

# Gerüche in der Umwelt 2017



## VDI-Berichte 2315

# VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH





Kommission Reinhaltung der Luft  
im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

# Gerüche in der Umwelt

Nürnberg, 15. und 16. November 2017



# VDI-Berichte 2315

**Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

(German National Library)

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2017

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck. Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder.

Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092315-4

## Inhalt

		Seite
<i>R. Both</i>	Was kann die GIRL? – Was kann sie nicht? Ein Rückblick mit Ausblick	1

## Aktuelles zur Anwendung der GIRL

<i>U. Strotkötter</i>	Zweifelsfragen zur Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL)	13
<i>G. Winkler</i>	Ableitung von tierartspezifischen Gewichtungsfaktoren für Pferde und Mastbullen – Erstellung von Polaritätenprofilen für das Konzept Gestank und Duft für die Tierarten Mastbullen, Pferde und Milchvieh	23

## Geruchsausbreitungsrechnung

<i>D. Öttl, E. Ferrero</i>	Ein neues Modell zur Berechnung von Geruchsstunden im Rahmen von Genehmigungsverfahren	31
<i>R. Petrich, A. Delan</i>	Sensitivität der Ausbreitungsrechnung für Gerüche bei unterschiedlichen meteorologischen Eingangsdaten im Rahmen der geplanten Anpassung der TA Luft – Eine Analyse der Varianz von Ergebnissen bei Ausbreitungsrechnungen und die Konsequenzen für Genehmigungsverfahren	45
<i>D. Nörenberg, S. Klötzer, T. Schäfer, V. Kummer, S. Krug</i>	Nachweis der Geruchsimmissionen auf Basis umfangreicher Emissionsmessungen, anschließender Ausbreitungsrechnung, Vergleich zur Prognose und Differenzenanalyse an einem Biomassezentrum	59

## Diffuse Emissionen und Geruchsimmissionen

<i>H.-C.Höfl, T. Hanselmann, C.-J. Richter</i>	Ermittlung der diffusen Emissionen bei der Lagerung von geruchsemitierenden Schüttgütern innerhalb von Hallen	71
<i>D. Heidler, K. Braunmiller, B. Zimmermann</i>	Emissions- und Immissionsmessungen von Gerüchen an einer Anlage der Holzwerkstoffindustrie	79
<i>B. Mannebeck, H. Hauschildt, S. Schmid</i>	Vergleich der Ergebnisse von Fahnenbegehungen an der Nachklärung einer Kläranlage mit den Ergebnissen einer Ausbreitungsrechnung	89
<i>N. Kubitschke</i>	Vergleich von Messwerten unterschiedlicher durchlüfteter Hauben für feste (Kompostierung und Altdeponie) und flüssige (Kläranlagen) diffuse Quellen	103

## Aktuelle Entwicklungen bei der Standardisierung

<i>I. Franzen-Reuter, S. Köhn, R.Both</i>	Bearbeitung von Nachbarschaftsbeschwerden über Geruchsbelästigungen aus Kleinf Feuerungsanlagen	115
<i>F. Müller</i>	Erste Erfahrungen mit der Europäischen Norm DIN EN 16841-Blatt 1	127

## Technische Messung von Geruchsstoffen

<i>A. Mannewitz, M. Straková</i>	EU-Projekt OdCom – dem Geruch auf der Spur: ein Zwischenbericht	139
<i>W. Reimringer, T. Conrad, A. Schütze</i>	Erprobung technischer Ansätze zum kontinuierlichen Geruchsmonitoring im Feldtest	147

<i>M. Strangl,</i> <i>A. Mäurer,</i> <i>J. Beauchamp,</i> <i>E. Ortner,</i> <i>A. Büttner</i>	Aufklärung geruchspotenter Stoffe und Monitoring von Geruchsbelastung mit Methoden der Analytischen Sensorik	161
---	--	-----

## Geruchsbeurteilung in der Praxis

<i>M. Ohlms</i>	Probleme in der Genehmigungspraxis – Fachrechtliche Unsicherheiten bei der Zulassung von Vorhaben	167
<i>S. Nehr</i>	Probleme in der Praxis der Geruchsbeurteilung – Handlungsfelder für die technische Regelung	171

## Posterausstellung

<i>H. Merbitz,</i> <i>K. Born,</i> <i>T. Schäfer</i>	Ein Vorschlag zur kombinierten Verwendung von Rasterbegehungen und Prognosen für Geruchsimmissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren	181
<i>R. Petrich,</i> <i>M. Höhnisch,</i> <i>P. Fleischer</i>	Neuartige Lagrange-Rückrechnung für das Smellmaster-Geruchsradar – Ionenmobilitätsspektrometer gekoppelt mit LASAT und leistungsstarker Rechentechnik in Anwendung auf Gerüche in der Umwelt	185
<i>A. Toussaint</i>	Fotolyseoxidation oder UV-/Ozonung zur Reduzierung von Gerüchen bestehend aus Aromaten und Ketonen der Lebensmittel- und Textilindustrie anhand von Betriebsergebnissen	195
<i>F. Seitz</i>	Die Neue Fotooxidation in der Abluft – Wirtschaftliche Elimination von Gerüchen	201





# Was kann die GIRL? – Was kann sie nicht?

## Ein Rückblick mit Ausblick

Dr. **Ralf Both**, Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Essen

### Kurzfassung

Die GIRL (Geruchsimmissions-Richtlinie) ist in Deutschland das Beurteilungsverfahren für Geruchsimmissionen in Genehmigungs-, Überwachungs- und Bauleitplanverfahren. Sie wird in der Rechtsprechung als Entscheidungsgrundlage herangezogen und sorgt so für Rechtssicherheit. Mit der Erarbeitung der GIRL wurde Ende der 80-iger Jahre begonnen. Es hat mehrere Jahre gedauert, bis die GIRL in ihrer ersten Fassung fertiggestellt war. Es wurden zum Teil für die damalige Verhältnisse neue Wege beschritten und es gab viele fachliche Diskussionen, die vor dem seinerzeitigen fachlichen Hintergrund entschieden werden mussten. Mittlerweile hat sich die Methodik sowohl der Geruchsmessung und der Ausbreitungsrechnung weiterentwickelt. Auch neue Erkenntnisse in Bezug auf das Belästigungspotential von Geruchsimmissionen kamen hinzu. Auf die damaligen Hintergründe, mittlerweile realisierte Modifikationen, auf mögliche zukünftige Entwicklungen und auf die mit diesen Aspekten verbundenen Diskussionen wird im Folgenden eingegangen. Dabei werden die Unterscheidung zwischen Belastung und Belästigung, die Unterscheidung zwischen Geruchsstunden und Echtzeiten, der Stellenwert von Abstandsregelungen, die Quantifizierung der Wirkung von Abluftreinigungsanlagen, das Irrelevanzkriterium, Bagatellmassenströme und ausgewählte methodische Fragestellungen behandelt.

### 1. Einleitung

Die GIRL (Geruchsimmissions-Richtlinie) ist in Deutschland das Beurteilungsverfahren für Geruchsimmissionen in Genehmigungs-, Überwachungs- und Bauleitplanverfahren. Sie wird in der Rechtsprechung als Entscheidungsgrundlage herangezogen und sorgt so für Rechtssicherheit. Mit der Erarbeitung der GIRL wurde Ende der 80-iger Jahre begonnen. Es hat mehrere Jahre gedauert, bis die GIRL in ihrer ersten Fassung fertiggestellt war. Es wurden zum Teil für die damalige Verhältnisse neue Wege beschritten und es gab viele fachliche Diskussionen, die vor dem seinerzeitigen fachlichen Hintergrund entschieden werden mussten. Mittlerweile hat sich die Methodik sowohl der Geruchsmessung und der Ausbreitungs-

rechnung weiterentwickelt. Auch neue Erkenntnisse in Bezug auf das Belästigungspotential von Geruchsimmissionen kamen hinzu. Auf die damaligen Hintergründe, mittlerweile realisierte Modifikationen, auf mögliche zukünftige Entwicklungen und auf die mit diesen Aspekten verbundenen Diskussionen wird im Folgenden eingegangen.

## **2. Bewertungsfragen**

### **2.1. Die Unterscheidung Belastung – Belästigung**

Die große Herausforderung der Geruchsbeurteilung bis heute ist, dass eine Aussage über den Belästigungsgrad der Anwohner erforderlich ist. Man wollte sich bei der Erstellung der GIRL nicht einfach auf Expertenmeinungen verlassen. Es sollte versucht werden, eine Verbindung zwischen Geruchsbelastung und –belästigung herzustellen. Aber die Belästigung ist keine feststehende Größe, sondern sie wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst und kann sich zudem auch mit der Zeit verändern. Den Belästigungsgrad als ständiges Beurteilungskriterium z. B. in Genehmigungsverfahren heranzuziehen, hätte u. U. zur Folge gehabt, dass an einem Standort auch die Anforderungen an Anlagen ständigen Veränderungen unterworfen sein können. Fluktuationen in der Anwohnerschaft hätten sich unmittelbar auf die Beurteilung der Geruchsimmissionssituation auswirken können, ohne dass sich an der Anlage etwas geändert hätte. Daher sollte ein Belastungsmaß gefunden werden, dass direkten Messungen zugänglich ist und dass die Geruchsbelästigung hinreichend genau beschreibt.

Als objektive oder objektivierbare Belastungsmaße kamen in Betracht:

- die Geruchsstoffkonzentration,
- die Geruchshäufigkeit,
- die Geruchsintensität und / oder
- die Hedonik der Gerüche.

Im Laufe der Zeit wurden eine Vielzahl von Wirkungsuntersuchungen durchgeführt [1 bis 3]. Die Geruchsstoffkonzentration wurde u. a. verworfen, weil Sie immissionsseitig einer Messung nicht zugänglich ist. Chemisch-analytische Messungen kamen ebenfalls nicht in Betracht, weil es mit diesen Analyseverfahren nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist Gerüche oder deren Geruchskomponenten zu bestimmen. Gleichwohl ist die Geruchsstoffkonzentration zur Beschreibung der Emission unabdingbar.

Die Geruchsintensität hat den Nachteil, dass sie nur wenig differenziert (5 Stufen) und deutlich aufwändiger (mehr Prüfer; [4]) in der Erfassung ist als die Ermittlung von Geruchshäufig-

keiten. Gleiches wie für die Geruchsintensität gilt auch für die Hedonik [5]. Demgegenüber sind Geruchshäufigkeiten relativ einfach zu ermitteln, da deren Ermittlung auf einer reinen Ja-Nein-Aussage basiert und keine Skala erforderlich ist. Zudem korreliert die Geruchshäufigkeit weitgehend mit der Geruchsintensität, stellt aber den Gradienten der Geruchsbelastung differenzierter dar.

Es sei darauf hingewiesen, dass es die Richtlinien VDI 3940 Blatt 3 [6] und 4 [7] zum Zeitpunkt der Erstellung der GIRL noch nicht gab. Diese Ermittlungsmethoden wurden erst im Rahmen der in [2] und [3] beschriebenen Projekte entwickelt und standardisiert. Es ist denkbar, dass durch die Anwendung dieser Methoden ein Erkenntnisgewinn entsteht, der es ermöglicht, im Rahmen der Nr. 5 GIRL auch an spezielle Einzelfälle angepasste Beurteilungen vorzunehmen.

Letztendlich wurde als Belastungsmaß, das den Belastungsgrad der Anwohner hinreichend genau beschreibt, die Geruchshäufigkeit gewählt. Sie kann immissionsseitig über Rastermessungen (Rasterbegehungen) ermittelt werden und die Ergebnisse der Rastermessungen sind auch mit Hilfe von Ausbreitungsrechnungen darstellbar. Dies ermöglicht einen Abgleich von Begehungs- und Prognoseergebnissen, der z. B. bei 98-Perzentilen der Geruchsstoffkonzentration, wie sie in den Niederlanden verwendet werden, nicht möglich ist.

Ein Problem für die Ausbreitungsrechnung ist allerdings die Berücksichtigung der Erkennbarkeit von Geruchsimmissionen. Hier wurde viel diskutiert und es gab anfangs auch eine Vielzahl von sogenannten Zählschwellen. Sie gingen im Einzelfall von 1 GE/m<sup>3</sup> bis in einem Extremfall bis 25 GE/m<sup>3</sup>. Dies wurde jedoch bald auf 1 bis 3 GE/m<sup>3</sup> begrenzt und mit der immer größer werdenden Akzeptanz der GIRL setzte sich 1 GE/m<sup>3</sup> als Zählschwelle beim Faktor 10-Gaußmodell durch.

Mit AUSTAL2000G und den umfangreichen diesem Modell zugrundeliegenden Untersuchungen und Berechnungen [8] sollte die Diskussion um Beurteilungsschwellen eigentlich überstanden sein. Aber wie man auf der letzten VDI-Tagung 2015 hören konnte und auch in dem einen oder anderen Gutachten feststellen kann, setzt sie sich heute immer noch fort, obwohl für unterschiedliche Zähl- oder Beurteilungsschwellen wissenschaftliche Grundlagen, Belege oder Untersuchungen fehlen.

Ebenfalls viele Diskussionen gab es in den Anfangszeiten der GIRL um das Erfordernis der Berücksichtigung der Hedonik. Es wurde behauptet und in theoretischen Modellen dargestellt, dass die Hedonik, insbesondere bei unangenehmen Gerüchen, zur Beschreibung der Belästigungsreaktion der Anwohner erforderlich sei. Erst mit Durchführung eines umfangreichen Projektes [2] konnte belegt werden, dass die Wirkung unangenehmer und neutraler Gerüche in der GIRL hinreichend berücksichtigt wird. Allerdings stellte sich heraus, dass für eindeutig angenehme Gerüche eine spezielle Regelung erforderlich ist, die deren geringeres Belästigungspotential berücksichtigt. So kam es zu dem Gewichtungsfaktor 0,5 für eindeutig angenehme Gerüche in Nr. 5 GIRL.

In weiteren Untersuchungen [3] wurde das Belästigungspotential von Tierhaltungsanlagen untersucht und es kamen in deren Folge die Gewichtungsfaktoren für Tierhaltungen hinzu. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei nicht um „Hedonik-Faktoren“ handelt. Worin die Ursache für die unterschiedliche Belästigungsreaktion der Anwohner auf Tierhaltungsgerüche liegt, konnte nicht abschließend geklärt werden. Ganz aktuell sind die Untersuchungen, die im Auftrag von Baden-Württemberg und Bayern [9] stattfanden und in denen mit Hilfe der Methode der Polaritätenprofile [7] Gewichtungsfaktoren für Pferde (0,5) und Mastbullen (0,5) abgeleitet wurden.

Es ist offensichtlich, dass die Vielzahl möglicher Faktoren, die einen Einfluss auf die Belästigung haben, in der GIRL nicht umfassend berücksichtigt werden konnten. Es mag Fälle geben, bei denen z. B. die Geruchsintensität in Form von sehr schwachen oder sehr starken Gerüchen einer besonderen Beurteilung bedarf. Um mögliche weitere Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die das Belästigungspotential unterschiedlicher Geruchsimmissionen beeinflussen, wurde die Nr. 5 der GIRL entworfen, die anfangs noch Sonderfallprüfung hieß. Die Bezeichnung der Nr. 5 änderte sich 1997/1998 von der Sonderfallprüfung zu Einzelfallprüfung. Hierdurch sollte zum Ausdruck gebracht werden, dass zu jedem Einzelfall auch der Blick in die Nr. 5 GIRL und auf die dort genannten Kriterien und Fallunterscheidungen gehört.

Mittlerweile wurden die Methoden verfeinert und neue entwickelt, sodass es heutzutage möglich ist, zu einzelnen Punkten der Nr. 5 GIRL Informationen zu gewinnen und diese auch zu berücksichtigen. Besonders hinzuweisen ist hier auf die Richtlinien VDI 3940 Blatt 3 [6], Blatt 4 [7] und Blatt 5 [10].

## 2.2. Geruchsstunden versus Echtzeiten

Eine Besonderheit in der GIRL stellt das Geruchsstundenkriterium als zusätzliches Wirkungskriterium dar. Eine Stunde zählt dann als Geruchsstunde, wenn in 10 % und mehr der Zeit eines Messzeitintervalls Geruch ermittelt wird. In den Auslegungshinweisen zur GIRL heißt es dazu: „Diese Definition ist aus den allgemeinen Eigenschaften des Geruchssinnes, insbesondere seinem ausgeprägten Adaptationsverhalten, abgeleitet. Demnach wären bei gleicher absoluter Gesamtdauer viele kurz dauernde Geruchsschwellenüberschreitungen innerhalb eines Beobachtungszeitraumes belastigungsrelevanter als wenige länger anhaltende, da letztere durch Adaptation wirkungsseitig verkürzt werden.“

Diese Definition führt dazu, dass nicht alle Geruchseignisse als Geruchsstunde gezählt werden, sondern nur die ab einem gewissen Geruchszeitanteil je Messzeitintervall, dem sogenannten Geruchsstundenkriterium. Demgegenüber werden bei der Echtzeitbetrachtung nur die tatsächlichen Zeiten mit Geruch gezählt. Die Belastigungsrelevanz wird nicht weiter berücksichtigt.

In der „MIU-Studie“ aus dem Jahre 1992 [1] waren sowohl Auswertungen auf Geruchsstundenbasis als auch Echtzeitbetrachtungen angestellt worden. Die Verwendung von Echtzeiten führt zu deutlich geringeren Geruchshäufigkeiten und demzufolge hätten auch andere, deutlich geringere, Immissionswerte festgelegt werden müssen. Die in den damaligen Diskussionen immer wieder geforderte Kombination aus Echtzeiten und den heute noch gültigen Immissionswerten der GIRL hätte zu einer dramatischen Unterschätzung des Belastigungspotentials geführt. Letztendlich wurde aus Wirkungsgesichtspunkten der Geruchsstunde Vorrang eingeräumt worden.

## 2.3. GIRL und Abstandsregelungen

In der Vergangenheit gab es eine Vielzahl von Abstandsregelungen, die in erster Linie dafür gemacht waren, die Auswirkungen von Geruchsimmissionen auf die Wohnbebauung zu begrenzen. Ein sehr differenziertes Beispiel ist der Abstandserlass NRW [11] oder auch die Nr. 5.4.7.1 (Anlagen zum Halten oder zur Aufzucht von Nutztieren) der TA Luft.

Mit der GIRL als Beurteilungsgrundlage und der damit festgelegten Geruchsimmissionshäufigkeit als Kenngröße und den Methoden der Rasterbegehung und der Immissionsprognose zur Ermittlung dieser Kenngröße stellten sich u. a. folgende Fragen beim Umgang mit Abständen:

- Wann kann ein Abstandskreis noch verwendet werden?
- Ab welcher Entfernung ist der Schutz der Bevölkerung vor erheblichen Belästigungen noch bzw. nicht mehr sichergestellt?

Hier hat im Laufe der Zeit ein Umdenken stattgefunden. Die entsprechenden VDI-Richtlinien [12], [13] sind nach mehreren Anläufen mittlerweile überarbeitet worden [14], [15]. Die neuen Abstände basieren auf Ausbreitungsrechnungen und wenden auch die Beurteilungskriterien der GIRL an. Auch im Entwurf der neuen TA Luft sind die klassischen Abstandsangaben verschwunden. Alle Abstände sind über Ausbreitungsrechnungen unter Zugrundelegung der Immissionswerte des Anhanges 7 (GIRL) zu berechnen.

Auch in der Rechtsprechung spiegelt sich dieses Umdenken wieder. Während es in der Vergangenheit ein Formfehler war, nicht in einem ersten Schritt die Abstände der Richtlinien VDI 3471 (Schweine) [12] und VDI 3472 (Hühner) [13] angewendet zu haben, sind heute keine Abstandsbetrachtungen mehr erforderlich. Vor Gericht wird direkt die Vorlage einer Immissionsprognose erwartet.

## **2.4. Quantifizierung der Wirkung von Abgasreinigungsanlagen**

Die Quantifizierung der Wirkung von Abgasreinigungsanlagen sorgt im Falle von Geruchsimmissionen immer wieder für Schwierigkeiten. Die Reduzierung der Geruchsstoffkonzentration oder auch die Erhöhung eines Schornsteins führt nicht zwangsläufig auch zu einer Reduzierung der Geruchsimmissionshäufigkeiten. Bedingt durch das Erfordernis, bei der Ausbreitungsrechnung mit einer Beurteilungsschwelle ( $c_{BS} = 0,25 \text{ GE}_E/\text{m}^3$ ) zu arbeiten, wirken sich Emissionsminderungen nicht linear auf die Geruchshäufigkeiten aus. Erst wenn die Minderung zu einem Unterschreiten der Beurteilungsschwelle führt, reduzieren sich auch die Geruchshäufigkeiten.

Diesem Sachverhalt ist z. B. auch die Abstandsregelung für Biofilter aus dem Jahre 1997 [16] geschuldet. Die damaligen Modelle waren nicht in der Lage, die immissionsseitig ermittelten Geruchshäufigkeiten zu reproduzieren. Die Folge waren dramatische Überschätzungen der Geruchsbelastung, die den Biofilter als geeignetes Verfahren zur Geruchsminderung disqualifiziert hätten.

Hier kann das Instrumentarium der GIRL nicht in seiner klassischen Form angewendet werden. Es sind kreative und nachvollziehbare Lösungen oder Anpassungen erforderlich, wie sie z. B. in der Richtlinie VDI 3940 Blatt 5 [10] genannt werden.

## **2.5. Irrelevanzkriterium und Bagatellmassenströme**

Beim Erstellen der GIRL war es der ausdrückliche Wunsch, wie für andere Luftschadstoffe auch, ein sogenanntes Irrelevanzkriterium für Geruchsimmissionen zu definieren. Die Regelung der damaligen TA Luft sah 1 % des Immissionswertes als Irrelevanzkriterium vor. Wäre diese Regelung in die GIRL übernommen worden, hätte das Irrelevanzkriterium 0,001 als relative Häufigkeit gelaute. Es war offensichtlich, dass eine solche Regelung für die Praxis nicht brauchbar gewesen wäre. Daher wurde als Grundlage zur Ableitung des Irrelevanzkriteriums der GIRL 20 % des Immissionswertes gewählt, woraus ein Wert von 0,02 als relative Häufigkeit resultiert.

Die Erfahrung zeigt, dass dieses Kriterium für Industrieanlagen, die sich in Gewerbe- und Industriegebieten befinden, hilfreich ist und in der Praxis immer wieder Anwendung findet. Allerdings zeigte sich auch, dass es in unbeplanten Bereichen, wie z. B. dem Außenbereich, es zu Problemen mit Tierhaltungsanlagen kommen kann, da solche Anlagen sich dort in 360° um einen Immissionsort ansiedeln können. Die Folge war und ist, dass die Irrelevanzregel der GIRL im Außenbereich nicht oder zumindest nicht ohne weiteres angewendet wird.

An dieser Stelle sei besonders darauf hingewiesen, dass sich die Kumulation, wie sie derzeit in der GIRL genannt wird, nicht nur auf Anlagen bezieht, deren Beitrag irrelevant ist. Bei der Betrachtung möglicher Kumulationen sind alle Anlagen einzubeziehen, die zur Gesamtbelastung beitragen. Anschließend hat die Behörde zu entscheiden, ob ggf. eine Anlage, die einen nach Nr. 3.3 GIRL irrelevanten Beitrag leistet, d. h. die auf allen Beurteilungsflächen irrelevant ist, noch genehmigt werden kann oder nicht.

Neben der Irrelevanzregel finden sich im Entwurf der neuen TA Luft erstmals auch Bagatellmassenströme. Diese Bagatellmassenströme wurden unter Zugrundelegung des Irrelevanzkriteriums der GIRL berechnet. Wird der Bagatellmassenstrom eingehalten, sind auf der Fläche maximaler Beaufschlagung die ermittelten relativen Häufigkeiten  $\leq 0,02$ . Diese Berechnungen erfolgten zwangsläufig ohne Berücksichtigung der Lage der Beurteilungsflächen, da diese vom Einzelfall abhängt.



### 3. Methodische Fragen

#### 3.1. Die Unsicherheiten der Methoden

Einen breiten Raum nahmen bei der Erstellung der GIRL die Diskussionen um die Unsicherheiten der Methoden ein. Mit Hilfe einer Prüfformel für die Einhaltung von Immissionswerten unter Anwendung der Binomialverteilung und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 20 % wurde der in Tabelle 3 der GIRL aufgeführte Faktor  $k$  abgeleitet [17]. Der Faktor  $k$  soll die Unsicherheit des Stichprobenfehlers bei Rasterbegehungen berücksichtigen.

Demgegenüber kennt die Ausbreitungsrechnung einen solchen Stichprobenfehler nicht, da sie die Grundgesamtheit von 8760 Jahresstunden zugrunde legt. Es wurde immer wieder diskutiert, auch die Unsicherheiten der Ausbreitungsrechnung in irgendeiner Form zu berücksichtigen. Aufgrund der Vielzahl der Eingabeparameter und Einflussfaktoren sind die Unsicherheiten allerdings nicht oder nur schwer zu quantifizieren. Dies ist aber letztendlich auch nicht erforderlich. Die Anforderung an das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung im Immissionsschutz ist, dass es auf der sicheren Seite liegen muss. Mögliche Unsicherheiten müssen durch Sicherheitszuschläge kompensiert werden. Die Aufgabe der Ausbreitungsrechnung ist es nicht, die Realität möglichst genau abzubilden, sondern ein auf der sicheren Seite liegendes Szenario zu berechnen. Das macht es schwierig zu entscheiden, welches Ergebnis das richtige ist – das höhere oder das niedrigere?

Zudem sind die Möglichkeiten der Ausbreitungsrechnungen mittlerweile sehr differenziert. Es gibt viele Ausprägungen - von einfachen, eher pauschalen Ansätzen, bis zu komplexen Anwendungen. Mit steigendem Differenzierungsgrad reduzieren sich die prognostizierten Geruchshäufigkeiten immer weiter, müssen aber schlussendlich immer noch auf der sicheren Seite liegen.

Gerade bei der Prognose von Geruchshäufigkeiten liegen die Unsicherheiten aber häufig gar nicht bei der Ausbreitungsrechnung selbst, sondern bei den Emissionsdaten. Sind alle Quellen erfasst, auch die diffusen? Wie wurden die Geruchsstoffkonzentrationen ermittelt? Welche Volumenströme werden angesetzt? Wo befinden sich die Quellen? Wie sind die Ableitbedingungen? Dies sind nur einige Fragen, die sich im Zusammenhang mit dem Ansatz von Emissionsdaten stellen.

Geht man davon aus, dass die Geruchsstoffemissionen einer Anlage, die Standortmeteorologie und die sonstigen Eingabeparameter für die Ausbreitungsrechnung mit hinreichender

Genauigkeit bekannt sind, so werden in der Regel die Ergebnisse der Rastermessung und die der Ausbreitungsrechnung relativ gut übereinstimmen. Dies führt in der Praxis dazu, dass es allein durch die Anwendung des Faktors  $k$  zur Ausweisung von höheren Geruchshäufigkeiten als prognostiziert kommen kann. Würde nun, wie in der GIRL vorgesehen, die Zusatzbelastung und die Vorbelastung additiv zur Gesamtbelastung verrechnet, wären deutliche Überschätzungen die Folge.

Hier hilft man sich in der Praxis dadurch, dass die Ergebnisse der Rastermessung durch eine Ausbreitungsrechnung für die Vorbelastung nachvollzogen werden, ohne den Faktor  $k$  anzuwenden. Anschließend wird eine weitere Rechnung für die Gesamtbelastung gemacht und dieses Ergebnis wird als Beurteilungsgrundlage herangezogen. Vor diesem Hintergrund kommt der Faktor  $k$ , wenn überhaupt, nur selten zum Einsatz.

Was aber fehlte, ist eine Betrachtung der Messunsicherheit von Rastermessungen. In der neuen DIN EN 16841 Teil 1:2017 [18] ist eine Betrachtung der Messunsicherheit realisiert, die es ermöglicht, auf der Basis unterschiedlicher Geruchsstundenkriterien eine untere und eine obere Grenze der Geruchshäufigkeit auf der Grundlage der aktuellen Messergebnisse auszuweisen. Diese neue Entwicklung hat dazu geführt, dass bei der Überführung der GIRL in den Anhang 7 der neuen TA Luft der Faktor  $k$  gestrichen wurde.

### 3.2. Alternative (nasenlose) Messverfahren

Von Anfang an wurde diskutiert, inwieweit es möglich ist, Geruchsmessungen auch ohne „Riechen“, d. h. ohne Prüfer und deren Nasen vorzunehmen. In den 90-iger Jahren wurden immer wieder auch chemisch-analytische Messungen herangezogen. In den ersten Versionen der GIRL gab es noch eine Liste mit Geruchsschwellen einzelner Stoffe. Aber spätestens wenn eine Angabe in  $\text{GE}/\text{m}^3$  erforderlich ist, musste das olfaktometrische Messverfahren [19 bis 21] bemüht werden.

Es wurde versucht, Korrelationen zwischen Massenkonzentrationen und Geruchsstoffkonzentrationen von Einzelkomponenten aufzustellen. Untersucht man einen definierten Betriebszustand kann es durchaus gelingen, eine solche Korrelation ausgedrückt z. B. als  $X$   $\text{GE}/\text{m}^3$  pro mg eingesetztes Lösemittel zu bestimmen. Aber spätestens wenn sich die Zusammensetzung des Lösemittels oder der Betriebszustand ändert, gilt diese Korrelation streng genommen nicht mehr. Diese Untersuchungen immer wieder neu durchzuführen, ist

auf Dauer aber zu aufwendig und so setze sich die direkte Messung der Geruchsemission immer weiter durch.

Mittlerweile gibt es neue Diskussionen um den Einsatz von Sensortechnik für Geruchsmessungen. Aber was diese Sensoren in keinem Fall können, ist Riechen. Was sie können ist Muster zu erkennen. Das mag im Einzelfall helfen z. B. Verursacher zu ermitteln oder bestimmte Abluftströme zu überwachen und Veränderungen zu melden. Aber was diese Signale mit dem Geruchsempfinden von Anwohnern und deren Belästigungsempfinden zu tun haben, ist offen. Zumindest bei der Anwendung der GIRL im Immissionschutz und der Klärung der Frage, ob eine erhebliche Belästigung gegeben ist, ist zum heutigen Zeitpunkt der Einsatz von Prüfern und echten Nasen unabdingbar.

#### 4. Literatur

- [1] MIU Studie: Materialienband zur Geruchsimmissions-Richtlinie in NRW – psychophysiologische und epidemiologische Grundlagen der Wahrnehmung und Bewertung von Geruchsimmissionen. Bericht des Medizinischen Instituts für Umwelthygiene an der Universität Düsseldorf (B. Steinheider, G. Winneke) im Auftrage des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, 1992
- [2] Sucker, K., Bischoff, M., Krämer, U., Kühner, D., Winneke, G.: Untersuchungen zur Auswirkung von Intensität und hedonischer Geruchsqualität auf die Ausprägung der Geruchsbelästigung. Forschungsbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg und des Verbandes der Chemischen Industrie. Düsseldorf 2003
- [3] Sucker, K. Müller, F., Both, R.: Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft, Bericht zu Expositions-Wirkungsbeziehungen, Geruchshäufigkeiten, Intensität, Hedonik und Polaritätenprofilen. Essen: Landesumweltamt LUA, 120 S. Band 73, 2006
- [4] VDI 3882 Blatt 1:1992-10 Olfaktometrie; Bestimmung der Geruchsintensität (Olfactometry; Determination of odour intensity). Berlin: Beuth Verlag
- [5] VDI 3882 Blatt 2:1994-09 Olfaktometrie; Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung (Olfactometry; Determination of hedonic odour tone). Berlin: Beuth Verlag
- [6] VDI 3940 Blatt 3:2010-01 Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen; Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld (Measurement of odour impact by field inspection; Determination of odour intensity and hedonic odour tone). Berlin: Beuth Verlag

- [7] VDI 3940 Blatt 4:2010-06 Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung; Polaritätenprofile (Determination of the hedonic odour tone; Polarity profiles). Berlin: Beuth Verlag
- [8] Janicke, L., Janicke, U.: Die Entwicklung des Ausbreitungsmodells AUSTAL200G. Berichte zur Umweltphysik, Nummer 5, Edition 2, ISSN 1439–8222, 2007 (verfügbar über [www.janicke.de](http://www.janicke.de))
- [9] Erstellung von Polaritätenprofilen für das Konzept Gestank und Geruch für die Tierarten Mastbullen, Pferde und Milchvieh. Untersuchungen im Auftrag der Bundesländer BW und Bayern. Veröffentlichung in 2017 auf den Internetseiten der LUBW (s. a. Vortrag von Winkler, Gisela: „Ableitung von tierartspezifischen Gewichtungsfaktoren für Pferde und Mastbullen“ in diesem Tagungsband)
- [10] VDI 3940 Blatt 5:2013-11 Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld Hinweise und Anwendungsbeispiele (Measurement of odour impact by field inspection Determination of odour intensity and hedonic odour tone Instructions and examples of use)
- [11] Immissionsschutz in der Bauleitplanung - Abstände zwischen Industrie- bzw. Gewerbegebieten und Wohngebieten im Rahmen der Bauleitplanung und sonstige für den Immissionsschutz bedeutsame Abstände (**Abstandserlass**). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, 40190 Düsseldorf. Oktober 2007
- [12] VDI 3471:1986-06 Emissionsminderung; Tierhaltung; Schweine (Emission control; Livestock management; Pigs). Zurückgezogen / Withdrawn 2012-11. Nachfolgedokument / Following documents VDI 3894 Blatt 1, VDI 3894 Blatt 2
- [13] VDI 3472:1986-06 Emissionsminderung; Tierhaltung; Hühner (Emission control; Livestock management; Hens). Zurückgezogen / Withdrawn 2012-11. Nachfolgedokument / Following documents VDI 3894 Blatt 1, VDI 3894 Blatt 2.
- [14] VDI 3894 Blatt 1:2011-09 Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen; Halungsverfahren und Emissionen; Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde (Emissions and immissions from animal husbandry; Housing systems and emissions; Pigs, cattle, poultry, horses). Berlin: Beuth Verlag
- [15] VDI 3894 Blatt 2:012-11 Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen Methode zur Abstandsbestimmung Geruch (Emissions from and impacts of livestock operations Method to determine separation distances Odour) Berlin: Beuth Verlag

- [16] Both, R., Schilling B.: Biofiltergerüche und ihre Reichweite – eine Abstandsregelung für die Genehmigungspraxis. In: Biologische Abgasreinigung; Tagungsbericht Maas-tricht/NL 1997; Düsseldorf: VDI Verlag 1997
- [17] Prinz, B., Both, R.: „Ermittlung und Bewertung von Geruchsimmissionen“ in der Broschüre „Aus der Tätigkeit der LIS 1992“; hrsg. von der Landesanstalt für Immissions-schutz des Landes Nordrhein-Westfalen (heute: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz) Essen 1993, S. 47-54
- [18] DIN EN 16841-1:2017-03 Außenluft – Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Teil 1: Rastermessung; Deutsche Fassung EN 16841-1:2016
- [19] DIN EN 13725:2003-07 Luftbeschaffenheit; Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003-04 (Air quality; De-termination of odour concentration by dynamic olfactometry; German version EN 13725:2003). Berlin: Beuth Verlag
- [20] VDI 3880:2011-10 Olfaktometrie; Statische Probenahme (Olfactometry; Static samp-ling). Berlin: Beuth Verlag
- [21] VDI 3884 Blatt 1:2015-02 Olfaktometrie; Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Ausführungshinweise zur Norm DIN EN 13725 (Olfac-tometry; Determination of odour concentration by dynamic olfactometry; Supplemen-tary instructions for application of DIN EN 13725). Berlin: Beuth Verlag

## Zweifelsfragen zur Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL)

Uwe Strotkötter, M.Sc., Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim

### Kurzfassung

Die Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) [1] stellt in Deutschland die Grundlage für die Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen dar. Sie besitzt bei den für Immissionsschutzfragen zuständigen Behörden eine hohe Akzeptanz und ist in der Rechtsprechung anerkannt.

Neben den Auslegungshinweisen, die schon seit langen Jahren bei der Umsetzung der GIRL in der Praxis von Bedeutung sind, wurde durch die Erstellung eines Zweifelsfragenkatalogs ein weiteres Hilfsmittel für die Auslegung der GIRL bereitgestellt. Dieser Fragenkatalog wird fortlaufend aktualisiert. Seit August 2017 steht nun eine aktualisierte Fassung des Zweifelsfragekatalogs [2] zur Verfügung. Der Fragenkatalog greift Auslegungsfragen zur GIRL aus der Praxis auf und stellt dazu Lösungswege bzw. Empfehlungen bereit.

Die in diesem Beitrag diskutierten Zweifelsfragen beschäftigen sich mit der Berücksichtigung von Abluftreinigungsanlagen in der Immissionsprognose, der Anwendung des Irrelevanzkriteriums aus Nr. 3.3 GIRL, der Festlegung von Immissionswerten sowie der Berücksichtigung kleiner Tierhaltungsanlagen in der Immissionsprognose.

### 1. Einleitung

Die GIRL befindet sich seit Mitte der neunziger Jahre in der Anwendung. Auf Basis von wissenschaftlichen Untersuchungen in den Jahren 2003 („Hedonik-Projekt“) [3] und 2006 (Projekt „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“) [4] wurde sie zweimal fortgeschrieben. Seit 2008 liegt sie in einer zweiten ergänzten und aktualisierten Fassung vor. Die Methoden der GIRL wurden über die Jahre immer weiter fortentwickelt und haben sich bewährt. Die Mess- und Ermittlungsmethoden sind standardisiert und haben Eingang in VDI-Richtlinien und Europäische Normen gefunden.

Bei den für Immissionsschutzfragen zuständigen Behörden besitzt die GIRL eine hohe Akzeptanz, in der Rechtsprechung ist die GIRL anerkannt. Dem Rechnung tragend sieht die derzeit laufende Anpassung der TA Luft nach aktuellem Planungsstand eine Aufnahme der GIRL (ohne Auslegungshinweise) als Anhang vor.

Neben den Auslegungshinweisen, die bislang eine wertvolle Quelle zur Auslegung der GIRL sind, wurde mit dem Zweifelsfragenkatalog ein weiteres Hilfsmittel für die Anwendung und

Auslegung der GIRL bereitgestellt. Dieser Fragenkatalog wird fortlaufend aktualisiert und ergänzt und die darin vorgeschlagenen Lösungswege bzw. Empfehlungen sollen die behördliche Vorgehensweise bundesweit vereinheitlichen. Unabhängig davon kann, in Abhängigkeit von den jeweiligen Gegebenheiten vor Ort, im Einzelfall eine andere Entscheidung notwendig und angemessen sein.

## **2. Zweifelsfragen zur Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL)**

Die Zweifelsfragen zur GIRL stellen konkrete Anwendungs- und Auslegungsfragen aus der Praxis dar und dienen einer weitergehenden Ausfüllung der Inhalte der GIRL. Ein Großteil der Zweifelsfragen setzt sich mit der Anwendung der GIRL im Zusammenhang mit der Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft auseinander.

### **2.1 Berücksichtigung von Abluftreinigungsanlagen in der Immissionsprognose**

Abluftreinigungsanlagen stellen im anlagenbezogenen Immissionsschutz ein effektives Mittel dar um u. a. Geruchsstoffemissionen zu mindern. Diese Emissionsminderungseinrichtungen werden sowohl bei Industrieanlagen als auch bei Tierhaltungsanlagen eingesetzt. Insbesondere bei den Tierhaltungsanlagen, bei denen im Rahmen der Immissionsprognose auch die tierartspezifischen Gewichtungsfaktoren aus Tabelle 4 der GIRL zur Anwendung kommen, gibt es bei der Berücksichtigung von Abluftreinigungsanlagen in der Immissionsprognose häufig Probleme.

Die nachfolgend dargestellte Regelung differenziert zwischen den Bereichen Industrie und Tierhaltung. Die Notwendigkeit zur Berücksichtigung der Emissionen der Abluftreinigungseinrichtungen dieser Anlagen in der Immissionsprognose entscheidet sich in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Anlage und Immissionsort.

#### **2.1.1 Tierhaltungsanlagen**

Die Abstandsregelung für Tierhaltungsanlagen bezieht sich auf den Abstand zwischen dem Immissionsort und der nächstgelegenen Stallwand, nicht dem Ort der Abluftreinigungseinrichtung am Stallgebäude. Für die Abluftreinigungseinrichtung wird dabei

- von einem ordnungsgemäßen Betrieb ausgegangen und
- vorausgesetzt, dass das Rohgas nicht im Reingas feststellbar ist und das Reingas immissionsseitig nicht mehr von allgemein vorhandenen Hintergrundgerüchen unterschieden werden kann.

Folgende Abstandsregelung wird empfohlen:

- < 100 m

Dieser Abstand sollte auch bei einem Stallneubau mit Abluftreinigung nicht unterschritten werden. Die Sanierung von Altanlagen macht ggf. eine Abluftreinigung auch in einem geringeren Abstand erforderlich.

- > 100 m

Ab diesem Abstand ist nach den in den Bundesländern vorliegenden Erfahrungen bei Einhaltung der eingangs beschriebenen Voraussetzungen sichergestellt, dass das Reingas immissionsseitig nicht mehr von allgemein vorhandenen Hintergrundgerüchen unterschieden werden kann. Daher bleiben in diesem Fall die Geruchsemissionen der Abluftreinigungseinrichtung bei der Ausbreitungsrechnung unberücksichtigt.

Die zuvor beschriebene Regelung deckt bezogen auf den Entfernungsbereich < 100 m nicht alle möglichen Situationen ab. Für diesen Entfernungsbereich wird kein Vorgehen für die Berücksichtigung der Emission der Abluftreinigungseinrichtung beschrieben. Dies ist darin begründet, dass nach Auffassung des GIRL-Expertengremiums derzeit keine allgemeingültige und plausible Vorgehensweise empfohlen werden kann, die in diesen Fällen zu sachgerechten Ergebnissen führt. Hier ist dementsprechend im Einzelfall zu entscheiden. Bezüglich der Anwendung der tierartspezifischen Gewichtungsfaktoren wird es als sinnvoll angesehen, z. B. bei einem Vergleich von Istzustand ohne Abluftreinigungseinrichtung und Planzustand mit Abluftreinigungseinrichtung den gleichen tierartspezifischen Gewichtungsfaktor zu verwenden bzw. auf die Anwendung des Faktors zu verzichten. Andernfalls kann der Minderungseffekt der Abgasreinigungseinrichtung ggf. nicht sachgerecht abgebildet werden.

## 2.1.2 Industrieanlagen

Unter Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Betriebs der Abgasreinigungseinrichtung können Geruchsemissionen der Abluftreinigung bei Industrieanlagen in der Immissionsprognose ab 200 m unberücksichtigt bleiben. Dies ist u. a. in den bei Industrieanlagen in der Regel im Vergleich zu Tierhaltungsanlagen deutlich höheren Rohgaskonzentrationen begründet.

Grundlage dieser Regelung ist die Untersuchung des LUA NRW (heute LANUV NRW) zur Reichweite von Biofiltergerüchen [5].



## 2.2 Anwendung des Irrelevanzkriteriums aus Nr. 3.3 GIRL

Bei der Anwendung der GIRL im Rahmen von immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren besitzt das Irrelevanzkriterium eine große Bedeutung. Mit einer zulässigen Geruchsstundenhäufigkeit von 0,02 ist es im Verhältnis zu den Immissionswerten, z. B. 0,10 für Wohn-/Mischgebiete, was 20 % dieses Immissionswertes entspricht, deutlich größer als beispielsweise die Irrelevanzkriterien der Nr. 4.2.2 TA Luft für Luftschadstoffe wie Schwebstaub oder Stickstoffdioxid, welche bei 3 % des jeweiligen Immissionswertes liegen.

### 2.2.1 Anwendungsbereich des Irrelevanzkriteriums gemäß Nr. 3.3 GIRL

Die Attraktivität der Irrelevanzregel ist im Wesentlichen darin begründet, dass bei Erfüllung auch bei einer Überschreitung der Immissionswerte eine Anlagengenehmigung nicht versagt werden soll. Die Anwendung des Irrelevanzkriteriums ist an die nachfolgend dargestellten Randbedingungen gebunden:

- Das Irrelevanzkriterium bezieht sich auf den von der zu beurteilenden Anlage in seiner Gesamtheit zu erwartenden Immissionsbeitrag. Dies entspricht dem Begriff der Gesamtzusatzbelastung aus dem aktuellen Entwurf der TA Luft.
- Das Irrelevanzkriterium ist erfüllt, wenn der im vorherigen Spiegelpunkt definierte Immissionsbeitrag der Anlage auf keiner Beurteilungsfläche, auf der sich Personen nicht nur vorübergehend aufhalten den Wert 0,02 überschreitet. Dies schließt eine partielle Anwendung dieses Kriteriums aus. Beispielhaft sei dazu der Fall genannt, in dem der Immissionswert auf einer Beurteilungsfläche überschritten wird, der Immissionsbeitrag der Anlage auf dieser Beurteilungsfläche 0,02 nicht überschreitet aber auf anderen Beurteilungsflächen größer als 0,02 ist.
- Bei der Anwendung des Irrelevanzkriteriums dürfen die tierartspezifischen Gewichtungsfaktoren (f) aus Tabelle 4 der GIRL nicht berücksichtigt werden.

### 2.2.2 Anwendung des Irrelevanzkriteriums bei Tierhaltungsanlagen

In der Praxis stellt sich insbesondere im landwirtschaftlichen Bereich häufig die Frage, ob die Irrelevanzregelung in jedem Verfahren angewendet werden kann. Hintergrund ist die Möglichkeit der Kumulation von Geruchshäufigkeiten, die bei Tierhaltungsanlagen im Unterschied zu Industrieanlagen im Wesentlichen darin begründet ist, dass sich Tierhaltungsanlagen aufgrund ihrer Privilegierung im Außenbereich dort faktisch ohne räumliche Begrenzung ansiedeln können.

Eine grundsätzliche Anwendung der Irrelevanzregelung in Genehmigungsverfahren ist entsprechend Nr. 3.3 GIRL zwar vorgesehen, kann aber im Einzelfall nach Prüfung durch die Genehmigungsbehörden ausgesetzt werden, speziell wenn die zuvor beschriebene Gefahr der Kumulation gegeben ist. Dies bedeutet, dass die Irrelevanzregel wegen der möglichen Kumulation der Geruchshäufigkeiten nicht oder zumindest nicht ohne Betrachtung der Gesamtbelastung angewendet wird.

Eine andere Vorgehensweise, die der Gefahr der Kumulation Rechnung trägt, ist die Prüfung auf die „kleine Irrelevanz“. Im Fall der „kleinen Irrelevanz“ darf der zu erwartende Immissionsbeitrag einer neuen Anlage den Wert 0,004 auf keiner Beurteilungsfläche, auf der sich Personen nicht nur vorübergehend aufhalten, überschreiten. Hintergrund dieser Regelung, die in Niedersachsen entstanden ist, ist die Schaffung einer Möglichkeit zur Ansiedlung für Anlagenbetreiber, die vor Ort keine Anlage betreiben und dementsprechend auch keine Möglichkeit besitzen über eine Sanierung einer Altanlage Immissionen zu mindern - Stichwort: Verbesserungsgenehmigung.

### **2.2.3 Typische Fallkonstellationen für die Anwendung der Irrelevanzregel bei Überschreitung der Immissionswerte**

Zunächst wird der Fall einer neu zu errichtenden Anlage betrachtet.

- Variante A: Die zu erwartende Zusatzbelastung IZ der neuen Anlage darf nicht größer sein als 0,02 (Irrelevanzkriterium gemäß Nr. 3.3 GIRL). In den Fällen, in denen zu befürchten ist, dass aufgrund der Vorbelastung Immissionswerte der GIRL bereits deutlich überschritten sind und eine weitere Erhöhung der Immissionskenngrößen durch Kumulation nicht auszuschließen ist, ist zu prüfen, ob ein zusätzlicher Beitrag von 0,02 noch toleriert werden kann [6].
- Variante B: Wenn eine zu erwartende Zusatzbelastung von 0,02 nicht toleriert werden kann, darf die zu erwartende Zusatzbelastung IZ der neuen Anlage nicht größer als 0,004 sein („Kleine Irrelevanz“). Bei diesem Wert ist davon auszugehen, dass die Gesamtbelastung IG nicht erhöht wird.

Für den Fall der Erweiterung einer bestehenden Anlage sind folgenden Möglichkeiten für die Anwendung der Irrelevanzregel gegeben:

- Variante A: Der Immissionsbeitrag der erweiterten Gesamtanlage darf nicht größer sein als 0,02 (Irrelevanzkriterium gemäß Nr. 3.3 GIRL). In den Fällen, in denen zu befürchten

ten ist, dass aufgrund der Vorbelastung Immissionswerte der GIRL bereits deutlich überschritten sind und eine weitere Erhöhung der Immissionskenngrößen durch Kumulation nicht auszuschließen ist, ist zu prüfen, ob ein zusätzlicher Beitrag von 0,02 noch toleriert werden kann [6].

- Variante B: Wenn der Immissionsbeitrag der erweiterten Gesamtanlage von 0,02 nicht toleriert werden kann, darf der Immissionsbeitrag der geplanten Erweiterung (beantragtes Vorhaben) nicht größer als 0,004 sein. Bei diesem Wert ist davon auszugehen, dass die Gesamtbelastung nicht erhöht wird.
- Variante C: In dem Fall, dass die Irrelevanzgrenze (Variante A oder B) nicht unterschritten werden kann, muss sich die zu erwartende Zusatzbelastung IZ der erweiterten Gesamtanlage gegenüber der Belastung im genehmigten Betriebszustand verringern. Dies kann nur über eine Sanierung des Altanlageanteils erfolgen.

## 2.3 Festlegung von Immissionswerten

Die GIRL beinhaltet in Tabelle 1 Immissionswerte für verschiedene Gebietstypen (Wohn-/Mischgebiete, Gewerbe-/Industriegebiete und Dorfgebiete). Darüber hinaus werden in den Auslegungshinweise noch Anhaltspunkte für die Festlegung eines Immissionswertes für den Außenbereich bei landwirtschaftlichen Gerüchen gegeben.

### 2.3.1 Festlegung von Immissions-Zwischenwerten

Neben der festen Zuordnung für einzelne Gebietstypen kann es in der Praxis erforderlich sein, Zwischenwerte festzulegen, etwa beim Übergang von zwei Gebietstypen.

- Beim Übergang vom Außenbereich zum Wohngebiet sind Immissionswerte von 0,11 bis 0,15 und beim Übergang vom Außenbereich zum Dorfgebiet Immissionswerte von 0,16 bis 0,20 denkbar. Der Übergangsbereich sollte räumlich begrenzt werden.
- Sofern Wohngebiete, Gewerbegebiete und Wohnmischgebiete direkt aneinander angrenzen bzw. ineinander übergehen, bietet sich die Anwendung von Immissions-Zwischenwerten, in diesem Fall zwischen 0,10 und 0,15 an.

Bei der Festlegung von Immissions- und Zwischenwerten ist zu beachten, dass jeweils die tatsächliche Nutzung der Gebiete zugrunde gelegt wird.

### 2.3.2 Festlegung von Immissionswerten für den Außenbereich

Der GIRL ist in den Auslegungshinweisen zu entnehmen, dass unter Prüfung der speziellen Randbedingungen des Einzelfalles bei der Geruchsbeurteilung im Außenbereich einen Wert von bis zu 0,25 für landwirtschaftliche Gerüche herangezogen werden kann. Dies impliziert jedoch nicht, dass dieser Wert in jedem Fall zur Anwendung kommt. So ist das OVG NRW in Urteilen [7] aus 2015 der Auffassung, dass entsprechend Nr. 3.1 GIRL für Dorfgebiete und den Außenbereich bei der Beurteilung der Geruchsimmissionen verursacht durch Tierhaltungsanlagen von einem Immissionswert von 0,15 auszugehen ist. Soll von dieser Festsetzung abgewichen werden, sind Begründungen erforderlich. Dabei geht das OVG NRW davon aus, dass, wie in den Auslegungshinweisen zu Nr. 3.1 GIRL dargestellt, im Außenbereich Werte von bis zu 0,25 festgelegt werden können.

Im Zweifelsfragenkatalog wird die Empfehlung gegeben, das der Beurteilungswert von 0,25 für den Außenbereich nicht automatisch sondern nur im Einzelfall und mit entsprechender Begründung zur Anwendung kommen sollte. Es wird vorgeschlagen, ihn dann als Zielwert anzuwenden, wenn die Gesamtbelastung diesen Wert bereits überschreitet. Das kann dann bei einzelnen Genehmigungsverfahren nur über Verbesserungen der neu beantragten Anlageanteile sowie gegebenenfalls mit einer Sanierung alter Betriebsteile erreicht werden. In den Fällen, in denen die Gesamtbelastung noch unterhalb einer Geruchshäufigkeit von 0,20 liegt, sollte ein Beurteilungswert von 0,20 im Außenbereich angesetzt werden.

Eine Begründung zur Festlegung eines Immissionswertes ist in jedem Fall erforderlich. Die Auslegungshinweise zur GIRL weisen in diesem Zusammenhang auf die Prüfung der speziellen Randbedingungen des Einzelfalles hin. Darunter ist entsprechend Nr. 5 GIRL auch die Ortsüblichkeit zu fassen. Weitere Kriterien für die Begründung der Festlegung von Immissionswerten im Außenbereich können z. B. den Urteilen des OVG NRW vom 01.06.2015 [7] entnommen werden. Von maßgeblicher Bedeutung sind dabei unter anderem:

- Ortsüblichkeit und Siedlungsstruktur: Hier ist die Vorprägung der maßgeblichen Umgebung, in der die zu errichtende Anlage sowie der Immissionsort liegen, zu berücksichtigen. Die Prägung dieser Umgebung durch mehrere landwirtschaftliche Nutzungen in engem räumlichem Zusammenhang kann zu einem geringeren Schutzanspruch führen. In Bezug auf die Siedlungsstruktur kann eine einzelne Wohnnutzung – losgelöst von nachfolgenden Faktoren – einen geringeren Schutzanspruch begründen als etwa sogenannte Weilerlagen, Straßendörfer oder Streusiedlungen.
- Nutzung des zu beurteilenden Gebäudes: Eine Wohnnutzung im Außenbereich die im Zusammenhang mit einer Tierhaltung steht, kann aufgrund der wechselseitigen Rück-

sichnahme bezogen auf die Geruchsimmissionssituation ein geringer Schutzanspruch zukommen als einer reinen, landwirtschaftsunabhängigen Wohnnutzung, bei der eine ein- und keine wechselseitige Belastung vorliegt.

- Historische Entwicklung: Bei der historischen Entwicklung ist nicht nur der aktuelle Zustand sondern auch die Nutzung in der Vergangenheit von Bedeutung. So kann eine Wohnnutzung die immer nur Wohnzwecken diente einen höheren Schutzanspruch begründen, als eine Wohnnutzung, die zwar aktuell ausschließlich dem Wohnen dient, aber ursprünglich Teil einer landwirtschaftlichen Hofstelle war. Auch die Entwicklung der Umgebung in Bezug auf die landwirtschaftliche Nutzung ist zu berücksichtigen. Ein Rückgang landwirtschaftlicher Prägung kann im Gegensatz zu einer weiterhin bestehenden landwirtschaftlichen Prägung einen höheren Schutzanspruch begründen.

## **2.4 Berücksichtigung kleiner Tierhaltungsanlagen in der Immissionsprognose**

In jüngerer Zeit erwächst aus Beschwerdesituationen im Zusammenhang mit Tierhaltungen vermehrt die Forderung nach der Erstellung einer Geruchsausbreitungsrechnung. Hier stellt sich für Behörden und Gutachter die Frage, ob auch sehr kleine Tierhaltungen (z. B. einzelne Pferde oder wenige Hühner) im Rahmen einer Immissionsprognose zur Ermittlung der Geruchsimmissionsbelastung berücksichtigt werden sollten.

Im Sinne der nachfolgend dargestellten Empfehlung sollte in Bezug auf sehr kleine Tierhaltungen zwischen Haustierhaltung und Hobbytierhaltung differenziert werden:

- Haustierhaltung: Haustierhaltung umfasst z. B. das Halten von Hunden, Katzen, (Sing-) Vögeln und Kleintieren (z. B. Meerschweinchen, Mäuse, Terrarien) zu nicht gewerblichen Zwecken. Sie ist bei der Ermittlung der Geruchsimmissionsbelastung nicht zu berücksichtigen.
- Hobbytierhaltung: Hobbytierhaltung umfasst z. B. das Halten von einzelnen Hühnern, Enten, Gänsen, Schafen, Ziegen, Eseln. Auch das Halten von wenigen Pferden zählt hierzu. Sie ist in der Regel in durch Tierhaltungsanlagen geprägten Gebieten bei der Ermittlung der Geruchsimmissionsbelastung nicht zu berücksichtigen.
- In Wohngebieten ist Hobbytierhaltung aufgrund der in der Regel geringeren Abstände und des erhöhten Schutzanspruches der Anwohner bei der Ermittlung der Geruchsimmissionsbelastung zu berücksichtigen, wenn sie nicht ohnehin unzulässig ist.

### 3. Literatur

- [1] Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL -) in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008  
<http://igsvtu.lanuv.nrw.de/VTUP=6/dokus/61101.pdf>
- [2] Zweifelsfragen zur Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL); Zusammenstellung des länderübergreifenden GIRL-Expertengremiums (Stand 08/2017).  
[https://www.hlnug.de/fileadmin/downloads/luft/Anlage\\_7\\_Zweifelsfragen\\_zur\\_GIRL\\_Stand\\_August\\_2017\\_.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/downloads/luft/Anlage_7_Zweifelsfragen_zur_GIRL_Stand_August_2017_.pdf)
- [3] Sucker, K.; Bischoff, M.; Krämer, U.; Kühner, D.; Winneke, G. (2003): Untersuchung zur Auswirkung von Intensität und hedonischer Geruchsqualität auf die Ausprägung der Geruchsbelästigung. Forschungsbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg und des Verbandes der chemischen Industrie. Düsseldorf.  
[http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/pdf/FB\\_Hed\\_Proj.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/pdf/FB_Hed_Proj.pdf)
- [4] Sucker, K.; Müller, F.; Both, R. (2006): Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft, Bericht zu Expositions-Wirkungsbeziehungen, Geruchshäufigkeiten, Intensität, Hedonik und Polaritätenprofilen. Essen: Landesumweltamt LUA, 120 S. Band 73.  
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/materialien/mat73/mat73.pdf>
- [5] Both, R; Schilling, B: Biofiltergerüche und ihre Reichweite – eine Abstandsregelung für die Genehmigungspraxis. In: Biologische Abgasreinigung; Tagungsbericht Maas-tricht/NL 1997; Düsseldorf, VDI-Verlag GmbH  
<https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/pdf/maa97.pdf>
- [6] Vgl. Urteil Verwaltungsgericht Düsseldorf vom 24.02.2012 - Az.:3 K 6274/09
- [7] OVG NRW, Urteile vom 01.06.2015 - Az. 8 A 1760/13 - 8 A 1577/14 - 8 A 1487/14



## **Ableitung von tierartspezifischen Gewichtungsfaktoren für Pferde und Mastbullen**

### **Erstellung von Polaritätenprofilen für das Konzept Gestank und Duft für die Tierarten Mastbullen, Pferde und Milchvieh**

Dipl.-Ing. (FH) **Gisela Winkler**,  
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg

#### **Projektbeteiligte:**

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg,  
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg,  
Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg,  
Bayerisches Landesamt für Umwelt,  
Auftragnehmer: uppenkamp und partner

#### **Kurzfassung**

Durch umfangreiche Erhebungen von Polaritätenprofilen (VDI 3940 Blatt 4 [1]), Intensitäten (VDI 3940 Blatt 3 [2]), Hedonik sowie Fahnenbegehungen (VDI 3940 Blatt 2 [3]), konnten für die Tierarten Mastbullen und Pferde tierartspezifische Gewichtungsfaktoren nach GIRL [4] abgeleitet werden. Der Vergleich mit den aktuellen Messungen für die Tierart „Milchvieh“ in Verbindung mit der Studie zur Expositions-Wirkungsbeziehung aus dem Jahr 2006 „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ [5] zeigte, dass der Gewichtungsfaktor für Milchvieh auch für die Tierarten Pferde (ohne Mistlagerung) und Mastbullen anwendbar ist.

#### **Abstract**

Because of extensive investigations of polarity, intensity and hedonic profiles, as well as odor plume measurement, species-specific weighting factor (according to GIRL) could be derived for the animal species cattle fattening and horses. The comparison with the current measurements for the animal species "dairy cattle" as well as the study of the exposure-effect relationship from 2006 "odor assessment in agriculture" showed that the weighting factor for dairy cattle is also applicable for the animal species horses (without manure storage) and bull fattening .



## 1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Gemäß der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) unterscheidet sich die belästigende Geruchswirkung je nach Tierart. Dabei konnten im umfangreichen länderübergreifenden Projekt „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ verschiedene tierartspezifische Gewichtungsfaktoren abgeleitet werden. Pferde und Mastbullen wurden im Projekt jedoch nicht untersucht, sodass hier keine Faktoren vorlagen. Gemäß GIRL darf ohne wissenschaftliche Erkenntnisse keine Wichtung vorgenommen werden. Ziel der nachfolgenden Untersuchung war es, diese beiden Tierarten durch Erhebungen von Polaritätsprofilen, Intensität und Hedonik mit den früheren Ergebnissen der vergleichbaren Tierart Rinder zu vergleichen. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden auch nach aktuellem Stand der Technik entsprechenden Milchviehstallungen Daten erhoben und zudem Fahnenbegehungen an einem Bullen- und einem Milchviehstall durchgeführt.

## 2. Durchführung

Polaritätenprofile werden anhand von 29 repräsentativen Wortpaaren für das Konzept „Duft“ und „Gestank“ erstellt. Dabei durchlaufen die Prüfer/Prüferinnen vorab zu jeder Messphase eine Eignungsprüfung. Die Erstellung des Anlagengeruches erfolgte gleichzeitig mit je 6 Prüfern durch Aufnahme des Geruchseindrucks in der Fahne und anschließender Bewertung des Profils außerhalb der Fahne. Insgesamt wurden die Polaritätenprofile bei drei verschiedenen Abständen zur Geruchsquelle mit unterschiedlichen Intensitäten erhoben. Neben der Intensitäts- und Hedonikerhebung erfolgten an zwei Anlagen auch Fahnenbegehungen nach VDI 3940 Blatt 2. Die meteorologischen Messdaten wurden bei jeder Messung mit einem 3D-Ultrasonic Anemometer in 10 m Höhe erfasst.

An vier Bullenmastställen (ein Tretmiststall, drei mit Spaltenböden, 85 – 220 Tiere pro Stall, nur Offenstallsysteme), zwei Milchviehställen (Vollspalten mit Laufgang, 91/130 Tiere, Offenstall), sowie 3 Pferdeställen (eingestreut, 16 – 32 Tiere) wurden an vier nicht aufeinanderfolgenden Tagen Untersuchungen durchgeführt [6]. Insgesamt konnten 648 Polaritätenprofile gemäß VDI 3940 Blatt 4 und GIRL erhoben werden. Ergänzend wurden auch einige Profile an Silagelagern untersucht (138) sowie Analysen zu deren Qualität durchgeführt, um evtl. negative Einflüsse durch Fehlgärung auszuschließen. Die Erhebungen an Pferdemistlagern waren mit 42 Profilen dagegen vergleichsweise gering und daher nur orientierend zu bewerten.

Für die Auswertung der Profile muss anhand vorgegebener „Hedonik-Faktor-Scores“ jedes Wortpaar gewichtet werden. Zudem kann nach arithmetischer Mittelung über alle Prüfer eine Korrelation zum repräsentativen „Duft“ oder „Gestank“ hergestellt werden. Dabei bedeutet eine Korrelation von +1 eine eindeutig positive Korrelation, 0 keine Korrelation und -1 eine eindeutig negative Korrelation. Werden bestimmte Spannen von z.B. „Duft“- Profil Korrelation  $> 0,5$  und „Gestank“-Profil  $< -0,5$  erreicht, so können die Gerüche als hedonisch angenehm klassifiziert werden.

### 3. Ergebnisse

Die von Mastbullen- und Milchviehställen emittierten Gerüche wurden mit der Methode der Polaritätenprofile (s. Abbildung 1) sehr ähnlich bewertet (Korrelationskoeffizient zwischen den beiden Tierarten 0,98). Dies wurde auch durch die hedonische Bewertung der Gerüche bestätigt.

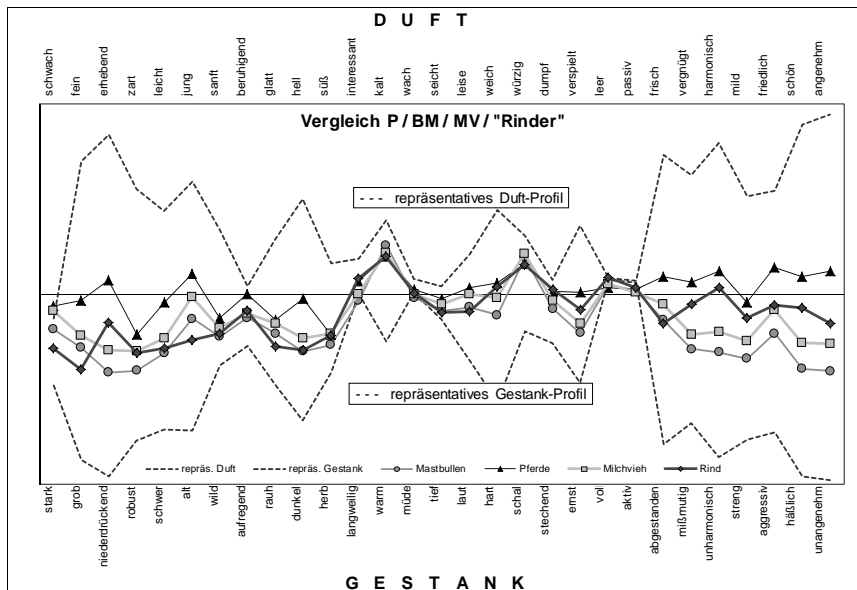


Bild 1: Vergleich der gemittelten Polaritätenprofile für Mastbullen, Pferde, Milchvieh, (Rind aus [5])

Die Hedonik-, Intensitäts- und Polaritätenprofilerhebungen wurden sowohl direkt am Stall und dann meist in einem Abstandsbereich von 10 – bis 40 m (quellnah) bzw. 40 bis zu 130 m (quellfern) zu den Ställen durchgeführt. Für die Intensitätsstufe „sehr schwach“ oder „schwach“ waren die Reichweiten der Gerüche aus den offenen bzw. gut belüfteten Ställen oft relativ gering. Diese Entfernungen stellen aber keine Fahhengrenzen dar, sondern dienten lediglich zu einer ersten orientierenden Bewertung unter den gegebenen meteorologischen Bedingungen (s. Abbildung 2).

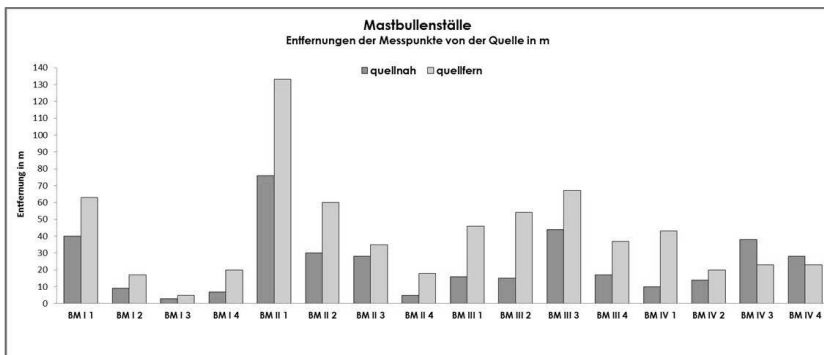


Bild 2: Entfernungen für die Intensitätsstufe „deutlich bis schwach“ bzw. „schwach bis sehr schwach“ der Polaritätenprofile bei Mastbullenställen

Aber auch die Fahnenbegehungen an dem Milchvieh- bzw. Mastbullenstall zeigten, dass die maximale Reichweite der Gerüche bei ca. 150 m lag.

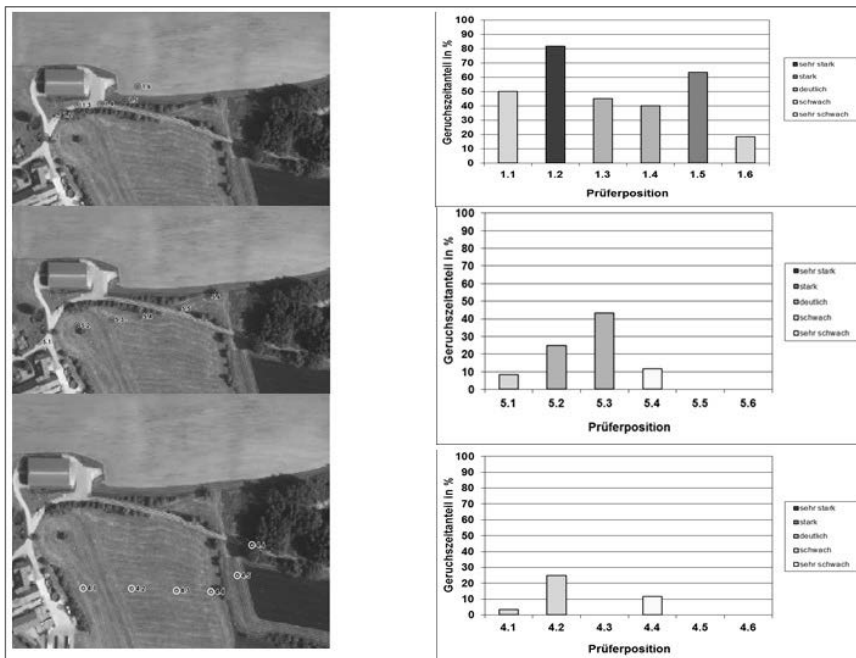


Bild 3: Beispiel einer Fahnenbegehung mit abnehmender Geruchshäufigkeit und Intensität

Emissionsspitzen traten kurzzeitig bei der Fütterung (Mastbullen) und beim morgendlichen Öffnen der Stalltüre auf (Pferde). Mit zunehmendem Abstand zum Stall wurde auch der Geruch als hedonisch positiver bewertet und die Intensität nahm erwartungsgemäß deutlich ab (s. Abbildung 3 und 4).

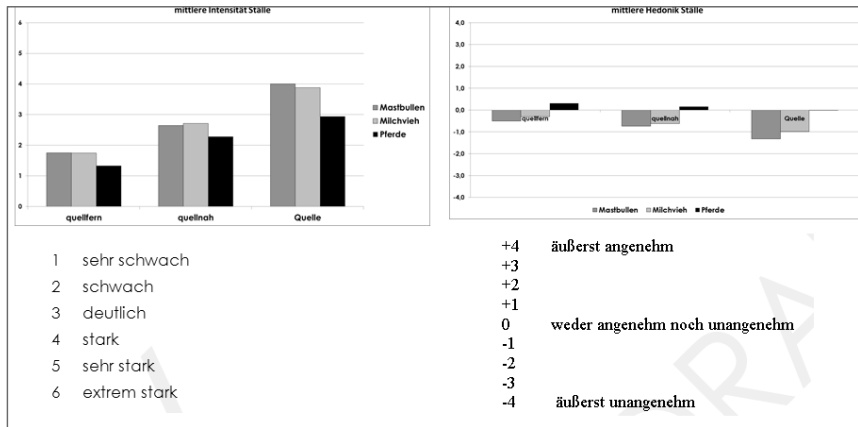


Bild 4: Intensitäts- und Hedonikerhebungen in Abhängigkeit vom Abstand zur Quelle (Mastbullen/Milchvieh/Pferde)

Pferdeställe, die ja nicht dauerhaft voll besetzt sind und auch täglich gemistet werden, korrelierten kaum mit den Gestankprofilen und lagen eher im neutralen Bereich, während das Pferdemistlager sich von den Stallprofilen abhebt und eher Richtung „Gestank“ tendiert. Zu Pferdeställen ohne Mistgelege konnten bei relativ geringen Windgeschwindigkeiten und den vorgegebenen Anlagengrößen von 16 – 32 Tieren Gerüche bis zu ca. 40 m wahrgenommen werden (s. Abbildung 5). Eindeutige Aussagen zum Pferdemistlager konnten auf Grund der geringen Anzahl der Erhebungen nicht getroffen werden.

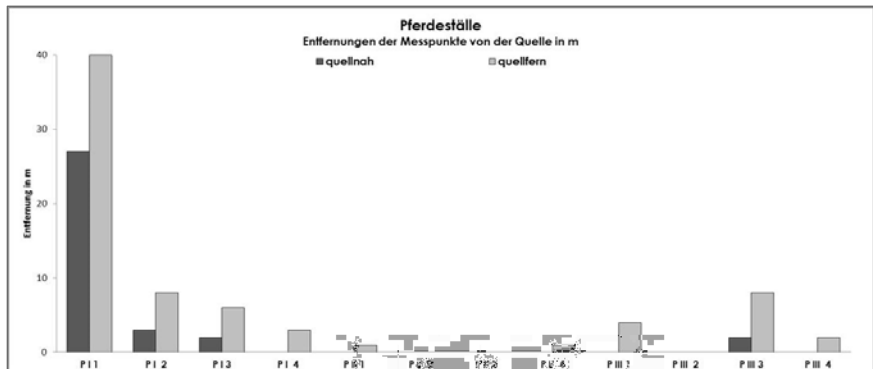


Bild 5: Entfernungen für die Intensitätsstufe „deutlich bis schwach“ bzw. „schwach bis sehr schwach“ der Polaritätenprofile bei Pferdeställen ohne Mistlager

Die Polaritätenprofile der Tierart Geflügel und Schwein aus dem Projekt „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ [5], korrelieren dagegen deutlich stärker mit dem „Gestank“-Profil (siehe Abbildung 6 Balken ganz rechts).

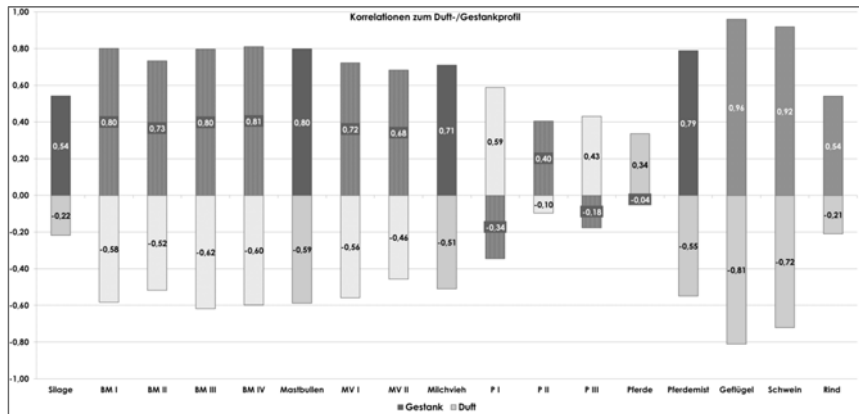


Bild 6: Vergleich der Korrelationskoeffizienten zum Duft-/Gestankprofil aller Anlagen und der drei Tierarten Geflügel, Schwein, Rind aus dem „Hedonikprojekt“ 2006 [5]

Die Ergebnisse zeigen auf, dass der tierartspezifische Gewichtungsfaktor für Milchvieh auch für Mastbullen und Pferde (ohne Mistlager) herangezogen werden kann. Das Projekt wurde mit dem GIRL Expertengremium abgestimmt und diskutiert. Im Zuge der Überarbeitung der GIRL sollen die neuen Tierarten Mastbullen und Pferde ohne Mistlager in „Tabelle 4: Gewichtungsfaktoren  $f$  für die einzelnen Tierarten“ mit dem Faktor 0,5 aufgenommen werden.

## Literaturquellen:

- [1] VDI 3940 Blatt 4: 2010-06 Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung; Polaritätenprofile, Berlin: Beuth Verlag
- [2] VDI 3940 Blatt 3: 2010-01 Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen; Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld, Berlin Beuth Verlag
- [3] VDI 3940 Blatt 2: 2006-02 Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen; Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen; Fahnenmessung, Berlin Beuth Verlag
- [4] Festlegung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie GIRL); Länderausschuss für Immissionsschutz in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008
- [5] Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft, Bericht zu Expositions-Wirkungsbeziehungen, Geruchshäufigkeiten, Intensität, Hedonik und Polaritätenprofilen, Materialen 73, LUA NRW 2006
- [6] Bericht über die Erstellung von Polaritätenprofilen für das Konzept Gestank und Duft für die Tierarten Mastbullen, Pferde und Milchvieh, Uppenkamp und Partner, 14.06.2017, Verfasser Dipl.-Biol. Michael Bischoff, Leichlingen

# Ein neues Modell zur Berechnung von Geruchsstunden im Rahmen von Genehmigungsverfahren

Mag. Dr. **D. Öttl**, Amt der Steiermärkischen Landesregierung,  
Abt. Energie, Wohnbau und Technik, Referat Luftreinhaltung,  
Graz, Österreich;

Prof. Dr. **E. Ferrero**, University of Eastern Piedmont, viale Teresa Michel,  
Alessandria, Italien

## 1 Kurzfassung

Die Erstellung von Geruchsgutachten in Genehmigungs- oder Beschwerdeverfahren ist ein Hauptschwerpunkt im Referat Luftreinhaltung des Landes Steiermark. Robuste und nachvollziehbare Beurteilungsmethoden sind daher von immanenter Bedeutung. Die Modellierung einer Geruchsstunde setzt voraus, dass zum Einen das 90 Perzentil der Geruchskonzentration einer Stunde und zum Anderen die Wahrnehmungsfunktion der Geruchsart bekannt ist. In Österreich wird derzeit am häufigsten, gleich wie in Deutschland, ein konstanter Faktor (Faktor-4-Methode) für das Verhältnis des 90 Perzentils zum Stundenmittelwert der Geruchskonzentration  $R_{90} = \frac{C_{90}}{C} = 4$  verwendet.

Die Praxis zeigt jedoch, dass vor allem kumulative Wirkungen von Geruchsfahnen zu Überschätzungen der berechneten Jahresgeruchsstunden führen können. Ähnliche Erfahrungen scheint es auch in Deutschland zu geben, wie einige Vorträge im Rahmen der VDI Tagung „Gerüche in der Umwelt“ in der Vergangenheit aufgezeigt haben.

Eine umfangreiche Analyse von Messdaten für  $R_{90}$  zeigte, dass dieses im Mittel meistens im Bereich von 2,5 liegt. Außerdem lassen die vorliegenden Messdaten auf eine hohe räumliche Inhomogenität schließen. Es kann gezeigt werden, dass  $R_{90}$  eine starke Abhängigkeit von der Intensität der Geruchskonzentrationsfluktuation aufweist, welche in guter Näherung über eine leicht modifizierte Weibull Verteilung beschrieben werden kann. Es wurde ein einfach anzuwendendes Modell zur Abschätzung der Intensität der Geruchskonzentrationsfluktuation entwickelt, welches unabhängig vom verwendeten Modelltyp einer Ausbreitungsrechnung ist und zudem als reines Post-Prozessing in bestehende Modelle implementiert werden kann. Das neue „Geruchsmodell“ wurde in das Lagrange'sche Partikelmodell GRAL implementiert und wird nun bereits in der Praxis in Österreich eingesetzt.



## 2 Einleitung

In Österreich werden Geruchsbelastungen, gleich wie in Deutschland, auf Basis von Geruchsstunden beurteilt. Da gängige Ausbreitungsmodelle Konzentrationswerte nur für Stundenmittelwerte berechnen können, ist es notwendig auf Basis des Stundenmittelwertes auf das 90. Perzentil der Geruchskonzentrationsverteilung innerhalb einer Stunde zu schließen. Das einfachste und am häufigsten in Österreich verwendete Modell ist die Anwendung eines konstanten Faktors 4 (Faktor-4-Modell), welches von Janicke und Janicke [1] entwickelt wurde. Anzumerken ist, dass bei der Herleitung des Faktor-4-Modells auch Überlegungen zum Einfluss der Geruchswahrnehmungsfunktion eingeflossen sind. Hierbei wurde argumentiert, dass für realistische Wahrnehmungsfunktionen (z. Bsp. Gerüche aus der Landwirtschaft) unabhängig vom Grad des Mäandrierens einer Geruchsfahne, eine Geruchsstunde ab dem Überschreiten der Geruchsschwelle von  $0,25 \text{ GE/m}^3$  (=Faktor-4-Modell) resultiert.

In dieser Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, welches es erlaubt, die Verteilungsfunktion der Geruchskonzentrationen näherungsweise in Abhängigkeit von den vorherrschenden Ausbreitungsbedingungen und vorliegenden Quelleigenschaften (z. B. Geometrien, Kumulation) zu berechnen. Damit kann in der Folge das 90. Perzentil der Geruchskonzentrationsverteilung ermittelt und zur Berechnung einer Geruchsstunde herangezogen werden. Prinzipiell kann damit auch die Berechnung einer Geruchsstunde unter Berücksichtigung einer Wahrnehmungsfunktion erfolgen, da die gesamte Verteilungsfunktion der Geruchskonzentrationen für jeden Rasterpunkt für jede Stunde berechnet wird. Dies wurde bislang aber noch nicht umgesetzt, nicht zuletzt weil der Kenntnisstand über die korrekte Wahl des Auflösungsvermögens für verschiedene Geruchsarten noch eher gering ist.

In Kap. 3 werden die Grundzüge des Modells kurz dargelegt. Um die ausführliche Herleitung des Modells nachzulesen wird auf die Publikation von Oettl und Ferrero [2] verwiesen. Die Evaluierung des Modells erfolgte bislang in zwei Stufen: Erstens im direkten Vergleich von gemessenen und berechneten Verhältnissen zwischen dem 90-Perzentil und dem Stundenmittelwert von Konzentrationsverteilungen  $R_{90} = \frac{C_{90}}{C}$  (Kap. 4) und zweitens im Vergleich von berechneten Geruchsstunden mit Geruchsstunden aus Feldbegehungen in der Umgebung von drei verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben (Kap. 6). Der mögliche Einfluss unterschiedlicher Wahrnehmungsfunktionen wird ebenfalls kurz diskutiert (Kap. 5).

### 3 Modellbeschreibung

#### 3.1 Verwendete Datensätze

Für die Modellentwicklung wurden Messungen von Konzentrationsfluktuationen im Rahmen von drei verschiedenartigen Messkampagnen analysiert. Das „Joint Urban 2003“ Experiment wurde in der Innenstadt in Oklahoma City, USA, durchgeführt (z. Bsp. [3]). Die Umgebung des Feldversuchs ist geprägt durch sehr hohe Gebäude bis zu 150 m. Mehrere zeitlich hochaufgelöste Analysegeräte (10 Hz) für SF<sub>6</sub> wurden in Entfernungen von wenigen bis über 800 m Entfernung zum Freisetzungsort in Straßenschluchten betrieben. Die Freisetzungshöhe war mit 2 m über Grund sehr bodennah und der Tracer wurde sowohl während Tages- als auch während Nachtzeiten emittiert. Aufgrund der relativ hohen Windgeschwindigkeiten (5 – 7 m/s in 37 m über Grund) war die atmosphärische Stabilität meist neutral.

Der zweite Feldversuch, der in dieser Studie verwendet wurde, ist das „Sagebrush Experiment“, welches in einem sehr flachen, durch niedrigen Bewuchs charakterisierten Gelände, in den USA durchgeführt wurde (z. B. [4]). Für die Auswertungen standen zeitlich hochaufgelöste Konzentrationsdaten (10 Hz) aus fünf Experimenten zur Verfügung, welche ausschließlich tagsüber erfolgten. Die Distanz zwischen Analysatoren und dem bodennahen Freisetzungsort variierte zwischen 400 und 1.600 m. Die Ausbreitungsbedingungen waren daher neutral bis labil wobei die Windgeschwindigkeiten zwischen 1 – 10 m/s in 10 m über Grund lagen.

Letztlich wurden noch die Messdaten des Experiments „Uttenweiler“, Deutschland, ausgewertet, welches in [5] dokumentiert ist. Auch in diesem Fall wurde als Tracer SF<sub>6</sub> verwendet, wobei das Gas über einen Kamin bei einem Schweinestall in einer Höhe von 8,5 m über Grund bzw. 0,9 m über dem Dach freigesetzt wurde. Im Gegensatz zu den anderen beiden Datensätzen war die Mittelungszeit nicht eine Stunde sondern nur 10 Minuten und die zeitliche Auflösung der Konzentrationsmessungen war mit 0,1 Hz auch deutlich geringer. Aufgrund dessen ist mit einer geringen Unterschätzung der aus den Messdaten abgeleiteten  $R_{90}$  Verhältnissen zu rechnen. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten betrugen zwischen 2,5 und 7,9 m/s und die atmosphärische Stabilität war in allen Fällen neutral. Das Gelände im Bereich der Feldversuche war ebenfalls flach und nur mit spärlicher Vegetation versehen.

#### 3.2 Auswertung der Messdaten

Die aus den Messdaten berechneten  $R_{90}$  zeigten eine auffallende Abhängigkeit von der Konzentrationsfluktuations-Intensität, welche wie folgt definiert ist:

$$i = \frac{\overline{c'^2}}{\overline{C}} \quad (1)$$

$\overline{c'^2}$  : Varianz der Konzentrationsfluktuationen und

$\bar{C}$  : Mittelwert der Konzentration

Bild 1 zeigt die gemessenen  $R_{90}$  in Abhängigkeit von  $i$  und modellierte Werte mit verschiedenen Verteilungsfunktionen. Man sieht, dass die logarithmische Normalverteilung ungeeignet für die Modellierung ist. Prinzipiell gute Übereinstimmungen konnten mit einer Weibull und einer Gamma Verteilung erzielt werden, obwohl beide die höchsten Werte im Bereich von  $i = 2$  stark unterschätzen. Die punktierte Linie zeigt die derzeit im Ausbreitungsmodell GRAL implementierte Funktion, welche auf einer Weibull Verteilung basiert. Um tendenziell konservative Ergebnisse in den Berechnungen zu erzielen, wurde die Funktion mit dem Wert 1,5 nach unten hin begrenzt. Der dadurch resultierende Fehler bei hohen Werten von  $i$  wird in der Praxis kaum ins Gewicht fallen, da diese Bereiche meist mit sehr niedrigen mittleren Konzentrationswerten einhergehen, die gewöhnlich keine Geruchsstunde mehr auslösen.

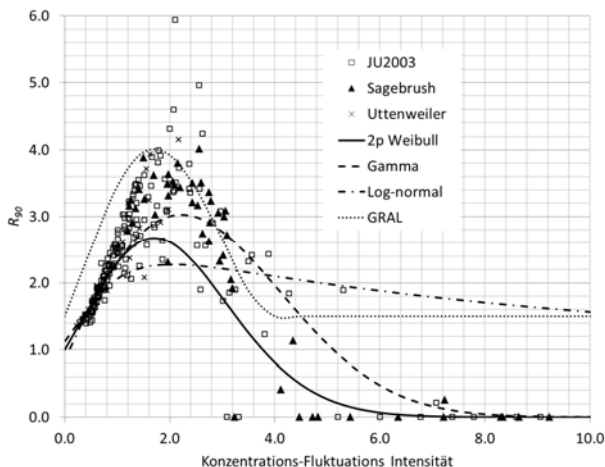


Bild 1: Vergleich von gemessenen  $R_{90}$  in Abhängigkeit von der Konzentrations-Fluktuations Intensität  $i$  und mit verschiedenen Verteilungsfunktionen modellierte  $R_{90}$ .

### 3.3 Beschreibung des Modells

Um die in Kap. 3.2 dargelegten Zusammenhänge zwischen  $R_{90}$  und  $i$  für ein Ausbreitungsmodell nutzen zu können, muss ein Modell in der Lage sein die Varianz der Konzentrationsfluktuation abzuschätzen. In [2] wird dafür ein relativ einfaches Modell vorgeschlagen, welches unabhängig vom verwendeten Modelltyp (z. B. Lagrange, Gauß) im Anschluss an eine Ausbreitungsrechnung eingesetzt werden kann. Das Modell basiert auf einer vereinfachten Form der Advektions-Diffusionsgleichung für die Varianz der Konzentrationsfluktuationen,

wie sie beispielsweise in [6] vorgeschlagen wurde. Diese Grundgleichung wurde in [2] weiter vereinfacht:

$$\frac{\partial \overline{c'^2}}{\partial t} = 2\sigma_{ui}^2 T_{Li} \left( \frac{\partial \overline{C}}{\partial x_i} \right)^2 - \frac{\overline{c'^2}}{t_d} \quad (2)$$

In Gl. (2) ist  $t_d$  die Zeitskala für die Dissipation der Konzentrationsvarianz und  $\sigma_{ui}^2$  sind die Varianzen der Windgeschwindigkeitsfluktuationen. Im Modell GRAL wird derzeit der Ansatz  $t_d = 2T_{L_3}$  verwendet, wobei  $T_{L_3}$  die Lagrange'sche Zeitskala in Vertikalrichtung ist. Es muss aber festgehalten werden, dass derzeit in der Literatur stark unterschiedliche Methoden zur Berechnung von  $t_d$  diskutiert werden. In der praktischen Anwendung von GRAL werden die Ausbreitungsbedingungen in einer Häufigkeitsstatistik zusammengefasst. Für jede Kombination in dieser Statistik von Windgeschwindigkeit, -richtung und Ausbreitungs-klasse werden stationäre Konzentrationsfelder getrennt nach Quellgruppen (die vom Benutzer definiert werden können) berechnet. Um Gl. (2) lösen zu können, werden neben der vom Benutzer ausgewählten Auswerteschicht auch die jeweils angrenzenden Auswerteschichten darüber und darunter gespeichert, um die Berechnung der mittleren Konzentrationsgradienten in alle drei Raumrichtungen zu ermöglichen. Zusätzlich werden noch die in GRAL berechneten Turbulenzparameter  $T_{Li}$  und  $\sigma_{ui}^2$  in eigenen Dateien gespeichert. Nachdem sämtliche stationären Konzentrationsfelder berechnet worden sind, kann im Anschluss die Auswertung der Geruchsstunden erfolgen. Dabei ist es möglich für jede Quellgruppe eigene Emissionsmodulationen zu definieren. Diese werden auf die jeweiligen berechneten Konzentrationsfelder angewandt und zum Schluss werden diese überlagert. Auf Basis der resultierenden Geruchsfahne aller Quellen werden dann die zur Lösung von Gl. (2) benötigten Parameter extrahiert. Damit ist es möglich, die Wirkung von kumulativen Effekten von sich überlagernden Geruchsfahnen auf  $R_{90}$  abzubilden. In Bild 2 sind beispielhaft berechnete  $R_{90}$  für eine Einzelquelle und für zwei sich überlagernde Geruchsfahnen dargestellt. Es zeigt sich eine sehr starke räumliche Differenzierung in den berechneten Werten, wobei mit zunehmender Entfernung aufgrund der homogenen Konzentrationsverteilungen niedrigere Werte für  $R_{90}$  resultieren. Interessant ist auch, dass in der Mitte einer einzelnen Geruchsfahne niedrigere Werte berechnet werden als am Rand. Im Überlagerungsbereich zweier Fahnen werden ebenso niedrigere Werte berechnet, da auch hier homogenere Konzentrationsverteilungen entstehen. Die unregelmäßige Struktur in der Abbildung liegt im Stichprobenfehler des Lagrange'sche Modells begründet.

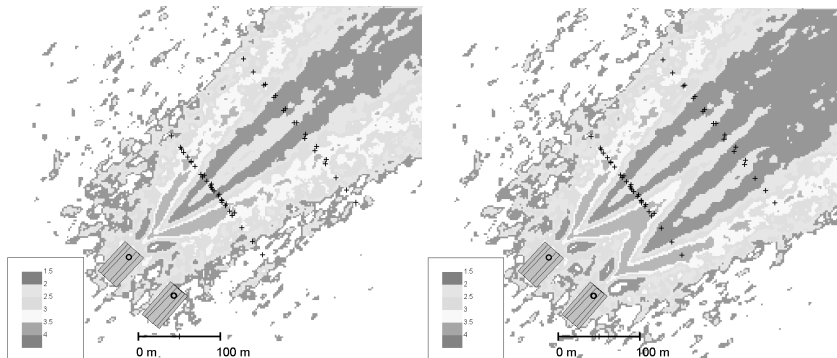


Bild 2: Berechnete räumliche Verteilung von  $R_{90}$  für eine Einzelquelle (links) und zwei sich überlagernde Quellen (rechts).

#### 4 Vergleich mit Messergebnissen

Nachfolgend werden die mit dem Modell GRAL berechneten und gemessenen Werte der mittleren Konzentration, der Konzentrationsfluktuations-Intensität  $i$  und  $R_{90}$  gegenübergestellt. Zusätzlich wurden noch die stat. Werte für das Faktor-4-Modell aufgelistet, wobei hier nochmals angemerkt werden muss, dass in diesem Ansatz auch Einflüsse der Wahrnehmungsfunktion berücksichtigt wurden. Das Faktor-4-Modell zielt also nicht nur darauf ab korrekte Werte für  $R_{90}$  zu berechnen. Die in

Tabelle 1 und

Tabelle 2 aufgelisteten Werte für das Uttenweiler und Joint Urban 2003 Experiment zeigen, dass mit dem neu entwickelten Ansatz sowohl die Konzentrationsfluktuations-Intensitäten als auch die daraus resultierenden  $R_{90}$  gut simuliert werden können. Erwartungsgemäß liegen die berechneten Werte für  $R_{90}$  etwas über den Messwerten, was im absichtlich angewendeten konservativen Ansatz für die Verteilungsfunktion der Konzentrationsfluktuationen (siehe Kap. 3.2) begründet liegt. Ein konstanter Faktor 4 wäre für die Berechnung von  $R_{90}$  zu konservativ. Inwieweit die Wahrnehmungsfunktion hier einen weiteren Einfluss auf den anzuwendenden Faktor hat wird in Kap. 5 noch kurz diskutiert werden.

Tabelle 1: Vergleich von gemessenen und berechneten Werten mit dem Modell GRAL für die mittlere Konzentration, die Konzentrationsfluktuations-Intensität und  $R_{90}$  für das Uttenweiler Experiment

	Messung	Modell	Messung	Modell	Messung	Modell	Modell
	Mittelwert [ppt]		CFI		$R_{90}$		$R_{90} = 4$
Mittel	9.76	6.63	1.03	0.87	2.43	2.81	4.00
FB	-	0.38	-	0.17	-	-0.15	-0.49
NMSE	-	1.06	-	0.40	-	0.13	0.32

Tabelle 2: Vergleich von gemessenen und berechneten Werten mit dem Modell GRAL für die mittlere Konzentration, die Konzentrationsfluktuations-Intensität und  $R_{90}$  für das Joint Urban 2003 Experiment

	Messung	Modell	Messung	Modell	Messung	Modell	Modell
	Mittelwert [ppt]		CFI		$R_{90}$		$R_{90} = 4$
Mittel	2.73	4.05	0.98	0.98	2.23	3.09	4.00
FB	-	-0.39	-	0.00	-	-0.33	-0.57
NMSE	-	1.58	-	0.53	-	0.24	0.41

## 5 Einfluss der Wahrnehmungsfunktion

Wie in [7] ausgeführt, muss zur korrekten Bestimmung einer Geruchsstunde die Häufigkeit der Geruchswahrnehmung mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$\kappa = \int_0^{\infty} P_0(c) f(c) dc \quad (3)$$

$P_0(c)$  ist dabei die Wahrscheinlichkeit einer Geruchswahrnehmung für eine bestimmte Konzentration  $c$  und  $f(c)$  die Verteilungsfunktion der Konzentrationsfluktuationen. Die Funktion  $P_0(c)$  kann im Rahmen der Olfaktometrie bestimmt werden und wird gewöhnlich durch eine logarithmische Normalverteilung beschrieben:

$$P_0(c) = 0.5 \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{\ln \left( \frac{c}{c_{GS}} \right)}{\sqrt{2\lambda}} \right) \right] \quad (4)$$

Dabei ist  $c_{GS}$  die Geruchsschwelle des jeweiligen Stoffes und  $\lambda$  das Auflösungsvermögen. Wie bereits erwähnt, kann mit dem neuen Geruchsmodell der Wert  $\kappa$  für jeden Rasterpunkt in Abhängigkeit von den Quellgeometrien, der Anzahl der Quellen und den Ausbreitungsbedingungen bestimmt werden, vorausgesetzt  $P_0(c)$  ist bekannt.

Bei der Herleitung des Faktor-4-Modells in [1] wurde letztendlich davon ausgegangen, dass eine realistische Wahrnehmungsfunktion  $P_0(c)$  ein Auflösungsvermögen von etwa  $\lambda = 1$  oder größer aufweist. In diesem Fall ergibt sich relativ unabhängig von der Form der Verteilungsfunktion  $f(c)$  ein Faktor zw. 3,6 und 4,0 für  $c_{GS}/\overline{C}$  (das bedeutet in diesen Fällen wird eine Geruchshäufigkeit  $\kappa$  von mind. 10 % erreicht und eine Geruchsstunde ausgelöst). Es ist hier also nicht entscheidend, wie die konkrete Geruchsfahne geometrisch ausgebildet ist bzw. ob es zu Überlagerungen verschiedener Geruchsfahnen kommt. Nimmt man jedoch ein höheres Auflösungsvermögen von beispielsweise  $\lambda = 0,6$ , dann zeigt sich ein deutlich höherer Einfluss von  $f(c)$  auf das resultierende Verhältnis  $c_{GS}/\overline{C}$ . Für sehr homogene Konzentrationsverteilungen (in größeren Entfernungen von einer Quelle oder auch bei Kumulation) ergibt sich ein Wert von 2,2 und bei sehr starken Streuungen der Konzentrationswerte (Exponentialfunktion für  $f(c)$ ) ein Wert von 3,0. Nimmt man für  $\lambda$  einen Wert von 0,3 an, so ergibt sich für  $c_{GS}/\overline{C}$  ein Wertebereich von etwa 1,6 bis 2,6. Je höher also das Auflösungsvermögen  $\lambda$  (je kleiner  $\lambda$ ) desto höher wird der Einfluss der Verteilungsfunktion  $f(c)$ . Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die berechneten Werte, die eine Geruchsstunde auslösen. Für hohe Werte von  $\lambda \geq 1$  beschreibt das Faktor-4-Modell die Realität besser, für Werte darunter das in GRAL implementierte neue Konzentrations-Varianz-Modell.

Tabelle 3: Berechnete Verhältnisse für  $R_{90}$  für eine Weibull-Verteilung und GRAL bzw.  $c_{GS}/\overline{C}$  für verschiedene Wahrnehmungsfunktionen, ab welcher eine Geruchsstunde ausgelöst wird

	$R_{90}$		$c_{GS}/\overline{C}$		
	Weibull	GRAL	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 1,0$
Stark homogene Konzentrationsverteilung (Formfaktor 5)	1,3	1,9	1,6	2,2	3,6
Exponentialverteilung (Formfaktor 1)	2,3	3,4	2,6	3,0	4,0

In [1] wird für die Geruchsart „Schweinestall“ einerseits ein Wert von  $\lambda = 0,6$  genannt, wobei dieser Wert direkt aus olfaktometrischen Daten gewonnen wurde, und andererseits ein Wert von  $\lambda > 1$  angegeben, welcher aus den Daten von Probanden bei einer Feldbegehung ermittelt wurde. Dieser Wert ist wahrscheinlich mit größeren Unsicherheiten behaftet, da die aufgetretenen Geruchskonzentrationen bei der Feldbegehung nur indirekt über parallel freige-

lassenes  $SF_6$  abgeschätzt werden konnten. Hier zeigt sich aber bereits die Unsicherheit in Bezug auf die Wahrnehmungsfunktion  $P_0(c)$ . Es muss darüber hinaus auch erwartet werden, dass für unterschiedliche Geruchsarten  $\lambda$  unterschiedliche Werte annehmen wird. Eigene olfaktorische Auswertungen von Messungen im LFZ Raumberg-Gumpenstein ergaben für Schweinegeruch einen Median von  $\lambda = 0,68$ .

Unter Anbetracht dieser noch bestehenden Unsicherheiten ist es letztendlich entscheidend, inwieweit modellierte Geruchsstundenhäufigkeiten mit Feldbegehungen übereinstimmen. Der große Vorteil Geruchsbelastungen auf Basis von Geruchsstundenhäufigkeiten zu bestimmen liegt ja gerade in der Möglichkeit diese entweder durch Modellrechnungen oder Feldbegehungen ermitteln zu können. Daher wird in der GIRL auch die Äquivalenz beider Methoden betont. Im nächsten Kapitel werden Vergleiche zwischen Feldbegehungen und Modellrechnungen mit GRAL für drei verschiedene Datensätze präsentiert. Die Vergleiche sind derzeit allerdings auf landwirtschaftliche Gerüche beschränkt.

## 6 Vergleich mit Feldbegehungen

Die ersten beiden Datensätze (A und B) wurden bereits etwas ausführlicher im Rahmen dieser VDI Tagungsreihe im Jahr 2015 vorgestellt (siehe [8]). Es handelt sich dabei um Feldbegehungen nach VDI 3940-1, wobei jedoch die Anzahl der Probanden nicht wie vorgeschrieben 10 Personen sondern lediglich 2 Personen umfasste. Wie in [8] ausgeführt, war es bei wenigstens einem der beiden Datensätze (Datensatz A) notwendig, die Geruchsschwelle in den Modellrechnungen an die Sensibilität der beiden Probanden anzupassen, um die Ergebnisse vernünftig mit Modellrechnungen vergleichen zu können.

Bei allen drei Datensätzen handelt es sich um Feldbegehungen im Umfeld von landwirtschaftlichen Betrieben (reine Schweinemast bzw. kombinierte Schweine- und Hühnermast). Der dritte Datensatz (Datensatz C) wurde im Rahmen des Forums Geruchs Österreich zur Modellevaluierung von Ausbreitungsmodellen generiert. Die Begehungen fanden in diesem Fall entsprechend der Norm EN16841-1 statt. Insgesamt nahmen 12 entsprechend EN13725 geeichte Probanden an den Begehungen teil. In jedem der Datensätze erfolgten 52 Begehungen über einen Zeitraum von einem halben Jahr.

Während bei den Datensätzen A und B mit Emissionsfaktoren nach [9] in den Modellrechnungen gearbeitet wurde, erfolgten beim Datensatz C mehrmalige olfaktorische Emissionsmessungen direkt bei den Kaminen des Stallgebäudes. Winddaten wurden in allen Fällen direkt vor Ort erhoben. Datensatz B ist durch eine Vielzahl an Hofstellen charakterisiert, deren Geruchsfahnen (Stallabluft aus Kaminen, Fenstern sowie mehrere Mistlagerplätze) sich überlagern. Dieser Datensatz ist also grundsätzlich dazu geeignet, um kumulative Wirkungen



zu untersuchen. Ein Vergleich zwischen Simulationsergebnissen mit GRAL unter Anwendung des Faktor-4-Modells und dem hier präsentierten Konzentrations-Varianz-Modells ist in Bild 3 dargestellt. Aufgrund der Kumulationseffekte der zahlreichen Geruchsfahnen aus den verschiedenen Quellen ergeben sich im Mittel mit dem Konzentrations-Varianz-Modell Werte für  $R_{90}$  von etwa 2,2, woraus deutlich geringere Geruchshäufigkeiten gegenüber dem Faktor-4-Modell resultieren.

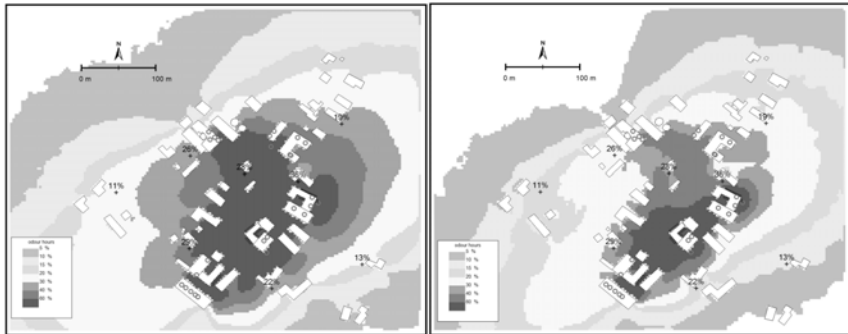


Bild 3: Modellierte Geruchsstundenhäufigkeiten für den Datensatz B. Links: GRAL mit Faktor-4-Modell; Rechts: GRAL mit neuem Konzentrations-Varianz-Modell

Ein Vergleich mit den erhobenen Geruchshäufigkeiten (Bild 4) zeigt, dass in diesem Fall das Faktor-4-Modell deutlich höhere Werte als beobachtet liefert. Bei manchen Punkten liegen die Häufigkeiten deutlich über dem Beobachtungswert inklusive Stichprobenfehler. Die mit dem neuen Konzentrations-Varianz-Modell berechneten Häufigkeiten sind hier in wesentlich besserer Übereinstimmung mit den Feldbegehungen und liegen für alle Punkte innerhalb des Stichprobenfehlers. Im Gegensatz dazu zeigt sich beim Datensatz A bei den meisten Punkten kein Unterschied zwischen den beiden Modellansätzen. Lediglich bei einem Punkt ergeben sich mit dem Faktor-4-Modell höhere Geruchshäufigkeiten, wobei der berechnete Wert aber noch innerhalb des Stichprobenfehlers der Begehungen liegt (Bild 5).

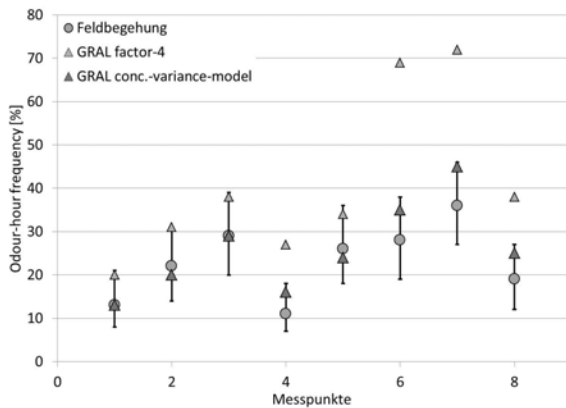


Bild 4: Vergleich gemessener und modellierter Geruchshäufigkeiten für den Datensatz B. Die vertikalen Balken zeigen den Stichprobenfehler der Begehungsdaten.

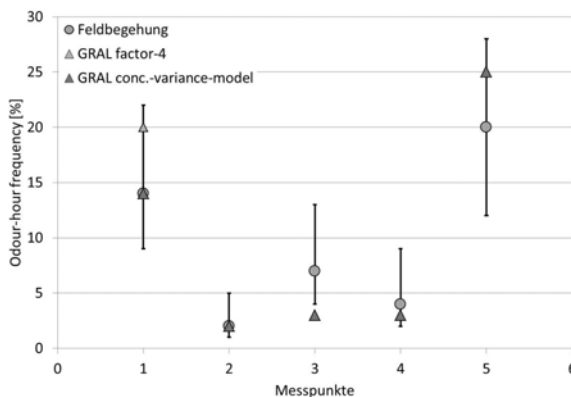


Bild 5: Vergleich gemessener und modellierter Geruchshäufigkeiten für den Datensatz A. Die vertikalen Balken zeigen den Stichprobenfehler der Begehungsdaten.

Es sei angemerkt, dass in den Berechnungen in [8] ebenfalls gute Übereinstimmungen zwischen Begehungen und Modellrechnungen mit dem Faktor-4-Modell für die Datensätze A und B erzielt werden konnten. Hierzu musste allerdings die Geruchsschwelle im Modell von 1 GE/m<sup>3</sup> auf 2 GE/m<sup>3</sup> angehoben werden, was de-facto einem Faktor-2-Modell entspricht. Für den Datensatz C (Bild 6) zeigt sich schließlich ein ähnliches Ergebnis, wie für die beiden anderen Erhebungen. Auch hier liegen die berechneten Geruchsstunden-Häufigkeiten mit dem neuen GRAL Geruchsmodell innerhalb des Stichprobenfehlers der Feldbegehungen,

während das Faktor-4-Modell bei der Hälfte der Punkte außerhalb liegt und fast alle Werte überschätzt.

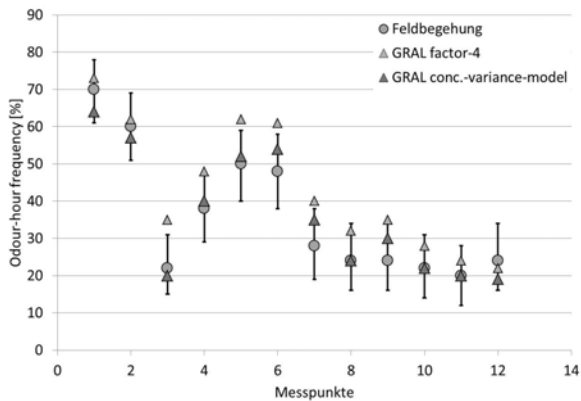


Bild 6: Vergleich gemessener und modellierter Geruchshäufigkeiten für den Datensatz C. Die vertikalen Balken zeigen den Stichprobenfehler der Begehungsdaten.

## 7 Literatur

- [1] Janicke, L. and U. Janicke: Entwicklung des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000G. Berichte zur Umweltphysik 5 (2004) Dunum: Ingenieurbüro Janicke
- [2] Oetl, D., and E. Ferrero: A simple model to assess odour hours for regulatory purposes. Atmos Environ 155 (2017) 162-173
- [3] Clawson, K.L., R.G. Carter, D.J. Lacroix, C.A. Biltoft, N.F. Hukari, R.C. Johnson, J.D. Rich, S.A. Beard, and T. Strong : Joint Urban 2003 (JU03) atmospheric tracer field tests. NOAA Technical Memorandum OAR ARL-254 (2005) 238 S
- [4] Finn, D., K. L. Clawson, R.M. Eckman, R. G. Carter, J. D. Rich, T.W. Strong, S.A. Beard, B.R. Reese, D. Davis, H. Liu, E. Russel, Z. Gao., and S. Brooks: Project Sagebrush Phase 1. NOAA Technical Memorandum OAR ARL-268 (2015) 362 pp
- [5] Bächlin, W., A. Rühling, and A. Lohmeyer : Bereitstellung von Validierungsdaten für Geruchsausbreitungsmodelle – Naturmessungen. Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, Germany (2003) 187 S
- [6] Hsieh, K.J., F.S. Lien, E. Yee : Numerical modeling of passive scalar dispersion in an urban canopy layer. J Wind Eng Ind Aerodyn (2007) 95, 1611-1636
- [7] VDI 3788 Blatt 1 : Umweltmeteorologie – Ausbreitung von Geruchsstoffen in der Atmosphäre – Grundlagen. Düsseldorf (2015) 25 S
- [8] Oetl, D., and St. Oitzl: Vergleich modellierter und durch Begehungen erfasster Geruchshäufigkeiten in der Umgebung von Tierhaltungsbetrieben anhand von zwei Praxisfällen. VDI-Tagung Gerüche in der Umwelt, 18.-19. November 2015, Karlsruhe
- [9] VDI 3894-1: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Düsseldorf (2009) S 46



# **Sensitivität der Ausbreitungsrechnung für Gerüche bei unterschiedlichen meteorologischen Eingangsdaten im Rahmen der geplanten Anpassung der TA Luft**

## **Eine Analyse der Varianz von Ergebnissen bei Ausbreitungsrechnungen und die Konsequenzen für Genehmigungsverfahren**

**R. Petrich, A. Delan, IFU GmbH, Frankenberg/Sa.**

### **Kurzfassung**

Die bevorstehende Anpassung der TA Luft wird nach derzeitigem Kenntnisstand (Referentenentwurf vom 7. April 2017) auch die Modellierung der Geruchsausbreitung betreffen. Einerseits ist zu erwarten, dass eine Vielzahl von Regelungen aus der bisherigen Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL 2008) in einem eigenen Anhang der TA Luft wiederzufinden sein wird.

Andererseits regelt der künftige Anhang 2 die Durchführung von Ausbreitungsrechnungen an vielen Stellen neu. Dazu gehört auch, dass die verwendbaren meteorologischen Eingangsdaten auf eine wesentlich breitere Basis gestellt werden. Während bisher nur im Untersuchungsgebiet gemessene oder von einer Messstation übertragene meteorologische Daten verwendet werden konnten, öffnet sich nun das Regelwerk dahingehend, auch synthetische Daten zu verwenden, die mit Hilfe von Modellen erzeugt wurden. Nach derzeitigem Kenntnisstand findet dabei keine Priorisierung zwischen übertragenen und modellierten Daten statt.

Für Gutachter eröffnet sich damit in der Praxis die Möglichkeit, zwischen übertragenen und modellierten Daten frei zu wählen, wobei die Entscheidung für die gewählte Vorgehensweise nicht fachlich begründet werden muss. Für Gutachter, aber auch die prüfenden Ämter, Behörden oder Gerichte besteht damit unter anderem die Notwendigkeit abzuschätzen, wie sensitiv die Ergebnisse bei der Ausbreitungsrechnung auf unterschiedliche Auswahl der meteorologischen Eingangsdaten reagieren.

Der vorliegende Beitrag greift diese Frage auf und vergleicht Ergebnisse

- bei Verwendung von Ausbreitungsklassenzeitreihen und Ausbreitungsklassenstatistiken,
- bei Verwendung von zeitlich repräsentativen Ausbreitungsklassenzeitreihen als Kalenderjahr und tageweise gleitend,
- bei Verwendung von übertragenen und modellierten Ausbreitungsklassenzeitreihen,

- bei Verwendung von modellierten meteorologischen Daten verschiedener Anbieter und
- bei Verwendung von modellierten meteorologischen Daten aus verschiedenen Modellansätzen.

Als Ziel des Beitrages soll erreicht werden, dass bei Gutachtern und Behörden ein Verständnis dafür entsteht, wie groß die Varianz ist, die sich aus der Verwendung verschiedenartiger meteorologischer Eingangsdaten ergibt. Letztlich muss sich aus diesem Verständnis ableiten, wie die Ergebnisse von Ausbreitungsrechnungen zur Entscheidungsfindung in Genehmigungsverfahren zu verwenden sind.

## 1. Einleitung

Seit Verabschiedung der TA Luft 2002 [1] ist die Durchführung von Ausbreitungsrechnungen in ihrem Anhang 3 geregelt und eng an das Referenzmodell Austal 2000 [2] gebunden. Die Ausbreitungsrechnungen sollen bei der Entscheidung über die Genehmigungsfähigkeit von (genehmigungsbedürftigen) Anlagen einbezogen werden und darüber hinaus auch ein Werkzeug zur Bewertung von nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen sein. Zu diesem Zweck werden mittels Ausbreitungsrechnung Kenngrößen für die Gesamtbelastung, Zusatzbelastung oder anders geartete Immissionsbeiträge bestimmt, die dann anhand des Vergleichs mit Immissionswerten oder anderen Richtwerten bewertet werden.

Seit Verabschiedung der TA Luft im Jahre 2002 hat sich aufgrund von

- einer fortgeschriebenen Konkretisierung des Anhangs 3, beispielsweise in VDI-Richtlinie 3783 Blatt 13 [3],
- einer immer leistungstärkeren Rechentechnik und
- einer immer größeren Vielfalt von begleitenden Rechenmodellen (Windfeldmodelle, Kaltluftabflussmodelle)

die Anwendung von Austal 2000 und von Lasat [4] zur gängigen Praxis bei Genehmigungsverfahren nach BImSchG etabliert. Über die Eignung der genannten Programme für diesen Zweck besteht in der Fachwelt im Wesentlichen Einvernehmen, auch wenn für besondere Fälle nahe an den Modellgrenzen immer wieder Diskussionen darüber angestoßen werden. Die Vereinheitlichung der Programme zur Ausbreitungsrechnung hat nicht zuletzt dazu beigetragen, dass eine gewisse Reproduzierbarkeit von Ergebnissen aus verschiedenen Büros oder Behörden erreicht wurde. Wenn vergleichbare Eingangsdaten angesetzt wurden, war zu erwarten, dass sich auch die Ergebnisse nicht wesentlich unterscheiden haben. Diese Eingangsdaten können grob in anlagenspezifische Daten (Emissionen, Quellgeometrie) und in standortspezifische Daten (Meteorologie, Topographie, Bebauung) eingeteilt werden, wobei es im vorliegenden Beitrag insbesondere um meteorologische Eingangsdaten gehen soll.

Über Jahre hinweg hat der Deutsche Wetterdienst als Anbieter von meteorologischen Eingangsdaten fungiert. Da die Daten bundesweit und institutionsübergreifend „aus einer Hand“ geliefert wurden, bestand auch hinsichtlich der meteorologischen Eingangsdaten für Ausbreitungsrechnungen eine komfortable Reproduzierbarkeit, die sich wie oben beschrieben bis hin zu den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnungen fortgepflanzt hat – vorausgesetzt, dass die anlagenspezifischen Eingangsdaten sachgerecht angesetzt wurden.

Im Rahmen der geplanten Anpassung der TA Luft ist ein Regelwerk an VDI-Richtlinien entstanden, das nunmehr eine wesentlich größere Breite an Anbietern und an Verfahren für die Bereitstellung meteorologischer Daten zulässt. Für die Durchführung von Ausbreitungsrechnungen können also nun unterschiedliche meteorologische Datensätze verwendet werden, die dem Regelwerk genügen, aber für die zu erwarten ist, dass sich auch die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung (wie sich zeigen wird deutlich) unterscheiden. Somit können zwei Gutachter, die beide regelkonforme meteorologische Daten ansetzen, zu verschiedenen Bewertungen eines Vorhabens gelangen. Für die Genehmigungsbehörde ergibt sich dann die Notwendigkeit, trotzdem eine sachgerechte und juristisch tragfähige Entscheidung über die Genehmigungsfähigkeit zu treffen. Es ist also abzusehen, dass man künftig bei der Entscheidung über Genehmigungsfähigkeit nicht (mehr) schlichtweg die kommagenauere Einhaltung eines Immissionswertes abprüft, sondern bei Gutachtern, Fachbehörden und Genehmigungsbehörden das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung zwar einbezieht, aber nicht mehr zum alleinigen Entscheidungskriterium macht. Nichtnumerische Fachkompetenz, die Bereitschaft Einzelfallbeurteilungen durchzuführen und ein Verständnis für die Gegebenheiten auf der Emissions- und Immissionsseite werden bei zunehmender Unschärfe der Ergebnisse von Ausbreitungsrechnung (wieder) an Bedeutung gewinnen. Dies wird Gutachter und Behörden vor höhere Anforderungen stellen.

Um diese zu bewältigen, soll der vorliegende Beitrag helfen, den unvermeidbaren Unschärfebereich, den das künftige Regelwerk für meteorologische Eingangsdaten mit sich bringt, zu verstehen und in seiner Wirkung einzuschätzen.

## 2. Meteorologische Eingangsdaten im historischen Rückblick

Im vergangenen Jahrhundert war es bei Ausbreitungsrechnungen gängige Praxis, vom Deutschen Wetterdienst eine als geeignet befundene Wetterstation herzunehmen und mit deren Ausbreitungsklassenstatistik zu rechnen. Mit einem erfassten Gesamtzeitraum von zehn Jahren, der als langfristig repräsentativ galt, stand man nur etwa alle zehn Jahre vor der Notwendigkeit, einen neuen Datensatz zu beschaffen. Auch wenn seinerzeit das zu verwendende Ausbreitungsmodell noch nicht so stringent vorgegeben war wie ab 2002, so



standen den Gutachtern, Gegengutachtern und Behörden dennoch ein einheitlicher Satz an meteorologischen Eingangsdaten bereit. Es gab mit dem Deutschen Wetterdienst nur einen Gutachter zur Auswahl einer übertragbaren Station, damit auch nur ein Messnetz, aus dem diese Auswahl getroffen wurde, und der zeitliche Rahmen für den Datensatz änderte sich nur alle zehn Jahre.

Mit der Jahrhundertwende erlangten Ausbreitungsrechnungen mit Ausbreitungsklassenzeitreihen anstelle von Ausbreitungsklassenstatistiken mehr Bedeutung und Verbreitung. Die TA Luft 2002 ließ die gleichberechtigte Verwendung von Ausbreitungsklassenstatistik und Ausbreitungsklassenzeitreihe unter bestimmten Voraussetzungen zu (Schwachwindhäufigkeit unter 20 %, kein Ansatz zeitabhängiger Emissionen, keine Beurteilung von Tagesmittelergebnissen). Zwar hat sich die Verwendung von Ausbreitungsklassenzeitreihen bis heute als „höherwertiger Datensatz“ mehr und mehr verbreitet, jedoch verleiht die verwendete zehnjährige Datenbasis nicht zu Unrecht der Ausbreitungsklassenstatistik einen Vorteil gegenüber der Ausbreitungsklassenzeitreihe, trotz der dann notwendigen Bestimmung des repräsentativen Jahres. So besteht also in dieser Epoche bereits eine Unschärfe in der verfügbaren meteorologischen Datenbasis, die sich aus der alternativen Verwendbarkeit von Ausbreitungsklassenzeitreihe und Ausbreitungsklassenstatistik ergibt. Dazu kommt noch bei Verwendung einer Ausbreitungsklassenzeitreihe, dass das seinerzeit als Kalenderjahr ermittelte repräsentative Jahr prinzipiell jedes Jahr neu bestimmt werden sollte. Für ein über mehrere Jahre hin geplantes und beantragtes Vorhaben konnte also durchaus bereits nach einem Jahr ein neuer Datensatz verpflichtend werden.

Nach einer weiteren Dekade, etwa um das Jahr 2012, trat neben dem Deutschen Wetterdienst mit der Firma Argusoft ein weiterer Anbieter von meteorologischen Daten und Übertragbarkeitsprüfungen in den Markt ein. Damit stand auch erstmals ein weiteres Messnetz als Datenquelle zur Verfügung, das der heutigen Meteogroup GmbH, vormals Meteomedia. Während Übertragbarkeitsprüfungen durch den Deutschen Wetterdienst in der Regel nur Stationen des eigenen Messnetzes betrachteten, wurden in den Übertragbarkeitsprüfungen durch Argusoft beide Messnetze, das des Deutschen Wetterdienstes und das der heutigen Meteogroup betrachtet. Zudem benutzten beide Institutionen unterschiedliche Verfahren zur Prüfung der Übertragbarkeit und zur Bestimmung des repräsentativen Jahres. Somit war unvermeidlich, dass sich für zahlreiche Vorhaben je nach Wahl des Anbieters unterschiedliche Datensätze für ein und denselben Standort als meteorologische Eingangsdaten ergeben haben. Entscheidungsträger in den Genehmigungsbehörden entkamen dieser Misere mitunter nur dadurch, dass zwei Ausbreitungsrechnungen mit den Daten je eines Anbieters gefor-

dert wurden. Es gab auch Fälle, in denen dem „amtlichen“ Gutachten des DWD a priori größerem Glauben geschenkt wurde als dem Gutachten aus der freien Wirtschaft.

Mit Erscheinen von VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 [5] im Jahre 2016 wurde die Prüfung der Übertragbarkeit meteorologischer Daten für Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft und die Bestimmung des repräsentativen Jahres erstmals über eine Richtlinie geregelt. Damit eröffnete sich auch die Möglichkeit für weitere Anbieter, meteorologische Daten bereitzustellen. Spätestens ab diesem Zeitpunkt war es dann aber für Gutachter und Behörden nicht mehr möglich, für ein Vorhaben eine erschöpfende Anzahl von Ausbreitungsrechnungen durchzuführen, um die Datensätze aller Anbieter zu berücksichtigen. Vielmehr musste sich insbesondere ein Prüfer von Immissionsprognosen nun sicher sein, dass die verwendeten (übertragenen) meteorologischen Daten den Anforderungen von VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 genügen. Als hilfreiches Werkzeug enthält die Richtlinie dazu eine Checkliste. Um rückführbare qualitätsgesicherte meteorologische Daten nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 anbieten zu können, hat die IFU GmbH als nach Kenntnis der Autoren erstes und bisher einziges Institut die Bereitstellung der Daten in ihr Qualitätsmanagementsystem übernommen und ist von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) für die Bereitstellung meteorologischer Daten für Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft akkreditiert.

VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 eröffnete weiterhin die Möglichkeit, ein repräsentatives Jahr nicht nur als ein Kalenderjahr zu bestimmen, sondern beispielsweise den Beginn auf einen beliebigen Tag des Jahres zu legen. Damit lässt sich das Maß der zeitlichen Repräsentativität bei der Auswahl eines repräsentativen Jahres ohne sonstige Einbußen deutlich erhöhen [6]. Bei Anwendung dieser Vorgehensweise gibt es dann für einen zehn Jahre langen Gesamtzeitraum fast 80.000 Möglichkeiten zur Auswahl eines repräsentativen Jahres. Der Unschärfebereich meteorologischer Eingangsdaten allein in Bezug auf die Auswahl des repräsentativen Jahres wird damit zum Kontinuum, da verschiedene Auswahlverfahren zulässig sind und sich der zugrunde gelegte Gesamtzeitraum im Prinzip von Tag zu Tag ändert.

Künftig wird es im Rahmen der angepassten TA Luft sogar gleichberechtigt zulässig sein, meteorologische Eingangsdaten nicht mehr nur von einer geeigneten Messstation zu übertragen, sondern diese mit leistungsstarken meteorologischen Modellen standortspezifisch zu erzeugen. Die VDI-Richtlinie 3783 Blatt 22 wird Regelungen zu diesen Vorgehensweisen enthalten; die Richtliniengruppe hat im Jahr 2017 ihre Arbeiten aufgenommen. Spätestens dann, wenn die Regelungen dieser Richtlinie greifen, ist zu erwarten, dass mehrere Anbieter mit verschiedenen meteorologischen Modellansätzen und unterschiedlichen Eingangsdaten für diese Modelle antreten. Die dann verfügbaren meteorologischen Eingangsdaten werden

sich in ihren Parametern als Fächer ausbreiten, dessen Breite von den Regelungen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 22 abhängig sein wird.

Zu diesem Zeitpunkt wird es dann wohl nur noch zufällig vorkommen, dass verschiedene Gutachter bei Bearbeitung der gleichen Aufgabe auch die gleichen meteorologischen Datensätze verwenden. Sie werden mit unterschiedlichen meteorologischen Eingangsdaten unterschiedliche Ergebnisse bei der Ausbreitungsrechnung erhalten.

## **2. Gegenüberstellung meteorologischer Eingangsdaten im Fallbeispiel**

Zum Vergleich von meteorologischen Eingangsdaten möge ein fiktiver Standort nahe Nürnberg dienen. Da im Norden die Messstation Nürnberg nahe dem Flugplatz Mögeldorf liegt, wird der Standort etwas südlich von Nürnberg gelegt, um realitätsnah nicht in unmittelbarer Nähe der Station zu liegen.

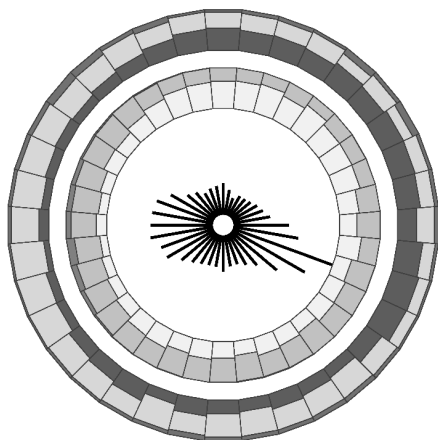
Für diesen Standort wird als Vergleichsbasis eine Übertragbarkeitsprüfung nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 durchgeführt und ein repräsentatives Jahr im Raster der Kalenderjahre bestimmt. Der dabei erhaltene Datensatz (Ausbreitungsklassenzeitreihe der DWD-Station Nürnberg, repräsentatives Jahr 2008 aus 2001 bis 2016) möge als Basisdatensatz im Sinne der in den letzten Jahren als typisch anzusehenden Bereitstellung von meteorologischen Eingangsdaten gelten.

Diesem Basisdatensatz werden vergleichend gegenübergestellt:

- eine Ausbreitungsklassenstatistik der gleichen Station Nürnberg aus dem Zeitraum 2007 bis 2016
- eine zeitlich repräsentative Ausbreitungsklassenzeitreihe vom 03.11.2004 bis 02.11.2005, die sich bei tageweise gleitender Bestimmung des repräsentativen Jahres aus dem Gesamtzeitraum von 2001 bis 2016 ergibt
- eine modellierte standortspezifische Ausbreitungsklassenzeitreihe des Anbieters Metcon [7], die für den Zeitraum 2001 bis 2010 als repräsentativ angegeben wird, aber keinen realen Zeitbezug hat
- eine modellierte standortspezifische Ausbreitungsklassenzeitreihe ermittelt aus den Basisdaten für Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes [8], die für den Zeitraum 2001 bis 2012 repräsentativ ist und den Zeitraum vom 30.11.2008 bis 29.11.2009 abbildet

Die folgenden Grafiken, erzeugt mit LTools aus dem Paket Lasat 3.4 des Ingenieurbüros Janicke [4], zeigen die statistischen Verteilungen der einzelnen Datensätze.

Nürnberg.akterm, Kalenderjahr 2008



Innere Rose: Windrichtung

Innerer Kreis: Windgeschwindigkeit

von innen nach außen (m/s): &lt;2,3; 2,3-6,9; &gt;6,9

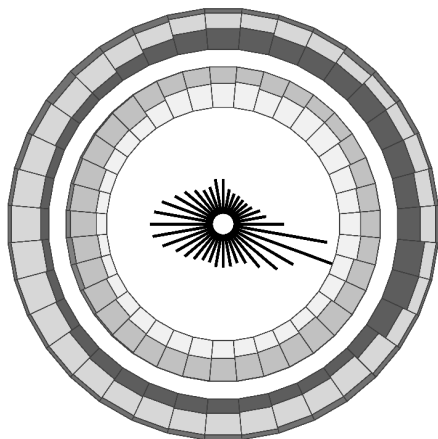
Äußerer Kreis: Stabilität

von innen nach außen: stabil, indifferent, labil

Stabilität	ua (m/s)	
sehr stabil	1,5	15,4%
stabil	2,0	24,7%
stabil/indifferent	4,5	33,9%
indifferent/labil	3,4	17,4%
labil	2,5	7,0%
sehr labil	2,3	1,6%

Bild 1: Basisdatensatz AKTerm Nürnberg, Kalenderjahr 2008

Nürnberg.aks, 2007 bis 2016



Innere Rose: Windrichtung

Innerer Kreis: Windgeschwindigkeit

von innen nach außen (m/s): &lt;2,3; 2,3-6,9; &gt;6,9

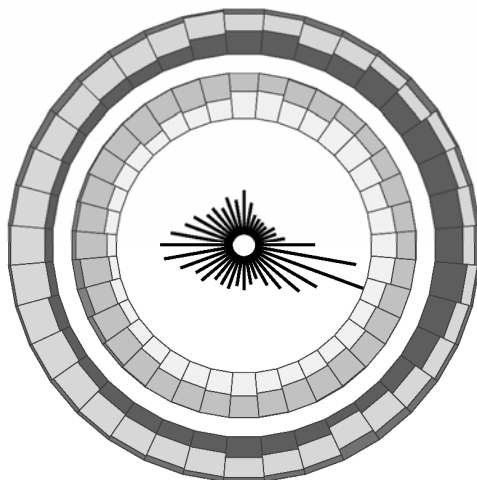
Äußerer Kreis: Stabilität

von innen nach außen: stabil, indifferent, labil

Stabilität	ua (m/s)	
sehr stabil	1,5	15,5%
stabil	1,9	24,2%
stabil/indifferent	4,3	33,6%
indifferent/labil	3,3	16,6%
labil	2,3	7,9%
sehr labil	2,3	2,2%

Bild 2: Vergleichsdatensatz AKS Nürnberg, 2007 bis 2016

Nürnberg, akterm, gleitendes Jahr vom 03.11.2004 bis 02.11.2005



Innere Rose: Windrichtung

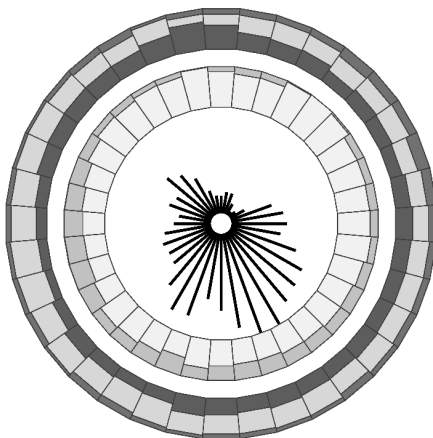
Innerer Kreis: Windgeschwindigkeit  
von innen nach außen (m/s): <2,3; 2,3-6,9; >6,9

Äußerer Kreis: Stabilität  
von innen nach außen: stabil, indifferent, labil

Stabilität	ua (m/s)	
sehr stabil	1,4	16,1%
stabil	2,0	24,0%
stabil/indifferent	4,4	32,9%
indifferent/labil	3,4	17,2%
labil	2,5	7,9%
sehr labil	2,4	1,9%

Bild 3: Vergleichsdatensatz AKTerm Nürnberg, gleitendes Jahr vom 03.11.2004 bis 02.11.2005

Nürnberg, akterm, modelliert Metcon ohne realen Zeitbezug



Innere Rose: Windrichtung

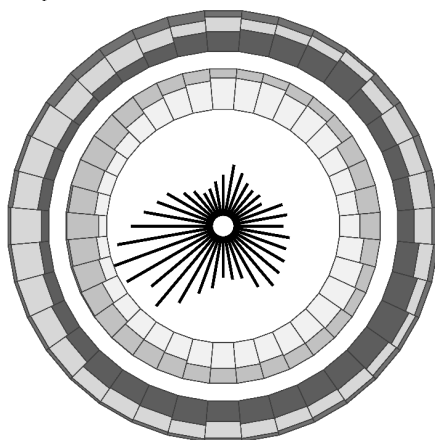
Innerer Kreis: Windgeschwindigkeit  
von innen nach außen (m/s): <2,3; 2,3-6,9; >6,9

Äußerer Kreis: Stabilität  
von innen nach außen: stabil, indifferent, labil

Stabilität	ua (m/s)	
sehr stabil	1,3	12,1%
stabil	1,6	24,2%
stabil/indifferent	2,9	33,3%
indifferent/labil	2,0	16,7%
labil	1,5	8,6%
sehr labil	1,5	5,1%

Bild 4: Vergleichsdatensatz AKTerm modelliert, Metcon, ohne realen Zeitbezug

Nürnberg, akterm, modelliert DWD vom 30.11.2008 bis 29.11.2009



Innere Rose: Windrichtung  
 Innerer Kreis: Windgeschwindigkeit  
 von innen nach außen (m/s): <2,3; 2,3-6,9; >6,9  
 Äußerer Kreis: Stabilität  
 von innen nach außen: stabil, indifferent, labil

Stabilität	ua (m/s)	
sehr stabil	1,5	20,4%
stabil	1,9	24,2%
stabil/indifferent	3,8	25,6%
indifferent/labil	3,1	18,7%
labil	2,4	9,1%
sehr labil	2,4	2,1%

Bild 5: Vergleichsdatensatz AKTerm, modelliert, TRY des DWD, vom 30.11.2008 bis 29.11.2009

Insbesondere anhand der Windrichtungsverteilungen ist zu erkennen, dass die Datensätze in ihren Parametern deutlich variieren. Die zur Übertragung geeigneten Ausbreitungsklassenstatistik und die beiden repräsentativen Ausbreitungsklassenzeitreihen der Station Nürnberg liegen dabei noch recht dicht beieinander. Deutlich unterschiedlich zu diesen gemessenen Daten fallen die modellierten Daten von Metcon und aus den TRY des DWD aus. Diese unterscheiden sich auch untereinander deutlich in der Lage von Hauptmaxima und Nebenmaxima.

Es soll und kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden, welcher der Datensätze die Realität am Standort am besten abbildet. Dazu müssten ausreichend lange Messungen vor Ort durchgeführt werden. Die Gegenüberstellung soll verdeutlichen, wie weit sich der Unschärfbereich für meteorologische Daten öffnet, wenn neben übertragenen Daten künftig auch modellierte Daten verwendbar sind. Wie groß die Auswirkungen auf Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen sind, wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

## 2. Gegenüberstellung der Ergebnisse von Ausbreitungsrechnungen

Für die verschiedenen meteorologischen Datensätze wurde eine modellhafte Ausbreitungsrechnung für Gerüche durchgeführt. Dabei wurde ebenes Gelände mit einer Rauigkeit von 0,5 m angesetzt, ein quadratisches Rechengebiet von 2 km Kantenlänge bei einer Gitterweite von 20 m, eine Punktquelle in 20 m Höhe und eine Geruchsemission von 10.000 GE/s.

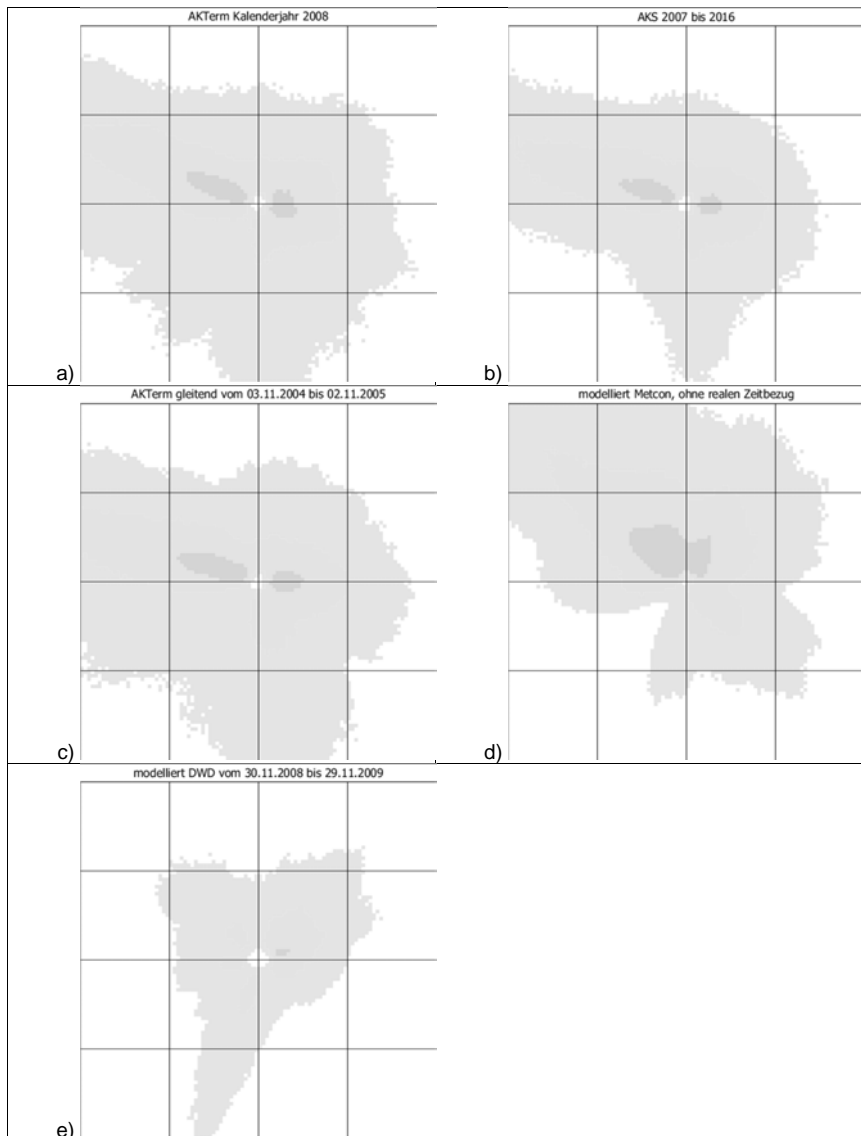


Bild 6: Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen für die verschiedenen meteorologischen Datensätze

Um die Ergebnisse visuell besser zu erfassen, wurde kein Netz von Beurteilungsflächen mit ermittelten Kenngrößen dargestellt, sondern auf eine Darstellung mit Isoplethen zurückgegriffen. Die Farbstaffelung entspricht den Werten 2 %, 5 % und 10 % für die Geruchsstundenhäufigkeit.

Wie in Bild 6 zu erkennen ist, führen die unterschiedlichen meteorologischen Eingangsdaten zu einer erheblichen Varianz bei den Ergebnissen der zugehörigen Ausbreitungsrechnung.

Die Teilbilder a), b) und c) gehören zu den übertragenen Messdaten der Station Nürnberg, einmal als AKS und für zwei repräsentative Jahreszeitreihen für das Kalenderjahr und gleitend. Für diese Ergebnisse ist ein Unschärfebereich zu beobachten, der im gewohnten Maß für Ausbreitungsrechnungen dieser Art liegt.

Anders fällt der Vergleich aus, wenn die Ergebnisse einbezogen werden, die mit modellierten Daten erhalten werden. Für Teilbild d) wird eine deutlich abweichende räumliche Verteilung erhalten, für Teilbild e) zeichnet sich außerdem ab, dass die ermittelten Kenngrößen niedriger ausfallen.

Diese Beschreibung der Ergebnisse lässt sich natürlich nicht verallgemeinern, dass beispielsweise der eine Modellansatz systematisch zu einer anderen Verteilung, der andere Modellansatz systematisch zu höheren oder niedrigeren Kenngrößen führt. Genauso wenig lässt sich hier wiederum einschätzen, welche der Ausbreitungsrechnungen von a) bis e) die tatsächliche Situation am realistischsten abbildet.

### 3. Schlussfolgerungen

Sowohl die beispielhaft untersuchten meteorologischen Datensätze an sich, als auch die Ergebnisse aus den damit durchgeführten Ausbreitungsrechnungen zeigen eine erhebliche Varianz. Dabei fällt auf, dass Datensätze, die von einer Station übertragen wurden und jeweils einen anderen (für sich aber repräsentativen) Zeithorizont beschreiben, kaum zu Abweichungen führen (innerhalb des Regelungsbereichs von VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20). Ergebnisrelevante Abweichungen treten dann auf, wenn Datensätze mit anderer Herkunft verwendet werden, hier modellierte Daten mit zwei unterschiedlichen Modellansätzen.

Die geplante Anpassung der TA Luft wird nach jetzigem Kenntnisstand das Regelwerk dahingehend öffnen, dass Datensätze wie die beiden hier beispielhaft verwendeten modellierten Daten für Ausbreitungsrechnungen gleichberechtigt verwendet werden können. Es sollte in diesem Zusammenhang versucht werden zu verhindern, dass im Zusammenhang mit modellierten Daten eine derart große Ergebnisvarianz eintritt und beispielsweise Genehmigungsverfahren nicht mehr eindeutig entschieden werden können.



Möglichkeiten, diesem Problem entgegenzuwirken, bestehen unter anderem in

- einer sorgfältigen Ausarbeitung von VDI-Richtlinie 3783 Blatt 22 (zurzeit in Bearbeitung), in der die Anforderungen an die Bereitstellung modellierter meteorologischer Daten geregelt werden,
- einer Erweiterung von VDI-Richtlinie 3783 Blatt 13 (zurzeit in Überarbeitung), so dass der Umgang mit unscharfen Ergebnisbereichen bei Ausbreitungsrechnungen geregelt ist und
- einer zunehmenden Bereitschaft bei Gutachtern und Behörden, bei den einzelnen Vorhaben projektspezifisch zu denken und zu entscheiden, anstatt für die Entscheidung über Genehmigungsfähigkeit strikt die kommagenauere Einhaltung von Immissionswerten und Richtwerten zu prüfen.

Insbesondere der letzte Anstrich bedingt einen größeren Aufwand und einen höheren Anspruch an die Fachkompetenz aller Beteiligten bei Begutachtung und Prüfung einzelner Vorhaben. Dies geht einher mit Überlegungen von Volkhausen und Hartmann [9], die ebenfalls für das Inkrafttreten der angepassten TA Luft einen quantitativ und qualitativ höheren Aufwand bei der Bearbeitung von Genehmigungsverfahren vorhersagen.

Durch die künftig komplizierter werdende Entscheidungsfindung im Genehmigungsverfahren mit Blick auf die Ausbreitungsrechnungen in Immissionsprognosen gewinnt die Sicherung der Qualität von Immissionsprognosen weiter an Bedeutung. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 13 sollte künftig regeln, wie bei der Verfügbarkeit gleichermaßen sachgerechter, aber unterschiedlicher Eingangsdaten zu verfahren ist. Eine hypothetische Forderung, dass bei solchen Mehrdeutigkeiten prinzipiell die konservativste aller Lösungsmöglichkeiten zwingend zu anzuwenden ist, lässt sich nicht durchsetzen. Im Zweifelsfall könnte in einem beliebigen weiteren (Gegen-)Gutachten eine noch konservativere Variante gefunden werden, wodurch so alle vorangegangenen Gutachten entwertet würden.

Vielmehr sollte im Gefüge der Regelwerke darauf geachtet werden, dass die fachlich orientierten Richtlinien wie VDI-Richtlinie 3783 Blatt 22 die Ergebnisvarianz so weit wie möglich einengen und die Verwendbarkeit von numerisch weitab liegenden Datensätzen (Ausreißer) nach Möglichkeit mit klaren wissenschaftlichen, fachlichen und notfalls pragmatischen Kriterien verwehren.

Die organisatorisch orientierten Richtlinien wie VDI-Richtlinie 3783 Blatt 13 sollten dann den Umgang mit der noch verbleibenden und (wie oben gezeigt unvermeidbaren) Ergebnisvarianz regeln, dass auch künftig eine objektive und nachvollziehbare Entscheidungsfindung im Genehmigungsverfahren auf der Basis von Ausbreitungsrechnungen stattfinden kann.

## Literaturverzeichnis

- [1] TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz*, vom 24. Juli 2002 (GMBI. Nr. 25 - 29 vom 30.07.2002 S. 511); in aktueller Fassung.
- [2] AUSTAL2000, Umweltbundesamt, Ing.-Büro Janicke, 2002-2016. [Online]. Available: <http://www.austal2000.de/austal2000.htm>.
- [3] VDI 3783 Blatt 13 - Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsprognose - Anlagenbezogener Immissionsschutz Ausbreitungsrechnungen gemäß TA Luft*, Berlin: Beuth-Verlag, vom Januar 2010; in aktueller Fassung.
- [4] Ing.-Büro Janicke, „Lasat 3.4 Ein Programm zur Berechnung von Schadstoffausbreitung in der Atmosphäre,“ vom Mai 2017. [Online]. Available: <http://www.janicke.de/de/lasat.html>.
- [5] VDI 3783 Blatt 20 - Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Umweltmeteorologie - Übertragbarkeitsprüfung meteorologischer Daten zur Anwendung im Rahmen der TA Luft*, Berlin: Beuth-Verlag, vom März 2017; in aktueller Fassung.
- [6] R. Petrich, „Praktische Erfahrungen bei der Prüfung der Übertragbarkeit meteorologischer Daten nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 20 (E),“ *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, pp. 311 - 315, 07/08 2015.
- [7] metSoft GbR, Dr. Klaus Bigalke, Dipl.-Ing. Matthias Rau, Dr. Christoph Winkler, „Meteorologische Software,“ [Online]. Available: <http://www.metsoft.de/>. [Zugriff am 1. September 2017].
- [8] Deutscher Wetterdienst, „TRY - Die neuen Testreferenzjahre für Deutschland,“ 2017. [Online]. Available: [http://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/try\\_zu-bbsr.html](http://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/try_zu-bbsr.html). [Zugriff am 31. Januar 2017].
- [9] W. Volkhausen und U. Hartmann, „Auswirkungen der neuen TA Luft auf die Genehmigungspraxis,“ *Immissionsschutz*, Nr. 3, pp. 92-97, 2017.



## **Nachweis der Geruchsimmissionen auf Basis umfangreicher Emissionsmessungen, anschließender Ausbreitungsrechnung, Vergleich zur Prognose und Differenzenanalyse an einem Biomassezentrum**

**Dr. Dorle Nörenberg, Steffen Klötzer, Dr. Tobias Schäfer,**  
TÜV Rheinland Energy GmbH;  
**Volker Kummer,**  
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie;  
**Sebastian Krug,** Regierungspräsidium Gießen

### **Kurzfassung**

Bei einem Biomassezentrum in Hessen sollte laut Genehmigungen nach Errichtung der Anlage eine Immissions-Abnahmemessung für Geruch durchgeführt werden. In enger Abstimmung mit Fachbehörde und genehmigender Behörde wurde diese Messung nicht konventionell in Form einer Begehung durchgeführt, sondern mittels Emissionsmessung der Einzelquellen und anschließender Ausbreitungsrechnung durchgeführt. Auf Grund dieser Durchführung wurden im Rahmen der Abnahmemessung neue Erkenntnisse zur Bestimmung von Emissionsfaktoren der einzelnen Quellen gewonnen. Mit diesem Wissen konnten mittels der anschließenden Ausbreitungsrechnung zusätzlich zur Gesamtzusatzbelastung der Anlage auch die Anteile der Geruchszusatzbelastung einzelner Quellgruppen und deren Einfluss auf die Luftqualität in der Umgebung ermittelt werden. Auf diese Weise konnte bspw. eine Quelle ausgemacht werden, die zunächst zur Überschreitung der in der Genehmigung festgeschriebenen Immissionszusatzbelastung durch die Anlage geführt hatte. Es konnte an dieser Quelle nachgebessert werden und anschließend mit erneuter Messung und Berechnung nachgewiesen werden, dass anschließend die in der Genehmigung festgeschriebene Immissionszusatzbelastung durch die Anlage in allen Teilen des Untersuchungsgebietes eingehalten wird.

### **Abstract**

At a biomass processing plant in Hessen the approval demanded the performance of an immission-acceptance control for odour after finalizing the construction. In close cooperation with the authorities this acceptance control was performed not in the conventional way by measuring the immission load. In the current study the additional immission load of the site has been determined by the odour emission measurement of all sources of the site, using its

results as input for dispersion calculations. Caused by this performance new perceptions concerning emission factors of several sources have been found. Using this knowledge and the additional dispersion calculation information concerning additional odour immission load of individual source groups of the site were established. For example one source led to exceed the additional odour load stipulated in the approval has been found easily by using these techniques. After refitting this source a fresh measurement and dispersion calculation showed compliance to all requirements of the approval.

## Einleitung

In Hessen wird ein Biomassezentrum betrieben. In der Vergärungsanlage mit anschließender Nachrotte werden getrennt erfasste Bioabfälle, sowie Garten- und Parkabfälle und in einer separaten Vergärungsanlage nachwachsende Rohstoffe verwertet. Die Anlage ist seit 2012 genehmigt. Laut Genehmigungsbescheid war nach Inbetriebnahme eine Abnahmemessung gefordert. In enger Absprache zwischen Betreiber, TÜV Rheinland, Fachbehörde (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie - HLNUG) und Genehmigungsbehörde (Regierungspräsidium Gießen – RP Gießen) wurde ein Vorgehen ausgearbeitet, dass mittels Geruchsemissionsmessung und anschließender Ausbreitungsrechnung die Abnahmemessung durch Begehung ersetzt.

In der hier vorgestellten Studie wurde die Gesamtzusatzbelastung durch die Anlage rechnerisch auf Basis von Geruchsemissionsmessungen ermittelt und mit der in der Genehmigung verankerten zulässigen Zusatzbelastung verglichen. Diese wurde aufgrund älterer Begehungsergebnisse festgelegt. Zu diesem Zweck wurde vom TÜV Rheinland ein umfangreicher Messplan zur Ermittlung der Emissionen an allen relevanten Teilquellen ausgearbeitet und mit der Genehmigungs- und der Fachbehörde abgestimmt. Die Messungen wurden zunächst gemäß Messplan durchgeführt. Es zeigte sich jedoch, dass an einzelnen Quellen, im Speziellen an nicht durchströmten Flächenquellen, vertiefende Nachmessungen durchzuführen waren, um den Anlagenbetrieb realitätsnah erfassen zu können.

Im Genehmigungsantrag wurden die Auswirkungen durch Gerüche im Umfeld der Anlage durch eine Immissionsprognose bewertet. Diese basierte in Ermangelung aktueller Messdaten im Vorfeld der Genehmigung auf Emissionsfaktoren die weitgehend der Literatur entnommen worden waren. Anhand der Messergebnisse fiel auf, dass eine Vielzahl an Emissionsfaktoren, die auf Literaturwerten basieren, messtechnisch nicht ohne weiteres nachvollzogen werden konnten, da sie unter anderen Randbedingungen (wie z.B. Abfallqualität, technische Ausstattung der Anlage etc.) ermittelt worden waren, als sie an der vorliegenden Anlage vorgefunden wurden.

Im Rahmen der messwertebasierten Ausbreitungsrechnung wurde festgestellt, dass die Anlage zum Zeitpunkt der ersten Messungen die ihr zugestandenen Immissionskenngrößen für die Geruchszusatzbelastung nicht einhalten konnte. Mit Hilfe partieller Ausbreitungsrechnungen, bei der nur einzelne Anlagenteile berücksichtigt wurden, konnte mittels Verursacheranalyse die für diese Überschreitung verantwortliche Quelle schnell und sicher identifiziert werden. Der Betreiber konnte durch den Hersteller nachbessern lassen. Nach anschließender Nachmessung und -rechnung wurden alle geforderten Immissionskenngrößen eingehalten. Die gewählte Methode (Emissionsmessung + Prognose) stellt eine gute Möglichkeit dar, auch die Einhaltung von geringen Geruchsimmissionsbeiträgen (z.B. die 2%-Irrelevanzschwelle oder wie im vorliegenden Fall, eine maximal zulässige Zusatzbelastung von 5% bzw. 6%) zu überprüfen.

Im vorliegenden Beitrag werden Messplan und -verfahren an den unterschiedlichen Quellen vorgestellt und die daraus resultierenden Ergebnisse präsentiert. Zudem werden das generelle Vorgehen und die gewonnenen Erkenntnisse, die dieses Projekt hervor gebracht hat, aus Sicht des Gutachters und der Behörden dargestellt und diskutiert.

### **Anlagen- und Quellenbeschreibung**

Das Biomassezentrum besteht aus einer Vergärungsanlage für getrennt gesammelte Bioabfälle und sonstige organische Abfälle sowie einer Vergärungsanlage für nachwachsende Rohstoffe.

In einer Biogasaufbereitungsanlage am Standort wird das in beiden Anlagen erzeugte Biogas aufbereitet und über eine Gaseinspeisestation in das Erdgasnetz abgegeben.

Die Emissionen stammen aus der Aufbereitung, der Trockenvergärung sowie der aeroben Behandlung von Biomasse und der zugehörigen Biogasaufbereitung.

Die folgende Tabelle zeigt die Quellen der Anlage.

Tabelle 1: Quellen der Anlage

Betriebs- einheit	Quelle
Vergärungsanlage	
B1	Schüttbox Grünschnitt
B2	Schüttbox Shreddermaterial (zum Verkauf)
B3	Schüttbox Astholz, Baum- und Strauchschnitt
B4	Shredder
B5	Fertigkompost (Feinfraktion Siebung)
B6	Mittelfraktion aus Siebung
B7	Grobfraktion aus Siebung
B8	Sieb (Siebungsvorgang)
B9	Fahrbetrieb von Rotte 2 ins Sieb
B10	Rotte 2 (ungesiebtetes Fertigmaterial)
B11	Rotte 1 (mit GoreTex-Plane abgedeckt)
B12	Rotte 1 frisches Material unabgedeckt
B13	Rotte 1 fertiges Material unabgedeckt
B14	Fahrbewegungen von Rotte 1 zu Rotte 2
B15	Transport aus Halle(Rotteboxen auf Rotte 1 zur Hygienisierung)
B16	Diffuse Emission aus geöffneten Hallentor Richtung Rotte 1 (Anliefern, 6 Fermenter, 2 Nachrotten)
B17	Diffuse Emission aus geöffneten Hallentor Anlieferseite (Anliefern, 6 Fermenter, 2 Nachrotten)
B18	Dachhaut Perkolatlager (Silo 11)
B19	Dachhaut Gärrestelager/Perkolatendlager (Silo 3)
B20	Gasfackel (Schwachgasfackel)
B21	Sonstige Lagerflächen
B22	Diffuse Emissionen Verunreinigung Freifächengeschehen pauschal
B23	Abtransport Fertigkompost
B24	Sonstige Betriebsvorgänge
NaWaRo-Anlage	
N1	Thermalölerhitzer
N2	Gasfackel (Spülgas)
N3	Dachhaut Gärrestelager (Silo 3)
N4	Lagerung fester Gärreste in Flachbunker Abpressvorgang
N5	Lagerung fester Gärreste in Flachbunker Einlagerung
N6	Abfahren Fugat
N7	Abfahren fester Gärrest
N8	Dachhaut Fermenter
N9	Gasaufbereitungsanlage / CO <sub>2</sub> -Desorptionskolonne
N10	Fahrsilo Gras/Mais offene Anschnittsfläche
N11	Fahrsilo Gras/Mais mit Plane abgedeckt
N12	Fahrbewegungen Silo zu Fermenterbeschickung
N13	Fermenterbeschickung (Vorgang)
N14	Fermenterbeschickungsaggregat
N15	Diffuse Emissionen Verunreinigung Freifächengeschehen

### Olfaktorische Vermessung der Quellen

In Absprache mit der Behörde wurden – mit Ausnahme einiger irrelevanter Quellen: z.B. Schüttboxen für Astholz, Baum und Strauchschnitt – nahezu alle Quellen olfaktorisch vermessen. Alle Quellen, deren Signifikanz auf Grund ihrer Emissionszeiten und –stärken außer Frage steht, sind im Rahmen der Untersuchung vermessen worden.

Die Messungen wurden an mehreren Tagen durchgeführt. Die erste Messkampagne fand an strahlungsintensiven Tagen statt, die zweite Messkampagne wurde bei geschlossener Wolkendecke und niedrigen Außentemperaturen durchgeführt. In der zweiten Messkampagne wurden hauptsächlich die Abdeckungen von Rotte 1 und der Silage sowie die Foliendächer des Perkolatlagers und des Gärrestelagers vermessen. Bei diesen Quellen zeigte es sich, dass die Emissionen dieser Anlagenteile abhängig von der Einstrahlung sind.

Zudem wurde in der ersten Messung bei der Quelle N8 (Desorptionskolonne) ein Geruchsmassenstrom festgestellt, der deutlich über dem Geruchsmassenstrom lag, der im Gutachten, das der Genehmigung zu Grunde lag, angenommen worden war. Im Rahmen der zweiten Messkampagne wurde auch diese Quelle erneut vermessen.

Eine Aufstellung der Quellen und ihrer Messergebnisse wird zusammen mit einem Vergleich zu den Emissionsmassenströmen des Genehmigungsgutachtens in Tabelle 2 gemacht.

Die Durchführung der Messungen fand folgendermaßen statt:

#### Bioabfallvergärungsanlage mit folgenden Betriebseinheiten:

Die hier nicht aufgeführten Betriebseinheiten, wurden auf Grund ihrer geringen Relevanz für das Ergebnis nicht vermessen, sondern aus dem Vorgutachten bzw. der Literatur abgeleitet.

#### B4 – Shredder:

Geplant war die Messung analog einer passiven Quelle oberhalb des Shredders. Dies war aus sicherheitstechnischen Gründen nicht realisierbar. Aufgrund des Aufbaus und der Funktionsweise des Shredders wurden die drei Messungen analog einer statischen Probenahme nach dem Lungenprinzip an einer Punktquelle durchgeführt. Als Messstelle wurde der geschlossene Bereich hinter dem Schlagwerk (Shredder) direkt über dem Transportband gewählt. Die Geschwindigkeit des Transportbandes von 1 m/s sowie die Höhe der Lamellen auf dem Band wurden als räumlicher Querschnitt zur Bestimmung des ausgetragenen Geruchsstoffstromes herangezogen.

#### B5/B6/B7 – Fein-, Mittel, Grobfraction aus Siebung:

Die Messung wurde als Mischprobe der Einzelfractionen der passiven Flächenquellen genommen

#### B8 – Siebvorgang:

Geplant war die Messung analog einer passiven Quelle oberhalb des Siebes. Dies war aus sicherheitstechnischen Gründen nicht realisierbar. Die drei Messungen wurden durch 3 mal 3 min Probenahme je Messung durchgeführt. Die Probenahme wurde mittels aktiver Absaughaube auf abgekipptem Rohmaterial vor Siebung durchgeführt. Hierbei wurde durch den Radlader das Material aus ca. 1,5 – 2,0 m auf den Boden abgekippt, um gleiche Verhältnisse wie bei Aufgabe auf das Sieb zu erzielen.



**B9 – Fahrbetrieb Rotte 2 zu Sieb:**

Probenahme auf frischen Anschnittsflächen des zu transportierenden Materials, Verrechnung mit Größe der Radladerschaufel und mittlerer Fahrwege

**B11, B12 und B13 – Rotte 1 abgedeckt, Rotte 1 frisches Material, unabgedeckt und Rotte 1 hygienisiertes Material, unabgedeckt:**

5 Teilflächen der Rottehaufen (passive Flächenquellen) wurden je Messung beprobt

**B15 – Fahrweg Rottebox zu Rotte 1, unabgedeckt:**

Auch hier wurde, ähnlich wie bei B9 das frische Material der Radladerschaufeln vermessen. Jede der 3 Messungen setzt sich aus 3 X 3 Min Beprobung unterschiedlicher Schaufelladungen zusammen.

**B16 – Diffuse Emissionen aus geöffnetem Hallentor Richtung Rotte 1:**

Für die Bestimmung des diffusen Geruchsstoffstromes bedingt durch den Fahrbetrieb der Radlader aus einer Halle in Richtung Rotte 1 wurde die Geruchskonzentration in der Halle bestimmt. Hierfür wurde in ca. 1,4 m Höhe in der Nähe des Hallentores (geschlossen) die Probenahme durchgeführt. Die Messungen wurden während eines Fermenterwechsels (max. zu erwartende zyklisch wiederkehrende Emissionen) durchgeführt. Zusätzlich wurde die Funktionsfähigkeit des Luftschleiers bei geöffnetem Hallentor untersucht. Bei der Durchfahrt des Hallentores wird eine Verdrängung von 10 m<sup>3</sup> Hallenluft pro Fahrt bei 70 Fahrten (entsprechend 700 m<sup>3</sup>) zu Grunde gelegt. Davon werden 95 % (konservativ durch Luftschleier) wieder eingesaugt. Dieser Ansatz wird bei der Berechnung des diffusen Geruchsstoffstromes herangezogen.

**B18 – Dachhaut des Perkolatlagers:**

Passive Flächenquelle, Probenahme mittels Absaughaube

**B20 - Anfahrfackel (Schwachgas):**

Aktive Punktquelle, Probenahme mittels Abgasrohr mit Sonde – Netzmessung; die Bestimmung der Abgasmenge wurde mittels Verbrennungsrechnung durchgeführt.

**B23 – Abtransport Fertigkompost:**

Die Probenahme erfolgte analog zu Quelle B9

**NaWaRo-Anlage mit folgenden Betriebseinheiten:****N1 – Thermalerhitzer:**

Absaugrohr mit Sonde (aktive Punktquelle)

**N2 - Spülfackel für Schwachgas:**

Beprobung analog zu B20

**N3 – Dachhaut Gärrestelager und N8 – Dachhaut Fermenter:**

Beprobung analog zu B18

#### N9 – Desorptionskolonne:

An der Desorptionskolonne waren zunächst keine Messöffnungen/Messstellen nach DIN EN 15259 vorhanden. Die drei Einzelmessungen wurden daher in Rücksprache mit dem Betreiber an einem Auslassventil durchgeführt. Aufgrund der erzielten Messergebnisse wurde in Rücksprache mit dem Betreiber und dem Hersteller der Kolonne ein weiterer Messtermin durchgeführt. Am zweiten Messtermin wurden die Messungen ca. 10 cm unterhalb der Mündung des Kamins mit einem Steiger durchgeführt. Der Volumenstrom konnte an dieser Stelle jedoch messtechnisch nicht bestimmt werden und wurde daher anhand von Aufzeichnungen des Betreibers über die Rohbiogasmenge und Zusammensetzung vor Desorptionskolonne sowie Menge und Zusammensetzung des aufbereiteten Biogases vor Einspeisung ins Fernnetz berechnet.

#### N11 – Fahrsilo Gras/Maissilage mit Plane abgedeckt:

Probenahme analog zu Quellen B11, B12 und B13

#### N12 – Fahrbewegungs Silo zu Fermenterbeschickung:

Probenahme analog zu Quelle B9

Mit Hilfe der Messungen, Volumenströme und Quellausdehnungen werden die Eingabeparameter für die Ausbreitungsrechnung abgeleitet.

### **Vergleich der gemessenen Emissionsmassenströme mit Literaturwerten aus dem Genehmigungsgutachten**

Im Folgenden werden die gemessenen Emissionsmassenströme denjenigen des Genehmigungsgutachtens, die weitgehend aus Literaturwerten erhoben werden mussten, gegenübergestellt.

Es wird ersichtlich, dass die messtechnisch und theoretisch ermittelten Massenströme teils größere Unterschiede aufweisen. Dies liegt zum einen an einer geringen Datenlage im Bereich der Literaturwerte und zum anderen am Ansatz der Flächenbelegung. Im Genehmigungsgutachten wurde für alle Flächen eine maximale Belegung angenommen, bei der hier durchgeführten Studie wurde der realen, mittleren Flächenbelegung Rechnung getragen, so wie sie auch in Begehungsergebnisse einfließen würde, da aufgrund von Umsetzungsvorgängen des Rottematerials bspw. auch nicht 100% der Lagerflächen belegt sein können.

Im Bereich der Ermittlung von Emissionsfaktoren besteht somit nach wie vor Bedarf an Erkenntniszugewinn. Dieser wird derzeit im Rahmen der Arbeitsgruppe der VDI 3475 Blatt 7 „Emissionsminderung – Emissionsfaktoren für die biologische Abfallbehandlung“ für biologische Abfallbehandlung fortgeführt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung zwischen Emissionsmassenströmen  
Messung gegen Literaturwerte

Quellbezeichnung	Quelle	Geruchsstoffstrom Messung in MGE/h	Geruchsstoffstrom Genehmigungsgutachten (Literatur) in MGE/h
B4	Shredder	2,80	2,9
B5 6 7	Fein-, Mittel-, Grobsiebfraktion	7,66	0,75
B8	Sieb	0,37	Keine Angabe
B9	Fahrbetrieb Rotte 2 zu Sieb	0,61	6
B12	Rotte 1 (Eintrag nicht abgedeckt)	9,14	0,5 nur Abdeckung angenommen (Minderung durch Plane um 90%)
B11	Rotte 1 (abgedeckt)	3,88	
B11	Rotte 1 (abgedeckt) NM	<NWG	
B13	Rotte 1 (fertiges Material nicht abgedeckt)	1,85	
B15	Transport Rottebox zu Rotte 1	6,07	20
B16	Diffuse Emissionen Halle (Fermenterwechsel)	11,83	2
B18	Perkolatlager	1,37	0<x<0,5
B18	Perkolatlager NM	<NWG	
B20	Spülgasfackel	0,01	0,99
B21	Sonstige Lagerflächen	Vernachlässigbar	1
B23	Diffuse Emissionen Freiflächen	Vernachlässigbar	0,51
B23	Abtransport Fertigkompost	2,18	3
N1	Thermölöhrhitzer	0,05	2,19
N2	Spülfackel für Schwachgas	1,44	20,97
N3	Dachhaut Gärrestelager	4,20	0<x<1,34
N3	Dachhaut Gärrestelager NM	0,42	
N4-N7	Lagerung Gärreste+Abfahren	Übernahme aus Genehmigungsgutachten (wenig Relevanz und messtechnisch kaum zu erfassen)	0,2; 0,2; 0,14; 0,15
N8	Dachhaut Fermenter	1,33	0<x<0,9
N8	Dachhaut Fermenter NM	<NWG	
N9	Desorptionskolonne	82,66	0,69
N9	Desorptionskolonne NM	7,38	
N9	Nachbesserung	0,3	
Informativ	Desorptionskolonne Herstellerangaben	0,15	
N10	Silage (Gras/Mais) Anschnitt	Übernahme des Literaturwertes	Literaturwerte (3 bzw. 6)
N11	Gras/Maissilage abgedeckt	0,97	Vernachlässigt
N11	Gras/Maissilage abgedeckt NM	<NWG	
N12	Fahrten Silo zu Fermenterbeschickung	5,79	4,32

Für die weitere Verwendung in den Ausbreitungsrechnungen wurden die real genutzten Flächengrößen und Betriebszeiten berücksichtigt, da nicht alle Quellen kontinuierlich emittieren.

## Modellierung

Es werden bei der Berechnung 31 Quellen berücksichtigt. Die Bezeichnung der Quellen und die Quellart sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der gemessenen Quellen zu den im Modell verwendeten Quellen und deren Quellart

id	Quellart	Impuls	Zusammensetzung der Quelle	Konti. Quelle
QUE_1	VQ	Nein	B4 Shredder	Nein
QUE_2	VFQ	Nein	B 5 6 7 Siebfraktionen + Rotte2	Ja
QUE_3	VFQ	Nein	B8 Siebvorgang	Nein
QUE_5	HFQ	Nein	B11 -Rotte1 abgedeckt	Nein
QUE_6	HFQ	Nein	B12 Rotte 1 frischer Kompost	Nein
QUE_7	HFQ	Nein	B13 Rotte 1 fertig	Nein
QUE_8	HFQ	Nein	B14: Fahrbewegungen Rotte 1 / Rotte 2	Nein
QUE_9	HFQ	Nein	B15 Fahrbetrieb Rotteboxen zu Rotte1	Nein
QUE_10	VFQ	Nein	B16 Hallentor Fermenter	Nein
QUE_11	VFQ	Nein	B23 Abtransport Fertigkompost	Nein
QUE_12	HFQ	Nein	B18 Perkolatlager	Nein
QUE_13	PQ	Thermisch	B20 Gasfackel	Nein
QUE_14	VLQ	Nein	N1 Kamin zu Thermalölerhitzer	Ja
QUE_15	PQ	Thermisch	N2 Gasfackel Spülgas	Nein
QUE_16	HFQ	Nein	N3 Dachhaut Gärrestlager	Nein
QUE_17	HFQ	Nein	N8 Hauptvergärer-Dachhaut Fermenter	Nein
QUE_18	VLQ	Nein	N9 Gasaufbereitungsanlage- Desorptionskolonne	Ja
QUE_19	VFQ	Nein	N10 Gras/Maissilagen Anschnittfläche	Ja
QUE_20	HFQ	Nein	N12 Fahrten Silo zu Fermenterbeschickung	Nein
QUE_23	VFQ	Nein	B1-B3 Schüttboxen	Ja
QUE_24	VFQ	Nein	B5 B6 B7 Fein- Mittel- Grobsieb + Rotte2	Ja
QUE_25	VFQ	Nein	B5 B6 B7 Fein- Mittel- Grobsiebfraktionen + Rotte2	Ja
QUE_26	VFQ	Nein	B5 6 7 B8 B9 und Rotte 2	Nein
QUE_28	HFQ	Nein	B19 Gärrestlager/Perkolatendlager (wie N3)	Nein
QUE_29	VQ	Nein	N4,N5,N6,N7 Lager und Fahrten	Nein
QUE_30	HFQ	Nein	N11: Mais-/Grassilage abgedeckt	Nein
QUE_31	HFQ	Nein	Fermenterbeschickungsagregat	Ja
QUE_32	HFQ	Nein	Diffuse Emissionen NaWaRo	Ja
QUE_33	HFQ	Nein	Diffuse Emissionen Biomassevergärung	Ja

Mit VQ: Volumenquelle, VFQ: Vertikale Flächenquelle, HFQ: Horizontale Flächenquelle; PQ: Punktquelle und VLQ: Vertikale Linienquelle, Conti. Quelle: Kontinuierliche Quelle

Bei der modelltechnischen Umsetzung ist es vor allem im Bereich der überdachten aber seitlich geöffneten Quellen notwendig, die Quellen unter dem Dach zusammenzufassen und flächen- sowie abstandsgewichtet auf die offenen Seiten der überdachten Quellen zu übertragen.

## Ergebnisse

Es wurden mehrere Berechnungen durchgeführt. Zunächst zeigte sich, dass es zu Überschreitungen der gemäß Genehmigung festgeschriebenen Zusatzbelastungen kam.

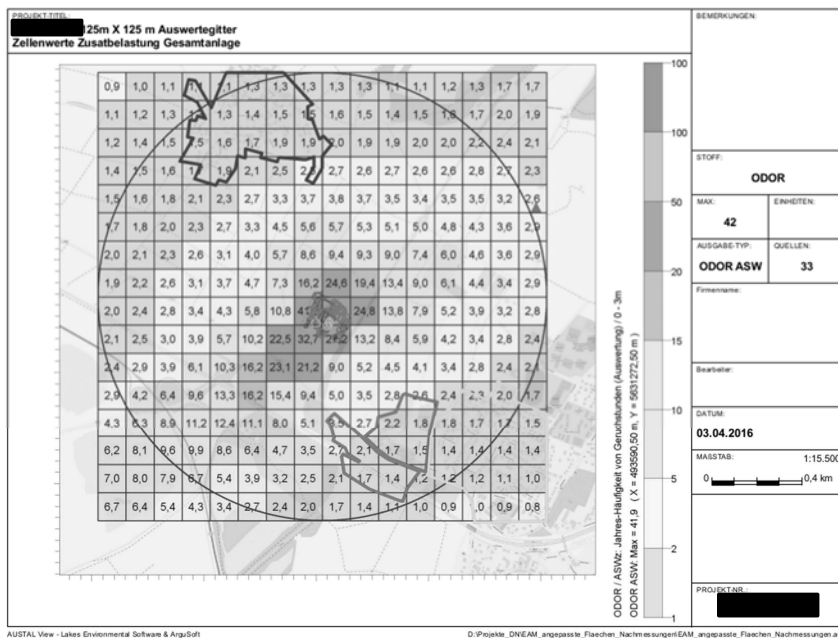


Bild 1: Immissionsprognose auf Basis der Emissionsmessungen

Laut Genehmigungsbescheid wurden folgende Immissionszusatzbelastungen durch die Anlage zugelassen:

Nahe Ortschaft 1 (blaues Polygon): 2%

Nahe Ortschaft 2 Gewerbe/Industrie (rotes Polygon): 5%

Nahe Ortschaft 2 Wohn-/Mischgebiet (grünes Polygon): 6%

Die Berechnung auf Basis der olfaktorisch vermessenen Quellen ergab 2,5% in der nahen Ortschaft 1, 3,5% im Gewerbe/Industrie der nahen Ortschaft 2 und 2,8% Geruchsstunden

bezogen auf die Jahresstunden im Wohn-/Mischgebiet der nahen Ortschaft 2. Damit war die zulässige Zusatzbelastung in der nahen Ortschaft 1 überschritten.

Mit Hilfe von zusätzlichen Berechnungen einzelner Quellgruppen konnte der Hauptverursacher dieser Überschreitungen ausgemacht werden, der für die Immissionszusatzbelastung im Bereich der nahen Ortschaft 1 maßgeblich verantwortlich ist. Es handelte sich um die Quelle N9. Für diese Quelle war im Genehmigungsgutachten ein vernachlässigbar niedriger Massenstrom von 0,69 MGE/h angenommen worden. Dieser wurde auf Grund der vom Hersteller angegebenen Konzentration von  $\text{H}_2\text{S}$  und der zugehörigen Geruchsschwelle angenommen. Bei der olfaktorischen Vermessung der Quelle zeigte sich, dass die Geruchsstoffkonzentration an dieser Quelle um etwa eine Größenordnung höher lag als im Vorgutachten angenommen worden war. Da es eine Herstellerangabe gab, dass für den Volumenstrom der Anlage ein Emissionsmassenstrom von 0,15 MGE/h von der Quelle eingehalten werden kann, wurde die Berechnung mit diesem Wert wiederholt.

Die Immissionszusatzbelastungen ließen sich durch Einhaltung dieser Herstellerangabe auf folgende Werte reduzieren:

Nahe Ortschaft 1: 1,8%

Nahe Ortschaft 2 Gewerbe/Industrie: 2,3%

Nahe Ortschaft 2 Wohn-/Mischgebiet: 1,8%

Auf Basis dieser Information konnte die für die Überschreitung verantwortliche Anlage nun gezielt nachgebessert werden. Nachdem dies erfolgt war, wurde durch Messungen der nun aktuelle Wert ermittelt. Dieser lag zwar oberhalb der Herstellerangabe, aber durch nochmalige Ausbreitungsrechnung wurde nachgewiesen, dass mit dem aktuellen realen Messwert die zulässigen Geruchszusatzbelastungen sicher eingehalten werden.

## Fazit und Ausblick

Es ist eine Geruchsimmissionsbestimmung an einer neu in Betrieb gegangenen biologischen Vergärungs- und NaWaRo – Anlage durchgeführt worden. Statt einer Rasterbegehung wurde die Untersuchung mittels olfaktorischer Vermessung der Quellen und Ausbreitungsrechnung in enger Abstimmung mit den Behörden durchgeführt, um den Ist-Zustand zu ermitteln. Dieses Vorgehen erwies sich als äußerst zweckmäßig. Im ersten Schritt der Untersuchung wurden die im Genehmigungsbescheid festgeschriebenen Immissionszusatzbelastungen in einer Ortschaft für den Ist-Zustand überschritten. Daher wurde mit Hilfe von Ausbreitungsrechnungen einzelner Quellgruppen eine Verursachermanalyse durchgeführt. Der maßgeblich für die Überschreitung verantwortliche Anlagenteil konnte somit ausgemacht und nachgebessert werden.

Im Zuge der Untersuchung wurde zudem versucht, die Quellstärken mit den im Genehmigungsgutachten angesetzten Quellstärken zu vergleichen. Die Berechnung zur Abnahme der Anlage soll im Gegensatz zu den Berechnungen, die für die Genehmigung durchgeführt werden, einen realen Anlagenzustand abbilden, da dieser Zustand auch durch eine Begehung erfasst werden würde. Es war auch auffällig, dass die Emissionsfaktoren, die im Genehmigungsgutachten verwendet worden waren, teils signifikant von den gemessenen Werten abgewichen sind. Die Datenlage der Emissionsfaktoren in der Literatur ist für verschiedene Anlagenteile dünn und mitunter veraltet. Die Veröffentlichung weiterer Erkenntnisse über Emissionsfaktoren für die oben beschriebenen Anlagenteile scheint daher dringend notwendig und sollten in die z.Z. in Arbeit befindliche VDI-Richtlinie 3475-7 , Emissionsminderung – Emissionsfaktoren für die biologische Abfallbehandlung' einfließen. Nur so ist eine verbesserte Qualität der Ausbreitungsrechnung und damit auch Sicherheit für die Anlagenbetreiber und Behörden im Hinblick auf die Einhaltung von Immissionswerten erreichbar.

# Ermittlung der diffusen Emissionen bei der Lagerung von geruchsemittierenden Schüttgütern innerhalb von Hallen

H.-C.Höfl, T. Hanselmann, C.-J. Richter,

iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG, München

## 1. Zusammenfassung

Wenn geruchsemittierende Materialien in Form von Schüttgütern innerhalb von Hallen gelagert werden, diffundieren Geruchsstoffe in die Hallenluft. Sofern die Hallen abgesaugt sind, werden die Geruchsemissionen über Schornsteine oder Ausblasungen ins Freie abgeleitet. Bei geöffneten Toren oder Fenstern kann zusätzlich geruchsbeladene Hallenluft diffus ins Freie entweichen.

Für Prognosegutachten ist es erforderlich, die zu erwartenden Geruchsemissionen zu ermitteln. Für eine Reihe von Materialien, die üblicherweise im Freien gelagert werden (Silage, Rottemieten, Festmist usw.) existieren Emissionsfaktoren in  $\text{GE}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . Für viele in Hallen gelagerte Materialien sind jedoch keine Emissionsfaktoren bekannt, so dass diese messtechnisch ermittelt werden müssen.

In unserem Beitrag stellen wir eine Methode vor, wie die Geruchsemissionen von Schüttgütern, die innerhalb von Hallen gelagert werden, vereinfacht abgeschätzt werden können. Hierzu wurden Messungen an ausgewählten Schüttgütern in einem Laborraum durchgeführt. Die Methode wurde an einer großen Lagerhalle getestet. Sie zeigt, dass die im Labor abgeleitete Methode die Größenordnung der zu erwartenden Geruchsstoffströme wiedergibt. Ein Ansatz zur konservativen Abschätzung der Emissionen wird vorgeschlagen.

## 2. Abstract

When odour-emitting materials are stored in halls, odorants diffuse permanently into the ambient hall air. In extracted plant halls the odour emissions are set free through stacks. In not extracted plant halls odour emissions can be set free diffusely through open doors or the like.

Air quality forecasts require a determination of the expected odour emissions. For some materials stored usually outdoors (e.g. silage, compost piles, solid manure, etc.) emission fac-



tors are available. However for many materials stored inside plant halls no emission factors are known so they have to be measured.

With our contribution a simplified method is presented how to estimate odour emissions from bulk materials stored inside plant halls. For this purpose measurements have been carried out in a laboratory. Afterwards the method was tested in a large plant hall. The tests confirmed that the method derived from laboratory results is able to reproduce the range of the expectable odour emissions. We propose a conservative approach to estimate the emissions.

### 3. Einleitung

Die treibende Kraft für den Übergang von Geruchsmolekülen in die Luft ist der Gradient zwischen der Konzentration an der Schüttgutoberfläche und in der Luftschicht oberhalb des Schüttguts. Weitere Einflussparameter sind die Größe der emittierenden Oberfläche, die Schüttguttemperatur, der Nachschub von Geruchsmolekülen innerhalb Schüttguts usw. Sofern im Luftraum oberhalb der Schüttgutfläche eine Konzentrationssättigung vorliegt, treten gleich viele Geruchsmoleküle aus der Oberfläche heraus wie hinein.

In Lagerhallen für Schüttgüter ist davon auszugehen, dass aufgrund des natürlichen Luftwechsels immer ein ausreichend hoher Konzentrationsgradient vorhanden ist. D.h., die Sättigungskonzentration über dem Schüttgut ist üblicherweise deutlich höher als die Konzentration in der Hallenluft. Ferner ist aufgrund des Luftaustauschs von einem turbulenten Stoffübergang Schüttgut – Luft auszugehen, der deutlich größer als die molekulare Diffusion ist. Allerdings fehlen in der Halle definierte Windströmungen, so dass insgesamt von einem geringeren Stoffübergang als im Freien auszugehen ist.

Die wichtigsten Parameter, um den Austritt von Geruchsmolekülen aus einem Schüttgut abzuschätzen, sind also:

- Die Sättigungskonzentration über dem Schüttgut
- Die Größe der emittierenden Oberfläche

Weitere Parameter wie die Schüttguttemperatur spielen ebenfalls eine Rolle, sofern die Sättigungskonzentration deutlich temperaturabhängig ist. Eine konservative Abschätzung erhält man, wenn die Sättigungskonzentration bei einer Temperatur ermittelt wird, die höher als die übliche Schüttguttemperatur ist.

Zur Abschätzung des Geruchsstoffstroms, der von der Schüttgutoberfläche in die Hallenluft emittiert wird, kann folgende Beziehung angesetzt werden:

$$Q = C_S \cdot A \cdot w \quad (1)$$

wobei

$Q$  = Geruchsstoffstrom in GE/h

$C_S$  = Sättigungskonzentration über dem Schüttgut in GE/m<sup>3</sup>

$A$  = Oberfläche des Schüttguts in m<sup>2</sup>

$w$  = Proportionalitätsfaktor in m/h

Der Proportionalitätsfaktor  $w$  hat die Einheit m/h, so dass er als Diffusionsgeschwindigkeit interpretiert werden kann. Sofern die Diffusionsgeschwindigkeit bekannt ist, kann der Geruchsstoffstrom aus der Sättigungskonzentration und der emittierenden Oberfläche abgeschätzt werden.

#### 4. Messungen

Um die Größenordnung der Diffusionsgeschwindigkeit zu ermitteln, wurden von uns Messungen an unterschiedlichen streufähigen Gütern durchgeführt. Zum Einsatz kamen Hundefutter, Fischfutter, Düngemittel, Rinde und Torf. Die untersuchten Güter sind biologisch weitgehend inert, neigen also nicht zu Kompostierungs- oder Vergärungsprozessen.

Zur Ermittlung der Sättigungskonzentration wurde das zu untersuchende Gut in eine Box gefüllt, die mit einem dichten Deckel verschlossen wurde. Nach einer Anreicherungszeit von etwa einer Stunde wurde die Sättigungskonzentration im Luftraum über dem Gut ermittelt, indem die Luft langsam oberhalb der Oberfläche abgesaugt wurde. Über eine kleine Öffnung im Deckel konnte Umgebungsluft nachströmen.

Anschließend wurde das Gut in einen Behälter mit größerer Oberfläche umgefüllt und für etwa zwei Stunden in einen etwa 30 m<sup>3</sup> großen Raum mit geöffnetem Klappfenster gestellt. Voruntersuchungen, bei denen n-Butanol verdunstet und die Konzentration mittels FID gemessen wurde, zeigten, dass sich die Raumluftkonzentration nach dieser Zeit kaum noch ändert. Um die Gerüche gleichmäßig im Raum zu verteilen, wurde ein Umluftventilator betrieben.

Der diffus aus dem Raum austretende Geruchsstoffstrom kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$Q = C_R \cdot L \cdot V \quad (2)$$

wobei

$Q$  = Geruchsstoffstrom in GE/h

$C_R$  = Raumlufkonzentration in GE/m<sup>3</sup>

$L$  = Luftwechselrate in 1/h

$V$  = Volumen des Raumes in m<sup>3</sup>

Durch Gleichsetzen der Gleichung (1) und (2) kann die Diffusionsgeschwindigkeit berechnet werden:

$$w = \frac{C_R \cdot L \cdot V}{C_S \cdot A} \quad (3)$$

wobei

$w$  = Diffusionsgeschwindigkeit in m/h

$C_R$  = Raumlufkonzentration in GE/m<sup>3</sup>

$L$  = Luftwechselrate in 1/h

$V$  = Volumen des Raumes

$C_S$  = Sättigungskonzentration in GE/m<sup>3</sup>

$A$  = Oberfläche des Schüttguts in m<sup>2</sup>

Die Luftwechselrate zur Ermittlung des diffusen Volumenstroms  $V$  wurde entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3880 [2] ermittelt. Die Werte lagen bei allen Messungen gut auf einer Geraden, wie Bild 1 beispielhaft zeigt.

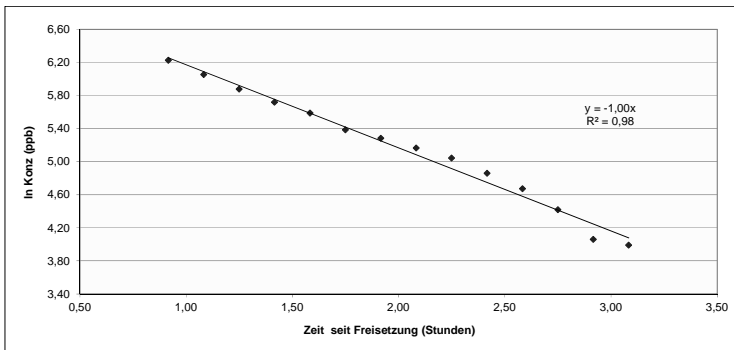


Bild 1: Zeitliche Abnahme des natürlichen Logarithmus der CO<sub>2</sub>-Konzentration. Von den CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wurde der Hintergrund von 400 ppm abgezogen.

## 5. Ergebnisse

Die Messergebnisse und die daraus abgeleiteten Diffusionsgeschwindigkeiten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Je Material wurden mehrere Proben entnommen und entsprechend den Vorgaben der DIN EN 13725 [1] und der VDI-Richtlinie 3884 [3] analysiert. Die Sättigungskonzentration wurde jeweils vor Beginn und nach Beendigung der Raumlufbmessungen, also einige Stunden später, ermittelt. Hundefutter, Fischfutter und Rindenmulch zeigten fast keine Abnahme, d.h., diese Güter emittierten zeitlich relativ gleichmäßig. Bei Dünger und insbesondere Torf war die Sättigungskonzentration nach den Raumlufbmessungen geringer. In Tabelle 1 sind jeweils die Mittelwerte dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Messungen (Mittelwerte)

Material	Oberfläche [m <sup>2</sup> ]	Sättigungskonz. [GEm <sup>3</sup> ]	Geruchsstoffkonz. im Raum [GE/m <sup>3</sup> ]	Luftwechselrate [1/h]	Geruchsstoffstrom [GE/h]	Diffusionsgeschw. [m/h]
Hundefutter	0,25	3460	125	1,1	4125	4,8
Fischfutter	0,25	455	11*	1,9	627	5,5
Rindenmulch	0,50	2370	50	1,0	1500	1,3
Dünger	0,50	4200	115	1,2	4140	2,0
Torf	0,50	380	32	0,9	864	4,5

\* Nachweisgrenze

Weshalb Dünger und Rindenmulch eine deutlich geringere Diffusionsgeschwindigkeit aufweisen als die anderen Materialien, kann ohne weitere Untersuchungen nicht ermittelt werden. Ein Grund könnte die emittierende Oberfläche sein, die bei porenhaltigen Materialien größer als bei glatten Flächen ist. Hierauf weisen Ergebnisse hin, die beim Verdunsten von flüssigem n-Butanol gewonnen wurden. Sie ergaben eine Diffusionsgeschwindigkeit in der Größenordnung von 1 m/h. Der von uns untersuchte Dünger lag in Form von Kügelchen mit glatter Oberfläche vor. Bei Rindenmulch war die Oberfläche allerdings stark strukturiert, so dass die o.g. Erklärung nicht greift.

## 6. Ergebnisse an einer Lagerhalle für Getreide, Düngemittel und Futtermittel

Die Methode wurde an einer großen Lagerhalle für Getreide, Düngemittel und Futtermittel geprüft. Das Raumvolumen der Halle betrug etwa 9.000 m³.

Die Luftwechselrate wurde zu 1,5 h<sup>-1</sup> ermittelt, wobei Schwefelhexafluorid als Tracergas verwendet wurde.

Aus dem diffusen Volumenstrom von 13.500 m³/h und der mittleren Geruchsstoffkonzentration von 30 GE/m³ in der Raumluft errechnet sich der Geruchsstoffstrom zu 405.000 GE/h.

Während der Probenahme waren die Lagerboxen mit Mais und unterschiedlichen Düngemitteln belegt. Tabelle 2 enthält die gelagerten Schüttgüter, die Oberflächen der Güter sowie die über den Gütern gemessenen Sättigungskonzentrationen.

Tabelle 2: Belegung der Schüttgutboxen, Oberfläche des lagernden Produkts und Sättigungskonzentration über den unterschiedlichen Produkten

Box Nr.	Schüttgut	Oberfläche (m²)	Sättigungskonzentration (GE/m³)
1	Maiskörner	60	272
2	Düngemittel A	40	182
3	Düngemittel B	50	485
4	Düngemittel B	10	485
5	Düngemittel C	30	182
6	Düngemittel B	30	485
7	Düngemittel D	20	153
8	Sackware	–	–
9	Düngemittel E	55	96
	<b>Summe:</b>	<b>295</b>	

Aus den Oberflächen und den Sättigungskonzentrationen kann eine flächengewichtete mittlere Sättigungskonzentration von 275 GE/m³ abgeleitet werden. Die Gesamtoberfläche der Produkte betrug am Messtag 295 m².

Bezieht man die flächengewichtete Sättigungskonzentration auf den Geruchsstoffstrom von 405.000 GE/h und auf die Oberfläche von 297 m², so kann aus Formel (3) eine Diffusionsgeschwindigkeit von ca. 5 m/h abgeleitet werden.

## 7. Fazit

Die Messungen zeigen, dass die Diffusionsgeschwindigkeit aus Schüttgütern, die in Hallen gelagert werden, in der Größenordnung von 5 m/h liegt. Durch Multiplikation der Sättigungskonzentration über dem Schüttgut mit dieser Diffusionsgeschwindigkeit erhält man einen Emissionsfaktor in  $\text{GE}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ .

Falls die Luftwechselrate ausschließlich durch eine Raumluf tabsaugung bestimmt wird, kann damit die Geruchsstoffkonzentration in der Fortluft abgeschätzt werden. Ebenso ist es möglich, den diffus aus Fenstern und Toren freigesetzten Geruchsstoffstrom abzuschätzen.

Wenn Schüttgüter angegraben werden, können tiefere Schichten mit höherem Geruchspotenzial freigelegt werden. Die Sättigungskonzentration kann auch für diesen Fall ermittelt werden, indem das Schüttgut in der Box mit einem geeigneten Mechanismus gerührt oder indem die Box geschüttelt wird.

Die Diffusionsgeschwindigkeit wurde in Räumen ohne definierte Strömung ermittelt. Ferner wurden nur Güter untersucht, die biologisch weitgehend inert waren, also keine Erwärmung zeigten.

## Literaturhinweise

- [1] DIN EN 13725: Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie. Berlin: Beuth Verlag, Juli 2003:
- [2] VDI 3880: Olfaktometrie. Statische Probenahme. Berlin: Beuth Verlag, Oktober 2011
- [3] VDI 3884 Blatt 1: Olfaktometrie. Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie. Ausführungshinweise zur Norm DIN EN 13725. Berlin: Beuth Verlag, Februar 2015



## **Emissions- und Immissionsmessungen von Gerüchen an einer Anlage der Holzwerkstoffindustrie**

### **Odour emission measurement and determination of odour in ambient air in a plant of the wood-based panels industry**

**D. Heidler**, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau;  
**M. Sc. K. Braunmiller**, Müller-BBM GmbH, Karlsruhe;  
**Dipl.-Geol. B. Zimmermann**, Müller-BBM GmbH, Gelsenkirchen

#### **Kurzfassung**

Das Forschungsvorhaben „Emissions- und Immissionsmessungen von Gerüchen in einer Anlage der Holzwerkstoffindustrie“, welches im Rahmen des Ressortforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit durch das Umweltbundesamt (FKZ 3715 51 307 0) vergeben wurde, soll dazu beitragen, die Zusammenhänge zwischen erhöhten Emissionskonzentrationen bei gleichzeitig verminderter Beschwerdesituation zu erklären und damit zu einer Konkretisierung einer Regelung für Geruchsemissionen bei Anlagen der Holzwerkstoffindustrie beizutragen.

Innerhalb des Vorhabens wurden die anlagenbezogenen Geruchsemissionen und Geruchsimmissionen einer Holzwerkstoffanlage gemessen, die prognostizierten Geruchsimmissionen einer Ausbreitungsrechnung mit den real gemessenen Geruchsimmissionen verglichen und auf ihre Plausibilität geprüft.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die auf Basis der Emissionsmessungen prognostizierten Geruchsimmissionen der Ausbreitungsrechnung mit den real gemessenen Geruchsimmissionen gut übereinstimmen.

Bei der untersuchten Anlage konnten trotz der Schwankungen der Geruchsemissionen nachvollziehbare und plausible Aussagen über die tatsächliche anlagenbezogene Geruchsbelastung im Untersuchungsgebiet anhand von Geruchsimmissionsprognosen gemacht werden.

Abschließend ergaben sich im Rahmen der Forschungsarbeiten aber auch Problemstellungen, die innerhalb des Projektes nicht geklärt werden konnten, z. B. bezüglich der Geruchsprounabnahme in komplexen, feuchten (ggf. übersättigten) Abgasströmen mit hohen Temperaturen und enthaltenen Aerosolen und Partikeln, der Bewertung der Belästigungsrelevanz von



natürlichen Geruchsqualitäten (z. B. frisches Holz) sowie der Ermittlung von Geruchsintensitäten mittels Ausbreitungsrechnungen. Diese Aspekte könnten der Gegenstand zukünftiger Forschungsprojekte sein.

### **Abstract (optional)**

The research project "Emission and immission measurements of odours in a plant of the wood-based panels industry", which was awarded by the German Federal Environmental Agency (FKZ 3715 51 307 0) within the framework of the Federal Ministry for Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, is intended to explain the correlation between increased emission concentrations with simultaneously reduced emergence of complaints, and thereby contributing to a specification of a control system for odour emissions from facilities of the wood-based panels industry.

Within the project, the facility-related odour emissions and odour immissions of a wood-based material plant were measured, the predicted odour immissions of a propagation calculation were compared with the actual measured odour immissions and evaluated with respect to their plausibility.

In summary, it can be said that the odour emissions projected on the basis of the emission measurements of the propagation calculation are in good agreement with the actually measured odour emissions.

Despite the fluctuations in the odour emissions, it was possible to make comprehensible and plausible statements about the actual facility-related odour pollution in the investigated area of the plant chosen for the analysis by means of odour immission predictions.

Finally, however, the research work also revealed problems which could not be clarified within the project, e.g. regarding the odour sampling in complex, humid (possibly supersaturated) exhaust gas streams with high temperatures and included aerosols and particles, the evaluation of the nuisance relevance of natural odour qualities (e.g. fresh wood) as well as the determination of odour intensities by propagation calculations. These aspects could be the subject of future research projects.

## **1. Anlass und Zielsetzung der Untersuchung**

In den 90er Jahren wurden auf Grund der allgemeinen Anforderung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) des Jahres 1986 sowie der ersten Fassung der Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) bei einigen Spänetrocknungsanlagen und Spanplattenpressen der Holzwerkstoffindustrie im Genehmigungsbescheid Emissionswerte für Gerüche im Abgas festgesetzt. Die in den Genehmigungsbescheiden festgelegten Geruchsemissi-

onswerte wurde in den 90er Jahren und auch Anfang der 00er Jahre überwiegend eingehalten. Inzwischen werden jedoch deutlich höhere Geruchsemissionen gemessen als zur Zeit der Festlegung der Geruchsemissionswerte und das, obwohl sich die Anlagentechnik zur Geruchsminderung in diesen Anlagen seit dieser Zeit verbessert hat. Auf der Immissionsseite zeigte sich dieses Problem, z. B. in Form von einer höheren Zahl von Beschwerden über Geruchsbelästigungen allerdings nicht.

Das Forschungsvorhabens „Emissions- und Immissionsmessungen von Gerüchen in einer Anlage der Holzwerkstoffindustrie“, welches im Rahmen des Ressortforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit durch das Umweltbundesamt (FKZ 3715 51 307 0) vergeben wurde, soll dazu beitragen, die Zusammenhänge zwischen erhöhten Emissionskonzentrationen bei gleichzeitig verminderter Beschwerdesituation zu erklären und damit zu einer Konkretisierung einer Regelung für Geruchsemissionen bei Anlagen der Holzwerkstoffindustrie beizutragen. Ziel des Vorhabens ist es daher, ausgehend von den Geruchsemissionen einer Anlage zur Herstellung von Holzwerkstoffen, die Immissionssituation mittels Ausbreitungsrechnung zu prognostizieren und diese Prognose anhand einer Rasterbegehung zur Ermittlung der anlagenspezifischen Geruchsimmissionen zu überprüfen. Die Ergebnisse werden anschließend einander gegenübergestellt, Abweichungen diskutiert und geprüft, ob die Randbedingungen einen Abgleich von Prognose und Begehung zulassen.

## 2. Methodik

Zu diesem Zwecke wurde der Untersuchungsumfang des Forschungsvorhabens in folgende Punkte gegliedert:

1. Messung und Dokumentation von Geruchsemissionen
2. Geruchsimmissionsprognose durch Ausbreitungsrechnung
3. Messung, Dokumentation und Auswertung von Geruchsimmissionen
4. Vergleichende Auswertung der berechneten und gemessenen Geruchsimmissionen

Die Messungen der Geruchsemissionen und -immissionen wurden an einem Holzwerkstoffwerk mit Spanplattenanlage durchgeführt.

### 2.1. Geruchsemissionsmessungen

Im Rahmen der Emissionsermittlung wurden an sieben geführten repräsentativen Emissionsquellen einer Anlage Geruchsemissionsmessungen durchgeführt. Um den Jahresgang abzubilden und potenzielle Schwankungen der Emissionen zu erfassen, wurden die Geruchsstoffkonzentrationen innerhalb des Vorhabens viermal, repräsentativ über ein Jahr ver-

teilt, an den festgelegten Emissionsquellen gemessen. Es ergaben sich vier Emissionsmesskampagnen, welche zeitlich innerhalb der Kalenderwochen 11, 24, 34 und 43 des Jahres 2016 erfolgten, wobei die Messungen an allen sieben Emissionsquellen jeweils an einem Messtag erfolgten. Aufgrund hoher Feuchtegehalte im Abgas wurde im Rahmen der Messungen am Zentralkamin eine dynamische Vorverdünnung des Abgases während der Probenahme erforderlich, um eine Kondensation innerhalb der Probenahmebeutel zu unterbinden. An der betreffenden Emissionsquelle wurden parallel zudem Proben mit statischer Vorverdünnung entnommen, um mögliche Auswirkungen der Art der Vorverdünnung auf die Messergebnisse verifizieren zu können. In Summe ergaben sich hieraus je Emissionsmesskampagne 24 und im gesamten Vorhaben 96 olfaktometrisch zu analysierende Geruchsproben. Die olfaktometrische Auswertung der Proben erfolgte mit je zwei Prüferkollektiven an den einzelnen Messtagen, wobei von einem Prüferkollektiv pro Messtag nicht mehr als 15 bis 16 Geruchsproben olfaktometrisch untersucht wurden. Die olfaktometrische Auswertung der Proben erfolgte innerhalb von sechs Stunden nach der Probenahme in einem geruchsneutralen Raum in der vom Produktionsbetrieb örtlich getrennten Verwaltung des Anlagenbetreibers. Zusätzlich wurden an einem Messtag die Geruchsemissionen von zwei diffusen Flächenquellen (Langholzlager und Recyclingholzlager) gemessen, um auch für diese Quellen belastbare Emissionsfaktoren für die Ausbreitungsrechnung zu ermitteln. Die Messungen erfolgten unter Verwendung belüfteter Probenahmehauben gemäß VDI-Richtlinie 3880 [1]. Die Geruchsstoffkonzentrationen weiterer geführten Emissionsquellen der Anlage wurden auf Grundlage der durchgeführten Emissionsmessungen abgeschätzt.

Die Durchführung der Probenahmen sowie die olfaktometrische Auswertung der Proben erfolgte nach den Vorgaben der DIN EN 13725 [2] in Verbindung mit der VDI-Richtlinie 3884 Blatt 1 [3] sowie der VDI-Richtlinie 3880 [1].

## 2.2. Ausbreitungsrechnungen

Anhand der olfaktorisch bestimmten Geruchsemissionen erfolgten Ausbreitungsrechnungen mittels des Lagrange'schen Partikelmodells AUSTAL2000 unter Berücksichtigung räumlich repräsentativer meteorologischer Daten des Jahres 2016. Mit Ausnahme des Zentralkamins wurden hierbei die geometrischen Mittelwerte über alle Einzelmessungen herangezogen. Für den Zentralkamin wurden alternativ die drei Emissionsansätze („geom. Mittel“, „best case“, „worst case“) untersucht.

Die Ableitbedingungen der Emissionsquellen des Holzwerkstoffwerkes reichen von bodennahen diffusen Emissionsquellen mit Ableithöhen  $h_a$  von 0 m über Geländeoberkante (GOK), über geführte Emissionsquellen mit  $h_a$  zwischen 6 und 34 m ü. GOK bis hin zum Zentralka-

min mit  $h_0 = 76,9$  m ü. GOK. Die Ausbreitungsrechnungen erfolgten daher unter Berücksichtigung der quellenahen Gebäudestrukturen.

Bei der Festlegung der Lage des Auswerterasters und der Teilflächen wurde in diesem Zuge auf eine möglichst hohe Vergleichbarkeit mit den Beurteilungsflächen der Rasterbegehung geachtet.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes erfolgten sowohl Ausbreitungsrechnungen mit unterschiedlichen Qualitätsstufen und Grenzschichtmodellen.

Neben der Berechnung der Geruchsstundenhäufigkeiten gemäß Nr. 3 der GIRL [4] erfolgte zudem auch die Bestimmung der Intensität der Geruchseinwirkungen gemäß Nr. 5 GIRL. Die Intensitätsbestimmung wurde dabei unter Berücksichtigung der Richtlinien VDI 3940 Blatt 3 [5] und Blatt 5 [6] in Verbindung mit den ergänzenden Ausführungen zur flächenhaften Intensitätsbewertung [7] durchgeführt.

### 2.3. Geruchsimmissionsmessungen

Zur Messung der Geruchsimmissionen wurde eine Rasterbegehung nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3940 Blatt 1 [8] in der Zeit von Januar bis Dezember 2016 im Umfeld der Anlage an 34 Messpunkten und daraus resultierenden 17 Rasterflächen mit einer Flächengröße von 250 m × 250 m durchgeführt. Die Messpunkte wurden im Messzeitraum 26-mal durch Prüferinnen und Prüfer begangen. Diese Begehungen wurden gleichmäßig über alle Tages- und Nachtzeiten sowie über alle Wochentage im Messzeitraum verteilt. Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass der Begehungsumfang annähernd gleichmäßig auf die 12 eingesetzten Prüferinnen und Prüfer verteilt wurde. Kein Prüfer nahm mehr als 20 % der in Summe 104 Begehungstermine wahr.

### 3. Ergebnisse der Untersuchung

Die Ergebnisse der durchgeführten Geruchsemissionsmessungen bestätigen die bestehenden Erfahrungen aus vergangenen Messungen an Anlagen der Holzwerkstoffindustrie<sup>1</sup>.

An Emissionsquellen ohne thermische Einwirkung auf die Holzspäne (z. B. Mühlen, Siebe, Sichter, Streumaschinen etc.) ist eine gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse gegeben. Die ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen dieser Emissionsquellen zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den einzelnen Messterminen. Sie liegen zudem im Erwartungsbereich des Projektbegleitkreises. Die Abweichungen zwischen der Geruchsstoffkonzentration der Einzelmessungen und dem geometrischen Mittel aller Einzelmessungen an einer

---

<sup>1</sup> Erfahrungen der Mitglieder des Projektbegleitkreises

Emissionsquelle liegt in über 80 Prozent der Fälle bei kleiner 3 dB<sub>od</sub>. Unter Beachtung möglicher Schwankungen der Geruchsemissionen aufgrund der Variationsbreite des natürlichen Rohstoffes Holz liegen die Messergebnisse damit innerhalb der üblichen Schwankungsbreite olfaktometrischer Messungen.

Im Abgas der Emissionsquellen mit thermischer Einwirkung auf die Holzspäne (gemeinsam über den Zentralkamin abgeleitete Abgase der Spänetrocknung und der Heißpresse) ergibt sich eine geringe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse, bei im Wesentlichen vergleichbaren Betriebsbedingungen. Auch dies entspricht den Erfahrungen des Projektbegleitkreises, da in der Vergangenheit an vergleichbaren Anlagen der Holzwerkstoffindustrie ähnliche Ergebnisse für diese Betriebselemente ermittelt wurden. Die Abweichungen zwischen der Geruchsstoffkonzentration der Einzelmessungen und dem geometrischen Mittel aller Einzelmessungen liegt hier in nur knapp 70 Prozent der Fälle bei kleiner 3 dB<sub>od</sub>.

Offensichtlich ist, dass bei den Messungen mit dynamischer Vorverdünnung deutlich größere Schwankungsbreiten auftreten als bei den Messungen mit statischer Vorverdünnung.

Die Geruchsstoffkonzentrationen der Einzelmessungen mit statischer Vorverdünnung liegen weitestgehend innerhalb einer Spannbreite von 2.000 bis 10.000 GE<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>. Diese Spannbreite wird auch in der VDI-Richtlinie 3462 Blatt 2 [9] für Geruchsemissionen aus der indirekten Holzspänetrocknung bei Spanplattenanlagen angegeben. Die Abweichungen zwischen den Werten der Einzelmessungen und dem geometrischen Mittel alle Einzelmessungen an der betreffenden Emissionsquelle liegen in über 85 Prozent der Fälle kleiner 3 dB<sub>od</sub>.

Bei dynamischer Vorverdünnung liegen die Geruchsstoffkonzentrationen der Einzelmessungen innerhalb einer Spanne von 480 GE<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> bis 30.000 GE<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>. Die Abweichungen zwischen der Geruchsstoffkonzentration der Einzelmessungen und dem geometrischen Mittel alle Einzelmessungen an der betreffenden Emissionsquelle liegt hier in nur in ca. 50 Prozent der Fälle bei Werten kleiner 3 dB<sub>od</sub>.

Die Umstellung des Probenahmeverfahrens von statischer auf dynamische Vorverdünnung mit Einführung der DIN EN 13725 könnte somit einer der Gründe dafür sein, dass an Spänetrocknungsanlagen und Spanplattenpressen der Holzwerkstoffindustrie inzwischen zeitweise deutlich höhere Geruchsemissionen gemessen werden als bei der Festlegung der Geruchsemissionswerte in den Genehmigungsbescheiden in den 90er Jahren und Anfang der 00er Jahre.

Die Ursachen für die hohe Schwankungsbreite der Geruchsstoffkonzentration im Abgas des Zentralkamins (Abgas der Spänetrockner und der Heißpresse) konnten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens jedoch nicht spezifiziert werden. Aus den vorliegenden Daten zu den Betriebsbedingungen, den Abgasrandbedingungen, den meteorologischen Bedingungen

sowie den eingesetzten Prüfern lassen sich keine systematischen Zusammenhänge erkennen. Zur weiteren Ursachenanalyse müssten detaillierte Analysen zur Abgaszusammensetzung der betreffenden Betriebselemente und deren Schwankungsbreite bei prinzipiell konstanten Betriebsbedingungen vorliegen. Ebenso können im Abgas enthaltene Aerosole relevanten Einfluss auf die Messergebnisse haben. Insofern wären bei entsprechend komplexen, feuchten (ggf. übersättigten) Abgasströmen mit hohen Temperaturen und enthaltenen Aerosolen und Partikeln ggf. auch die Anforderungen an die Probenahmeeinrichtung zu überprüfen.

Die auf den Emissionsmessungen basierende Ausbreitungsrechnung zeigt eine gute, wenn auch nicht hundertprozentige Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Rasterbegehung.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass sich vor allem dann gute Übereinstimmungen sowohl für den Nahbereich als auch für den Fernbereich erzielen lassen, wenn ausreichend hohe Freisetzungsraten (Qualitätsstufen) bei der Geruchsausbreitungsrechnung gewählt werden. In der untersuchten Fallkonstellation ist die Qualität der Ausbreitungsrechnungen für die Berechnung von Geruchsstundenhäufigkeiten dabei über die Vorgabe einer einzuhaltenden Emissionsrate (von mind.  $\leq 5.000$  GE/Teilchen (besser  $\leq 2.500$  GE/Teilchen)) sichergestellt. Alternativ kann die Ermittlung der geeigneten Qualitätsstufe über die Gleichung aus Anhang G der Programmbeschreibung zu AUSTAL2000 angewandt werden, sofern die einzugebenden Parameter konservativ definiert werden.

Hinsichtlich der Geruchsintensitäten, kann in der untersuchten Fallkonstellation hingegen keine Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten mittleren Intensitäten erkannt werden. Ursachen für die in Teilen signifikanten Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Intensitäten konnten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht ermittelt werden.

Die große Schwankungsbreite der ermittelten Geruchsstoffströme des Zentralkamins spiegelt sich bei der im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Fallkonstellation nur in deutlich gedämpftem Ausmaß in der berechneten Geruchsstundenhäufigkeit im Anlagenumfeld wieder. Dies ist insbesondere dadurch begründet, dass für die einzelnen Stunden des Jahres nur beurteilt wird, ob die Geruchsstoffkonzentration an den Immissionsorten bzw. innerhalb der Beurteilungsflächen das Geruchsstundenkriterium überschreitet. Wird das Geruchsstundenkriterium innerhalb einer Stunde bereits bei niedrigen Geruchsstoffemissionen überschritten, führt eine erhöhte Geruchsstoffemission innerhalb dieser Stunde zu keiner Veränderung der Geruchsstundenhäufigkeit.

Die Immissionswirksamkeit der diffusen Emissionsquellen (Langholz- und Recyclingholzlager) wurde anhand der messtechnisch ermittelten flächenspezifischen Emissionsfaktoren im

Ausbreitungsmodell sachgerecht abgebildet. Für die Beurteilungsflächen im Nahbereich konnten bezüglich der untersuchten Anlage keine Überschätzungen der Geruchsstundenhäufigkeiten der Anlage festgestellt werden, wie dies aus Untersuchungen an anderen Anlagen bekannt ist (siehe zum Beispiel [10, 11, 12]). Vielmehr konnte in der hier untersuchten Anlage unter Einbeziehung der diffusen Emissionsquellen eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und den gemessenen Geruchsstundenhäufigkeiten im Nahbereich erzielt werden.

Da in der untersuchten Fallkonstellation immissionsseitig keine Beschwerdesituation im Hinblick auf Geruchsbelästigungen vorliegt, lassen die Ergebnisse der Rasterbegehung außerdem vermuten, dass natürliche Geruchsqualitäten (wie z. B. frisches Holz) ggf. eine andere Belästigungswirkung aufweisen könnten als Geruchsqualitäten, die erst in Verbindung mit speziellen Produktionsprozessen einhergehen und damit deutlicher als anlagenspezifisch einzuordnen sind.

#### 4. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die prognostizierten Geruchsimmissionen der Ausbreitungsrechnung mit den real gemessenen Geruchsimmissionen gut übereinstimmen.

Bei der untersuchten Anlage konnten trotz der Schwankungen der Geruchsemissionen nachvollziehbare und plausible Aussagen über die tatsächliche anlagenbezogene Geruchsbelastung im Untersuchungsgebiet anhand von Geruchsimmissionsprognosen gemacht werden. Es wurde jedoch auch festgestellt, dass bei der vorliegenden Anlagenkonstellation mit einem Zentralkamin als Hauptemissionsquelle (je nach Emissionsansatz zwischen 42 und 91 % des Gesamt-Geruchsstoffstroms der Anlage) insbesondere die im Rahmen der Ausbreitungsrechnungen gewählte Qualitätsstufe (Freisetzungsrate in GE/Teilchen) einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis besitzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Höhe der gemessenen Geruchsemissionen nicht zwingend direkt proportional in der Höhe der Geruchsimmissionshäufigkeiten im Anlagenumfeld widerspiegelt. Somit ist einerseits nicht sichergestellt, dass die Festlegung von vorsorgenden Geruchsemissionswerten an den Einzelquellen der Anlage den Schutz vor immissionsseitigen Geruchsbelästigungen in allen Fällen bewirkt. Andererseits kann eine Überschreitung der Geruchsemissionswerte an einzelnen Quellen nicht zwangsläufig mit einer immissionsseitigen Belästigung gleichgesetzt werden.

Vielmehr kann eine Überschreitung solcher Geruchsemissionswerte Anlass für eine Überprüfung der Immissionssituation sein.

Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass eine immissionsseitige Überprüfung, insbesondere im Beschwerdefall, eine geeignetere Lösung zur Abbildung der tatsächlichen Geruchssituation darstellt als die Einhaltung von Geruchsemissionswerten an Einzelquellen. Die erforderliche Bestimmung der Geruchsstundenhäufigkeiten kann, auf Basis der Erfahrungen der untersuchten Anlage für den Anlagentyp der Holzwerkstoffwerke, sachgerecht sowohl rechnerisch (Emissionsmessungen in Verbindung mit Ausbreitungsrechnungen) als auch messtechnisch (Rasterbegehungen) ermittelt werden.

Die im vorliegenden Projekt gewonnenen Erkenntnisse über die Beziehungen und Zusammenhänge zwischen der Emissions- und Immissionssituation gelten zunächst grundsätzlich für die untersuchte Anlage. Eine Übertragung der Erkenntnisse auf andere Betriebe der Holzwerkstoffindustrie dürfte jedoch gerechtfertigt sein, wenn dabei insbesondere folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- Standort der Anlage (z. B. Industriestandort ist unmittelbar angrenzend an ein Wohngebiet bzw. eher mittelbar angrenzend (vgl. hier Gebietsausweisungen nach Bau-recht))
- Beschaffenheit bzw. Höhe der Emissionsquellen (bodennah, nicht bodennah, Kamin-höhe)
- Beschaffenheit der Umgebung, in der die Emissionen als Immissionen ankommen (Berg - Tal, hügelig, flach etc.)

Weiterhin lassen sich die Erkenntnisse über das Emissionsverhalten der untersuchten Anlage auf andere Anlagen der Holzwerkstoffindustrie übertragen, wenn vergleichbare Roh- und Hilfsstoffe sowie verfahrenstechnologische Be- und Verarbeitungsschritte eingesetzt werden. Dies beinhaltet auch die Problematik bezüglich der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse an Emissionsquellen mit thermischer Einwirkung auf die Holzspäne (Spänetrocknung und Heißpresse).

Abschließend ergaben sich im Rahmen der Forschungsarbeiten auch Problemstellungen, die innerhalb des Projektes nicht geklärt werden konnten, z. B. die Geruchsprobenahme in komplexen, feuchten (ggf. übersättigten) Abgasströmen mit hohen Temperaturen und enthaltenen Aerosolen und Partikeln, die Bewertung der Belästigungsrelevanz von natürlichen Geruchsqualitäten (z. B. frisches Holz) sowie die Ermittlung von Geruchsintensitäten mittels Ausbreitungsrechnungen. Diese Aspekte könnten der Gegenstand zukünftiger Forschungsprojekte sein.



## 5. Literatur

- [1] VDI 3880: Olfaktometrie – Statische Probenahme. Berlin: Beuth Verlag 2011
- [2] DIN EN 13725: Luftbeschaffenheit; Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie. Berlin: Beuth Verlag 2003
- [3] VDI 3884 Blatt 1 - Olfaktometrie – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie – Ausführungshinweise zur Norm DIN EN 13725. Berlin: Beuth Verlag 2015
- [4] Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL –) in der Fassung vom 29. Februar 2008
- [5] VDI 3940 Blatt 3: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld. Berlin: Beuth Verlag 2010
- [6] VDI 3940 Blatt 5: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld – Hinweise und Anwendungsbeispiele. Berlin: Beuth Verlag 2013
- [7] Kortner, M., K. Braunmiller und B. Zimmermann (2015): Ansätze zur Bestimmung und Beurteilung der Wahrnehmungsintensität in der Immissionsprognose. – In: Gerüche in der Umwelt, VDI-Berichte 2252, S. 37-48
- [8] VDI 3940 Blatt 1: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen – Rastermessung. Berlin: Beuth Verlag 2006
- [9] VDI 3462 Blatt 2: Emissionsminderung – Holzbearbeitung und -verarbeitung – Holzwerkstoffherstellung Berlin: Beuth Verlag 2013
- [10] Grotz, W.; Zimmermann, B. (2015): Vergleich Rasterbegehung – Immissionsprognose – Beispiele aus der Papierindustrie – Quelleneigenschaften und Anpassung der Immissionsprognose. VDI Berichte Nr. 2252, S. 81 – 94
- [11] Hartmann, U.; Borchertding, N. (2015): Emissionsmessungen, Ausbreitungsrechnungen und Rasterbegehungen – Vergleich berechneter und gemessener Geruchsstundenhäufigkeiten anhand verschiedener Anwendungsfälle. VDI Berichte 2252, S. 95 – 104.
- [12] Schreiber, B.; Hauschildt, H. (2015): Geruchsimmissionen in Theorie und Praxis am Beispiel Flughafen Frankfurt. VDI Berichte 2252, S. 105 – 116

## **Vergleich der Ergebnisse von Fahnenbegehungen an der Nachklärung einer Kläranlage mit den Ergebnissen einer Ausbreitungsrechnung**

### **Odour impact situation by area sources with low odour concentrations**

**Bettina Mannebeck, Dr. Heike Hauschildt,**  
Olfasense GmbH, Kiel;  
**Dr. Susanne Schmid,**  
Stadtentwässerung Frankfurt am Main, Frankfurt

#### **Introduction**

With defined sampling strategies and different measurement methodologies we are able to analyse and describe odour from different source types very detailed. We also measure the odour impact on basis of field analyses by grid or plume measurements. In another step we predict the odour impact with the help of dispersion calculation for short- or longterm periods. But what about transferability? Can the odour concentrations of olfactometric measurements be used directly as input value for dispersion modeling?

In official approval procedures for new plants or changes in existing plants we often have to make a prediction about occurring odours in the neighborhood. Taking into account that we have a lot of measurement data for different sources it should be easy to predict the future odour situation with one of the standardised odour dispersion models. But as all experts working in the field of odour modelling know the results of the modelling depend a lot on the design of the sources and the transfer of source and emission data into the model. Especially for waste water treatment plants with huge area sources as clarifiers the question for an appropriate consideration for area sources with low odour concentrations is often essential in dispersion modeling. The simple usage of the measured odour concentrations for big area sources usually leads to an overestimation of the plume extent and the odour impact. A result could be the refusal of a permit for a facility expansion though the actual impact situation does not show such an extent of the odour plume.

Our presentation will show the results of dispersion modeling in comparison with plume measurements in the surrounding of the clarifiers (secondary sedimentation tanks) of the waste water treatment plant (WWTP) Niederrad in Frankfurt. The approach how to deal with the differences between measurement and modeling will be shown. One possibility to adjust the

model to the real impact situation the experts can be to perform field inspections as plume measurement with a panel of tested assessors.

### **Odour Situation Waste Water Treatment Plant Niederrad (Frankfurt am Main)**

The first parts of the waste water treatment plant of Frankfurt were built in 1883 to 1887. This was the reaction to the fact that the sewer outlet points began to exude unpleasant smells and that a pollution of the river Main could be noticed. With this mechanical facility in Niederrad - four underground sedimentation tanks – the permanent cleaning of the sewage of Frankfurt and the surrounding municipalities started and was improved again and again to keep state-of-the-art technology. Today, in the WWTP of Niederrad/Griesheim a maximum of 590,000 m<sup>3</sup> of waste water can be treated per day (or normally 210,000 m<sup>3</sup>/d). Two additional treatments plants in Frankfurt clean additional 265,000 m<sup>3</sup>/d of waste water (maximum 795,000 m<sup>3</sup>/d). While in 1887 the waste water treatment plant was established in Niederrad due to “only small number of housing areas affected by the outlet point” the plant today is surrounded by close housing and office areas [1]. Understandably, this involves a higher respect and consideration of the interests of the neighbours.



Fig. 1: Location of the WWTP of Niederrad (orange marking), living areas (green marking), office areas (violet marking), allotment area (blue marking)

In 2007 the Stadtentwässerung Frankfurt had to show the status of the impact of the waste water treatment plant in Niederrad in the course of the overall concept of odour elimination over several years. First all sources had been evaluated by measurement over one week at different daytimes. As the odour concentration of the secondary sedimentation tanks was determined to be below 100 OU/m<sup>3</sup> (mean value of 10 single measurements) the source secondary sedimentation tank was not taken into account in the following dispersion modelling. After the presentation of the report the local authorities demanded to prove that the odour

from the secondary sedimentation tanks is not perceived in the nearby living and office areas.

The prove should be done by plume measurements according to VDI 3940 sheet 2 [2] which was the valid guideline in 2009.

### Secondary Sedimentation Tank of the Waste Water Treatment Plant Niederrad Frankfurt am Main

The overview over the WWTP of Niederrad can be seen in figure 2.

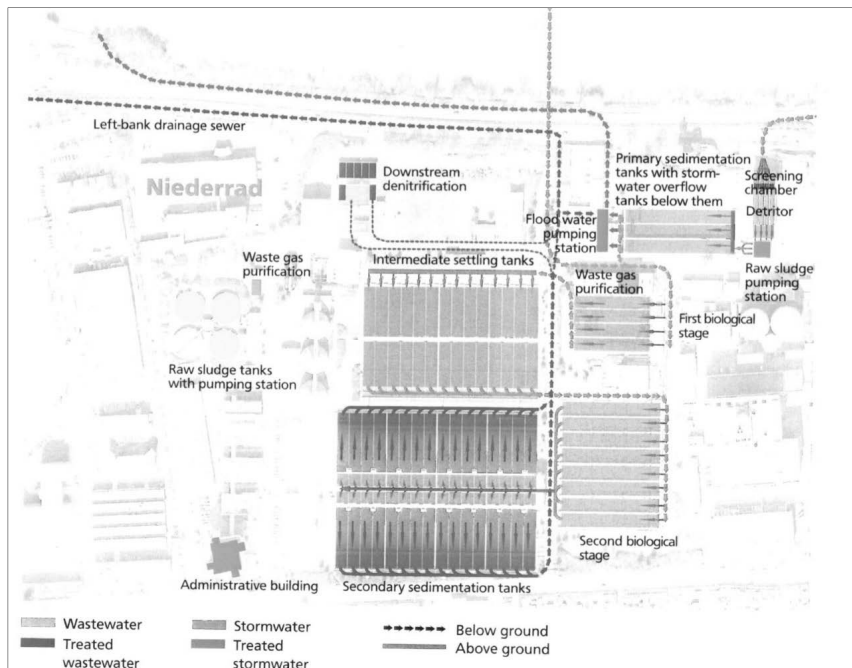


Fig. 2: Schematic description of the WWTP of Niederrad [3]

As this paper deals only with the secondary sedimentation tanks some facts will be given. The location of the secondary sedimentation tanks is in the south of the plant in a distance of less than 15 meters to the pavement besides the street Goldsteinstraße. Some more facts can be found in table 1.

Table 1: Facts and figures on the secondary sedimentation tanks

Number of secondary sedimentation tanks	32
Size of each tank (W x L x D)	10 x 62 x 3 m
Total volume	60,000 m <sup>3</sup>
Total area	19,808 m <sup>2</sup>

On the estate of the WWTP of Niederrad there is hardly free space as there are not only the tanks and the buildings for the treatment but also several buildings for laboratory, workshops as well administration. Between the pavement and the tanks there are hedges of a height of around 3 m and a fence. The inspection on site showed that the odour from the secondary treatment tanks could be smelled within close proximity of the tanks. The smell which is described as “detergent like”, “musty”, “weak” and “stagnant water” could be distinguished from the smell of other treatment areas of the waste water treatment plant. It smelled especially near those parts of the tanks where the water was moved e.g. by stirrers or when floating over sills.

### Plume measurements

*According to VDI 3940 sheet 2 [2]*

In 2009 the plume measurements were performed according to VDI guideline 3940 sheet 2 [2]. The evaluation of the ambient air is done by 5 assessors instructed by an experienced operator. The assessors were tested and checked on their individual sensitivity and repeatability on the reference materials n-butanol according EN 13725 [4] and hydrogen sulfide.

The principle of the measurement is defined as follows: a single measurement is the measurement of odour impact by an assessor at a single measurement point during a defined measurement cycle. Single measurements are conducted in order to define the frequency distribution of odour recognition in the investigated odour plume for the measurement cycle. A measurement cycle of at least ten minutes is required in order to obtain a representative statement with at least 80% certainty on the odour situation within an hour. The assessor has to examine the ambient air for clearly recognizable odours. The odour is clearly recognized when a quality and hence an origin can be clearly assigned to it. For the measurement in the ambient air in Frankfurt Niederrad this was limited to the quality of the secondary sedimentation tank. At the measurement point the assessor sniffs the air every ten seconds and records the identified odour quality on a special data record sheet. At the end of the ten-minute measurement cycle, the assessor has assessed 60 odour samples. At each ten-second interval, he assesses only the individual breath of air and not the odour impression gained

during the preceding ten seconds. The percentage of odour recognition (percentage odour time at a measurement point) is the calculated according to the following formula:

$$P_{od} = \frac{L_+}{R} \times 100$$

$P_{od}$  = percentage odour time at a measurement point (percentage of odour recognition)

$L_+$  = number of positive responses per measurement cycle and measurement point

$R$  = number of odour samples

For the measurement of the plume extent the assessors first are familiarized with the facility odour. The criterion for the plume end is defined to be 10% odour time in the evaluated period of time. Then the approximate direction of the wind is ascertained. The plume axis can thereby be defined. The first intersection line at right angles to the plume axis is set in a distance at which the odour from the facility is first detected walking towards the source. The operator positions the assessors on the line and starts the measurement for all assessors at the same time by optical or acoustical signs. After the measurement the results are inspected and if the criterion for the plume end is not satisfied here the next intersection line is drawn closer to the source. In the end several intersection lines are drawn and data recorded to ascertain the lateral end of plume (plume edge and hence plume width).

In parallel the following meteorological parameters have to be determined:

- recorded measurement of wind direction and wind velocity during plume measurement with a suitable measuring instrument and an averaging time of about 10 min
- stability of the atmosphere during the intersection line measurement
- air temperature and unusual features, e.g. precipitation, mist, snow, during plume measurement the wind direction, speed as well

The plume extent depends heavily on the meteorological conditions like the atmosphere's stability and particularly on the wind velocity. It defined that for sources at the ground as sedimentation tanks, intersection measurements must be carried out in dispersion categories AK I (extremely stabil)/ AK II (stabil). Under this conditions the worst situation (the greatest plume extent) is to be expected. The times when these turbulence classes occur are during night time and during the hours around sunset and sun down.

In VDI guideline 3940 sheet 2 are no clear information given on how to evaluate the results. Thus the plume extent was determined by different calculation methods of which only the one with the highest distance will be presented here.

### According to EN 16841-2, stationary method

As the EN 16841-2 [3] resulted from several national guidelines, inter alia, the guideline VDI 3940 sheet 2, the basics of the method remained the same. The EN 16841-2 is limited to characterise the presence of odour by determining the extent of the downwind odour plume of a source, the reverse calculation of odour emission is not part of this European Standard. The EN 16841-2 clearly shows the principle of the measurement in a schematic overview, see figure 3.

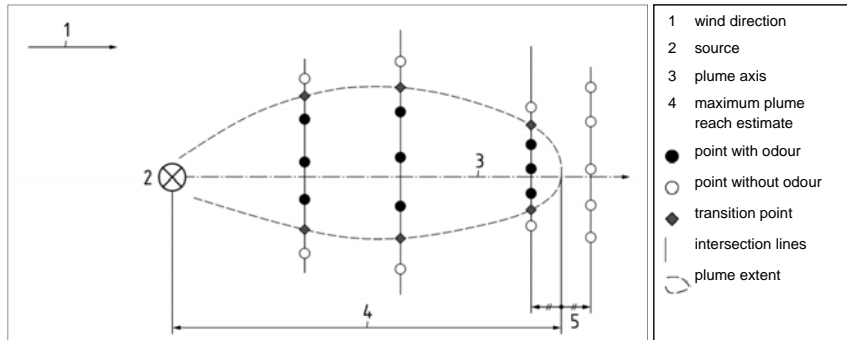


Fig. 3: Schematic presentation of a stationary plume measurement [2]

The requirements according to EN 16841-2 are as follows:

Accompanying meteorological measurements:

- Fulfilment of suitable conditions for the measurement has to be proven by measurements of the influencing meteorological parameters using an ultra-sonic anemometer 10 m high.
- The limits for wind speed and direction are based on mean values of 1 min.
- At least 10 single measurements have to be performed during one measurement cycle

Suitable meteorological conditions:

- no significant precipitation (rainfall, snow, ...)
- ambient temperatures above 0°C
- standard deviation of wind direction less than 25° direction during one measurement cycle;
- average wind speed at 10 m height during the measurement cycle between 2 and 8 m/s;

- constant turbulence conditions (no changing dispersion class) during one measurement cycle;
- turbulence classes slightly stable, neutral or slightly unstable

#### Measurement cycle (stationary method)

- shall consist of at least 20 single measurements, from which at least 6 transition points (absence to presence) can be determined.
- the maximum plume reach estimate shall be determined from observations obtained from two intersection lines (stationary method) one of which includes at least one odour presence point observation ( $\geq 10\%$ ), and another intersection line where only odour absence point observations (odour  $< 10\%$ ) are recorded.
- the distance between the intersection line without odour presence point observations and the nearest intersection line with odour presence point observation(s) shall be less than 20 % of the maximum odour plume reach as determined from these observations.
- At least 4 transition points (absence to presence), 2 at either side of the plume, shall be recorded at distances along the plume direction between 30 % and 70 % of the maximum odour plume reach.

#### Measurement method (stationary method)

- A minimum number of ten measurement cycles have to be conducted for one complete field survey.
- It is advised to conduct the ten measurement cycles over at least five different days, in order to take possible variations (e.g. source emission strength, meteorological conditions) into account.
- Under some circumstances it is permissible to conduct less measurement cycles.

Most of these requirements of the new EN 16841-2 have been met with the measurements performed in 2009. Some parameters as temperature and turbulence classes are not met due to the legal basis in 2009. The distances of the transition points have not been calculated retrospective.

### Plume Measurements at the sources of the Waste Water Treatment Plant Niederrad

With respect to the formal requirements for the measurement and the structural conditions in the WWTP Niederrad and the surrounding areas the possible analyses were limited in time and in wind direction. It was important for a measurement along the plume axis that no other sources with higher odour emission would be between the secondary sedimentation tanks and the assessors. If that would be the case the odour from another source could overlay the



odour from the sedimentation and the plume extent of the secondary sedimentation would be underestimated. In case that structural barriers hinder to draw and measure the intersection lines in different distances the determination of the plume extent could not be done.

Summarised we had to perform the plume measurements

- At the turbulence classes AK I (extremely stabil) and AK II (stabil)
- At wind directions (near the ground) of 315° (north), over east to 150° (south east)

The turbulence classes AK I and AK II are present under following conditions:

Table 2: Turbulence classes AK I (extreme stabil) and AK II (stabil)

Wind velocity at a height of 10 m	Total cloud cover in night-time hours	
	0/8 to 6/8	7/8 and 8/8
Approx. 2 knots (approx. 1 m/s)	I	II
3 and 4 knots (1,5 and 2 m/s)	I	II
5 and 6 knots (2,5 and 3 m/s)	II	

Further the turbulence (stability) classes in the time of 1 to 3 hours after sunrise and 2 to 1 hours after sunset are defined more precisely in table 3.

Table 3: Turbulence (stability) classes I and II in the time of 1 to 3 hours after sunrise (SR) and 2 to 1 hour after sunset (SS)

Night	Day	SR+1 SR+2	till SR+3	SR+2 SR+3	till SS-1	SS-2 SS-1	till SS	SS-1 SS	till SS+1
I	IV	I (II)*		II		II		II (I)**	II (I)**
I	III/2	II		II		III/1		III/1	II (I)**
II	IV	II		III/1		III/1		II	II
II	III/2	III/1		III/1		III/1		III/1	II

\* The value in brackets has to be used in the month from March to November and wind velocities over 2 knots (1 m/s)

\*\* The value in brackets has to be used for the month January, February and December for velocities up two two knots (1 m/s) and full cloud cover up to 6/8.

The plume extent was determined in this project on five different days with at least six intersection lines per day. In total measurements on 47 intersection lines were performed. As odour from sources at the ground was determined the measurements were carried out in

dispersion category AK I (extremely stabil) for 31 intersection lines and dispersion category AK II (stabil) for 16 intersection lines.

The occurring wind directions were west, south-west and south.

Table 4: Overview over the performed plume measurements

Date	Time	Turbulence class	Amount intersection lines	Distance intersection lines [m]	Maximum Odour time P <sub>od</sub>	Mean odour time (of the 2 highest P <sub>od</sub> )
29/01/2009	6:18 pm to 9:28 pm	AK I	6	2 15 25 25 60 100	50.0% 20.0% 15.0% 23.3% 16.7% 5.0 %	43.3% 18.3% 11.7% 22.5% 10.0% 3.3%
30/01/2009	5:47 am to 7:38 am	AK II (only 44 m at AK I)	6	4 25 40 44 60 94	46.7% 21.7% 36.7% 1.7% 3.3% 8.3%	35.0% 20.8% 40.0% 0.8% 3.3% 6.7%
30/01/2009	5:29 pm to 7:30 pm	AK I (only 23 m at AK II)	6	4 4 23 25 60 93	46.7% 21.7% 13.3% 13.3% 1.7% 0%	39.2% 21.7% 12.5% 12.5% 0.8% 0%
31/01/2009	5:27 am to 7:13 am	AK I	6	4-30* 4-30* 20 46 60 60	21.7% 21.7% 28.3% 15% 6.7% 6.7%	20.8% 17.5% 24.2% 11.7% 5.0% 4.2%
31/01/2009	5:53 pm to 7:43 pm	AKII	6	4-37* 25-90 55-70 15 46 60	15.0% 15.0% 20.0% 21.7% 11.7% 8.3%	12.5% 13.3% 12.5% 17.5% 11.7% 8.3%
02/04/2009	8:11 pm to 10:27 pm	AK I (4m, 20m, 26m, 60m) AK II (0m, 1m, 11m, 62m)	8	0 1 4 11 20 26 60 62**	55.0% 36.7% 78.3% 31.7% 16.7% 21.7% 25.0% 6.7%	38.3% 34.2% 59.2% 29.2% 12.5% 15.0% 12.5% 5.8%

Date	Time	Turbulence class	Amount intersection lines	Distance intersection lines [m]	Maximum Odour time P <sub>od</sub>	Mean odour time (of the 2 highest P <sub>od</sub> )
03/04/2009	3:31 am to 6:29 am	AK I	9	1 1 1 14 26 29 34 62 62	15.0% 35.0% 41.7% 13.3% 18.3% 6.7% 8.3% 11.7% 3.3%	14.7% 26.7% 31.7% 14.5% 17.5% 5.8% 5.8% 10.0% 1.7%

\* This was the try to find the 10% odour time line for all assessors.

\*\* In parts of the time extremely strong smell of vegetation.

Summed up: from the total 235 single measurements (remember: 47 intersection lines with 5 assessors) in distances between 0 meters and 100 meters from the tanks 59 measurements were evaluated with no odour at all, in 91 measurements the perceived odour time was below 10% (per definition in EN 16841-2: no odour) and only 85 measurements were evaluated with an odour time of 10% or more. Even on the edge of the tanks the odour was not perceived permanently during the measurements. The highest measured odour time was 78,3% at a distance of 4 meters to the tank. The highest distance with relevant positive odour perceptions (10% odour time or more) was at a maximum of 70 meters.

The extent of the plume was determined by plotting the means (two highest odour times) of each intersection line against the distance to the tank. Then the regression curve was calculated. Per definition the cutting point of the linear regression line with the 10% odour time delivers the plume extent. By implementing also the cutting lines at 11.7% and 8.3% odour time (one perception more and one perception less) the measurement uncertainty was determined.

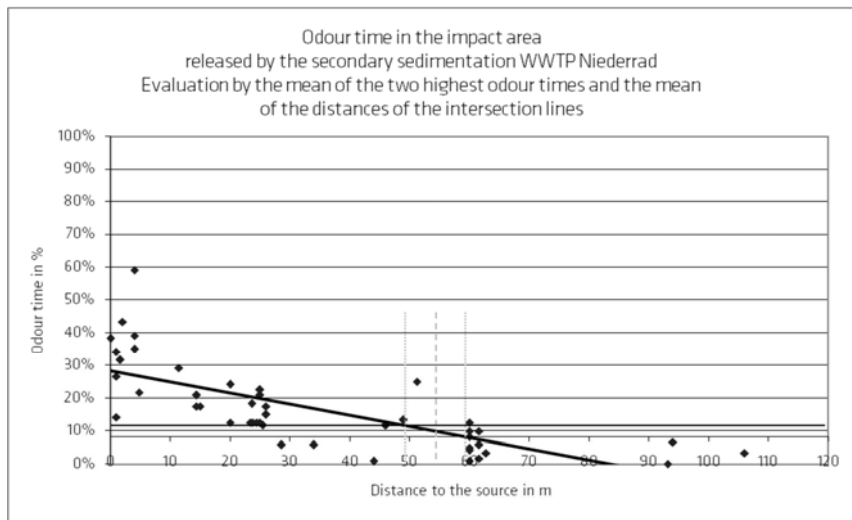


Fig. 4: Determination of the plume extent (10% odour time) for the mean of the two highest odour times and the mean of the distance of all assessors

The plume extent was calculated to be at a distance of 54 meters from the edge of the secondary sedimentation tanks with a measurement uncertainty of  $\pm 5$  meters.

Dispersion Modelling of the Impact Situation provoked by the secondary sedimentation tank

To determine the odour impact in the surrounding of the WWTP Niederrad the impact is calculated with the dispersion model austal2000, which is the legal German model defined in TA Luft 2000. The model was validated in several projects before the publication as legal model. The odour emission data from the WWTP Niederrad of the water surfaces had been analysed in an extensive measurement in 2006. For this project only the odour emission of the secondary sedimentation tanks is relevant. For this source 10 single measurements (each over 30 minutes) were performed on three different days on the surface of the secondary sedimentation tanks. The sampling on passive surfaces is conducted with a ventilated sampling hood. The specification for the volume flow in the ventilated sampling hood was set first time in 2011 in VDI guideline 3880 [5] to a value of  $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . Before, the Olfasense GmbH used a volume flow of  $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ .

The dispersion modelling was performed for the mean, the maximum and the minimum odour concentration multiplied with the volume flow of the ventilated sampling hood. Though

the measurements were performed with a volume flow of  $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  the dispersion calculation was conducted also with the higher volume flow to make a “worst-case-scenario”.

Table 5: Emission data as input for the dispersion modelling

	Odour concentration [OU/m <sup>3</sup> ]	Area [m <sup>2</sup> ]	Ventilation rate [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h]	Volume flow [m <sup>3</sup> /h]	Emission flow [OU/s]
<b>Mean</b>	78	19808	10	198080	4300
<b>Maximum</b>	215	19808	10	198080	11800
<b>Minimum</b>	42	19808	10	198080	2300
<b>Mean</b>	78	19808	30	594240	12900
<b>Maximum</b>	215	19808	30	594240	35500
<b>Minimum</b>	42	19808	30	594240	6900

For Germany limit values for the impact are expressed as odour hours as described in GIRL2008. The limit is defined as the frequency of the occurrence of site specific odours per year where an annoyance of the residents is likely to occur. The limit values of odour given are 10% of the yearly hours for residential areas and 15% of the yearly hours in industrial areas.

In the following figures the results of the dispersion calculation are presented. The results are shown as isopleths of the frequency of the yearly odour hours.

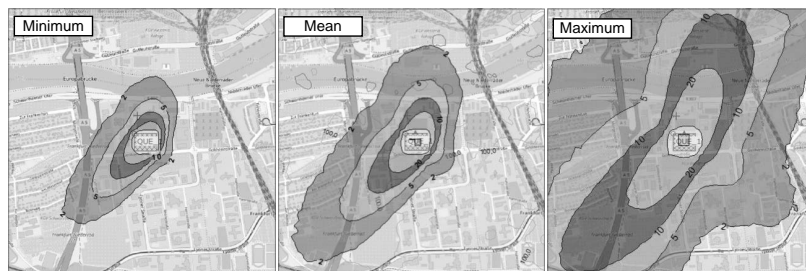


Fig. 5: Impact situation provoked by the secondary sedimentation tank, given in percentage of odour hours, isopleths – sampling volume flow (ventilation rate) of  $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$

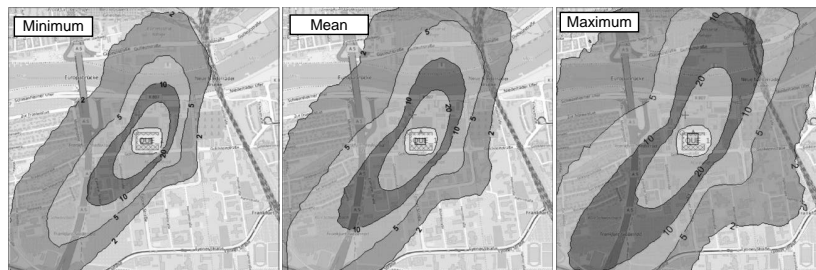


Fig. 6: Impact situation provoked by the secondary sedimentation tank, given in percentage of odour hours, isopleths – sampling volume flow (ventilation rate) of  $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

All figures show that the yearly frequency of 10% from the edge of the secondary sedimentation tanks reaches a distance of minimum 250 m (south-west), 110 m (west) and 115 m (south). These distances can be seen in figure 5 for the minimum calculation.

### Comparison of the Extent of the Calculated and of the Measured Plume

While the plume measurements in extremely stabil and stabil conditions (fluctuation classes AK I and AK II) showed a determined plume extent of 54 meters from the edge of the secondary sedimentation tanks the dispersion modelling for a yearly impact provoked by the secondary sedimentation tanks delivers a minimum distance of 110 meters (in south direction). Usually the mean values would be used for the calculation of the impact. Then even longer distances and a much bigger impacted area would be calculated.

The situation on the spot during the measurement campaign of the plume measurements showed that on all five dates odour from the secondary sedimentation tanks was limited locally. The odour could mainly be perceived near the tanks and especially near areas where the water was moved (e.g. by stirrers or when floating over sills). The maximum distance of perceived odour at a single measurement point was at 70 meters from the edge of the tanks.

### Conclusion

The calculation of odour impact based on the emission data of large passive sources overestimates the distance in which the odour in the surrounding areas occurs. It is important to verify the actual impact situation. Though a measurement of the plume extent with plume measurements is a very complex task the results can help to omit the consideration of large area sources with low odour concentrations in a corresponding dispersion modelling. This

will results in a different calculated impact situation and therewith in different possibilities for changes or extensions in existing plants.

## Literature

- [1] Wastewater disposal and treatment in Frankfurt am Main, Stadtentwässerung Frankfurt am Main, March 2008
- [2] VDI Guideline 3940 sheet 2, Measurement of odour impact by field inspection – Measurement of the impact frequency of recognizable odours Plume measurement, Beuth Verlag GmbH, 02/2006 (withdrawn 03/2017)
- [3] EN 16841-2: Ambient air - Determination of odour in ambient air by using field inspection – Part 2 Plume method, European Committee for Standardisation, 11/2016
- [4] EN 13725: Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardisation, 07/2003
- [5] VDI Guideline 3880, Olfactometry, Static sampling, Beuth Verlag GmbH, 10/2011

# Vergleich von Messwerten unterschiedlicher durchlüfteter Hauben für feste (Kompostierung und Altdeponie) und flüssige (Kläranlagen) diffuse Quellen

Dipl.-Met. **Niklas Kubitschke**,  
TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG, Hannover

## 1. Einleitung

Im Folgenden werden die Messergebnisse mehrerer Messungen verschiedener durchströmter Hauben an festen (Grünschnittkompostierung und Abfälle) und flüssigen (zwei Kläranlagen) diffusen Quellen vor- und zur Diskussion gestellt. Mit den Ergebnissen der Grünschnittkompostierung wird ein allgemeiner Emissionsansatz für vergleichbare Anlagen erstellt. Anhand der Messergebnisse von Emissionsmessungen und Fahnenrückrechnungen an einer Altdeponie wird der Zusammenhang zwischen diesen exemplarisch für feste diffuse Quelle eruiert. Für Kläranlagen soll untersucht werden, ob die alleinige Geruchsemissionsmessung mit durchströmter Haube die richtige Wahl zur Bestimmung der Emissionen von Kläranlagen ist.

## 2. Kurzfassung

Beim Gegenüberstellen von Messwerten für nicht zwangsdurchlüftete Tafelmieten unterschiedlichen Alters von Grünschnittkompostierungen, gemessen mit einer VDI 3880-konformen Haube, mit den Werten der VDI 3475 Blatt 1 /i/, weisen die Ansätze der VDI 3475 Blatt 1 /ii/ größtenteils eine gute Übereinstimmung auf. Es wird ein Ansatz aus den Werten der VDI 3475 Blatt 1 und den eigenen Messwerten erstellt. Als Ansatz für nicht zwangsdurchströmte Tafelmieten von Grünabfallkompostierungen werden spezifische Geruchsstoffströme von 3,3 GE/(m<sup>2</sup>s) für 1,5 Wochen alte Mieten, 1,3 GE/(m<sup>2</sup>s) für 6 Wochen alte Mieten und 0,4 GE/(m<sup>2</sup>s) für 12 Wochen alte Mieten vorgeschlagen. Die Mittelwerte des spezifischen Geruchsstoffstroms lassen einen linearen Verlauf vermuten. Mit diesem Ansatz können für Mieten jeden Alters zwischen 1,5 und 12 Wochen plausible Ansätze formuliert werden.

Am zweiten Beispiel der Altdeponie wird ein Zusammenhang zwischen gemessenen Emissionswerten und immissionseitig durch Fahnenrückrechnungen bestimmten Emissionen dargestellt. Im Rahmen der Messung wurde eine Probeauskoffierung vorgenommen, um Er-



kenntnisse über die Geruchsemissionen bei der Umlagerung unter realistischen Bedingungen zu gewinnen. Parallel zu den Geruchs-Probenahmen wurden orientierende Geruchsimmissionsmessungen nach der Methode der Fahnenbegehung an der offenen Deponeoberfläche nach VDI 3940 /vi/ durchgeführt. Die Quellstärke der Rückrechnung entspricht einer spezifischen Quellstärke der Oberfläche von ca.  $6.000 \text{ GE}/(\text{m}^2\text{h})$ . Vergleicht man diese immissionsseitig gemessene Quellrate mit den emissionsseitig gemessenen Quellraten liegt sie in dem Bereich der höchsten Werte ( $7.500 \text{ GE GE}/(\text{m}^2\text{h})$ ), die auf dem Material der tiefsten Ablagerungsschicht gemessen wurden. Dieses Verhalten war zu erwarten, da aufgrund des Versuchsablaufes durch das Aufgraben und Umwälzen dieses Material die Emission der Fläche bestimmte.

Aus unserer Sicht lassen sich für feste diffuse Quellen mit der aktuell vorgeschriebenen Probenahmetechnik plausible Ergebnisse, also nachvollziehbare Zusammenhänge zwischen den gemessenen Geruchsemissionen und den durch Fahnenbegehungen ermittelten Immissionen, erzielen.

Im Rahmen verschiedener gutachterlicher Stellungnahmen für kommunale Kläranlage wurden Messungen mit verschiedenen Hauben durchgeführt. Generell können, unabhängig von der verwendeten Probenahmehaube, die Emissionswerte von anaeroben Quellen immissionsseitig durch Fahnenrückrechnungen nicht bestätigt werden. Die mitunter ermittelten sehr hohen Werte erscheinen nach den Geruchseindrücken vor Ort sowohl bei den hier in Rede stehenden als auch bei weiteren betrachteten Anlagen deutlich überschätzend. Diese Tatsache wurde in unserem Hause insbesondere bei anaeroben Abwasserbecken bereits häufiger beobachtet. Die genaue Ursache ist nicht bekannt. Zu vermuten ist, dass der Stoffübergang durch das Eintauchen einer Haube dadurch angeregt wird, dass die Verwirbelungen an der eintauchenden Haubenkante gelöste Gasbläschen ausperlen lässt, die normalerweise in der Wasserphase bleiben würden. Aufgrund dieser Erfahrungen erscheinen Fahnenbegehungen, insbesondere für Kläranlagen (i.A. für alle Konstellationen mehrerer diffuser Quellen), die sinnvollste Ermittlungsmethode für Geruchsemissionen zu sein und sollten, zumindest als zusätzliches Werkzeug, neben herkömmlichen Messungen eingesetzt werden.

### 3. Feste diffuse Quellen

#### 3.1 Vergleich von Messwerten einer VDI 3880-konformen Haube für eine Grünschnittkompostierung mit den Werten der VDI 3475 Blatt 1 /ii/

Die Probe an passiven Flächenquellen wird in der VDI Richtlinie 3880 /iii/ geregelt und fordert, neben Vorgaben zur Materialwahl und Konstruktion, eine durchströmte Haube mit einem Luftvolumen von  $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ . Mit zwei solcher Hauben wurden die Geruchsstoffkon-

zentrationen von Mieten verschiedenen Alters einer Grünschnittkompostierung im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens untersucht.

In der VDI-Richtlinie 3475 /i/ werden die Geruchsstoffemissionen solcher Anlagen behandelt. Die Messergebnisse wurden mit einer von der VDI 3880 abweichenden Probenahmehaube erhoben (andere Konstruktion und Durchströmungsrate von etwa  $120 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ). Es handelt sich bei den Anlagen in der VDI 3475 /i/ und der hier untersuchten Anlage um Grünabfallkompostierungen, bei der das Tafelmietenverfahren ohne Zwangsbelüftung mit einer Rottezeit von etwa 16 Wochen zum Einsatz kommt.

Es wurden insgesamt 12 Proben auf Mieten verschiedenen Alters gezogen. Die Proben wurden nach Mietengröße, -anzahl und Emissionsrelevanz auf die Einzelmieten verteilt. Es wurden je 3 Proben auf den Mieten der 3 verschiedenen Rottephasen (2-maliges, 1-maliges Umsetzen und frisch aufgesetzt) genommen. Zudem wurden zur überschlägigen Betrachtung zwei Proben auf einer frisch umgesetzten Mietenoberfläche sowie auf Fertigkompost und dem Sickerwasserteich gezogen.

Für die Messung wurden die Mieten in die Deckflächen (Ausströmen), Flanken (Einströmen) und Spots (starkes Ausströmen) aufgeteilt. Gemessen wurde weit überwiegend auf den Deckflächen der Mieten. Nach unseren Erfahrungen sind diese für die Emission relevant, da der Luftaustausch in den Mieten thermisch angetrieben wird und von den Flanken in den Mietenkern und über die Deckflächen hinaus erfolgt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Messwerte von unbelüfteten Trapezmieten aus Grünabfall in Abhängigkeit von der Rottezeit in Wochen sowie weitere Quellen im Umfeld einer solchen Anlage

Anzahl der Proben	Bezeichnung	Alter	Geruchsstoffkonz.	Durchströmungsrate der Haube	Geruchsemission	
		Wochen	GE/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	GE/(m <sup>2</sup> ·h)	GE/(m <sup>2</sup> ·s)
3	Miete frisch	1,5	362	30	11.000	3,1
3	Miete mittelalt	6	156	30	4.700	1,3
3	Miete alt	12	104	30	3.100	0,9
1	Energiematerial	-	180	30	5.400	1,5
1	Siebgut Rottegrad V	-	180	30	5.400	1,5
1	Siebgut Rottegrad III	-	1.400	30	42.000	11,7
1	Sickerwasserteich	-	95	30	2.850	0,8

In der VDI Richtlinie 3475 Blatt 1 /i/ sind in Bild 16 (hier Bild 1) die spezifischen Geruchsstoffströme nicht durchströmter trapezförmiger Grünabfall-Mieten in Abhängigkeit vom Alter der Miete abgebildet. Dargestellt sind die Messwerte von vier Instituten mit jeweils einer Regressionsgeraden. Hinweis: In der VDI-Richtlinie wird fälschlicherweise die Einheit  $\text{GE}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$  verwendet, richtig ist  $\text{GE}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . Dieser Einheitenfehler wurde bereits in der Veröffentlichung /iv/ diskutiert. Hier abgebildet ist die Originalabbildung mit Einheitenfehler.

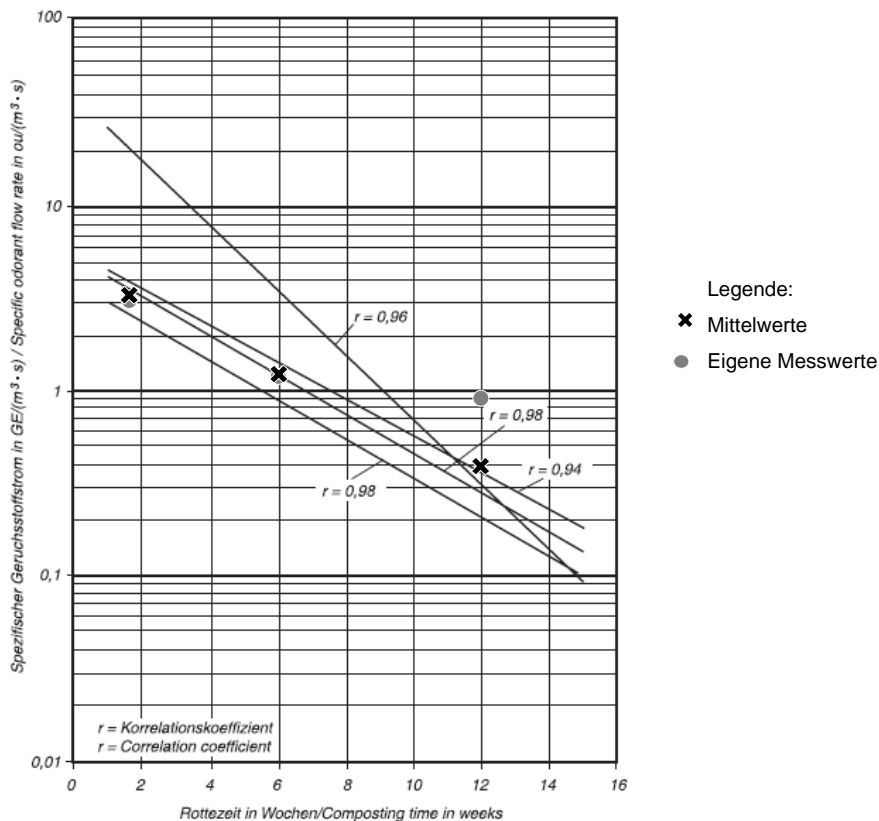


Bild 1: Spezifischer Geruchsstoffstrom von unbelüfteten Trapezmieten aus Grünabfall in Abhängigkeit von der Rottezeit in Wochen aus der VDI 3475 Blatt 1 /i/, logarithmische Darstellung

Die hauseigenen Messwerte (mit einem grauen Kreis ohne Regressionsgerade in der Abbildung 1 markiert) liegen für die Rottezeiten 1,5 und 6 Wochen ebenfalls in dieser Größenordnung. Die Werte eines vierten Messinstituts liegen für Mieten bis zu einem Alter von 8 Wochen um eine Größenordnung höher. Der eigene Messwert für eine Rottezeit von 12 Wochen liegt in derselben Größenordnung der anderen Institute, jedoch um den Faktor 2 bis 3 höher. Die internen Untersuchungen bestätigen die Ansätze der VDI Richtlinie 3475 Blatt 1 /i/. Als Ansatz für nicht zwangsdurchströmte Tafelmieten von Grünabfallkompostierungen werden die in Tabelle 2 dargestellten Ansätze für die Geruchsstoffströme vorgeschlagen (mit einem Kreuz markiert in der Bild 1). Die Mittelwerte des spezifischen Geruchsstoffstroms lassen einen linearen Verlauf vermuten (vgl. Bild 2). Mit diesem Ansatz können für Mieten jeden Alters zwischen 1,5 und 12 Wochen plausible Ansätze formuliert werden. Für frischere Mieten haben wir spez. Geruchsstoffströme bis zu 12 GE/(m<sup>2</sup>\*s) direkt nach dem Aufsetzen gemessen. Ältere Mieten können i.d.R. für die Immissionsprognose vernachlässigt werden, da sie im Konglomerat der Mieten, die typischerweise auf einer Kompostierung lagern, einen kaum relevanten Beitrag leisten.

Tabelle 2: Möglicher Emissionsansatz für unbelüftete Trapezmieten aus Grünabfall in Abhängigkeit von der Rottezeit

Bezeichnung	Ansatz GE/(m <sup>2</sup> *s)
Miete frisch (Alter etwa 1,5 Wochen)	3,3
Miete nach 1. Umsetzen (Alter etwa 6 Wochen)	1,3
Miete nach 2. Umsetzen (Alter etwa 12 Wochen)	0,4

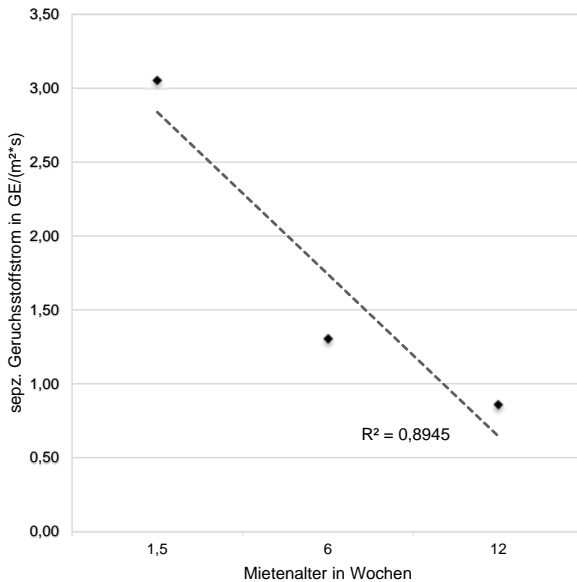


Bild 2: Spezifischer Geruchsstoffstrom des linearen Emissionsansatzes von unbelüfteten Trapezmieten aus Grünabfall in Abhängigkeit von der Rottezeit in Wochen, lineare Darstellung.

### 3.2 Darstellung der Messergebnisse an einer Altdeponie und Vergleich mit den Ergebnissen einer Fahnenrückrechnung

Im Rahmen einer Messung an einer Altdeponie wurde eine Probeauskoffierung vorgenommen, um Erkenntnisse über die Geruchsemissionen bei der Umlagerung unter realistischen Bedingungen zu gewinnen. Hierzu wurde auf der Oberfläche der Altdeponie ein ca. 20 m x 20 m großer Bereich markiert. Anschließend wurde die ca. 0,6 m dicke Abdeckschicht aus Erde entfernt.

In einem ersten Schritt wurde auf ca. 1/3 der Fläche die erste, ca. 1 m dicke Lage des Abfalls aufgegraben und mit einem Dumper zu einem Haufwerk im Luv der offenen Fläche abgekippt. Anschließend wurde ein weiterer Teil der ersten Abfalllage aufgegraben und auf den ersten Bereich aufgelegt. Anschließend wurden einige Dumper-Ladungen aus der 1 – 2 m tief liegenden 2. Abfallschicht entnommen und ebenfalls zu einem separaten Haufwerk im Luv der Grube aufgekippt. Diese Verfahrensweise wurde fortgeführt, so dass zwei weitere

Haufwerke aus der 2 – 3,5 m und 3,5 – 5 m tiefen Schicht entstanden. Die Probenahme erfolgte mit einer VDI 3880 /iii/ konformen Haube unter Verwendung einer flächenspezifischen Belüftungsrate von  $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  (entspricht dem damaligen Entwurf der Richtlinie). Um das Abklingverhalten der geruchsemittierenden Oberflächen zu ermitteln, wurde die Probenahme auf den zuvor markierten Stellen einen Tag und eine Woche später wiederholt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse der Geruchsemissionsmessungen einer Probeauskofferrung

Probenahmestelle	Lage in Tiefe	Gemessene Geruchsstoffkonz.			Geruchsemissionsrate		
		frisch	Nach 1 Tag	Nach 1 Woche	frisch	Nach 1 Tag	Nach 1 Woche
3	0 – 1 m	67	24	8	1.005	360	120
4	0 – 1 m	57	16	8	855	240	120
1	1 – 2 m	127	36	10	1.905	540	150
2	1 – 2 m	71	25	7	1.065	375	105
5	2 – 3,5 m	160	32	8	2.40	480	12
6	2 – 3,5 m	285	48	8	4.275	720	12
7	3,5 – 5 m	500	13	7	7.500	195	105
8	3,5 – 5 m	397	38	7	5.955	570	105

Die Ergebnisse spiegeln ein Emissionsverhalten wieder, das aufgrund des Deponieaufbaus und des vermuteten Verhaltens der Oberflächenemission zu erwarten war. Zunächst steigen die Oberflächenemissionen des Materials mit zunehmender Entnahmetiefe an. Dieses Verhalten spiegelt gut den optischen Eindruck des Materials wieder, das mit zunehmender Tiefe immer dunkler und feuchter wird, was mit dem zunehmend anaeroben Zustand bei größerer Entfernung von der Oberfläche korrespondiert.

Weiter fällt die emittierte Geruchsfracht mit zunehmender Lagerdauer steil ab und erreicht nach einer Woche die Nachweisgrenze des Messverfahrens. Dieses Verhalten lässt sich damit erklären, dass zunächst flüchtige Stoffe, die im Material gespeichert waren, emittiert werden und anschließend der aerobe Abbau von Geruchsstoffen an der Oberfläche beginnt. Dabei entstehen nur geringe Geruchsstoffemissionen. Insgesamt sind die Werte in sich sehr konsistent und weisen eine für olfaktometrische Messungen geringe Streubreite auf.

Parallel zu den Geruchs-Probenahmen wurden orientierende Geruchsimmissionsmessungen nach der Methode der Fahnenbegehung an der offenen Deponieoberfläche nach VDI 3940

/vi/ durchgeführt. Die Quellstärke der Rückrechnung entspricht einer spezifischen Quellstärke der Oberfläche von ca. 6.000 GE/(m<sup>2</sup>\*h). Vergleicht man diese immissionsseitig gemessene Quellrate mit den emissionsseitig gemessenen Quellraten in Tabelle 3 liegt sie in dem Bereich der höchsten Werte, die auf dem Material der tiefsten Ablagerungsschicht gemessen wurden. Dieses Verhalten war zu erwarten, da aufgrund des Versuchsablaufes durch das Aufgraben und Umwälzen dieses Material die Emission der Fläche bestimmte.

Beim Aufgraben der ersten Schicht von 1 bis 2 m Tiefe konnten immissionsseitig nur unmittelbar an der offenen Oberfläche Gerüche wahrgenommen werden. Dies korrespondiert ebenfalls mit den Emissionsmesswerten, die auf dem in den oberen Schichten lagernden Material eine deutlich geringere Quellrate anzeigen.

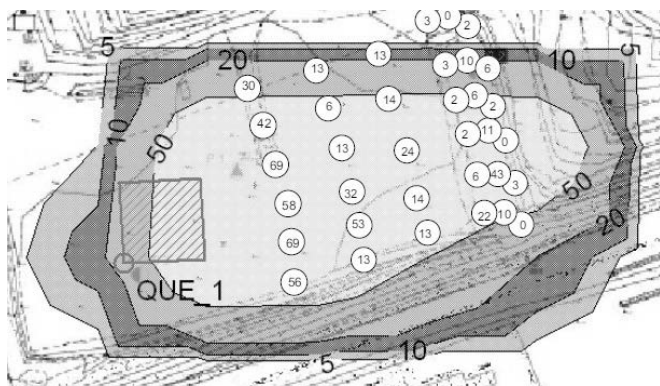


Bild 3: Ergebnisse der Fahnenrückrechnung mit spezifischer Quellstärke von 6.000 GE/(m<sup>2</sup>\*h)

### 3.3 Zusammenfassung feste diffuse Quellen

Aus unserer Sicht lassen sich mit der aktuell vorgeschriebenen Probenahmetechnik plausible Ergebnisse, also nachvollziehbare Zusammenhänge zwischen den gemessenen Geruchsemissionen und den durch Fahnenbegehungen ermittelten Immissionen, für feste diffuse Quellen, insbesondere auch für anaerobe Proben, erzielen.

## 4 Flüssige diffuse Quellen

### 4.1 Vergleich von Messwerten einer VDI 3880-konformen Haube mit denen einer nicht-konformen Hauben für mehrere Quelle einer Kläranlage

Im Rahmen verschiedener Stellungnahmen für eine kommunale Kläranlage wurden Messungen mit verschiedenen Hauben an den gleichen Quellen der Kläranlage durchgeführt. Im

Folgendes ist die Funktionsweise der nicht VDI 3880 /iii**Fehler! Textmarke nicht definiert.**-konformen Haube kurz beschrieben und die Unterschiede der beiden verwendeten Hauben dargestellt.

Die in unserem Hause angewandte Probenahmetechnik bestand aus einer Edeltallhaube mit  $0,25 \text{ m}^2$  Grundfläche. Diese Haube wurde mit synthetischer Luft mit einer Spülräte von etwa  $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  gespült. Die Messungen auf Oberflächen mit belüfteten Hauben und den angegebenen Spülräten wurden seinerzeit mit Hilfe der Ergebnisse von Fahnenbegehungen abgeglichen. Die zweite eingesetzte Haube entspricht den Vorgaben der Entwurfsfassung der VDI 3880 /iii/ (überströmte Fläche  $0,5 \text{ m}^2$ , flächenspezifische Belüftungsrate  $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ). Mit diesen Parametern wurden die Messungen mit der zweiten Haube durchgeführt (mit Erscheinen der Richtlinie wurde die Belüftungsrate auf  $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  erhöht). Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Messwerte verschiedener Quellen einer Kläranlage mit unterschiedlichen Hauben

Quelle	Messung 2007 Haube mit Durchlüftungsrate von $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$			Messung 2010 Haube mit Durchlüftungsrate von $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$		
	Geruchs- stoffkon- zentration GE/ $\text{m}^3$	spez. Vol.strom $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	Geruchs- stoffstrom GE/ $(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	Geruchs- stoffkon- zen-tration GE/ $\text{m}^3$	spez. Vol.strom $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	Geruchs- stoffstrom GE/ $(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
Vorklärung (ae- rob)	94	5	470	110	15	1.650
Bio-P (anaerob)	526	5	2.630	1.607	15	24.100
Nachklärung (ae- rob)	17	5	85	13	15	195

Die spezifischen Geruchsstoffströme der neueren Messung liegen für die dargestellten aeroben Quellen in der gleichen Größenordnung wie bei der alten Messung (vgl. Tabelle 4). Die Erhöhung der Geruchsstoffströme ergibt sich für die aeroben Quellen insbesondere durch die Multiplikation mit der Durchlüftungsrate. Die Werte für anaerobe Quellen liegen bei der neueren Messung um den Faktor 3 über den Ergebnissen der alten Messung. Die Ergebnisse der Messungen wurden mit Fahnenbegehungen gemäß der damaligen VDI-Richtlinie



3940 Blatt 2 /v/ bzw. der heutigen VDI-Richtlinie 3940 Blatt 3 /vi/) korreliert. Es ist festzustellen, dass die ermittelten Werte aus 2007 für aerobe Quellen gut mit den Ergebnissen der Fahnenbegehungen übereinstimmen. Die ermittelten Werte aus 2010 lassen sich mit Fahnenbegehungen nicht mehr abbilden. Die theoretische Fahnenlänge liegt deutlich über der bei der Fahnenbegehung festgestellten. Dies ist in diesem Fall auf die Erhöhung der Durchlüftungsrate auf  $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  zurückzuführen (die Geruchsstoffkonzentration liegt in 2007 und 2010 für aerobe Quellen in der gleichen Größenordnung). Nachfolgend ein zweites Beispiel für anaerobe Quellen einer Kläranlage.

#### 4.2 Gegenüberstellung der durch Emissionsmessungen und Fahnenrückrechnung berechneten Emissionen am Beispiel einer Kläranlage

Im Tabelle 5 sind die Ergebnisse von Emissions- und Immissionsmessungen einer Kläranlage mit Abwasser aus Druckrohrleitungen dargestellt. Es handelt sich um stark angefaultes (anaerobes) Abwasser. Die Messungen wurden mit der nicht VDI 3880-konformen Haube durchgeführt (Durchlüftungsrate  $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , Funktionsbeschreibung in Kapitel 4.1).

Tabelle 5: Messwerte verschiedener anaerober Quellen einer Kläranlage

Probenahme	Geom. Mittelwert	Spez. Vol. strom.	Geruchs- stoffkonz.	Fläche	Geruchs- stoffstrom
	GE/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)	GE/(m <sup>2</sup> ·h)	m <sup>2</sup>	GE/s
Belüfteter Sandfang	32.000	5	160.000	36	1.600
Misch- und Ausgleichs- becken	83.000	5	415.000	380	43.800
Bio P Becken	47.000	5	235.000	250	16.300
<b>Summe anaerobe Becken</b>					<b>61.700</b>
Belebungsbecken	170	5	850	2.750	650
Klärschlammager	1.400	5	7.000	90	175

In Bild 4 wurde auf der Basis einer abgeschätzten mittleren Windgeschwindigkeit von  $1,5 \text{ m/s}$  am Messtag eine Rückrechnung mit einer Quellstärke von  $5.600 \text{ GE/s}$  durchgeführt und das Fahnenbild zusammen mit den Ergebnissen der Messungen abgebildet. Die Darstellung zeigt die am Messpunkt gemessenen Geruchshäufigkeiten, wobei ein Punkt innerhalb der Fahne liegt, wenn der Wert von 10 % überschritten wird. Mit der angesetzten Quellstärke lässt sich eine gute Übereinstimmung erzielen. Dies führt jedoch zu einem offensichtlichen

Widerspruch mit den gemessenen Emissionswerten der anaeroben Quellen der Kläranlage. Diese liegen um den Faktor 11 höher (Geruchsstoffstrom mit Haube gemessen: ca. 62.500 GE/s, Geruchsstoffstrom mit Fahnenrückrechnung bestimmt: 5.600 GE/s).

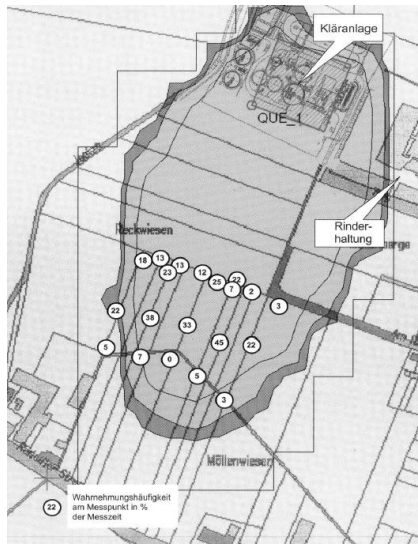


Bild 4: Ergebnisse der Fahnenrückrechnung mit einem Geruchsstoffstrom von 5.600 GE/s

#### 4.3 Fazit flüssige, anaerobe, diffuse Quellen von Kläranlagen

Generell können, unabhängig von der verwendeten Probenahmehaube, die Emissionswerte von anaeroben Quellen immissionsseitig durch Fahnenrückrechnungen nicht bestätigt werden. Bei eigenen Messungen wurde eine Bandbreite der spezifischen Emissionen von 2.630 bis 235.000 GE/(m<sup>2</sup>\*h) ermittelt. Diese mitunter sehr hohen Werte erscheinen nach den Geruchseindrücken vor Ort sowohl bei der hier in Rede stehenden als auch bei weiteren betrachteten Anlagen deutlich überschätzend. Diese Tatsache wurde in unserem Hause bei anaeroben Abwasserbecken bereits häufiger beobachtet. Die genaue Ursache ist nicht bekannt. Zu vermuten ist, dass der Stoffübergang durch das Eintauchen einer Haube dadurch angeregt wird, dass die Verwirbelungen an der eintauchenden Haubenkante gelöste Gasbläschen ausperlen lässt, die normalerweise in der Wasserphase bleiben würden.

Da die Wahl der Durchlüftungsrate die Ergebnisse des Geruchsstoffstromes direkt und linear beeinflusst, sollten zur Bestimmung von Geruchsstoffströmen für Kläranlagen weitere Unter-

suchungen stattfinden. Fahnenbegehungen scheinen insbesondere für Kläranlagen (i.A. für alle Konstellationen mehrerer diffuser Quellen) die sinnvollste Ermittlungsmethode für Geruchsemissionen zu sein und sollten, zumindest als zusätzliches Werkzeug, neben herkömmlichen Messungen eingesetzt werden.

---

- /i/ VDI-Richtlinie 3475 Blatt 1, Emissionsminderung Biologische Abfallbehandlungsanlagen – Kompostierung und Vergärung Anlagenkapazität mehr als ca. 6.000 Mg/a, Januar 2003
- /ii/ VDI-Richtlinie 3475 Blatt 1, Emissionsminderung Biologische Abfallbehandlungsanlagen – Kompostierung und Vergärung Anlagenkapazität mehr als ca. 6.000 Mg/a, Januar 2003
- /iii/ VDI-Richtlinie 3880, Olfaktometrie Statische Probenahme, Oktober 2011
- /iv/ Institutsvergleich Ausbreitungsrechnung (IVA 2016) deckt Druckfehler in der Richtlinie VDI 3475 Blatt 1 auf, Gefahrstoffe 2016, Nr. 7/8 Juli/August, W.-J. Kost, J. Nieling, M. Hasel, S. Ficher, iMA Richter & Röckle GmbH, Gerlingen
- /v/ VDI-Richtlinie 3940 Blatt 2, Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen Fahnenmessung, Februar 2006
- /vi/ VDI-Richtlinie 3940 Blatt 3, Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld, Januar 2010

# Bearbeitung von Nachbarschaftsbeschwerden über Geruchsbelästigungen aus Kleinf Feuerungsanlagen

Prof. Dr. **Isabelle Franzen-Reuter, Sven Köhn**,  
FH Münster, Steinfurt;  
Dr. **Ralf Both**, LANUV NRW, Essen

## Kurzfassung

Das Verbrennen von Holz kann mit unerwünschten Emissionen wie Feinstäuben, Kohlenwasserstoffen und Gerüchen verbunden sein.

Insbesondere Geruchsbelästigungen durch handbeschickte Feststofffeuerungsanlagen sind häufig Anlass für Nachbarbeschwerden. Es ist davon auszugehen, da insbesondere im städtischen Bereich die Anzahl der handbeschickten Kleinf Feuerungsanlagen, wie Kaminöfen und Kachelöfen, zunimmt, dass auch die Anzahl der Beschwerden weiter zunimmt.

Mit dem Ziel, die Bearbeitung von Nachbarschaftsbeschwerden über Geruchsbelästigungen aus Kleinf Feuerungsanlagen zu strukturieren, wurde in NRW ein Entwurf für eine Empfehlung für Vollzugsbehörden erarbeitet. Es werden die rechtlichen Grundlagen zusammengefasst, die Zuständigkeiten beschrieben, der Ablauf bei der Bearbeitung einer Geruchsbeschwerde erläutert sowie mögliche Minderungsmaßnahmen dargestellt.

Die Bearbeitung einer Geruchsbeschwerde erfolgt nach einem standardisierten und strukturierten Ablauf. Dabei ist insbesondere die Einhaltung rechtlicher Regelungen und des Stands der Technik zu prüfen (v. a. 1. BImSchV und VDI 3781 Blatt 4). Im Weiteren werden Verfahrensschritte beschrieben, wie seitens der zuständigen Behörden festgestellt werden kann, ob eine erhebliche Geruchsbelästigung vorliegt und somit schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des BImSchG mit dem Betrieb der Anlage verbunden sind und welche Maßnahmen in diesem Fall getroffen werden können.

## 1. Einleitung

Die Beurteilung von Nachbarbeschwerden verursacht durch die Geruchsemissionen von privat betriebenen Kleinf Feuerungsanlagen (wie z. B. Kaminöfen und Kachelöfen) kann mit Problemen verbunden sein. Weder die Bearbeitung der Nachbarbeschwerde erfolgt einheitlich noch gibt es belastbare Beurteilungsmaßstäbe, die eine Entscheidung der zuständigen Behörden über eine ggf. vorhandene schädliche Umwelteinwirkung ausreichend stützen. Es ist davon auszugehen, dass sich in Zukunft diese Problematik durch die vermehrte Verbren-

nung von festen Brennstoffen voraussichtlich noch verstärkt. Die bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen für die Bewertung möglicher Geruchsbelästigungen verursacht durch privat betriebene Kleinf Feuerungsanlagen sind auf diese Anlagen nicht übertragbar. Die rechtlichen Vorschriften behandeln ausschließlich Geruchsimmissionen verursacht durch gewerbliche genehmigungsbedürftige bzw. nichtgenehmigungsbedürftige Anlagen entsprechend der 4. BlmSchV.

Aus diesem Anlass wurde im Auftrag des LANUV NRW ein Vorschlag für eine Vollzugshilfe entwickelt, in der für die Vollzugsbehörden in NRW eine Vorgehensweise zur Bearbeitung von Nachbarbeschwerden wegen Gerüchen aus Kleinf Feuerungsanlagen empfohlen wird. Insbesondere galt es dabei auch Kriterien festzulegen, wie seitens der zuständigen Behörden festgestellt werden kann, ob eine erhebliche Geruchsbelästigung vorliegt und somit schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des BlmSchG mit dem Betrieb der Anlage verbunden sind.

## 2. Rechtliche Grundlagen

Für die nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen hat die Bundesregierung mit der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BlmSchV) bestimmte Anforderungen zum Schutz und zur Vorsorge vor schädlichen Umwelteinwirkungen vorgeschrieben [1]. Die 1. BlmSchV enthält jedoch keine Anforderungen hinsichtlich des Ausmaßes an Geruchsemissionen und deren Beurteilung.

Die Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (2017) bildet den derzeit aktuellen Stand der Technik zur Ableitung von Abgasen aus Festbrennstofffeuerungsanlagen ab [2]. Für Anlagen, die neu errichtet oder wesentlich geändert werden sollen, kann der Betreiber nach derzeitiger Fassung der 1. BlmSchV (aus dem Aspekt der Vorsorge) nicht verpflichtet werden, die v.g. VDI-Richtlinie anzuwenden, da die Ableitbedingungen des § 19 der 1. BlmSchV als öffentlich-rechtliche Vorschrift Vorrang haben. Aus Sicht des Immissionsschutzes sollte dem Betreiber aber empfohlen werden, aus fachlichen Gründen wie auch im Hinblick auf die zu erwartende Übernahme der Regelungen der neugefassten Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (2017) in die 1. BlmSchV und in die TA Luft, die Anforderungen der VDI-Richtlinie jetzt schon zu beachten.

Den wenigen Regelungen des § 19 der 1. BlmSchV, die in vielen Fällen nicht zu einem ungestörten Abtransport mit der freien Luftströmung führen, stehen umfangreichere Kriterien nach der VDI 3781 Blatt 4 (2017) gegenüber, die bei der Berechnung der erforderlichen Mündungshöhe der Schornsteine zu beachten sind.

Tabelle 1 zeigt, welche Kriterien im § 19 der 1. BImSchV aus dem Jahr 2010 und welche in der VDI 3781 Blatt 4 aus dem Jahr 2017 bezüglich der Ableitbedingungen berücksichtigt werden.

Tabelle 1: Berücksichtigung von Kriterien in § 19 der 1. BImSchV und in der VDI 3781 Blatt 4 (2017)

	§ 19 1. BImSchV (2010)	VDI 3781 Blatt 4 (2017)
Dachneigung	Ja	ja
Rezirkulation	Nein	ja
Lüftungsöffnungen	Ja	ja
Dachaufbauten	Nein	ja
Dachformen	Nein	ja
Vorgelagerte Gebäude	Nein	ja
Hanglage	Nein	ja
Einwirkungsbereich	Ja	ja

Gemäß § 19 der 1. BImSchV müssen die Austrittsöffnungen von Schornsteinen bei Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe, die ab dem 22. März 2010 errichtet oder wesentlich geändert werden

1. bei Dachneigungen

- a) bis einschließlich 20 Grad den First um mindestens 40 Zentimeter überragen oder von der Dachfläche mindestens 1 Meter entfernt sein,
- b) von mehr als 20 Grad den First um mindestens 40 Zentimeter überragen oder einen horizontalen Abstand von der Dachfläche von mindestens 2 Meter und 30 Zentimeter haben;

2. bei Feuerungsanlagen mit einer Gesamtwärmeleistung bis 50 Kilowatt in einem Umkreis von 15 Metern die Oberkanten von Lüftungsöffnungen, Fenstern oder Türen um mindestens 1 Meter überragen; der Umkreis vergrößert sich um 2 Meter je weitere angefangene 50 Kilowatt bis auf höchstens 40 Meter.

Trotz Einhaltung der Anforderungen des § 19 der 1. BImSchV (2010) können bei der Ableitung Abgase in Rezirkulationszonen gelangen, was zu Geruchsbelästigungen führen kann (insbesondere wenn nicht über First abgeleitet wird) [3]. Bei Berücksichtigung der Anforderungen der VDI 3781 Blatt 4 (2017) entspricht die Ableitung der Abgase dem heutigen Stand der Technik und die Vorgaben des § 19 der 1. BImSchV sind sicher eingehalten (auch im Hinblick auf eine etwaige Novellierung der 1. BImSchV und der TA Luft).

Bei der Beurteilung von Geruchsimmissionen verursacht durch Anlagen ist in der Regel ist die Richtlinie zur Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (GIRL) zu beachten [4]. Allerdings dürfte eine einfache Übertragung des Instrumentariums der GIRL auf die Bewertung von Geruchsbelästigungen verursacht durch Kleinf Feuerungsanlagen, insbesondere bei kleinen handbeschickten Feuerungsanlagen, wie Kaminöfen, Kachelöfen oder offene Kamine, in der Regel nicht möglich sein,

- weil sich die Betriebszeiten von Einzelraumfeuerungsanlagen üblicherweise auf bestimmte Tageszeiten während der Heizperiode (1.10.-31.05.; 5832 Jahresstunden) beschränken, wohingegen die Geruchshäufigkeiten nach GIRL sich auf das ganze Jahr (8760 Jahresstunden) beziehen,
- weil die Ableitbedingungen von Einzelraumfeuerungsanlagen nicht TA Luft-konform sind (10 m über Grund, 3 m über First) und damit ggf. besondere Betrachtungen erforderlich sind und
- weil sich die relevanten Immissionsorte häufig nicht am Boden, sondern in unterschiedlichen Geschossen der Nachbargebäude befinden, und die GIRL von einer Beurteilung in 1,50 m Höhe über dem Erdboden ausgeht.

Daher werden im Weiteren die Inhalte der GIRL an die besonderen Erfordernisse bei der Beurteilung von Kleinf Feuerungsanlagen angepasst.

### 3. Bearbeitung einer Geruchsbeschwerde

Der Behörde stehen mehrere Mittel zur Bearbeitung einer Geruchsbeschwerde zur Verfügung. Maßnahmen können nach Ermessen der Vollzugsbehörde veranlasst werden, wenn rechtliche Regelungen nicht eingehalten werden oder erhebliche Geruchsbelästigungen vorliegen.

Folgende Schritte zur Bearbeitung einer Geruchsbeschwerde werden empfohlen:

1. Aufnahme der Beschwerde
2. Beurteilung der Immissionssituation vor Ort
3. Überprüfen des Anlagenbetriebs und der rechtlichen Regelungen
4. Berechnung der maximalen Geruchshäufigkeit im Nahbereich
5. Anfertigung von Protokollen von Beschwerdeführer und Betreiber
6. Geruchserhebung durch die Behörde
7. Abschluss einer Geruchsbeschwerde

### **Aufnahme der Beschwerde**

Beim Eingang einer Geruchsbeschwerde gilt es zuerst die Zuständigkeit zu klären. Über ein Erstaufnahmeformular wird die Beschwerde erfasst. Die Aktenlage ist zu prüfen.

Wird beim Eingang der Beschwerde von offensichtlichen Verstößen gegen die 1. BImSchV berichtet, sollte nach Möglichkeit die zuständige Behörde den Immissionsort zeitnah aufsuchen, um z. B. Brennstoffmissbrauch auszuschließen.

### **Beurteilung der Immissionssituation vor Ort**

Zur Einschätzung der Immissionssituation vor Ort und Überprüfung der Plausibilität der Beschwerde ist der Immissionsort aufzusuchen und erste Eindrücke zum Sachverhalt zu protokollieren hinsichtlich:

- Missbrauch von Brennstoffen
- Geruchseindrücken im Umfeld der Anlage
- Ableitbedingungen

Darüber hinaus empfiehlt es sich, persönlich Kontakt mit dem Beschwerdeführer aufzunehmen sowie weitere Nachbarn zu befragen, ob diese sich ebenfalls belästigt fühlen.

### **Prüfung des regelkonformen Anlagenbetriebs**

Es ist zu prüfen, ob die rechtlichen Regelungen eingehalten werden. Die Prüfung beinhaltet die Einhaltung der Anforderungen der 1. BImSchV im Hinblick auf die verwendeten Brennstoffe, die Abgasableitung, die Bedienung der Kleinf Feuerungsanlage sowie die Einhaltung der Grenzwerte für Staub und CO.

Die Daten können weitestgehend bei dem bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger eingeholt werden. Daten, die nicht über den Bezirksschornsteinfeger erhoben werden können, müssen vor Ort bei dem Betreiber und der Anlage erhoben werden.

Bei Verdacht auf Brennstoffmissbrauch kann eine Ascheanalyse gemäß VDI 4207 Blatt 2 [5] und eine Beurteilung der Analyseergebnisse durchgeführt werden. Die Entnahme von Ascheproben aus privat betriebenen Feuerungsanlagen ist nur mit Zustimmung des Betreibers möglich. Eine Probennahme erfolgt durch die zuständige Behörde (nicht durch den Schornsteinfeger).

Von der Entnahme von Rußproben aus dem Kamin wird ausdrücklich abgeraten, da im Gegensatz zu den Ascheproben hierfür keine Bewertungsmaßstäbe existieren.

Sind alle rechtlichen Anforderungen eingehalten und werden erhebliche Belästigungen weiterhin beklagt, sind weitergehende Untersuchungen notwendig.



### **Abschätzung der maximalen Geruchshäufigkeiten im Nahbereich**

Mit diesem Verfahren werden auf der Basis der Windrichtungsverteilung und der Betriebszeiten Geruchswahrnehmungshäufigkeiten über die Beaufschlagungshäufigkeit eines Immissionsortes pessimal abgeschätzt [6]. Das Verfahren ist insbesondere für ein- bis zweistöckige Häuser geeignet, die sich in einem gewissen Abstand (bis zu 100 m) zum Emittenten befinden. Es muss eine Windrichtungshäufigkeitsverteilung gewählt werden, welche auf die Gegebenheiten vor Ort übertragbar ist.

Eine einfache Übertragung der Bewertungskriterien der GIRL auf die Bewertung von Geruchsbelästigungen verursacht durch Kleinf Feuerungsanlagen ist in der Regel nicht möglich. Daher werden die Inhalte der GIRL an die besonderen Erfordernisse bei der Beurteilung von Kleinf Feuerungsanlagen angepasst.

Im Hinblick auf die Bewertung ist zwischen drei Anlagenarten zu unterscheiden:

1. handbeschickte Feuerungsanlagen unter 20 kW FWL und Nutzung in der Heizperiode vom 1.10. bis 31.05. (8 Monate)
2. automatisch beschickte Feuerungsanlagen unter 100 kW FWL (z. B. Pelletfeuerungen, Hackschnitzelanlagen) und Nutzung in der Heizperiode vom 1.10. bis 31.05. (8 Monate)
3. ganzjährig betriebene Feuerungsanlagen unter 100 kW FWL in Wohneinheiten, deren Wärme- und Warmwasserversorgung über diese Anlagen erfolgt

Für die drei Anlagenarten werden folgende Bewertungsmaßstäbe festgelegt:

Für 1.:

- Bei einer Geruchshäufigkeit  $\leq 0,05$  (5 %) abgeschätzte maximale Geruchshäufigkeiten im Nahbereich bezogen auf die Heizperiode (8 Monate) wird dies als Abbruchkriterium gewertet.
- Bei einer Geruchshäufigkeit  $> 0,05$  (5 %) und  $\leq 0,10$  (10 %) bezogen auf die Heizperiode (8 Monate) sind zusätzlich zur Abschätzung der maximalen Geruchshäufigkeiten im Nahbereich weitere Untersuchungen erforderlich.
- Bei einer Geruchshäufigkeit  $> 0,10$  (10 %) bezogen auf die Heizperiode (8 Monate) liegt eine erhebliche Belästigung vor und Maßnahmen sind zu ergreifen.

Für 2.:

- Bei einer Geruchshäufigkeit  $\leq 0,10$  (10 %) abgeschätzte maximale Geruchshäufigkeiten im Nahbereich bezogen auf die Heizperiode (8 Monate) wird dies als Abbruchkriterium gewertet.

- Bei einer Geruchshäufigkeit  $> 0,10$  (10 %) und  $\leq 0,15$  (15 %) bezogen auf die Heizperiode (8 Monate) sind zusätzlich zur Abschätzung der maximalen Geruchshäufigkeiten im Nahbereich weitere Untersuchungen erforderlich.
- Bei einer Geruchshäufigkeit  $> 0,15$  (15 %) bezogen auf die Heizperiode (8 Monate) liegt eine erhebliche Belästigung vor und Maßnahmen sind zu ergreifen.

Für 3.:

- Bei einer Geruchshäufigkeit  $\leq 0,10$  (10 %) bezogen auf das Kalenderjahr wird dies als Abbruchkriterium gewertet.
- Bei einer Geruchshäufigkeit  $> 0,10$  (10 %) und  $\leq 0,15$  (15 %) bezogen auf das Kalenderjahr sind zusätzlich zur Abschätzung der maximalen Geruchshäufigkeiten im Nahbereich weitere Untersuchungen erforderlich.
- Bei einer Geruchshäufigkeit  $> 0,15$  (15 %) bezogen auf das Kalenderjahr liegt eine erhebliche Belästigung vor und Maßnahmen sind zu ergreifen.

Aufgrund des besonderen Belästigungspotenzials gelten für handbeschickte Kleinf Feuerungsanlagen strengere Maßstäbe als für automatisch beschickte Anlagen. Im Falle von ganzjährig betriebenen Anlagen gelten im Grundsatz die Anforderungen der GIRL.

### **Protokolle von Beschwerdeführer und Betreiber**

Die Einbindung von Beschwerdeführer und Betreiber kann zu einer besseren Einschätzung der Immissionssituation beitragen. Das Protokollieren von Betriebszeiten und die Aufzeichnung von Geruchswahrnehmungen können Aufschluss darüber geben, zu welchen Zeiten Geruchsbelastungen auftreten und aus welcher Richtung diese kommen.

Das Protokoll soll von den Beteiligten über einen Zeitraum von mindestens 14, besser 28 Tagen geführt werden.

Bei allen Protokollen von Beschwerdeführern und Betreibern ist zu beachten, dass

- diese auf freiwilliger Basis erfolgen,
- die Protokolle niemals behördliche Ermittlungen vor Ort ersetzen können, jedoch wichtige Hinweise auf Betriebszeiten liefern und
- die Entscheidungen der Behörde auf der Grundlage eigener Untersuchungen und Feststellungen zu erfolgen hat.

### **Geruchserhebungen durch die Behörde**

Zur Verifizierung, ob nach der Abschätzung der maximalen Geruchshäufigkeit erhebliche Geruchsbelästigungen vorliegen, sind stichprobenhafte Erhebungen der Geruchshäufigkeit durch die zuständige Behörde am Immissionsort durchzuführen. Die Erhebung wird durchge-

führt, wenn potenziell die Möglichkeit besteht anlagenspezifische Gerüche wahrzunehmen. Zeiten zur Geruchserhebung können aus den Protokollen des Betreibers und Beschwerdeführers entnommen werden. Geruchserhebungen, ohne dass die Anlage in Betrieb ist, sind nicht zielführend.

Es sind insgesamt zehn Erhebungen an zehn verschiedenen Tagen von mindestens zwei unterschiedlichen Personen durchzuführen. Sollte bei mindestens fünf Erhebungen das Geruchsstundekriterium erfüllt sein (mindestens sechs positive Geruchseindrücke im Messzeitintervall von 10 min) und sind die Geruchseindrücke eindeutig einem Verursacher zuzuordnen, ist dies als erhebliche Geruchsbelästigung zu werten und entsprechende Maßnahmen zu veranlassen.

### **Immissionsprognose**

Sollten durch die vorherigen Untersuchungen kein Abschluss der Beschwerde erreicht werden, so besteht die Möglichkeit eine Immissionsprognose in Auftrag zu geben. Die Ausbreitungsrechnung ist mit dem in Anhang 3 der TA Luft beschriebenen Ausbreitungsmodell und der speziellen Anpassung für Geruch (AUSTAL2000G) [7] durchzuführen. Die Bewertung erfolgt entsprechend den Unterteilungen und Kriterien wie bei der Abschätzung der maximalen Geruchshäufigkeiten im Nahbereich, wobei als Kenngröße die für die einzelne Kleinfeuerungsanlage prognostizierte relative Geruchshäufigkeit zu betrachten ist.

Eine Immissionsprognose ist mit einem erheblichen finanziellen Aufwand verbunden und sollte daher unter Aspekten der Verhältnismäßigkeit nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen. Zudem stellt sich die Frage, welche Emissionsfaktoren zugrunde zu legen sind, da in der Regel, ebenfalls aus Aufwandsgründen, olfaktometrische Emissionsmessungen bei Kleinfeuerungsanlagen unter 100 kW FWL unverhältnismäßig sein dürften.

### **Abschluss einer Geruchsbeschwerde**

Die effektive Bearbeitung von Geruchsbeschwerden erfordert einen konkreten Abschluss.

Der Beschwerdevorgang ist in jedem Fall beendet, wenn

- die Geruchsursache erfolgreich abgestellt werden konnte oder
- Maßnahmen ergriffen wurden, die die Geruchsimmissionen auf ein zulässiges Maß reduzieren oder
- sich herausstellt, dass die Beschwerde offensichtlich unbegründet ist.

Um die Beschwerde auch formal abzuschließen, ist der Beschwerdeführer entsprechend, am besten schriftlich, zu informieren oder zu bescheiden. Die durchgeführten Untersuchungen und veranlassten Maßnahmen sind zu dokumentieren.

#### **4. Maßnahmen zur Minderung von (erheblichen) Geruchsbelästigen**

##### **Grundsatz**

Grundsätzlich ist zu beachten, dass § 22 Abs. 1 BImSchG lediglich verlangt, dass nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß zu reduzieren sind. Dabei ist auch die Verhältnismäßigkeit der anzuordnenden Maßnahme zu prüfen. Im Sinne eines guten nachbarschaftlichen Verhältnisses können Maßnahmen aber auch ohne formale Grundlage sinnvoll sein.

Liegen Erkenntnisse vor, dass zu befürchten ist, dass der Betrieb der Anlage mit Gefahren für die Gesundheit verbunden ist, ist eine Prüfung der Verhältnismäßigkeit nachrangig. Allerdings ist dann zu beachten, ob auch mit einer weniger belastenden Maßnahme eine Vermeidung von Gesundheitsbeeinträchtigungen erreicht werden kann.

##### **Gespräch mit dem Betreiber**

In einem ersten Schritt sollte das Gespräch mit dem Betreiber gesucht werden und eine Aufklärung über mögliche weitere Schritte erfolgen.

##### **Regelkonformer Anlagenbetrieb**

Sollte der Stand der Technik nicht eingehalten sein oder die Anlage im Hinblick auf die zulässigen Brennstoffe nicht korrekt betrieben werden, sind entsprechende Maßnahmen nach Ermessen der Vollzugsbehörde zu veranlassen.

##### **Beschränkung der Betriebszeiten**

Sollten erhebliche Geruchsbelästigungen festgestellt werden, können Betriebszeiten sowie die Dauer des Betriebs entsprechend angepasst oder eingeschränkt werden.

##### **Veränderung der Ableitbedingungen**

Zunächst ist zu prüfen, ob die Ableitbedingungen nach § 19 1. BImSchV eingehalten sind. Sind diese nicht eingehalten, ist Abhilfe zu schaffen. Werden erhebliche Geruchsbelästigungen festgestellt, ist weiterhin zu prüfen, ob die Anforderungen der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (2017) eingehalten sind. Die Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 (2017) beschreibt den derzeit aktuellen Stand der Technik zur Bestimmung der Mindesthöhe der Mündungen von Abgasanlagen, die zur Ableitung von Emissionen aus Feuerungsanlagen eingesetzt werden.

Ob eine Erhöhung der Ableithöhe dem Anlagenbetreiber aufzuerlegen ist, liegt im Ermessen der Vollzugsbehörde. Es sollte auch geprüft werden, ob mit der geplanten Erhöhung des

Kamins nach wie vor eine ausreichende Baustatik gewährleistet wird. Auch die Verhältnismäßigkeit der Maßnahme ist zu prüfen.

### **Technische Minderungsmaßnahmen**

Weiterhin können technische Möglichkeiten zur Minderung der Emissionen in Betracht gezogen werden.

Dies könnte eine Modernisierung der Altanlage sein, die Nachrüstung mit einer Abgasreinigungsanlage oder die Errichtung einer Neuanlage, soweit dazu Bereitschaft besteht. Ziel ist es, die Emissionen auf ein Mindestmaß zu reduzieren (§ 22 Abs.1 BImSchG).

Verschiedene Abgasreinigungssysteme zur Minderung gasförmiger organischer Schadstoffe können gegebenenfalls zu einer Minderung der Rauchgasgerüche aus Verbrennungsanlagen beitragen (z. B. katalytisch wirkende Systeme). Wichtig ist, dass die Abgasreinigungsanlage eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erhalten hat. Für Kleinf Feuerungsanlagen werden außerdem verschiedene Staubabscheider angeboten.

Das Deutsche Institut für Bautechnik listet auf seiner Internetseite Abscheider, die eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erhalten haben (für Anlagen, die unter den Geltungsbereich der 1. BImSchV fallen). Unter dem Bereich „Service“ der Internetseite können die zugelassenen Abscheider abgefragt werden.<sup>1</sup>

### **Kommunikation, Einsicht und gegenseitige Rücksichtnahme**

Im Sinne eines guten nachbarschaftlichen Verhältnisses ist es grundsätzlich empfehlenswert, wenn eine Verständigung zwischen Anlagenbetreiber und Beschwerdeführer erfolgt.

Insbesondere, wenn die Objektivierung des Sachverhaltes durch die zuständige Behörde ergeben hat, dass der Anlagenbetreiber seine Feuerungsanlage ordnungsgemäß betreibt und die Geruchemissionen während des Anheizens nicht anders zu mindern sind, können Absprachen zwischen Betreiber und Nachbarn deeskalierend wirken, z. B.:

- Der Anlagenbetreiber informiert den Nachbarn, wann er den Kamin anheizen will und eine kurzzeitige Emissionsbelastung zu erwarten ist, damit der Nachbar rechtzeitig die Fenster schließen kann.
- Der Anlagenbetreiber betreibt den Kamin bei Inversionswetterlagen nicht.

Solche Verhaltensregeln sind meist dann möglich, wenn die Kommunikation nicht abgebrochen ist und die Parteien rücksichtsvoll miteinander umgehen.

---

<sup>1</sup> <https://www.dibt.de/de/Service/Service-Suche.html>

## 5. Fazit

Die Möglichkeiten, wie eine Beschwerde sinnvoll bearbeitet werden kann, sind vielfältig. Grundsätzlich sollte es vorrangiges Ziel sein, im Sinne eines guten nachbarschaftlichen Verhältnisses mit beiden Parteien einvernehmliche Lösungen zu finden. Dies ist nicht immer möglich und letztendlich können Entscheidungen auch durch Gerichte getroffen werden. Mit dem hier erläuterten (noch in abschließender Bearbeitung befindlichen) Entwurf für eine Vollzugsempfehlung soll den Vollzugsbehörden eine einheitliche Grundlage zur Bewertung der Beschwerden über Geruchsbelästigungen beim Betrieb von Kleinf Feuerungsanlagen in NRW zur Verfügung gestellt werden, um eine möglichst rechtssichere Vorgehensweise sicherzustellen. Die Erprobung der Vollzugsempfehlung in Rahmen einer Pilotierungsphase wird als sinnvoll erachtet. Grundsätzlich können die dargestellten Ablaufschritte und Kriterien auch für Behörden anderer Bundesländer hilfreich sein.

## Literatur

- [1] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) vom 26. Januar 2010, zuletzt geändert am 10. März 2017 (BGBl. I S. 420).
- [2] VDI 3781 Blatt 4:2017-07 Umweltmeteorologie; Ableitbedingungen für Abgase; Kleine und mittlere Feuerungsanlagen sowie andere als Feuerungsanlagen. Berlin: Beuth Verlag
- [3] Bächlin, W.; Theurer, W. (2017): Die neue Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 – Ableitbedingungen für Abgase – Kleine und mittlere Feuerungsanlagen sowie andere als Feuerungsanlagen. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 77, Nr. 7-8/2017, S. 279–283.
- [4] Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL) vom 5. November 2009 (MBI NW, 2009, Nr. 31, S. 534–538).
- [5] VDI 4207 Blatt 2:2016-07 Messen von Emissionen an Kleinf Feuerungsanlagen; Messen an Anlagen für feste Brennstoffe. Berlin: Beuth Verlag
- [6] Hartmann, U. (2003): Abschätzung der maximalen Geruchshäufigkeiten im Nahbereich. (online unter [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/gerueche/WINDMODELL\\_III\\_LUA\\_Ausgabe.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/gerueche/WINDMODELL_III_LUA_Ausgabe.pdf))
- [7] Janicke, L.; Janicke, U. (2004): Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz. Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 200 43 256, Ingenieurbüro Janicke, Dunum, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau, 125 S.

# Erste Erfahrungen mit der Europäischen Norm DIN EN 16841-Blatt 1

Dipl.-Phys. Ing. **Frank Müller**, Uppenkamp + Partner GmbH, Ahaus

## Kurzfassung

Mit Erscheinen der europäischen Norm DIN EN 16841, Blatt 1 „Bestimmung von Geruchmissionen durch Begehungen, Rastermessung“ verliert die VDI 3940-1 ihre Gültigkeit. Wesentliche Unterschiede der europäischen Norm zur VDI-Richtlinie sind die Vorgaben hinsichtlich der begleitenden meteorologischen Messungen und der Betrachtung der Messunsicherheit.

Die Ergebnisse der Messungen sind in erster Linie nur für den zugrunde gelegten Messzeitraum gültig und können aufgrund der meteorologischen Variationen nicht zwangsläufig auf andere Messzeiträume übertragen werden. Wenn das Ergebnis als repräsentativ für längere Zeiträume anzusehen sein soll, müssen die zeitliche und räumliche Repräsentativität nachgewiesen werden. Die Zeitliche Repräsentativität kann durch Vergleich statistischer Parameter von Kurzzeitreihen meteorologischer Daten mit statistischen Parametern von Langzeitreihen meteorologischer Daten einer geeigneten Windmessstation überprüft werden. Die Räumliche Repräsentativität wird herangezogen, um zu klären, ob der Standort einer meteorologischen Messstation angemessen die Bedingungen im räumlichen Untersuchungsbe- reich beschreibt.

Bei der Betrachtung der Messunsicherheit wird die obere und die untere Grenze des Unsicherheitsbereichs der Messergebnisse (Anzahl von Geruchsstunden) bestimmt. Dies geschieht in dem die Anzahl der Geruchsstunden je Beurteilungsfläche mithilfe von unterschiedlichen Geruchsstundenkriterien ermittelt wird.)

## 1. Einleitung

Im März 2017 ist die Europäische Norm DIN EN 16841 Blatt 1 „Bestimmung von Geruchmissionen durch Begehungen, Rastermessung“ [1] erschienen, die das in der Europäischen Norm EN 13725 [2] beschriebene Verfahren der dynamischen Olfaktometrie ergänzt, das im Allgemeinen nur für die Messung von Geruchsstoffemissionen an der Quelle geeignet ist. Die Europäischen Norm DIN EN 16841-1 [1] legt die Bestimmung von Geruchsstoffmissionen mittels Rastermessung fest. Sie stellt Anleitungen zur Messung von Geruchsstoffmissionen innerhalb eines festgelegten Beurteilungsgebiets unter Einsatz quali-



fizierter Prüfer über einen hinreichend langen Zeitraum zur Verfügung, um repräsentativ für die meteorologischen Verhältnisse an diesem Ort zu sein und folglich die Verteilung der Geruchsimmissionshäufigkeiten innerhalb des Beurteilungsgebietes zu bestimmen.

Die DIN EN 16841-1 [1] beinhaltet nicht:

- die Messung der Intensität von Geruchsstoffimmissionen;
- die Messung der Hedonik von Geruchsstoffimmissionen;
- die Berechnung der Geruchsbelastung bei bestimmten Wetterbedingungen zur Bestimmung der Häufigkeitsverteilung von erkennbarem Geruch in einer Geruchsfahne;
- die Ermittlung der Quellstärke auf Basis von Geruchsfahnen unter Anwendung einer Rückrechnung mithilfe der Ausbreitungsmodellierung.

Mit Erscheinen der DIN EN 16841-1 [1] verliert die VDI 3940-1 [3] ihre Gültigkeit.

Wesentliche Unterschiede der europäischen Norm zur VDI-Richtlinie sind die Vorgaben hinsichtlich der begleitenden meteorologischen Messungen und der Betrachtung der Messunsicherheit. Im nachfolgenden Beitrag wird anhand eines Fallbeispiels die sich aus den neuen Anforderungen ergebenden Auswirkungen erläutert.

## 2. Messprinzip

Die Rastermessung ist ein statistisches Erhebungsverfahren, das über einen hinreichend langen Zeitraum angewendet wird, um die räumliche Verteilung der Belastung erkennbarer Gerüche darzustellen. Sie beruht größtenteils auf der deutschen Richtlinie VDI 3940 Blatt 1 [3]. Die Ermittlung der Geruchsbelastung erfolgt hierbei mit qualifizierten Prüfern, die an vorher definierten Standorten die Umgebungsluft innerhalb eines bestimmten Messzeitintervalls auf Geruch prüfen.

Das Ergebnis einer Rastermessung ist die Geruchsstundenhäufigkeit von einer oder mehreren erkennbaren Geruchsart(en) je Beurteilungsfläche oder je Messpunkt für eine vorgegebene Erhebungsdauer (sechs oder zwölf Monate) und einen vorgegebenen Erhebungsumfang (52 Einzelmessungen in sechs Monaten oder 104 Einzelmessungen in sechs oder zwölf Monaten). Die Geruchsstundenhäufigkeit wird aus der Anzahl der positiven Einzelmessungen (Geruchsstunden) berechnet, die von Prüfern im Verlauf der gesamten Erhebungsdauer und bei vollständigem Erhebungsumfang gemessen wurden.

**Kriterium für eine positive Einzelmessung (Geruchsstunde)**

Eine Einzelmessung zählt als eine Geruchsstunde, wenn der Geruchszeitanteil 10 % erreicht oder überschreitet. Das bedeutet, dass bei mindestens sechs von 60 Riechproben, die in Zehn-Sekunden-Intervallen innerhalb eines zehnminütigen Messzeitintervalls durchgeführt werden, eine Geruchsart eindeutig erkannt wird.

**3. Begleitende meteorologische Messungen**

Die Rastermessung ist ein statistisches Erhebungsverfahren, bei dem die Geruchsstundenhäufigkeit nach einem systematischen Messplan ermittelt wird, d.h. die Messungen werden unabhängig von den zu erwartenden oder vorherrschenden meteorologischen Bedingungen (z. B. Windrichtung) durchgeführt. Somit sind die Ergebnisse der Rastermessungen in erster Linie nur für den zugrunde gelegten Messzeitraum gültig und können aufgrund der meteorologischen Variationen nicht zwangsläufig auf andere Messzeiträume übertragen werden.

Soll das Ergebnis als repräsentativ für einen längeren Zeitraum anzusehen sein, müssen die zeitliche und räumliche Repräsentativität der meteorologischen Daten betrachtet werden.

**Zeitliche Repräsentativität**

Die zeitliche Repräsentativität muss anhand von statistischen Größen zur Windrichtung und Windgeschwindigkeit überprüft werden. Dazu werden Datensätze einer Dauermessstation über fünf oder zehn Jahre benötigt. Die Windrichtungsverteilung kann als zeitlich repräsentativ angesehen werden, wenn die Mittelwerte für jeden Windrichtungssektor innerhalb des Intervalls des Mittelwertes für den Referenzzeitraum plus oder minus die doppelte Standardabweichung des Parameters in diesem Sektor liegen. Die Windgeschwindigkeitsverteilung kann als zeitlich repräsentativ angesehen werden, wenn die Mittelwerte jeder Kategorie innerhalb des Intervalls des Mittelwertes für den Referenzzeitraum plus oder minus die doppelte Standardabweichung des Parameters in dieser Kategorie liegen.

**Räumliche Repräsentativität**

Zur Gewährleistung der räumlichen Repräsentativität müssen meteorologische Messungen im Untersuchungsgebiet durchgeführt werden. Die Lage der meteorologischen Station ist so zu wählen, dass ihre Daten die meteorologischen Bedingungen für das gesamte Beurteilungsgebiet charakterisieren.

**4. Messunsicherheit**

Die Unsicherheitsquellen bei einer Rastermessung sind:

- die Unterschiede zwischen den Prüfern;
- die Abweichung der Geruchsstundenhäufigkeit in Abhängigkeit von dem gewählten Erhebungsumfang und der gewählten Erhebungsdauer (dem Probenumfang);
- die durch den Grad der Repräsentativität der Erhebungsdauer für die typischen örtlichen meteorologischen Bedingungen bedingte Unsicherheit.

Bei der Ermittlung der Unsicherheit wird angenommen, dass die meteorologischen Bedingungen für die ortsspezifische Meteorologie repräsentativ sind. Somit kann die aus dieser Quelle abgeleitete Unsicherheit als vernachlässigbar angesehen werden.

Parallel mit zwei Panels durchgeführte Rastermessungen zeigen, dass die Messunsicherheit des Begehungsergebnisses (Anzahl von Geruchsstunden), basierend auf einem 95%-Vertrauensbereich bei etwa 4 Prozentpunkten ( $\pm 4\%$ ) bezogen auf die Geruchsstundenhäufigkeit innerhalb einer Beurteilungsfläche liegt. Aufgrund des sehr großen Aufwandes, diesen Ansatz bei einzelnen Untersuchungen zur Bestimmung der Unsicherheit nach DIN EN ISO 20988 [4] anzuwenden. Dieser Ansatz sollte jedoch bei grundlegenden wissenschaftlichen Untersuchungen berücksichtigt werden.

Bei Anwendung des Ansatzes nach DIN EN ISO 20988 [4] wird eine bedeutende Besonderheit der Rastermessung nicht berücksichtigt. Entsprechend der Definition der Geruchsstunde kann das Ergebnis einer Einzelmessung nur eine Geruchsstunde oder keine Geruchsstunde sein.

Die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers ist abhängig von der Anzahl der positiven Einzelmessungen. Je weiter das Messergebnis von dem Geruchsstundenkriterium (6 Takte mit Geruch) entfernt ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers bei der Beurteilung der Geruchsstunde. In den Fällen, in denen viele Takte mit Geruch festgestellt werden, ist es wahrscheinlich, dass alle Prüfer den Geruch wahrnehmen und in jedem Fall eine Geruchsstunde berechnet wird. In diesem Fall liegt praktisch keine prüferbedingte Unsicherheit vor.

In den Fällen, in denen nur wenige Takte mit Geruch festgestellt werden, schwankt die Anzahl der berechneten Geruchsstunden in einem bestimmten Bereich. Einige Prüfer stellen z. B. nur drei bis fünf Takte mit Geruch fest, während andere sechs bis acht Takte feststellen. In diesem Fall liegt eine signifikante Streuung der Ergebnisse dieser Einzelmessungen vor.

### **Berechnung der Unsicherheit der Geruchsstundenhäufigkeit**

Gemäß Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) [5] beträgt in Deutschland das Geruchsstundenkriterium 10 % (6 Takte). Auf Basis dieses Kriteriums wird dann die Geruchsstundenhäufigkeit ermittelt.

Die Berechnung der Geruchsstundenhäufigkeit kann mithilfe von unterschiedlichen Geruchsstundenkriterien vorgenommen werden. Eine obere Grenze für die Anzahl der Geruchsstunden auf der Grundlage der Einzelmessungen kann mit mehr als zwei Takten mit Geruch bei einer zehnminütigen Messdauer ermittelt werden. Eine untere Grenze für die Anzahl der Geruchsstunden kann anhand der Einzelmessungen ermittelt werden, bei denen mehr als acht Takte von 60 mit Geruch bestimmt wurden.

### **5. Fallbeispiel**

Die Musterstadt prüft in verschiedenen Ortsteilen die Möglichkeiten zur Ausweisung neuer Wohnbauflächen. Im Rahmen des Prüfprozesses bzw. der sich eventuell anschließenden Bauleitplanverfahren sollten drei Flächen hinsichtlich der durch Tierhaltungsanlagen und sonstige Anlagen vorherrschenden Geruchsimmissionssituation untersucht werden.

Die Geruchsimmissionen auf den zu untersuchenden Potentialflächen wurden dabei mit Hilfe von Rastermessungen (Messzeitraum: Juli 2016 bis Februar 2017) gemäß den Anforderungen der GIRL [5] und der DIN EN 16841-1 [1] ermittelt. Dabei wurden die zu untersuchenden Potentialflächen in vier Beurteilungsflächen (Seitenlängen: 110 m bis 170 m) mit jeweils vier Messunkten eingeteilt. Die Lage der Potentialflächen (dunkelgrau gefärbte Polygonobjekte) und die Lage der auf Grund der örtlichen Gegebenheiten tatsächlich gewählten Beurteilungsflächen (hellgrau gefärbte Polygonobjekte) sowie die den Beurteilungsflächen zugehörigen Messpunkte sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



Bild 1: Lage der Beurteilungsflächen und Messpunkte

Im Umfeld der Potentialflächen befinden sich mehrere Tierhaltungsanlagen zur Haltung von Rindern, Schweinen und Pferden. Weiterhin befindet sich im Umfeld ein Abwasserpumpwerk.

### Methode der Geruchserfassung

Die Gerüche wurden mit Hilfe der Taktmethode (Abfrage alle 10 Sekunden) erfasst. Das Messzeitintervall beträgt 10 Minuten, sodass sich 60 Takte je Messzeitintervall ergeben. Das Messergebnis wurde als Geruchsstunde gewertet, wenn mindestens 10 % der Takte im Messzeitintervall anlagenbezogenen Geruchsqualitäten (siehe unten) zugeordnet wurden. Das bedeutet, dass bei  $\geq 6$  Takten mit Geruch der entsprechenden Qualitäten das Geruchsstundenkriterium erfüllt war. Die erkannten Gerüche wurden differenziert nach folgenden Geruchsqualitäten aufgenommen: „Schweine (1)“, „Rinder/Silage/Mist (2)“, „Pferde/Mist (3)“, „Mastgeflügel (4)“, „Gülleausbringung (5)“, „Abwasser/Fäkalien (6)“, „andere Firmen-/Anlagengerüche (8)“ und „sonstige Gerüche (9)“.

### Berechnung der Geruchsstunden

Die Anzahl der Geruchsstunden wird für jeden Messpunkt und anschließend für jede Beurteilungsfläche nach folgender Gleichung berechnet:

$$n_A = n_{MP1} + n_{MP2} + n_{MP3} + n_{MP4}$$

Dabei ist:

$n_{MP1}$ ,  $n_{MP2}$ ,  $n_{MP3}$ ,  $n_{MP4}$ : die Anzahl der Geruchsstunden (positive Einzelmessungen) an den Messpunkten (MP1 bis MP4) einer Beurteilungsfläche,

$n_A$ : die Anzahl der Geruchsstunden je Beurteilungsfläche,

A: der Laufindex der Beurteilungsflächen.

### Berechnung der Geruchsstundenhäufigkeit

Die Geruchsstundenhäufigkeit wird aus der Anzahl der Geruchsstunden je Beurteilungsfläche und dem Erhebungsumfang berechnet. Die Geruchsstundenhäufigkeit ist für jede anlagenbezogene Geruchsqualität zu berechnen.

$$F_{od, rel, A, i} = n_{A, i} / N$$

Dabei ist:

$F_{od, rel, A, i}$ : die flächenbezogene Kenngröße der Geruchsstoffimmission als relative Häufigkeit der Stunden mit Geruch, differenziert nach Geruchsart i und Beurteilungsfläche A,

$n_{A, i}$ : die Anzahl der Geruchsstunden je Beurteilungsfläche, differenziert nach Geruchsart i,

i: der Laufindex der aufgezeichneten Geruchsart,

N: der Erhebungsumfang (N = 52 oder 104).

Durch Multiplikation von  $F_{od, rel, A, i}$  mit 100 ergibt sich die Geruchsstundenhäufigkeit  $F_{od}$  in %.

### Beurteilungsrelevante Kenngröße

Gemäß GIRL [5] ist bei der Beurteilung von Geruchsimmissionen, die durch Tierhaltungsanlagen verursacht werden, die belastigungsrelevante Kenngröße  $IG_b$  zu berechnen.

Für die Berechnung der belastigungsrelevanten Kenngröße  $IG_b$  wird die Gesamtbelastung IG mit dem tierspezifischen Gewichtungsfaktor  $f_{gesamt}$  multipliziert:

$$IG_b = IG \times f_{gesamt}$$

Der tierspezifische Faktor  $f_{\text{gesamt}}$  berechnet sich nach folgender Beziehung:

$$f_{\text{gesamt}} = (1 / (H_1 + H_2 + \dots + H_n)) \times (H_1 \times f_1 + H_2 \times f_2 + \dots + H_n \times f_n).$$

Dabei ist

$n = 1$  bis 4 und

$H_1 = r_1$ ,

$H_2 = \min(r_2, r - H_1)$ ,

$H_3 = \min(r_3, r - H_1 - H_2)$ ,

$H_4 = \min(r_4, r - H_1 - H_2 - H_3)$

mit

$r$  die Geruchshäufigkeit aus der Summe aller Emissionen (unbewertete Geruchshäufigkeit),

$r_1$  die Geruchshäufigkeit für die Tierart Mastgeflügel,

$r_2$  die Geruchshäufigkeit ohne Wichtung,

$r_3$  die Geruchshäufigkeit für die Tierart Mastschweine, Sauen,

$r_4$  die Geruchshäufigkeit für die Tierart Milchkühe mit Jungtieren,

$f_1$  der Gewichtungsfaktor 1,5 für die Tierart Mastgeflügel,

$f_2$  der Gewichtungsfaktor 1 (z. B. Tierarten ohne Gewichtungsfaktor),

$f_3$  der Gewichtungsfaktor 0,75 für die Tierart Mastschweine, Sauen,

$f_4$  der Gewichtungsfaktor 0,5 für die Tierart Milchkühe mit Jungtieren, Pferde.

## Darstellung der Messergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich in tabellarischer Form wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Rastermessung

BF	Messpunkt					Schwein		Rind/Silage /Mist		Pferd/Mist		Geflügel		Gülleaus- bringung		Abwasser/ Fakalien		sonstige Anlagen- gerüche		IG		f <sub>ges.</sub>	IG <sub>b</sub>
						ohne f = 0,75		ohne f = 0,5		mit f = 1,0		ohne f = 1,5				mit f = 1,0		mit f = 1,0		ohne f			
	Nr.					na	Fod in %	na	Fod in %	na	Fod in %	na	Fod in %	na	Fod in %	na	Fod in %	na	Fod in %	Fod, b in %			
8	A7	B7	C8	D6		0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	1	2	0	0	1	2	1,0	2
9	A8	B8	C8	D6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	0	0	4	8	1,0	8
10	A9	B9	C9	D7		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0
11	A10	B10	C9	D7		0	0	1	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	2	0,5	1

Tabelle 2: Messunsicherheit

BF	Messpunkt				Gesamtbelastung mit $f_{\text{gesamt}}$		
Nr.	Nr.				obere Grenze (> 2)	Messwert	untere Grenze (> 8)
					$F_{\text{od, b, up}}$	$F_{\text{od, b}}$	$F_{\text{od, b, lo}}$
					in %	in %	in %
8	A7	B7	C8	D6	2	2	6
9	A8	B8	C8	D6	6	8	10
10	A9	B9	C9	D7	0	0	3
11	A10	B10	C9	D7	1	1	3

### Räumliche Repräsentativität der verwendeten meteorologischen Daten

Räumlich repräsentative meteorologische Daten werden für u.a. die Durchführung der Plausibilitätsprüfung benötigt. Um diese Daten zu erhalten, müssen meteorologische Messungen im Untersuchungsgebiet mittels einer Messstation durchgeführt werden, die so gelegen ist, dass ihre Daten die meteorologischen Bedingungen für das gesamte Beurteilungsgebiet charakterisieren. Alternativ lassen sich hierfür meteorologische Daten einer geeigneten Messstation des Deutschen Wetterdienstes oder eines gleichwertigen Anbieters verwenden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die verwendete Messstation für das Beurteilungsgebiet als räumlich repräsentativ anzusehen ist. Der Standort der meteorologischen Station liegt ca. 12 km in nördlicher Richtung von den Beurteilung-flächen entfernt. Anhand der topographischen Struktur sowie der jeweils vorherrschenden Bebauung und des Bewuchses sind keine Anhaltspunkte gegeben, die einer Verwendung der Daten der o. g. Station widersprechen.

### Zeitliche Repräsentativität der verwendeten meteorologischen Daten

Zur Überprüfung der zeitlichen Repräsentativität der verwendeten meteorologischen Daten wurden die Mittelwerte für 12 Windrichtungssektoren und 4 Windgeschwindigkeitsklassen der Station Münster-Osnabrück (DWD 103150) des 10-Jahres-Zeitraumes 2007 bis 2016 sowie die zugehörigen Standardabweichungen aus 20 Halbjahres-Mittelwerten dieses Zeitraumes verwendet.



Tabelle 3: Zeitliche Repräsentativität der meteorologischen Daten, Windrichtungssektoren

Sektor der Windrichtung	Münster-Osnabrück (DWD 103150)					Repräsentativ?
	Mittlere Häufigkeit x	s	x - 2s	x + 2s	Mittlere Häufigkeit x im Begehungszeitraum	
	2007 - 2016					
	in %	in %	in %	in %	in %	ja/nein
0 (346°...15°)	4,2	1,7	0,8	7,6	4,4	Ja
30 (16°...45°)	6,4	2,7	1,0	11,8	8,2	Ja
60 (46°...75°)	7,8	2,6	2,6	13,0	9,3	Ja
90 (76°...105°)	5,8	1,2	3,4	8,2	7,1	Ja
120 (106°...135°)	9,7	2,1	5,5	13,9	12,9	Ja
150 (136°...165°)	8,5	1,9	4,7	12,3	9,5	Ja
180 (166°...195°)	8,7	2,1	4,5	12,9	8,7	Ja
210 (196°...225°)	13,8	3,2	7,4	20,2	12,2	Ja
240 (226°...255°)	15,3	2,3	10,7	19,9	13,3	Ja
270 (256°...285°)	10,0	2,2	5,6	14,4	7,6	Ja
300 (286°...315°)	5,4	1,5	2,4	8,4	3,8	Ja
330 (316°...345°)	4,5	1,7	1,1	7,9	3,0	Ja

Der Tabelle 3 lässt sich entnehmen, dass die verwendeten meteorologischen Daten, bezogen auf die Windrichtungsverteilung, als zeitlich repräsentativ anzusehen sind.

Tabelle 4: Zeitliche Repräsentativität der meteorologischen Daten, Windgeschwindigkeit

Windgeschwindigkeitsklassen	Münster-Osnabrück (DWD 103150)					Repräsentativ?
	Durchschnittliche Frequenz x	s	x - 2s	x + 2s	Durchschnittliche Frequenz x im Begehungszeitraum	
	2007 - 2016				18.07.2016 11:00 Uhr - 21.02.2017 03:00 Uhr	
in m/s	in %	in %	in %	in %	in %	ja/nein
< 1,4	15,6	2,6	10,4	20,8	22,4	Nein
1,4 – 2,5	26,5	3,3	19,9	33,1	27,2	Ja
2,5 – 5,5	44,8	3,4	38,0	51,6	41,3	Ja
> 5,5	13,0	3,6	5,8	20,2	9,1	Ja

Der Tabelle 4 lässt sich entnehmen, dass die verwendeten meteorologischen Daten, bezogen auf die Windgeschwindigkeit, mit Ausnahme von Windgeschwindigkeiten unterhalb von 1,4 m/s als zeitlich repräsentativ anzusehen sind.

Bei einem Vergleich der Mittelwerte der Windgeschwindigkeitsklasse  $< 1,4$  m/s wird deutlich, dass im Begehungszeitraum mehr Schwachwinde auftraten als im langjährigen Mittel. Eine besonders atypische Wetterlage lag jedoch nach Einschätzung des Gutachters nicht vor. Die Gründe hierfür liegen vielmehr in der natürlichen Schwankung der Wetterverhältnisse. Da sich die Emittenten (Quellen) teilweise im direkten Nahbereich zur Beurteilungsfläche befinden, kann ein höherer Schwachwindanteil als konservativ angesehen werden. Eine nachträgliche Korrektur der Messergebnisse ist damit nicht erforderlich.

## 6. Fazit

Durch die neuen Anforderungen der DIN EN 16841-1 [4] hat sich der Aufwand bei Rastermessungen deutlich erhöht. Während man zur Ermittlung der Messunsicherheiten auf eigene Daten zurückgreifen kann und sich dadurch nur der Zeitaufwand erhöht, sind mit der Prüfung der räumlichen und zeitlichen Repräsentativität der meteorologischen Daten zusätzliche Mehrkosten verbunden, da für die Berechnung der Standardabweichungen (Windrichtung und -geschwindigkeit) Langzeitreihen meteorologischer Daten einer geeigneten Windmessstation zu beschaffen sind. Es bleibt somit zu klären, warum bei der Ermittlung von Geruchsmissionen (Belästigungen) höhere Anforderungen gestellt werden als bei der Immissionsermittlung von Luftschadstoffen (Gesundheitsgefahren). In der TA Luft wird derzeit keine Repräsentativitätsprüfung nach einem halben Jahr Immissionsmessungen gefordert.

## Literatur

- [1] DIN EN 16841-1: Außenluft – Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Teil 1: Rastermessung; Deutsche Fassung EN 16841-1:2016, Berlin: Beuth Verlag, März 2017
- [2] DIN EN 13725: Luftbeschaffenheit: Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725: 2003, Berlin: Beuth Verlag, Juli 2003
- [3] VDI 3940 Blatt 1: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen; Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen; Rastermessung. Berlin: Beuth Verlag, Februar 2006
- [4] DIN EN ISO 20988: Luftbeschaffenheit – Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit (ISO 20988:2007); Deutsche Fassung EN ISO 20988:2007, Berlin: Beuth Verlag, September 2017
- [5] Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie GIRL), in der Fassung vom 29. Februar 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008

## **EU-Projekt OdCom – dem Geruch auf der Spur: Ein Zwischenbericht**

**Anja Mannewitz, Martina Straková,**  
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,  
Dresden

### **Kurzfassung**

Im grenznahen Erzgebirgsraum treten vor allem in den Herbst- und Wintermonaten bei süd-östlichen Windrichtungen vermehrt Geruchsbelastungen auf. Dabei werden zumindest kurzzeitig auch erhöhte Konzentrationen typischer Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid, Benzol und Feinstaub PM10 gemessen. Das EU-Projekt OdCom "Objektivierung der Geruchsbeschwerden im sächsisch-tschechischen Grenzgebiet" möchte einen Beitrag zur Ursachenanalyse und Untersuchung der gesundheitlichen Folgen leisten. Das Ziel ist es, Aussagen zu luftschadstoffinduzierten Gesundheitsbeschwerden, die von vielen Bürgern im Zusammenhang mit den viel berichteten Geruchsereignissen wahrgenommen werden, im Untersuchungsgebiet treffen zu können. Eine detaillierte Dokumentation von Geruchsereignissen, die Erprobung neuer bzw. innovativer Messtechnik und eine Datenauswertung hinsichtlich Geruchsepisoden, Luftqualität und toxischem Risikopotential erfolgt an Messstationen auf deutscher und tschechischer Grenzseite über einen Zeitraum von zwei Winterhalbjahren.

### **1. Ausgangssituation**

Im grenznahen Erzgebirgsraum treten vor allem in den Herbst- und Wintermonaten bei süd-östlichen Windrichtungen vermehrt Geruchsbelastungen auf, deren Ursachen vermutlich die zahlreichen Anlagen im nordböhmischen Industrierevier und die Gebäudeheizung mit Festbrennstoffen sind. Dabei werden zumindest kurzzeitig auch erhöhte Konzentrationen typischer Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid und Benzol an der Luftgütemessstation auf dem Schwarzenberg gemessen. Obwohl sich die Luftqualität seit Beginn der neunziger Jahre im sächsisch-tschechischen Grenzgebiet deutlich verbessert hatte, kommen nach wie vor im Erzgebirge und Vogtland im Herbst und Winter immer wieder großräumige Geruchsbelastungen vor.

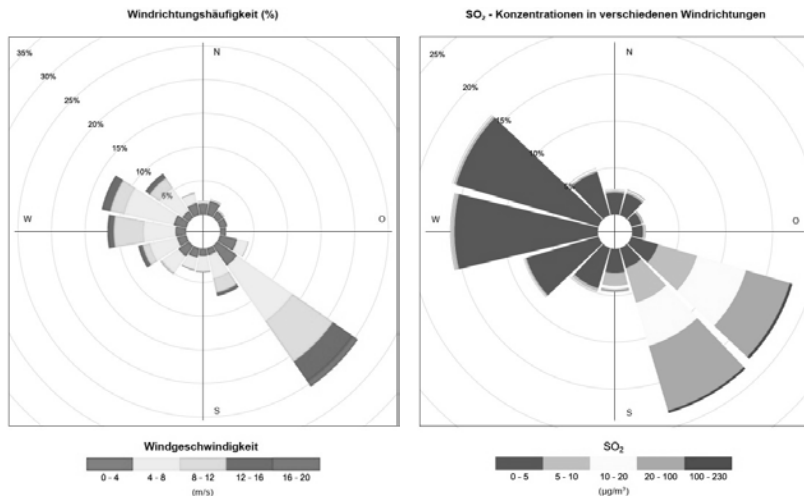


Bild 1: Windrichtungshäufigkeit und SO<sub>2</sub>-Konzentration im Erzgebirgskreis, gemessen auf dem Schwartenberg

## 2. Geruchsbeschwerden im Erzgebirgsraum

An den Luftmessstationen im Erzgebirge werden die Standardluftschadstoffe gemessen, die in der Europäischen Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa festgelegt sind, wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Benzol und PM<sub>10</sub>. Obwohl die Anzahl der Geruchsbeschwerden mit dem Anstieg der Konzentrationen verschiedener Schadstoffe erkennbar einhergeht, werden die gesetzlichen Grenzwerte für die Luftqualität immer sicher eingehalten. Das Vorkommen der Geruchsbeschwerden kann aber nicht auf den Anstieg der Konzentrationen dieser Schadstoffe zurückgeführt werden, da die gemessenen Konzentrationen unterhalb der Geruchsschwellen liegen. Als Ursache werden eher organisch-chemische Verbindungen angenommen, die in Spurenkonzentration geruchsrelevant auftauchen können, messtechnisch jedoch eher schwierig zu erfassen sind. Weiter deuten die Wahrnehmungen betroffener Bürger drauf hin, dass es sich nicht um einen Geruch, sondern um verschiedene Gerüche handelt. Neben dem so genannten "Katzendreck" sind dies Gerüche aus der chemischen Industrie (Mineralöl, Teer, Kunststoffe), Schwefelwasserstoff und Rauchgase.

Der Mensch nimmt Gerüche häufig in einer Konzentration wahr, in welcher diese größtenteils nicht gesundheitsschädlich sind. Trotzdem nimmt die Bevölkerung diese Gerüche als Stö-

zung des Wohlbefindens und als Ursache für diverse Krankheitssymptome und Erkrankungen wahr.

Die jährliche Beschwerdezahl hat in den letzten Jahren zwischenzeitlich stark zugenommen. In dem Jahren 2014 und 2015 traten bisher die meisten Beschwerden an. Im Jahr 2014 lag die Anzahl der Beschwerden bei 1.304 an und in drauffolgendem Jahr auf dann bei der Zahl 1013.

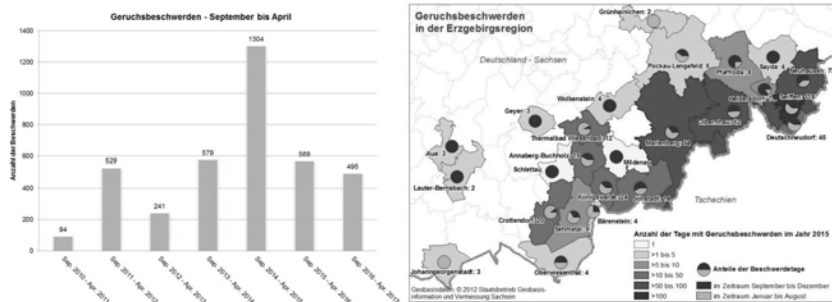


Bild 2: Anzahl der Geruchsbeschwerden im Erzgebirgskreis

### 3. Wo wird gemessen?

Die Untersuchungsregionen sind auf sächsischer Seite das Erzgebirge, auf tschechischer Seite der Bezirk Ústí. Zum Einsatz kommen im geplanten Messprogramm verschiedene Techniken zur Dokumentation der Luftqualität grenzübergreifend an zwei verschiedenen Messstationen. Einer dieser Messorte befindet sich auf tschechischer Seite in Lom, nahe dem Industriegebiet in Litvinov. Es ist eine stationäre Messstation, bereitgestellt vom Tschechischen Hydrometeorologischen Institut Ústí nad Labem. Ein mobiler Messcontainer wird auf deutscher Seite in Deutschneudorf auf dem Festplatz zur begrenzten Dauer des Projektzeitraumes vom Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig, bereitgestellt. In Lom und auf dem Schwartenberg (Station aus dem sächsischen Messnetz) werden außerdem meteorologische Parameter und routinemäßig gemessene Luftschadstoffe u.a. Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Stickstoffoxide ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), Ozon ( $\text{O}_3$ ),  $\text{PM}_{10}$ , Blei, Arsen, Nickel, Cadmium im  $\text{PM}_{10}$  erfasst.

## 4. Maßnahmen durch das LfULG

### 4.1 Geruchsprobandenprogramm

Im Rahmen dieser Teilstudie des Projektes werden Freiwillige aus der Bevölkerung in den betroffenen Gebieten einbezogen. Ziel ist es, dass sie v. a. in den Wintermonaten die Geruchssituation systematisch verfolgen und dokumentieren. Zu diesem Zweck wurde ein Geruchstagebuch konzipiert, in dem die auftretenden Gerüche dokumentiert werden: Ort, Datum und Uhrzeit sowie die Art und die Intensität des Geruchs. Darüber hinaus ist für das Projekt interessant, ob sich der jeweilige Proband im Projektgebiet durchgehend aufgehalten hat.

Die freiwilligen Probanden wurden nach gültigen Standards einer olfaktometrischen Prüfung unterzogen, um „Super“-Nasen“ oder „Nicht“-Riecher auszuschließen. Gesucht wurden durchschnittliche Riecher, also Leute, die den repräsentativen Teil der Bevölkerung vertreten. Das Probandenprogramm läuft in den Herbst-/Wintermonaten von November bis März 2017 und 2018. Einige Probanden dokumentieren die Geruchseignisse auch über die Frühjahrs- und Sommermonate hinweg.

Zusätzlich zum Geruchstagebuch sind manche Probanden mit speziellen Kanistern ausgestattet, um bei besonders intensiven Geruchseignissen eine Luftprobe zu nehmen. Der mit Luft befüllte Kanister wird anschließend von den Projektmitarbeitern abgeholt, ins Labor des tschechischen Projektpartners gebracht und dort auf die im Kanister befindlichen Stoffe analysiert.

Mit Hilfe dieser Teilstudie soll herausgefunden werden, ob es einen signifikanten Unterschied in der Wahrnehmung von Geruch (Häufigkeit, Art) und der Verteilung der Geruchsepisoden zwischen den Probanden und den allgemeinen Beschwerden, die beim LfULG eingehen, gibt. Es soll außerdem herausgefunden werden, ob die Bestandteile des Geruches im unmittelbaren Zusammenhang mit bestimmten Witterungsverhältnissen, aber auch gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Bevölkerung stehen. Darüber hinaus sollen potentielle Quellen untersucht, bestätigt oder ausgeschlossen werden.

### 4.2 Ionenmobilitätsspektrometer

Diese Technologie zur Erfassung von Gerüchen beruht auf der Ionenmobilitätsspektrometrie (IMS). Sie hat zum Ziel, durch ein mathematisch auswertbares Signalmuster verschiedene Gerüche wiederzuerkennen. Die hohe Empfindlichkeit der Messtechnik erlaubt das Erkennen von Stoffmustern in einer Konzentration nahe bzw. bereits unterhalb der menschlichen Geruchsschwelle.

In der umliegenden Luft befinden sich Stoffe und Stoffgemische, die Geruchswahrnehmungen auslösen können. In der Regel bestehen aus einer Vielzahl von Einzelsubstanzen, die in ihrer Wirkung kaum quantitativ beschreibbar sind. Das physikalische Messprinzip beruht auf den unterschiedlichen Driftgeschwindigkeiten von Ionen im elektrischen Feld in der Luft bei Normaldruck. Mit der Driftgeschwindigkeit wird die Zeit gemeint, die die Ionen aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften benötigen, um am Detektor zu gelangen.

Die zu analysierende Luft wird zunächst in den Reaktionsraum der Messröhre überführt. Mittels eines schwachen Strahlers werden Moleküle ionisiert und durch ein Driftträgergas weitergeleitet. Diese Ionenwolke wird durch das elektrische Feld zum Detektor hin beschleunigt. Am Detektor werden die Ionen wieder neutralisiert und erzeugen dabei ein Stromfluss, welcher verstärkt und in ein Spannungssignal umgewandelt wird. Dabei entstehen bestimmte Stoffmuster mit charakteristischen Spektren. Damit soll es möglich sein, Gerüche wiederzuerkennen, nachzuverfolgen und zu unterscheiden.

Bei Einsatz dieser Methode werden gleichzeitig Winddaten erfasst, um anschließend Stoffmuster den verschiedenen Windrichtungen zuzuordnen. Bei der Auswertung wird die Dynamik der Geruchsentwicklung in Hinblick auf Tages- bzw. Wochengang analysiert, um darüber hinaus zu erkennen, ob bestimmte Gerüche zu einem bestimmten Zeitpunkt wiederkehren.

Es wurden bereits drei IMS-Geräte eingesetzt. Zwei davon werden im Winter für 4 Monate in den stationären Messcontainern in Lom und Deutschneudorf installiert und zeichnen kontinuierlich auf. Das dritte Gerät wird für eine mobile Messung verwendet und soll bei geeigneten Witterungsbedingungen sowohl im Beschwerdekerengebiet als auch in der unmittelbaren Nähe der möglichen Quellen zum Einsatz kommen.

#### 4.3 Bioaerosole

Die Gerüche, die aus dem nordböhmischen Industrierevier gelangen beziehungsweise in Sachsen selbst verursacht werden, nimmt die Bevölkerung als Störung des Wohlbefindens und als Ursache für Erkrankungen wahr. Es wird von Übelkeit, Kopfschmerzen, aber auch von Erbrechen berichtet. Durch Untersuchung der Bioaerosolkonzentrationen an den beiden Standorten Lom und Deutschneudorf soll deren möglicher Beitrag zu den berichteten Krankheitssymptomen geklärt oder ausgeschlossen werden. Zum einen wird die Gesamtbakterienzahl untersucht. Darüber hinaus wird festgestellt, um welche Bakterienarten es sich handelt und ob sie für den Menschen potentiell risikobehaftet sind. Bestimmte Erreger (Staphylokokken, Streptokokken, Enterobakterien sowie Enterokokken) können Entzündungen, Magen-/Darminfekte aber auch Infektionen der Atem- und Harnwege hervorrufen. Außerdem werden Gesamtpilzzahl bzw. Schimmelpilze gemessen. Einige Schimmelpilzarten können in



höheren Konzentrationen oder bei längerer Einwirkungszeit Allergien, Infektionen, Husten, Kopfschmerzen oder auch Übelkeit verursachen. Schließlich werden noch Endotoxine, die Zersetzungsprodukte von Bakterien, bestimmt. Sie können ähnliche Erkrankungen auslösen. Der Messzeitraum im Winterhalbjahr liegt zwischen November und Februar und beinhaltet mindestens sechs Messungen je Standort. Im Sommer werden zwei Kontrollmessungen durchgeführt. Messungen erfolgen bei allen Windrichtungen, jedoch nicht bei jedem Wetter: bei Frost, Regen oder Schnee sind keine Messungen möglich.

Eine mobile Messstation erfasst die meteorologischen Parameter Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftfeuchte, Luftdruck und Globalstrahlung.

Die Bioaerosole werden aus der Luft in eine Sammellösung oder direkt auf bestimmte Nährböden überführt. Für Bakterien (nach VDI-Richtlinie 4252 Blatt 3) und Endotoxine werden sogenannte Impinger eingesetzt. Bakterien können aber auch – wie Pilze – mit Impaktoren gesammelt werden. Im Sommer werden die Schimmelpilze mit Hilfe von bestimmten Filtern (nach VDI-Richtlinie 4252 Blatt 2) abgeschieden. Die Bestimmung der Bioaerosole erfolgt anschließend im Labor.

#### **4.4 Weitere Maßnahmen durch die Projektpartner (kurze Übersicht)**

##### Epidemiologische Untersuchungen

In diesem Teil des Projektes sollen Umwelt- und Geruchsbelastungen und deren gesundheitlichen Folgen untersucht. Von großer Bedeutung ist dabei die Befragung der Bevölkerung der betroffenen Gebiete zu ihrem subjektiven Krankheitsempfinden, aber auch deren Wahrnehmung der Geruchsbelastungen selbst.

##### Windrichtungsabhängige Probenahme von Carbonylverbindungen:

Die windrichtungsabhängige Probenahme zur Bestimmung von Carbonylverbindungen sowie weiteren flüchtigen organischen Verbindungen und schwefelhaltigen Substanzen erfolgt als Kampagne im Winter an den Standorten Deutschneudorf und Lom. Hierbei sollen geruchsrelevante Stoffe, organische Stoffe mit toxischem Potential und Marker für verschiedene Prozesse (Holzverbrennung, Verkehr, Chemieindustrie etc.) analysiert werden.

Die Probenahme dauert 24 Stunden lang in einem festgelegten Zeitraum. Die Luftproben werden selektiv nach der Windrichtung bzw. Windstille genommen. Die anschließende Analyse ermöglicht eine quantitative Bestimmung bis zu 22 verschiedenen Carbonylverbindungen.

Begleitend dazu die Probenahme mit Hilfe von passiven Sammlern (Radiello) eingesetzt, um flüchtige organische Verbindungen als mögliche geruchsintensive Stoffe zu erfassen.

#### Messung von Ultrafeinstaub (UFP) und PM<sub>1</sub>-Ruß

UFP und PM<sub>1</sub>-Ruß werden kontinuierlich über das ganze Jahr hinweg an den beiden Untersuchungsorten Deutschneudorf und Lom, sowie an den benachbarten Messstationen Anna-berg-Buchholz und Ústí nad Labem gemessen. Die Verwendung eines Differentiellen Mobilitätsanalysators ermöglicht die Klassifizierung von Partikeln und vor allem ultrafeinen Partikeln hinsichtlich ihrer elektrischen Mobilität in einem Größenbereich von wenigen Nanometern bis hin zu einem Mikrometer. Ruß besitzt die Eigenschaft, elektromagnetische Wellen im sichtbaren Bereich zu absorbieren. Die Bestimmung der Absorption von Ruß erfolgt mittels kontinuierlicher Sammlung von Partikeln auf einem Glasfaserfilter.

#### HVS-Geräte: ökotoxikologische Untersuchungen

Mittels der High Volume Sampler werden Luftproben (ca. 720 m<sup>3</sup> pro Tag) mit der darin enthaltenen Feinstaubfraktion kleiner 10 Mikrometer (PM<sub>10</sub>) gesammelt. Die Probenahme dauert 24 Stunden und läuft zeitgleich mit der o. g. windrichtungsabhängigen Probenahme. Die beprobten Filter werden im Labor zur Bestimmung der PM<sub>10</sub> -Konzentration in der Luft gewogen und aus dem Aerosol organische Verbindungen extrahiert. Anschließend werden die Extrakte weiter auf Zytotoxizität an humanen Lungenzellen getestet.

#### **5. OdCom Partner:**

Technische Universität Dresden, Forschungsverbund Public Health Sachsen (Leadpartner)  
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden  
Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig  
Sächsisches Staatsministerium für Soziales und Verbraucherschutz, Dresden  
Tschechisches Hydrometeorologisches Institut, Prag, Außenstelle Ústí nad Labem  
Zdravotní ústav se sídlem (Gesundheitsinstitut Ústí n.L.), Ústí nad Labem  
Krajský úřad (Bezirksamt der Region Ústí), Ústí nad Labem

#### **6. Förderung**

Das EU-Projekt „OdCom - Objektivierung der Geruchsbeschwerden im sächsisch-tschechischen Grenzgebiet“ wird aus Mitteln der Europäischen Union gefördert. Das Projekt

läuft von April 2016 bis März 2019. Weitere Informationen gibt es unter der Projektseite: <http://www.odcom-sncz.eu>.

## Literatur

- [1] BIRMILI, W., WEINHOLD, K., RASCH, F., SONNTAG, A., SUN, J., MERKEL, M., WIEDENSOHLER, A., BASTIAN, S., SCHLADITZ, A., LÖSCHAU, G., CYRYS, J., PITZ, M., GU, J., KUSCH, T., FLENTJE, H., QUASS, U., KAMINSKI, H., KUHLEBUSCH, T. A. J., MEINHARDT, F., SCHWERIN, A., BATH, O., RIES, L., GERWIG, H., WIRTZ, K., FIEBIG, M. (2016): Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN).
- [2] KOLK, A., v. GELDER, R., SCHNEIDER, G., GABRIEL, S. (2009): Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertung der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA; Reinhaltung der Luft, Heft 69 (4), S. 130 – 136.
- [3] LfULG (2016): Sind Mercaptane Ursache für Geruchsbeschwerden im Erzgebirge? [https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Fachbeitrag\\_Mercaptan\\_31-8-16.pdf](https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Fachbeitrag_Mercaptan_31-8-16.pdf)
- [4] LfULG (2012): Geruchsbelastung in Erzgebirge und Vogtland. [https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Geruchsbericht\\_Endfassung\\_2011\\_25\\_4\\_12.pdf](https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Geruchsbericht_Endfassung_2011_25_4_12.pdf)
- [5] LfULG (2010): Geruchsbelastungen im Erzgebirge - Analyse der Probenahmen von Geruchsstoffen. [http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Fachbeitrag\\_Geruchseignisse-15.03.11.doc.pdf](http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Fachbeitrag_Geruchseignisse-15.03.11.doc.pdf)
- LIEBERS, V. ET AL. (2017): Bestimmung der Endotoxinaktivität – Methodische Aspekte; Bioindikation, Heft 77 (4), S. 143 – 151.
- [6] PINTO, J. P., STEVENS, R. K., WILLIS, R. D., KELLOGG, R., MAMANE, Y., NOVAK, J., ŠANTROCH, J., BENEŠ, I., LENÍČEK, J., BUREŠ, V. (1998): Czech Air Quality Monitoring and Receptor Modeling Study; Environmental Science & Technology, Heft 32 (7), S. 843-854.
- [7] VDI-3882, Blatt 1 (2011): Olfaktometrie – Statistische Probenahme.
- [8] TROPOS: MICHAEL JÄHN, RALF WOLKE, BEATE SÄNDIG & EBERHARD RENNER (2010/11): Ermittlung der Quellen von Gerüchen und hohen Schadstoffkonzentrationen im Erzgebirge über die Modellierung der Luftmassenbahnen, Bericht im Auftrag des LfULG, <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/Geruchsbericht.pdf>

# Erprobung technischer Ansätze zum kontinuierlichen Geruchsmonitoring im Feldtest

**Wolfhard Reimringer**, M.Sc., Dipl.-Ing. **Thorsten Conrad**,  
3S GmbH, Saarbrücken;  
**Prof. Dr. Andreas Schütze**,  
Universität des Saarlandes, Saarbrücken

## Kurzfassung

Dieser Bericht stellt einige Pilotprojekte zur Erprobung technischer Geruchsdetektion in realen Außenluftanwendungen dar. Dabei wird deutlich, welche Rolle ein ganzheitlicher Ansatz spielt, in dem nicht nur die Sensortechnik und ihre Infrastruktur beherrscht wird, sondern Anwendungswissen einbezogen wird, um eine realistische Möglichkeit zur technischen Unterstützung der Geruchsmessung zu erarbeiten. Insbesondere die Rückführbarkeit auf den menschlichen Geruchseindruck steht dabei im Vordergrund, die sowohl in der technischen Entwicklung als auch im Entwurf entsprechender Richtlinien berücksichtigt werden muss.

## Abstract

This article reports on a number of first projects for technical odor detection in real world outdoor air applications. The intention is to show the importance of a holistic approach which should not be limited to sensor technology and infrastructure but has to include application knowledge to obtain realistic solutions for the technical support of odor measurements. Traceability in the sense of using human odor impression as the definitive reference standard is most important and has to be taken into account both in the development of technology and in the development of specific standards.

## 1. Hintergrund

Die Erfassung von Gerüchen in Außenluftanwendungen ist in Deutschland aktuell durch die Geruchsimmissionsrichtlinie [1] geregelt, die durchweg auf die Objektivierung humansensorischer Bewertungen mittels VDI 3940 [2] bzw. EN 13725 [3] verweist. Aufgrund des damit notwendigen personellen und logistischen Aufwandes ist es nicht möglich, eine kontinuierliche und beliebig engmaschige Geruchsüberwachung zu realisieren, die im Idealfall Ergebnisse in Echtzeit zur Verfügung stellt.

Aufgrund der Nachfrage für solche Online-Monitorings wurden in der Vergangenheit immer wieder technische Möglichkeiten erprobt, Geruchssensoren im Sinne sogenannter „elektronischer“ bzw. „künstlicher“ Nasen zu etablieren. Auch die Autoren waren an verschiedenen Projekten dieser Art beteiligt, von denen hier drei wichtige Beispiele vorgestellt werden, da sie Hinweise für die notwendige Weiterentwicklung geben, die zur Realisierung von technischen Systemen zur – nach aller Erwartung applikationsspezifischen – Geruchsüberwachung dienen können.

## **2. Hochempfindliche Gassensorsysteme auf Basis von Low-Cost-Sensoren**

Um ein sinnvolles Netzwerk zur Geruchsüberwachung aufbauen zu können, dürfen die einzelnen Sensorknoten nicht zu teuer sein, keine zu großen Ansprüche an die Infrastruktur am Installationsort stellen und müssen eine Vielzahl von Komponenten mit überaus hoher Empfindlichkeit detektieren können.

Eine wichtige Sensortechnologie hierfür sind Metalloxid-Gassensoren, die sehr preisgünstig von verschiedenen Herstellern erhältlich sind. Ihre inhärente Selektivität ist gering, sie kann jedoch durch dynamischen Betrieb erheblich gesteigert werden. Zyklische Variation der Sensortemperatur erzeugt dabei Antwortmuster, die mittels Mustererkennungsalgorithmen differenzierte Aussagen über die vorliegende Gaszusammensetzung ermöglichen. Gleichzeitig kann durch die Temperaturmodulation auch die chemisch-physikalische Empfindlichkeit der Sensoren gesteigert werden [4 – 6].

Als Referenz hinsichtlich Auflösung und Empfindlichkeit werden analytische Methoden angeführt, die auch Auskunft über die grundsätzliche Tauglichkeit von Gassensoren für eine Anwendung geben könnten. Für unbekannte Komponenten ist dies jedoch nicht ohne Weiteres möglich, da Standardmethoden und Samplingtechniken an Geruchskomponenten aus dem Bereich der VVOCs (sehr leicht flüchtige Kohlenstoffverbindungen) oder SVOCs (schwer flüchtige Kohlenstoffverbindungen) scheitern. Ein großer Vorteil von breitbandigen Sensoren ist jedoch die integrale Reaktion auf eine komplexe Gaszusammensetzung, die durch den dynamischen Betrieb und die Mustererkennung aufgeschlüsselt werden kann [7]. Somit können auch Änderungen jenseits festgelegter Zielkomponenten erfasst werden, die sehr wahrscheinlich Einfluss auf die Geruchswirkung haben, sich in der Analytik jedoch nicht zeigen [8].

## **3. Kalibrierung technischer Systeme auf die wirkungsbezogene Größe Geruch**

Ein grundsätzliches Problem bei der technischen Bewertung von Gerüchen liegt in der Tatsache begründet, dass der menschliche Geruchseindruck durch das Zusammenwirken physio-

logischer als auch psychologischer Komponenten entsteht [9] und somit nicht vollständig modelliert werden kann. Die Empfindlichkeit der biologischen Rezeptoren in der menschlichen Nase ist für manche Stoffe sehr groß und reicht bis in den ppt-Bereich [10]. Eine Kalibrierung auf Basis des Geruchseindrucks muss deshalb auf eine humansensorische Referenz zurückgeführt werden, wie sie in den einschlägigen Normen (z. B. EN 13725) festgelegt ist. Der damit verbundene Aufwand kann jedoch nicht für jedes einzelne Exemplar eines Sensorsystems realisiert werden, so dass ein ganzheitliches, systematisches Verständnis der zu untersuchenden Atmosphäre, des Sensorsystems und der Datenverarbeitung notwendig ist, um geeignete Alternativen zu finden (vgl. [11]).

In den Pilotprojekten, die im Folgenden vorgestellt werden, wurden unterschiedliche Ansätze zur Kalibrierung der Geruchsvorhersage angewendet: Die Korrelation mit ausgewerteten Rückmeldungen betroffener Anwohner, Vergleichsmessungen mit olfaktometrischer Beprobung sowie eine Kombination von Geruchsbegehung im Feld mit olfaktometrischer und stofflicher Laborcharakterisierung. Die dabei gesammelten Erfahrungen müssen in die weitere Entwicklung von Strategien zur Geruchskalibrierung einfließen, ohne die die Nachfrage nach entsprechenden Systemen nicht erfüllt werden kann. Ziel muss es sein, geeignete Strategien für Werks- und Vorort-Kalibrierung zu entwickeln, die anhand repräsentativer Gasangebote die korrekte Funktion der Sensorsysteme sicherstellen, während die Applikationsentwicklung das zuverlässige Ableiten einer Geruchsinformation erlaubt.

#### **4. Pilotprojekt zur Immissionsüberwachung mit Bürgerbeteiligung**

Ein erstes Projekt, in dem die zuvor hauptsächlich in sehr definierten Umgebungen eingesetzte Technik zur Geruchsbewertung mit Metalloxid-Gassensoren für Umweltmessungen zum Einsatz kam, betraf die Überwachung von Immissionen in einem über 100 km<sup>2</sup> großen Gebiet an der deutsch-französischen Grenze. Anwohner verschiedener Orte in diesem dünn besiedelten Gebiet hatten sich über übelriechende Immissionen beklagt, als deren Quelle eine französische Petrochemieanlage vermutet wurde, und nicht zuletzt durch Gründung einer Bürgerinitiative politischen Druck ausgeübt. Ansätze zur konventionellen Beprobung oder Rasterbegehung waren nicht zielführend, da die Geruchsereignisse sehr sporadisch auftraten. Zur Objektivierung der Häufigkeit störender Geruchsereignisse wurde letztlich ein Projekt durchgeführt, in dem neben Sensorsystemen auch ein Netzwerk von Geruchsmeldern zur Gewinnung von Referenzdaten installiert wurde.

Die eingesetzten Sensorsysteme (Bild 1) basieren auf zwei verschiedenen, temperaturmodulierten Metalloxid-Gassensoren, die anhand einer per SD-Karte vorgegebenen Konfiguration

betrieben werden, die gemessenen Werte werden ebenfalls auf die Karte geschrieben. Zusätzlich werden Temperatur und Feuchte erfasst. Die Messtechnik ist in einem stabilen, wettergeschützten Gehäuse eingebaut; eine Pumpe transportiert die Umgebungsluft durch eine Schlauchleitung zu den Sensoren. Insgesamt wurden acht Systeme installiert, die anfallenden Rohdaten von ca. 2 GB pro Gerät und Monat wurden durch Auswechseln der SD-Karte vor Ort eingesammelt und auf den Datenserver zur Auswertung überspielt. Zur Datenaufnahme während der Bewertungskampagnen im Winter und im Sommer waren die Geräte von Oktober bis August durchgehend im Betrieb, ohne dass technische Ausfälle zu verzeichnen waren.



Bild 1: Sensorsystem für das Pilotprojekt Immissionsmessung. Links: Innenaufbau mit Messsystem (unten), Zuleitung (links mit Gewebefilter) und Abluft (rechts) sowie Stromversorgung (oben).

Das Geruchsnetzwerk bestand aus Anwohnern, die sich im Rahmen einer Erstbefragung zur Einschätzung der Situation ähnlich VDI 3883 als Freiwillige melden konnten. Über ein Online-Formular konnten dann im Verlauf der beiden Erhebungsphasen insgesamt über 8500 Meldungen von etwa 50 aktiven Teilnehmern erfasst und als Referenz herangezogen werden. Dabei wurden örtlich und zeitlich benachbarte Meldungen im Zusammenhang ausgewertet und drei Typen von Geruchsevents ermittelt: „Nullgeruch“, „Zielgeruch“, „anderer Geruch“. „Nullgeruch“ bedeutet, dass im betrachteten Zeitfenster so gut wie niemand einen Geruch gemeldet hat. „Zielgeruch“ bedeutet, dass die Mehrzahl der Meldungen einen Geruch angibt, der den Geruchsarten „stechend-chemisch“, „chemisch-süßlich“ oder „Kunststoff“ entspricht. „An-

derer Geruch“ zeigt eine überwiegende Meldung von Gerüchen an, die einen anderen Charakter haben und somit wahrscheinlich nicht im Zusammenhang mit der vermuteten Quelle stehen.

Von den insgesamt gefundenen 136 eindeutig charakterisierbaren Events wurden 31 zum Training des Auswertalgorithmus herangezogen, die restlichen dienten zur Validierung. Es zeigte sich, dass auch in großer Entfernung zur Quelle eine deutliche Korrelation zwischen Geruchsmeldungen und Auswertung gefunden werden kann; ein einfacher Schwellwert kann bereits Hinweise zur aktuellen Geruchssituation liefern (vgl. Bild 2) [8].

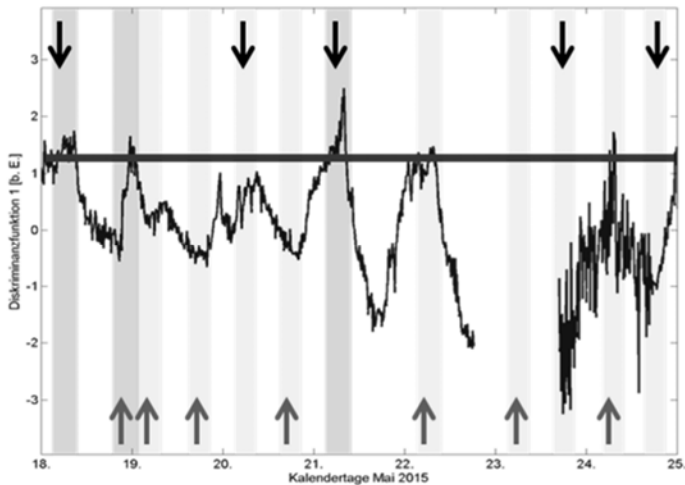


Bild 2: Beispielhafter Verlauf des trainierten Ausgabewertes vor dem Hintergrund der gemeldeten Events.

Hinterlegung: dunkelgrau = Geruchsevent, hellgrau = Nullgeruchsevent, weiß = keine eindeutige Meldesituation.

Pfeile: schwarz = Trainingsevents,

grau = Testevents für die Entwicklung des Auswertalgorithmus.

Die Doppellinie deutet einen einfachen Schwellwert zur binären Unterscheidung der Situationen an; die genaue Lage ist ein Kompromiss zwischen Vermeidung von Fehlalarmen und verpassten Alarmen.

Aufgrund der festgestellten geringen Häufigkeit von Geruchseignissen wurde die Belästigung als nicht relevant eingestuft, womit auch die Fortführung des Projektes in Form eines



kontinuierlichen Monitorings nicht umgesetzt werden konnte. Dazu hätte zunächst als wesentlicher Entwicklungsschritt die Online-Datenanbindung der Messsysteme umgesetzt werden müssen, um die Situation in Echtzeit überwachen und auf gemeldete Ereignisse schnell reagieren zu können.

### 5. Pilotprojekt zur Überwachung einer Abluftreinigung mit olfaktometrischer Referenz

In diesem Projekt wurde die Möglichkeit evaluiert, die Wirkung der nasschemischen Luftreinigungsanlage eines Klärwerks in Belgien kontinuierlich zu überwachen. Der Kundennutzen besteht darin, bei minimalem Einsatz von Energie und Prozesschemikalien jederzeit eine geruchsfreie Abluft auszustoßen. Die besondere Herausforderung der Messung an einer solchen Anlage liegt in den deutlichen Temperatur- und Feuchteunterschieden zwischen der behandelten und unbehandelten Luft, wobei die kondensierende Feuchte auch für die olfaktometrische Referenzprobennahme problematisch ist.



Bild 3: Sensorsystem zur Messung der Gerüche an einer nasschemischen Luftreinigungsanlage.

Für die Ausstattung der Anwendung wurde ein Sensorsystem aus dem oben beschriebenen Immissionsprojekt modifiziert (Bild 3). Wesentliche Ergänzungen bestanden in umschaltbaren Eingangskanälen (A = unbehandelte Luft, B = behandelte Luft, C = aktivkohlegefilterte Referenzluft) sowie einer Abscheidevorrichtung für Kondenswasser mit automatischer Entleerung

am Ende jedes Messzyklus. Da die behandelte Luft an der Absaugstelle bis zu 100 °C heiß und mit Feuchte gesättigt ist, wurde weiterhin versuchsweise ein Peltier-Gaskühler eingesetzt, um Kondensat aus dem Sensorsystem fernzuhalten. Problematisch beim gewählten Versuchsaufbau sind die notwendigen langen Probeleitungen zwischen Entnahmestellen und Sensorsystem sowie der Einfluss der Entfeuchtung, beides birgt das Risiko von Zeitverzögerung, Speichereffekten und Veränderung der Gaszusammensetzung (vgl. [12]). Um den Einfluss der Probeleitungen zu reduzieren, wurden diese in einem Optimierungsschritt jeweils mit Pumpen ausgestattet, die sie ständig mit hohem Fluss spülen, das Sensorsystem saugt seine Probeluft über kurze Anschlussleitungen aus diesem Fluss an.

Während der Durchführung des Versuchs wurden mehrfach Probebeutel für die olfaktometrische Vergleichsmessung abgefüllt. Die Entnahme fand dabei unmittelbar vor dem Eingang des Sensorsystems statt, wobei zwei Beutel befüllt wurden. Anschließend wurde einer der Beutel an das Sensorsystem angeschlossen und der andere im Olfaktometrielabor untersucht. Aufgrund des großen Aufwands für die olfaktometrische Bewertung wurden im Laufe des Projektes 50 Referenzdatenpunkte in zwei Kampagnen vermessen.

Für die vorliegenden Daten konnte eine grundsätzliche Korrelation des trainierten Regressionsalgorithmus mit den Referenzdaten gezeigt werden (Bild 4), mit einem mittleren relativen Fehler der vorhergesagten Geruchskonzentration von 12,8 %. Der Einsatz des Gaskühlers für die behandelte Luft erwies sich dabei als positiv, da durch eine deutliche Reduzierung der Feuchtevariation die Vorhersage stabiler wurde. Außerdem wird so der Einsatz des gleichen Regressionsmodells sowohl für die unbehandelte als auch für die behandelte Luft möglich.

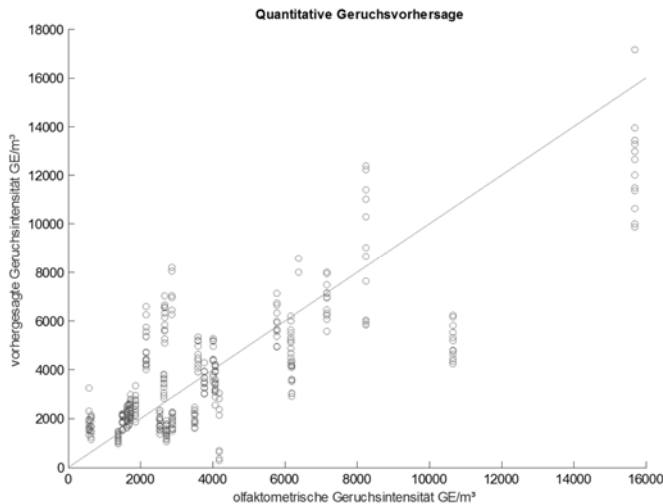


Bild 4: Korrelationsplot der olfaktometrisch bestimmten Geruchsintensität und der Geruchsvorhersage auf Basis der Sensordaten

Hinsichtlich der Kalibriermethode ist anzumerken, dass eine weitere Verbesserung der Ergebnisse hauptsächlich durch zwei Aspekte erreicht werden kann: Einerseits müsste der Trainingszeitraum von zwei Monaten sinnvoll auf ein Jahr ausgedehnt werden, um das Verhalten der Anlage im Jahresrhythmus zu untersuchen und die korrespondierende Variation auch in den Referenzdaten abzubilden. Andererseits ist die Veränderung des Messaufbaus während der Probennahme nicht repräsentativ für die Übertragung der Vergleichsergebnisse auf die Online-Messung. Hierzu müssen die Referenzproben aus dem Strom der Probeleitungen entnommen werden, während das Sensorsystem unverändert weitermisst.

## 6. Pilotprojekt zur Überwachung verteilter Emissionen mit Geruchsbegehungen

Die Erfahrungen des Immissionsprojekts in Abschnitt 4 wurden in die Entwicklung von Sensorknoten umgesetzt, die für den Einsatz in einem Online-Überwachungsnetzwerk geeignet sind. Eine erste Prototypenserie wurde in einer Abwasserbehandlungsanlage zum Einsatz gebracht, um dort die Emissionen aus den verschiedenen Anlagenteilen zu überwachen. Ziel ist es, neben dem Proof-of-Concept der Infrastruktur, dem Betreiber die Auswirkung von Arbeiten auf der Anlage auf die entstehenden Emissionen nachvollziehbar zu machen und entsprechende Gegenmaßnahmen zu ermöglichen.

Die Sensorknoten (Bild 5) sind Prototypen einer Neuentwicklung, die bewährte Sensorelemente mit spezialisierter Ansteuerelektronik modular in einem Strahlungsschirmgehäuse enthalten. Eine zentrale Steuereinheit übernimmt das Energiemanagement, den Datenaustausch mit den Sensormodulen, die Auswertung einer lokalen Wetterstation der Luft WS-Serie und die Kommunikation mit dem Messdatenserver über LTE. Die aufgezeichneten Rohdaten, mit bis zu 10 kS/s pro Sensor, werden lokal zwischengespeichert und komprimiert, um wechselnde Bandbreite der Funkanbindung ausgleichen zu können. Ziel ist es jedoch, alle Daten innerhalb weniger Minuten übermitteln zu können und somit eine Echtzeitfähigkeit auch für den Rohdatentransport zu erzielen. Eine Vorverarbeitung auf dem Sensorknoten ist für einen späteren applikationsangepassten Betrieb vorgesehen, um das erforderliche Datenvolumen von aktuell 10 GB im Monat deutlich zu reduzieren.

Um eine gleichartige Reaktion aller Sensorknoten im Netzwerk sicherzustellen, wurde vorab eine Laborkalibrierung mit einem reduzierten Satz von Ziel- und Störgasen bei variabler Feuchte durchgeführt. Zur Kalibrierung auf den Geruchseindruck wurde ein Referenzsystem mit Echtproben beaufschlagt, die zuvor olfaktometrisch vermessen und unterschiedlich verdünnt wurden.



im Labor angewandt werden. Allerdings konnte auch eine Kalibrierung auf Basis von Echtproben nicht ins Feld übertragen werden, da die Vermessung der Echtproben einen systematischen Fehler vermuten lässt, der von Gaskomponenten hervorgerufen wird, die in den vorliegenden chemischen Analysen nicht berücksichtigt sind.

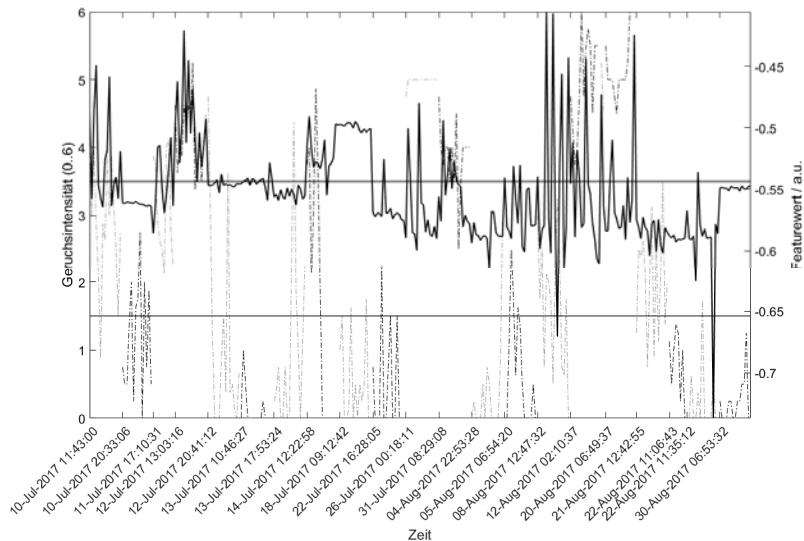


Bild 6: Korrelation der ausgewerteten Sensorantwort (dicke Linie) mit den Ergebnissen von Geruchsbegehungen (strichpunktiert); Zeitbasis zusammengeschnitten aus mehreren Begehungen. Während im linken Teil die Korrelation gut ist, ohne sehr geringe Intensitäten feststellen zu können, ist dieses Verhalten im rechten Teil nicht zu bestätigen. Die betrachtete Matrix von Ziel- und Störgasen sollte deshalb erweitert werden.

Weitere Arbeiten betreffen nun den analytischen Aufschluss der tatsächlichen Komposition der beteiligten Gase in der Anwendung und die Validierung der Sensorreaktion mithilfe von verdünnten Echtproben im Labor. Daraus ergeben sich Änderungen an der Betriebsweise der Sensoren, der Datenauswertung und gegebenenfalls auch an der Sensorauswahl, die danach erneut im Feldversuch evaluiert werden müssen. Dies bildet die Grundlage für die Weiterentwicklung der Sensorknoten und der Dateninfrastruktur, die die Ergebnisse in geeigneter Form für Kunden und Consulting-Partner bereitstellen soll.

## 7. Ausblick

Im Verlaufe der hier vorgestellten Projekte haben sich einige Erkenntnisse ergeben, die wesentlich für die technische und organisatorische Realisierung von Lösungen für ein Online-Geruchsmonitoring in der Praxis sind. Hervorzuheben ist die Einbindung einer humansensorischen Referenz in die Charakterisierung von Sensorsystemen und die Validierung einer installierten Lösung, bei der je nach Anwendung auf standardisierte Verfahren der humansensorischen Geruchsmessung zurückgegriffen werden oder diese durch Bürgereinbindung ersetzt bzw. ergänzt werden muss.

Zusätzlich zeigt sich, dass eine genaue Kenntnis der Applikationsparameter wichtig ist, um das Sensorsystem stabil an die Anwendung anzupassen. Dabei helfen stoffliche Analysen nur bedingt, da die Vollständigkeit der enthaltenen Komponenten gegenüber der breitbandigen Erfassung der Sensoren geprüft werden muss. Isoliert auftretende Komponenten mit sehr niedriger Geruchsschwelle sind ebenfalls kritisch gegen die Sensitivität des Sensorsystems zu prüfen.

Ein technischer Aspekt für die Realisierung einer Online-Monitoring-Lösung ist die Dateninfrastruktur, die große Mengen an Rohdaten zeitgerecht erfassen, transportieren, mit asynchron erfassten Metadaten (Wetterinformationen, Begehungsdaten, olfaktometrische Referenzen, Bürgermeldungen etc.) zusammenführen und als aussagekräftige Information zur Verfügung stellen muss. Da hierin auch das Management von Kalibrierung und Validierung der Sensorknoten und des Sensornetzwerks abgebildet werden muss, fällt dieser Infrastruktur eine zentrale Aufgabe in der Messkette zu.

## 8. Literaturangaben

- [1] GIRL „Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL) in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008“, Länderausschuss für Immissionsschutz, September 2008
- [2] VDI 3940 Blatt 1 „Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen – Rastermessung“ sowie VDI 3940 Blatt 2 „Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen – Fahnenmessung“
- [3] EN 13725 „Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie“; Deutsche Fassung EN 13725:2003
- [4] Clifford, P. K., Tuma, D. T.: Characteristics of semiconductor gas sensors II. Transient response to temperature change. *Sensors & Actuators B* 3 (1983), S. 255-281; doi: 10.1016/0250-6874(82)80027-9.
- [5] Lee, A. P., Reedy, B. J.: Temperature modulation in semiconductor gas sensing. *Sensors & Actuators B* 60 (1999), S. 35-42; doi: 10.1016/S0925-4005(99)00241-5
- [6] Reimann, P., Schütze, A.: Sensor Arrays, Virtual Multisensors, Data Fusion, and Gas Sensor Data Evaluation. In: Kohl, C.-D., Wagner, T. (Hrsg.): *Gas Sensing Fundamentals*, Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors, Volume 15, 2014.
- [7] Schütze, A., Baur, T., Leidinger, M., Reimringer, W., Jung, R., Conrad, T., Sauerwald, T.: Highly Sensitive and Selective VOC Sensor Systems Based on Semiconductor Gas Sensors: How to?. *Environments* 2017, 4, 20; doi: 10.3390/environments4010020
- [8] Reimringer, W., Conrad, T., Schütze, A.: Citizens Network as Reference for Odor Impact Sensors – a Case Study. 2017 ISOCS/IEEE International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN), Montreal, QC, 2017, S. 1-3. doi: 10.1109/ISOEN.2017.7968903
- [9] Medizinische Fakten zur Beurteilung von Geruchsimmissionen. Umweltamt des Landes Steiermark, 2016
- [10] Boeker, P.: On 'Electronic Nose' methodology. *Sensors and Actuators B* 204 (2014), S. 2-17, ISSN 0925-4005; doi: 10.1016/j.snb.2014.07.087



- [11] Reimringer, W., Howes, J., Conrad, T.: Implementation of Complex Gas Sensor Systems: Ideas for a Structural Model. Sixth Scientific Meeting EuNetAir (05.10.2016 – 07.10.2016-10-07, Akademie der Wissenschaften, Prag, Tschechische Republik; doi: 10.5162/6EuNetAir2016/09.
- [12] Boeker, P.: Absenkung des Messgastaupunktes - Konzentrationsänderungen und Auswaschung von Schadgasen und Geruchsstoffen. Agrartechnische Forschung 7 (2001). Nr. 3, S. 72-76.

# Aufklärung geruchspotenter Stoffe und Monitoring von Geruchsbelastung mit Methoden der Analytischen Sensorik

**M. Strangl, A. Mäurer, J. Beauchamp, E. Ortner, A. Büttner,**  
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung, Freising

## Kurzfassung

Gerüche begegnen uns in vielen alltäglichen Situationen. Häufig weisen dabei Materialien aus dem Non-Food-Sektor wie beispielsweise Kunststoffe, Kleber oder Farben unangenehme Gerüche auf, die unterschiedlichste Ursachen haben können und noch weitgehend unerforscht sind. Die Kenntnis der zugrunde liegenden Geruchsstoffe ist jedoch elementar um Rückschlüsse auf Bildungswege und Eintragsquellen von Geruchsstoffen zu ziehen und maßgeschneiderte Strategien zur Geruchsoptimierung in den verschiedenen Materialien zu entwickeln. Zur Aufklärung des jeweiligen Geruches werden im Rahmen unserer Untersuchungen human-sensorische Bewertungen durch ein geschultes Sensorikpanel in Kombination mit instrumentell-analytischen Untersuchungen wie der Gaschromatographie-Olfaktometrie (GC-O) durchgeführt. Außerdem können Emissionen aus Produkten oder Anlagen während der Verarbeitung mittels Protonen-tauschreaktions-Massenspektrometrie (PTR-MS) in Echtzeit verfolgt werden.

## 1. Gerüche im Alltag

Materialgerüche aus dem Non-Food-Bereich wie beispielsweise von Spielzeugen oder anderen Bedarfsgegenständen aus Holz oder Kunststoff werden ebenso wie die Gerüche von Klebern und Pigmenten oft als unangenehm beschrieben, wodurch unter anderem die Kaufentscheidung der Kunden stark beeinflusst werden kann. Der Einsatz fehlgeruchsbehafteter Rohstoffe oder auch der Prozess der Fehlgeruchsbildung selbst, beispielsweise durch Lagerung oder Temperatureinwirkung, kann sich zudem negativ auf die Qualität der Raumluft in Innenräumen auswirken [1]. Eine derartige Geruchsexposition kann im privaten Umfeld ebenso wie in der Arbeitsumgebung wesentlich das Wohlbefinden der exponierten Personen beeinträchtigen, und kann sogar gesundheitliche Risiken mit sich bringen, wenn nicht nur geruchsaktive sondern auch bedenkliche Stoffe in entsprechendem Maße freigesetzt werden. Für die Aufklärung derartiger Fehlgerüche sowie für das Monitoring von Emissionen kommen modernste Analysemethoden aus dem Bereich der Analytischen Sensorik zum Einsatz [2,3]. Sie werden bisher überwiegend im Bereich der Aromaforschung von Lebens-

mitteln eingesetzt, zunehmend aber auch für die Analyse von Geruchsstoffen aus dem Non-Food-Sektor [4-7].

## **2. Geruchsaufklärung und -charakterisierung**

### **2.1 Herausforderungen der Geruchsstoffanalytik**

Die speziellen Methoden der Analytischen Sensorik sind notwendig, um die besonderen analytischen Herausforderungen zur Identifizierung von Geruchsstoffen zu bewältigen. Dazu zählt insbesondere die zielgerichtete Unterscheidung zwischen geruchsaktiven und geruchlosen flüchtigen Stoffen, da die Gesamtemission der flüchtigen Verbindungen (volatile organic compounds; VOCs) häufig keine direkte Aussage über eine Geruchsbelastung zulässt. Da Geruchsstoffe oft Spuren- und Ultraspurenkomponten sind, macht ihr Nachweis in vielen Fällen niedrige Nachweisgrenzen notwendig. Der jeweilige Geruch einer noch unbekannten Verbindung kann zudem oft weder von seiner chemischen Struktur zweifelsfrei theoretisch abgeleitet werden, noch durch einen instrumentellen Detektor bestimmt werden. Lediglich der olfaktorische Detektor, nämlich die menschliche Nase, ist in der Lage selektiv und auch mit sehr niedrigen Nachweisgrenzen geruchsaktive Substanzen zu detektieren.

### **2.2 Methoden**

#### **Humansensorische Bewertung**

Zu den Methoden gehört unter anderem die sensorische Bewertung der Probenmaterialien oder Geruchsemissionen während bestimmter Prozessschritte durch ein geschultes Sensorikpanel. Diese beinhaltet neben der Geruchsprofilanalyse, eine hedonische Testung (das persönliche Ge- oder Missfallen eines Geruchseindrucks) sowie die Bewertung der Gesamtgeruchsintensität.

#### **Instrumentell-analytische Methoden**

Die in einem Probenmaterial enthaltenen geruchsaktiven Verbindungen werden mittels instrumentell-analytischer Untersuchungen charakterisiert, welche mit Olfaktometrie gekoppelt sind. Um die Störgeruch verursachenden Verbindungen aus dem Probenmaterial zu gewinnen, werden die Geruchsstoffe in aller Regel mittels Lösungsmittelextraktion und Destillation im Hochvakuum mittels Solvent Assisted Flavour Evaporation (SAFE)-Technik nach Engel et al. (1999) [8] gewonnen und anschließend mittels Vigreux-Kolonne und Mikrodestillations-einheit nach Bemelmans (1979) [9] aufkonzentriert. Ebenso kommen dynamische und statische Headspace-Techniken sowie Festphasenextraktionsmethoden (SPME, SBSE) zur Extraktion der Geruchsstoffe zum Einsatz. Im Anschluss werden die geruchsaktiven Verbindungen

dungen mittels Gaschromatographie-Olfaktometrie (GC-O) untersucht. Dazu werden die flüchtigen Verbindungen chromatographisch voneinander getrennt und am Ende der analytischen Trennsäule zeitgleich zu einem Flammenionisationsdetektor (FID) und einem Sniffing-Port geleitet. Diese Methode erfasst somit nicht nur ein analytisches Detektorsignal, sondern ermöglicht auch die Bestimmung der Geruchsqualität sowie des Zeitpunktes der Wahrnehmung durch einen geschulten Probanden.

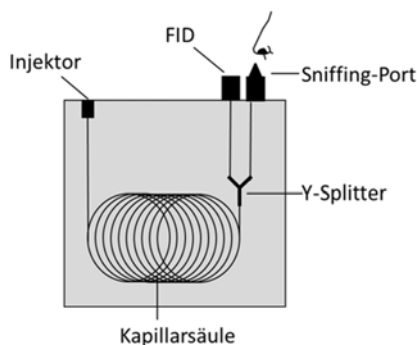


Bild 1: Schematische Darstellung eines Gaschromatographie-Olfaktometrie-Systems

Zusätzlich kann durch Verdünnungstechniken, wie zum Beispiel der sogenannten Aromaextraktverdünnungsanalyse (AEVA) [10], die Beteiligung von Einzelsubstanzen am Gesamtgeruch abgeschätzt werden, bzw. auch die Gesamtpotenz der Geruchsmischung objektiviert werden.

Um die chemische Struktur der mittels GC-O detektierten Geruchsstoffe nachzuweisen, werden in der Geruchsstoffanalytik massenspektrometrische Methoden verwendet. Dabei sind die GC-Massenspektrometrie (GC-MS)- und zweidimensionale GC-MS (2D-GC-MS)-Systeme jeweils mit Olfaktometrie gekoppelt. Zweidimensionale Systeme werden eingesetzt, wenn bei komplex zusammengesetzten Proben wie Kunststoffen oder Klebern die Vielzahl flüchtiger Verbindungen und die oft niedrigen Geruchsstoffkonzentrationen die Aufnahme eindeutiger Massenspektren mittels eindimensionaler analytischer Systeme verhindert. Dabei erreichen sie durch eine Trennung an zwei Kapillarsäulen unterschiedlicher Polarität sowie durch das selektive Herausfiltern der Analyten eine Abtrennung von anderen koeluiierenden Stoffen und somit die eindeutige Detektion der Geruchsstoffe.

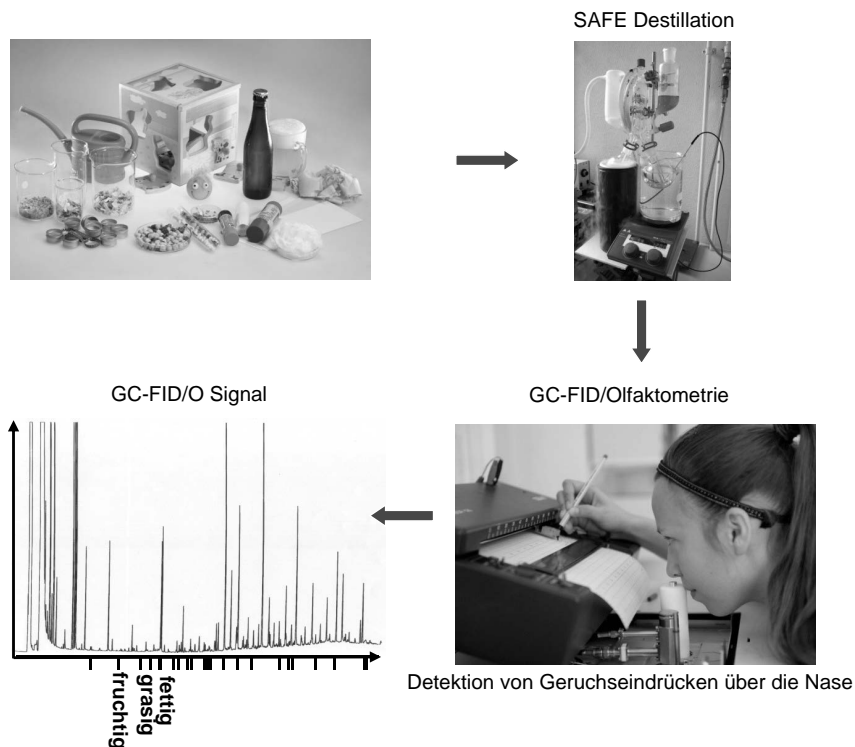


Bild 2: Exemplarischer Arbeitsablauf der Geruchsstoffanalytik

Die Kenntnis über die geruchsverursachenden Substanzen ist eine wichtige Voraussetzung, um Bildungswege und Vorläufermoleküle dieser Geruchsstoffe zu erschließen und aus diesem Wissen Maßnahmen zur Geruchsoptimierung bzw. -minderung abzuleiten.

### Emissionsmessungen mittels Protonentauschreaktions-Massenspektrometrie

PTR-MS ist eine online-massenspektrometrische Technik, die eine schnelle und quantitative Messung flüchtiger Verbindungen in der Gasphase in einem Konzentrationsbereich von ppm<sub>v</sub> bis hin zu niedrigen ppt<sub>v</sub>-Konzentrationen ermöglicht. Dadurch bietet sich diese Technik an Konzentrationsänderungen in der Gasphase, beispielsweise während der Lagerung oder unter Licht- oder Temperatureinwirkung oder auch während der Prozessführung in Produktionsanlagen zu verfolgen. Sowohl Bildungs- als auch Freisetzungsprozesse von Geruchsstoffen und flüchtigen Emissionen können somit, beispielsweise während eines Herstellungsver-

fahrens, verfolgt werden [11]. Auf diese Weise kann der zeitliche Ablauf der Konzentrationsänderung flüchtiger Verbindungen in Echtzeit charakterisiert werden, wobei entweder die Gesamtintensität aller VOCs oder die Zu- bzw. Abnahme einzelner Verbindungen beobachtet werden kann.

- [1] Burdack-Freitag, A.; Heinlein, A.; Mayer, F. (2017): Material Odor Emissions and Indoor Air Quality. In: Springer Handbook of Odor (Andrea Buettner, ed.), S. 563 – 581.
- [2] Loos, H.; Büttner, A. (2017): Fehlgerüche in Lebensmitteln und Verpackungsmaterialien. Spurenanalytik mit GC, MS und Nase. GIT-Labor 61, (2), 25-27.
- [3] Bauer, P.; Denk, P.; Schreiner, L.; Strangl, M.; Wiedmer, C.; Büttner, A. (2017): Smells of a modern world – Nachweis und Identifizierung von Geruchsstoffen in Rohstoffen für Produkte des täglichen Bedarfs. Food-Lab (2), 46-48.
- [4] Strangl, M.; Fell, T.; Schlummer, M.; Maeurer, A.; Buettner, A. (2017): Characterization of odorous contaminants in post-consumer plastic packaging waste using multidimensional gas chromatographic separation coupled with olfactometric resolution. Journal of Separation Science 40, (7), 1500-1507.
- [5] Wiedmer, C.; Velasco-Schön, C.; Buettner, A. (2017): Characterization of odorants in inflatable aquatic toys and swimming learning devices—which substances are causative for the characteristic odor and potentially harmful? Analytical and Bioanalytical Chemistry 409, (16), 3905-3916.
- [6] Schreiner, L.; Loos, H.; Buettner, A. (2017): Identification of odorants in wood of *Calocedrus decurrens* (Torr.) Florin by aroma extract dilution analysis and two-dimensional gas chromatography–mass spectrometry/olfactometry. Analytical and Bioanalytical Chemistry 409, (15), 3719-3729.
- [7] Denk P.; Buettner A. (2017): Sensory characterization and identification of odorous constituents in acrylic adhesives. International Journal of Adhesion and Adhesives 78, 182-188
- [8] Engel, W.; Bahr, W.; Schieberle, P. (1999): Solvent assisted flavour evaporation—a new and versatile technique for the careful and direct isolation of aroma compounds from complex food matrices. European Food Research and Technology 209, (3), 237-241.
- [9] Bemelmans, J.M.H. (1979): Review of Isolation and Concentration Techniques. Progress in flavour research; Applied Science S. 79-98.
- [10] Grosch, W. (1993): Detection of potent odorants in foods by aroma extract dilution analysis. Trends in Food Science & Technology 4, (3), 68-73.
- [11] Beauchamp, J.; Buettner, A. (2011): From pharmacokinetics to sensory science: the versatility of PTR-MS in a multidisciplinary environment. Proceedings of the 5th PTR-MS conference, Obergurgl, Austria, S. 25-28.

# Probleme in der Genehmigungspraxis

## Fachrechtliche Unsicherheiten bei der Zulassung von Vorhaben

Dipl.-Ing. **Martin Ohlms**, Kreis Borken, Borken

### Kurzfassung

Der Schutzanspruch von Wohnnutzungen im Außenbereich ist in der GIRL nicht unmittelbar geregelt und wurde bislang eher pauschal abgehandelt. Aufgrund verschiedener obergerichtlicher Urteile ist es erforderlich den Schutzanspruch für jede Wohnung in der Umgebung eines Vorhabens individuell in Abhängigkeit von in den Urteilen dargestellten Merkmalen nachvollziehbar festzulegen.

### 1. Immissionsschutzrecht und Gerüche

Nachbarschaft und Allgemeinheit haben einen Anspruch darauf vor Gefahren, erheblichen Belästigungen und Nachteilen, die durch Immissionen von Anlagen entstehen können, geschützt zu werden. Es ist Aufgabe der Behörde dies präventiv im Rahmen des Genehmigungsverfahrens oder durch nachträgliche Anordnungen zu verhindern.

Gerüche stellen –von ekelerregenden Gerüchen abgesehen- keine Gefahr, sondern eine Belästigung dar. Erst mit Überschreiten der Erheblichkeitsschwelle wird der Schutzanspruch ausgelöst. Dann ist die Erteilung einer Genehmigung zu versagen oder die Behörde ist auf der Grundlage des § 17 BImSchG verpflichtet, gegen den Betrieb einer derart emittierenden Anlage einzuschreiten. Insofern kommt auch den Geruchsmissionen eine maßgebliche Bedeutung bei der Zulassung von Anlagen, der Zulassung von Wohnungen sowie der Bauleitplanung zu. Kann die Einhaltung von „Grenzwerten“ nicht nachgewiesen werden ist letztlich der negative Ausgang eines jeden Verfahrens vorbestimmt.

Zur Beurteilung von Schallimmissionen oder luftgetragenen Schadstoffen stehen mit der TA Lärm bzw. TA Luft Verwaltungsvorschriften zur Verfügung. Diese sind im Gegensatz zu „normalen“ Verwaltungsvorschriften in umfangreichen Verfahren unter Beteiligung von Fachleuten und Politik erarbeitet worden, so dass sie als normkonkretisierend von Exekutive und Legislative gleichermaßen anerkannt werden. Die Aufnahme der GIRL in die TA Luft und



damit eine Aufwertung ist zwar mit der anstehenden TA Luft Novelle geplant, aktuell befindet sie sich aber weiterhin auf dem rechtlichen Stand eines Erlasses. Gleichwohl ist die GIRL in der Vergangenheit zunehmend von der Rechtsprechung anerkannt worden, so dass ihr faktisch bereits einen höheren Status zuerkannt wird.

Auch wenn immer darauf verwiesen wird, dass die in der GIRL aufgeführten Geruchshäufigkeiten keine starren „Grenzwerte“ darstellen, haben diese sich sowohl in der behördlichen als auch verwaltungsgerichtlichen Praxis für den Innenbereich bzw. bei der Beurteilung industrieller Gerüche als maßgeblich eingestellt.

## **2. Schutzanspruch im Außenbereich gegenüber Tierhaltungsgerüchen**

Demgegenüber bereitet die Beurteilung von Gerüchen aus Tierhaltung weiterhin große Probleme, da verbindliche Werte fehlen, mit denen der unbestimmte Rechtsbegriff der Erheblichkeit präzisiert werden könnte.

Ausgehend davon, dass der Außenbereich der Landwirtschaft und Tierhaltung vorbehalten ist und insofern dort prinzipiell nur Personen wohnen dürfen, die einen Bezug zur Landwirtschaft haben, war und ist unumstritten, dass deshalb im Außenbereich höhere Geruchshäufigkeiten hinzunehmen sind, wenn diese durch Tierhaltungen verursacht werden.

Tatsächlich ist die Wohnnutzung im Außenbereich sehr heterogen und reicht von aktiven Tierhaltern über ehemalige Tierhalter bis hin zu Mietern auf Höfen und Bewohnern von Häusern, die nie landwirtschaftsbezogen waren (z.B. Bahnwärter, Zöllner, etc).

In welcher Größenordnung sich eine Überschreitung der für Dorfgebiete geltenden Geruchshäufigkeit von 15% bewegen kann oder darf, war Gegenstand vieler Diskussionen und Rechtsstreitigkeiten. Die Auslegungshinweise der GRL geben eine Obergrenze von 25% vor, allerdings unter Verweis auf eine im Einzelfall mögliche Überschreitung.

Im Jahr 2015 wurden vom Oberverwaltungsgericht Münster drei s.g. Grundsatzurteile gefällt, mit denen einerseits die 25% als grundsätzlich zulässige Immissionshäufigkeiten zugunsten geringen Werte verneint wurde, gleichzeitig aber auch eine Überschreitung im begründeten Einzelfall zuließen.

Hieraus ergibt sich für die behördliche Praxis, dass die üblichen pauschalen Betrachtungen zugunsten einer detaillierten Einzelfallbetrachtung aufzugeben sind. Anhand der sich aus den Urteilen ergebenden Bewertungsparametern, wie Historie, Ortsüblichkeit etc. hat der

Kreis Borken eine Matrix entworfen mit der die individuellen Schutzansprüche der einzelnen, ein Vorhaben umgebenden Wohnnutzungen festgelegt werden können. Dieser Entwurf befindet sich aktuell in der Abstimmung und Erprobung.

Das Verwaltungsrecht unterscheidet beim Erlass von Verwaltungsakten die Bereiche „Tatbestand“ und „Rechtsfolge“. Ist auf der Rechtsfolgenseite, z.B. dem Einschreiten gegen einen Anlage ein Ermessen zugelassen worden und hat die Behörde dies ausgeübt, ist die gerichtliche Überprüfung eingeschränkt. Demgegenüber liegt die Interpretation unbestimmter Rechtsbegriffe wie z.B. der Erheblichkeit von Geruchsimmissionen auf der Tatbestandseite mit der Folge, dass dies der vollständigen verwaltungsgerichtlichen Überprüfung unterliegt, wie dies z.B. in den Urteilen des OVG Münster der Fall war. Ob und inwieweit die Entscheidung des BVerwG vom 27.06.2017 („Rotenburg-Wümme-Urteil“) eine Anpassung oder Veränderung der Betrachtung erforderlich macht, ist noch diskutieren.

Gleichwohl besteht Anlass zur Hoffnung, dass eine sauber abgearbeitete und dokumentierte Entscheidungsfindung des individuellen Schutzanspruches eine gerichtliche Überprüfung besser bestehen wird, als der bislang häufig eher pauschale Ansatz.

### **3. Geruchsimmissionen in der Überwachung**

Neben der Zulassung von Vorhaben ist die Überwachung ein weiterer wichtiger Schwerpunkt der Tätigkeit einer Immissionsschutzbehörde. § 17 BImSchG als maßgebliche Vollzugsvorschrift für die Überwachung der BImSchG-Anlagen gibt den Auftrag deutlich vor: Wird festgestellt, dass die Nachbarschaft nicht ausreichend vor u.a. erheblichen Belästigungen geschützt ist, soll sie die erforderlichen Anordnungen treffen. Dieser Grundsatz ist übertragbar auf den Bereich der nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen, da der Staat verpflichtet ist, den Schutz der subjektiven Rechte sicherzustellen (§ 24 BImSchG). Rechtlich stellen Nachbarbeschwerden einen Antrag auf Einschreiten dar, der zu bescheiden ist, was in der Praxis nur selten geschieht. Der Behörde steht hier ein Entschließungsermessen zu, tätig zu werden -oder auch nicht-. Die Ausübung dieses Ermessens basiert auf der Grundlage einer Ermittlung des Schutzanspruches und unterliegt insofern auch einer gerichtlichen Überprüfung. Während bislang nur die Beschwerdeführer gegen die Ablehnung der Behörde gerichtlich vorgehen konnten, ist mit der Novellierung des Umwelt-Rechtsbehelfsgesetzes (UmwRG) durch § 1 Abs. 1 Nr.6 auch den anerkannten Verbänden dieses Recht zugestanden worden. Insofern wird der nachvollziehbar dokumentierten Ermittlung des Schutzanspruches auch Überwachungs- und Aufsichtsmaßnahmen zunehmende Wichtigkeit zukommen.

#### 4. Rasterbegehungen anstelle von AUSTAL

Neben der Bestimmung des Schutzanspruches ist die Ermittlung der Geruchshäufigkeiten von entscheidender Bedeutung, wenn Immissionshäufigkeiten in grenzwertiger Größenordnung zu erwarten sind. Üblicherweise wird in derartigen Situationen angeführt, dass das Ausbreitungsprogramm AUSTAL 2000 die Geruchshäufigkeiten überschätzt und insofern sowohl Bestand und darauf aufbauend die zukünftige Situation erheblich zu pessimal darstellt. Im Rahmen von Bauleitplanverfahren sind Gemeinden im Kreis Borken daher der ihrer subjektiven geringeren Wahrnehmung von Gerüchen im Plangebiet gefolgt, und haben zur Ermittlung der Bestandssituation Rasterbegehungen beauftragt. Tatsächlich wurden gegenüber der AUSTAL Ausbreitungsrechnungen deutlich geringere Häufigkeiten ermittelt, die letztlich zum positiven Abschluss der Bauleitplanverfahren führten. Allerdings unter Vernachlässigung des Korrekturfaktors, da dieser nur in Überwachungsverfahren anzuwenden ist. Die Rasterbegehung für Zwecke der Bauleitplanung weicht erheblich vom Standard der Ausbreitungsrechnung ab, in der die gerichtlich geforderte pessimale Situation unter Ansatz aller Emittenten bei Vollaustastung simuliert wird. Da sich einige Verfahren noch im Normenkontrollverfahren beim OVG NRW befinden, liegt hierzu noch keine gerichtliche Wertung vor.

## Probleme in der Praxis der Geruchsbeurteilung – Handlungsfelder für die technische Regelsetzung

Dr. **Sascha Nehr**, VDI e.V., Düsseldorf (stellvertretend für den Programmausschuss der 7. VDI-Fachtagung "Gerüche in der Umwelt")

### Kurzfassung

Geruchsstoffe werden sowohl von natürlichen Quellen als auch von anthropogenen Quellen emittiert. Anthropogen verursachte Geruchsstoffemissionen resultieren zum Beispiel aus der Verbrennung von Rohstoffen zur Energiegewinnung, der Tierhaltung, der Herstellung und Weiterverarbeitung von Produkten aller Art sowie aus der Abfallverwertung. Die bei diesen Prozessen freigesetzten Geruchsstoffe können in die Umwelt gelangen und als Geruch vom Menschen wahrgenommen werden. Die Reaktion auf eine Geruchswahrnehmung ist dabei von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Dies ist auf die Subjektivität der Geruchswahrnehmung zurückzuführen. Im Konfliktfall muss die Frage beantwortet werden, ob die am Ort der Einwirkung auftretenden Geruchseindrücke den davon beeinträchtigten Menschen noch zuzumuten sind, oder ob der Geruchsstoffemittent Emissionsminderungsmaßnahmen vornehmen muss. Im vorliegenden Beitrag werden Handlungsfelder für die technische Regelsetzung als Grundlage zur Lösung immissionsschutzrechtlicher Fragestellungen benannt sowie Vorschläge für mögliche Standardisierungsarbeiten unterbreitet.

### 1. Einleitung

Die Systematik für die Ermittlung von Geruchsimmissionen durch Emissionsmessung, Immissionsmessung und Ausbreitungsrechnung hat sich in der Praxis grundsätzlich bewährt. Dennoch treten immer wieder Fallkonstellationen auf, in denen sich inkonsistente Ergebnisse ergeben. Dies kann in Einzelfällen dazu führen, dass Geruchsimmissionshäufigkeiten mit Hilfe der Ausbreitungsrechnung prognostiziert werden, die die Genehmigung einer Anlage nicht ohne Weiteres zulassen.

Auch die Entwicklung von Methoden schreitet fort und es stellt sich z. B. die Frage, ob elektronische Sensoren zur instrumentellen Geruchsstofffassung geeignet sind. In diesem Kontext sowie in anderen Zusammenhängen ergeben sich in der Praxis immer wieder Fragestellungen, die (neue) Bewertungsansätze erforderlich machen.

Vor dem Hintergrund der hier dargestellten Sachverhalte bietet dieser Beitrag einen Überblick zu den Themenbereichen (i) instrumentelle Geruchsstofffassung, (ii) Ekel erregende

oder Übelkeit auslösende Gerüche, (iii) Biofiltergerüche und ihre Reichweite sowie zur (iv) Schnittstelle "Geruchsstoffemissionen – Ausbreitungsrechnungen".

## 2. Instrumentelle Geruchsstofffassung

Unterschiedliche Interessengruppen fordern zunehmend mehr gesellschaftliche Partizipation in der Wissenschaft, insbesondere im Kontext einer nachhaltigen gesellschaftlichen Entwicklung. Citizen Science wird als eine Möglichkeit der Partizipation betrachtet. [1] Das verstärkte Aufkommen individuell erhobener Messdaten mit Relevanz für die Umweltqualität erfordert zukünftig die Entwicklung neuer Bewertungsmethoden.

Aktuell stellen sich die Behörden der Herausforderung der Interpretation zeitlich hochaufgelöster (Sekunden bis Minuten) Luftqualitätsmessungen, die mit mobilen bzw. tragbaren Sensoren aufgenommen wurden. Diese Messdaten müssen abgeglichen werden mit den zeitlich gering aufgelösten (Stunden bis Tage) Luftqualitätsmessungen nach internationalen Referenzverfahren für regulierte Luftschadstoffe. Von den Entwicklungen der instrumentellen Analytik sind jedoch nicht ausschließlich die Messmethoden für regulierte Luftschadstoffe betroffen (z. B. PM, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) sondern ebenso die Messmethoden für Geruchsstoffe. Das Ziel ist es, den menschlichen Geruchssinn durch "objektive" Messmethoden zu ersetzen oder zumindest hinreichende Ersatzparameter zu bestimmen.

Es haben sich bereits zwei europäische Standardisierungsgremien gebildet, die sich sowohl mit dem Themenkomplex "air quality sensors" (CEN/TC 264/WG 42) als auch mit dem Themenkomplex "instrumental odour monitoring" (CEN/TC 264/WG 41) befassen.

CEN/TC 264/WG 41 erarbeitet gegenwärtig einen europäischen Standard zur instrumentellen Geruchsstofffassung, der gerätespezifische Anforderungen festlegt. Mögliche Anwendungsszenarien betreffen sowohl die instrumentelle Geruchsstofffassung in der Außenluft als auch in der Raumluft. Primär zielt die technische Regelsetzung auf die Etablierung von Geruchsmetriken ab, die relevant sind für das Vorhandensein und die Eigenschaften eines Geruches. Somit gehören die Leistungsmerkmale der eingesetzten Sensoren (einschließlich der sorgfältigen Betrachtung von Interferenzen), die Signalprozessierung sowie die Validierung der Korrelation zwischen Geruchsmetrik und der menschlichen Wahrnehmung zu den Kernthemen des in Vorbereitung befindlichen europäischen Standards.

Verschiedene physikalische Messprinzipien zur instrumentellen Geruchsstofffassung, wie z. B. thermische, elektrische, gravimetrische, optische oder ionisierende Sensoren, bieten vielfältige Anwendungsbereiche. Zu diesen Anwendungsbereichen gehören u. a. die Bewertung von Lebensmittel- und Getränkearomen, Qualitätskontrolle in der Lebensmittellagerung und -verpackung, Leckageprüfung an petrochemischen Anlagen, Applikationen in der Auto-

mobilindustrie, Feuer-Frühwarnsysteme, Qualitätskontrolle in der Kosmetik- und Parfumerstellung, Arbeitsplatzüberwachung, Umweltüberwachung, Identifikation von chemischen Kampfmitteln und toxischen Industriechemikalien sowie die Diagnose von Atemwegserkrankungen und Infektionen. [2] Diese zahlreichen Anwendungsbereiche demonstrieren das Potenzial der instrumentellen Geruchsstoffidentifikation sowie der Diskriminierung verschiedener Geruchsstoffe. [3], [4] Sie zeigen aber auch, dass Anwendungen in der Umweltüberwachung derzeit tendenziell die Ausnahme sind. Die instrumentelle Geruchsstoffüberwachung ist per se nicht geeignet, um Geruchsqualitäten oder Geruchshäufigkeiten im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [5], der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [6] und der Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) [7] zu messen. Es muss eine sorgfältige Abgrenzung zwischen der menschlichen Geruchswahrnehmung und der instrumentellen chemischen Analytik geben, um die Fehlinterpretation von Messergebnissen zu vermeiden. [8]

Die zukünftigen Herausforderungen in der Standardisierung zur instrumentellen Geruchsstofffassung sind die folgenden:

- Definition der Möglichkeiten und Grenzen für den Einsatz von Sensoren zur Messung von regulierten Luftschadstoffen sowie von Geruchsstoffen
- Frühzeitige Information der Öffentlichkeit über die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Luftqualitätssensoren
- Definition von Vorgehensweisen für die öffentliche Kommunikation in Bezug auf umweltmedizinische Aussagen basierend auf zeitlich hochaufgelösten Luftqualitätsdaten

### 3. Ekel erregende und Übelkeit auslösende Gerüche

Bis in die Gegenwart sind sehr viele Definitionen und Erläuterungen in Bezug auf Ekel, Abscheu und Widerwillen entstanden. Allgemein lässt sich Ekel als ein Gefühl des Abgestoßenseins und der Abneigung umschreiben. Der englische Begriff 'disgust' verdeutlicht, dass es sich primär um gustatorische Aversionen handelt. [9]-[12]

Gerüche fallen gemäß §3 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bei Erfüllung bestimmter Kriterien in die Kategorie erheblicher Belästigungen. Bei Ekel erregenden oder Übelkeit auslösenden Gerüchen können jedoch Gesundheitsgefahren nicht ausgeschlossen werden. Hier reicht das klassische Bewertungskriterium, die Geruchshäufigkeit, zur Beurteilung nicht mehr aus und es ist ein erhöhter Prüfaufwand und eine schnellere Reaktion der zuständigen Behörde erforderlich. Bisher gibt es keine standardisierte Vorgehensweise, um zu ermitteln, ob ein Geruch als Ekel erregend oder Übelkeit auslösend einzustufen ist.

Mithilfe der geplanten Richtlinie VDI 3940 Blatt 6 wird das technische Regelwerk rund um die Messung und Bewertung von Geruch in der Außenluft (DIN EN 13725, DIN EN 16841-1, DIN EN 16841-2, VDI 3880, VDI 3883 Blatt 1 bis 4, VDI 3884 Blatt 1, VDI 3886 Blatt 1 und VDI 3940 Blatt 3 bis 5) sowie die Regelungen der GIRL ergänzt. [13]-[26] Die geplante Richtlinie VDI 3940 Blatt 6 soll insbesondere Anwendung im Beschwerdefall finden.

Die Methodik zur Ermittlung von Ekel erregenden und Übelkeit auslösenden Gerüchen soll einem Prüfschema folgen. Im Einzelnen wird die Bewertung der physiologischen Reaktionen des Prüfers auf einen Geruch vorgenommen. Es soll des Weiteren eine Klassifizierung des Geruchs in Korrelation zum Gestank unter Verwendung des Polaritätenprofils erfolgen.

Zu den Zielstellungen der Richtlinie gehören:

- Standardisierte Beschreibung sowie Ermittlung Ekel erregender und Übelkeit auslösender Gerüche unter Einbeziehung der oder in Abgrenzung zur erheblichen Belästigung
- Ermöglichung einer weitergehenden Anwendung der Richtlinien VDI 3940 Blatt 3 (Intensität und Hedonik) und VDI 3940 Blatt 4 (Polaritätenprofile)
- Beschreibung methodischer Beispiele aus der Praxis

#### **4. Biofiltergerüche und ihre Reichweite**

Zur Minderung von Emissionen aus der Tierhaltung, aus Kompostierungs- sowie aus Kläranlagen werden zunehmend Abluftreinigungsanlagen eingesetzt, bei denen die gereinigte Abluft über Flächenquellen der Atmosphäre zugeführt wird. Hierbei dienen die Abluftreinigungsanlagen zur Minderung der Emissionen von Geruch, Ammoniak und Aerosolen. Als besonders geeignet werden zwei- und dreistufige Kombinationsanlagen eingestuft, die aus (Chemo-)Wäschern und Biofiltern bestehen, sowie einstufige Chemowäscher. [27] Gerade in Genehmigungsverfahren zeigt sich, dass die von Biofiltern ausgehenden Geruchsstoffströme bei der Beurteilung der von der Anlage verursachten Geruchsstoffimmissionen eine relevante Eingangsgröße bei der Immissionsprognose darstellen können.

1997 wurde eine Abstandsregelung vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW aufgestellt. [28] Nach dieser Abstandsregelung für Anlagen mit Biofilter gilt die Empfehlung, dass bei Abständen > 200 m sowie bei Abständen > 100 m bis < 200 m die Biofilteremissionen bei der Erstellung von Geruchsgutachten nicht zu berücksichtigen sind. Gemäß der LANUV-Empfehlung kann bei Abständen < 100 m nicht ausgeschlossen werden, dass erkennbare Biofiltergerüche auftreten. In diesem Fall werden Fah-

nenbegehungen gemäß GIRL und DIN EN 16841-2 nach Inbetriebnahme der Anlage empfohlen, um die tatsächliche Reichweite der Geruchsimmissionen zu bestimmen.

In den zurückliegenden 20 Jahren wurden zahlreiche Feldstudien zur Bestimmung der Geruchsminderungseffizienz von Biofiltern mittels Emissionsmessungen durchgeführt (siehe [29] und Tabelle 1).

Tabelle 1: Überblick über ausgewählte Feldstudien zur Bestimmung der Geruchsminderungseffizienz von Biofiltern mittels Emissionsmessungen. [30]-[37]

Referenz	Filtermedium	Geruchsminderungs-effizienz in %	Bemerkung
Melse and Hol, <i>Biosystems Engineering</i> , <b>2017</b>	Holzschnitzel	40 – 60	Schweine- und Geflügelhaltung
Chen and Hoff, <i>Applied Engineering in Agriculture</i> , <b>2012</b>	Holzschnitzel	50	Schweinehaltung
Chen et al., <i>Bioresource Technology</i> , <b>2008</b>	Holzschnitzel	62 – 91,4	Schweinehaltung
Nicolai and Thaler, <i>ASABE</i> , <b>2007</b>	Hartholzschnitzel	70	Schweinehaltung
Lau and Cheng, <i>Journal of Environmental Science and Health</i> , <b>2007</b>	Weichholzschnitzel und Komposterde	95	Entenhaltung
Luo and Lindsey, <i>Bioresource Technology</i> , <b>2006</b>	Zerkleinerte Kiefernborke	80 – 99	Tierkörperverwertung
Sheridan et al., <i>Bioresource Technology</i> , <b>2002</b>	Holzschnitzel	88-95	Schweinehaltung
Janni et al., <i>ASABE</i> , <b>1998</b>	Komposterde aus Gartenabfällen und Reisig	87	Schweinehaltung

Es ist bekannt, dass die Filtermaterialeigenschaften, die Verweilzeit im leeren Filterbett (empty bed residence time, EBRT), die Filterpackungsfeuchte sowie die mikrobielle Filterbesiedlung zu den Haupteinflussfaktoren für die Geruchsminderungseffizienz gehören. Biofil-



teranlagen können demnach als effektive Technologie zur Minderung von Geruchsstoffemissionen genutzt werden. [38], [39]

Für Biofilter sind viele Prozessparameter bekannt, die zur Einhaltung eines sicheren Betriebs erforderlich sind. Mangelnde Wartung oder Fehlbetrieb führen zu teilweise gravierenden Mängeln. Hieraus ergeben sich die folgenden Fragestellungen für die technische Regelsetzung zum Themenkomplex "Biofiltergerüche und ihre Reichweite":

- Wie ist die Funktionsfähigkeit eines Biofilters nachzuweisen? Ist z. B. die Forderung nach einer Fahnenbegehung im Nahbereich (Abstand < 200 m bzw. < 100 m) noch erforderlich?
- Wie können Ausbreitungsmodelle (siehe z. B. VDI 3945 Blatt 3) [40] für den Parameter Geruch sachgerecht eingesetzt werden?
- Können verallgemeinerungsfähige Empfehlungen zur optimalen Betriebsweise von Biofiltern gegeben werden (Regelung der Filterpackungsfeuchte, Steuerung der mikrobiellen Filterbesiedlung)?
- Wie verhalten sich Methan und Lachgas in Biofiltern und wie kann die Freisetzung dieser Treibhausgase minimiert werden?

## 5. Schnittstelle "Geruchsstoffemissionen – Ausbreitungsrechnungen"

Nur wenn im System der Ermittlung von Geruchsimmissionen durch Emissionsmessung, Immissionsmessung und Ausbreitungsrechnung alle Parameter aufeinander abgestimmt sind, ist mit sachgerechten und plausiblen Ergebnisse zu rechnen. Die 7. VDI-Fachtagung "Gerüche in der Umwelt" setzt sich in ihrem Sonderthema speziell mit der Problematik der Verwendung von Emissionsdaten, ermittelt mit einer durchströmten Haube nach VDI 3880, als Eingangsdaten für die Ausbreitungsrechnung auseinander. Dieses Thema geht auf Erfahrungsberichte zurück, die den Schluss nahe legen, dass die entsprechend ermittelten Emissionsdaten zu einer Überschätzung der prognostizierten Geruchshäufigkeiten führen. Dieses Beispiel macht anschaulich, dass im Falle des Parameters Geruch Eingangsdaten auch an deren Auswirkungen auf das System, in diesem Fall das Ergebnis einer Ausbreitungsrechnung, beurteilt werden müssen. Hier sind Geruchsbegehungen ein Instrumentarium, das einen entsprechenden Abgleich erlaubt.

Es ist die Aufgabe der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft durch fachbereichsübergreifend harmonisierte technische Regelsetzung fachliche Lösungsvorschläge hierfür zu entwickeln.

## Literatur

- [1] A. Bonn et al.: Grünbuch Citizen Science Strategie 2020 für Deutschland, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig, Museum für Naturkunde Berlin, Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung, Berlin-Brandenburgisches Institut für Biodiversitätsforschung, **2016**
- [2] K. Arshak, E. Moore, G. M. Lyons, J. Harris, and S. Clifford: A review of gas sensors employed in electronic nose applications, *Sensor Review*, 24, **2004**, 181-198
- [3] L. Capelli, S. Sironi, and R. Del Rosso: Electronic noses for environmental monitoring applications, *Sensors*, 14, **2014**, 19979-20007
- [4] H. Borsdorf, S. Baldeweg, F. Löper, M. Höhnisch, R. Petrich, and T. Mayer: The correlation of odors in the environment with ion mobility spectra patterns; *International Journal for Ion Mobility Spectrometry*, 18, **2015**, 1-7
- [5] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG)
- [6] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)
- [7] Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL), RdErl. D. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2009
- [8] P. Boeker: On 'Electronic Nose' methodology, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 204, **2014**, 2-17
- [9] K. Laqua: Wahrnehmung und Bewertung Ekel auslösender Sinnesreize, *Disser-tationsschrift*, Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, Technische Universität Dresden, **2013**
- [10] V. Curtis, M. de Barra, and R. Anger: Disgust as an adaptive system for disease avoidance behavior, *Phil. Trans R. Soc. B*, 366, **2011**, 389-401
- [11] B. O. Olatunji, C. N. Sawchuk, P. J. de Jong, and J. M. Lohr: Disgust sensitivity and anxiety disorder symptoms: Psychometric properties of the disgust emotion scale, *J Psychopathol Behav Assess*, 29, **2007**, 115-124
- [12] K. Sucker, R. Both, and G. Winnecke: Review of adverse health effects of odours in field studies, *Water Science and Technology*, 59, **2009**, 1281-1289

- [13] DIN EN 13725 Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktorischer. Berlin: Beuth Vorlag
- [14] DIN EN 16841-1 Außenluft – Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Teil 1: Rastermessung. Berlin: Beuth Verlag
- [15] DIN EN 16841-2 Außenluft – Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Teil 2: Fahnenmessung. Berlin: Beuth Verlag
- [16] VDI 3880 Olfaktometrie – Statische Probenahme. Berlin: Beuth Verlag
- [17] VDI 3883 Blatt 1 Wirkung und Bewertung von Gerüchen – Erfassung der Geruchsbelästigung - Fragebogentechnik. Berlin: Beuth Verlag
- [18] VDI 3883 Blatt 2 Wirkung und Bewertung von Gerüchen – Ermittlung von Belästigungsparametern durch Befragungen – Wiederholte Kurzbefragung von ortsansässigen Probanden. Berlin: Beuth Verlag
- [19] VDI 3883 Blatt 3 Wirkung und Bewertung von Gerüchen – Konfliktmanagement im Immissionsschutz – Grundlagen und Anwendung am Beispiel von Gerüchen. Berlin: Beuth Verlag
- [20] VDI 3883 Blatt 4 Wirkung und Bewertung von Gerüchen – Bearbeitung von Nachbarschaftsbeschwerden wegen Geruch. Berlin: Beuth Verlag
- [21] VDI 3884 Blatt 1 Olfaktometrie – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie – Ausführungshinweise zur Norm DIN EN 13725. Berlin: Beuth Verlag
- [22] VDI 3886 Blatt 1 Ermittlung und Bewertung von gerüchen – Geruchsgutachten – Ermittlung der Notwendigkeit und Hinweise zur Erstellung. Berlin: Beuth Verlag
- [23] VDI 3940 Blatt 3 Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld. Berlin: Beuth Verlag
- [24] VDI 3940 Blatt 4 Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile. Berlin: Beuth Verlag
- [25] VDI 3940 Blatt 5 Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen –Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld – Hinweise und Anwendungsbeispiele. Berlin: Beuth Verlag
- [26] VDI 3940 Blatt 6 Beschreibung und Ermittlung von Ekel erregenden und Übelkeit auslösenden Gerüchen. Berlin: Beuth Verlag

- [27] VDI 4255 Blatt 2 Bioaerosole und biologische Agenzien – Emissionsquellen- und Minderungsmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung – Übersicht. Berlin: Beuth Verlag
- [28] Ralf Both und Beate Schilling: Biofiltergerüche und ihre Reichweite – Eine "Abstandsregelung" für die Genehmigungspraxis, Landesumweltamt NRW, 1997
- [29] VDI 3477 Biologische Abgasreinigung – Biofilter. Berlin: Beuth Verlag
- [30] Roland W. Melse und Johanna M. G. Hol: Biofiltration of exhaust air from animal houses: Evaluation of removal efficiencies and practical experiences with biobeds at three field sites, *Biosystems Engineering*, 159, **2017**, 59-69
- [31] L. Chen and S. J. Hoff: A two-stage wood-chip based biofilter system to mitigate odors from a deep-pit swine building, *Applied Engineering in Agriculture*, 28, **2012**, 893-901
- [32] L. Chen, S. J. Hoff, J. A. Koziel, L. Cai, B. Zelle, and G. Sun: Performance evaluation of a wood chip-based biofilter using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry, *Bioresource Technology*, 99, **2008**, 7767-7780
- [33] R. E. Nicolai, and R. Thaler: Vertical biofilter construction and performance, ASABE Publication No. 701P0907cd, St. Joseph, Mich., **2007**
- [34] A. Lau and K. Cheng: Removal of odor using biofilter from duck confinement buildings, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 42, **2007**, 955-959
- [35] J. Luo and S. Lindsey: The use of pine bark and natural zeolite as biofilter media to remove animal rendering process odours, *Bioresource Technology*, 97, **2006**, 1461-1469
- [36] B. A. Sheridan, T. P. Curran, and V. A. Dodd: Assessment of the influence of media particle size on the biofiltration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility, *Bioresource Technology*, 84, **2002**, 129-143
- [37] K. A. Janni, R. E. Nicolai, L. D. Jacobson, and D. R. Schmidt: Low cost biofilters for odor control in Minnesota, Final Report 14 August **1998**. St. Paul, Minnesota: Biosystems and Agricultural Engineering Department, University of Minnesota
- [38] L. Chen and S. J. Hoff: Mitigating odors from agricultural facilities: A review of literature concerning biofilters, *Applied Engineering in Agriculture*, 25, **2009**, 751-766

- [39] R. W. Melse and N. W. M. Ogink: Air Scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands, *Transactions of the ASAE*, 48, **2005**, 2303-2313
- [40] VDI 3945 Blatt 3 Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Partikelmodell. Berlin: Beuth Verlag

# Ein Vorschlag zur kombinierten Verwendung von Rasterbegehungen und Prognosen für Geruchs- immissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren

Dr. Hendrik Merbitz, Dr. Kai Born, Dr. Tobias Schäfer,  
TÜV Rheinland Energy GmbH, Köln

## Kurzfassung

Der Beitrag dokumentiert einen Vergleich von Ergebnissen aus Rasterbegehungen und Immissionsprognosen im Umfeld geruchsemitterender Industriebetriebe und die Vorstellung einer Vorgehensweise, um die Repräsentativität von Ergebnissen der Rasterbegehung durch Kombination mit Ausbreitungsmodellierung zu erhöhen.

## 1. Einleitung und Methodik

Rasterbegehungen nach VDI 3940 Blatt 1 stellen ein häufig eingesetztes Instrument zur Bewertung vorhandener Geruchsmissionen dar. Die Ergebnisse der Begehung sind oft entscheidend für die Feststellung der Genehmigungsfähigkeit einer Anlage. Bei der Rasterbegehung liegt der Erhebungsumfang i.d.R. bei 52 Einzelsituationen pro Begehungsfäche, gleichmäßig über einen Zeitraum von einem halben Jahr verteilt. Aufgrund der hohen Variabilität meteorologischer Zustände kann diese zufällige Auswahl von 52 Einzelsituationen innerhalb eines halben Jahres allerdings nicht als repräsentativ für die langjährigen klimatischen Verhältnisse angesehen werden und sollte nicht ohne weitere Analysen in Genehmigungsverfahren herangezogen werden. Laut VDI Richtlinie 3940 Blatt 1 sind begleitende meteorologische Messungen während der Begehung durchzuführen, anhand derer die Repräsentativität des Messzeitraums durch Vergleich mit der langjährigen Windrichtungsverteilung geprüft werden soll. Bei einer großen Abweichung der beiden Windrichtungsverteilungen ist das Ergebnis der Immissionserhebung im Hinblick auf die tatsächliche Immissionssituation besonders sorgfältig zu interpretieren. Eine konkrete Vorgehensweise bei starker Abweichung der Windrichtungsverteilung während der Begehung gegenüber dem langjährigen Mittel wird allerdings nicht genannt.

Es wird ein Ansatz vorgestellt, um Ergebnisse aus Geruchsbegehungen mittels Ausbreitungsrechnung auf die langjährigen Verhältnisse zu übertragen und im Rahmen von Genehmigungsverfahren belastbarer zu machen.

Es werden zwei konkrete Beispiele vorgestellt, bei denen die Geruchsstundenhäufigkeiten im Umfeld geruchsemitterender Industriebetriebe mit einer Rasterbegehung ermittelt und in Genehmigungsverfahren verwendet wurden:

- Fall A: Gerüche aus der Herstellung von Papier, Karton oder Pappe
- Fall B: Schwefelgerüche aus Vulkanisierung

Für beide Fälle werden Ursachen für Abweichungen zwischen dem Ergebnis einer Rasterbegehung und einer Immissionsprognose diskutiert und Möglichkeiten zur Anpassung bzw. Modifikation verschiedener Modellparameter vorgestellt.

## 2. Ergebnisse

### Fall A:

Beim Vergleich zwischen modellierten und mittels Rasterbegehung beobachteten Geruchsstundenhäufigkeiten konnte in Fall A festgestellt werden, dass sowohl die Verwendung meteorologischer Daten, welche den Gesamtzeitraum der Rasterbegehung abdecken (6 Monate) als auch eine Begrenzung der Auswahl meteorologischer Daten auf die Tage der Begehungen (52 Tage) zu einer Unterschätzung der beobachteten Geruchsstundenhäufigkeit im Modell führt.

Wird die Auswahl der meteorologischen Eingangsdaten allerdings stundengenau an die Zeiten der Begehung angepasst, so zeigt sich, dass das Modellergebnis die beobachtete maximale Geruchsstundenhäufigkeit um ca. 2% überschätzt und damit konservativ ist. Da das Ziel der Geruchsprognose eine „auf der sicheren Seite“ liegende Abschätzung der Geruchsimmissionssituation ist (vgl. [1]), kann festgestellt werden, dass erst bei der Rechnung mit stundengenauer Wiedergabe der Windverhältnisse dieser Forderung genüge getan ist.

Da gezeigt werden konnte, dass das Ergebnis der Rasterbegehung durch die Prognose unter Verwendung geeigneter meteorologischer Daten, die die speziellen Windverhältnisse während der Begehung abbilden, reproduziert werden kann, kann im nächsten Schritt unter Verwendung meteorologischer Daten eines repräsentativen Jahres die mittlere, für die langjährigen Verhältnisse typische Geruchsimmissionssituation in der Umgebung der Anlage bestimmt werden. Da die Windverhältnisse in den Stunden der Begehung von den langjährigen mittleren Verhältnissen z.T. erheblich abweichen können, kann eine belastbare Aussage über die von der Anlage hervorgerufene Geruchsbelastung im Rahmen von Genehmigungsverfahren erst auf Basis dieser weiteren Immissionsprognose unter Verwendung für den Standort repräsentativer meteorologischer Daten getroffen werden.

**Fall B:**

Bei Fall B (Schwefelgerüche aus Vulkanisierung) waren die Windverhältnisse innerhalb des Zeitraums der Rasterbegehung relativ konstant, weshalb nur geringe Unterschiede zwischen den Modellergebnissen auf Grundlage einer meteorologischen Zeitreihe für den Gesamtzeitraum, die Begehungstage und die Stunden der Begehung zu beobachten waren. Allerdings zeigte sich beim Vergleich zwischen Modell und Rasterbegehung, dass die geführten, olfaktometrisch erfassten Quellen in der Prognose nicht in der Lage sind, ein ähnliches Muster der Geruchsbelastung wie während der Begehung zu erzeugen. Die Abweichungen zwischen den Prognoseergebnissen und der Begehung wurden auf das Vorhandensein diffuser Quellen zurückgeführt, die weder gemessen wurden noch im Quellenplan angegeben waren. Aufgrund des während der Begehung beobachteten starken räumlichen Gradienten der Geruchsbelastung wurde geschlussfolgert, dass es sich bei den diffusen Quellen um Emissionen aus Gebäudeöffnungen (auf dem Dach oder an der Wand) handelt und somit eine starke diffuse Quelle vorhanden ist, deren Emissionen bei Verwirbelungen im Lee des Gebäudes zum Boden gemischt werden. Beide Prozesse wurden mit einer Ersatzquelle nach dem Merkblatt 56 des LANUV NRW [2] dargestellt, die vom Boden bis in Gebäudehöhe emittiert. Insgesamt wurden 6 diffuse bzw. Ersatzquellen zur Abbildung diffuser Geruchsemissionen im Modell als Volumenquellen ab Bodenniveau bzw. ab Dachhöhe dargestellt und ihre – in der Höhe nicht bekannten - Emissionen iterativ angepasst, bis das Ergebnis der Begehung im räumlichen Muster und der Stärke reproduziert werden konnte.

**3. Diskussion**

Es wird eine Vorgehensweise vorgestellt, um Ursachen von Differenzen zwischen Rasterbegehungen und Geruchsprognosen zu identifizieren und die Repräsentativität von Ergebnissen der Rasterbegehung mittels Ausbreitungsrechnung zu erhöhen. Zunächst ist unter Verwendung einer für die Zeiten der Begehung repräsentativen meteorologischen Zeitreihe zu prüfen, ob sich das Begehungsergebnis auf Basis gemessener oder aufgrund von Literaturwerten berechneter Geruchsemissionen reproduzieren lässt. Im Falle fehlender oder unzureichender olfaktometrischer Eingangsdaten sind die Quellstärken und Quellparameter so zu modifizieren, dass das Ergebnis der Prognose an die durch Begehung ermittelte Geruchsstundenhäufigkeit angepasst wird. Die Konsistenz und Plausibilität der Anpassungen ist dabei besonders vorsichtig zu prüfen.

Im Idealfall können die Ergebnisse durch Anpassung der Quellparameter (z.B. Fahnenüberhöhung) oder Ansätze für nicht olfaktometrisch erfasste diffuse Emissionen im Modell opti-



miert werden. Diese Optimierung ist allerdings genau zu dokumentieren und zu diskutieren, da dieser Rückwärtsschluss nicht unbedingt die ursächlichen Zusammenhänge repräsentiert.

Im nächsten Schritt kann auf Basis dieser – iterativ angepassten - Emissionsdaten für eine repräsentative Ausbreitungsklassenstatistik (AKS) bzw. ein repräsentatives Jahr (AKTerm) eine Geruchsimmisionsprognose erstellt werden, die im Genehmigungsprozess eine Bewertung der von einer Anlage ausgehenden Geruchsstundenhäufigkeiten mit höherer Sicherheit ermöglicht. Grundlage für diese Bewertung sollte somit eine Kombination aus Rasterbegehung und Ausbreitungsrechnung sein.

Aus den zwei vorgestellten Fällen wird ersichtlich, dass das Ergebnis der Rasterbegehung nicht ohne weitere Analysen bezüglich seiner (zeitlichen und räumlichen) Repräsentativität in Genehmigungsverfahren herangezogen werden sollte. Auf der anderen Seite kann – unter Berücksichtigung der zeitlichen Repräsentativität - das Ergebnis der Begehung wiederum verwendet werden, um Modellparameter bzw. Emissionen von nicht erfassten oder unbekannten diffusen Quellen anzupassen und damit die Belastbarkeit der Immissionsprognose zu erhöhen.

## Literaturverzeichnis

- [1] R. Both, „Berücksichtigung von Rastermessungsergebnissen in Genehmigungsverfahren. In: VDI Berichte Nr. 2252,“ 2015.
- [2] LUA - Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, „Merkblatt 56: Leitfaden zur Erstellung von Immissionsprognosen mit AUSTAL2000 in Genehmigungsverfahren nach TA Luft und der Geruchsimmisions-Richtlinie,“ Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 2006.

## Neuartige Lagrange-Rückrechnung für das Smellmaster-Geruchsradar

### Ionenmobilitätsspektrometer gekoppelt mit LASAT und leistungsstarker Rechentechnik in Anwendung auf Gerüche in der Umwelt

**Ralf Petrich, Michaela Höhnisch**, IfU GmbH, Frankenberg;  
**Peter Fleischer**, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden

#### Kurzfassung

Mit der Ionenmobilitätsspektrometrie (kurz: IMS) ist es möglich, durch Bestimmung von Gerüchen auf der Immissionsseite auf Quellen und Quellstärken zurückzurechnen. Diese Möglichkeit wurde durch Forschung in den vergangenen Jahren geschaffen und mehrfach der Fachwelt vorgestellt.

Nun wurde diese Technologie dahingehend weiterentwickelt, dass eine neuartige Methode zur Rückrechnung erarbeitet wurde. Diese basiert auf dem Lagrange-Ausbreitungsmodell und wurde mit LASAT realisiert. Dabei gelang es erstmals, neben der Richtung auch auf Entfernung und Stärke einer Quelle zu schließen.

Die Methode hat zum Ziel, anlagenspezifische Geruchsqualitäten wiederzuerkennen, die Intensität auf der Immissionsseite zu ermitteln und auf Geruchsquellen rückrechnen zu können. Das rein physikalische Messprinzip des IMS gewährleistet dabei Langzeitstabilität. Eine hohe Selektivität wird erreicht, indem das Geruchsmuster auf ein Spektrum mit typischerweise 2000 Messpunkten abgebildet wird, wodurch sich ein mathematisch auswertbarer „Fingerabdruck“ für das Geruchsmuster ergibt. Die hohe Empfindlichkeit des IMS erlaubt das Erkennen von Geruchsmustern in einer Konzentration nahe bzw. bereits unterhalb der menschlichen Geruchsschwelle. Der unkomplizierte Betrieb ermöglicht sowohl portablen Einsatz als auch Dauereinsatz unter feldmäßigen Bedingungen. Es kann pro Sekunde ein Geruchsmuster vermessen und abgespeichert werden, wodurch sich eine hohe zeitliche Auflösung ergibt. Damit können nicht nur schnell wechselnde Betriebsbedingungen einer Anlage aufgelöst werden, sondern auch Fluktuationen im Rahmen der Geruchsausbreitung.

Die Arbeiten zu dieser Thematik in Kooperation mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig wurden im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme "Validierung des technologischen und gesell-

schaftlichen Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung - VIP+“ bundesweit mit einem dritten Preis ausgezeichnet.

## 1. Einleitung

Die Ionenmobilitätsspektrometrie (kurz: IMS) zählt zu den analytischen Methoden, die seit mehr als 40 Jahren Gegenstand vieler Forschungsarbeiten sind. Das Einsatzgebiet erstreckt sich von der Detektion von Sprengstoffen und Drogen bis hin zum Auffinden chemischer Kampfstoffe. Durch Vorteile wie

- eine schnelle Arbeitsweise und ein rein physikalisches Messprinzip bei Atmosphärendruck (kein Vakuum notwendig),
- ein empfindlicher Nachweis von Substanzen bis in den ppb-Bereich,
- eine hohe Selektivität und die Möglichkeit der Detektion von organischen und anorganischen Komponenten sowie
- die Möglichkeit zum portablen Einsatz bei kleinen Abmaßen und Akkubetrieb

findet die Ionenmobilitätsspektrometrie gegenüber den teuren und zeitaufwendigen Analyseverfahren (Gaschromatographie, Massenspektroskopie) zunehmend Anwendung in den Bereichen der Pharmazie, Biotechnik und Umwelttechnik.

Stoffgemische, die Geruchswahrnehmungen auslösen, bestehen aus einer Vielzahl von Einzelsubstanzen, die in ihrer Wirkung kaum quantitativ beschreibbar sind. So können sich Einzelsubstanzen in ihrer Wirkung überlagern, verstärken oder auch aufheben. Technische Ansätze, mit denen anhand von Messungen an Stoffgemischen auf deren physiologische Geruchswirkung auf den Menschen geschlossen werden kann („elektronische Nasen“) wurden in der Vergangenheit untersucht und in der Literatur vorgestellt. Jedoch konnte keiner dieser Ansätze umfassend den Anspruch erfüllen, aus rein technisch (ohne die menschliche Nase) erhobenen Messdaten zuverlässige Aussagen über die physiologische Geruchswirkung der untersuchten Substanzen abzuleiten. Einzelne erfolgreiche Realisierungen ermöglichten die Lösung von Spezialaufgaben, wie beispielsweise das Auffinden von „Geruch nach Verdorbenem“ in der Lebensmittelindustrie.

Die hier vorgestellte Technologie zur Erfassung von Gerüchen auf der Basis der Ionenmobilitätsspektrometrie hat zum Ziel, bekannte Geruchsqualitäten wiederzuerkennen. Das rein physikalische Messprinzip des IMS gewährleistet dabei Langzeitstabilität. Eine hohe Selektivität wird erreicht, indem das Geruchsmuster auf ein Spektrum mit typischerweise 2000 Messpunkten abgebildet wird, wodurch sich ein mathematisch auswertbarer „Fingerabdruck“ für das Geruchsmuster ergibt. Die hohe Empfindlichkeit des IMS erlaubt das Erkennen von Geruchsmustern in einer Konzentration nahe bzw. bereits unterhalb der menschlichen Ge-

Geruchsschwelle. Der unkomplizierte Betrieb ermöglicht sowohl portablen Einsatz als auch Dauereinsatz unter feldmäßigen Bedingungen.

Die Erfassung von Gerüchen über ein Ionenmobilitätsspektrometer zielt nicht auf die Realisierung einer „elektronischen Nase“ ab, sondern ermöglicht bereits an der Geruchsschwelle das Wiedererkennen, Zählen und Unterscheiden von Geruchsmustern, deren Wirkung auf den Menschen bereits bekannt ist.

Diese Technologie erlaubt darüber hinaus das hoch zeitaufgelöste Bestimmen einer Immissionskonzentration, aus der sich die Geruchswahrnehmung letztlich ergibt. Aus diesem Zeitverlauf der Immissionskonzentration kann mit einem neuentwickelten leistungsfähigen Verfahren zur Rückrechnung mittels Lagrange-Partikeln auf die Quellsituation geschlossen werden. Während bislang häufig nur die Richtung ermittelt werden konnte, in der sich eine Quelle in Bezug auf den Aufpunkt befindet, erlaubt das neue Verfahren auch Rückschlüsse auf Entfernung und Emissionsfracht der Quelle.

## 2. Technologie der Ionenmobilitätsspektroskopie

Die Komponenten eines Ionenmobilitätsspektrometers (IM-Spektrometer) können in drei Bereiche unterteilt werden:

- Probenzufuhr
- Messröhre
- Signalerzeugung

Die Probenzufuhrsysteme unterscheiden sich nach Art der zu untersuchenden Substanz beziehungsweise nach dem Aggregatzustand. Die meisten Proben sind gasförmig. Dabei wird der Analyt direkt in die Messröhre eingelassen oder über eine Membran gepumpt. Durch eine Membran wird die Feuchtigkeit in der Messröhre gering gehalten und Verfälschungen der Messergebnisse treten kaum auf, wobei mit einer geringeren Empfindlichkeit des Spektrometers zu rechnen ist. Bei festen Proben müssen diese zunächst in den gasförmigen Aggregatzustand überführt werden (zum Beispiel durch thermische- oder Laser-desorption).

Alle wichtigen Komponenten einer Messröhre sind in Bild 1 gezeigt. Dabei wird zwischen einem Reaktions- und Driftraum unterschieden. Der Reaktionsraum mit der Ionisierungsquelle dient zur Erzeugung der Ionen. Im Driftraum erfolgt durch ein elektrisches Feld eine Separation der Ionen. Ein Schottgitter trennt den Reaktionsraum vom Driftbereich und dient als Schleuse. Die Metall- und Isolatorringe dienen zur Erzeugung des homogenen elektrischen Feldes im Bereich bis zu 350 V/cm. Durch die Spannungsteiler können Potentialunterschiede mit beliebigen Gradienten realisiert werden.

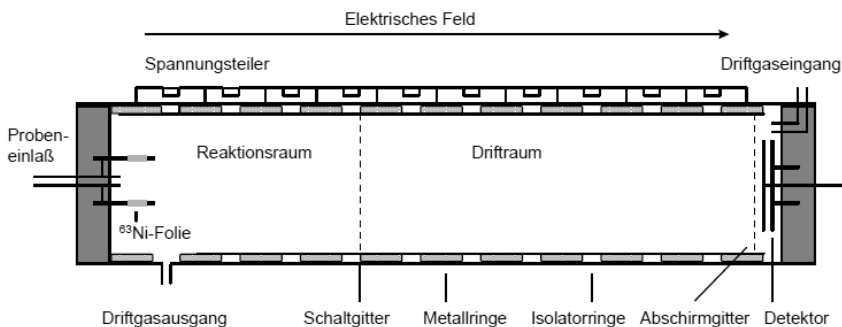


Bild 1: Komponenten der Messröhre, hier mit Nickelfolie als Ionisierungsquelle

Zur Signalerzeugung dient als Detektor meist eine Faraday-Platte, welche die Ionen in ein messbares Signal umwandelt. Dieses Signal wird von einer PC-Software ausgelesen und durch einen Signalverarbeitungsalgorithmus geglättet sowie entrauscht. Die Darstellung der Spektren und die Berechnung von Peakpositionen, -flächen und Mobilitätswerten beinhaltet eine druck- und temperaturabhängige Korrektur, um die Vergleichbarkeit von Messdaten zu gewährleisten.

Das zu analysierende Stoffgemisch gelangt zunächst über ein Probenzufuhrsystem in den Reaktionsraum der Messröhre. Mittels geeigneter Ionisierungsquelle werden Moleküle unter Atmosphärendruck ionisiert und durch ein Drift-/Trärgas in Richtung des Driftraumes bewegt. Das Schaltgitter wird periodisch geöffnet und geschlossen, sodass stets eine Ionenwolke in den Driftraum gelang. Diese Ionenwolke wird durch das elektrische Feld zum Detektor hin beschleunigt. Durch Kollisionen mit anderen Gasmolekülen erfahren die Ionen einen Bremseffekt. Es bildet sich ein Gleichgewicht zwischen gewonnener Energie, durch das elektrische Feld, und verlorener Energie durch Kollision aus.

Die resultierende Geschwindigkeit ist von den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Ions abhängig. Durch die charakteristische Mobilität erreichen die Ionen zu unterschiedlichen Zeiten den Detektor (Bild 2). Der Weg vom Schaltgitter bis zum Detektor wird als Driftstrecke und die benötigte Zeit als Driftzeit bezeichnet.

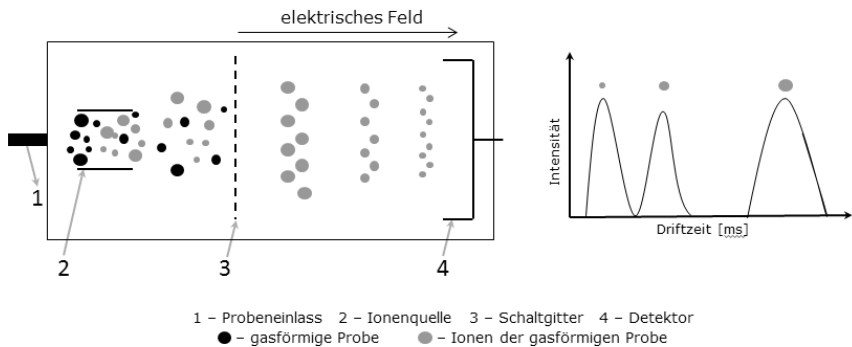


Bild 2: Vorgang im Ionenmobilitätsspektrometer

Die Ionen werden am Detektor (Faraday-Platte) neutralisiert und erzeugen einen Stromfluss, welcher verstärkt und in ein Spannungssignal umgewandelt wird. Die Aufzeichnung des Spannungssignals über der Driftzeit wird als Mobilitäts- oder Driftspektrum bezeichnet. Je nach Polarität der angelegten Spannung können negativ oder positiv geladene Ionen gemessen werden.

Bild 3 zeigt ein typisches Mobilitätsspektrum im positiven Messmodus, das mit einer Tritium-Ionisierungsquelle aufgenommen wurde.

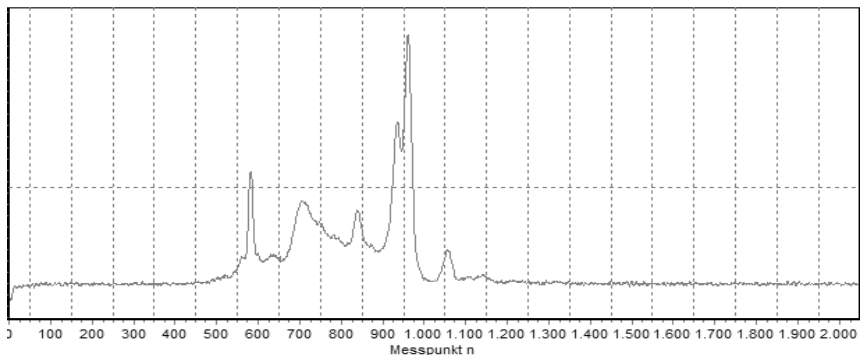


Bild 3: Driftzeitspektrum im positiven Messmodus

### 3. Anwendung auf Gerüche

Bei der Anwendung des Ionenmobilitätsspektrometers im Zusammenhang mit Gerüchen wird versucht, bestimmten Geruchsmustern ein charakteristisches Spektrum zuzuordnen. Damit

ist es je nach Anwendungsfall möglich, Gerüche wiederzuerkennen, nachzuverfolgen, zu unterscheiden und gegebenenfalls ein Maß für die Geruchsintensität abzuleiten. Dies wurde bereits für mehrere Anwendungsfälle nachgewiesen.

In Verbindung mit einer Ausbreitungsrechnung, basierend auf dem Lagrange-Modell und dem Programm LASAT des Ingenieurbüros Janicke wurden die mit dem IMS über 3 Monate gemessenen Geruchsmuster einer Rückrechnung unterzogen. Zu diesem Zweck wurde parallel zur IMS-Messung eine Windmessung mit Ultraschallanemometer vorgenommen.

Die Auswertung der gemessenen Geruchsmuster ergab zunächst ein Spektrum von 21 Geruchsarten, die wenigstens einmal vom IMS detektiert wurden. Aus diesen 21 Mustern ließen sich 5 Geruchsmuster extrahieren, die regelmäßig nachgewiesen wurden und für die die Rückrechnung einen klaren Ortsbezug ergeben hat.

Bild 4 zeigt die flächenhafte Darstellung, wie eine bisherige Rückrechnung die Lagewahrscheinlichkeit der Quelle für das anlagenspezifische Geruchsmuster berechnet hat.

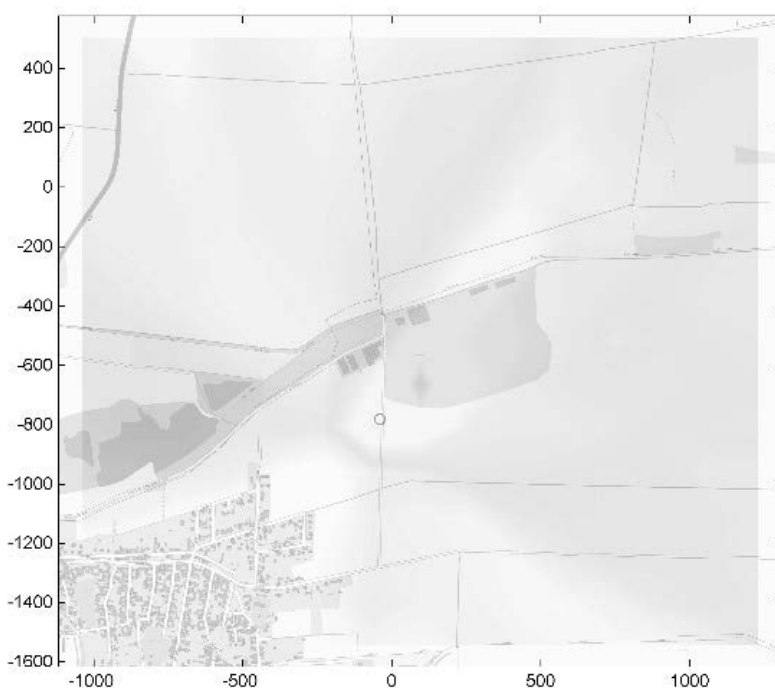


Bild 4: Ergebnisse der bisherigen Rückrechnung auf die Quellen des anlagenspezifischen Geruchsmusters

Erwartungsgemäß erfolgt keine punktgenaue Lokalisierung der vermuteten Quellen, sondern vielmehr eine räumliche Verteilung mit Kennzeichnung der Sektoren, in denen die Emission der betrachteten Geruchsmuster am wahrscheinlichsten ist.

Um die Leistungsfähigkeit der Technologie weiter voranzutreiben, wurde nun versucht, einmal die Zeitauflösung bei der Messung von zehn Sekunden auf eine Sekunde zu reduzieren. Diese hoch zeitaufgelösten Messungen wurden dann verwendet, um in einer neu entwickelten Lagrange-Rückrechnung auf die Quellsituation zu schließen.

#### 4. Neuartige Lagrange-Rückrechnung mit LASAT

Die Lagrange-Ausbreitungsmodelle (beispielsweise Austal 2000 und LASAT) beruhen auf beweglichen Lagrange-Partikeln, die an den Quellpunkten starten und sich geführt von Windfeld und Turbulenz durch das Rechengebiet bewegen. Zu jedem Zeitpunkt ist es dabei mög-



lich, die Anzahl von Partikeln in einer Gitterzelle zu zählen, um auf die Immissionskonzentration in dieser Zelle zu schließen. Damit ergibt sich ein räumlich und zeitliches Abbild der Immissionssituation im ganzen Rechengebiet. Die Partikel können mit einer Markierung versehen werden, um zwischen verschiedenen Quellen oder verschiedenen Luftbeimengungen zu unterscheiden. In Auswertung des Rechenganges werden für bestimmte Immissionsorte bzw. flächendeckend zeitliche Mittelwerte der Konzentration oder Perzentile ausgerechnet, die den zu ermittelnden Kenngrößen entsprechen.

Herkömmliche Methoden zur Rückrechnung ermitteln meist mit Messtechnik oder bei Gerüchen durch Begehung einen zeitlichen Mittelwert der betrachteten Kenngröße an einem oder mehreren Aufpunkten im Rechengebiet. Dann wird versucht, über Variationen der Quellparameter und iterativ wiederholten Ausbreitungsrechnungen solche Quellparameter zu finden, die bei durchgeführter Ausbreitungsrechnung die an den Aufpunkten gemittelte Kenngröße möglichst gut reproduzieren. Der zu erwartende Informationsgewinn bei diesem Verfahren ist meist nicht besonders groß, so dass man bei bekannter Quellgeometrie nur versucht, wenigstens die Quellstärke zu ermitteln. Da bei Betrachtung von Gerüchen während der Ausbreitungsrechnung noch eine Perzentilbildung stattfindet, erschwert sich das Verfahren weiterhin.

Deshalb wurde nach neuen Ansätzen gesucht, um die Rückrechnung effektiver im Hinblick auf die Informationsausbeute zu gestalten. Dazu gehört, dass mehr Informationen in die Berechnung einfließen. Grundidee war deshalb, die hoch zeitaufgelösten Messwerte für die Immissionskonzentration zu verwenden.

Weiterhin wurde im Programmsystem LASAT eine Funktionalität verwendet, die darin besteht, dass die einzelnen Lagrange-Partikel während ihrer Ausbreitung durch das Rechengebiet in jedem Zeittakt verfolgt werden können. Dies stellt hinsichtlich der zu verarbeitenden Datenmenge enorme Anforderungen an die Rechentechnik, was aber durchaus zu bewältigen ist. Da im Vorfeld keine Annahmen über die Lage der Quelle gemacht werden sollten, musste eine bodennahe Flächenquelle über das gesamte Rechengebiet verteilt werden um zu gewährleisten, dass Lagrange-Partikel von allen Gitterzellen im Rechengebiet starten. Durch diese Maßgabe musste die Partikelanzahl im Rechenlauf entsprechend hoch gewählt werden, was den notwendigen Rechenaufwand nochmals erhöhte.

Somit ist also zu jedem Zeitschritt die Position aller Lagrange-Partikel beobachtbar. Für die eigentliche Rückrechnung ist aber zunächst nur interessant, welche Partikel sich in der Gitterzelle befinden, in der mit dem IMS auch eine Konzentrationsmessung stattfindet. Für jeden Zeitschritt werden diese Partikel erfasst und dabei registriert, in welcher Gitterzelle des Rechengebietes sie gestartet sind. Diese Start-Gitterzellen haben dann verständlicherweise

als mögliche Quellen zur Immissionssituation am Aufpunkt beigetragen. Die Größe dieser Quellbeiträge kann für jede Gitterzelle anhand der gemessenen Konzentration am Aufpunkt im jeweiligen Zeitschritt abgeschätzt werden. Läuft diese Prozedur für alle Zeitschritte nacheinander ab und werden dabei die einzelnen Quellbeiträge für die Gitterzellen über die Zeit akkumuliert, so ist zu erwarten, dass sich am tatsächlichen Quellort verhältnismäßig hohe akkumulierte Quellbeiträge häufen.

Diese Erwartungen haben sich im Experiment bestätigt. Die folgende Grafik zeigt das Ergebnis der neu entwickelten Rückrechnung, die die gleichen Messdaten wie die in Bild 4 dokumentierte Rückrechnung verwendet hat.

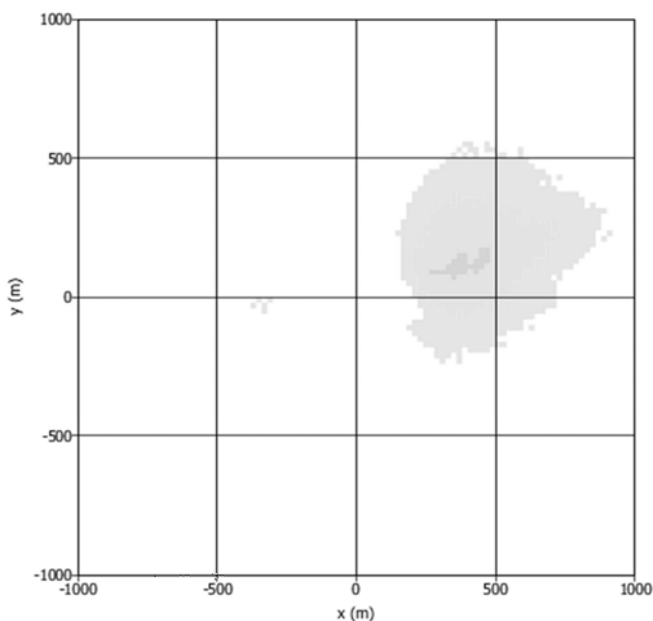


Bild 5: Ergebnisse der neuentwickelten Rückrechnung auf die Quellen des anlagenspezifischen Geruchsmusters

Es ist erkennbar, dass die neuentwickelte Rückrechnung nicht mehr nur eine Windrichtungsabhängigkeit ermittelt, sondern auch in der Lage ist, die Entfernung zur Quelle mit einer gewissen Unschärfe zu bestimmen. In gewissen Grenzen ist es damit möglich, zwischen einer weit entfernten starken Quelle und einer naheliegenden schwachen Quelle zu unterscheiden.

Dieser Zugewinn an Information in der Rückrechnung ist offenbar erzielt worden, indem über die hoch zeitaufgelöste Messung der Immissionskonzentration zusätzliche Informationen ausgewertet werden können. Weiterhin ist die Auswertung der Rückwärts-Trajektorien bei der Lagrange-Ausbreitung offenbar ein gut geeignetes Werkzeug, um Rückrechnungen dieser Art durchzuführen.

Weitere Projekte und Experimente zu dieser Thematik dauern noch an. Die Auswertung wird weitere Einblicke in die Leistungsfähigkeit des neuen Verfahrens mit sich bringen.

## 5. Zusammenfassung

Die Technologie der Ionenmobilitätsspektroskopie lässt sich auf Problemstellungen aus dem Gebiet der Geruchserfassung anwenden.

Die als „Geruchsradar“ bezeichnete Kopplung einer zeitaufgelösten IMS-Messung mit Methoden der Rückrechnung ließ es bisher zu, sektorenweise zu ermitteln, wo eine Quelle für ein bestimmtes Geruchsmuster zu finden sein wird.

Durch Verbesserung der Zeitauflösung bei der Messung und durch eine neuentwickelte Methode der Rückrechnung über Lagrange-Rückwärtstrajektorien mit LASAT konnte die Informationsausbeute bei der Rückrechnung deutlich erhöht werden. Somit kann aus den Daten eines einzigen Messgerätes auf die Entfernung zur Quelle geschlossen werden und indirekt auch auf die Emissionsstärke.

Die Arbeiten zu dieser Thematik in Kooperation mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig wurden im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme "Validierung des technologischen und gesellschaftlichen Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung - VIP+" bundesweit mit einem dritten Preis ausgezeichnet.

## Fotolyseoxidation oder UV-/Ozonung zur Reduzierung von Gerüchen bestehend aus Aromaten und Ketonen der Lebensmittel- und Textilindustrie anhand von Betriebsergebnissen

Dipl.-Ing. **Anja Toussaint**, Oxytec GmbH, Hamburg

In der Lebensmittelindustrie sowie in Räuchereien oder der ölverarbeitenden Industrie werden bei der Lebensmittelherstellung besonders geruchsintensive aromatische (wie z.B. Phenol, Xylol oder Toluol) und ketonische (langkettige Ketone) Verbindungen wie auch Formaldehyd in die Abluft emittiert. Diese organischen Verbindungen zeichnen sich zum einen durch eine hohe Toxizität und zum anderen durch geringe Geruchsschwellenwerte (siehe Tabelle 1) aus.

Tabelle 1: Geruchsschwellenwerte (Beispiele)

Substanz	Geruchsschwelle in mg/m <sup>3</sup>	Quelle
Formaldehyd	1,5 - 74	ENIUS 2017
Phenol	0,18 - 22	
Xylol	0,1 - 80	
Toluol	0,6 - 263	
Aceton	0,2 - 1614	
Cyclohexanon	0,2 - 400	

Diese Abluftgerüche wie auch die bekannte Gerüche einer Räucherei oder eines Textilunternehmens führen zu Störungen, besonders dann, wenn der jeweilige Produktionsbetrieb in der Nähe einer nicht gewerblichen Bebauung steht. Die Folge ist die Einschaltung der Behörde, kostspielige Messungen durch ein externes Unternehmen und Auflagen zur Abstellung dieses Mangels. Verschärft wird dieser Umstand zusätzlich durch die neue TA-Luft mit den Grenzwerten.

Zur Reduzierung des Gesamtkohlenstoffe und der Gerüche können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden (siehe Abbildung 1).

Thermische Verbrennung	Adsorption	Elektrofiltration	Bio - Filter	Sprühwäscher
Verbrennung von Methan als Stützflamme	Aktivkohle	Erzeugung eines Elektrischen Feldes	Aufbau einer Biomatrix auf z.B. Holzschnitzel	Wasser; pH-Wert
NOX , Formaldehyd, CO, Äquivalente, Katalysatorgifte, geringe C-Gehalte, großer Platzbedarf	Abscheidung erfolgt unregelt, Blockierung der Oberfläche durch Wasser oder Feststoffe; Entsorgungskosten	Öltröpfen können zur Selbstentzündung führen, gute Staubabtrennung	Anpassung der Biomatrix bei Änderung der Produktionsbedingungen, Reduzierung der Biomatrix durch hohe Temperaturen	Inhaltsstoffe müssen wasserlöslich sein, Wassertropfengröße, Feststoffabtrennung, Dampfdruck und Temperatur, Entsorgungskosten
Conti-Betrieb z.B.: $T_{op} \sim 1200^{\circ} \text{C}$ Autothermer Betrieb bei $> 1 \text{g/m}^3$	Batchbetrieb durch Austausch der Aktivkohle	Conti-Betrieb mit Reinigungsintervallen	Conti-Betrieb	Conti-Betrieb mit Reinigungsintervallen
Betriebskosten durch Brennstoffe bei kleinen C-Gehalten	Kosten beim Austausch der Aktivkohle	Wartungskosten (Reinigung)	Geringe Betriebskosten	Abwasserkosten

Bild 1: Verfahren zur Reduzierung von Gerüchen und des Gesamtkohlenstoffgehaltes

Zur Reduzierung der Gerüche wie auch der Menge des Gesamtkohlenstoffs wird die UV/-Ozon-Technik erfolgreich eingesetzt. Diese Anlagen bestehen im Wesentlichen aus den Modulen wie die Energierückgewinnung, Wäscher (W) mit einem Hochleistungsabscheider, dem UV/-Ozon-Lampenraum (UV) mit integrierter vollautomatischer CIP-Reinigung, dem Reaktionsrohr (R), dem Katalysator (KAT) und dem Ventilator (V). Diese einzelnen Module können je nach Applikation und Kundenwunsch miteinander verknüpft und betrieben werden (siehe Abb. 2).

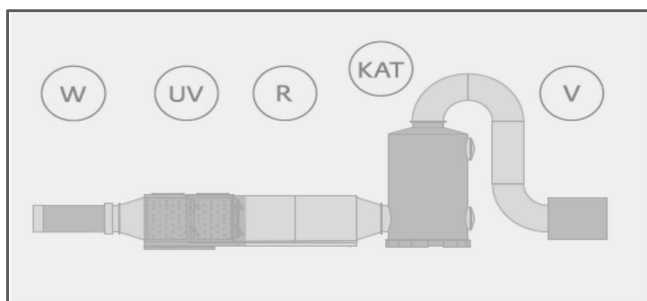


Bild 2:Prinzipieller Aufbau des UV/-Ozonverfahrens

Der chemische Ablauf für den Abbau der organischen Verbindungen basiert auf den unterschiedlichen Reaktionsmechanismen wie

1. radikalischen Reaktionsmechanismen durch die UV-Strahlung initiiert,
2. Ozonbildung,
3. Bildung von Sauerstoff- und Hydroxylradikalen aus Ozon,
4. Bildung von Singulett-Sauerstoff und
5. die Ozonolyse wie von Crigee 1949 formuliert

Das Zusammenwirken all dieser Reaktionsmöglichkeiten ist sehr komplex. Deshalb werden diese Anlagen mit einem speziell von der oxytec entwickelten Verfahren ausgelegt und bemessen. Sollten Substanzen enthalten sein, die noch nicht überprüft wurden, kann ein Pilotversuch Vorort notwendig werden.

Die Leistungsfähigkeit dieses Abluftreinigungsverfahrens zur Reduzierung der Gerüche sei im Folgenden an ausgewählten Beispielen dargestellt.

### 1. Palmölindustrie

Palmöle werden verarbeitet u.a. für die Lebensmittelindustrie und gelten als besonders „gesund“. Palmöl enthält u.a. Carotinoide, die bei hohen Temperaturen Nebenprodukte wie Xylol und Toluol abspalten. Dabei können in der Abluft Geruchswerte von >800.000 GE entstehen. Diese Inhaltsstoffe werden sehr wirkungsvoll mit der UV-/Ozon-Technik behandelt, so dass eine Reduktion der GE-Werte auf kleiner 500 möglich war (siehe Tabelle 2, Seite 3)

Tabelle 2: Wirkungsgrad der UV-/Ozonanlage in der Palmölindustrie

Probe	Probe n°	Geruchseinheiten	Temperatur in °C	rel. Luftfeuchte in %
Rohabluft	1	755.000	30	44
	2	800.000		
	3	800.000		
Reinluft	1	170	54-47	100
	2	95		
	3	100		

## 2. Textilindustrie

In der Textilindustrie werden zur Herstellung technischer Textilien Beschichtungsverfahren eingesetzt, um Gewebe und Garne mit spezifischen Eigenschaften wie z.B. Hydrophobie oder Sonnenschutz auszurüsten. Die Beschichtungsmittel bestehen aus organischen Produkten, die entweder in wässriger oder lösemittelhaltiger Form aufgetragen werden. Anschließend erfolgt im Spannrahmen eine thermische Behandlung, bei der alle flüchtigen Bestandteile der Beschichtung in die Abluft gelangen. Zusätzlich zur Abluft aus dem Spannrahmen enthält die Abluft noch die Anteile der Brennstoffe bei direkt beheizten Spannrahmen wie z.B. Methan. Diese Abluft, deren Zusammensetzung im Wesentlichen durch die Betriebstemperatur und die jeweils verwendete Beschichtungsrezeptur bestimmt wird, kann mit der UV/Ozon Technologie wirkungsvoll aufbereitet werden.

Die bei Beschichtungsverfahren von technischen Textilien auftretenden Geruchsstoffe sind u.a. Formaldehyd und organische Alkohole wie Ethanol und Methanol in der Abluft. Diese Inhaltsstoffe können mit der UV/Ozonung erfolgreich abgebaut werden und sorgen somit für die Einhaltung **auch** der neuen Grenzwerte entsprechend der TA-Luft. Hierzu werden einige Betriebsdaten nach einer Betriebsdauer von einem Jahr in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3: Reinigung von Abluft aus Beschichtungsverfahren

Substanz	Rohgas- zusammensetzung Konzentration in [mg/m³]	Reinigungsgrad mit der UV/-Ozon Anlage	
		ohne Katalysator	mit Katalysator
Gesamtkohlenstoff	10 bis 150	bis 80%	bis 95%
Formaldehyd	1 bis 3	bis 90%	bis 95%
Ammoniak	3 bis 30	bis 90%	bis 90%

In diesem Zusammenhang soll auch auf die CO<sub>2</sub> Emissionen im Vergleich zu einer thermischen Nachverbrennungsanlage hingewiesen werden. Diese CO<sub>2</sub>-Äquivalente betragen bei der UV/-Ozonanlage mit einer Kapazität von ca. 18.000m³/h ca. 48t/a und bei der thermischen Verbrennung 1.135t/a. Zusätzlich kann diese Anlage rezepturgesteuert betrieben werden, wodurch die Betriebsdauer der Lampen deutlich erhöht wird.

### 3. Räuchereien

In Räuchereien werden Fleisch- und Wurstwaren in Räucheröfen mit Rauch, der mit unterschiedlichen Hölzern und Raucherzeugungsverfahren erzeugt wird, behandelt. Bei diesem Prozess wird das Holz pyrolytisch zersetzt und der dabei entstehende Rauch in die Räucherkammer geleitet. Neben Asche, Ruß, Teer und Harze entstehen bei dieser unvollständigen Verbrennung organische Verbindungen wie Formaldehyd, Phenole und andere aromatische Kohlenwasserstoffe, Ketone und Alkohole. Dieser organische Mix bleibt anteilig auf der zu räuchernden Ware und findet sich auch in nennenswerten Mengen in der Abluft wieder.

Mit der UV/-Ozon-Technologie kann diese Abluft gereinigt werden, damit die Grenzwerte auch der neuen TA-Luft entsprechen. Das Verfahren besteht aus den bereits o.g. Modulen (siehe Abb. 2, Seite 2) mit einem speziellen Reaktionsrohr, um die Abluftinhaltsstoffe abzubauen. Zusätzlich wurden Versuche an Rauchgas direkt nach dem Räucherofen ohne Produkt durchgeführt, um eine maximale Konzentration in der Abluft als Funktion der Anlagentechnik prüfen zu können. Die Ergebnisse dieser speziellen Untersuchung werden in der folgenden Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Messung des Gesamtkohlenstoffgehalts von Rauch

<b>Messung des C<sub>gesamt</sub> - Gehaltes [mg/m<sup>3</sup>] nach einer Räucheranlage ohne Produkt</b>		
<b>Messort</b>	<b>Buche (trocken)</b>	<b>Buche (trocken)</b>
<b>Rohgas</b>	1200 - 1800	1850
<b>nach der UV/-Ozon-Anlage</b>	45 - 55	46 - 55
<b>Reingas nach Katalysator</b>	25 - 30	35

Diese Ergebnisse der Untersuchungen am Rauch machen deutlich, dass mit der UV/-Ozon Technologie die Abluft erfolgreich gereinigt wird. Kernstück der Anlage ist neben den Lampen die Bemessung des Reaktionsrohres, um einen Abbau der organischen Produkte gewährleisten zu können.



## Zusammenfassung

Mit der UV/-Ozon Technologie kann die Abluft aus vielen Industriebranchen gereinigt werden. Ziele dieser Reinigung sind zum einen die Reduzierung der Gerüche und zum anderen die Reduzierung des Gesamtkohlenstoffgehaltes. Beide Ziele können mit dieser bewährten Technologie erreicht werden.

Unsere Kunden kommen aus den nachstehenden Industriebranchen:

- Lebensmittel, Fleisch- und Wurstwaren
- Ölverarbeitung
- Räuchereien
- Textil
- Chemie

Die Vorteile für den Anwender sind:

- organische und geruchstragende Partikel in der Abluft werden erfolgreich zerstört,
- niedrige Investitionskosten,
- niedriger Energieverbrauch,
- geringer Platzbedarf und eine mögliche Installation in oder außerhalb der Produktion ,
- kein zusätzlicher CO/CO<sub>2</sub> – Eintrag in die gereinigte Abluft,
- keine NOX-Entwicklung
- automatisches CIP-System in allen Aggregaten um alle Anlagenteile, auch die Fotozonröhren, ablagerungsfrei zu halten und
- unempfindlich gegen Luftfeuchtigkeit .

## Die Neue Fotooxidation in der Abluft – Wirtschaftliche Elimination von Gerüchen

**Frank Seitz**, Uviblox GmbH, Heidelberg

### Kurzfassung

Industrieunternehmen, die eine Abluftreinigung zur Reduzierung von VOC bzw. Gerüchen betreiben, haben eine Reihe von Anforderungen an die einzusetzende Technik. So sollte sich diese neben möglichst niedrigen Invest- und Betriebskosten durch geringen Platzbedarf und hohe Betriebsstabilität auszeichnen. Flexible Möglichkeiten zur Anpassung an die Betriebsbedingungen im Hinblick auf zukünftige produktionsintegrierte Emissionsreduzierungen oder auch umgekehrt Kapazitätserweiterungen sind weitere gewünschte Vorzüge. Die Bestrahlung mit UV-Licht für die Desinfektion ist seit langem bekannt und erprobt. Der Einsatz zum oxidativen Abbau von VOC und Gerüchen in der Luft gelang jedoch erst in den letzten Jahren bis zur Anwendungsreife. Die weiterentwickelte neue Fotooxidationstechnologie zeigt bereits heute Möglichkeiten, diesen vielfältigen Anforderungen zu genügen.

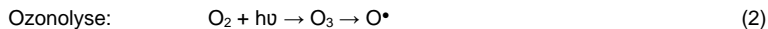


Bild 1: Abfallbehandlung zur Ersatzbrennstoffgewinnung in Zementwerk 45.000m<sup>3</sup>/h, Deutschland

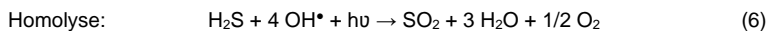
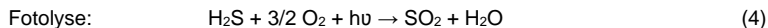
## 1. Grundlagen

### 1.1 Fotooxidation

UV-Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen, deren Energiegehalt direkt von der Wellenlänge  $\lambda$  abhängig ist. Je kürzer die Wellenlänge, desto energiereicher die Strahlung. UV-Strahlung kann in UV-A, UV-B, UV-C und VUV unterschieden werden. VUV (Vakuum-UV, auch fernes UV) ist die Strahlung  $< 200$  nm und damit die energiereichste Form, welche für technische Abluftreinigungsprozesse zur Verfügung steht. Eine typische UV-Lampe emittiert verschiedene Wellenlängen. Will man einen Schadstoff direkt durch radikalische Kettenreaktion mittels UV-Licht spalten, so muss dieser Schadstoff diese Wellenlänge auch absorbieren können. D. h., das Absorptionsmaximum des Schadstoffs und das Emissionsmaximum der Lampe sollten idealerweise zusammenfallen. Dieser Reaktionsprozess wird Fotolyse genannt. Man kennt für nahezu alle Verbindungen und funktionellen Gruppen diese Maxima. Sie hängen von den beteiligten chemischen Bindungstypen ab. Fotolyse ist jedoch nicht der einzige Effekt, der für einen Schadstoffabbau genutzt werden kann. Je höher die Intensität der VUV-Strahlung, desto besser wird Luftsauerstoff ozonolysiert. Das entstehende Ozon zerfällt zu Radikalen, welche den Fotolyseprozess überproportional verstärken. Das in der Luftfeuchtigkeit enthaltene Wasser wird ebenfalls homolysiert, in OH-Radikale gespalten, welche ebenfalls an der Oxidationsreaktion mit dem Schadstoff teilnehmen:



Im Falle von nichtorganischen Verbindungen (z.B.  $\text{H}_2\text{S}$ ) bzw. substituierten Kohlenwasserstoffen laufen ähnliche Oxidationsreaktionen (hier stellvertretend zum  $\text{SO}_2$ ) ab:



Durch Integration von fotolytisch aktiven Katalysatoren im Reaktionsraum bzw. nachgeschalteten oxidativen Katalysatoren können diese Prozesse weiter verstärkt werden.

Die photochemische Wirkung der UV-Strahlung wird gezielt zur Zerstörung der Schadstoffe eingesetzt. Die hierbei ausgelösten Reaktionen laufen bei ausreichender Bestrahlungsdauer

dann bis zur vollständigen Mineralisierung ab. Für die Geruchselimination ist nur ein Teilabbau zu geruchsärmeren Produkten erforderlich.

## 1.2 Technik

Man unterscheidet abhängig vom Fülldruck zwei Haupttypen von Strahlern: Niederdruckstrahler (ND) und Mitteldruckstrahler (MD). Niederdruckstrahler weisen Fülldrücke  $< 1$  bar auf, womit sich diskrete Emissionslinien bei 185 nm und 254 nm erzeugen lassen. Diese Lampen werden gewöhnlich für die Desinfektion genutzt und sind in der ganzen Welt als Massenprodukt mit Leistungsklassen von 10 bis 400 W erhältlich. Diese Klasse der Strahler kann durch gezielte spezifische Modifikationen auch zur Geruchselimination eingesetzt werden. Vorteil bei diesen Systemen ist die generell sehr hohe prozentuale Ausbeute an UVC-Leistung. Der Fülldruck von Mitteldruckstrahlern beträgt 1 bis 10 bar, womit quasikontinuierliche Emissionsspektren und Leistungen von 1.000 W bis 32.000 W auf engstem Raum zu realisieren sind. Durch die Möglichkeit der Anpassung der Emissionsspektren an die Absorptionsspektren der Schadstoffe hat man es somit immer mit einem speziell entwickelbaren Produkt zu tun. Die Vorteile dieser in den letzten Jahren weiterentwickelten Lampen sind hohe Energiedichten und VUV-Ausbeuten, lange Lebensdauer, polychromatische Emissionen und geringe Betriebskosten.

Das zu bestrahlende Abgas, wird mit einer Verweilzeit von wenigen Sekunden durch den UV-Reaktor geführt. Dabei durchströmt es die Behandlungsstrecke im UV-Reaktor entlang speziell angeordneter UV-Strahler mit hohem Wirkungsgrad. Die UV-Strahler im Reaktor bauen durch ihre Anordnung ein homogenes Strahlungsfeld auf. Die UV-Oxidations-Anlagen *uviblox<sup>®</sup> GPT* werden für kontinuierlich oder diskontinuierlichen Einsatz konzipiert. Zur stufenlosen Regelung der Anlagenleistung können externe Online-Messungen oder andere Prozessparameter integriert werden. Auf diese Weise reinigt die UV-Oxidation Luft ohne Rückstände. UV-Oxidations-Anlagen *uviblox<sup>®</sup> GPT* bewähren sich seit Jahren erfolgreich: z.B. zur Behandlung von Abluft und bei der Eliminierung von Geruchsemissionen. Die UV-Oxidations-Anlagen *uviblox<sup>®</sup> GPT* bieten durch Konstruktion und Ausführung eine Reihe entscheidender Vorteile. Der modulare Aufbau der Anlagen ermöglicht die Anpassung direkt auf spezielle Bedürfnisse des Betreibers. Die Einbindung in bestehende Anlagen und Einrichtungen kann durch Anschlüsse nach Kundenwunsch und in verschiedenen Einbaulagen bei geringstem Platzbedarf erfolgen. Reinigungs- und Wartungsarbeiten können ohne Zeitverlust von Mitarbeitern des Anlagenbetreibers selbst durchgeführt werden. Die Anlagen bestehen aus standardisierten, robusten Großserienbauteilen und erhöhen durch Ihre bewährte Zuver-

lässigkeit die Verfügbarkeit der Anlagen. Die Instandhaltungskosten sind niedrig. Die UV-Anlagen sind wartungsarm und leicht zu bedienen.

## 2. Verfahrensprinzipien

### 2.1 Direkte Fotooxidation (DF)

Bei der Direkte Fotooxidation (DF) wird der Abluftstrom im direkten Durchfluss mit UV-Licht und optional nachgeschaltetem Katalysator behandelt (Bild 2). Die hierdurch entstehende Abwärme wird mittels rekuperativem Wärmetauscher zur Aufwärmung der schadstoffhaltigen Rohluft genutzt. Der notwendige Leistungseintrag für die Oxidationsreaktion wird minimiert.

Ein Teil der Schadstoffe wird direkt durch Fotolyse in der UV-Stufe abgebaut. Durch Ozonolyse und Homolyse werden im weiteren Verlauf bis in die Katalysatorstufe hinein weitere Organik mineralisiert. Desweiteren bewirkt die UV-Bestrahlung durch Anregung der Moleküle eine Herabsenkung der erforderlichen Aktivierungsenergie für das System Organik-Katalysator, d.h., der Temperaturarbeitsbereich des Katalysators wird nach unten ausgedehnt. Das führt zu geringerem Heizbedarf (Betriebskosten) und Energieaufwendungen sowie einer Reduktion der erforderlichen Kontaktzeiten und damit Katalysatormengen (Investkosten). Umgekehrt wird hierdurch die Effektivität des Katalysatorstufe massiv erhöht.

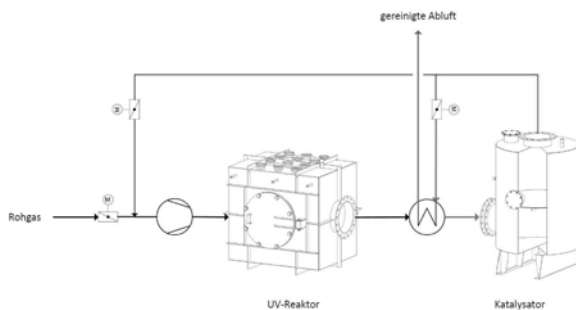


Bild 2: Fließschema Direkte Fotooxidation (DF)

Das Verfahren der Direkten Fotooxidation mit nachgeschalteter katalytischer Oxidation ermöglicht somit Einsparungen an Invest- sowie Betriebskosten gegenüber einer gewöhnlichen KNV von ca. 25 bis 75%. Diese Verfahrenskonzeption kommt meist bei hohen gleichbleibenden Konzentrationen (wie auch nach Aufkonzentrierung) zum Einsatz. Bevorzugt dann, wenn

eine (nahezu) autotherme Betriebsweise möglich ist oder die Volumenströme so klein sind, dass größerer apparatechnischer Aufwand nicht lohnt.

## 2.2 Regenerative Fotooxidation (RF)

Sind die Schadstoffkonzentrationsverläufe dagegen schwankend und/oder auf niedrigem Niveau, so empfiehlt sich das Verfahren der Regenerativen Fotooxidation (RF). Hierbei werden die Luftströme über eine Adsorptionsstufe geführt, die Schadstoffe abgeschieden. Der gereinigte Luftstrom emittiert mit Restkonzentrationen gemäß der zulässigen Grenzwerte. Das Adsorptionsmittel wird dann regelmäßig in einem separaten Kreislauf regeneriert, entweder periodisch mit Adsorptionsfiltern (AF) oder kontinuierlich bei Adsorptionsrädern (AR). Die beiden Varianten bedienen unterschiedliche Einsatzbereiche. Durch die gleichmäßige Aufkonzentrierung lassen sich bei der Regenerativen Fotooxidation genauso wie bei der Direkten Fotooxidation die Betriebskosten durch geringere Katalysatormengen und –temperaturen gegenüber einer KNV mit ca. 25 bis 75% deutlich reduzieren. Darüber hinaus lassen sich durch die wesentlich kleineren Regenerationsluftströme auch kleinere platzsparende Reinigungsmodule realisieren, was zusätzlich zu weiteren Einsparungen bei Invest und Betrieb führt.

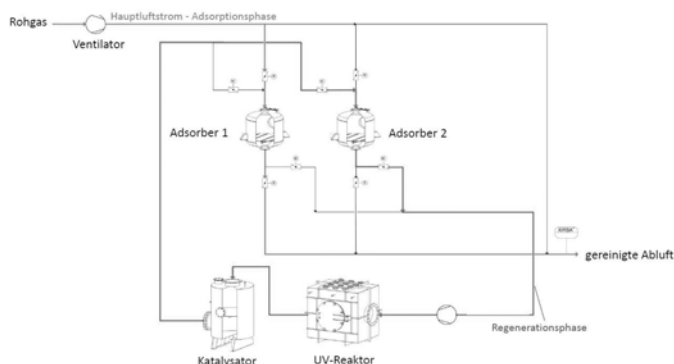


Bild 3: Fließschema Regenerative Fotooxidation mit zweistraßiger Adsorptionsfiltration (RF-AF) für Dreischichtbetrieb

## 3. Anwendungen

Die Bestrahlung mit UV-Licht für die Desinfektion ist seit langem bekannt und erprobt. Der Einsatz zum oxidativen Abbau von VOC und Gerüchen in der Luft gelang jedoch erst in den letzten Jahren bis zur Anwendungsreife. Neben den Anforderungen des Temperaturmana-

gements und der potentiellen Empfindlichkeit von UV-Lampen gegenüber Belagsbildung wie Feuchtigkeit waren die geringen Leistungsausbeuten und die aufwendige Energieversorgung als maßgebliche technische Hürden zu überwinden. Hierbei spielt die Entwicklung von speziell adaptierten Niederdruck- sowie leistungsstarken Mitteldruckstrahlern zur anwendungsbezogenen Erzeugung von VUV- und UVC-Strahlung ein bedeutsame Rolle. Die hieraus neu hervorgegangene Technologie *uviblox®* ist in der Lage auch komplexe Luftreinigungsaufgaben zur Senkung von Geruchs- und VOC-Emissionen zu übernehmen. Durch geschickte Kombination von Prozessschritten können weite Konzentrationsbereiche, konstant oder schwankend, mit Störstoffen oder nicht, zuverlässig behandelt werden.

### 3.1 Geruchselimination

Unangenehme Gerüche entstehen in vielen Prozessen der Industrie wie auch des öffentlichen Lebens. Die zu behandelten Stoffkonzentration liegen in der Rohluft meist zwischen 5 bis 100 mg/m<sup>3</sup>. Die diffusen Emissionen sowie die gefassten Raumluftströme in Kompostwerken und Müllbehandlungsanlagen sind systembedingt Träger unangenehmer Gerüche und oft in der Nähe von Wohngebieten zu finden (Bild 1). Limonen, Buttersäure (beißend, Schweiß), Essigsäure (beißend, Essig) und sonst. Carbonsäuren müssen hier oxidiert werden. In Kläranlagen entstehen durch offene Klärbecken oder Klärschlammbehandlungsanlagen geruchsintensive Emissionen, welche zu einer Geruchsbelästigung der Anwohner führen können (Bild 4 und 5). Meist sind hier Schwefelwasserstoff (faule Eier), Mercaptane, Sulfide und sonstige schwefelhaltige Kohlenwasserstoffe, Ammoniak (beißend, Urin) und Skatol (Kot) die Ursachen.



Bild 4: Absaugung Rechenanlagen und gekapselte Klärbecken auf Kläranlage, 6.000m<sup>3</sup>/h, Deutschland

Auch Deponien sind Verursacher dieser Art von Gerüchen. In der Futtermittelproduktion und Tierhaltung und –verwertung kommen noch typische Geruchsstoffe wie Amine (Fisch), Cadaverin und Putrescin (Verwesung) und sonst. stickstoffhaltigen Kohlenwasserstoffe hinzu. Härtereien setzen Amine frei. In der Gummiindustrie sind Acrolein und Styrol (Brandgeruch) zu reduzieren. Aber auch vermeintlich angenehme Gerüche führen bei Dauerexposition und hohen Konzentrationen zur Belästigung.



Bild 5: Abwasserkanalbewetterung bis 3.000m<sup>3</sup>/h, Deutschland

In der Lebensmittelproduktion, Restaurants/Großküchen werden Röststoffe, Speiseöle, Gewürze verarbeitet, Terpene und Terpenoide (Parfüme) und sonst. Duftstoffe in der Lifescience-Industrie. In der Chemischen Industrie und vielen anderen Industriezweigen sind Aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylol), Aliphatische Kohlenwasserstoffe (Hexan, Ethylen, Butadien) und sonst. sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe (Alkohole, Ether, Aldehyde, Ketone, Ester, Phenole) zu berücksichtigen. Die Geruchselimination durch UV-Fotooxidation reduziert oder eliminiert sogar vollständig solche geruchsintensiven Stoffe zuverlässig. Die Stoffe werden dabei soweit oxidiert bis sie geruchsinaktiv werden bis hin zur vollständigen Oxidation. Das Ergebnis ist geruchlich unauffällige Abluft, die ohne weiteres in die Umwelt abgegeben werden kann. So wird diese Technik zunehmend in den vorgenannten Anwendungsfeldern bereits eingesetzt. Entscheidenden Einfluss auf die Auslegung und Dimensionierung können neben Volumenstrom, Schadstoffkonzentration und -zusammensetzung auch die Randbedingungen wie Emissionsverläufe, Explosionsschutz, Feuchtigkeit, Aerosole/Stäube, oxidierbare Störkomponenten und Energiekonzepte haben.



Bei Kenntnis dieser Zusammenhänge können entsprechende Maßnahmen miteingeplant werden.

### 3.2 VOC-Reduktion

Hier gelten ähnliche Voraussetzungen wie für die Geruchselimination. Die wesentlichen Unterschiede bestehen darin, dass anstatt eines Teilabbaus immer die vollständige Oxidation zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  die Reinigungsaufgabe darstellt. Auch liegen die Konzentrationsbereiche hier meist höher bei 50 – 10.000 mg/m<sup>3</sup>. Je nach Art und Anfall der Emissionen kommen hier verschiedene Verfahrenskombinationen (DF, RF) zum Einsatz. Das Verfahren *uviblox*<sup>®</sup> GPT wird vielfach erfolgreich eingesetzt in Industrien zur Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln und Kosmetik, Farben und Lacken, Chemikalien, Pharmaka, Metall und Automobile, Holz und Papier, Altlasten, Industrieabwasser, Kompost, Wertstoff und Müll.

### Fazit

Die verschiedenen Anwendungsbeispiele zeigen Leistungs- und Anpassungsfähigkeit der neuen Fotooxidation zur Geruchselimination und VOC-Reduktion. Die Technik der Fotooxidation ist platzsparend, flexibel und einfach steuerbar, modular erweiterbar und betriebskosten sparend. Die Behandlung ist  $\text{CO}_2$ -emissionsneutral. Die Fotooxidation zählt zu den Niedertemperaturplasmaverfahren und wird in der neuen VDI-Richtlinie 2441 [1] als Leitfaden für Planer und Anwender beschrieben.

### Quellen

- [1] VDI-Richtlinie 2441: Prozessgas- und Abgasreinigung durch Kaltplasmaverfahren, 2016