Fachliche Fragestellungen zum Aerosol Fachgespräch am 30.09.04

FRAGE 4. Welche Modelle eignen sich am besten zur Schätzung der Ausbreitung von Schimmelpilzen/Bakterien und Gerüchen aus Kompostierungsanlagen (bodennahe, diffuse Quellen; komplexe Ausbreitungssituation)?

Gibt es belastbare Daten zur Emission und zum entfernungsabhängigen Konzentrationsrückgang?

FAZIT:

Für Modelle zur Geruchs- und Keimausbreitung müssen wegen unterschiedlicher Verhaltensweisen der Medien differenzierte Lösungswege berücksichtigt werden. Ein Vorschlag für ein Entscheidungsalgorithmus wird von HAUSMANN (1998) genannt.

Zur Modellierung von Geruchsausbreitungen wurde im Jahr 2004 eine Dissertation bei der TU Chemnitz vorgelegt. Die hier enthaltenen Lösungsansätze sollten geprüft werden.

Die Emissionseingaben für Modellbetrachtungen zur Keimausbreitung werden durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt und können daher nur für jeden Einzelfall arten-, rottematerial- und technikspezifisch ermittelt werden. Für die Immissionsprognose bei Gerüchen gilt gleiches. Hier sind olfaktrometrische Messungen am Anlagenstandort erforderlich.

QUELLENZITATE:

Auszüge aus: Hausmann, A.: Keime aus Kompostierungsanlagen - Überprüfung des Ausbreitungsverhaltens von Keimen im Vergleich zu dem von Gerüchen, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), 1998

4. Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von Gerüchen und Mikroorganismen

4.1 Gemeinsamkeiten

Welche Aspekte des Ausbreitungsverhaltens von Mikroorganismen und Gerüchen in der Atmosphäre in die Beurteilung einzubeziehen sind, ist abhängig von:

- ihren chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften
- den räumlichen und zeitlichen Randbedingungen beim Emissionsvorgang
- dem erforderlichen "Verdichtungsgrad" der berechneten Konzentrationswerte (Einzelwerte für die konkrete meteorologische Situation, Dosiswerte, Berücksichtigung aller meteorologischen Situationen und nachfolgende Verdichtung auf Kenngrößen , wie z. B. Maximal- und Minimalwerte, Perzentile, Überschreitungshäufigkeiten.

Es können zwei grundsätzlich verschiedene Freisetzungsbedingungen unterschieden werden:

Geschlossene Anlage:

- Absaugung und Behandlung der Abluft erfolgt über einen Biofilter.
- Die Abluft wird in der Regel über die Filterfläche in einer Höhe von ca. 1,5-2 m über Erdgleiche abgeleitet (bodennahe Flächenquelle). In Einzelfällen erfolgt die Ableitung über einen Schornstein in die von Strömungshindernissen unbeeinflusste Atmosphäre (Punktquelle).
- Bei einer bodennahen Flächenquelle ist die bebauungsbedingte Luftströmung zu berücksichtigen.
- Diffuse Emissionen (z. B. zeitweise geöffnete Hallentore) können unberücksichtigt bleiben, wenn der Zeitanteil vernachlässigbar gering ist.

Offene Anlage:

- Abluft aus ruhenden Mieten und aus freisetzungsrelevanten Tätigkeiten wird in Bodennähe emittiert.
- Die bebauungsbedingte Luftströmung ist zu berücksichtigen

4.2 Unterschiede

4.2.1 Mikroorganismen

Mikroorganismen treten in der Emission von Anlagen zur Kompostierung meist partikelgebunden oder auch als Aggregate auf. Für die Bewertung der Konzentrationen an den relevanten Aufpunkten ist zu berücksichtigen, dass die verfahrenstypischen Mikroorganismen (das sind die bei 30 °C und mehr angezüchteten) nach Inhalation wirksam werden können.

Daten zur **Größenverteilung** von Mikroorganismen bei unterschiedlichen freisetzungsrelevanten Tätigkeiten, insbesondere in Abhängigkeit von Rottezeit und -material sowie Substratfeuchte, und unterschiedlichen Betriebszuständen und Betriebsweisen von Biofiltern fehlen jedoch. Beispielhaft und konservativ kann auf der Grundlage verschiedener Messungen und Daten zur Größe einzelner Mikroorganismen angenommen werden, dass 25 % der Partikel größer als 5 µm und 75 % kleiner oder gleich 5 µm (und damit lungen- bzw. alveolengängig) sind.

Luftgetragene Mikroorganismen werden entsprechend ihrer Größe und Dichte während der Ausbreitung über den Luftpfad abgelagert. Das Ausmaß der **Ablagerung** wird außerdem auch von den meteorologischen Bedingungen bestimmt. Die vorliegenden Messergebnisse deuten darauf hin, dass gewisse Fraktionen der Mikroorganismen einer Ablagerung unterliegen. Es kann beispielhaft angenommen werden, dass die Partikel kleiner bzw. gleich 5 µm keiner Ablagerung unterliegen. Für die größeren Partikel kann eine Absinkgeschwindigkeit von $1{,}5*10^{-3}$ m/s angesetzt werden.

Das **Auswaschen** von luftgetragenen Mikroorganismen ist ein immissionsmindernder Vorgang, der von den am konkreten Standort auftretenden Regenhäufigkeiten abhängt. Es kann davon ausgegangen werden, dass nach anhaltendem Regen keine nennenswerten Konzentrationen von Mikroorganismen in der Luft vorliegen. Dieser Effekt kann berücksichtigt werden, wenn zeitlich ausgedehnte Mittelwerte (z. B. Jahresmittelwerte) berechnet werden sollen.

Eine **Inaktivierung** während der luftgetragenen Ausbreitung der Mikroorganismen kann nach den vorliegenden Messungen nicht zugrundegelegt werden, da die dominierenden Spezies Sporenbildner sind oder widerstandsfähige Zellwandstrukturen besitzen. Allerdings findet wegen fehlender Nährstoffe und ungünstiger Wachstumsbedingungen während der Ausbreitung über den Luftpfad auch keine relevante Vermehrung der Mikroorganismen statt.

4.2.2 Gerüche

Gerüche stellen eigentlich keine Stoffe, sondern die Wirkung von Stoffen auf die Sinnesorgane des Menschen dar. Diese Sinneswirkung ist im Fall der Abluft aus Anlagen zur Kompostierung auf ein Gemisch verschiedenartiger Stoffe zurückzuführen. Diese Einzelstoffe mit ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften sind nicht genau genug bekannt. So lassen sich keine Aussagen darüber machen, ob die Einzelstoffe:

- chemisch stabil (inert) sind oder in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen eine Umwandlung erfahren.
- gasförmig oder an Partikel gebunden sind und dadurch eine Sedimentation erfolgt.
- durch Absorption oder Adsorption an Hindernissen (Erdboden, Gebäude, Bewuchs) beeinflusst werden.

Für die Berechnung der Ausbreitung von Gerüchen kann gegenwärtig - im Sinne eines konservativen Ansatzes - nur von einem inerten Gas ausgegangen werden.

4.4 Ergebnisse

Für die **Jahresbetrachtung** sind die Unterschiede zwischen den Berechnungen mit dem Gauß- und mit dem Lagrange-Modell abgesehen von den Werten in unmittelbarer Quellnähe erwartungsgemäß gering. Geruchshäufigkeiten über 10 % wurden bis zu einer maximalen Entfernung von 300 m von der Emissionsquelle ermittelt. Die Konzentration der Mikroorganismen nimmt in einer Entfernung von ca. 300 m von der Quelle auf etwa 1 % ab.

Die Einzelfallbetrachtung für **emissionsrelevante Tätigkeit im Freien** ergab für die beiden Modelle nach Gauß und Lagrange nur geringe Unterschiede. Die Geruchseinwirkung der Anlage ist im berechneten Fall bis zu einer Entfernung von ca. 1 km deutlich wahrnehmbar. Der zusätzliche Keimeintrag fiel dagegen bei dem häufigsten bereits ab 400 m, im ungünstigsten Ausbreitungsfall erst ca. um 1 km in den Größenordnungsbereich des natürlichen Hintergrundes.

In der Einzelfallbetrachtung unter Berücksichtigung eines großen Gebäudes als Strömungshindernis ergibt das Lagrange-Modell an der angeströmten Gebäudeseite eine deutliche Erhöhung der Immissionskonzentration. An relevanten Aufpunkten - seitlich versetzt zur Zentralachse - können außerdem Werte im oberen und mittleren Bereich von 10^3 KBE/m^3 Luft auftreten.

Die Berechnung unter den dargestellten Randbedingungen lässt vermuten, dass die **Geruchswahrnehmungen tendenziell weitreichender** sind als relevante Anlageneinflüsse durch Keime. Die berechneten Werte für Mikroorganismen und Gerüche stehen nicht im Widerspruch zu *an anderen Standorten und Anlagen* gemessenen Werten, z. B.:

- Biofiltereigengeruch in ca. 100-150 m Entfernung nicht mehr wahrnehmbar bzw. unterscheidbar
- Anlageneinfluss bzgl. Mikroorganismen bei Emission über Biofilter nach 100-200 m nicht mehr nachweisbar
- Umsetzvorgänge bei offenen Mieten können Riechweiten bis 1 km und mehr erreichen
- Anlageneinfluss bzgl. Mikroorganismen durch Umsetzvorgänge bei offenen Mieten konnte bis 500 m nachgewiesen werden.

Grundsätzlich können ungünstige meteorologische Ausbreitungssituationen im Vergleich zu den häufigen meteorologischen Bedingungen zu erheblichen Schwankungen an relevanten Aufpunkten führen. Für genehmigungsrelevante Entscheidungen im Zusammenhang mit Emissionen von Mikroorganismen (hohe Immissionen können mit gesundheitlichen Auswirkungen in Verbindung stehen) sind deshalb in jedem Fall **für jeden Standort ungünstige und häufige meteorologische Ausbreitungssituationen zu berücksichtigen**.

Auf der Grundlage der Bedingungen am konkreten Standort ist zu entscheiden, welches Ausbreitungsmodell dem Problem am besten gerecht werden kann. Dabei sollte auch die Verhältnismäßigkeit der Aufwendungen gewahrt werden. Ein Schema zur Entscheidungsfindung bei Geruchs- und Keimimmissionsprognosen wurde vom TÜV erarbeitet (geringfügig modifiziert durch das LfUG; vgl. Tab.2). Grundsätzlich zeichnet sich zunehmend ab, dass für kompliziertere Standorte Partikelmodelle zukünftig bevorzugt empfohlen werden.

Tab. 2: Entscheidungshierarchie zur Anwendung von Modelltypen in der Ausbreitungsrechnung (modifiziert nach TÜV, 1998)

Nr.	Frage, Entscheidung	wenn ja, gehe zu	wenn nein, gehe zu
1	Entfernungsbereich <200 m für Beurteilung relevant ?	4	2
2	"Screening" mit Gauß-Modell nach TA Luft: Emissionsrelevanz gegeben ?	3	4
3	Bodennahe Freisetzung (Mietenoberfläche, Biofilter) und Kaltluftentstehungsgebiete im Quellbereich und/oder Luv ?	5	6
4	Bodennahe Freisetzung (Mietenoberfläche, Biofilter) und Kaltluftentstehungsgebiete im Quellbereich und/oder Luv ?	7	8
5	Berechnung mit Gauß-Modell nach TA Luft für Stabilität V, IV, III/2, III/1, II, Berechnung mit Kaltluftmodell (z. B. CALM) und Zuordnung zu Stabilität I		
6	Berechnung mit Gauß-Modell nach TA Luft für alle Stabilitätsklassen		
7	Berechnung mit Modellpaket Strömungsmodell/Partikelmodell (z. B. LASAT) für Stabilität V, IV, III/2, III/1, Berechnung mit Kaltluftmodell (z. B. CALM) und Zuordnung zu Stabilität I		
8	Berechnung mit Modellpaket Strömungsmodell/Partikelmodell (z. B. LASAT) für alle Stabilitätsklassen		

Auszüge aus: Rossmann, Th.: Entwicklung und Validierung eines Meßverfahrens zur Bestimmung der Geruchsausbreitung im bodennahen Bereich, Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau, Dissertation 2004

8 Zusammenfassung

Gerüche, die bei vielen Prozessen in der Natur und Technik entstehen, können Belästigungen für den Menschen hervorrufen. Die Gerüche bestehen aus einzelnen Geruchsstoffen, die sich in ihrer Geruchswirkung beeinflussen können. Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Geruchsstoffen sind zum großen Teil unbekannt. Hauptsächlich aus diesem Grund treten bei der Erfassung der Geruchsausbreitung Probleme auf. Diese Probleme sind so schwerwiegend, dass ein Meßsystem zur Ermittlung der Geruchsausbreitung in der Literatur oder als Patent nicht bekannt ist.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Entwicklung und Erprobung eines Meßsystems zur Ermittlung der Geruchsausbreitung im bodennahen Bereich. In der Arbeit wurde anfangs auf die Fragen eingegangen, was Geruch ist, wie er vom Menschen wahrgenommen wird und welche Methoden zur Geruchsbestimmung bekannt sind bzw. herangezogen werden können. Im weiteren wurden einführend die Vorgänge in der Atmosphäre behandelt. Darauf aufbauend wurden weiterhin mathematische Modelle zur allgemeinen Bestimmung der Ausbreitung von Gasen und Dämpfen vorgestellt.

a) Den ersten Schwerpunkt dieser Arbeit bildet die Beschreibung und Untersuchung einer konstruierten künstlichen Nase. Die Untersuchungen wurden hinsichtlich der verwendeten Gassensoren, der elektronischen Schaltungen und künstlich-neuronaler Netze mit Hilfe eines Olfaktometers und eines Kalibrierversuchsstandes gemacht.

b) Es stellte sich heraus, dass die ausgewählten Gassensoren sowohl für die Geruchsstofferkennung als auch für die Ermittlung der Geruchsintensität geeignet sind. Die Sensitivität der Gassensoren ließ sich bei den untersuchten Stoffen durch Veränderung der Heizspannung nicht erhöhen. Abschätzungen ergaben, dass nach einer Kontaktzeit von ca. 1 ms die Geruchsprobe durch die Gassensoren messtechnisch erfasst werden kann.

c) Künstlich-neuronale Netze wurden zur Geruchsstofferkennung (Kohonen-Netz) und Geruchsintensitätserkennung (MLP-Netz) eingesetzt. Das Kohonen-Netz wurde für verschiedene Geruchsstoffe und das MLP-Netz für den Geruchsstoff Butanol kalibriert. Beide Netztypen wurden trainiert, wobei Parameter wie Netztyp, Netzgröße und Übergangsfunktion optimiert wurden. Für das Kohonen-Netz wurde eine optimale Netzgröße von 7-(15×15)-3 ermittelt. Der relative Fehler dieses Kohonen-Netzes betrug ca. 3,5 %. Mit dieser Netzgröße konnte z. B. eine eindeutige Unterscheidung von Ethanol und Butanol erreicht werden. Die optimale Netzgröße des MLP-Netzes für den Geruchsstoff Butanol wurde bei 7-9-5-3 mit einer sigmoiden Übertragungsfunktion und dem Backpropagation-Verfahren mit Dämpfungsterm ermittelt. Der globale Fehler dieses MLP-Netzes betrug ca. 6 %.

d) Für beide optimierten Netztypen konnte der Nachweis erbracht werden, daß sie in Kombination mit den Gassensoren zur Geruchsstoff- und Geruchsintensitätserkennung geeignet sind. Die Funktionsfähigkeit der künstlichen Nase wurde damit nachgewiesen. Der zweite Schwerpunkt dieser Arbeit war die Erweiterung des Programms ZEMP auf dreidimensionale Fälle und deren programmtechnische Umsetzung. Dazu wurde ein „Erweitertes Zellenmodell mit Platzwechselwahrscheinlichkeit“ (EZEMP) in ein Computerprogramm umgesetzt. Bei den Untersuchungen in dieser Arbeit wurde ein k-Wert von 1,636 durch Anpassung an CFD-Rechnungen ermittelt. Diese Ergebnisse wurden mit experimentellen Untersuchungen im Strömungskanal überprüft. Weiterhin wurde im EZEMP mit einem effektiven Diffusionskoeffizienten gerechnet, der die Summe aus molekularem und turbulentem Diffusionskoeffizienten ist. Der turbulente Diffusionskoeffizient wurde mit Hilfe des Turbulenzgrades ermittelt. Die turbulente Schmidtzahl wurde in der turbulenten Grenzschicht auf 0,9 festgelegt.

e) Den dritten Schwerpunkt dieser Arbeit stellen die Erprobung des EZEMP und die Überprüfung der berechneten Ergebnisse mit theoretischen und experimentellen Verläufen dar. Für die theoretischen Untersuchungen wurden das Gauß'sche Fahnenmodell (als EXCEL Applikation umgesetzt) und das CFD-Programm FLUENT herangezogen. Die experimentellen Untersuchungen wurden in einem dafür gebauten Strömungskanal mit Traversierung durchgeführt. Für die Berechnungen wurden die Abmessungen des Strömungskanals benutzt.

f) Für alle betrachteten Strömungsgeschwindigkeiten konnte eine gute Übereinstimmung der ermittelten Geruchsstoffausbreitung zwischen EZEMP, Gauß'schem Fahnenmodell, CFD-Programm FLUENT und den experimentellen Untersuchungen im Strömungskanal festgestellt werden. Im Quellennahbereich (0-0,2 m Kanallänge) liefert allerdings das CFD-Programm FLUENT Abweichungen gegenüber den experimentellen Untersuchungen im Strömungskanal, da hier ein zu großer numerischer Fehler auftrat.

g) Neben den Untersuchungen zum Strömungskanal wurden auch reale Geruchsausbreitungsprozesse untersucht. Hierzu wurde entsprechend den Pasquill'schen Stabilitätsklassen der Atmosphäre die stark stabile, neutrale und stark labile Luftschichtung herangezogen. Neben dem EZEMP wurde das Gauß'sche Fahnenmodell sowohl mit den Streuungen nach DIN 3782 Bl. 1 (Gauß-Modell-I) als auch mit in den Koordinatenrichtungen unterschiedlichen, orts- und höhenkonstanten turbulenten Diffusionskoeffizienten (Gauß-Modell-II) eingesetzt.

Von Berechnungen mit dem CFD-Programm FLUENT wurde aufgrund des enormen Rechenaufwandes Abstand genommen. Für die Berechnung der turbulenten Diffusionskoeffizienten für verschiedene Luftschichtungen wurden empirische Berechnungsgleichungen vorgestellt. Bei der Berechnung der realen Geruchsausbreitung mit dem Gauß-Modell-II und EZEMP wurde für den horizontalen turbulenten Diffusionskoeffizienten quer zur Hauptströmung der Wert bei einem Fünftel der Prandtl-Schichthöhe und für den vertikalen turbulenten Diffusionskoeffizienten der Wert in Höhe der Prandtl-Schicht eingesetzt.

h) Die Rechenergebnisse zur realen Geruchsausbreitung für verschiedene Luftschichtungen mit dem Gauß'schen Fahnenmodell und EZEMP wiesen eine gute Übereinstimmung untereinander auf. Weiterhin wurde mit EZEMP beispielhaft die reale Geruchsausbreitung einer Mehrfachquelle dargestellt.

i) Zusammenfassend kann für diesen Abschnitt festgestellt werden, dass die vorgeschlagene Erweiterung im EZEMP zum Berechnung der Geruchausbreitung geeignet ist. Im vierten Schwerpunkt dieser Arbeit wurde ein Meßsystem zur Bestimmung der Geruchsausbreitung vorgestellt. Hauptkomponenten dieses Meßsystems sind die künstliche Nase und EZEMP. Das Meßsystem wurde beschrieben und seine Funktionsfähigkeit an einem Ausführungsbeispiel (ternäres Geruchsstoffgemisch) getestet. Zu diesem Meßsystem und dem dazugehörigen Messverfahren wurden Patente eingereicht und Prüfungsanträge gestellt.