

Messung, Analyse und Beurteilung von Umweltgerüchen

Heike Hauschildt und Bettina Mannebeck

1.	Messung von Gerüchen.....	133
2.	Bewertung von Gerüchen – rechtlicher Rahmen	134
3.	Unterschiedliche Quelltypen und Einflüsse auf die Probenahme.....	138
4.	Messplanung	139
5.	Messung und Beurteilung von Geruch	141
6.	Das Verfahren zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration.....	141
7.	Anforderungen an ein Olfaktometer.....	143
8.	Prüferselektion und wiederkehrende Überprüfung.....	143
9.	Riechraum.....	144
10.	Qualitätsfaktoren des Labors.....	144
11.	Darstellung der Messergebnisse.....	145
12.	Bestimmung der Intensität (VDI 3882 Blatt 1).....	145
13.	Hedonische Geruchswirkung (VDI 3882 Blatt 2)	145
14.	Messung von Immissionen	146
15.	Rasterbegehung	146
16.	Fahnenbegehungen.....	148
17.	Quellen	149

Der Geruch (lat. Olfactus) ist die Interpretation der Sinneserregungen, die von den Chemorezeptoren der Nase oder anderer Geruchsorgane an das Gehirn übermittelt werden.

Geruchsstoffe sind flüchtige chemische Verbindungen. Sie werden mit den Geruchsrezeptoren in der Nase wahrgenommen. Über das Einziehen von Luft in die Nase (nasale Wahrnehmung) sowie beim Verzehr von Lebensmitteln über den Rachenraum (retronasale Wahrnehmung) gelangen sie an die Rezeptoren.

Bei der Wahrnehmung von Gerüchen handelt es sich in der Regel nicht um die Wirkung nur eines Geruchsstoffes. Ein Geruch ist in der Regel auf die gleichzeitige Wirkung einer Vielzahl einzelner Substanzen zurückzuführen. Das Geruchssignal wird daher von der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung des Gasgemisches bestimmt.

Ob ein Geruch von einem Menschen als angenehm oder unangenehm empfunden wird, hängt neben der Zusammensetzung und den stofflichen Eigenschaften der Geruchsstoffe auch von den persönlichen Erfahrungen ab. Die Empfindung eines Geruchseindrucks ist somit ein Zusammenspiel aus physiologischer Reizwahrnehmung und psychologischer Verarbeitung des Reizes.

Als maßgebendes Instrument für die Messung von Gerüchen, gilt noch immer die menschliche Nase bzw. der Geruchssinn des Menschen. Zur Bestimmung der Geruchsschwelle wird die dynamische Olfaktometrie [4] genutzt. Hierbei werden Geruchsträger kontrolliert einem Prüferkollektiv zur Beurteilung dargeboten.

Eine Belästigung entsteht dadurch, dass dem verursachenden Reiz in Zusammenhang mit der Umgebung ein negatives Attribut zugeordnet wird. Eine schematische Darstellung des Zusammenhangs Reiz – Interpretation ist in Bild 1 dargestellt.

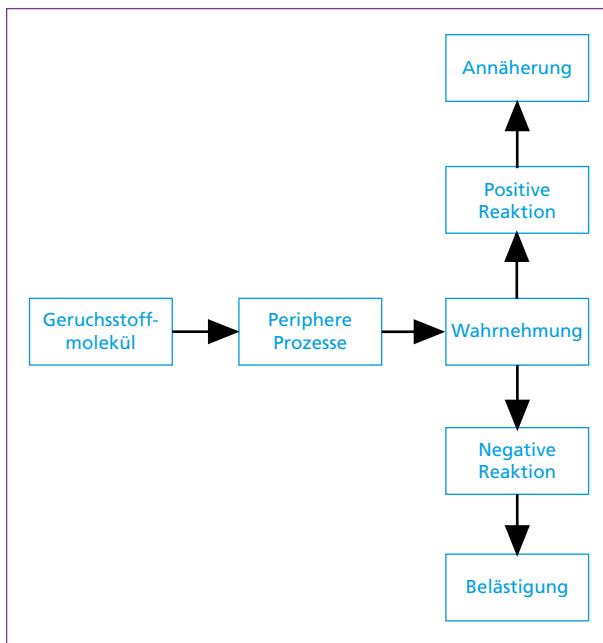


Bild 1:

Schematische Darstellung des olfaktorischen Prozesses und der Verhaltensreaktion

Quelle: Europäische Norm EN 13725: 2003 (D): Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, Europäisches Komitee für Normung, Juli 2003

Bei sehr geringen Konzentrationen kann ein Geruch unter Umständen wahrgenommen, jedoch nicht identifiziert werden (Wahrnehmungsschwelle oder auch Geruchsschwelle). Die Erkennungsschwelle eines Geruchsstoffes liegt in etwa um den Faktor 3 oberhalb der Wahrnehmungsschwelle. In Studien wurde allerdings nachgewiesen, dass Irritationen durch Substanzen auftreten können, auch wenn deren Konzentration unterhalb der Geruchsschwelle liegt.

Unabhängig davon wirken fortwährende Geruchsexpositionen belästigend auf die den Immissionen ausgesetzte Personen. Diese Beeinträchtigung des Wohlbefindens ist Voraussetzung für das Auftreten von Krankheitssymptomen. Nur bei Personen, die sich durch Gerüche belästigt fühlen, sind unter Umständen Symptome zu verzeichnen.

1. Messung von Gerüchen

Neben der Geruchsstoffkonzentration [4] können die weiteren Parameter Intensität der Wahrnehmung [14], die Hedonie des Geruchs (wie angenehm/unangenehm ist der Geruch) [15] sowie der Charakter als verbale Beschreibung ermittelt werden.

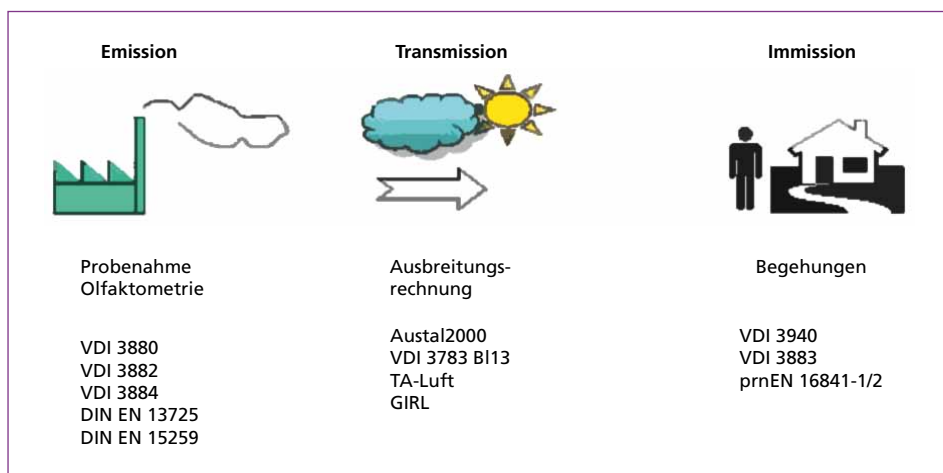


Bild 2: Einordnung der Begrifflichkeiten zu den geltenden Richtlinien

Es wird unterschieden nach Emissionen – also dem Ausströmen aus der Quelle – und der Immission – der Einwirkung am Empfänger. Emissionen und Immissionen sind über den Transport oder auch die Transmission miteinander verbunden. Die Transmission wird charakterisiert durch die Entfernung, die meteorologischen Bedingungen entlang des Transmissionsweges sowie chemischer Prozesse, die auf die einzelnen Substanzen wirken. Bild 2 zeigt die Teilschritte der Geruchswahrnehmung in der Umwelt sowie die derzeit gültigen Normen und Richtlinien.

Die Geruchsemission wird beschrieben durch die Geruchsstoffkonzentration (Geruchseinheit pro m³ Luft), die Intensität (empfundene Stärke der Wahrnehmung) sowie die Hedonie (Beschreibung wie angenehm bzw. unangenehm der Geruch empfunden wird). Zusätzlich kann die Emission noch in ihrer Charakteristik beschrieben werden.

Die Ausbreitung von Gerüchen, die Transmission, erfolgt durch die Luft. Die Emission wird hierbei mit den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen durch die Atmosphäre von der Quelle wegtransportiert. Auf dem Transmissionsweg nehmen die Geruchsstoffkonzentration und die Intensität in der Regel durch die Vermischungs- und Verdünnungsprozesse ab.

Unter Immission wird die Einwirkung von Gerüchen in Entfernungen zur Quelle verstanden. Die Wahrnehmung von Gerüchen führt neben der physionomischen Reizung auch zur Wirkung auf die Person.

Studien [10, 11] zur Entwicklung der Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL 2008) [8] in Deutschland haben gezeigt, dass das Vorhandensein von Geruch nicht unbedingt belästigend ist. Allerdings zeigte sich, dass unregelmäßig wiederkehrende Gerüche eher zu einer Beschwerdesituation führen als kontinuierlich vorhandene Gerüche.

Auch ausschlaggebend für die Wahrnehmung und Beurteilung von Gerüchen ist der kulturelle und soziale Hintergrund der Person. Da Geruch als erste Einschätzung der Umgebung dient, wird Gestank als ein Warnsignal begriffen. Das Riechen an sich ist aus der Physiologie betrachtet mehr als ein bloßer Messvorgang der Riechschleimhaut. Gerüche werden im limbischen System verarbeitet, hier wird aus der bloßen Wahrnehmung eine Wirkung, ein Gefühl ausgelöst. Und bei Gestank bedeutet dies: Angst, Ärger und Sorgen um die Gesundheit.

Gerüche, die eine direkte Gefahr für Leib und Leben sind, ausgelöst durch toxische Substanzen, sind durch strenge Auflagen weitestgehend eingedämmt. Es bleibt die alltägliche Geruchsbelästigung von Kläranlagen, Mülldeponien, der Kanalisation, dem Straßenverkehr, Tierhaltung oder auch Restaurants – dieser alltägliche Geruch gilt als ungefährlich.

Trotzdem können aus einer häufigen Exposition unangenehm empfundener Gerüche körperliche Symptome auftreten, die bis zu pathologischen Reaktionen wie Erbrechen und Schwindel gehen, ohne dass tatsächlich toxische Substanzen vorhanden sind. Meistens ist hier der ausgelöste Stress ausschlaggebend, da durch die Wahrnehmung des Geruchs der Eindruck fremdbestimmt zu sein entsteht und so die Erholung und das Wohlbefinden beeinträchtigt sind. Solche Bedingungen können mittelfristig Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Eine stetige Geruchsbelästigung wird häufig begleitet von Symptomen wie Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Magenschmerzen bis hin zur Auslösung von Asthmaanfällen.

2. Bewertung von Gerüchen – rechtlicher Rahmen

Im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) [1] ist in §1 im Zweck des Gesetzes festgelegt.

(1) Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.

(2) Soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, dient dieses Gesetz auch

- der integrierten Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen, sowie
- dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden.

Gerüche zählen hierbei zur Belästigung, da von dem Geruch als solches keine direkte Gesundheitsgefahr ausgeht.

In der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft 2002) wird die Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Gerüche geregelt; sie enthält keine Vorschriften zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geruchsmissionen.

Als Regelung für den Schutz vor Geruchsmissionen ist derzeit die vom Länderausschuss Immissionen (LAI) herausgegebene und weitestgehend in den einzelnen Bundesländern per Erlass eingeführte Geruchsmissionsrichtlinie [8] anzuwenden. Ziel ist eine weitestgehend einheitliche Behandlung von Geruchsmissionen bis eine bundeseinheitliche Verwaltungsvorschrift in Kraft tritt.

In der Umwelt können Geruchsbelästigungen vor allem durch Emissionen aus Chemieanlagen, Mineralölraffinerien, Lebensmittelabriken, Tierhaltungsanlagen und Abfallbehandlungsanlagen sowie aus dem Kraftfahrzeugverkehr, aus Hausbrand und Vegetation verursacht werden. Die Beurteilung erfolgt für Geruchsmissionen, die eindeutig ihre Herkunft in Anlagen haben und so abgrenzbar sind gegen über z.B. Gerüchen aus dem Kraftfahrzeugverkehr, dem Hausbrandbereich, der Vegetation, landwirtschaftlichen Düngemaßnahmen oder ähnlichem.

Die Vorgehensweise bei der Beurteilung dieser Belästigungen unterscheidet sich grundlegend von anderen Immissionen. In der Regel können Immissionen durch Luftverunreinigungen als Massenkonzentration mit Hilfe physikalisch-chemischer Messverfahren objektiv nachgewiesen werden. Die Erfassung und Beurteilung von Geruchsmissionen entzieht sich einem solchen Verfahren. Da Geruchsbelästigungen meist schon bei sehr niedrigen Stoffkonzentrationen und durch das Zusammenwirken verschiedener Substanzen hervorgerufen werden, ist ein Nachweis mittels physikalisch-chemischer Messverfahren äußerst aufwändig oder überhaupt nicht möglich. Hinzu kommt, dass die belästigende Wirkung von Geruchsmissionen stark von der Sensibilität und der subjektiven Einstellung der Betroffenen abhängt. Dies erfordert, dass bei Erfassung, Bewertung und Beurteilung von Geruchsmissionen eine Vielzahl von Kriterien in Betracht zu ziehen ist.

Die Frage, ob derartige Belästigungen als erheblich und damit als schädliche Umwelteinwirkungen anzusehen sind, hängt nicht nur von der Immissionskonzentration, sondern auch von der Geruchsqualität (es riecht nach ...), der Geruchsintensität, der Hedonik (angenehm, neutral oder unangenehm), der tages- und jahreszeitlichen Verteilung der Einwirkungen, dem Rhythmus, in dem die Belästigungen auftreten sowie der Nutzung des beeinträchtigten Gebietes ab.

Studien zur Entwicklung der GIRL [8] belegen, dass mit der Geruchshäufigkeit eine sachgerechte und hinreichend genaue Beschreibung des Belästigungsgrades von Anwohnerinnen und Anwohnern möglich ist.

Zur Beurteilung der Erheblichkeit der Geruchseinwirkung werden in der GIRL in Abhängigkeit von verschiedenen Nutzungsgebieten Immissionswerte als Maßstab für die höchstzulässige Geruchsmission festgelegt, vergl. Tabelle 1. Mit diesen Immissionswerten sind Kenngrößen zu vergleichen, die auch die durch andere Anlagen verursachte vorhandene Belastung berücksichtigen.

Geruchsimmissionen werden als Geruchsstunden oder Geruchshäufigkeiten angegeben. Eine *Geruchsstunde* liegt vor, wenn anlagen-typischer Geruch während mindestens 6 Minuten innerhalb der Stunde wahrgenommen wird. Falls die in Tabelle 1 aufgeführten Werte eingehalten werden, ist üblicherweise von keinen erheblichen und somit schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des §3 BImSchG [1] auszugehen.

Die Beurteilung erfolgt als Mittelwert über sogenannte Beurteilungsflächen. Die Beurteilungsflächengröße wird einzelfallbezogen durch den Sachverständigen festgelegt. Nach GIRL [8] ist hierbei die Beurteilungsfläche maximal 250 m x 250 m und mindestens der erweiterte Wohnraum (Wohnhaus plus Terrasse usw.). Auf den so definierten Beurteilungsflächen sind die Immissionswerte der Tabelle 1 einzuhalten.

Beurteilungsflächen sind gemäß GIRL [8] solche Flächen, in denen Menschen sich nicht nur vorübergehend aufhalten. Waldgebiete, Flüsse und ähnliches werden nicht betrachtet. Bei niedrigen Quellen soll die Größe der Beurteilungsflächen verkleinert werden, um die inhomogene Geruchsstoffverteilung innerhalb der Flächen zu berücksichtigen.

Tabelle 1: Immissionswerte für Geruch entsprechend Geruchsimmissions-Richtlinie GIRL): Relative Häufigkeiten von Geruchsstunden pro Jahr

Nutzungsgebiet	Immissionswert IW	Immissionswert in Prozent der Jahresstunden % d. J.-Std.
Wohn-/Mischgebiete	0,10	10
Gewerbe-/Industriegebiete	0,15	15
Dorfgebiete*	0,15	15

*nur Gerüche aus Tierhaltungsanlagen

Darüber hinaus definieren die Auslegungshinweisen zur GIRL [8] weitere Abstufungen in Abhängigkeit der Gebietsnutzung. So dienen Dorfgebiete u.a. der Unterbringung der Wirtschaftsstellen land- und forstwirtschaftlicher Betriebe, auf deren Belange vorrangig Rücksicht zu nehmen ist. Dem wird durch die Festlegung eines Immissionswertes von 0,15 Rechnung getragen.

Das Wohnen im Außenbereich ist mit einem geringeren immissionsschutzrechtlichen Schutzanspruch verbunden. Daher ist es möglich, nach Prüfung der speziellen Randbedingungen des Einzelfalles im Außenbereich einen Immissionswert von 0,25 für Tierhaltungsgerüche heranzuziehen. In begründeten Einzelfällen sind Abweichungen von den in Tabelle 1 genannten Immissionswerten möglich.

Im Beurteilungsgebiet ist nach GIRL [8] für jede Beurteilungsfläche je nach Fragestellung die Kenngröße IV für die vorhandene Belastung, die zu erwartende Zusatzbelastung IZ sowie die Gesamtbelastung aus Vor- und Zusatzbelastung IG zu bestimmen. Der zulässige Immissionswert bezieht sich hierbei immer auf die Gesamtbelastung.

Für die Ermittlung der Geruchsbelastung sind je nach Fragestellung unterschiedliche Wege möglich. In Tabelle 2 sind die Wege und Methoden zusammengefasst.

Tabelle 2: Methoden zur Ermittlung der Geruchsmission

Methode	Fragestellung	
	Vorhandene Belastung IV	Zu erwartende Zusatzbelastung IZ
Ausbreitungsrechnung TA-Luft [12], zur Berechnung der Geruchsmission	Möglich Ermittlung der Emissionsdaten durch olfaktometrische Emissionsmessungen (4) oder Fahnenbegehung (VDI 3940 Blatt 2[18])	Vorrangig anzuwenden
Rasterbegehung (VDI 3940 Blatt 1 [17]) zur olfaktorischen Ermittlung der Geruchsmission	Möglich	Nicht möglich

Quelle: Geruchsmissionsrichtlinie GIRL: Feststellung und Beurteilung von Geruchsmissionen (Geruchsmissionsrichtlinie – 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 (zweite ergänzte und aktualisierte Fassung). Bund/Länder-AG für Immissionsschutz (LAI), abrufbar u.a. auf der Internet-Seite des LANUV NRW, www.lanuv.nrw.de; sowie in der jeweiligen Fassung des betreffenden Bundeslandes

Die Vorbelastung kann hierbei durch Rasterbegehungen oder durch Ausbreitungsrechnung bei Kenntnis aller Emissionsquellen im Untersuchungsraum ermittelt werden. Die Eingangsdaten für eine Ausbreitungsrechnung können durch Messungen der Emissionen aller Quellen mittels Olfaktometrie oder durch Fahnenbegehungen zur indirekten Ermittlung der Geruchsstoffströme bestimmt werden. Mit Fahnenbegehungen können keine Immissionswerte überprüft werden.

Die Bewertung der Geruchsmissionen erfolgt als Vergleich der ermittelten Gesamtbelastung zum Immissionswert IW.

Die Gesamtbelastung ist nicht zu bestimmen, sofern die erwartete Zusatzbelastung das Irrelevanzkriterium der GIRL [8] erfüllt. Hiernach darf die Zusatzbelastung IZ der gesamten Anlagen einen IW Wert von 0,02 (2 Prozent d. J.-Std.) auf allen Beurteilungsf lächen, auf denen Personen sich nicht nur vorübergehend aufhalten, nicht überschreiten.

Allerdings ist bei der Prüfung eine Kumulation von Irrelevanzen durch weitere irrelevante Anlagen zu prüfen.

Im Falle der Beurteilung von Geruchsmissionen, verursacht durch Tierhaltungsanlagen, ist eine belästigungsrelevante Kenngröße I_{GB} zu berechnen und diese anschließend mit den Immissionswerten IW aus Tabelle 1 zu vergleichen. Hierbei werden die Anteile der Geruchsmissionen (I_{Gn}) entsprechend der Herkunft/Quelle (Tierart n) gewichtet zur Gesamtbelastung zusammengefasst. Der Gewichtungsfaktor f_n ist abhängig von der untersuchten Tierarten festgelegt. Nichtberücksichtigte Tierarten gehen mit einem Gewichtungsfaktor von 1 in die Bestimmung der belästigungsrelevanten Kenngröße I_{GB} mit ein.

In der GIRL [8] sind auch Regelungen für den Fall einer Überschreitung des Immissionswerts durch die Kenngrößen für die vorhandene Belastung auf einer Beurteilungsf läche angegeben. In solchen Fällen ist eine Einzelfallbetrachtung vorgesehen, die auch berücksichtigt, ob der Stand der Technik bei der Verminderung der Emissionen ausgeschöpft ist.

Die Beurteilung erfolgt auf Beurteilungsflächen innerhalb des Einwirkungsbereiches der betrachteten Quellen. Die Größe des Beurteilungsgebietes ist in der GIRL [8] über den Radius von der 30-fachen Schornsteinhöhe (ausgehend vom Emissionsschwerpunkt) definiert. Das Beurteilungsgebiet umfasst hierbei mindestens den Umkreis von 600 m.

Rastermessungen sind nach GIRL [8] in der Regel über 6 Monate durchzuführen. Weitergehende Regelungen sind in der VDI 3940 Blatt 1 [17] sowie im Entwurf der Europäischen Norm prEN 16841 [6] zusammengefasst. Üblich ist es, die Messungen über 6 oder 12 Monate durchzuführen.

3. Unterschiedliche Quelltypen und Einflüsse auf die Probenahme

Bei der Messung von Emissionen wird zwischen unterschiedlichen Quellformen unterschieden. In Bild 3 sind Beispiele für Punktquellen, Flächenquellen und diffuse Quellen dargestellt. Bei der Probenahme ergeben sich für die verschiedenen Quellformen unterschiedliche Probenahmestrategien.

Bei Punktquellen handelt es sich in der Regel um geführte Abluftquellen wie Schornsteinen und Kamine. In der DIN EN 15259 [5] werden diese als stationäre Geruchsquellen bezeichnet.

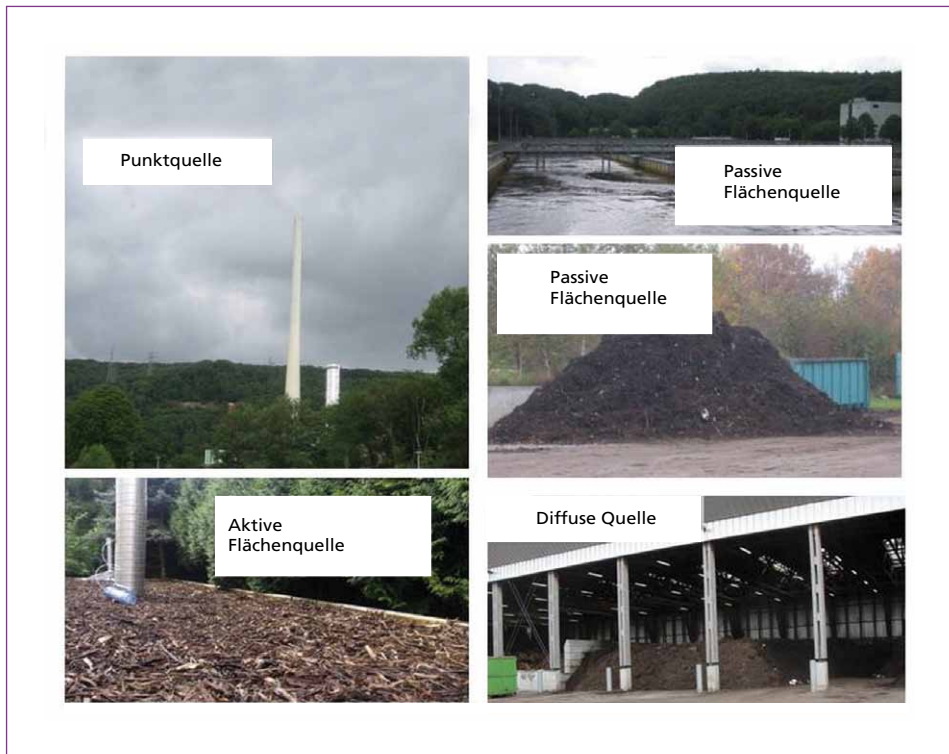


Bild 3: Beispiele unterschiedlicher Emissionsquellen

Eine aktive Flächenquelle ist als solche definiert, wenn der flächenbezogene Abluftvolumenstrom größer als $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ ist [13]. Ist der Volumenstrom geringer, handelt es sich um eine passive Flächenquelle.

Zu einer vollständigen Messung an aktiven Quellen gehört neben der Probenahme für die Olfaktometrie die Bestimmung der Abluftparameter wie Volumenstrom, Temperatur der Abluft und deren Feuchte sowie der meteorologischen Bedingungen (Temperatur, Feuchte und Luftdruck) am Messort.

Um eine, auch in Bezug auf den Zustand der Quelle repräsentative und rückführbare Aussage zu treffen, ist eine detaillierte Kenntnis der zu beprobenden Anlage und ihrer Betriebsprozesse unerlässlich.

Neben der Quellform ist für die Erarbeitung einer Probenahmestrategie auch die Messaufgabe/Fragestellung entscheidend. Messaufgaben können dabei Messungen zur Überwachung eines Grenzwertes, interne Überprüfungen, Ermittlung von Eingangsdaten für eine Ausbreitungsrechnung aber auch Messungen zur Auslegung von Abluftreinigungsanlagen sein.

4. Messplanung

Für die Planung von Messungen an aktiven Punktquellen ist der Zeitpunkt der Probenahmen mit Blick auf die Betriebsprozesse der Anlage und dem Emissionsverhalten der Quelle von großer Bedeutung. Weiter muss die Sicherheit des Probenahmepersonals durch die Einrichtung von Messbühnen und die Zugänglichkeit der Probenahmeplätze sichergestellt sein.

Ob die Proben transportiert werden oder die olfaktometrische Messung vor Ort durchgeführt werden sollte, ist von der Messaufgabe abhängig. Müssen aussagefähige Informationen zum Emissionsverhalten kurzfristig verfügbar sein, wie dies beispielsweise bei Einstellungs- und Optimierungsarbeiten nötig ist, ist die Auswertung vor Ort hilfreich.

Gemäß DIN EN 13725 [4] darf der Zeitraum zwischen der Probenahme und der Messung 30 h nicht überschreiten; dies gilt aber auch für den Fall des Probentransports.

Diese Forderung wird in Deutschland derart verschärft, dass nach VDI 3880 [13] bei Lagerzeiten von mehr als sechs Stunden bereits ein quellenspezifischer Nachweis zu führen ist, dass sich die Geruchsstoffkonzentration in den Proben nicht verändert hat. Diese Überprüfung muss für jede Quelle und jeden Betriebszustand erfolgen. Auf eine erneute Untersuchung kann verzichtet werden, wenn die Stabilität der Geruchsproben an Quellen mit identischer Abgaszusammensetzung nachgewiesen wurde.

Für geführte Quellen sind entsprechende Vorgaben zur Probenahme in der DIN EN 15259 [5] festgelegt.

Um die Einflüsse des Probenahme-Equipments auf die Messung zu minimieren, werden in der DIN EN 13725 [4] sowie der VDI 3880 [13] Festlegungen zu den zu verwendenden Materialien, zur Konditionierung, zur Reinigung sowie zum Vorgehen getroffen.

Nach Vorgabe der TA-Luft [12] beträgt die Probenahmezeit 30 Minuten. Da dieser Mittelwert bei nachbarschaftlichen Belästigungen durch kürzere Konzentrationsspitzen aber häufig nicht aussagekräftig ist, sind in diesen Fällen kürzere, auf den Betriebsprozess abgestimmte Probenahmezeiten, sinnvoll. Bei der Auslegung von Abluftreinigungsanlagen ist es sinnvoll, eine feinere zeitliche Auflösung prozessbezogen zu wählen. Dies kann insbesondere bei Chargenbetrieb oder diskontinuierlichem Emissionsverhalten der zu beprobenden Anlage der Fall sein.

Die Anzahl der Proben ist entsprechend der Aufgabenstellung festzulegen. Die TA-Luft [12] sieht bei der Prüfung auf Einhaltung von Grenzwerten eine dreifach Beprobung bei kontinuierlich emittierenden Anlagen/Prozessen vor. Zusätzlich soll jeweils eine weitere Messung bei regelmäßig auftretenden Betriebszuständen mit schwankendem Emissionsverhalten durchzuführen. Bei Anlagen mit überwiegend zeitlich veränderlichen Betriebsbedingungen sind nach TA-Luft[12] mindestens sechs Proben bei Betriebsbedingungen durchgeführt werden, die erfahrungsgemäß zu den höchsten Emissionen führen können. Bei Ermittlung der Leistungsfähigkeit einer Abgasreinigungsanlage reichen in der Regel drei Einzelmessungen bei ungestörtem Dauerbetrieb mit höchstem Emissionsstrom aus. Die Proben sind zeitgleich auf der Roh- und Reingasseite zu entnehmen. Falls die Ergebnisse der Geruchsmessung in eine Ausbreitungsrechnung einfließen, muss eine möglichst repräsentative Verteilung der Betriebszustände durch die Beprobung erfasst werden. Grund hierfür sind die Vorgaben der GIRL [8], wonach der Belästigungsgrad der Anwohner durch die Anzahl der Geruchsstunden pro Jahr charakterisiert wird. Da die Relevanz einer Geruchsquelle sowohl vom Geruchsstoffstrom als auch von der Dauer der Emission abhängt, sind mindestens je drei Proben von häufig auftretenden Betriebszuständen zu entnehmen, unabhängig von der Emissionshöhe und -dauer.

Die genannten Kriterien sind bei der Messplanung zu berücksichtigen. In vielen Fällen ist erst bei der Analyse der Proben zu erkennen, bei welchen Betriebszuständen hohe Emissionen auftreten. Es kann daher zweckmäßig sein, die olfaktometrische Analyse zeitnah nach der Probenahme durchzuführen und die Ergebnisse dahin gehend zu prüfen, ob weitere Proben entnommen werden müssen.



Bild 4:

Beispiele für Probenehmer

Das benötigte Probenvolumen hängt ab von der verwendeten Probenahmeeinrichtung (Bild 4), der zu erwartenden Geruchsstoffkonzentration der Probe sowie vom Olfaktometertyp und dem angewandten Messverfahren mit dem die Probe gemessen werden soll. Olfaktometer mit der simultanen Darbietung an zwei oder mehr Riech-Trichter je

Prüferplatz, benötigen in der Regel ein Probenvolumen von 40 Litern und mehr. Als Mindestprobenvolumen wird unabhängig von den oben genannten Faktoren eine Menge von 8 bis 10 Litern empfohlen.

Durch die Erfassung der Randparameter kann das erfahrene Probenahmepersonal auf mögliche Effekte, die zu Veränderungen des Messergebnisses führen können, schliessen. Entsprechende Maßnahmen werden direkt vor Ort eingeleitet und umgesetzt wie zum Beispiel eine Vorverdünnung zur Vermeidung von Kondensation und Adsorption.

5. Messung und Beurteilung von Geruch

Die Olfaktometrie ist, wie z.B. auch die Lärmmessung, ein wirkungsbezogenes Messverfahren, bei dem die Wirkung des Geruches auf den Menschen ermittelt wird. Ziel fast aller Geruchsmessungen ist es letztendlich, den Grad der Belästigung durch die Geruchseinwirkung abzuschätzen.

Der Geruchssinn reagiert äußerst empfindlich und unterschiedlich auf eine Vielzahl chemischer Substanzen. Die Geruchsschwelle, das ist die Konzentration eines Geruchsstoffes in Luft, oberhalb welcher ein Geruchsreiz ausgelöst wird, ist stoffspezifisch und variiert in sehr weiten Bereichen. So liegt die Geruchsschwelle von Buttersäure beispielsweise etwa bei $6 \cdot 10^{-5}$ ppm ($0,00016 \text{ mg/m}^3$), von Benzol hingegen bei 300 ppm (1000 mg/m^3). Der Geruchssinn reagiert sogar noch auf Konzentrationen einzelner Geruchsstoffe, die unterhalb der messtechnischen Nachweisgrenze liegen.

Die Wirkung eines Geruchstoffgemisches auf das Geruchsempfinden kann aus den Konzentrationen der Einzelkomponenten nicht abgeleitet werden. Anders als bei der Lärmmessung und -bewertung, bei der im Prinzip nur eine mit physikalischen Sensoren leicht zu messende Größe (Schalldruck) mit unterschiedlichen Frequenzen erfasst und bewertet wird, müssten bei der Geruchsmessung durch eine Analyse der Inhaltsstoffe mit technischen Sensoren bis zu 200 Komponenten gemessen und deren summarische Wirkung auf das Geruchsempfinden bewertet werden. Eine Lösung ist in absehbarer Zeit nicht erkennbar.

Technische Sensoren können daher auch keinen allgemeinen Bezug der Messergebnisse zum Geruchsempfinden des Menschen liefern und sind für viele Anwendungen zu unempfindlich. Bei der Geruchsmessung kann daher auch auf absehbare Zeit nicht auf die menschliche Nase als Sensor verzichtet werden. Geräte mit technischen Sensoren (elektronische Nasen) sind daher nach den Definitionen der europäischen DIN EN 13725 [4] keine Olfaktometer.

6. Das Verfahren zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration

Nach Definition der DIN EN 13725 [4] ist ein Olfaktometer ein Verdünnungssystem, in dem die Geruchsprobe mit Neutralluft in verschiedenen Verdünnungen einem Prüfer-Team zur Prüfung angeboten wird. Die Darbietung kann, unerschwellig beginnend, in aufsteigender Folge (Limitverfahren) oder über- und unerschwellig in zufälliger Folge (Konstanzverfahren) erfolgen.

Die Abfrage der Prüferantworten kann auf zwei Arten erfolgen. Zum einen als Ja/Nein-Abfrage, wobei der Prüfer bei jeder Darbietung zwischen *Ja, es riecht* oder *Nein, es riecht nicht* entscheiden muss. Zum anderen ist eine Forced-Choice-Abfrage möglich. Hierbei muss der Prüfer jeweils entscheiden, ob er bei simultan dargebotenen Proben eine als Probe erkennt. Hierbei kann der Prüfer drei Antworten geben: sicher, vermutet oder geraten. Selbst wenn der Prüfer keinen Unterschied feststellen kann, muss er antworten. Die Auswertung kann dann über eine sogenannte Probitanalyse erfolgen oder wie in der DIN EN 13725 [4] beschrieben über die Auswertung der sicheren Antworten. Beide Methoden führen zu vergleichbaren Ergebnissen und sind in der DIN EN 13725 [4] gleichberechtigt genannt.

Das Verfahren der Ja/Nein-Abfrage ist aufgrund der wirtschaftlicheren Arbeitsweise mit geringerem Verbrauch an Proben- und Verdünnungsluft sowie kürzeren Analysezeiten die weltweit am häufigsten angewendete Methode.

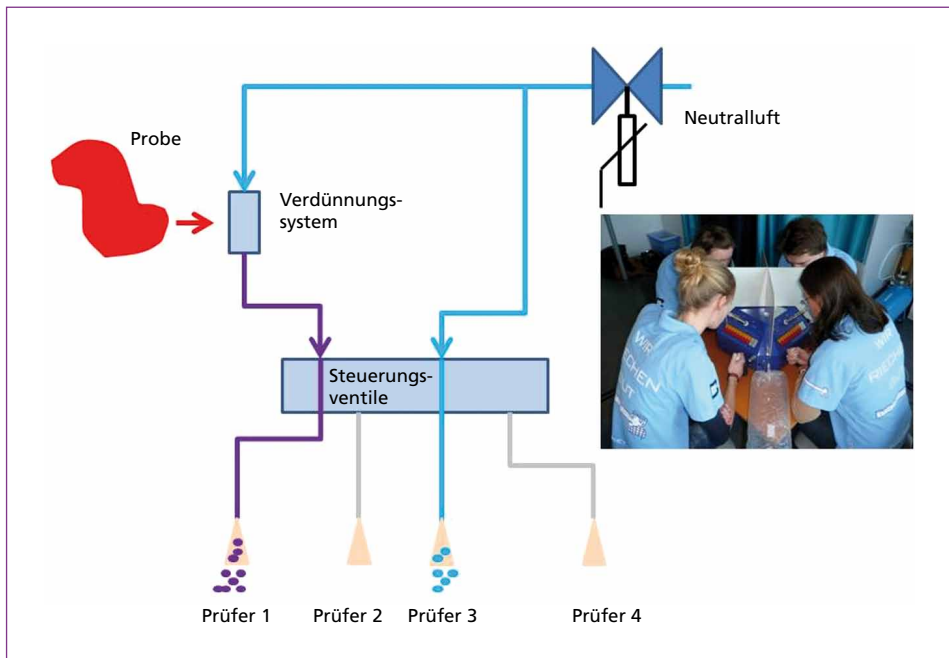


Bild 5: Schematische Darstellung Olfaktometer, Foto – Olfaktometer im Einsatz

Als Ergebnis einer Messung der Geruchsstoffkonzentration soll die Olfaktometrie die Verdünnung an der Geruchsschwelle liefern, bei der gerade 50 Prozent der Grundgesamtheit einen Geruch wahrnehmen. Die Einheit wird in Geruchseinheiten pro m^3 [GE_E/m^3] angegeben, wobei 1 GEE/m^3 definitionsgemäß diejenige Menge an Geruchsstoffen darstellt, die, verteilt in 1 m^3 Neutralluft, gerade die 50 Prozent-Bedingung erfüllt.

Da das Geruchsempfinden eine logarithmische Funktion der Geruchsstoffkonzentration ist, verändert sich das Geruchsempfinden nicht linear mit der Geruchsstoffkonzentration. Eine Angabe im logarithmischen Maßstab kennzeichnet empfundene Unterschiede besser. Leider hat sich diese Darstellungsform nicht durchgesetzt, obgleich sie dem Wirkungsempfinden eines Menschen besser entspricht.

7. Anforderungen an ein Olfaktometer

Die Verdünnungsapparaturen müssen eine Reihe von Anforderungen und Qualitätskriterien erfüllen. So dürfen für alle Geruchsstoffe führenden Teile des Olfaktometers prinzipiell nur Glas, Edelstahl oder PTFE als Werkstoffe verwendet werden, um Korrosion, Kontamination und Geruchsveränderungen sicher und weitgehend zu vermeiden.

Die detaillierten Anforderungen an ein Verdünnungssystem finden sich in der DIN EN 13725 [4].

8. Prüferselektion und wiederkehrende Überprüfung

Die Messergebnisse hängen in ganz entscheidendem Maße von der Auswahl der Prüfer, insbesondere von deren Empfindlichkeit, deren Reproduzierbarkeit der Geruchsschwelenerkennung, deren Konzentrationsfähigkeit und deren Neigung zu Ratetendenzen ab. Die Prüfer werden nach diesen Kriterien selektiert, damit ein möglichst homogenes Team mit einer mittleren Empfindlichkeit und einer guten Reproduzierbarkeit der Geruchsschwelenerkennung erreicht wird.

Die Anforderungen an die Prüfer und deren Verhalten bei der Messung sind in der DIN EN 13725[4] durch einen detaillierten Verhaltenskodex geregelt.

Auch die Selektion neuer Prüfer ist genau festgelegt. Die Ermittlung der Empfindlichkeit und der Standardabweichung der Prüfer erfolgt mit dem Standardreferenzstoff n-Butanol.

Über die in der DIN EN 13725 [4] genannten Kriterien an den Mittelwert und die Standardabweichung der Referenzstoffmessung hinaus sind Faktoren wie die Motivation, Einsatzbereitschaft, der Trainingszustand, die Disziplin und die Belastung der Prüfer am Messtag sowie die Identifikation mit der Arbeit und die Information über die Messung mitentscheidend für die Qualität einer olfaktometrischen Messung.

Die Leistungsfähigkeit der Prüfer ist der begrenzende Faktor für die Zahl der mit einem Prüfersteam an einem Tag messbaren Proben. Die Prüfertätigkeit erfordert ein Höchstmaß an Konzentration und ist daher viel stärker belastend als zunächst vermutet wird. Die Verfahren müssen also so optimiert werden, dass die Prüfer einer möglichst geringen Belastung ausgesetzt sind, ohne dass die Qualität der Messungen abnimmt, damit eine möglichst große Anzahl Proben an einem Tag bearbeitet werden kann.

9. Riechraum

Die DIN EN 13725 [4] beschreibt drei Arten von möglichen Riechräumen. Ein Riechraum muss in jedem Fall angenehm und geruchsneutral sein. Es kann hierbei ein stationäres, dauerhaft eingerichtetes Labor, ein mobiles Labor in Fahrzeugen oder Containern (Bild 6) oder ein vor Ort hergerichteter Raum sein.

Der Raum muss hygienisch sauber sein, gut belüftet werden können und die Raumtemperatur sollte möglichst konstant sein ($\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$) und darf $25 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht überschreiten. Die Messung sollte nicht durch Geräusch- oder Lichtquellen beeinflusst sein. Die Zuluft muss über Aktivkohle gereinigt werden um Querkontamination im Raum zu verhindern. Der CO_2 -Volumenanteil muss weniger als 0,15 Prozent betragen.

Diese Faktoren einzuhalten, ist üblicherweise in einem gewidmeten Labor einfacher als in einem vor Ort improvisierten Raum.



Bild 6:

Beispiel für ein mobiles Messlabor (Riechraum) beim Einsatz vor Ort

Die Lagerzeit sollte in jedem Fall so kurz wie möglich gehalten werden. Auch können bei Messungen vor Ort Probenahme Messzeit aufeinander abgestimmt werden was zu einer großen Flexibilität z.B. bei Einstellungen und Optimierungen von Anlagen sowie bei Veränderungen im Betriebsprozess oder bei Störungen des Anlagenbetriebs führt.

10. Qualitätsfaktoren des Labors

Zur Gewährleistung von reproduzierbaren Ergebnissen und der Verbesserung der Messunsicherheit des olfaktometrischen Verfahrens werden in der DIN EN 13725 [4] Anforderungen an Wiederholpräzision und Genauigkeit eines Labors gestellt. Diese beziehen sich auf eine Referenzkonzentration des Standardreferenzmaterial n-Butanol von $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder $0,040 \mu\text{mol}/\text{mol}$.

Hierdurch wird über die Kontrolle des einzelnen Prüfers hinaus das Gesamtsystem der Olfaktometrie bestehend aus Riechraum, Olfaktometer und Prüferpanel mittels n-Butanol getestet. Die Daten werden als Laborhistorie über die aktuellsten 20 Werte dokumentiert.

11. Darstellung der Messergebnisse

Die Ergebnisse der Geruchsmessung werden angegeben als Geruchseinheit pro Kubikmeter. Entsprechend der DIN EN 13725 [4] bezeichnet man die europäische Geruchseinheit GE_E/m^3 als Menge eines/mehrerer Geruchsstoff/Geruchsstoffe, die beim Verdampfen in einen Kubikmeter Neutralluft unter Normbedingungen die gleiche physiologische Reaktion eines Panels hervorruft (Wahrnehmungsschwelle), wie die durch eine Europäische Referenzgeruchsmasse (EROM) hervorgerufene Reaktion nach Verdampfen in einen Kubikmeter Neutralluft unter Normbedingungen

Aus den Antworten aller Prüfer (mindestens 4), bestehend aus mindestens 8 einzelnen Schwellenschätzungen (ITE Werte), wird der Mittelwert als geometrisches Mittel für alle Mitglieder des Panels bei einer Messung errechnet.

12. Bestimmung der Intensität (VDI 3882 Blatt 1)

Die Intensitätsbewertung mit Kategorienskala erfolgt angelehnt an die VDI 3882 Blatt 1 [14] ganzzahlig anhand einer 7-stufigen Skala von nicht wahrnehmbar (0) bis extrem stark (6) (vergl. Tabelle 3). Zur Beurteilung der Geruchsintensität ordnet der Prüfer seinen Geruchseindruck einem der Begriffe der in Tabelle 3 genannten Skala zu. Bei Intensitätsbewertung mit Kategorienskala wird die unterste Stufe (1 = *sehr schwach*) vergeben, wenn die Wahrnehmungsschwelle überschritten wurde. Das bedeutet, dass

Tabelle 3: Kategorienskalisierung zur Angabe der Geruchsintensität

Geruch	Intensitätsstufe
extrem stark	6
sehr stark	5
stark	4
deutlich	3
schwach	2
sehr schwach	1
nicht wahrnehmbar	0

der Prüfer ganz sicher sein muss, dass er einen Geruch wahrgenommen hat, auch wenn er ihn nicht klar erkannt hat und einer Geruchsqualität klar zuordnen kann.

Die in dieser Richtlinie angewendete Kategorienskala ist eine Ordinalskala, deren Klassen in einer definierten Rangreihe geordnet sind: nicht wahrnehmbar < sehr schwach < schwach < deutlich < stark < sehr stark < extrem stark.

13. Hedonische Geruchswirkung (VDI 3882 Blatt 2)

Die Bestimmung der hedonischen Wirkung der Geruchsprobe basiert auf den Vorgaben der VDI 3882 Blatt 2 [15]. Die Hedonik eines Geruchs kann ein Indiz auf eine mögliche Belästigung geben. Als Basis für die Beurteilung der Hedonik sollen die Prüfer die Frage beantworten, wie angenehm bzw. unangenehm der Geruch für sie ist.

Die Frage nach der Hedonik befasst sich mit dem emotionalen Aspekt des Geruchs. Die Prüfer sollen ihren Eindruck auf einer Skala von +4 (äußerst angenehm) bis -4 (äußerst unangenehm) angeben, vergl. Bild 7.

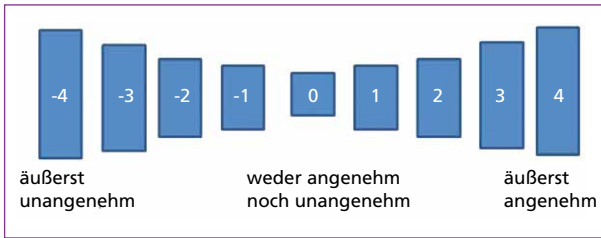


Bild 7:

Skala zur Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung

Geruchscharakter

Der Geruchscharakter umschreibt den Duft mittels Attributen. Die Prüfer sind hier frei in der Beschreibung. In der Auswertung werden ähnliche Begriffe zusammengefasst.

14. Messung von Immissionen

Geruchsimmissionen in der Außenluft lassen sich nicht mit den für Luftschadstoffe bekannten Methoden erfassen und bewerten, weil sie meistens durch ein komplexes Stoffgemisch verursacht werden und stoffbezogene Messergebnisse selten geruchsspezifisch sind. Deshalb sind zur Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen besondere Untersuchungsmethoden erforderlich. Messungen der Geruchsimmissionen erfolgen anhand von Begehungen mit geeigneten Prüfern. Es sind hierbei zwei unterschiedliche Verfahren – die Rasterbegehung und die Fahnenbegehung in den VDI Richtlinien VDI 3940 Blatt 1 [17] und Blatt 2 [18] beschrieben. Das Grundprinzip der beiden Messmethoden unterscheidet sich nicht.

Die Messmethodik der Begehung bedient sich direkt der Messung der Wirkung von Geruchsstoffen auf den menschlichen Geruchssinn. Als Messgröße wird der Geruchszeitanteil eingeführt, das heißt die Häufigkeit, mit der die Erkennungsschwelle in der Außenluft bei einer Einzelmessung überschritten wird und Gerüche eindeutig erkannt werden, z.B. anlagenspezifische Gerüche.

Bei einer Begehung wird über 10 Minuten alle 10 Sekunden der Geruchseindruck durch einen Prüfer bewertet. Der Prüfer gibt hierbei an, ob es riecht, wenn ja, versucht er den Eindruck zu beschreiben bzw. einem charakteristischen Anlagengeruch zuzuordnen. Nach Abschluss der 10 Minuten sind somit 60 Einzelbewertungen erfolgt. Die Auswertung erfolgt nun durch Auszählen der Zeitanteile mit Geruch. Es kann hierbei entsprechend der Geruchscharaktere unterschieden werden.

Eingesetzt werden für Begehungen Geruchsprüfer, die entsprechend der Vorgaben der DIN EN 13725 [4] ausgewählt wurden und zusätzlich im Eignungstest auch eine gute Wiederholpräzision bei der Erkennung von Schwefelwasserstoff H_2S gezeigt haben. Begehungsprüfer werden weiter auf die möglichen Anlagengerüche trainiert.

15. Rasterbegehung

Eine Rasterbegehung wird über einen Zeitraum von einem halben Jahr mit 52 Terminen bis zu einem Jahr mit 104 Terminen durchgeführt. Eine Verkürzung kann im Einzelfall möglich sein. Im Begehungszeitraum werden zum einen möglichst

alle Witterungsbedingungen eines Jahres abgebildet, zum anderen sollen zu allen Tages- und Nachtzeiten möglichst gleichverteilt Begehungen stattfinden.

Das Beurteilungsgebiet wird entsprechend der Fragestellung festgelegt. Bei der Ermittlung der Vorbelastung bezieht sich das Gebiet auf das in Diskussion stehende Gebiet. Bei der Ermittlung der Immissionen einer bestimmten Anlage entspricht das Beurteilungsgebiet dem Einflussbereich der Anlage, mindestens das nach GIRL [8] definierte Beurteilungsgebiet.

Das Beurteilungsgebiet wird mit einem gleichmäßigen Raster mit Kantenlängen der Beurteilungsflächen von maximal 250 m überzogen. Die Begehung erfolgt auf den Eckpunkten der Rasterflächen, wobei jede Rasterfläche pro Begehungstermin nur einmal erfasst wird. Daher werden die Begehungspunkte in Touren zusammengefasst. Jede Fläche ist pro Tour nur einmal berücksichtigt. In Bild 8 ist ein Beispiel für ein Beurteilungsgebiet und die Aufteilung in Rasterflächen dargestellt. Bei Bedarf können auch einzelne Punkt vollumfänglich begangen werden



Bild 8:

Beispiel eines Begehungs-rasters; Ergebnisse sind farblich dargestellt

Nach VDI 3940 Blatt 1 [17] werden die Begehungstermine von mindestens 10 unterschiedlichen Prüfern durchgeführt. Die derzeit als Entwurf vorliegende europäische Begehungsrichtlinie prEN 16841 [6] sieht den Einsatz von 8 Prüfern vor. Die Prüfer sollen abwechselnd und gleichmäßig über die Begehungen verteilt eingesetzt werden. Es ist darauf zu achten, dass einzelne Prüfer nicht überproportional häufig eingesetzt werden. In der prEN 16841-1 [6] wird angegeben, dass ein Prüfer nicht mehr als 20 Prozent der einzelnen Begehungen durchführen soll. Hierdurch soll eine Beeinflussung der Ergebnisse durch das Riechvermögen eines einzelnen Prüfers verhindert werden.

Nach jeder Begehung werden die Ergebnisse auf Plausibilität geprüft. Hierbei wird bei Geruchswahrnehmungen und Zuordnung zu einer Anlage die vorherrschende Windrichtung zum Zeitpunkt der Begehung geprüft. Der plausible Windsektor ist hierbei mit $\pm 60^\circ$ um die mittlere Windrichtung während der Begehung anzusetzen. Bei Schwachwind wird ein plausibler Windsektor von $\pm 120^\circ$ angesetzt. Die Sektoren berücksichtigen das kurzfristige Mäandrieren der Luftströmung.

Nach Abschluss der Begehung wird die Meteorologie im Begehungszeitraum mit der langjährigen Statistik für die Region verglichen und eine Aussage zur Übertragbarkeit und Repräsentativität der Ergebnisse gemacht.

Die Messunsicherheit bei Rasterbegehungen wird in der VDI 3940 Blatt 1 [17] nicht explizit angesprochen. Die Unsicherheit einer einzelnen Begehung ist im Bereich der Zählschwelle, ab wann eine Stunde als Geruchsstunde gewertet wird am größten. Untersuchungen im Rahmen der Erarbeitung der prEN 16841-1 [6] haben gezeigt, dass bei zeitgleicher Begehung mit mehreren Prüfern am gleichen Messpunkt die Schwankung bei ± 3 Geruchswahrnehmungen der einzelnen Prüfer lag. Hieraus wurde definiert, dass zusätzlich zur Auswertung bei > 5 Wahrnehmungen während der 10 Minuten an einem Messpunkt auch bei > 2 und > 8 Wahrnehmungen ausgewertet wird.

Bei der Überprüfung eines Immissionswertes ist dann die Einhaltung gegeben, wenn auch zuzüglich der Messunsicherheit (Auswertung bezogen auf > 2 Wahrnehmungen) der Immissionswert eingehalten wird.

16. Fahnenbegehungen

Fahnenbegehungen nach VDI 3940 Blatt 2 [2] werden in der Regel eingesetzt, um die Reichweite einzelner Emissionsquellen oder auch Anlagen zu überprüfen. Wichtig ist hierbei, dass die Anlage oder Quelle in Begehungsrichtung nicht durch andere Emissionsquellen überlagert wird.

Eine weitere Fragestellung kann die Ermittlung der Quellstärke einer Anlage durch Rückrechnung sein. Die Fahnenbegehung liefert hierbei bei definierten meteorologischen Bedingungen die Ausprägung der Geruchsfahne der Anlage. Über eine Rückrechnung wird dann mittels Ausbreitungsrechnung die Quellstärke ermittelt.

Bei einer Fahnenbegehung werden 5 Prüfer eingesetzt. Die Prüfer werden im Lee der Anlage senkrecht auf einer Schnittlinie in der Geruchsfahne positioniert. Hierbei soll möglichst sowohl der Fahnenrand als auch das Zentrum gut abgebildet werden. Die Prüfer nehmen dann über 10 Minuten alle 10 Sekunden den Geruchseindruck auf.

Nach 10 Minuten werden die Prüfer neu positioniert und eine neue Schnittlinie aufgezeichnet. In Bild 9 ist die Aufstellung der Prüfer in einer Fahne schematisch dargestellt.

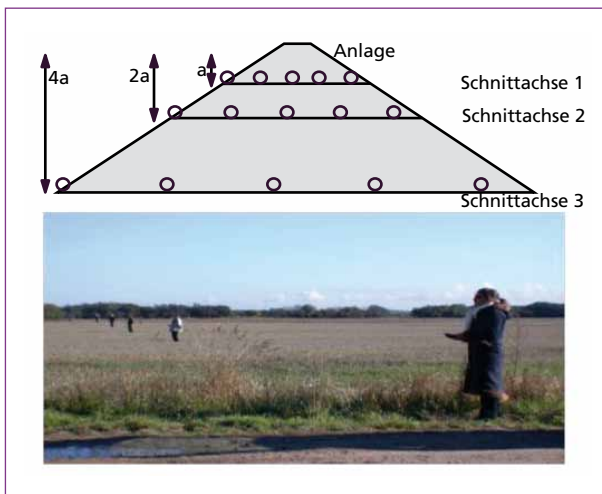


Bild 9:

Schematische Darstellung einer Fahnenbegehung (oben); Foto Prüfer auf einer Schnittlinie

Je nach Fragestellung sind unterschiedlich viele Schnittlinien aufzuzeichnen. Hierbei sind verschiedene meteorologische Bedingungen berücksichtigt.

17. Quellen

- [1] Bundes Immissionsschutz Gesetz: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), Ausfertigungsdatum: 15.03.1974, Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. November 2014 (BGBl. I S. 1740) geändert worden ist – <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschg/gesamt.pdf>
- [2] 4. BImSchV (2013): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV), Ausfertigungsdatum: 02.05.2013, Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973, 3756), http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv_4_2013/gesamt.pdf
- [3] Bushdid, C.; Magnasco, M.O.; Vosshall, L.B.; Keller, A.; Humans can discriminate more than 1 Trillion Olfactory Stimuli, *Science* 21 March 2014; Vol. 343 no. 6177 S. 1370–1372
- [4] DIN EN 13725 (2003): Europäische Norm EN 13725: 2003 (D): Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, Europäisches Komitee für Normung, Juli 2003
- [5] DIN EN 15259 Luftbeschaffenheit – Messung von Emissionen aus stationären Quellen – Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplan und den Messbericht; Deutsche Fassung EN 15259:2007
- [6] EN 16841 – Teil 1: Außenluft - Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen - Teil 1: Rastermessung; Deutsche und Englische Fassung prEN 16841-1:2015
- [7] EN 16841 Teil 2: Außenluft – Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen - Teil 2: Fahnenmessung; Deutsche und Englische Fassung prEN 16841-2:2015[
- [8] Geruchsimmissionsrichtlinie GIRL (2008): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL) in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008 (zweite ergänzte und aktualisierte Fassung). Bund/Länder-AG für Immissionsschutz (LAI), abrufbar u.a. auf der Internet-Seite des LANUV NRW - www.lanuv.nrw.de; sowie in der jeweiligen Fassung des betreffenden Bundeslandes
- [9] Lang, M.: Die rechtliche Beurteilung von Gerüchen – Schriften zum Umweltrecht Band Nr. 156, Hrg. Prof. Dr. Kloepfer. Berlin: Duncker & Humblot GmbH, 2007
- [10] LUA NRW: Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft. Bericht zu Expositions-Wirkungsbeziehungen, Geruchshäufigkeit, Intensität, Hedonik und Polaritätenprofilen. Materialien 73. Essen: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Juli 2006
- [11] Sucker, Müller, Both: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Bericht zum Projekt Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft, Expositions-Wirkungsbeziehung, Geruchshäufigkeit, Intensität, Hedonik und Polaritätsprofile. Im Auftrag von: Mecklenburg-Vorpommern (UM), Niedersachsen (MU), Sachsen (SMUL), Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Materialien 73; Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen 14. Juli 2006
- [12] TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002, veröffentlicht 30. Juli 2002, in Kraft getreten 1. Oktober 2002

- [13] VDI 3880: Olfaktometrie – statische Probenahme, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, Oktober 2011
- [14] VDI 3882 – Blatt 1: Olfaktometrie – Bestimmung der Geruchsintensität, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, Oktober 1992
- [15] VDI 3882 – Blatt 2: Olfaktometrie – Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, September 1995
- [16] VDI 3884 Blatt 1: Olfaktometrie – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie – Ausführungshinweise zur Norm DIN EN 13725, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, Februar 2015
- [17] VDI 3940 Blatt 1: Bestimmung der Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen; Rastermessung, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, Februar 2006
- [18] VDI 3940 Blatt 2: Bestimmung der Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen; Fahnenmessung, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, Februar 2003

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Margit Löschau (Hrsg.):

Immissionsschutz, Band 5

– Recht – Umsetzung – Messung – Emissionsminderung –

ISBN 978-3-944310-23-7 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2015

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Sandra Peters, Ginette Teske, Anne Kuhlo

Druck: Beltz Bad Langensalza GmbH

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.