem Jahr 2005 befasste sich nur noch mit den Ableitbedingungen. Die dort definierten Anforderungen sind in die überarbeitete Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017) integriert, so dass künftig in der TA Luft nur noch auf die Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017) verwiesen werden muss.

2.1.1 Anforderungen

Für die Ausbreitung von Abgasen in Gebäudenähe ist das Strömungsfeld um die Bauwerke verantwortlich, welches bereits bei einfachen Körpern sehr komplex ist. Auf der windzugewandten Seite bildet sich das Frontwirbelsystem aus. Bei der seitlichen Umströmung entsteht nach Ablösung der Strömung an den seitlichen Kanten der sogenannte Hufeisenwirbel. Auf der

windabgewandten Seite entwickelt sich als besonders markante Störzone die Rezirkulationszone, auch Kavitätszone genannt.

Die bei der Um- und Überströmung der Gebäude sich einstellenden Druckverhältnisse bewirken in den Rezirkulationszonen eine Umlenkung der an der Dachkante abgelösten Strömung zum Boden hin und eine Rückströmung zum Gebäude. Dadurch gelangen in den Rezirkulationszonen freigesetzte Abgase nur unzureichend verdünnt in Bodennähe und werden wieder, entgegen der eigentlichen Strömungsrichtung, zurück zum Gebäude transportiert. Dies führt bodennah in Lee der Gebäude zu erheblich höheren Schadstoffkonzentrationen als bei einer Emission in die freie Luftströmung.

Der ungestörte Abtransport von Abgasen mit der freien Luftströmung im Sinne der zuvor beschriebenen Konvention bedingt, dass die Abgase außerhalb des unmittelbaren Einflussbereiches von Gebäuden auf die Strömung freigesetzt werden. Insbesondere ist eine Freisetzung in Rezirkulationszonen um Gebäude zu vermeiden.

Zur Bestimmung der Höhe und Lage von Schornsteinen ist daher die Kenntnis der Rezirkulationszonen unabdingbar. Die Ausdehnung der Rezirkulationszonen ist in erster Linie abhängig von der Gebäudegeometrie selbst, aber auch von den Anströmbedingungen. Bei der praktischen Anwendung müssen diese Größen berücksichtigt werden.

Im fernen Nachlauf findet der Übergang von der gestörten zur ungestörten Strömung statt. Die Einflussnahme des Gebäudes auf die Strömung und Ausbreitung von Abgasen geht mit zunehmender Entfernung vom Gebäude kontinuierlich zurück. Die Windgeschwindigkeit in diesem Bereich ist reduziert mit modifizierten Turbulenzeigenschaften. Emissionen im Einflussbereich des fernen Nachlaufs können zwar auch zu einer Erhöhung von Immissionen führen, die bodennah allerdings deutlich geringer ausfällt, als bei Freisetzung in den Rezirkulationszonen.

2.1.2 Umsetzung in der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4

Die Forderung nach einem ungestörten Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung setzt im Sinne der vorangegangenen Definition Kenntnisse über die Ausdehnung der Rezirkulationszonen um Gebäude voraus. Auf dieser Grundlage ist es möglich, die Mindesthöhe der Mündungen von Einrichtungen zur Ableitung von Abgasen, die aus Feuerungsanlagen, aus Anlagen, die organische Lösemittel freisetzen, und aus anderen Anlagen stammen, zu bestimmen. Mit der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017) wurden, basierend auf den strömungsmechanischen Aspekten, die Abmessungen der Rezirkulationszonen definiert und, darauf aufbauend, die Anforderungen an die Mindesthöhen von Einrichtungen zur Ableitung von Abgasen erarbeitet, um einen ungestörten Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung im Sinne der obigen Definition zu gewährleisten. Emissionsfreisetzungen innerhalb der Rezirkulationszonen sind dabei grundsätzlich zu vermeiden.

Die Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 wurde anwendungsorientiert gestaltet. Neben einem Ablaufschema ergänzen Skizzen zum besseren Verständnis die Berechnungsansätze zu dem jeweiligen Themenpunkt. Im Anhang zur Richtlinie finden sich als Hilfestellung für den Anwender zahlreiche illustrierte Beispiele mit nahezu allen in der Richtlinie verwendeten Einzelgrößen. Trotz der umfassenden Darstellungen kann die Richtlinie nicht jeden Einzelfall einer Bebauung abbilden. In solchen Fällen sollte auf eine weitergehende Modellierung der Strömung und Rezirkulationszonen, beispielsweise in einem Grenzschichtwindkanal oder durch eine detailgetreue numerische Modellierung, zurückgegriffen werden.

2.1.3 Großflächige Gebäude mit flachen Dächern

Bei Industrieanlagen existieren Hallenbauten, deren Breiten bis zu 200 Meter und mehr betragen können und die mehrere Dekameter hoch sind. Zur Berechnung der Mündungshöhe von Abgasanlagen wird bei solchen Hallen, Dachneigungen kleiner 20 Grad oder Flachdächer vorausgesetzt, sowohl nach der TA Luft 2002 wie nach den Vorgaben der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017) auf die sogenannte 20-Grad-Regel zurückgegriffen. Bei dieser Regel wird als Konvention für die Berechnung der Firsthöhe ein fiktives Dach mit einer Dachneigung von 20 Grad, bezogen auf die Gebäudebreite als die kürzere Seite, zugrunde gelegt. Bei großflächigen Gebäuden ergeben sich mit diesem Ansatz teils sehr große fiktive Dachhöhen und damit auch die Forderung nach entsprechend hohen Abgasanlagen. Auch wenn die Gesamthöhe der Abgasanlage nach der TA Luft 2002 das 2-fache der Gebäudehöhe nicht übersteigen soll, können sich bei der beschriebenen Vorgehensweise und sehr großflächigen höheren Gebäuden unrealistisch große Mündungshöhen der Abgasanlagen ergeben. Daher wurde ein Verfahren erarbeitet, um für solche Gebäude eine weitere Begrenzung der Mündungshöhen einzuführen.

In der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 wird nun die Mündungshöhe der Abgasanlage sowohl nach der bisherigen 20-Grad-Regel als auch nach einem windkanalbasierten Ansatz berechnet. Die geringere der beiden Höhen ist zu verwenden, wobei als drittes Kriterium die Gesamthöhe der Abgasanlage nicht größer sein sollte als die doppelte Gebäudehöhe.

2.2 Ausreichende Verdünnung

Maßstab für die ausreichende Verdünnung der Abgase im Sinne der Vorsorge ist die maximale bodennahe Konzentration eines emittierten luftverunreinigenden Stoffes in einer stationären Ausbreitungssituation. Die Schornsteinhöhe ist so zu bestimmen, dass diese Konzentration einen vorgegebenen Wert (den S-Wert) nicht überschreitet. Bisher waren diese Anforderungen durch das Nomogramm der Nr. 5.5.3 konkretisiert worden, das auf Ergebnissen von Modellrechnungen des Jahres 1963 beruht.

Das 50 Jahre alte Verfahren zur Schornsteinhöhenbestimmung, wie es in dem Nomogramm niedergelegt ist, wurde in den heutigen Stand der Modellierungstechnik überführt, wie er auch den Standards und Konventionen des Anhangs „Ausbreitungsrechnung“ der TA Luft (neu) entspricht.

2.2.1 Altes Verfahren

Das Nomogramm der TA Luft 2002 basiert auf dem Nomogramm der Richtlinie VDI 2289 Blatt 1 aus dem Jahr 1963. Es wurde von dort in die TA Luft 1974 unverändert übernommen. In der TA Luft 1986 wurde nur noch ein Teil des Nomogramms (für die mittlere Windgeschwindigkeit 3 m/s) beibehalten, die Linien wurden über ihren Gültigkeitsbereich hinaus gezeichnet, der Normvolumenstrom wurde als Normvolumenstrom trocken festgelegt und dem S-Wert wurde seine physikalische Einheit genommen. Anpassungen der S-Werte erfolgten in der TA Luft 1986 und 2002.

Die Richtlinie VDI 2289 Blatt 1 aus dem Jahr 1963 basiert auf einer Arbeit von Wippermann (1963), die sich auf Arbeiten von Wippermann und Klug (1962) zur Bestimmung von Mindestschornsteinhöhen und von Stümke (1961) zur Abgasfahnenüberhöhung bezieht. Ziel ist die Abschätzung der maximalen bodennahen Konzentration für gegebene Ablufteigenschaften. Grundlagen sind ein Gaußsches Ausbreitungsmodell und ein empirisches Überhöhungsmodell.

Die Ausbreitungsrechnung wird mit einer effektiven Quelhöhe (Bauhöhe plus Endüberhöhung) durchgeführt. Es werden feste Fahnenparameter angenommen, unterschiedliche

Schichtungsstabilitäten oder die Abhängigkeit der Fahnenparameter von der Quellschöhe und der Rauheitslänge werden nicht berücksichtigt. Der einzig variable Modellparameter ist die Windgeschwindigkeit. Sie wird so gewählt, dass die bodennahe Konzentration maximal ist.

In einem ersten Schritt wird die Bauhöhe so bestimmt, dass die berechnete stationäre Konzentration am Erdboden bei vorgegebenen Quelleigenschaften eine vorgegebene Konzentration, den S-Wert, nicht überschreitet. Das Ergebnis wird im rechten oberen Teilbild des Nomogramms aufgetragen. Die vertikale Achse hängt mit dem Volumenstrom der Quelle zusammen (der genaue Zusammenhang erschließt sich aus den Richtlinien VDI 2289 Blatt 1 und Blatt 2), die horizontale Achse kennzeichnet die erforderliche Bauhöhe. Nach diesem ersten Schritt ergeben sich für ein konstantes Verhältnis von Quellstärke zu S-Wert (Q/S) nach unten geneigte Geraden. Auf einer Geraden nimmt mit zunehmender Bauhöhe die rechnerische Windgeschwindigkeit, die zur maximalen Konzentration führt, ab.

In einem zweiten Schritt wird zugelassen, dass der S-Wert in 15 % der meteorologischen Situationen überschritten werden darf. Die Situationen sind lediglich durch die Windgeschwindigkeit charakterisiert, für die eine empirische Häufigkeitsverteilung festgelegt wird. Die Geraden in dem Teilbild gehen dadurch in nach unten gekrümmte Kurven über.

Schließlich wird berücksichtigt, dass das eingesetzte Gaußsche Fahnenmodell ungültig ist für kleine Windgeschwindigkeiten und dass das eingesetzte empirische Überhöhungsmodell ungeeignet ist für große Windgeschwindigkeiten. In dem ursprünglichen Nomogramm brechen die gekrümmten Linien daher am rechten Rand ab. Am linken Rand wird die Gültigkeitsgrenze des Überhöhungsmodells durch den Übergang in eine senkrechte Linie, die ebenfalls abbricht, berücksichtigt (bei zunehmendem Volumenstrom wird hier also die Überhöhung und damit auch die Bauhöhe eingefroren).

Diese Gültigkeitsgrenzen wurden mit der TA Luft 1986 durch Verlängerung der Linien aufgehoben. Ebenso wurde die Bedeutung verändert, indem der ursprünglich vermutlich als feucht vorzugebende Volumenstrom in den als trocken vorzugebenden Volumenstrom umdefiniert wurde.

Seit den 1960er Jahren nahmen die für die TA Luft typischen Quellstärken vieler Stoffe in erheblich größerem Maß ab als die dazugehörigen S-Werte. Das Verhältnis Q/S wurde kleiner, während die Volumenströme von vergleichbarer Größenordnung blieben. Damit erfolgt heute die Schornsteinhöhenbestimmung häufiger weiter auf der linken Seite des Nomogramms und damit häufiger im Bereich der senkrechten Linien, also dort, wo das zugrundeliegende Modellkonzept von 1963 nicht gültig ist.

Zusammenfassend hat das alte Nomogramm folgende Schwächen, die eine Überarbeitung und Aktualisierung erforderlich machten:

- Es basiert auf einem einfachen Gaußschen Fahnenmodell und einem empirischen Überhöhungsansatz aus den frühen 1960er Jahren.
- Es berücksichtigt keine unterschiedlichen atmosphärischen Schichtungsverhältnisse.
- Es ist im Detail kaum noch nachvollziehbar.
- Es ist nicht konform mit aktuellen VDI-Richtlinien zur Ausbreitungsrechnung.
- Es ist nicht konform mit den modelltechnischen Grundlagen zum Anhang „Ausbreitungsrechnung“ der TA Luft.

- Es wird regelmäßig auch außerhalb des gültigen Anwendungsbereiches eingesetzt.
- Es entspricht nicht mehr dem Stand der Technik.

2.2.2 Neues Verfahren

Für die Aktualisierung des Verfahrens wurde das ursprüngliche Konzept zur Bestimmung der Schornsteinhöhe aufgenommen:

Wähle für gegebene Quelleigenschaften die Bauhöhe so, dass die bodennahe Konzentration in keiner stationären Einzelsituation einen vorgegebenen Wert überschreitet.

Die dafür erforderlichen Ausbreitungsrechnungen werden nun konform mit den Standards des Anhangs „Ausbreitungsrechnung“ der TA Luft durchgeführt, insbesondere: Ausbreitungsmodell nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (Ausgabe September 2000, Partikelmodell), Grenzschichtmodell nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017), Überhöhungsmodell nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 3 (in Bearbeitung, solange ersatzweise nach Janicke, 2017), ungewichtete meteorologische Einzelsituationen gemäß der Klassierung einer Ausbreitungsklassenstatistik ohne Berücksichtigung der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier IV und V.

Auf diese Weise wird in der TA Luft (neu) die Schornsteinhöhenbestimmung im Rahmen der Vorsorge (Nr. 5.5) nun auf derselben modelltechnischen Grundlage wie die Ausbreitungsrechnung zum Schutz (Anhang 2, „Ausbreitungsrechnung“) durchgeführt.

Damit für die Schornsteinhöhenbestimmung nicht jedes Mal eine oder mehrere Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden müssen, können diese einmalig für alle meteorologischen Einzelsituationen und Quellhöhen durchgeführt werden, wobei als Quellhöhe näherungsweise die effektive Quellhöhe (Summe aus Bauhöhe und Endüberhöhung) verwendet wird. Die Ergebnisse werden in einer Datenbank gespeichert (Fahnenbibliothek). Die Berechnung der Bauhöhe für einen Schornstein erfolgt dann für einen konkreten Q/S-Wert und vorgegebene Ablufteigenschaften (Volumenstrom, Austrittsgeschwindigkeit, Temperatur, Feuchte) wie folgt:

1. Für jede meteorologische Einzelsituation wird für den gegebenen Q/S-Wert die erforderliche effektive Quellhöhe mit Hilfe der Fahnenbibliothek ermittelt.
2. Für jede meteorologische Einzelsituation wird für die gegebenen Ablufteigenschaften durch Variation diejenige Bauhöhe bestimmt, die zusammen mit der dazugehörigen Endüberhöhung die erforderliche effektive Quellhöhe liefert.
3. Die höchste dieser Bauhöhen ist die erforderliche Schornsteinhöhe.

Dieses Verfahren und die zum Einsatz kommenden Modelle sind für den gesamten Anwendungsbereich der TA Luft gültig. Das Verfahren ist auch auf mehrere Schornsteine anwendbar, denn durch Überlagerung der vorberechneten Fahnen kann unmittelbar geprüft werden, ob ein Satz vorgegebener Schornsteine in der Summe den S-Wert einhält.

2.2.3 Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchs

Die Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchs über den sogenannten J-Wert, der zur berechneten Schornsteinbauhöhe addiert wird, basierte in der TA Luft 2002 auf der Richtlinie VDI 2289 Blatt 2 aus dem Jahr 1969, wurde jedoch nicht in der ursprünglichen Form übernommen. Dem ursprünglichen Konzept lagen vermutlich zwei Aspekte zugrunde:

1. Dichte Bebauung und Bewuchs führen zu einer Verdrängung der meteorologischen Profile nach oben. Das spielt vor allem windaufwärts der Quelle eine Rolle, da dadurch die meteorologischen Parameter in Austrittshöhe der Quelle beeinflusst werden.
2. Dichte Bebauung und Bewuchs verschieben das Bezugsniveau, welches ansonsten in Bodennähe liegt, nach oben. Das spielt vor allem windabwärts entlang der transportierten Immissionsfahne eine Rolle.

Beiden Effekten kann näherungsweise Rechnung getragen werden, indem die Freisetzungshöhe um eine entsprechende Höhe nach oben versetzt wird, damit Eingangsdaten (z. B. Windgeschwindigkeit in Anemometerhöhe) und Ergebnisse einer Ausbreitungsrechnung unverändert Anwendung finden können.

Die Entfernung, bis zu der sich windaufwärts von der Quelle Störeinflüsse auf die meteorologischen Profile bemerkbar machen, beträgt ungefähr 10 Quellhöhen. Das ist auch in etwa die Entfernung, welche die Fahne windabwärts benötigt, um den Boden zu erreichen. Daher war die frühere Regelung, einen Kreis mit Radius der 15-fachen Schornsteinbauhöhe für die Bestimmung der mittleren Bebauungshöhe anzusetzen, sinnvoll. Sie wird auch von Ergebnissen der sogenannten Footprint-Methode gestützt (Foken, 2012), die einen Radius zwischen etwa dem 10- und 20-fachen der Quellhöhe nahelegen.

Es ist unklar, warum seit der TA Luft 1986 dieser Einwirkungsbereich durch das gesamte Beurteilungsgebiet ersetzt worden ist; eventuell war eine Vereinheitlichung das Ziel, ohne sich über die physikalischen Hintergründe im Klaren zu sein. Für die TA Luft (neu) wird dem ursprünglichen Konzept gefolgt, den Radius auf das 15-fache der Schornsteinbauhöhe zu setzen, in diesem Gebiet die 5 % Fläche mit zusammenhängender Bebauung bzw. zusammenhängendem Bewuchs zu bestimmen, in der die mittlere Höhe über Grund am größten ist, und diese Höhe (soweit es eine solche Fläche gibt) auf die zuvor bestimmte Schornsteinbauhöhe aufzuschlagen.

2.2.4 Berücksichtigung von unebenem Gelände

Die TA Luft 2002 verweist zur Berücksichtigung von unebenem Gelände auf die Richtlinie VDI 3781 Blatt 2 (Ausgabe August 1981). Die Rückmeldung aus den Workshops ergab, dass die Anwendung der Richtlinie, die grobe Kategorisierungen und mit veralteten Modellen erzielte Ergebnisse enthält, in der Praxis problematisch ist.

Den Diskussionsergebnissen aus den Workshops zu diesem Projekt folgend wird der wichtigste Aspekt der Richtlinie, dass nämlich die Freisetzung nicht in der Kavitätszone einer Geländestruktur erfolgen darf, als Anforderung in die TA Luft (neu) explizit übernommen und ansonsten auf einen Verweis auf die Richtlinie verzichtet.

2.3 TA Luft (neu), Nr. 5.5

(Entwurf vom 16.07.2018)

5.5 Ableitung von Abgasen

5.5.1 Allgemeines

Abgase sind so abzuleiten, dass ein ungestörter Abtransport mit der freien Luftströmung und eine ausreichende Verdünnung ermöglicht werden. In der Regel ist eine Ableitung über Schornsteine erforderlich, deren Höhe vorbehaltlich besserer Erkenntnisse nach der Nummer 5.5.2 zu bestimmen ist. Die Anforderungen des Anhangs 7 an die Schornsteinhöhe sind gesondert zu beachten.

5.5.2 Ableitung über Schornsteine

5.5.2.1 Allgemeines

Die Lage und Höhe der Schornsteinmündung muss den Anforderungen der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017) genügen.

Danach muss der Schornstein mindestens

- a) eine Höhe von 10 m über dem Grund und*
- b) eine den Dachfirst um 3 m überragende Höhe haben und*
- c) die Oberkanten von Zuluftöffnungen, Fenstern und Türen der zum ständigen Aufenthalt von Menschen bestimmten Räume in einem Umkreis von 50 m um 5 m überragen.*

Hierbei ist bei einer Dachneigung von weniger als 20 Grad die Höhe des Dachfirstes in der Regel unter Zugrundelegung einer Neigung von 20 Grad zu berechnen, die gebäudebedingte Schornsteinhöhe soll jedoch das 2-fache der Gebäudehöhe nicht überschreiten.

Darüber hinaus muss die Schornsteinhöhe den Anforderungen der Nummern 5.5.2.2 und 5.5.2.3 genügen. Die so bestimmte Schornsteinhöhe soll vorbehaltlich abweichender Regelungen 250 m nicht überschreiten; ergibt sich eine größere Schornsteinhöhe als 200 m, sollen weitergehende Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung angestrebt werden.

Bei mehreren Schornsteinen der Anlage ist die Einhaltung des S-Wertes gemäß Nummer 5.5.2.2 durch Überlagerung der Konzentrationsfahnen der Schornsteine zu prüfen. Bestehende Schornsteine der Anlage sind bei der Überlagerung mit dem halben Emissionsmassenstrom zu berücksichtigen.

Die Nummern 5.5.2.2 und 5.5.2.3 finden keine Anwendung für Geruchsstoffe.

Wenn bei einer nach den Absätzen 1 bis 4 bestimmten Schornsteinhöhe die nach dem Mess- und Beurteilungsverfahren (Nummer 4.6) zu ermittelnde Kenngröße für die Gesamtbelastung (Nummer 4.7) den Immissionswert für das Kalenderjahr (Nummern 4.2 bis 4.5) überschreitet, ist zunächst eine Verminderung der Emissionen anzustreben. Ist dies nicht möglich, muss die Schornsteinhöhe so weit erhöht werden, dass dadurch ein Überschreiten des Immissionswertes für das Kalenderjahr verhindert wird.

Die nach Nummer 5.5.2 bestimmte Schornsteinhöhe ist die erforderliche Bauhöhe. Sie darf durch die tatsächliche Bauhöhe um maximal 10 Prozent überschritten werden. In begründeten Fällen kann die zuständige Behörde größere Schornsteinbauhöhen zulassen. Insbesondere ist bei einer Änderungsgenehmigung die weitere Verwendung eines bestehenden Schornsteins zulässig, dessen tatsächliche Bauhöhe die erforderliche Bauhöhe überschreitet. Falls die tatsächliche Bauhöhe eines neu errichteten Schornsteins die erforderliche Bauhöhe um mehr als 10 Prozent überschreitet und die Gesamtzusatzbelastung nur aus diesem Grund irrelevant bleibt, befreit dies nicht von der Bestimmung der Immissionskenngrößen gemäß Nummer 4.1 Absatz 4 Buchstabe c).

5.5.2.2 Bestimmung der Schornsteinhöhe

Maßstab für eine ausreichende Verdünnung der Abgase ist die maximale bodennahe Konzentration jedes emittierten, in Anhang 6 aufgeführten Stoffes in einer stationären Ausbreitungssituation. Die Schornsteinhöhe ist so zu bestimmen, dass diese Konzentration einen vorgegebenen Wert (den S-Wert) nicht überschreitet.

Die Konzentration ist mit einer Ausbreitungsrechnung nach Anhang 2 zu bestimmen unter Berücksichtigung der zu betrachtenden Ausbreitungssituationen und Festlegungen nach Anhang 2, Nummer 14. Für den S-Wert sind die in Anhang 6 festgelegten Werte einzusetzen.

Als Eingangsgrößen der Ausbreitungsrechnung sind zu verwenden:

<i>d in m</i>	<i>Innendurchmesser des Schornsteins an der Schornsteinmündung;</i>
<i>v in m/s</i>	<i>Geschwindigkeit des Abgases an der Schornsteinmündung;</i>
<i>T in °C</i>	<i>Temperatur des Abgases an der Schornsteinmündung;</i>
<i>x in kg/kg</i>	<i>Wasserbeladung (kg Wasserdampf und Flüssigwasser pro kg trockener Luft) des Abgases an der Schornsteinmündung;</i>
<i>Q in kg/h</i>	<i>Emissionsmassenstrom des luftverunreinigenden Stoffes; für karzinogene Fasern die je Zeiteinheit emittierte Faserzahl in 10⁶ Fasern/h;</i>
<i>S in mg/m³</i>	<i>Konzentration des luftverunreinigenden Stoffes, die nicht überschritten werden darf; für karzinogene Fasern die Anzahlkonzentration in Fasern/m³, die nicht überschritten werden darf.</i>

Für v, T, x und Q sind die Werte einzusetzen, die sich beim bestimmungsgemäßen Betrieb unter den für die Luftreinhaltung ungünstigsten Betriebsbedingungen ergeben, insbesondere hinsichtlich des Einsatzes der Brenn- bzw. Rohstoffe.

Bei der Emission von Stickstoffmonoxid ist ein Umwandlungsgrad von 60 Prozent zu Stickstoffdioxid zugrunde zu legen. Das bedeutet, dass der Emissionsmassenstrom der Stickstoffoxide (Summe aus Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid angegeben als Stickstoffdioxid) mit dem Faktor (0,6+0,4·p) zu multiplizieren ist, wobei p der relative Anteil des Stickstoffdioxids im Emissionsmassenstrom ist.

5.5.2.3 Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchs sowie unebenem Gelände

Die Bestimmung der Schornsteinhöhe nach Nummer 5.5.2.2 setzt voraus, dass das Windfeld bei der Anströmung des Schornsteins nicht wesentlich durch geschlossene Bebauung oder geschlossenen Bewuchs nach oben verdrängt wird und dass die Schornsteinmündung nicht in einer geländebedingten Kavitätszone des Windfeldes liegt. Falls diese Voraussetzungen nicht erfüllt sind, ist die nach Nummer 5.5.2.2 bestimmte Schornsteinhöhe gemäß den folgenden Absätzen zu korrigieren.

Maßgeblich für die Verdrängung des Windfeldes durch Bebauung oder Bewuchs ist das Innere eines Kreises um den Schornstein mit dem Radius der 15-fachen Schornsteinhöhe gemäß Nummer 5.5.2.2, mindestens aber mit dem Radius 150 m.

Innerhalb dieses Kreises ist der Bereich mit geschlossener vorhandener oder nach einem Bebauungsplan zulässiger Bebauung oder geschlossenem Bewuchs zu ermitteln, der 5 Prozent der Fläche des genannten Kreises umfasst und in dem die Bebauung oder der Bewuchs die größte mittlere Höhe über Grund aufweist. Einzelstehende höhere Objekte werden hierbei nicht berücksichtigt. Soweit ein solcher Bereich vorliegt, ist die in Nummer 5.5.2.2 bestimmte Schornsteinhöhe um diese Höhe zu erhöhen.

In unebenem Gelände wird der Schornstein mit der nach Nummer 5.5.2.2 bestimmten, gegebenenfalls um Bebauung und Bewuchs korrigierten Schornsteinhöhe betrachtet.

Liegt der Landschaftshorizont, von der Mündung des Schornsteins aus betrachtet, über der Horizontalen und ist sein Winkel zur Horizontalen in einem mindestens 20 Grad breiten

Richtungssektor größer als 15 Grad, so ist die Schornsteinhöhe so weit zu erhöhen, bis dieser Winkel kleiner oder gleich 15 Grad ist.

5.5.3 Altanlagen

Nummer 5.5.2 findet keine Anwendung für

- a) Altanlagen im Sinne dieser Verwaltungsvorschrift,*
- b) Altanlagen im Sinne der TA Luft vom 24. Juli 2002 (GMBL S. 511) sowie*
- c) Altanlagen im Sinne der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 27. Februar 1986 (GMBL S. 95),*

wenn die Anlage diejenigen Anforderungen an die Schornsteinhöhe erfüllt, die zum Zeitpunkt ihrer Errichtung oder, im Fall von späteren Änderungen, der letzten wesentlichen Änderung im Sinne des § 16 BImSchG bzw. der letzten störfallrelevanten Änderung im Sinne des § 16a BImSchG galten.

2.4 Kommentar zur TA Luft (neu), Nr. 5.5

(Textteile aus dem Kommentar von Hansmann, 2004, in Kursivschrift)

A Allgemeines

I Bedeutung der Vorschrift

Nr. 5.5 dient der Konkretisierung der Anforderungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen (§ 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG). Die schädigende Wirkung luftverunreinigender Stoffe hängt von der Höhe ihrer Konzentration ab, außerdem von ihrer Toxizität und Einwirkungsdauer. Die Höhe der Konzentration hängt von der Emissionsrate bzw. der Massenkonzentration der Emission und dem Volumenstrom der Abluft sowie von der Ausbreitung und Verdünnung während des atmosphärischen Transports ab. Je größer die effektive Quellhöhe (Summe aus Bauhöhe und Endüberhöhung), desto geringer ist die Konzentration des Stoffes in Bodennähe und damit das Risiko schädlicher Wirkungen. Eine hinreichend große Bauhöhe und die Gewährleistung eines ungestörten Abtransportes sind daher grundlegende Anforderungen an einen Schornstein im Rahmen der Vorsorge.

II Entstehungsgeschichte

Eine mit Nr. 5.5 vergleichbare Regelung enthielt Nr. 2.4 der TA Luft 1986, die wortgleich aus der Novelle von 1983 übernommen worden war. Die Vorschrift diente vorrangig der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen, hatte in Bezug auf die Emissionen krebserzeugender Stoffe aber auch für die Konkretisierung der Schutzpflichten Bedeutung (vgl. Nr. 2.2.1.5 TA Luft 1986). Seit der TA Luft 2002 sind die Anforderungen an die Ableitung von Abgasen eindeutig dem Abschnitt 5 der TA Luft und damit dem Vorsorgebereich zugeordnet.

Die TA Luft 1964 übernahm die Nomogramme zur Bestimmung von Schornsteinmindesthöhen aus der Richtlinie VDI 2289 Blatt 1 (Ausgabe Juni 1963) und die TA Luft 1974 ergänzte sie um das Diagramm zur Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchs. In der TA Luft 1983/1986 entfiel der bisher übliche Begriff der Schornsteinmindesthöhe, der S-Wert wurde als Zahlenwert ohne Dimension festgelegt und die Nomogrammlinien wurden über ihren ursprünglichen Gültigkeitsbereich hinaus verlängert. In die TA Luft 2002 wurde dieses Nomogramm unverändert übernommen. Während dieser zeitlichen Entwicklung wurden neue S-Werte eingeführt und bestehende angepasst. Da seit der TA Luft 1983/1986 der S-Wert ohne Dimension angegeben wird, wurde seine ursprüngliche physikalische Bedeutung in den Hintergrund gedrängt.

In die vorliegende TA Luft wurde das ursprüngliche Konzept der ausreichenden Verdünnung, realisiert durch eine hinreichend große Schornsteinhöhe, übernommen, aber mit Mitteln des aktuellen Stands der Technik realisiert, insbesondere unter Verwendung eines Partikelmodells nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (Ausgabe September 2000) und konsistent zum Anhang 2 („Ausbreitungsrechnungen“). Zur Entstehungsgeschichte der Schornsteinhöhenbestimmung und der zugrundeliegenden Modellkonzepte siehe auch Janicke et al. (2017).

Die Anforderungen eines ungestörten Abtransportes wurden in der Neufassung der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017) zusammengefasst, erweitert und konkretisiert. Nr. 5.5.2.1 legt fest, dass die Anforderungen dieser Richtlinie uneingeschränkt gelten, der Verweis auf andere Regelungen in der TA Luft 2002 Nr. 5.5.2 Abs. 5 konnte somit entfernt werden.

Im Ergebnis führt die Aktualisierung der Schornsteinhöhenberechnung zu drei Konsequenzen. Zum Ersten führen die Konkretisierung des ungestörten Abtransports der Abgase mit der freien Luftströmung und die Konkretisierung der Regelung für mehrere Schornsteine zu einer Vereinheitlichung der Vollzugspraxis. Zum Zweiten führt die neue Berechnung der ausreichenden Verdünnung der Abgase zu einer realitätsnäheren Umsetzung dieser Anforderung; das führt in vielen Einzelfällen zu anderen Schornsteinhöhen als bei Anwendung des Nomogramms, insbesondere in den Fällen, in denen das Nomogramm außerhalb seines 1963 festgestellten Gültigkeitsbereichs angewendet wurde (besonders im Bereich der senkrechten Linien). Schließlich werden die Schornsteinhöhen in der allgemeinen Tendenz weder größer noch kleiner, da Konzept und Grundsätze der Schornsteinhöhenberechnung sowie die meisten S-Werte beibehalten wurden.

III Anwendungsbereich

Nr. 5.5 gilt für alle genehmigungsbedürftigen Anlagen. Die Nr. 5.5.2 ist jedoch auf bestehende Anlagen nicht anwendbar, soweit diese die Anforderungen nach Nr. 5.5 der TA Luft 2002 einhalten (Nr. 5.5.3). Damit soll verhindert werden, dass bestehende Schornsteine allein wegen der neuen S-Werte oder der aktualisierten Schornsteinhöhenbestimmung erhöht werden müssen. Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen können lediglich einige grundsätzliche Bestimmungen in Nr. 5.5 als Erkenntnisquellen genutzt werden (vgl. Nr. 1 Abs. 5 Satz 5).

B Allgemeine Anforderungen an die Abgasableitung (Nr. 5.5.1)

I Grundsatz

Nr. 5.5.1 Satz 1 enthält die grundlegende Forderung, dass Abgase so abzuleiten sind, dass zum einen ein ungestörter Abtransport mit der freien Luftströmung und zum anderen eine ausreichende Verdünnung ermöglicht wird. Maßstab für eine ausreichende Verdünnung der Abgase ist die maximale bodennahe Konzentration eines mit dem Abgas freigesetzten Stoffes. Die Bauhöhe ist so zu bestimmen, dass diese Konzentration einen vorgegebenen Wert, den S-Wert, nicht überschreitet. Voraussetzung für eine ausreichende Verdünnung ist der ungestörte Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung. Hiermit soll verhindert werden, dass Emissionen beispielsweise im strömungsbedingten Nachlauf (d. h. in der Rezirkulationszone) eines Gebäudes freigesetzt und dadurch wenig verdünnt zum Erdboden transportiert werden. Ist die Voraussetzung des ungestörten Abtransports entsprechend den Anforderungen in Nr. 5.5.2.1 erfüllt, dann ist die Schornsteinbauhöhe nach Nr. 5.5.2.2 und Nr. 5.5.2.3 zu bestimmen.

II Ausnahmen

Nr. 5.5.1 Satz 2 fordert die Ableitung der Abgase über Schornsteine „in der Regel“ und deren Bauhöhenbestimmung nach Nr. 5.5.2 unter dem Vorbehalt „besserer Erkenntnisse“.

Ausnahmen von der Regel betreffen zunächst den Begriff „Schornstein“. Er bezeichnet hier nicht nur Schornsteine mit bauaufsichtlicher Zulassung gemäß den Anforderungen des Brandschutzes – baurechtliche Anforderungen bleiben vielmehr unberührt. In Ermangelung eines umfassenden und gebräuchlichen alternativen Begriffs steht der Begriff Schornstein synonym für eine geeignete Vorrichtung zur Ableitung der Abgase nach oben, welche den Anforderungen der Nr. 5.5.2 an den ungestörten Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung und an die ausreichende Verdünnung der Abgase genügt. Auch die Ableitung der Abgase von Großfeuerungsanlagen über Kühltürme ist unter diesen Voraussetzungen zulässig.

Ausnahmen von den Anforderungen der Nr. 5.5.2 kommen eventuell in Bagatellfällen in Betracht. Gemäß Nr. 4.6.1.1 Abs. 1 Buchst. b sind „nicht nach Nummer 5.5 abgeleitete Emissionen“ unter bestimmten Voraussetzungen mit der TA Luft vereinbar. Sie werden als „diffuse Emissionen“ bezeichnet, worunter einerseits nicht gefasste Emissionen (z. B. aus Außenklimaställen) und andererseits gefasste Emissionen verstanden werden, deren Ableitung nicht den Anforderungen der Nr. 5.5.2 an den ungestörten Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung genügt. Nr. 4.6.1.1 Abs. 1 Buchst. b gibt außerdem einen Hinweis auf die Massenbegrenzung diffuser Emissionen. Der Massenstrom einer diffusen Emission sollte wesentlich kleiner sein als 10 % des entsprechenden Bagatellmassenstroms der Tabelle 7. Die ausreichende Verdünnung der Abgase muss auch bei diffusen Emissionen durch geeignete Maßnahmen der Emissionsminderung und Ableitung gewährleistet werden.

Der Vorbehalt besserer Erkenntnisse bezieht sich auf den S-Wert als Maßstab für die ausreichende Verdünnung. Allgemein gewonnene neue Erkenntnisse (insbesondere aus Richtlinien und Verordnungen der Europäischen Union) über das Wirkungspotenzial eines Stoffes, speziell seine Neuklassierung, können die Festlegung eines neuen S-Wertes erforderlich machen.

C Ableitung über Schornsteine (Nr. 5.5.2)

I Mindestanforderungen und Regelfall

Voraussetzung für die ausreichende Verdünnung ist der „ungestörte Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung“. Die TA Luft konkretisierte diesen unbestimmten Rechtsbegriff früher lediglich mit der Forderung, der Schornstein müsse den Dachfirst um mindestens 3 m überragen. Im Allgemeinen (z. B. bei großem horizontalem Abstand des Schornsteins vom Dachfirst oder bei höheren Gebäuden in der näheren Umgebung des Schornsteins) genügte diese Konkretisierung nicht, um den ungestörten Abtransport der Abgase sicherzustellen. Es wurden individuelle gutachterliche Verfahren und eine Empfehlung des Merkblatts „Schornsteinhöhenberechnung“ der LAI herangezogen, um die Lücke zu füllen. Die TA Luft verweist in diesem Punkt nun auf die Neufassung der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017), welche die Anforderungen an den ungestörten Abtransport der Abgase nach Stand des Wissens konkretisiert. Für einfache Fälle reduziert sich die neue Regelung auf die frühere Konkretisierung.

Zusätzlich zu den Mindestanforderungen nach Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017) ist die Schornsteinhöhe im Regelfall nach Nr. 5.5.2.2 und Nr. 5.5.2.3 zu bestimmen.

II Ausnahmen bei der Schornsteinhöhenbestimmung

In der Vollzugspraxis ist bei Änderungsgenehmigungen die Ableitung geänderter Abgasströme über unveränderte bestehende Schornsteine auch dann zulässig, wenn die tatsächliche Bauhöhe des Schornsteins die für den ungestörten Abtransport und die ausreichende Verdünnung der Abgase erforderliche Bauhöhe überschreitet. Der Fall kann insbesondere auftreten, wenn

Emissionsmassenströme reduziert werden. Diese Praxis wird in Nr. 5.5.2.1 Abs. 7 erstmals explizit berücksichtigt.

Bei neu errichteten Schornsteinen ist eine tatsächliche Bauhöhe, welche die erforderliche Bauhöhe nach Nr. 5.5.2 um mehr als 10 Prozent überschreitet, nur in begründeten Fällen zulässig. Die damit mögliche zusätzliche Verdünnung der Emissionen reduziert deren Wirkung nicht, sondern ändert nur ihre räumliche Verteilung. Sie begründet daher keine Befreiung von der Bestimmung der Immissionskenngrößen.

Für die Schornsteinhöhenbestimmung im Zusammenhang mit Geruchsstoffen gelten anstelle der Nr. 5.5.2.2 und 5.5.2.3 die in Anhang 7 Nr. 2.1 aufgeführten Anforderungen. Sie wurden aus der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL, September 2008) übernommen.

III Begrenzung der Schornsteinhöhe (Nr. 5.5.2.1 Abs. 3)

Mit Nr. 5.5.2.1 Abs. 3 wird dem Bau sehr hoher Schornsteine zur Lösung lokaler oder regionaler Luftqualitätsprobleme entgegengewirkt. Wenn die nach Nr. 5.5.2.2 und 5.5.2.3 bestimmte Schornsteinhöhe mehr als 200 m beträgt, sollen weitergehende (d. h. über den Stand der Technik hinausgehende) Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung angestrebt werden. Eine Schornsteinhöhe von mehr als 250 m soll vermieden werden (vorbehaltlich abweichender Regelungen).

IV Berechnung bei mehreren Schornsteinen (Nr. 5.5.2.1 Abs. 4)

In der Schornsteinhöhenbestimmung nach TA Luft 2002 Nr. 5.5, die auf dem Nomogramm für einen einzelnen Schornstein beruhte, wurden mehrere Schornsteine behelfsweise durch die Zusammenfassung der Emissionen berücksichtigt. Eine andere Möglichkeit bot das Nomogramm nicht. Mit dem nun festgelegten Verfahren ist eine behelfsweise Zusammenfassung nicht erforderlich. Das Verfahren beruht auf der expliziten Berechnung der Konzentrationsfahne jedes Schornsteins. Im Fall mehrerer Schornsteine können die Konzentrationsfahnen dieser Schornsteine überlagert werden, um das bodennahe Maximum der Konzentration direkt zu bestimmen und es mit dem S-Wert zu vergleichen. Im Gegensatz zum alten Verfahren kann daher ohne zusätzliche Annahmen geprüft werden, ob für eine vorgegebene Konfiguration von Schornsteinen ein vorgegebener S-Wert eingehalten ist.

Bei einem bestehenden Schornstein, der den S-Wert ausschöpft, würde ein zusätzlicher, gleichartiger Schornstein in unmittelbarer Nähe zur Überschreitung des S-Wertes führen. In der Praxis der TA Luft 2002 wurde in diesem Fall wie folgt vorgegangen: Die beiden Schornsteine wurden emissionsseitig zusammengefasst, die erforderliche Schornsteinhöhe wurde mit dem alten Nomogramm bestimmt und die so ermittelte Höhe dann für den neu zu errichtenden Schornstein angewendet. Was bedeutete das für die maximale bodennahe Konzentration: Die erforderliche Bauhöhe eines Schornsteins ist proportional zu Q/S , dem Verhältnis von Emissionsmassenstrom Q zu S-Wert, und die maximale bodennahe Konzentration ist (in den Ansätzen des Nomogramms) umgekehrt proportional zur Bauhöhe. Ist Q des neuen Schornsteins gleich Q des bestehenden, der den S-Wert gerade ausschöpft, dann ist die mit $2Q$ berechnete Höhe des neuen Schornstein doppelt so groß wie die des bestehenden und die maximale Konzentration aufgrund beider Schornsteine (von etwas unterschiedlichen Orten der beiden Teilmaxima abgesehen) ist das $3/2$ -fache des S-Wertes ($1 \text{ plus } 1/2$). Kommt ein dritter Schornstein hinzu, ergibt sich mit derselben Herleitung das $11/6$ -fache des S-Wertes ($1 \text{ plus } 1/2 \text{ plus } 1/3$).

Diese Feststellungen führten zu der Überlegung, bestehende Schornsteine mit ihrem halben Q -Wert zu berücksichtigen: Gibt es einen bestehenden Schornstein, liefert er dann gerade den halben S-Wert. Die Höhe des neuen Schornsteins muss nun so gewählt werden, dass die Überlagerung beider Fahnen höchstens den S-Wert liefert. Er wird höher sein als der erste und

gerade den halben S-Wert liefern. Die Überlagerung der tatsächlichen Fahnen ohne Emissionsreduktion des ersten Schornsteins liefert dann das 3/2-fache des S-Wertes (1 plus 1/2), wie im alten Verfahren. Für einen dritten Schornstein werden die Emissionen der ersten beiden zur Hälfte berücksichtigt, sie liefern in der Höhenberechnung des dritten Schornsteins das 3/4-fache des S-Wertes, der dritte Schornstein das 1/4-fache des S-Wertes und die Überlagerung der tatsächlichen drei Fahnen das 7/4-fache des S-Wertes. Führt man das weiter, ergibt sich eine geometrische Reihe (1 plus 1/2 plus 1/4 usw.) und die Summe aller Teilbeiträge konvergiert gegen das 2-fache des S-Wertes – im Gegensatz zum alten Verfahren, wo die Summe divergiert (1 plus 1/2 plus 1/3 usw.).

V Schornsteinhöhe bei Überschreitung eines Immissionswertes (Nr. 5.5.2.1 Abs. 6)

In Nr. 5.5.2.1 Abs. 6 wird der Fall geregelt, dass für eine zu genehmigende Anlage, deren Schornsteinhöhe nach Nr. 5.5.2.2 und 5.5.2.3 bestimmt wurde, im Wege einer Immissionsprognose festgestellt wird, dass die Gesamtbelastung (Nr. 4.7) einen Immissionswert nach Tabellen 1 bis 4 oder 6 überschreiten würde und dass es zur Erreichung der Genehmigungsfähigkeit erforderlich ist, die auf das Kalenderjahr bezogene Gesamtzusatzbelastung zu senken. Eine solche Verminderung der Gesamtzusatzbelastung kann auch durch eine Schornsteinerhöhung erreicht werden. Abs. 6 legt fest, dass jedoch vorrangig eine weitergehende Emissionsminderung anzustreben ist, und zwar durch die Anwendung von Luftreinhalte-Techniken, die noch über den Stand der Technik hinausgehen. Sind diese Möglichkeiten ausgeschöpft und wird der Immissionswert immer noch nicht eingehalten, soll der Schornstein so weit erhöht werden, „dass dadurch ein Überschreiten des Immissionswertes für das Kalenderjahr verhindert wird“. Das ist allerdings nur möglich, wenn nicht bereits die Vorbelastung den betroffenen Immissionswert übersteigt. Andernfalls muss die Gesamtzusatzbelastung so weit gesenkt werden, dass der jeweilige Irrelevanzwert eingehalten ist (vgl. Nr. 4.2.2 Abs. 1 Buchst. a, Nr. 4.3.1.2 Buchst. a, Nr. 4.4.3 Buchst. a und Nr. 4.5.2 Buchst. a).

VI Schornsteinhöhenbestimmung (Nr. 5.5.2.2)

Das Konzept zur Bestimmung der erforderlichen Schornsteinhöhe lautet: Wähle für gegebene Quelleigenschaften die Bauhöhe so, dass die bodennahe Konzentration in keiner stationären Einzelsituation einen vorgegebenen Wert überschreitet. Die dafür erforderlichen Ausbreitungsrechnungen sind konform mit den Festlegungen des Anhangs 2 („Ausbreitungsrechnung“) durchzuführen. Das bedeutet insbesondere: Verwendung des Ausbreitungsmodells nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (Ausgabe September 2000), des Grenschichtmodells nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017), des Überhöhungsmodells nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 3 (in Überarbeitung, bis zum Erscheinen ersatzweise nach Janicke, 2017), die Betrachtung ungewichteter meteorologischer Einzelsituationen gemäß der Klassierung einer Ausbreitungsklassenstatistik ohne Berücksichtigung der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier IV und V, siehe Anhang 2 Nr. 14. Auf diese Weise wird die Schornsteinhöhenbestimmung im Rahmen der Vorsorge (Nr. 5.5) auf derselben modelltechnischen Grundlage wie die Ausbreitungsrechnung im Rahmen des Schutzes (Anhang 2) durchgeführt.

Damit für die Schornsteinhöhenbestimmung nicht jedes Mal eine oder mehrere Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden müssen, werden diese einmalig für alle meteorologischen Einzelsituationen und Quellhöhen durchgeführt, wobei als Quellhöhe näherungsweise die effektive Quellhöhe (Summe aus Bauhöhe und Endüberhöhung) verwendet wird. Die Ergebnisse sind in einer Datenbank gespeichert (Fahnenbibliothek). Die Berechnung der Bauhöhe für einen Schornstein erfolgt dann für einen konkreten Q/S-Wert und vorgegebene Ablufteigenschaften (Innendurchmesser des Schornsteins an der Schornsteinmündung;

Geschwindigkeit, Temperatur und Wasserbeladung des Abgases an der Schornsteinmündung) wie folgt:

1. Für jede meteorologische Einzelsituation wird für den gegebenen Q/S-Wert die erforderliche effektive Quelhöhe mit Hilfe der Fahnenbibliothek ermittelt.
2. Für jede meteorologische Einzelsituation wird für die gegebenen Ablufteigenschaften durch Variation diejenige Bauhöhe bestimmt, die zusammen mit der dazugehörigen Endüberhöhung die erforderliche effektive Quelhöhe liefert.
3. Die höchste dieser Bauhöhen ist die erforderliche Schornsteinhöhe.

Dieses Verfahren und die zum Einsatz kommenden Modelle sind für den gesamten Anwendungsbereich der TA Luft gültig. Das Verfahren ist auch auf mehrere Schornsteine anwendbar, denn durch Überlagerung der vorberechneten Fahnen kann unmittelbar geprüft werden, ob ein Satz vorgegebener Schornsteine in der Summe den S-Wert einhält. Für die praktische Nutzung wird vom Umweltbundesamt eine Softwareanwendung zur Verfügung gestellt (BESMIN), welche die Schornsteinhöhenbestimmung auf Grundlage einer bereits vorgerechneten Fahnenbibliothek ermöglicht.

In der TA Luft 2002 fand das Nomogramm nur für Emissionsmassenströme mit einem Verhältnis Q/S größer gleich 10 kg/h (in damaligen Einheiten) Anwendung, die aus dem Nomogramm abgelesene Schornsteinhöhe betrug mindestens 10 m (TA Luft 2002 Nr. 5.5.3). Ein Höhengaufschlag aufgrund von Bebauung wurde nur bei Anwendung des Nomogramms (TA Luft 2002 Nr. 5.5.4) gefordert, ohne Anwendung des Nomogramms entfiel der Höhengaufschlag. Diese Inkonsistenz wurde behoben, indem der Höhengaufschlag (Nr. 5.5.2.3) nun grundsätzlich zu berücksichtigen ist (Nr. 5.5.2.1, Abs. 3). Gleichzeitig wurde die Schornsteinhöhe, die sich nach dem Bestimmungsverfahren Nr.5.5.2.2 ergibt, im Anhang 2, Nr. 14 auf mindestens 6 m festgelegt. Für die Summe aus Schornsteinhöhe nach Nr. 5.5.2.2 und Höhengaufschlag nach Nr. 5.5.2.3 gilt der Mindestwert von 10 m (Nr. 5.5.2.1).

VII Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchs (Nr. 5.5.2.3)

Nr. 5.5.2.3 enthält analog TA Luft 2002 Nr. 5.5.4 einfache Korrekturen zur Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchs sowie unebenem Gelände. Dabei wurden die Regelungen der TA Luft 2002 auf ihre ursprünglichen Kerngehalte zurückgeführt und beschränkt. Die Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchs korrigiert eine Verdrängung des Windfeldes nach oben um die mittlere Höhe von geschlossener Bebauung oder geschlossenem Bewuchs.

Strömungsmechanisch maßgeblich dafür ist nicht – wie in den letzten beiden Fassungen der TA Luft festgelegt – die gesamte Fläche des Beurteilungsgebiets, sondern – wie ursprünglich in der TA Luft 1974 – das Innere eines Kreises um den Schornstein mit dem Radius der 15-fachen Schornsteinhöhe nach 5.5.2.2, mindestens jedoch 150 m. Eine ggf. erforderliche Erhöhung des Schornsteins im Hinblick auf einzelne überdurchschnittlich hohe Gebäude ist in dieser Korrektur nicht berücksichtigt und im Einzelfall zu prüfen.

Zur Berücksichtigung von unebenem Gelände verwies die TA Luft 2002 auf die Richtlinie VDI 3781 Blatt 2 (Ausgabe August 1981). Da das dort beschriebene Verfahren nicht mehr dem Stand der Modellierungstechnik entspricht, wurde der Verweis entfernt. Gültig bleibt jedoch die „Vorbedingung für Standorte in Tälern“ dieser Richtlinie. Diese Vorbedingung wurde in einer Formulierung, die in Geografischen Informationssystemen (GIS) implementiert werden kann, in Nr. 5.5.2.3 übernommen und stellt eine Voraussetzung für einen durch das Gelände „ungestörten“ Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung dar. Damit ist noch nicht ausgeschlossen, dass Geländeeinflüsse bei der berechneten Schornsteinhöhe die „ausreichende Verdünnung der Abgase“ verhindern. Insbesondere auch aus diesem Grund wird in Nr. 5.5.2.1 die Regelung

beibehalten, im Fall der Überschreitung eines Immissionswertes vorrangig die Emissionen so weit wie nötig und möglich zu vermindern und ggf. die Schornsteinhöhe so weit wie nötig zu erhöhen.

3 Fortschreibung der Ausbreitungsrechnung

Der Anhang 3 („Ausbreitungsrechnung“) der TA Luft 2002 regelt, wie Ausbreitungsrechnungen im Rahmen der TA Luft durchzuführen sind. Im Rahmen der Überarbeitung der TA Luft wurde dieser Anhang auf notwendige Aktualisierungen und Ergänzungen hin geprüft. In drei Workshops wurden die Änderungen diskutiert und Textvorschläge erstellt. In den folgenden Abschnitten sind die wichtigsten inhaltlichen Änderungen — Vorschläge, formuliert als Festlegungen — aufgeführt.

3.1 Anhang 2, „Ausbreitungsrechnung“

3.1.1 Abschnitt 1, „Allgemeines“

In der TA Luft (neu) wird in der Ausbreitungsrechnung nun auch die nasse Deposition berücksichtigt. Daneben wird im Rahmen von FFH-Betrachtungen die Berechnung von Stickstoff- und Schwefel- bzw. Säureeinträgen in den Boden erforderlich sein. Die benötigten Auswaschraten und Depositionsgeschwindigkeiten werden auf Grundlage der Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (Ausgabe April 2006) festgelegt, die deshalb explizit zitiert wird. Da in die TA Luft (neu) die Modellierung von Geruchsimmissionen aufgenommen wurde (Integration der Geruchs-Immissionsrichtlinie, GIRL, September 2008), wird hier und an weiteren Stellen des Anhangs auf Geruchsstoffe eingegangen.

3.1.2 Abschnitt 2, „Festlegung der Emissionen“

Kein Änderungsvorschlag.

3.1.3 Abschnitt 3, „Ausbreitungsrechnung für Gase“

Um die Berechnung von Stickstoff- und Säureeinträgen in den Boden zu ermöglichen, werden Depositionsgeschwindigkeiten und Auswaschraten für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid aufgeführt. Bei der trockenen Deposition wird zwischen elementarem und oxidiertem Quecksilber unterschieden, die sehr unterschiedliche Depositionsgeschwindigkeiten zeigen.

Für Stickstoffmonoxid ist nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (Ausgabe April 2006) die Auswaschraten 0. Nach der EMEP-Studie (Travnikov und Ilyin, 2005) wird die Auswaschraten für elementares Quecksilber auf 0 und die für oxidiertes Quecksilber auf $0,0001(I/I_0)^{0,7}$ 1/s (Niederschlagsintensität I , $I_0 = 1$ mm/h) gesetzt.

Grundsätzlich wird für alle Substanzen, für die Depositionsparameter (Depositionsgeschwindigkeit bzw. Auswaschraten) festgelegt sind, die Ausbreitungsrechnung unter Berücksichtigung der Deposition (trockene Deposition bzw. nasse Deposition) durchgeführt, es findet keine nachträgliche Skalierung von Ergebnissen ohne Deposition statt. So ist – im Rahmen der notwendigen Konventionen – eine möglichst realitätsnahe Ausbreitungsrechnung gewährleistet. Auf längere Sicht sollten die bisher in Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (Ausgabe April 2006) aufgeführten Depositionsgeschwindigkeiten durch ein Widerstandsmodell abgelöst werden, das eine Bestimmung der Deposition in Abhängigkeit von der aktuellen Bodenbeschaffenheit und Meteorologie ermöglicht. Für ein Lagrange'sches Partikelmodell könnte eine überarbeitete Richtlinie auch unmittelbar die Depositionswahrscheinlichkeit (siehe Richtlinie VDI 3945 Blatt 3, Ausgabe September 2000) ohne Umweg über die Depositionsgeschwindigkeit bereitstellen.

Ebenso sollten auf längere Sicht die rein empirischen Umwandlungsraten von Stickstoffmonoxid nach Stickstoffdioxid, wie sie in der Richtlinie VDI 3782 Blatt 1 (Ausgabe Januar 2016) angegeben sind, durch eine detailliertere Betrachtung unter Berücksichtigung der komplexen Umwandlungsvorgänge (siehe Richtlinien VDI 3783 Blatt 18, Ausgabe April 2017, und VDI 3783 Blatt 19, Ausgabe April 2017) abgelöst werden. Hierauf wird im Text kurz Bezug genommen. Eine mögliche Vorgehensweise ist die Analyse von Einzelfallsituationen mit dem Ausbreitungsmodell LASAT (Janicke und Janicke, 2007b) in Kombination mit dem Zusatzmodul LASREA, das die Behandlung nichtlinearer Umsetzungsprozesse erlaubt. Aus den Einzelfallanalysen könnten kategorisierte Umwandlungsraten abgeleitet werden.

3.1.4 Abschnitt 4, „Ausbreitungsrechnung für Stäube“

Für die einzelnen Korngrößenklassen wurden Auswaschraten gemäß den Standardsetzungen der Richtlinie VDI 4251 Blatt 3 (Ausgabe August 2015) eingefügt. In dieser Richtlinie waren die Auswaschraten auf Grundlage von Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (Ausgabe April 2006) so bestimmt worden, dass sie über die dazugehörigen aerodynamischen Durchmesser in etwa kompatibel mit den bereits vorhandenen Depositionsgeschwindigkeiten der TA Luft 2002 sind.

Bei unbekannter Korngrößenverteilung von PM₁₀ (Klassen 1 und 2) werden folgende Aspekte berücksichtigt: Die EU-weite Berichterstattung nach der E-PRTR-Verordnung (E-PRTR, 2006) berücksichtigt PM_{2,5} nicht. Allerdings werden in Deutschland PRTR-Daten zusammen mit Emissionserklärungen nach der 11. BImSchV (BImSchV-11, 2004) und nach der 13. BImSchV (BImSchV-13, 2013) von den Betreibern über die Software BUBE (Betriebliche Umweltdaten-Bericht-Erstattung) übermittelt. In BUBE (2016) sind für viele Abgasreinigungsanlagen PM_{2,5}- und PM₁₀-Anteile an Gesamtstaubfrachten hinterlegt. Ist keine Abgasreinigungsart vorhanden bzw. zur Abgasreinigung kein PM-Anteil bekannt, ist dort der allgemeine Faktor (35 % PM₁₀, 10 % PM_{2,5}) anzuwenden. In BUBE wird bei unbekannter Korngrößenverteilung also ein Verhältnis Klasse 1 zu Klasse 2 von etwa 30:70 angenommen. Dieses Verhältnis wird für gefasste Quellen übernommen. Für nicht gefasste (diffuse) Quellen wird wie bisher zu 100 % Klasse 2 angenommen, was in Bezug auf die Deposition eine konservative Schätzung ist.

3.1.5 Abschnitt 5, „Ausbreitungsrechnung für Geruchsstoffe“

In dem neuen Abschnitt werden Aspekte zur Bestimmung der Geruchsstundenhäufigkeit aufgeführt, die für Gase und Stäube keine Rolle spielen. Die Beurteilungsschwelle wird explizit mit 0,25 GE_E/m³ festgelegt, abgeleitet aus Messungen des Verhältnisses von Mittelwert zu 90-Perzentil der atmosphärischen Spurenstoffkonzentration (siehe Janicke und Janicke, 2007a).

3.1.6 Abschnitt 6, „Bodenrauigkeit“

Als Datengrundlage für die Bestimmung der Bodenrauigkeit wird das CORINE Land Cover (CLC) durch das Landbedeckungsmodell Deutschland (LBM-DE) ersetzt. Beide Datensätze verwenden die gleiche, für CLC festgelegte Klassierung der Landbedeckung, aber LBM-DE ist räumlich genauer, da die Mindestkartierfläche 1 Hektar statt wie bei CLC 25 Hektar beträgt. Ab dem Stichjahr 2012 ist der deutsche CLC-Datensatz eine räumlich aggregierte Version des LBM-DE. CLC und LBM-DE verwenden dieselben Klassenbezeichnungen.

In der Zuordnung von Landnutzungsklassen zu Rauigkeitsklassen werden folgende Änderungen vorgenommen:

- 311 (Laubwälder), 312 (Nadelwälder)

Nach Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes zur vertikalen Verdrängung des

Windprofils durch Waldbestand werden die Messwerte besser wiedergegeben, wenn die Klasse 311 der Rauigkeitslänge 2,0 m statt 1,5 m und die Klasse 312 der Rauigkeitslänge 1,5 m statt 1,0 m zugeordnet werden.

- ▶ 242 (komplexe Parzellenstrukturen), 243 (Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung)
Diese Klassen werden im LBM-DE überhaupt nicht verwendet und können daher aus der Tabelle gestrichen werden. Diese „heterogenen“ Klassen entstehen erst bei der Generalisierung zu größeren Kartiereinheiten durch Zusammenfassung anderer landwirtschaftlicher und gegebenenfalls naturnaher Flächen. Eine Analyse zeigt, dass sich hinter diesen Klassen vor allem die Klassen 211 (nicht bewässertes Ackerland) und 231 (Wiesen und Weiden) verbergen.
- ▶ 211 (nicht bewässertes Ackerland), 231 (Wiesen und Weiden)
Die in der TA Luft 2002 zugewiesene Rauigkeit von 0,05 m bzw. 0,02 m erscheint zu niedrig, da in der Praxis auf den Teilflächen meist immer auch größere Strukturen vorhanden sind (zum Beispiel Ställe, Sträucher, Knicks), die jedoch in der Klassierung nicht berücksichtigt sind. Vor diesem Hintergrund scheint ein Wert von 0,1m angemessener zu sein. Dieser Wert passt auch besser zu der Klug/Manier-Klassierung nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 6 (Ausgabe April 2017), die von einer Rauigkeitslänge von ebenfalls 0,1 m ausgeht; die zugrunde liegenden Messungen hatten vermutlich auf Flughafen-Wiesen stattgefunden.
- ▶ 321 (Natürliches Grünland)
Mit Blick auf die Klassen 141 (Städtische Grünflächen) und 322 (Heiden und Moorheiden) wird diese Klasse derselben Rauigkeitslänge (0,2 m statt 0,02 m) zugewiesen.
- ▶ 132 (Deponien und Abraumhalden)
Analog zur Begründung für die Klassen 211 und 231 wird auch diese Klasse einer etwas größeren Rauigkeitslänge zugeordnet (0,05 m statt 0,02 m).
- ▶ 334 (Brandflächen)
Diese Klasse kommt mit dem LBM-DE neu hinzu (mit minimalem Vorkommen innerhalb Deutschlands) und wird derselben Rauigkeitslänge zugeordnet wie die Klasse 211 und 231.

Der Radius des Kreises, innerhalb dessen die Rauigkeitslänge als Mittelwert für die Ausbreitungsrechnung bestimmt wird, wird von dem 10-fachen auf das 15-fache der Freisetzungshöhe geändert, um konsistent mit den Festlegungen in Nr. 5.5 der TA Luft (neu) zu sein. Zudem wird das für diese Bestimmung formale Minimum der Freisetzungshöhe auf 10 m gesetzt, damit die Mittelungsfläche nicht unsachgemäß klein wird.

Dem Umstand vertikal und horizontal ausgedehnter Quellen wird Rechnung getragen durch Festlegung der mittleren Höhe als Freisetzungshöhe und des Grundflächen-Schwerpunktes als Bezugspunkt. Bei mehreren Quellen wird aus den mittleren, den Quellen jeweils zugewiesenen Rauigkeitslängen ein Mittelwert gebildet, wobei die einzelnen Rauigkeitslängen mit dem Quadrat der jeweiligen Freisetzungshöhe (d. h. mit dem Flächeninhalt des jeweiligen Mittelungsgebietes) gewichtet werden.

3.1.7 Abschnitt 7, „Abgasfahnenüberhöhung“

In diesem Forschungsvorhaben wurde der Ansatz PLURIS zur Bestimmung der Abgasfahnenüberhöhung trockener und feuchter Fahnen (Janicke und Janicke, 2001) weiterentwickelt. Die Weiterentwicklung ist Grundlage für die Überarbeitung der Überhöhungsrichtlinien VDI 3782 Blatt 3 (Kamine) aus dem Jahr 1985 und VDI 3784 Blatt 2 (Kühltürme) aus dem Jahr 1990. Da die Richtlinienarbeiten noch nicht abgeschlossen sind, wurde die in diesem Forschungsvorhaben entwickelte Bestimmung der Abgasfahnenüberhöhung in einem eigenen Bericht (Bericht zur Umweltphysik Nr. 10; Janicke, 2017) dokumentiert und kann genutzt werden, bis die Überarbeitung der Überhöhungsrichtlinien abgeschlossen ist.

3.1.8 Abschnitt 8, „Rechengebiet und Aufpunkte“

Kein Änderungsvorschlag.

3.1.9 Abschnitt 9, „Meteorologische Daten“

Die überarbeitete Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) legt nicht nur das Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit, sondern auch das Vertikalprofil der Windrichtung fest, so dass eine eigene Festlegung hierzu in der TA Luft nicht mehr erforderlich ist.

Nach der Terminologie der Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 wird die Länge als Obukhov- Länge und nicht mehr als Monin-Obukhov-Länge bezeichnet (siehe Foken, 2006).

Die Klassierung der Obukhov-Länge in der TA Luft 2002 in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse nach Klug/Manier und der Rauigkeitslänge wurde mit dem neuen Grenzschichtmodell erneut durchgeführt (siehe Janicke und Janicke, 2002; Janicke et al., 2017).

Die Ableitung der klassierten Werte ist für die Klasse III/1 mit großen Unsicherheiten verbunden, da hier der Übergang von positiven zu negativen Werten auftritt, so dass sich je nach Randbedingungen (Quellhöhe, Grenzschichtprofil) entweder große negative oder große positive Werte ergaben. Daher wurde der Wert für die Klassierung in der TA Luft 2002 für alle Rauigkeitslängen formal auf 99999 m, also praktisch auf unendlich gesetzt. Diese Festlegung wurde genauer betrachtet und überarbeitet, unter anderem, weil die Obukhov-Länge nun über die Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 auch in das Temperaturprofil und über den neuen Ansatz der Abgasfahnenüberhöhung auch in die effektive Quellhöhe eingeht. Als Ergebnis wird für die Klasse III/1 und die Rauigkeitslänge 1,5 m der Klassenwert der Obukhov-Länge von 99999 m auf 4000 m geändert und daraus der Wert für die anderen Rauigkeitslängen gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 bestimmt.

Die Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 legt die Bestimmung der Mischungsschichthöhe fest (konform zur TA Luft 2002), so dass eine eigene Festlegung in der TA Luft nicht mehr erforderlich ist.

Eine grundlegende Änderung impliziert die Tatsache, dass gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 die Mischungsschichthöhe für labile Schichtung nun jahreszeitabhängig ist. Zum einen findet hierdurch das erste Mal ein absoluter Zeitbezug in die rechentechnische Umsetzung AUSTAL Eingang (intern konnten bisher alle Zeitangaben auf relative Zeitangaben abgebildet werden). Zum anderen wird hiermit ein (weiterer) grundsätzlicher Unterschied zwischen einer meteorologischen Zeitreihe und einer Ausbreitungsklassenstatistik (AKS) eingeführt, da in einer AKS keine zeitliche Variation abgebildet wird.

Mit der in der TA Luft (neu) hinzugekommenen Berechnung der nassen Deposition ist eine Vorgabe der Niederschlagsintensität erforderlich. Standardmäßig sind solche Daten nicht an

jedem Standort verfügbar. In dem Forschungsvorhaben RESTNI (Haberlandt und Berndt, 2018a) wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem Niederschlagszeitreihen mit Hilfe eines geostatistischen Interpolationsverfahrens konsistent mit den üblichen meteorologischen Variablen auf einen vorgegebenen Standort übertragen werden können. Die Projektergebnisse zeigen, dass eine solche Übertragung in erster Linie für eine meteorologische Zeitreihe praktikabel ist, während die Erweiterung einer Ausbreitungsklassenstatistik auf den vierten Parameter Niederschlag mit erheblichen Annahmen verbunden ist. In einem Folgeprojekt zu RESTNI (Haberlandt und Berndt, 2018b) wurde ein Verfahren entwickelt, über das für einen vorgegebenen Standort und ein vorgegebenes Jahr eine Zeitreihe mit Niederschlagsintensitäten vom Umweltbundesamt bereitgestellt werden kann.

3.1.10 Abschnitt 10, „Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit“

Die Berechnung der Geruchsstundenhäufigkeit basiert auf der Auswertung von Stundenmitteln der Konzentration. Diese besitzen aufgrund der kürzeren Mittelungszeit eine deutlich größere statistische Unsicherheit als zum Beispiel Jahresmittel. Große statistische Unsicherheiten können zu einer systematischen Unterschätzung der Geruchsstundenhäufigkeit führen. Auch Fälle mit einer systematischen Überschätzung sind möglich, aber weniger kritisch. Auf diesen Effekt wird im Handbuch von AUSTAL2000 (Janicke, 2014) näher eingegangen. Es ist daher darauf zu achten, dass die statistische Unsicherheit bei der Berechnung von Geruchsstundenhäufigkeiten hinreichend klein ist. Eine programminterne automatische Schätzung oder Behebung dieses Effektes gibt es bisher nicht, daher wird auf diesen Umstand in einem zusätzlichen Absatz hingewiesen. Die Richtlinie VDI 3783 Blatt 13 (Ausgabe Januar 2010) gibt ergänzende Hinweise und Empfehlungen.

3.1.11 Abschnitt 11, „Berücksichtigung von Bebauung“

Nach den Vorgaben der TA Luft 2002 sind Einflüsse der Bebauung auf die Immission im Rechengebiet zu berücksichtigen. Ob und ggf. welche besonderen Maßnahmen dies erfordert, wird in der TA Luft 2002 anhand des Verhältnisses von Schornsteinbauhöhe zu den maßgeblichen Gebäudehöhen und dem Abstand der Gebäude vom Schornstein entschieden. Maßgeblich für die Beurteilung sind alle Gebäude, deren Abstand vom Schornstein (Emissionsquelle) kleiner ist als das 6-fache der Schornsteinbauhöhe und zugleich kleiner als das 6-fache ihrer Höhe. Während bei einer Schornsteinbauhöhe von mehr als dem 1,7-fachen der Gebäudehöhen eine Berücksichtigung der Bebauung bei der Ausbreitungsrechnung über eine geeignete Rauigkeitslänge und Verdrängungshöhe als ausreichend gilt, werden bei Schornsteinbauhöhen zwischen dem 1,7-fachen und 1,2-fachen der Gebäudehöhen und bei Gewährleistung freier Abströmung geeignete diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle empfohlen. Der Bereich von Schornsteinbauhöhen unter dem 1,2-fachen der Gebäudehöhen ist in der TA Luft 2002 nicht geregelt.

Dieser unregelte Bereich führte in der Praxis immer wieder zu Problemen bezüglich des Anwendungsbereiches verschiedener mikroskaliger Windfeldmodelle. Unklar ist, in welchen Fällen ein diagnostisches Modell eingesetzt werden darf und in welchen ein prognostisches Modell eingesetzt werden muss. Ein diagnostisches mikroskaliges Modell ist nicht in der Lage, die Strömungsverhältnisse in unmittelbarer Gebäudenähe im Detail zu beschreiben. Diese beeinflussen jedoch stark das Ausbreitungsverhalten von Emissionen aus einer gebäudenahen Quelle und in Folge die Immissionen an Aufpunkten in der unmittelbaren Nachbarschaft. Andererseits erfordert ein prognostisches mikroskaliges Modell erheblich höhere Sachkenntnis in der Anwendung. Hinzu kommt, dass das mikroskalige diagnostische Modell TALdia gerade in

dem Bereich von Emissionshöhen unter dem 1,2-fachen der Gebäudehöhen validiert worden ist (Janicke und Janicke, 2004).

Die Praxiserfahrungen der letzten Jahre zeigten, dass eine Abgrenzung des Anwendungsbereiches allein anhand des Verhältnisses von Quellhöhe zu den Höhen der Umgebungsbebauung nicht sinnvoll ist. Bei gebäudenahen Quellen ist es sachgerechter, die Entfernung des immissionsseitig relevanten Aufpunkts von Quelle und Gebäude als Grundlage heranzuziehen: Ist der zu betrachtende Aufpunkt weit genug von Quelle und Gebäude entfernt, dann spielen Modellierungsdetails in unmittelbarer Gebäudenähe keine so bedeutende Rolle mehr, da die Schadstoffkonzentration bis zum Erreichen des Aufpunkts aufgrund von Durchmischung und Aufweitung der Schadstofffahne bereits hinreichend homogen ist. Das gleiche Argument trifft für eine ausgedehnte Quelle oder eine größere Entfernung zwischen Quelle und Gebäude zu, auch wenn hier der relevante Aufpunkt nahe am Gebäude liegt: Die Konzentrationsfahne ist im Bereich des Gebäudes so aufgeweitet, dass Modellierungsdetails der Strömungsverhältnisse am Gebäude keine entscheidende Rolle mehr spielen, denn eine homogene Konzentrationsverteilung bleibt im Wesentlichen homogen, auch wenn die Strömungsverhältnisse stark inhomogen sind.

Diesen Überlegungen wurde in der Neuformulierung Rechnung getragen: Befinden sich die relevanten Aufpunkte außerhalb des unmittelbaren Einflussbereiches der quellenahen Gebäude (beispielsweise außerhalb der Rezirkulationszonen), können die Einflüsse der Bebauung auf das Windfeld und die Turbulenzstruktur mit Hilfe eines diagnostischen Windfeldmodells für Gebäudeumströmung berücksichtigt werden. Andernfalls sollte hierfür der Einsatz eines prognostischen Windfeldmodells für Gebäudeumströmung geprüft werden. Da die Datenlage für quantitativere Abgrenzungskriterien unzureichend war, beschränkt sich auch die neue Formulierung auf diese eher allgemeinen Hinweise.

Die meisten der derzeit bei der Ausbreitungsmodellierung verwendeten diagnostischen und auch prognostischen Windfeldmodelle können Gebäude nur vereinfacht als Quader in ihrem Rechengitter abbilden, unabhängig von der Dachform des Originals. Daher stellt sich die Frage nach der bei der Modellierung zu wählenden Höhe der Ersatzquader, damit die Strömungsfelder in der Realität und ihre Umsetzung im Rechenmodell möglichst ähnlich sind. Hierzu wurde ein ergänzendes Forschungsvorhaben durch die Länder Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Hessen und Thüringen betreut, das sich mit der Bestimmung einer äquivalenten Quaderhöhe für nichtquaderförmige Gebäude (Gebäude mit geneigten Dächern) bei der numerischen mikroskaligen Modellierung befasste (Theurer und Gauweiler, 2018). Als Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen in einem Grenzschichtwindkanal wurde die Empfehlung ausgesprochen, die Ersatzquader firsthoch zu wählen.

Werden in den numerischen Strömungs- und Ausbreitungsmodellen Gebäude mit komplexeren Dachstrukturen mittels der firsthohen Ersatzquader vereinfachend abgebildet, können dachnahe Quellen innerhalb dieser Ersatzquader zu liegen kommen. In solchen Fällen müssen anstelle der Originalquellen Ersatzquellen verwendet werden, die die Konzentrationsfelder aufgrund der Originalquellen möglichst gut wiedergeben sollen.

Zur Bearbeitung dieser Fragestellung wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ergänzende Experimente im Grenzschichtwindkanal durchgeführt (Theurer, 2018). Als Ersatzquellen wurden sowohl Quellen auf der Dachfläche („Dachquelle“) als auch an der Seitenwand („Seitenquelle“) der Ersatzquader hinsichtlich des Ausbreitungsverhaltens der Emissionen untersucht.

Es zeigte sich, dass eine Mittelung der Ergebnisse der Ersatzquellen auf der Dachfläche und an der Seitenwand des Ersatzquaders die Daten der Originalquelle im Rahmen der vorliegenden

Untersuchungen am besten wiedergibt. Für die numerische Modellierung bedeutet dies, dass anstelle der Originalquelle jeweils zwei Quellen mit je der halben Emissionsstärke bei den Ersatzquadranten an den entsprechenden Positionen anzuordnen sind.

3.1.12 Abschnitt 12, „Berücksichtigung von Geländeunebenheiten“

Es wird auf die zwischenzeitlich erarbeitete Evaluierungs-Richtlinie VDI 3783 Blatt 7 (Ausgabe Mai 2017) und auf die Richtlinie VDI 3783 Blatt 16 (Ausgabe Juni 2015) zur Erstellung einer Windfelddbibliothek und der Wahl der Anemometerposition verwiesen.

3.1.13 Abschnitt 13, „Verwendung einer Häufigkeitsverteilung der stündlichen Ausbreitungssituationen“

Die Bestimmung der Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier wird inzwischen in einer eigenen Richtlinie festgelegt (VDI 3782 Blatt 6, Ausgabe April 2017), die auch die Klassierung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung vorgibt (konform zur TA Luft 2002). Daher ist eine eigene Festlegung in der TA Luft nicht mehr erforderlich.

3.1.14 Abschnitt 14, „Ausbreitungsrechnung zur Bestimmung der Schornsteinhöhe“

Grundlage der Schornsteinhöhenbestimmung sind (siehe Ausführungen zu Nr. 5.5) einmalig durchzuführende Ausbreitungsrechnungen, die konsistent mit den Festlegungen des Anhangs 2 („Ausbreitungsrechnung“) der TA Luft (neu) sind und darüber hinaus weitere Festlegungen erfordern. Diese Festlegungen werden in einem neuen Abschnitt des Anhangs aufgeführt, die programmtechnische Umsetzung ist das Programm BESMIN:

1. Die Ausbreitungsrechnungen sind für ebenes Gelände durchzuführen.
2. Die Rauigkeitslänge wird auf den Wert 0,5 m gesetzt (ein für Anwendungen in Deutschland typischer Wert), die Verdrängungshöhe auf das 6-fache der Rauigkeitslänge und die Anemometerhöhe auf 10 m über der Verdrängungshöhe.
3. Es werden die in einer Ausbreitungsklassenstatistik nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 6 definierten, ungewichteten Einzelsituationen betrachtet ohne die Ausbreitungsklassen IV und V.
4. Eine Abgasfahnenüberhöhung wird berücksichtigt, indem als Freisetzungshöhe die effektive Quellhöhe (Bauhöhe plus Endüberhöhung) verwendet wird.
5. Die Ausbreitungsrechnung wird für ein passives, nicht deponierendes Spurengas durchgeführt.
6. Die relative statistische Streuung des Konzentrationswertes, der die Schornsteinhöhe bestimmt, soll 5 Prozent nicht überschreiten.

Für jede der meteorologischen Einzelsituationen wird die effektive Quellhöhe bestimmt, mit welcher der vorgegebene S-Wert gerade eingehalten wird (einmalig erstellte Datenbank, die im Rahmen von BESMIN bereitgestellt wird). Für jede Einzelsituation wird danach mit Hilfe des Überhöhungsmodells durch Variation der Bauhöhe diejenige Bauhöhe bestimmt, die in Summe mit der dazugehörigen Endüberhöhung gerade die zuvor bestimmte effektive Quellhöhe ergibt. Die höchste dieser Bauhöhen ist die anzusetzende Schornsteinhöhe.

3.2 TA Luft (neu), Anhang 2

(Entwurf vom 16.07.2018)

1 Allgemeines

Die Ausbreitungsrechnung für Gase, Stäube und Geruchsstoffe ist als Zeitreihenrechnung über jeweils ein Jahr oder auf der Basis einer mehrjährigen Häufigkeitsverteilung von Ausbreitungssituationen nach dem hier beschriebenen Verfahren unter Verwendung des Partikelmodells der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (Ausgabe September 2000) und unter Berücksichtigung weiterer, in diesem Anhang aufgeführter Richtlinien durchzuführen.

Die Deposition ist unter Verwendung der Parameter Depositionsgeschwindigkeit und Auswaschrates gemäß dem in Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (Ausgabe April 2006) beschriebenen Verfahren unter Verwendung der in den Nummern 3 und 4 dieses Anhangs aufgeführten Werte zu berechnen.

Das Ausbreitungsmodell liefert bei einer Zeitreihenrechnung für jede Stunde des Jahres an den vorgegebenen Aufpunkten die Konzentration eines Stoffes (als Masse/Volumen) und die Deposition (als Masse/(Fläche · Zeit)) oder bei Geruchsausbreitungsrechnungen die Aussage über das Vorliegen einer Geruchsstunde. Bei Verwendung einer Häufigkeitsverteilung gemäß Nummer 13 dieses Anhangs liefert das Ausbreitungsmodell die entsprechenden Jahresmittelwerte bzw. die relative Häufigkeit von Geruchsstunden.

Für Gase und Stäube dienen die Ergebnisse einer Rechnung für ein Raster von Aufpunkten der Auswahl der Beurteilungspunkte gemäß Nummer 4.6.2.6 der TA Luft. Die Ergebnisse an den Beurteilungspunkten repräsentieren die Gesamtzusatzbelastung oder Zusatzbelastung und dienen, zusammen mit der Zeitreihe der Vorbelastungswerte, der Bestimmung der Gesamtbelastung, für Geruchsstoffe siehe auch Anhang 7, Nummer 4.6. Für die Bewertung von Geruchsimmissionen werden aus den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung auf Beurteilungsflächen gemäß Anhang 7, Nummer 4.4.3 gewichtete Mittel der Geruchsstundenhäufigkeiten gebildet.

Für die Ausbreitungsrechnung ist die tatsächliche Bauhöhe des Schornsteins zu verwenden. Falls jedoch die tatsächliche Bauhöhe eines neu errichteten Schornsteins die erforderliche Bauhöhe um mehr als 10 Prozent überschreitet und für die tatsächliche Bauhöhe eine irrelevante Gesamtzusatzbelastung berechnet wird, ist zusätzlich eine weitere Ausbreitungsrechnung mit der erforderlichen Bauhöhe des Schornsteins durchzuführen.

2 Festlegung der Emissionen

Emissionsquellen sind die festzulegenden Stellen des Übertritts von Luftverunreinigungen aus der Anlage in die Atmosphäre. Die bei der Ableitung der Emissionen vorliegenden Freisetzungsbedingungen sind zu berücksichtigen.

Die Emissionsparameter der Emissionsquelle (Emissionsmassenstrom, Geruchsstoffstrom, Abgastemperatur, Abgasvolumenstrom) sind als Stundenmittelwerte anzugeben. Bei zeitlichen Schwankungen der Emissionsparameter, z. B. bei Chargenbetrieb, sind diese als Zeitreihe anzugeben. Ist eine solche Zeitreihe nicht verfügbar oder verwendbar, sind die beim bestimmungsgemäßen Betrieb für die Luftreinhaltung ungünstigsten Betriebsbedingungen einzusetzen. Hängt die Quellstärke von der Windgeschwindigkeit ab (windinduzierte Quellen), so ist dies entsprechend zu berücksichtigen.

3 Ausbreitungsrechnung für Gase

Für Gase, für die im Folgenden keine Depositionsparameter festgelegt sind, ist die Ausbreitungsrechnung ohne Berücksichtigung der Deposition durchzuführen.

Für Ammoniak, Schwefeloxide (angegeben als Schwefeldioxid), Stickstoffoxide und gasförmiges Quecksilber sind die in Tabelle 12 angegebenen Werte der Depositionsgeschwindigkeit v_d zu verwenden.

Tabelle 12: Depositionsgeschwindigkeiten für Gase

Stoff	v_d in m/s
Ammoniak	0,01
Schwefeldioxid	0,01
Stickstoffmonoxid	0,0005
Stickstoffdioxid	0,003
Quecksilber (elementar)	0,0003
Quecksilber (oxidiert)	0,005

Die Auswaschrates Λ wird in der Form $\Lambda = \lambda(I/I_0)^\kappa$ mit der Niederschlagsintensität I , I_0 gleich 1 mm/h, dem Auswaschfaktor λ und dem Auswaschexponenten κ parametrisiert. Für Ammoniak, Schwefeloxide (angegeben als Schwefeldioxid), Stickstoffdioxid und Quecksilber (oxidiert) sind die in Tabelle 13 angegebenen Werte für den Auswaschfaktor und den Auswaschexponenten zu verwenden.

Tabelle 13: Auswaschparameter für Gase

Stoff	λ in 1/s	κ
Ammoniak	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,6
Schwefeldioxid	$2,0 \cdot 10^{-5}$	1,0
Stickstoffdioxid	$1,0 \cdot 10^{-7}$	1,0
Quecksilber (oxidiert)	$1,0 \cdot 10^{-4}$	0,7

Für die Berechnung der Umwandlung von Stickstoffmonoxid nach Stickstoffdioxid sind die in der Richtlinie VDI 3782 Blatt 1 (Ausgabe Januar 2016) angegebenen Umwandlungszeiten zu verwenden. Bei Vorliegen neuer Erkenntnisse aus der Richtlinie VDI 3783 Blatt 19 (Ausgabe April 2017) können die obersten Landesbehörden andere Umwandlungszeiten festlegen.

4 Ausbreitungsrechnung für Stäube

Bei der Ausbreitungsrechnung für Stäube sind Sedimentation und Deposition zu berücksichtigen.

Die Berechnung ist für die in Tabelle 14 angegebenen Größenklassen der Korngrößenverteilung des Emissionsmassenstromes durchzuführen, wobei die Korngröße als aerodynamischer Durchmesser da festgelegt ist. Es sind die in Tabelle 14 angegebenen Werte von Sedimentationsgeschwindigkeit v_s , Depositionsgeschwindigkeit v_d , Auswaschfaktor λ und Auswaschexponenten κ zu verwenden.

Tabelle 14: Depositionsparameter für Stäube

Klasse	d_a in μm	v_s in m/s	v_d in m/s	λ in 1/s	κ
1	kleiner 2,5	0,0	0,001	$0,3 \cdot 10^{-4}$	0,8
2	2,5 bis 10	0,0	0,01	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,8
3	10 bis 50	0,04	0,05	$4,4 \cdot 10^{-4}$	0,8
4	größer 50	0,15	0,20	$4,4 \cdot 10^{-4}$	0,8

Die Ausbreitungsrechnung für eine Korngrößenklasse ist mit dem Emissionsmassenstrom der betreffenden Korngrößenklasse durchzuführen. $\text{PM}_{2,5}$ ist Staub der Korngrößenklasse 1. Die Einzelwerte der Konzentration für PM_{10} bestehen aus der Summe der Einzelwerte der Konzentration der Korngrößenklassen 1 und 2. Für die Berechnung der Deposition des gesamten Staubes sind die Depositionswerte aller Korngrößenklassen zu addieren.

Ist die Korngrößenverteilung nicht im Einzelnen bekannt, dann ist PM_{10} aus diffusen Quellen wie Staub der Klasse 2, PM_{10} aus gefassten Quellen zu 30 Massenprozent wie Staub der Klasse 1 und zu 70 Massenprozent wie Staub der Klasse 2 zu behandeln; für Staub mit einem aerodynamischen Durchmesser größer als $10 \mu\text{m}$ ist für v_s der Wert $0,06 \text{ m/s}$, für v_d der Wert $0,07 \text{ m/s}$, für λ der Wert $4,4 \cdot 10^{-4} \text{ 1/s}$ und für κ der Wert $0,8$ zu verwenden.

5 Ausbreitungsrechnung für Geruchsstoffe

Die Ausbreitungsrechnung für Geruchsstoffe ist ohne Berücksichtigung von Deposition durchzuführen.

Ist der für eine Stunde berechnete Mittelwert der Konzentration des Geruchsstoffes größer als die Beurteilungsschwelle c_{BS} mit dem Wert $0,25 \text{ GE}_E/\text{m}^3$, so wird die betreffende Stunde als Geruchsstunde im Sinne von Nummer 2.1 Buchstabe c) der TA Luft gewertet. Die Anzahl der Geruchsstunden wird aufsummiert und in das Verhältnis zu der Gesamtanzahl der ausgewerteten Stunden gesetzt. Das Ergebnis ist die relative Häufigkeit der Geruchsstunden.

Die Bewertung der Geruchsstundenhäufigkeiten erfolgt auf Beurteilungsflächen. Die Größe der Beurteilungsflächen ergibt sich aus Nummer 4.4.3 des Anhangs 7. Hierfür werden die mit der Ausbreitungsrechnung für die Gitterzellen ermittelten Geruchsstundenhäufigkeiten je nach Überlappungsgrad mit der Beurteilungsfläche als gewichtetes Mittel auf die Beurteilungsfläche umgerechnet.

6 Bodenrauigkeit

Die Bodenrauigkeit des Geländes wird durch eine mittlere Rauigkeitslänge z_0 beschrieben. Sie ist mit dem Landbedeckungsmodell Deutschland (LBM-DE)¹ mit den in Tabelle 15 aufgeführten Klassenzuordnungen zu bestimmen.

Vom Umweltbundesamt wird ein aus LBM-DE erstelltes Kataster der mittleren Rauigkeitslängen für Deutschland zur Verfügung gestellt.

¹ Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main.

Tabelle 15: Mittlere Rauigkeitslänge in Abhängigkeit von den Landnutzungsklassen des Landbedeckungsmodells Deutschland (LBM-DE)

<i>z₀ in m</i>	<i>Klasse (LBM-DE)</i>
0,01	Strände, Dünen und Sandflächen (331); Wasserflächen (512)
0,02	Flächen mit spärlicher Vegetation (333); Salzwiesen (421); In der Gezeitenzone liegende Flächen (423); Gewässerläufe (511); Mündungsgebiete (522)
0,05	Abbauflächen (131); Deponien und Abraumhalden (132); Sport- und Freizeitanlagen (142); Gletscher und Dauerschneegebiete (335); Lagunen (521)
0,10	Flughäfen (124); nicht bewässertes Ackerland (211); Wiesen und Weiden (231); Brandflächen (334); Sümpfe (411); Torfmoore (412); Meere und Ozeane (523)
0,20	Straßen, Eisenbahn (122); städtische Grünflächen (141); Weinbauflächen (221); natürliches Grünland (321); Heiden und Moorheiden (322); Felsflächen ohne Vegetation (332)
0,50	Hafengebiete (123); Obst- und Beerenobstbestände (222); Wald-Strauch-Übergangsstadien (324)
1,00	Nicht durchgängig städtische Prägung (112); Industrie- und Gewerbeflächen (121); Baustellen (133)
1,50	Nadelwälder (312); Mischwälder (313)
2,00	Durchgängig städtische Prägung (111); Laubwälder (311);

Die Rauigkeitslänge ist für ein kreisförmiges Gebiet um den Schornstein festzulegen, dessen Radius das 15-fache der Freisetzungshöhe (tatsächlichen Bauhöhe des Schornsteins), mindestens aber 150 m beträgt. Setzt sich dieses Gebiet aus Flächenstücken mit unterschiedlicher Bodenrauigkeit zusammen, so ist eine mittlere Rauigkeitslänge durch arithmetische Mittelung mit Wichtung entsprechend dem jeweiligen Flächenanteil zu bestimmen und anschließend auf den nächstgelegenen Tabellenwert zu runden.

Für eine vertikal ausgedehnte Quelle ist als Freisetzungshöhe ihre mittlere Höhe zu verwenden. Bei einer horizontal ausgedehnten Quelle ist als Ort der Schwerpunkt ihrer Grundfläche zu verwenden. Bei mehreren Quellen ist für jede ein eigener Wert der Rauigkeitslänge und daraus der Mittelwert zu berechnen, wobei die Einzelwerte mit dem Quadrat der Freisetzungshöhe gewichtet werden.

Es ist zu prüfen, ob sich die Landnutzung seit Erhebung der Daten wesentlich geändert hat oder eine für die Immissionsprognose wesentliche Änderung zu erwarten ist.

Variiert die Bodenrauigkeit innerhalb des zu betrachtenden Gebietes sehr stark, ist der Einfluss des verwendeten Wertes der Rauigkeitslänge auf die berechneten Immissionsbeiträge zu prüfen.

7 Abgasfahnenüberhöhung

Bei der Ableitung der Abgase über Schornsteine oder Kühltürme ist die Abgasfahnenüberhöhung mit einem drei-dimensionalen Überhöhungsmodell zu bestimmen.²

8 Rechengebiet und Aufpunkte

Das Rechengebiet für eine einzelne Emissionsquelle ist das Innere eines Kreises um den Ort der Quelle, dessen Radius das 50-fache der Schornsteinbauhöhe ist. Tragen mehrere Quellen zur Gesamtzusatzbelastung oder Zusatzbelastung bei, dann besteht das Rechengebiet aus der Vereinigung der Rechengebiete der einzelnen Quellen. Bei besonderen Geländebedingungen kann es erforderlich sein, das Rechengebiet größer zu wählen.

Das Raster zur Berechnung von Konzentration und Deposition ist so zu wählen, dass Ort und Betrag der Immissionsmaxima mit hinreichender Sicherheit bestimmt werden können. Dies ist in der Regel der Fall, wenn die horizontale Maschenweite die Schornsteinbauhöhe nicht überschreitet. In Quellentfernungen größer als das 10-fache der Schornsteinbauhöhe kann die horizontale Maschenweite proportional größer gewählt werden.

Die Konzentration an den Aufpunkten ist als Mittelwert über ein vertikales Intervall von 0,0 m bis 3,0 m Höhe über Grund zu berechnen und ist damit repräsentativ für eine Aufpunkthöhe von 1,5 m über Grund. Die so für ein Volumen oder eine Fläche des Rechengitters berechneten Mittelwerte gelten als Punktwerte für die darin enthaltenen Aufpunkte.

9 Meteorologische Daten

9.1 Allgemeines

Meteorologische Daten sind als Stundenmittel anzugeben, wobei die Windgeschwindigkeit durch skalare Mittelung und die Windrichtung durch vektorielle Mittelung des Windvektors zu bestimmen ist. Die verwendeten Werte für Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Obukhov-Länge oder Ausbreitungsklasse sollen für einen mehrjährigen Zeitraum repräsentativ sein.

Die verwendeten Werte von Windgeschwindigkeit und Windrichtung sollen für den Ort im Rechengebiet, an dem die meteorologischen Eingangsdaten für die Berechnung der meteorologischen Grenzschichtprofile vorgegeben werden, charakteristisch sein. Die Festlegung dieses Ortes und seine Eignung für die Aufgabenstellung sind zu begründen.

Bei der Ausbreitungsrechnung mit nasser Deposition soll der mehrjährige Zeitraum nach Möglichkeit innerhalb des Zeitraums liegen, für den das Umweltbundesamt Niederschlagsdaten bereitstellt.³ Für den Jahresniederschlag und die Niederschlagshäufigkeit sind für den Standort der Anlage charakteristische Werte zu verwenden.

Liegen keine geeigneten Messungen einer nach der Richtlinie VDI 3783 Blatt 21 (Ausgabe März 2017) ausgerüsteten und betriebenen Messstation im Rechengebiet vor, sind andere geeignete Daten zu verwenden:

- a) Daten einer Messstation des Deutschen Wetterdienstes oder einer anderen nach der Richtlinie VDI 3783 Blatt 21 (Ausgabe März 2017) ausgerüsteten und betriebenen Messstation, deren*

² Es ist folgender Modellansatz zu verwenden: U. Janicke: Vorschrift zur Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung von Schornsteinen und Kühltürmen, Berichte zur Umweltphysik Nr. 10, 2017, ISSN 1439-8303; bei Vorliegen einer geeigneten VDI-Richtlinie können die obersten Landesbehörden eine hiervon abweichende Bestimmungsmethode festlegen.

³ Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst.

Übertragbarkeit auf den festgelegten Ort der meteorologischen Eingangsdaten nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 20 (Ausgabe März 2017) geprüft wurde, oder

- b) Daten, die mit Hilfe von Modellen erzeugt wurden. Die Eignung und Qualität der eingesetzten Modelle sowie die Repräsentativität des Datensatzes für den festgelegten Ort der meteorologischen Eingangsdaten sind nachzuweisen.

Messlücken, die nicht mehr als 2 Stundenwerte umfassen, können durch Interpolation geschlossen werden. Die Verfügbarkeit der Daten soll mindestens 90 Prozent der Jahresstunden betragen.

Die vom Partikelmodell benötigten meteorologischen Grenzschichtprofile sind gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) zu bestimmen. Hierfür werden die in Tabelle 16 aufgeführten Eingangsgrößen benötigt.

Tabelle 16: Eingangsgrößen für die meteorologischen Grenzschichtprofile

r_a	Windrichtung in Anemometerhöhe h_a
u_a	Windgeschwindigkeit in Anemometerhöhe h_a
L	Obukhov-Länge
h_m	Mischungsschichthöhe
z_0	Rauigkeitslänge
d_0	Verdrängungshöhe

Die Windgeschwindigkeit und die Drehung der Windrichtung in Abhängigkeit von der Höhe über Grund sind in ebenem Gelände gemäß dem in der Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) aufgeführten analytischen Ansatz zu bestimmen.

9.2 Windrichtung

Die Windrichtung ist die Richtung, aus der der Wind weht, und ist in Anemometerhöhe als Winkel gegen die Nordrichtung im Uhrzeigersinn gradgenau anzugeben. Enthält die für die Ausbreitungsrechnung verwendete meteorologische Zeitreihe nur gerundete Werte der Windrichtung (Sektorangaben), dann ist hilfsweise in der Ausbreitungsrechnung eine gleichverteilt zufällige Windrichtung aus dem betreffenden Sektor zu verwenden.

Bei umlaufenden Winden ist eine gleichverteilt zufällige Windrichtung aus dem Bereich 1 Grad bis 360 Grad zu wählen. Für Intervalle mit Windstille bis zu 2 Stunden Dauer ist die Windrichtung durch lineare Interpolation zwischen dem letzten Wert vor Beginn der Windstille und dem ersten Wert nach Ende der Windstille zu bestimmen. Für Intervalle größer als zwei Stunden ist die Windrichtung entsprechend der Windrichtungsverteilung für Windgeschwindigkeiten bis zu 1,2 m/s zufällig zu wählen.

9.3 Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit in Anemometerhöhe ist in m/s mit einer Nachkommastelle anzugeben. Ist in der meteorologischen Zeitreihe die Windgeschwindigkeit in Stufen größer als 0,1 m/s angegeben, dann ist hilfsweise für die Ausbreitungsrechnung eine gleichverteilt zufällige Geschwindigkeit aus dem Stufenbereich auszuwählen.

Bei Windstille und bei Windgeschwindigkeiten unter 0,8 m/s in Anemometerhöhe ist für die Windgeschwindigkeit in Anemometerhöhe ein rechnerischer Wert von 0,7 m/s zu verwenden.

9.4 Obukhov-Länge

Die Stabilität der atmosphärischen Schichtung wird durch Angabe der Obukhov-Länge L festgelegt. Ist der Wert der Obukhov-Länge nicht bekannt, dann ist eine Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier gemäß Richtlinie VDI 3782 Blatt 6 (Ausgabe April 2017) zu bestimmen und die Obukhov-Länge in Meter gemäß Tabelle 17 zu setzen.

Tabelle 17: Klassierung der Obukhov-Länge L in m

Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier	Rauigkeitslänge z_0 in m								
	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	1,50	2,00
I (sehr stabil)	5	7	9	13	17	28	44	60	77
II (stabil)	25	31	44	59	81	133	207	280	358
III/1 (indifferent/stabil)	350	450	630	840	1160	1890	2950	4000	5110
III/2 (indifferent/labil)	-37	-47	-66	-88	-122	-199	-310	-420	-536
IV (labil)	-15	-19	-27	-36	-49	-80	-125	-170	-217
V (sehr labil)	-6	-8	-11	-15	-20	-33	-52	-70	-89

9.5 Mischungsschichthöhe

Die Mischungsschichthöhe ist gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) festzulegen.

9.6 Verdrängungshöhe

Die Verdrängungshöhe gibt an, wie weit die theoretischen meteorologischen Profile aufgrund von Bewuchs oder Bebauung in der Vertikalen zu verschieben sind. Die Verdrängungshöhe und die Fortsetzung der meteorologischen Profile innerhalb der Verdrängungsschicht sind gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) festzulegen.

9.7 Niederschlagsintensität

Für die Berechnung der nassen Deposition ist die Ausbreitungsrechnung als Zeitreihenrechnung durchzuführen. Die Niederschlagsintensität ist in mm/h mit einer Nachkommastelle anzugeben.

Als Niederschlagszeitreihe sind die für das Bezugsjahr der meteorologischen Daten und den Standort der Anlage vom Umweltbundesamt zur Ausbreitungsrechnung nach TA Luft bereitgestellten Daten zu verwenden.

10 Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit

Die mit dem hier beschriebenen Verfahren berechneten Immissionskenngrößen besitzen aufgrund der statistischen Natur des in der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (Ausgabe September 2000) angegebenen Verfahrens eine statistische Unsicherheit. Es ist darauf zu achten, dass die modellbedingte statistische Unsicherheit, berechnet als statistische Streuung des berechneten Wertes, beim Jahres-Immissionskennwert 3 Prozent des Jahres-Immissionswertes und beim Tages-Immissionskennwert 30 Prozent des Tages-Immissionswertes nicht überschreitet. Gegebenenfalls ist die statistische Unsicherheit durch eine Erhöhung der Partikelzahl zu reduzieren.

Liegen die Beurteilungspunkte an den Orten der maximalen Gesamtzusatzbelastung oder Zusatzbelastung, braucht die statistische Unsicherheit nicht gesondert berücksichtigt zu werden.

Andernfalls sind die berechneten Jahres-, Tages- und Stunden-Immissionskennwerte um die jeweilige statistische Unsicherheit zu erhöhen. Die relative statistische Unsicherheit des Stunden-Immissionskennwertes ist dabei der relativen statistischen Unsicherheit des Tages-Immissionskennwertes gleichzusetzen.

Bei der Berechnung der Geruchsstundenhäufigkeit ist darauf zu achten, dass die statistische Unsicherheit der Stundenmittel der Konzentration hinreichend klein ist, damit systematische Effekte bei der Identifikation einer Geruchsstunde ausgeschlossen werden können.

11 Berücksichtigung von Bebauung

Einflüsse von Bebauung auf die Immission im Rechengebiet sind zu berücksichtigen. Für die folgende Betrachtung können Gebäude, deren Entfernung vom Schornstein größer als das 6-fache ihrer Höhe und größer als das 6-fache der Schornsteinbauhöhe ist, vernachlässigt werden.

Beträgt die Schornsteinbauhöhe mehr als das 1,7-fache der Gebäudehöhen, ist die Berücksichtigung der Bebauung durch eine geeignet gewählte Rauigkeitslänge und Verdrängungshöhe ausreichend. Bei geringerer Schornsteinbauhöhe kann folgendermaßen verfahren werden:

Befinden sich die immissionsseitig relevanten Aufpunkte außerhalb des unmittelbaren Einflussbereiches der quellnahen Gebäude (beispielsweise außerhalb der Rezirkulationszonen, siehe Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (Ausgabe Juli 2017)), können die Einflüsse der Bebauung auf das Windfeld und die Turbulenzstruktur mit Hilfe des im Abschlussbericht⁴ zum UFOPLAN Vorhaben FKZ 203 43 256 dokumentierten diagnostischen Windfeldmodells für Gebäudeumströmung berücksichtigt werden. Anderenfalls sollte hierfür der Einsatz eines prognostischen Windfeldmodells für Gebäudeumströmung, das den Anforderungen der Richtlinie VDI 3783 Blatt 9 (Ausgabe Mai 2017) genügt, geprüft werden.

Sofern die Gebäudegeometrie in einem diagnostischen oder prognostischen Windfeldmodell auf Quaderform reduziert wird, ist als Höhe des Quaders die Firsthöhe des abzubildenden Gebäudes zu wählen.

12 Berücksichtigung von Geländeunebenheiten

Unebenheiten des Geländes sind in der Regel nur zu berücksichtigen, falls innerhalb des Rechengebietes Höhendifferenzen zum Emissionsort von mehr als dem 0,7-fachen der Schornsteinbauhöhe und Steigungen von mehr als 1:20 auftreten. Die Steigung ist dabei aus der Höhendifferenz über eine Strecke zu bestimmen, die dem 2-fachen der Schornsteinbauhöhe entspricht.

Geländeunebenheiten können in der Regel mit Hilfe des im Abschlussbericht⁵ zu UFOPLAN Vorhaben FKZ 200 43 256 dokumentierten mesoskaligen diagnostischen Windfeldmodells berücksichtigt werden, wenn die Steigung des Geländes den Wert 1:5 nicht überschreitet und wesentliche Einflüsse von lokalen Windsystemen oder anderen meteorologischen Besonderheiten ausgeschlossen werden können.

⁴ Janicke, U. und Janicke, L.: Weiterentwicklung eines diagnostischen Windfeldmodells für den anlagenbezogenen Immissionsschutz (TA Luft). Ingenieurbüro Janicke, Dunum, 2004. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, Fachbibliothek Umwelt, UBA-FB 000842.

⁵ Janicke, L. und Janicke, U.: Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz. Band 1 Ausbreitungsmodelle für die Anlagengenehmigung. Ingenieurbüro Janicke, Dunum, 2002. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, Fachbibliothek Umwelt, UBA-FB 000384/1.

Sind die in Absatz 2 genannten Bedingungen nicht erfüllt, können die Geländeunebenheiten in der Regel mit Hilfe eines prognostischen mesoskaligen Windfeldmodells berücksichtigt werden, das den Anforderungen der Richtlinie VDI 3783 Blatt 7 (Ausgabe Mai 2017) entspricht. Dabei sind die Verfahrensregeln der Richtlinie VDI 3783 Blatt 16 (Ausgabe Juni 2015) zu beachten.

13 Verwendung einer Häufigkeitsverteilung der stündlichen Ausbreitungssituationen

Eine Häufigkeitsverteilung der stündlichen Ausbreitungssituationen kann verwendet werden, wenn keine nasse Deposition zu berücksichtigen ist und mittlere Windgeschwindigkeiten von weniger als 1,0 m/s im Stundenmittel am Standort der Anlage in weniger als 20 Prozent der Jahresstunden auftreten. Eine Ausbreitungssituation ist durch Windgeschwindigkeitsklasse, Windrichtungssektor und Ausbreitungsklasse gemäß Richtlinie VDI 3782 Blatt 6 (Ausgabe April 2017) bestimmt.

Die Fälle mit umlaufenden Winden werden der entsprechenden Ausbreitungs- und Windgeschwindigkeitsklasse zugeordnet; die Verteilung auf die Windrichtungssektoren ist entsprechend der Windrichtungsverteilung in der jeweiligen Windgeschwindigkeitsklasse vorzunehmen.

Für jede in der Häufigkeitsverteilung mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit größer Null aufgeführte Ausbreitungssituation ist nach dem für die Zeitreihenrechnung angegebenen Verfahren eine zeitunabhängige Ausbreitungsrechnung durchzuführen. Dabei ist als Windgeschwindigkeit der Rechenwert nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 6 (Ausgabe April 2017) zu verwenden. Die Ausbreitungsrechnung für einen Windrichtungssektor von 10 Grad ist in Form von Rechnungen über 5 Windrichtungen im Abstand von jeweils 2 Grad durchzuführen mit arithmetischer Mittelung der Ergebnisse. Für den ersten Sektor sind dies die Windrichtungen 6 Grad, 8 Grad, 10 Grad, 12 Grad, 14 Grad und entsprechend bei den folgenden Sektoren.

Der Jahresmittelwert von Konzentration, Deposition und Geruchsstundenhäufigkeit ist der Mittelwert der mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten gewichteten Konzentrations- bzw. Depositionswerte bzw. Geruchsstunden, die für die einzelnen Ausbreitungssituationen berechnet werden.

14 Ausbreitungsrechnung zur Bestimmung der Schornsteinhöhe

Grundlage für die Bestimmung der Schornsteinhöhe nach Nummer 5.5.2.2 der TA Luft sind Ausbreitungsrechnungen gemäß diesem Anhang, wobei die folgenden Vereinfachungen und Festlegungen vorzunehmen sind:

- a) Die Ausbreitungsrechnungen sind für ebenes Gelände durchzuführen.*
- b) Die Rauigkeitslänge wird auf den Wert 0,5 m gesetzt, die Verdrängungshöhe auf das 6-fache der Rauigkeitslänge und die Anemometerhöhe auf 10 m über der Verdrängungshöhe.*
- c) Es werden die in einer Ausbreitungsklassen-Statistik nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 6 (Ausgabe April 2017) definierten, ungewichteten Einzelsituationen betrachtet ohne die Ausbreitungsklassen Klug/Manier IV und V.*
- d) Eine Abgasfahnenüberhöhung wird berücksichtigt, indem als Freisetzungshöhe die effektive Quellhöhe (Bauhöhe plus Endüberhöhung) verwendet wird.*
- e) Die Ausbreitungsrechnung wird für ein passives, nicht deponierendes Spurengas durchgeführt.*
- f) Die relative statistische Streuung des Konzentrationswertes, der die Schornsteinhöhe bestimmt, soll 5 Prozent nicht überschreiten.*

Für jede der meteorologischen Einzelsituationen wird die effektive Quellhöhe bestimmt, mit welcher der vorgegebene S-Wert gerade eingehalten wird. Für jede Einzelsituation wird danach

mit Hilfe des Überhöhungsmodells gemäß Nummer 7 dieses Anhangs durch Variation der Bauhöhe diejenige Bauhöhe bestimmt, die in Summe mit der dazugehörigen Endüberhöhung gerade die zuvor bestimmte effektive Quellschornsteinhöhe ergibt. Die höchste dieser Bauhöhen, mindestens aber eine Höhe von 6 m, ist die nach Nummer 5.5.2.2 der TA Luft anzusetzende Schornsteinhöhe.

Vom Umweltbundesamt wird eine Referenzimplementierung dieser Bestimmungsvorschrift mit vorab berechneten Konzentrationsfahnen zur Verfügung gestellt, mit der die erforderliche Schornsteinhöhe bestimmt und für mehrere Schornsteine die Einhaltung des S-Wertes durch Überlagerung der Einzelfahnen überprüft werden kann.

3.3 Kommentar zur TA Luft (neu), Anhang 2

(Textteile aus dem Kommentar von Hansmann, 2004, zum Anhang „Ausbreitungsrechnung“ der TA Luft 2002 in Kursivschrift; sie stammen zum Großteil aus dem Forschungsprojekt UFOPLAN 200 43 256, „Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz“.)

A Allgemeines

I Grundlagen der Ausbreitungsrechnung

Zur Ermittlung der Zusatzbelastung im Rahmen der TA Luft wird seit der TA Luft 2002 ein Lagrange'sches Partikelmodell nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (Ausgabe September 2000) verwendet. In einem solchen Ausbreitungsmodell werden punktförmige Partikel, die einen Spurenstoff repräsentieren, auf ihrem Weg durch die Atmosphäre verfolgt. Die Partikel bewegen sich mit der mittleren Strömung (Advektion) und werden dabei zusätzlich dem Einfluss der Turbulenz ausgesetzt (Diffusion). Die Wirkung der Turbulenz wird modelliert, indem bei jedem Partikel zu der mittleren Bewegung eine weitere zufällige Bewegung addiert wird. Diese wird aus einem Markov-Prozess gewonnen, dessen Eigenschaften durch die Art der atmosphärischen Turbulenz bestimmt sind. Dieser Ansatz unterscheidet sich grundsätzlich von den meisten sonst gebräuchlichen Modellierungsverfahren, die auf der rechnerischen Lösung der Advektions-Diffusionsgleichung oder auch auf einer physikalischen Modellierung der Ausbreitungsvorgänge im Windkanal beruhen.

Das Lagrange'sche Partikelmodell, wie es in dieser Richtlinie beschrieben wird, zeichnet sich dadurch aus, dass es im Modellkonzept weitgehend die natürlichen Vorgänge bei der turbulenten Diffusion nachahmt. Aufgrund der Methode tritt keine numerische Diffusion auf, das Verfahren liefert immer nicht-negative Massendichten und ist streng massenerhaltend. Die Methode lässt beliebige Quellgeometrien bei beliebigem Zeitverhalten einer räumlich variablen Quelle zu. Es können die Sedimentation von schwerem Staub, die Resuspension sowie physikalische und chemische Umwandlungsprozesse erster Ordnung beschrieben werden. Komplexe Geometrien von Hindernissen können berücksichtigt werden. Das Lagrange'sche Partikelmodell kann für Modellierungsgebiete mit einer Ausdehnung von 20 m bis zu mehreren 100 km und für Probenahmen von einer Minute bis zu mehreren Jahren eingesetzt werden, abhängig davon, auf welcher räumlichen und zeitlichen Skala die meteorologischen Eingabefelder bereitgestellt werden.

Als meteorologische Eingangsgrößen werden auf bestimmte Zeitabschnitte bezogene Felder der mittleren Windkomponenten, der Windfluktuationen und der Diffusionskoeffizienten benötigt, die man mit meteorologischen Vorschaltmodellen bestimmen kann. Bei zeitabhängigen Rechnungen müssen diese Größen als zeitliche Folge von Feldern zur Verfügung stehen. Weiterhin werden Emissionsdaten und gegebenenfalls Gelände- und Hindernisdaten benötigt. Im Ergebnis erhält man eine zeitliche Folge der räumlichen Verteilung der Konzentrationen des emittierten Stoffes, seiner Umwandlungsprodukte und der abgelagerten Menge.

Soweit geeignete VDI-Richtlinien zur Verfügung standen, wurden diese in das Gesamtsystem zur Ausbreitungsmodellierung integriert; sie dokumentieren zugleich die wesentlichen fachlichen Grundlagen. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die für den Anhang 2 herangezogenen VDI-Richtlinien.

Name	Titel	Ausgabedatum
VDI 3781 Blatt 4	Umweltmeteorologie – Ableitbedingungen für Abgase – Kleine und mittlere Feuerungsanlagen sowie andere als Feuerungsanlagen	Juli 2017
VDI 3782 Blatt 1	Umweltmeteorologie – Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen	Januar 2016
VDI 3782 Blatt 5	Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Depositionsparameter	April 2006
VDI 3782 Blatt 6	Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Bestimmung der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier	April 2017
VDI 3783 Blatt 7	Umweltmeteorologie – Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle – Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder	Mai 2017
VDI 3783 Blatt 8	Umweltmeteorologie – Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle	April 2017
VDI 3783 Blatt 9	Umweltmeteorologie – Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle – Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung	Mai 2017
VDI 3783 Blatt 16	Umweltmeteorologie – Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle – Verfahren zur Anwendung in Genehmigungsverfahren nach TA Luft	Juni 2015
VDI 3783 Blatt 19	Umweltmeteorologie – Reaktionsmechanismus zur Bestimmung der Stickstoffdioxid-Konzentration	April 2017
VDI 3783 Blatt 20	Umweltmeteorologie – Übertragbarkeitsprüfung meteorologischer Daten zur Anwendung im Rahmen der TA Luft	März 2017
VDI 3783 Blatt 21	Umweltmeteorologie – Qualitätssicherung meteorologischer Daten für die Ausbreitungsrechnung nach TA Luft und GIRL	März 2017
VDI 3945 Blatt 3	Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Partikelmodell	September 2000

Detaillierte Hinweise und Empfehlungen zur Durchführung von Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft gibt die Richtlinie VDI 3783 Blatt 13 (Ausgabe Januar 2010).

II *Leistungsfähigkeit des Ausbreitungsmodells*

Folgende Punkte werden standardmäßig in der Ausbreitungsrechnung nach Anhang 2 berücksichtigt:

- ▶ *Berechnung der Zeitreihen der Konzentration und Deposition, welche eine Mittelung über längere Zeiträume und die Berechnung von Überschreitungshäufigkeiten gestatten.*
- ▶ Berechnung der Überschreitungshäufigkeit einer Geruchsschwelle für Geruchsstoffe, auch für bewertete Geruchsstoffe.
- ▶ Berücksichtigung zeitlich variabler Abgasparameter (z. B. Quellstärke, Volumenstrom, Temperatur).
- ▶ Modellierung der Abgasfahnenüberhöhung unter Berücksichtigung der Vertikalprofile von Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur und Feuchte und unter Berücksichtigung der fahneninduzierten Anfangsturbulenz und des sog. stacktip downwash.
- ▶ Modellierung der trockenen und nassen Deposition am Erdboden und der damit verbundenen Abreicherung aus der Luft.
- ▶ *Berücksichtigung der Sedimentation (gravitatives Absinken) bei grobkörnigem Staub.*
- ▶ *Berücksichtigung von chemischen Umwandlungen erster Ordnung.*
- ▶ *Berücksichtigung einer Windrichtungsänderung mit der Höhe (Ekman-Spirale) in Abhängigkeit von der geographischen Breite.*
- ▶ *Ausbreitung in Schwachwindsituationen.*
- ▶ Berücksichtigung des Einflusses der Mittelungszeit meteorologischer Parameter auf die Fahnenaufweitung.
- ▶ *Berücksichtigung der Oberflächenstruktur des Geländes (Rauigkeitslänge und Verdrängungshöhe).*
- ▶ *Berücksichtigung des Geländeprofiles.*
- ▶ *Berücksichtigung von Gebäudeumströmung.*
- ▶ Parametrisierung der Schichtungsstabilität über die Klug/Manier-Klasse oder die Obukhov-Länge.
- ▶ Einsatz externer Wind- und Turbulenzfelder, die über ein geeignetes diagnostisches oder prognostisches Windfeldmodell erzeugt werden.

Eine programmtechnische Umsetzung des im Anhang 2 beschriebenen Rechenverfahrens wird vom Umweltbundesamt mit der Software AUSTAL im Rahmen der GNU Public Licence kostenfrei zur Verfügung gestellt, einschließlich Quelltexte, Handbuch, Dokumentationen, Verifikationen, Beispielrechnungen und Datenbanken zur Rauigkeitslänge und zum Niederschlag.

Indem weitest gehende Transparenz und Nachvollziehbarkeit durch freie Verfügbarkeit der wesentlichen Informationen sichergestellt wird, soll eine harmonisierende und qualitätssichernde

Wirkung im Zusammenhang mit der Ausbreitungsrechnung entfaltet werden. Im Sinne einer bundeseinheitlichen Praxis wird so eine Referenz zur Verfügung gestellt, an der andere Programme überprüft werden können, die beanspruchen, das Rechenverfahren des Anhangs 2 nachzuvollziehen.

Diese Referenz wurde erstmals unter dem Namen AUSTAL2000 für die TA Luft 2002 im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens 200 43 256, „Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz“, erstellt. Im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens 3714 43 204 0, „Weiterentwicklung ausgewählter methodischer Grundlagen der Schornsteinhöhenbestimmung und Ausbreitungsrechnung nach TA Luft“, und des Projektes 94835 des Umweltbundesamtes, „Weiterentwicklung von AUSTAL2000“, wurde AUSTAL2000 an die Erfordernisse der TA Luft angepasst und unter dem Namen AUSTAL wie zuvor frei zur Verfügung gestellt. Die zugrundeliegenden Konzepte wurden *in enger Zusammenarbeit mit der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), insbesondere dem Fachgespräch „Ausbreitungsrechnung“ des LAI-Ausschusses Luftqualität / Wirkungsfragen / Verkehr (LWV), erarbeitet. Zur Verbreiterung der fachlichen Basis wurden spezielle Aspekte in Workshops unter Beteiligung von Wissenschaft, Industrie, Ingenieurbüros und Behördenvertretern diskutiert.*

B Festlegungen

Die Ausbreitungsrechnung dient der Sicherstellung des Schutzes vor schädlichen Umwelteinwirkungen und soll daher die Umstände des Einzelfalls genau abbilden. Daher wird nun explizit festgelegt, dass die tatsächliche Bauhöhe des Schornsteins zu verwenden ist. Wird allerdings ein neuer Schornstein in einem begründeten Fall höher errichtet, als es der ungestörte Abtransport und die ausreichende Verdünnung der Abgase erfordern, erlauben die Immissionskenngrößen der TA Luft keine direkte Bewertung der damit einhergehenden Änderung in der räumlichen Verteilung der Zusatzbelastung. In diesem Fall soll ergänzend die Gesamtzusatzbelastung berechnet werden, die bei einem fiktiven Schornstein mit der nach Nummer 5.5 erforderlichen Höhe zu erwarten ist.

I Festlegung der Emissionen (Nr. 2)

Die ordnungsgemäße Bestimmung der Emissionen stellt eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Ausbreitungsrechnung dar. Dies gilt insbesondere, wenn von dem in Nr. 5.5 „Ableitung von Abgasen“ beschriebenen Verfahren abgewichen werden muss, wie dies zum Beispiel bei diffusen Quellen der Fall ist. Erkenntnisquellen können auch die VDI-Richtlinien

- ▶ VDI 3790 Blatt 1, Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Grundlagen (Juli 2015),
- ▶ VDI 3790 Blatt 2, Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Deponien (Juni 2017),
- ▶ VDI 3790 Blatt 3, Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern (Januar 2010),
- ▶ VDI 3790 Blatt 4, Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Fahrzeugbewegungen auf gewerblich-industriellem Betriebsgelände (Mai 2017)

sein.

II Stoffeigenschaften (Nr. 3, Nr. 4, Nr. 5)

In TA Luft 2002 Anhang 3 („Ausbreitungsrechnung“) wurde nasse Deposition (Auswaschen durch Regen) nicht berücksichtigt, unter anderem, weil damals keine für die Anwendungspraxis der TA Luft geeigneten Niederschlagsdaten zur Verfügung standen. In der Zwischenzeit wurde in Forschungsprojekten (Haberlandt und Berndt, 2018a, 2018b) eine geeignete Datenbasis geschaffen und nasse Deposition findet nun Berücksichtigung. Die benötigten stoffspezifischen Auswaschraten wurden auf Grundlage der Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (Ausgabe April 2006) festgelegt.

Grundsätzlich ist für alle Stoffe, für die Depositionsparameter (Depositionsgeschwindigkeit oder Auswaschraten) festgelegt sind, die Ausbreitungsrechnung unter Berücksichtigung der Deposition (trockene bzw. nasse Deposition) und der Abreicherung aus der Luft durchzuführen. Für Stoffe wie SO₂, für die nun, im Gegensatz zur TA Luft 2002, Deposition berücksichtigt wird, können sich aufgrund der Abreicherung aus der Luft tendenziell etwas geringere Konzentrationswerte ergeben, insbesondere in größerer Entfernung von der Quelle.

Für Stoffe, für die keine Depositionsparameter festgelegt sind (d. h. weder Depositionsgeschwindigkeit noch Auswaschraten), ist die Ausbreitungsrechnung ohne Berücksichtigung der Deposition durchzuführen.

III Ausbreitungsrechnung für Gase (Nr. 3)

Die Umwandlung von NO nach NO₂ wird durch eine Umwandlung 1. Ordnung beschrieben und folgt den Vorgaben der Richtlinie VDI 3782 Blatt 1 (Ausgabe Januar 2016), in der einfache, empirisch bestimmte Umwandlungszeiten festgelegt sind. Die Richtlinie VDI 3783 Blatt 19 (Ausgabe April 2017) eröffnet im Prinzip die Möglichkeit einer genaueren Behandlung der Umwandlung, hierzu sind jedoch weitergehende Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Einsatz in einem Lagrange'schen Partikelmodell erforderlich. Diese Untersuchungen sind vom Umweltbundesamt geplant, aber noch nicht umgesetzt. Daher wird die Möglichkeit eröffnet, dass von den obersten Landesbehörden angepasste Umwandlungszeiten festgelegt werden können, wenn diese Untersuchungen, aufbauend auf der Richtlinie VDI 3783 Blatt 19 (Ausgabe April 2017), abgeschlossen sind.

IV Ausbreitungsrechnung für Stäube (Nr. 4)

Die Sedimentation (gravitatives Absinken) grober Staubkörner kann großen Einfluss auf die Deposition haben. Für verschiedene Korngrößen wurden Klassen gebildet und ihnen Depositionsgeschwindigkeit und Sedimentationsgeschwindigkeit zugeordnet. Grundlage hierfür war Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (Ausgabe April 2006).

Für die Korngrößenklassen wurden Auswaschraten aus den Standardsetzungen der Richtlinie VDI 4251 Blatt 3 (Ausgabe August 2015) übernommen. In dieser Richtlinie waren die Auswaschraten ebenfalls auf Grundlage von Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 (Ausgabe April 2006) bestimmt worden.

V Ausbreitungsrechnung für Geruchsstoffe (Nr. 5)

In diesem Abschnitt werden Aspekte zur Bestimmung der Geruchsstundenhäufigkeit aufgeführt, die für Gase und Stäube keine Rolle spielen.

Die Beurteilungsschwelle (Wert des Stundenmittels der Geruchsstoff-Konzentration, bei dessen Überschreitung auf das Vorliegen einer Geruchsstunde geschlossen wird) ist explizit mit 0,25 GE_E/m³ festgelegt. Der Wert basiert auf Messungen des Verhältnisses von Mittelwert zu 90-Perzentil der atmosphärischen Spurenstoffkonzentration (Janicke und Janicke, 2007a).

VI *Bodenrauigkeit (Nr. 6)*

Es werden 9 klassierte Werte der Rauigkeitslänge, die ein Parameter für das meteorologische Grenzschichtprofil ist, zur Auswahl gestellt und das Verfahren benannt, wie der Wert aus einem Landnutzungskataster abgeleitet werden kann. Als Konvention wird für das gesamte Rechengebiet ein einheitlicher Wert der Rauigkeitslänge verwendet.

Als Datengrundlage für die Bestimmung der Rauigkeitslänge wird das Landbedeckungsmodell Deutschland (LBM-DE) vorgegeben. Vom Umweltbundesamt wird zusammen mit AUSTAL ein Kataster der daraus bestimmten lokalen Rauigkeitslängen bereitgestellt, aus dem AUSTAL für jeden Ort in Deutschland automatisch die mittlere Rauigkeitslänge gemäß Nr. 6 bestimmen kann.

VII *Abgasfahnenüberhöhung (Nr. 7)*

Die Abgasfahnenüberhöhung ist mit einem dreidimensionalen Überhöhungsmodell zu bestimmen. Die Richtlinie VDI 3782 Blatt 3 (Ausgabe Juni 1985), „Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung“, führt lediglich einen parametrischen Ansatz für die Überhöhung auf. Sie entspricht deshalb nicht dieser Anforderung und wurde zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorliegenden TA Luft überarbeitet. Um ein einheitliches, dem Stand der Technik entsprechendes Vorgehen für die Bestimmung der Überhöhung zu gewährleisten, wird in der Fußnote die Verwendung des dreidimensionalen Überhöhungsmodells PLURIS festgelegt (Janicke, 2017). Dieses Modell ist auch Grundlage für die Überarbeitung der Richtlinie VDI 3782 Blatt 3 (Ausgabe Juni 1985). Bei Vorliegen einer geeigneten VDI-Richtlinie können die obersten Landesbehörden auf diese verweisen.

VIII *Rechengebiet und Aufpunkte (Nr. 8)*

Ein Partikelmodell liefert die berechnete Konzentration als Mittelwert über ein Auszählvolumen, welches in der Regel mit einer Gitterzelle des verwendeten Rechengitters übereinstimmt. Die vertikale Ausdehnung einer Gitterzelle in Bodennähe sollte 3 m sein, damit der Mittelpunkt in der üblichen Aufpunkthöhe 1,5 m liegt. Die horizontale Ausdehnung sollte möglichst groß sein, damit der Stichprobenfehler möglichst gering wird. Andererseits wird dadurch die räumliche Auflösung verringert und es sinken damit die ausgewiesenen Immissionsmaxima von Immissions-Jahres-Gesamtzusatzbelastung und die Höhe der Einzelbeiträge zu Immissions-Tages-Gesamtzusatzbelastung und Immissions-Stunden- Gesamtzusatzbelastung. Bei Gebäudeumströmung muss mitunter mit horizontalen Maschenweiten von wenigen Metern gerechnet werden, siehe auch die Anforderungen der Richtlinie VDI 3783 Blatt 9 (Ausgabe Mai 2017) an prognostische Windfeldmodelle. Andererseits sollte die Fläche, auf der die Konzentration als Mittelwert ausgewiesen wird, nicht zu klein ausfallen, um noch repräsentativ zu sein (siehe auch Nr. 4.6.2.6 Abs. 1). Um ein einfaches Verfahren zur Festlegung der Maschenweite in Abhängigkeit von der Quellhöhe zu finden, das korrekte Einzelbeiträge bei möglichst kleinem Stichprobenfehler liefert, kann von folgender Überlegung ausgegangen werden:

Die Fahne einer Punktquelle besitzt typischerweise eine Aufweitung von mindestens 10° aufgrund der Änderung der Windrichtung innerhalb einer Stunde. Zum anderen ist die in einer Zeitreihe oder einer Statistik angegebene Windrichtung üblicherweise nicht genauer als 10°, so dass selbst eine sehr inhomogene Windrichtungsverteilung keine feineren Strukturen liefert. Da der Sinus von 10° den Wert 0,174 hat, erscheinen Maschen des Rechengitters, die mindestens 6 Maschenweiten von der Quelle entfernt sind, unter einem Winkel von weniger als 10°. Man braucht das Rechengitter also nur so fein zu wählen, dass die interessierenden Orte mindestens 5 bis 6 Maschenweiten von der Quelle entfernt sind. Wählt man die Maschenweite gleich der Quellhöhe, dann liegt der Ort des maximalen Jahresmittelwertes bei einer Quelle ohne Abgasfahnenüberhöhung erfahrungsgemäß

etwa 6 bis 10 Maschen von der Quelle entfernt, die Maxima der Kurzzeitmittelwerte etwa 4 bis 6 Maschen. Das oben aufgeführte Kriterium ist also ungefähr erfüllt. Zur Kontrolle durchgeführte Ausbreitungsrechnungen mit halbierten Maschenweite ließen keine signifikante Erhöhung der Konzentrationswerte erkennen.

IX Meteorologische Daten (Nr. 9)

1. Datengrundlagen

Messungen meteorologischer Eingangsparameter für die Ausbreitungsrechnung müssen den Anforderungen der Richtlinie VDI 3783 Blatt 21 (Ausgabe März 2017) genügen. Oft liegen keine Messungen an dem Ort vor, an dem die Daten in der Ausbreitungsrechnung Anwendung finden sollen (Anemometerposition). Die Übertragbarkeit von Daten, die an einem anderen Messort erhoben wurden, auf diesen Ort ist dann nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 20 (Ausgabe März 2017) zu prüfen.

Die vorliegende TA Luft räumt erstmals die Möglichkeit ein, statt gemessener meteorologischer Eingangsdaten modellierte Daten zu verwenden, zum Beispiel sogenannte synthetische Jahreszeitreihen oder Ausbreitungsklassenstatistiken. In diesem Fall ist sowohl die Eignung und Qualität der zur Erzeugung der Daten eingesetzten Modelle als auch die räumliche und zeitliche Repräsentativität der Daten für den Ort, an dem die Daten in der Ausbreitungsrechnung Anwendung finden, nachzuweisen.

2. Windgeschwindigkeit

Die erforderlichen Stundenmittel von Windgeschwindigkeit und Windrichtung werden häufig aus Werten erzeugt, die auf Mittelungsintervallen kleiner als eine Stunde beruhen. In diesem Fall ist die Windgeschwindigkeit aus dem skalaren Mittel (Mittel über die Beträge des Windvektors) und die Windrichtung aus dem vektoriellen Mittel des Windvektors zu bestimmen. Für die Windrichtung ist die Wahl des Verfahrens offensichtlich. Die Windgeschwindigkeit wird skalar gemittelt, da die vektorielle Mittelung in Fällen stark schwankender Windrichtung auf systematisch zu kleine Werte führen würde; aus der Windgeschwindigkeit wird nämlich auch die Schubspannungsgeschwindigkeit (mechanische Kenngröße für den Turbulenzzustand der Atmosphäre) als Eingangsgröße für das meteorologische Grenzschichtmodell nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) festgelegt.

Das Partikelmodell kann im Prinzip auch die bei Windstille auftretende Akkumulation von Schadstoffen in der Luft in der Nähe der Quelle modellieren. Es erscheint jedoch nicht sinnvoll, die Transportgeschwindigkeit und damit auch die aus ihr abgeleitete Luftturbulenz zu Null zu setzen. Denn auch bei nicht messbarer gerichteter Transportgeschwindigkeit ist meist noch turbulente Diffusion wirksam und die Quelle selbst erzeugt mit den Abgasen ebenfalls ein gewisses Maß an Luftturbulenz. Untersuchungen hierzu haben gezeigt, dass ein Rechnen mit Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s nicht erforderlich ist, um die Abhängigkeit gemessener Konzentrationswerte von der Windgeschwindigkeit wiederzugeben.

Als Vergleich dienen Immissionsmessungen (Jahreszeitreihen von Stundenmittelwerten), die an wind schwachen Standorten durchgeführt worden waren. Während eine Halbierung der minimalen, in der Ausbreitungsrechnung verwendeten Transportgeschwindigkeit (0,5 m/s statt 1 m/s Windgeschwindigkeit) bei einer passiven Quelle (kein Austrittsimpuls und keine thermische Überhöhung) fast zu einer Verdoppelung der Immissionskenngrößen führt, blieben sie bei Berücksichtigung eines Austrittsimpulses und eventuell einer geringen thermischen Überhöhung praktisch unverändert, so wie in den Messungen beobachtet. Die Messergebnisse können also so interpretiert werden, dass in der Praxis beim Auftreten sehr geringer Windgeschwindigkeiten die

eigentlich zu erwartende Zunahme der Konzentrationswerte kompensiert wird durch die Vergrößerung der Abgasfahnenüberhöhung.

3 Obukhov-Länge

Ein wichtiger Parameter, der in die meteorologischen Grenzschichtprofile eingeht, ist die Obukhov-Länge L , die die Stabilität der atmosphärischen Schichtung charakterisiert. Ist lediglich eine Stabilitätsinformation in Form einer Klug/Manier-Klassenangabe vorhanden, muss dieser Klasse ein Wert von L zugeordnet werden.

Bei der Klassierung von L im Rahmen der TA Luft 2002 für das Modell {AUSTAL2000} wurde ein Anschluss an das Modell AUSTAL86 der TA Luft 1983/1986 (Gauß'sches Fahnenmodell) hergestellt. Die empirischen Fahnenparameter von AUSTAL86 für die Quellhöhen 50 m und 100 m waren als Funktion der Klug/Manier-Klasse aus Ausbreitungsexperimenten in einem Gelände mit einer Rauigkeitslänge von 1,5 m gewonnen worden. In diesem Bereich stellt AUSTAL86 also ein durch experimentelle Messungen bestätigtes Modell dar, so dass es sinnvoll erschien, die Zuordnung von L zu den Klug/Manier-Klassen zunächst für diesen Anwendungsbereich vorzunehmen. Für die Zuordnung wurde die quer zur Fahne integrierte Konzentration betrachtet, und es wurde gefordert, dass sie mit AUSTAL2000 ihr halbes Maximum in derselben Entfernung von der Quelle erreicht wie mit AUSTAL86. Es wurde das halbe Maximum gewählt, da sich diese Position in der ansteigenden Flanke zuverlässiger bestimmen lässt als die Position des Maximums. Die Zuordnung wurde für die zwei Quellhöhen 50 m und 100 m vorgenommen, wobei für AUSTAL2000 eine Rauigkeitslänge von 1,5 m angesetzt wurde. Das Endergebnis war der (harmonische) Mittelwert aus diesen zwei Zuordnungen. Er wurde zur Bestimmung von L für die anderen klassierten Rauigkeitslängen benutzt, mit einem Verfahren, das mittlerweile in der Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) beschrieben ist.

Diese Ableitung von Obukhov-Längen für Klug/Manier-Klassen und klassierte Rauigkeitslängen wurde mit den Festlegungen zur Ausbreitungsmodellierung nach der vorliegenden TA Luft (AUSTAL) wiederholt. Im Vergleich zu den Klassenwerten der TA Luft 2002 sind die Obukhov-Längen für sehr stabile Schichtung etwas weiter in Richtung sehr stabiler Schichtung und für labile Schichtungen etwas in Richtung indifferenter Schichtung verschoben.

Die Ableitung für die Klasse III/1 ist mit großen Unsicherheiten verbunden, da hier der Übergang von positiven zu negativen Werten von L auftritt, so dass sich je nach Randbedingungen (Quellhöhe, Grenzschichtprofil) entweder sehr große negative oder sehr große positive Werte ergeben. Daher wurde in der Klassierung der TA Luft 2002 für alle Rauigkeitslängen L auf 99999 m, also praktisch auf unendlich gesetzt. Diese Festlegung wurde in Vorbereitung zur vorliegenden TA Luft genauer betrachtet und überarbeitet, weil die Obukhov-Länge nun über die Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) auch in das Temperaturprofil und damit über den neuen Ansatz zur Abgasfahnenüberhöhung in die effektive Quellhöhe eingeht. Als Ergebnis wurde für die Klasse III/1 und die Rauigkeitslänge 1,5 m der Klassenwert von L auf 4000 m (leicht stabil) gesetzt.

4. Niederschlag

Mit der neu hinzugekommenen Berechnung der nassen Deposition ist eine Vorgabe der Niederschlagsintensität erforderlich. Standardmäßig sind solche Daten nicht an jedem Standort verfügbar. In dem Forschungsvorhaben RESTNI (Haberlandt und Berndt, 2018a) wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem Niederschlagszeitreihen mit Hilfe eines geostatistischen Interpolationsverfahrens konsistent mit den üblichen meteorologischen Variablen auf einen vorgegebenen Standort übertragen werden können. Die Projektergebnisse zeigen, dass eine solche Übertragung in erster Linie für eine meteorologische Zeitreihe praktikabel ist, während

die Erweiterung einer Ausbreitungsklassenstatistik auf den vierten Parameter Niederschlag mit erheblichen Annahmen verbunden ist. In einem Folgeprojekt (Haberlandt und Berndt, 2018b) wurde ein Verfahren entwickelt, über das für einen vorgegebenen Standort und ein vorgegebenes Jahr eine Zeitreihe mit Niederschlagsintensitäten erzeugt werden kann. Das Umweltbundesamt stellt auf Grundlage dieses Verfahrens Niederschlagszeitreihen für Ausbreitungsrechnungen mit AUSTAL bereit.

X Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit (Nr. 10)

Die Freisetzungsrate der Partikel hat unmittelbar Einfluss auf den Stichprobenfehler. Je höher die Zahl der verwendeten Partikel, desto kleiner ist der Stichprobenfehler. Der Stichprobenfehler kann also durch Vergrößerung der Partikelzahl (und damit allerdings Verlängerung der Rechendauer) im Prinzip beliebig verkleinert werden (außer am Rand der Konzentrationsfahne, wo der Stichprobenfehler definitionsgemäß 100 % beträgt, denn am Fahnenrand ist gerade ein oder kein Partikel). Aus praktischen Erwägungen ist das nicht sinnvoll, so dass der Stichprobenfehler und seine Bedeutung für die Interpretation des Ergebnisses betrachtet werden muss.

Der Stichprobenfehler eines Konzentrations- und Depositionswertes wird vom Programm AUSTAL direkt geschätzt und ausgewiesen. Aus Testrechnungen ergab sich:

- ▶ *Wird die Freisetzungsrate um einen Faktor 4 erhöht, verringert sich beim Jahresmittelwert der statistische Fehler erwartungsgemäß auf die Hälfte. Bei den Tagesmittelwerten besteht keine so enge Korrespondenz, da der Ort, an dem der jeweilige Maximalwert auftritt, stärker variiert als beim Jahresmittelwert.*
- ▶ *Eine Erhöhung der Freisetzungsrate führt für die Immissions-Tages-Gesamtzusatzbelastung und die Immissions-Stunden-Gesamtzusatzbelastung zu einer Verringerung der berechneten maximalen Konzentrationswerte.*
- ▶ *Der Stichprobenfehler der Tagesmittelwerte ist etwa 10 Mal so hoch wie der des Jahresmittelwertes.*

Der Stichprobenfehler gibt an, wie unsicher der für einen bestimmten Ort berechnete Konzentrationswert ist, beispielsweise für den Ort, an dem der höchste Tagesmittelwert beobachtet wird. Er bedeutet nicht, wie unsicher die Bestimmung des maximalen Tagesmittelwertes überhaupt ist. Denn wenn in einer Rechnung mit anderen Zufallszahlen der Wert an dem zuvor betrachteten Ort zufällig geringer ausfällt, kann die Rolle des Maximalwertes von einem anderen Ort übernommen werden. Der vom Programm festgestellte Stichprobenfehler stellt eine konservative Abschätzung des Verfahrensfehlers dar. Wenn es nur darum geht, den Maximalwert der Gesamtzusatzbelastung im Beurteilungsgebiet zu bestimmen, sind keine besonderen Anforderungen an den Stichprobenfehler notwendig; ein zu hoher Stichprobenfehler führt dann zu einer Überschätzung des Wertes (eine Ausnahme ist die Bestimmung der Geruchsstundenhäufigkeit). Bei Bedarf kann die Rechnung mit höherer Genauigkeit wiederholt werden. Sind bei sehr inhomogener Vorbelastung die Werte der Gesamtzusatzbelastung an bestimmten Punkten erforderlich, ist der Stichprobenfehler zu berücksichtigen.

Es wird eine Genauigkeit von 3 % für den Jahresmittelwert bzw. 30 % für Kurzzeitwerte gefordert, bezogen auf den jeweiligen Immissionswert.

Bei der Berechnung der Geruchsstundenhäufigkeit kann eine große statistische Unsicherheit zu einer systematischen Unterschätzung führen (Fälle mit einer systematischen Überschätzung

sind ebenfalls möglich, aber weniger kritisch). Es ist daher darauf zu achten, dass bei diesen Rechnungen die statistische Unsicherheit der zugrunde liegenden Stundenmittel hinreichend klein ist. Die Richtlinie VDI 3783 Blatt 13 (Ausgabe Januar 2010) gibt hierzu Hinweise und Empfehlungen. Im Zweifelsfall wird die Rechnung mit einer höheren Partikelzahl (erhöhte Qualitätsstufe in AUSTAL) wiederholt und es wird geprüft, ob sich das Ergebnis wesentlich geändert hat.

XI Berücksichtigung von Bebauung (Nr. 11)

Einflüsse der Bebauung auf die Immission im Rechengebiet sind zu berücksichtigen. Ob und ggf. welche besonderen Maßnahmen dies erfordert, wird anhand des Verhältnisses von Schornsteinbauhöhe zu den maßgeblichen Gebäudehöhen und der Entfernung der Gebäude vom Schornstein entschieden. Maßgeblich für die Beurteilung sind alle Gebäude, deren Entfernung vom Schornstein (Emissionsquelle) geringer ist als das 6-fache der Schornsteinbauhöhe und zugleich kleiner als das 6-fache ihrer Höhe. Während bei einer Schornsteinbauhöhe von mehr als dem 1,7-fachen der Gebäudehöhen eine Berücksichtigung der Bebauung bei der Ausbreitungsrechnung über eine geeignete Rauigkeitslänge und Verdrängungshöhe als ausreichend angesehen wird, wird bei Schornsteinbauhöhen von weniger als dem 1,7-fachen der Gebäudehöhen der Einsatz eines Windfeldmodells empfohlen.

Ein diagnostisches mikroskaliges Windfeldmodell ist relativ einfach handhabbar und eine konkrete Programm-Implementierung wird zusammen mit AUSTAL vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt (TALdia). Andererseits ist dieser Modelltyp nicht in der Lage, die Strömungsverhältnisse in unmittelbarer Gebäudenähe im Detail zu beschreiben. Diese können das Ausbreitungsverhalten von Emissionen aus einer gebäudenahen Quelle und in Folge die Immissionen an Aufpunkten in der unmittelbaren Nachbarschaft wesentlich beeinflussen. Ein prognostisches Modell kann die Strömungsverhältnisse detaillierter beschreiben, es erfordert jedoch größere Sachkenntnis in der Anwendung und es steht kein zu TALdia vergleichbares Referenzmodell zur Verfügung. Daher wird standardmäßig der Einsatz des diagnostischen Modells TALdia und bei gebäudenaher Lage von immissionsseitig relevanten Aufpunkten die Prüfung für den Einsatz eines prognostischen Modells empfohlen.

Die meisten der derzeit für Ausbreitungsmodellierungen verwendeten diagnostischen und prognostischen mikroskaligen Windfeldmodelle bilden Gebäude vereinfacht als Quader mit einem Flachdach in ihrem Rechengitter ab, unabhängig von der Dachform des Originals. Daher stellt sich die Frage nach der bei der Modellierung zu wählenden Höhe der Ersatzquader, damit die Strömungsfelder in der Realität und ihre Umsetzung im Rechenmodell möglichst ähnlich sind. In einem begleitenden Forschungsvorhaben wurde dieser Fragestellung nachgegangen mit der resultierenden Empfehlung, die Ersatzquader firsthoch zu wählen (Theurer und Gauweiler, 2018). Mündungen von Quellen in Dachnähe können bei diesem Vorgehen innerhalb der Ersatzquader zu liegen kommen. In diesen Fällen sind entsprechend angeordnete Ersatzquellen auf der Dachfläche und an der Seitenwand der Ersatzquader anzuordnen (Theurer, 2018).

XII Berücksichtigung von Geländeunebenheiten (Nr. 12)

Für Steigungen kleiner als 1:5 (20 %) und wenn wesentliche Einflüsse von lokalen Windsystemen oder anderen meteorologischen Besonderheiten ausgeschlossen werden können, kann ein diagnostisches mesoskaliges Windfeldmodell verwendet werden, wie es mit AUSTAL vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt wird (TALdia). Im begründeten Einzelfall, z. B. wenn im Rechengebiet nur sehr geringe Flächenanteile eine Steigung größer als 20 % aufweisen und diese zudem außerhalb des unmittelbaren Einflussbereiches der Emissionsquellen liegen, kann das diagnostische mesoskalige Windfeldmodell auch über den in Nr. 12 definierten Anwendungsbereich hinaus angewendet werden, siehe Hinweise in Richtlinie VDI 3783 Blatt 13

(Ausgabe Januar 2010). Diese Richtlinie gibt weitere Hinweise zur Berücksichtigung von Geländeunebenheiten im Rahmen eines Windfeldmodells.

XIII *Verwendung einer Häufigkeitsverteilung der stündlichen Ausbreitungssituationen* **(Nr. 13)**

Die Bestimmung der Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier sowie die Klassierung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung sind in Richtlinie VDI 3782 Blatt 6 (Ausgabe April 2017) festgelegt.

Die Verwendung einer Häufigkeitsverteilung der stündlichen Ausbreitungssituationen ist nicht möglich, wenn in der Ausbreitungsrechnung die nasse Deposition nach Nr. 1, 3 und 4 berechnet und damit eine Zeitreihe der Niederschlagsintensität nach Nr. 9.7 verwendet werden muss.

XIV *Ausbreitungsrechnung zur Bestimmung der Schornsteinhöhe* **(Nr. 14)**

Die Schornsteinhöhenbestimmung in Nr. 5.5.2.2 der TA Luft beruht auf Ausbreitungsrechnungen, die konsistent mit grundlegenden Vorgaben des Anhangs 2 sind (insbesondere verwendetes Ausbreitungsmodell und Grenzschichtmodell). Weitere Festlegungen sind in Nr. 14 aufgeführt.

Nr. 14 Buchst. c definiert 25 meteorologische Einzelsituationen, die sich durch Windgeschwindigkeit und/oder Schichtungsstabilität unterscheiden. Für jede Einzelsituation wird die effektive Quellhöhe bestimmt, mit der der vorgegebene S-Wert gerade eingehalten wird. Für jede Einzelsituation wird danach mit Hilfe des Überhöhungsmodells (siehe Anhang 2 Nr. 7) durch Variation der Bauhöhe diejenige Bauhöhe bestimmt, die in Summe mit der dazugehörigen Endüberhöhung gerade die zuvor bestimmte effektive Quellhöhe ergibt. Die höchste dieser Bauhöhen ist die anzusetzende Schornsteinhöhe.

Die so bestimmte Schornsteinhöhe wurde auf mindestens 6 m festgelegt. Das entspricht der Höhe, ab der für eine Rauigkeitslänge von 0,5 m die Grenzschichtprofile nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 (Ausgabe April 2017) einen bis auf einen Vertikalversatz ungestörten Verlauf aufweisen, die Freisetzung also in einem Bereich erfolgt, der nicht mehr wesentlich durch die Verdrängungsschicht gestört ist.

Vom Umweltbundesamt wird eine Datenbank mit bereits berechneten Einzelfahnen und eine programmtechnische Umsetzung des Schornsteinhöhen-Berechnungsverfahrens bereitgestellt (Programm BESMIN, für technische Details siehe Janicke et al., 2017). Zur Bestimmung der Schornsteinhöhe nach Nr. 5.5.2.2 der TA Luft müssen vom Anwender daher keine Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden.

4 Quellenverzeichnis

Rechtsvorschriften und Technische Regeln

BImSchV-11 (April 2004): *Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen).*

BImSchV-13 (Mai 2013): *Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen).*

BUBE (Mai 2016): BUBE-Online; Betriebliche Umweltdatenberichterstattung; Fachhilfe für Emissionserklärungen (11. BImSchV); Version 2.1 vom 31. Mai 2016.

E-PRTR (Januar 2006): Verordnung (EG) Nr. 166/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Januar 2006.

GIRL (September 2008): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL) in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008. Düsseldorf, Ministerium für Natur und Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, 57 S.

TA Luft (August 1974): *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 28.08.1974.* GMBI. S. 426.

TA Luft (Februar 1986): *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27.02.1986.* GMBI. S. 95.

TA Luft (Juni 2002): *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24.07.2002.* GMBI. S. 511.

TA Luft (Juli 2018): *Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft).* Entwurf Stand 16.07.2018.

VDI 2280 (August 1977): *Auswurfbegrenzung; Organische Verbindungen, insbesondere Lösemittel.* Beuth Verlag, Berlin.

VDI 2280 (August 2005): *Ableitbedingungen für organische Lösemittel.* Beuth Verlag, Berlin.

VDI 2289 Blatt 1 (Juni 1963, zurückgezogen): *Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre – Zusammenhang zwischen Emission und Immission; Schornsteinhöhen in ebenem, unbebautem Gelände.* VDI Verlag, Düsseldorf.

VDI 2289 Blatt 2 (Oktober 1969, zurückgezogen): *Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre – Schornsteinhöhen unter Berücksichtigung der Bebauung und des Bewuchses.* VDI Verlag, Düsseldorf.

VDI 3781 Blatt 2 (August 1981): *Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre – Schornsteinhöhen unter Berücksichtigung unebener Geländeformen.* Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3781 Blatt 4 (Juli 2017): *Umweltmeteorologie – Ableitbedingungen bei Abgasanlagen – Kleine und mittlere Feuerungsanlagen sowie andere als Feuerungsanlagen.* Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3782 Blatt 1 (Januar 2016): *Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Gaußsches Fahrenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen.* Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3782 Blatt 3 (Juni 1985): *Umweltmeteorologie – Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre – Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung.* Beuth Verlag, Berlin. VDI 3782 Blatt 5 (April 2006): *Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Depositionsparameter.* Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3782 Blatt 6 (April 2017): *Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Bestimmung der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier.* Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 7 (Mai 2017): *Umweltmeteorologie – Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle – Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 8 (April 2017): *Umweltmeteorologie – Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 9 (Mai 2017): *Umweltmeteorologie – Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle – Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 13 (Januar 2010): *Umweltmeteorologie – Qualitätssicherung in der Immissionsprognose – Anlagenbezogener Immissionsschutz – Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 16 (Juni 2015): *Umweltmeteorologie – Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle – Verfahren zur Anwendung in Genehmigungsverfahren nach TA Luft*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 18 (April 2017): *Umweltmeteorologie – Fotolysefrequenzen für Berechnungen von Schadstoffkonzentrationen in der Troposphäre*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 19 (April 2017): *Umweltmeteorologie – Reaktionsmechanismus zur Bestimmung der Stickstoffdioxid-Konzentration*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 20 (März 2017): *Umweltmeteorologie – Übertragbarkeitsprüfung meteorologischer Daten zur Anwendung im Rahmen der TA Luft*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3783 Blatt 21 (März 2017): *Umweltmeteorologie – Qualitätssicherung meteorologischer Daten für die Ausbreitungsrechnung nach TA Luft und GIRL*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3784 Blatt 2 (März 1990): *Umweltmeteorologie; Ausbreitungsrechnung bei Ableitung von Rauchgasen über Kühltürme*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3790 Blatt 1 (Juli 2015): *Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Grundlagen*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3790 Blatt 2 (Juni 2017): *Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Deponien*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3790 Blatt 3 (Januar 2010): *Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3790 Blatt 4 (Entwurf, Mai 2017): *Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Fahrzeugbewegungen auf gewerblich-industriellem Betriebsgelände*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 3945 Blatt 3 (September 2000): *Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Partikelmodell*. Beuth Verlag, Berlin.

VDI 4251 Blatt 3 (August 2015): *Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Anlagenbezogene Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen*. Beuth Verlag, Berlin.

Fachartikel

Foken, T. (2006): *50 years of the Monin-Obukhov similarity theory*. Boundary-Layer Meteorology 119, 431-447.

Foken, T. (2012): *Application of footprint models for the fine-tuning of wind power locations on inland areas*. DEWI Magazin 40, 51-54.

Haberlandt, U., Berndt, C. (2018a): *Regionalisierung stündlicher Niederschläge zur Modellierung der nassen Deposition*. Forschungskennzahl 3710 42 218 2, im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Haberlandt, U., Berndt, C. (2018b): *Regionalisierung stündlicher Niederschläge zur Modellierung der nassen Deposition 2*. Forschungskennzahl 3715 53 200 0, im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Hansmann, K. (2004): *TA Luft, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft*. 2. Auflage, Verlag C.H. Beck, München, ISBN 3-406-509223.

Janicke, L., Janicke, U. (2002): Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz. Forschungskennzahl 200 43 256, im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-FB 000384.

Janicke, L., Janicke, U. (2007a): *Die Entwicklung des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000G*. Berichte zur Umweltphysik Nummer 7, Auflage 2, Ingenieurbüro Janicke, ISSN 1439-8222. Deutsche Nationalbibliothek, urn:nbn:de:101:1-201607204988.

Janicke, U. (2017): *Vorschrift zur Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung von Schornsteinen und Kühltürmen*. Berichte zur Umweltphysik Nummer 10, Auflage 1, Ingenieurbüro Janicke, ISSN 1439-8222. Deutsche Nationalbibliothek, urn:nbn:de:101:1-201709132638.

Janicke, U., Janicke, L. (2001): *A three-dimensional plume rise model for dry and wet plumes*. Atmospheric Environment 35, 877-890.

Janicke, U., Janicke, L. (2004): *Weiterentwicklung eines diagnostischen Windfeldmodells für den anlagenbezogenen Immissionsschutz (TA Luft)*. Forschungskennzahl 200 43 256, im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-FB 000842.

Janicke, U., Janicke, L. (2007b): *Lagrangian particle modeling for regulatory purposes; a survey of recent developments in Germany*. Proceedings of the 11th International Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes, Cambridge, England.

Janicke, U., Janicke, L., Bächlin, W., Flassak, T., Theurer, W., Trukenmüller, A. (2017): *Weiterentwicklung ausgewählter methodischer Grundlagen der Schornsteinhöhenbestimmung und der Ausbreitungsrechnung nach TA Luft*. Berichte zur Umweltphysik Nummer 9, Auflage 1, Ingenieurbüro Janicke, ISSN 1439-8222. Deutsche Nationalbibliothek, urn:nbn:de:101:1-201709132627.

Janicke, U. (2014): *AUSTAL2000, Programmbeschreibung zu Version 2.6, Stand 2014-06-26*. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, Ingenieurbüro Janicke, Überlingen.

Stümke, H. (1961): *Zur Berechnung der Aufstiegshöhe von Rauchfahnen*. VDI-Forschungsheft. 483, Ausg. B 27, 38-48.

Theurer, W. (2018): *Behandlung dachnaher Quellen bei der numerischen Modellierung*. Zusatzuntersuchung im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 3714 43 204 0. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Bereitgestellt mit dem Bericht zur Umweltphysik Nummer 9 unter <https://www.janicke.de/de/bzu>.

Theurer, W., Gauweiler, J. (2018): *Bestimmung der äquivalenten Quaderhöhe für die numerische mikroskalige Modellierung durch Untersuchungen im Windkanal*. Gefördert durch: Land Baden-Württemberg, Freistaat Bayern, Land Berlin, Land Hessen, Freistaat Thüringen. Bereitgestellt mit dem Bericht zur Umweltphysik Nummer 9 unter <https://www.janicke.de/de/bzu>.

Travnikov, O., Ilyin, I. (2005): *Regional Model MSCE-HM of Heavy Metal Transboundary Air Pollution in Europe*. EMEP/MSC-E Technical Report 6/2005, Meteorological Synthesizing Centre - East, Moscow, Russia.

Wippermann, F. (1963): *Diagramme zur Beurteilung der Eignung von Schornsteinhöhen für die Luftreinhaltung*. Staub 23, 335-343.

Wippermann, F., Klug, W. (1962): *Ein Verfahren zur Bestimmung von Schornsteinmindesthöhen*. Int. J. Air Water Pollution 6, 27-48.