

Absenkung des Messgastaupunktes

Konzentrationsänderungen und Auswaschung von Schadgasen und Geruchsstoffen

Peter Boeker

Institut für Landtechnik, Universität Bonn

Zur Konditionierung von feuchten Messgasströmen werden Messgaskühler eingesetzt. In ihnen wird der Taupunkt auf ein niedrigeres Niveau abgesenkt. Mit dieser Absenkung ist eine Kondensation der überschüssigen Wassermenge verbunden. Zwei daraus resultierende Effekte beeinflussen die Konzentration von Schadgasen und Geruchsstoffen. Durch die Kondensation eines Teils der Feuchte verringert sich der Gesamtgasstrom. Daher steigen die Konzentrationen der anderen Gaskomponenten an. Bei wasserlöslichen Komponenten tritt allerdings zusätzlich eine Auswaschung durch Absorption im Kondensat auf. Die Konzentration dieser Komponenten verringert sich. Beide Effekte werden vom Grad der Taupunktsenkung und von der Temperatur im Kühler beeinflusst. Bei tiefen Temperaturen steigt die Gaslöslichkeit und die kondensierende Wassermenge an. Daher treten hier die größten Auswaschungen auf. Bei Geruchsstoffen muß der Effekt der Auswaschung besonders berücksichtigt werden. Um durch die Riechschleimhaut zu den Rezeptoren zu gelangen, müssen Geruchsstoffe wasserlöslich sein. Je nach Größe der Wasserlöslichkeit ergeben sich unterschiedliche Konzentrationsverschiebungen. Der resultierende Geruchseindruck kann sich durch die Veränderung der relativen Zusammensetzung daher stark ändern. Die alternative Verdünnung des Messgases mit trockener Luft zur Senkung des Taupunktes resultiert in erheblichen Konzentrationsverringierungen. Im Beitrag werden die grundlegenden Vorgänge und Methoden zur Berechnung der Effekte vorgestellt.

Schlüsselwörter

Ammoniak, Messgaskühler, Auswaschung, Taupunkt, Geruch, Elektronische Nase

Einleitung

Der Wasseranteil im Messgas muß bei Messungen gerade von biologischen Quellen immer berücksichtigt werden. Stets finden die Stoffbildungen und -freisetzungen in feuchtem Medium statt, dazu kommt ein erhöhtes Temperaturniveau durch die biologischen Stoffumsetzungen. Bei der Beprobung von emittierenden Kompostierungen oder Biofiltern können Temperaturen um 60°C auftreten, die Messgasströme sind wassergesättigt mit entsprechenden Taupunkten. Mit beheizten Messgasleitungen kann das Gas ohne Kondensation weitergeleitet werden. Ein Problem tritt bei der Konzentrationsmessung immer dann auf, wenn der Gasanalysator bauart- und messprinzipbedingt bei einer unterhalb des Taupunktes liegenden Temperatur betrieben wird. Eine

Verringerung der Gasfeuchte ist dann nicht zu vermeiden und muß kontrolliert durchgeführt werden. Die Standardmethode besteht im Einsatz eines Messgaskühlers (siehe **Bild 1**), der bei intensivem Kontakt des Messgases mit gekühlten Wandflächen eine kontrollierte Absenkung des Taupunktes sicherstellt. Das entstehende Kondensat wird kontinuierlich mit einer Kondensatpumpe abgeführt. [1]

Absenkung des Gastaupunktes

Beim Betrieb von Messgaskühlern ist eine Temperatur von 5°C häufig, wodurch eine weitgehende Kondensation des Wasseranteils sichergestellt wird. In **Tabelle 1** ist der relative Anteil des Wassers bei verschiedenen Taupunkten angegeben. Bei 5°C ist der Wasseranteil nur 0,54%,

bei 70°C dagegen 21,74% auf die gesamte Luftmasse (inkl. des Wassers) bezogen. Die Differenz, rund 21%, wird durch Kondensation dem Messgasstrom entzogen. Die Volumenverhältnisse des Wasseranteils zum Anteil trockener Luft sind noch erheblicher. Bei 5°C besteht 0,87 Vol% des Gases aus Wasser, bei 70°C dagegen bereits 44,52 Vol%. Der oben genannte Entzug von 21% der Gesamtmasse bedeutet deshalb sogar den Entzug von rund 44% des Gasvolumens. Der Grund liegt im Molmassenunterschied vom leichten Wasser (18 g/mol) zur schwereren Luft (28,94 g/mol), der nach dem idealen Gasgesetz zu einem entsprechenden Volumenverhältnis führt. Da sich alle Konzentrationen von Schadgasen oder Geruchsstoffen auf das gesamte Gasvolumen beziehen, steigen diese Konzentrationen daher bei starken Taupunktabsenkungen durch den Volumeneffekt erheblich an.

Die Werte der Tabelle werden durch die folgenden Beziehungen berechnet [2]:

$$x = \frac{M_W}{M_{Luft}} \cdot \frac{p_d}{p_{ges} - p_d} \quad (1)$$

mit $M_W = 18,016$ [kg/kmol] und $M_{Luft} = 28,96$ [kg/kmol] (mittleres Molekulargewicht).

Der Partialdruck des Wassers p_d wird über den Sättigungsdampfdruck p_s und die relative Feuchte rF berechnet:

$$p_d = rF \cdot p_s \quad (2)$$

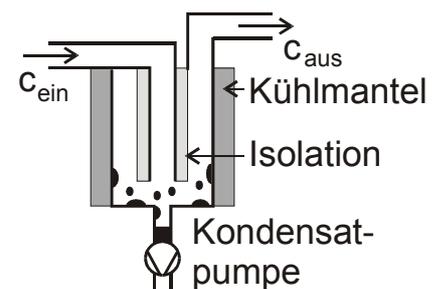


Bild 1: Prinzipbild eines Messgaskühler zur Verringerung des Taupunktes

Tabelle 1: Wasseranteile bei verschiedenen Taupunkten, Bezug auf Anteil trockener Luft und auf gesamtes Gas

T	°C	5	10	20	30	40	50	60	70
x	kg w/kg tr.L	0,54%	0,76%	1,47%	2,72%	4,89%	8,63%	15,26%	27,79%
x'	kg w/kg ges	0,54%	0,76%	1,45%	2,65%	4,66%	7,95%	13,24%	21,74%
n _w /n _L	mol w/mol tr.L	0,87%	1,23%	2,36%	4,37%	7,85%	13,88%	24,53%	44,66%

Der Sättigungsdampfdruck des Wassers berechnet sich nach dem Ansatz aus [3] zu:

$$p_s = 0,001 \cdot 10^{8,3246 - \frac{1799,73}{(\vartheta + 238,734)}} \cdot [\text{bar}] \quad (3)$$

Das Mol- und Volumenverhältnis berechnet sich aus:

$$\frac{n_W}{n_{Luft}} = x \cdot \frac{M_{Luft}}{M_W} \quad (4)$$

Auswaschung von Gaskomponenten

In dem bei der Absenkung des Taupunktes entstehenden Kondensat können sich Gaskomponenten lösen. Physikalisch-chemisch entspricht der Vorgang der Auswaschung einer Absorption der Gase im Kondensat [4].

Die Absorption von Gasen wird mit dem Henry-Gesetz beschrieben, das eine lineare Beziehung zwischen der Konzentration einer Gaskomponente über dem Absorbens und der sich ergebenden Gleichgewichtskonzentration annimmt.

$$c_{\text{gel.Gas}} = \lambda(\vartheta) \cdot p_{\text{Gas}} \quad (5)$$

Der Henry-Absorptionskoeffizient λ ist von der Temperatur ϑ abhängig. Ein Exponentialansatz für λ lautet:

$$\lambda(\vartheta) = e^{\left(A + \frac{B}{(\vartheta + 273,15)} \right)} \left[\frac{\text{mol}}{\text{kg bar}} \right] \quad (6)$$

Häufig findet man nicht die Koeffizienten A und B tabelliert, sondern einen Bezugswert für $\lambda_{25^\circ\text{C}}$ bei 25 °C und einen Koeffizienten $C = d(\ln(\lambda))/d(1/T)$, der den Verlauf des Henry-Koeffizienten mit der Temperatur beschreibt [5].

Die Umrechnung von $\lambda_{25^\circ\text{C}}$ und C in die Koeffizienten der Exponentialform lautet:

$$B = C \quad (7)$$

$$A = \ln(\lambda_{25^\circ\text{C}}) - \frac{C}{298,15 \text{ K}} \quad (8)$$

Für die Berechnungen im Zusammenhang mit Gaskonzentrationsmessungen ist die Verwendung einer modifizierten Form des Henry-Gesetzes sinnvoll [6].

$$c_{\text{Gas gelöst}} = \Lambda(\vartheta) \cdot c'_{\text{Gas}} \quad (9)$$

wobei die Gaskonzentration als Molverhältnis eingesetzt wird (nach dem idealen Gasgesetz entspricht das Molverhältnis dem Volumenverhältnis und damit dem üblichen Konzentrationsmaß ppm_v geteilt durch 10⁶).

Die Umrechnung der beiden Henry-Koeffizienten lautet:

$$\Lambda = \lambda \cdot p_{\text{ges}} \quad (10)$$

Kondensation und Auswaschung

Das Verhältnis der beiden Vorgänge der Kondensation und der Auswaschung führt zu Konzentrationsänderungen beim Einsatz von Messgaskühlern. In **Bild 2** sind die Vorgänge für zwei verschieden starke Taupunktabsenkungen dargestellt. Im linken Teil wird durch eine geringe Taupunktsenkung nur wenig Kondensat gebildet und bei einer höheren Temperatur auch wenig Gas im Kondensat gelöst. Rechts liegt die Temperatur tiefer, die Kondensatmenge und die Menge an ausgewaschenem Gas steigt an. Der Anteil der trockenen Luft bleibt konstant, die Konzentrationsveränderungen beruhen auf der Verminderung der Gesamtgasmenge nach der Auskondensation.

Die Konzentrationsänderung eines löslichen Gases nach Taupunktsenkung ist durch die Beziehung (ausführliche Herleitung in [6]) gegeben:

$$c_{\text{aus}} = \left[(p_{s\text{Tau}} - p_{sK}) \cdot M_W \cdot \Lambda_K + p_{\text{ges}} - p_{s\text{Tau}} \right]^{-1} \cdot (p_{\text{ges}} - p_{sK}) \cdot c_{\text{ein}} \quad (11)$$

mit ϑ_{Tau} als dem Taupunkt des Messgases und ϑ_K als der Temperatur des Kühlers und der reduzierten Taupunkttemperatur.

Für einen bestimmten Wert von Λ stimmen die Eingangs- und die Ausgangskonzentration überein, da sich die Effekte des Auskondensierens und des Auswaschens gerade kompensieren. Der Wert von Λ berechnet sich zu:

$$\Lambda(\vartheta_K) = \frac{1}{M_{\text{Wasser}}} \quad (12)$$

Im **Bild 3** ist der Löslichkeitskoeffizient Λ für verschiedene Gase aufgetragen. Die waagerechte Linie stellt den Kehrwert der Molmasse von Wasser dar. Gase mit Löslichkeiten, die diese Linie schneiden, weisen am Schnittpunkt einen Temperaturwert auf, der für beliebige Eingangstaupunkte eine unveränderte Konzentration am Ausgang des Messgaskühlers ergibt.

Auswaschung von Ammoniak

Die Löslichkeitskurve von Ammoniak schneidet den Kehrwert der Wassermolmasse bei 26,34°C. In **Bild 4** sind (nach rechts aufgetragen) für vier verschiedene Eingangstaupunkte die Konzentrationsveränderungen mit Änderung der Messgaskühlertemperatur dargestellt. Oberhalb der Neutraltemperatur treten Erhöhungen der Konzentration auf, unterhalb dagegen eine Absenkung der Konzentrationen. Nach links ist der Anteil des mit dem Kondensat ausgewaschenen Ammoniaks aufgetragen. Bei hohem Eingangstaupunkt und niedriger Kühlertemperatur werden große Anteile des Ammoniaks (z.B. 55% bei 70°C Eingangstaupunkt und 5°C Kühlertemperatur) mit dem Kondensat ausgewaschen.

Bei unlöslichen Gasen tritt durch die Ver-ringerung der Gesamtgasmenge bei der

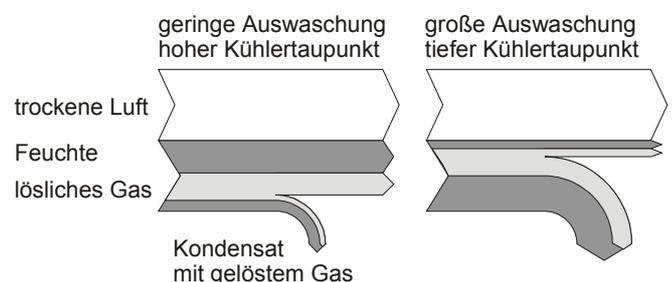
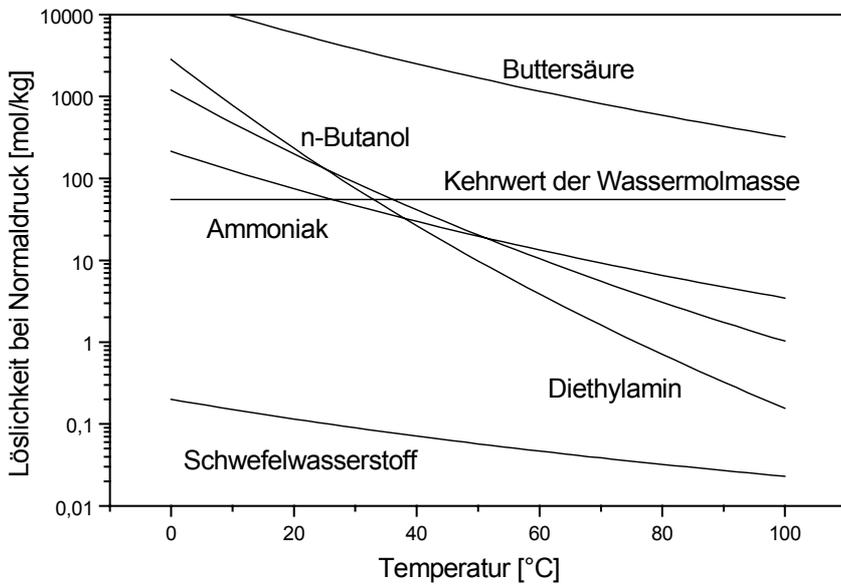


Bild 2: Schema der Kondensation und Absorption bei Taupunktabsenkung

Bild 3: Henry-Löslichkeitskoeffizient Λ für verschiedene Gase

setzung zur Bindung an den Rezeptoren der Riechzellen ist. Diese Wasserlöslichkeit kann natürlich auch zur Auswaschung führen, wenn der Grad der Löslichkeit groß ist. In **Tabelle 2** sind Stoffdaten für einige ausgesuchte Geruchsstoffe aufgelistet, mit der Berechnung der Koeffizienten der Henry-Gleichung, wie in Gleichung 6, 7 und 8 definiert. In der letzten Zeile sind die berechneten Neutraltemperaturen, die Schnittpunkte der Löslichkeiten mit dem Kehrwert der Wassermolmasse, angegeben.

Mit den Löslichkeitsdaten der Tabelle 2 ergeben sich Konzentrationsveränderungen, wie in **Bild 6** exemplarisch für einen Eingangstaupunkt von 50°C dargestellt. Insbesondere Buttersäure, aber auch n-Butanol wird zu sehr großen Anteilen ausgewaschen. Bei drei der hier dargestellten Geruchsstoffe gibt es eine Neutraltemperatur, beim n-Butanol und beim Diethylamin. In Bild 2 waren bereits die Schnittpunkte mit dem Kehrwert der Wassermolmasse bei $\vartheta = 26,3^{\circ}\text{C}$ (Ammoniak), $\vartheta = 36,3^{\circ}\text{C}$ (n-Butanol) und $\vartheta = 33,0^{\circ}\text{C}$ (Diethylamin) ersichtlich.

Die berechneten Konzentrationsänderungen führen zu Veränderungen der Zusammensetzung eines Geruchsstoffgemisches. Für die ausgewählten Geruchsstoffe sind in **Bild 7** die Veränderungen anhand eines Radarplots für verschieden große Taupunktabsenkungen aufgetragen. Das ursprüngliche Geruchsstoffgemisch weist jeweils 100% Ausgangskonzentration auf. Die Taupunktabsenkung wirkt sich unterschiedlich aus, die sehr löslichen Gase zeigen stark verringerte Konzentrationen, die weniger löslichen bis weitgehend unlöslichen Gase dagegen sogar Konzentrationszunahmen.

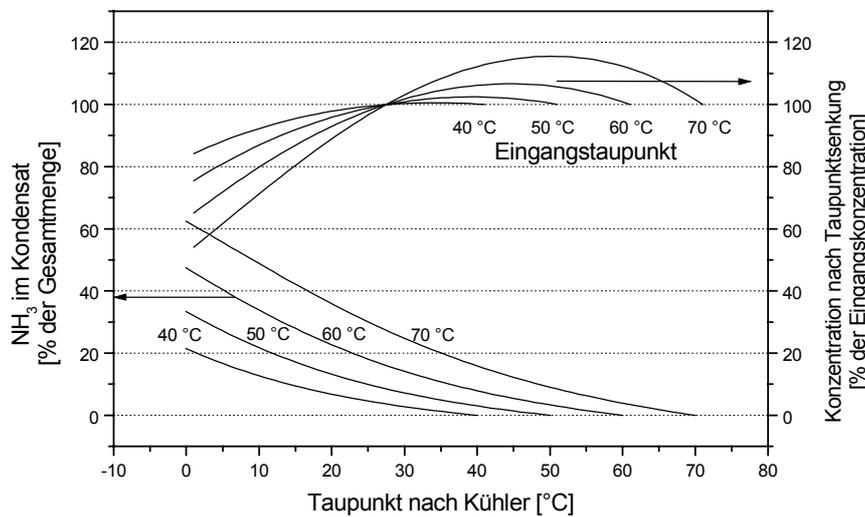


Bild 4: Konzentrationsverschiebung und Auswaschung bei Ammoniak

Auskondensation von Wasser stets eine Erhöhung der Gaskonzentration auf, die um so größer ist, je mehr Wasser durch Taupunktabsenkung kondensiert wird. In **Bild 5** steht die obere Kurvenschar für die unlöslichen Gase, zum Vergleich sind die Kurven für das lösliche Ammoniak eingetragen.

Geruchsstoffe müssen eine gewisse Wasserlöslichkeit aufweisen, da die Aufnahme in der Riechschleimhaut die Voraus-

Auswaschung von Geruchsstoffen

Der für die Zukunft zu erwartende Einsatz von mikrosensorischer Geruchsmesstechnik (‘Elektronische Nasen’) erfordert in der Regel die Konditionierung der Messgasströme. Die Sensoren können nicht direkt mit den Messgasen beaufschlagt werden, da der Feuchteanteil als Störkomponente wirksam ist. Sollen aber Geruchsmischungen von einem Geruchssensorsystem identifiziert werden, so muß der verändernde Einfluß der Gaskonditionierung, wie etwa eine Auswaschung, bekannt sein.

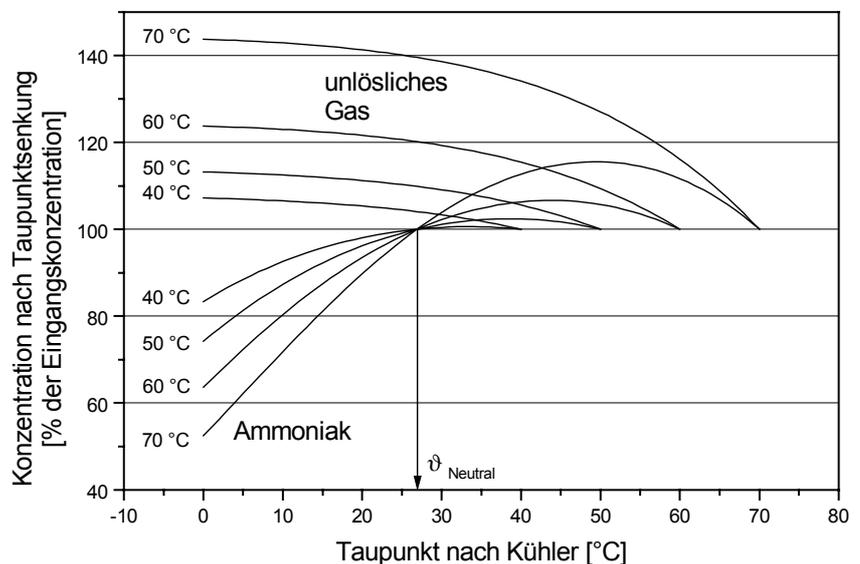


Bild 5: Vergleich der Konzentrationsveränderungen bei unlöslichen Gasen mit Ammoniak

Tabelle 2: Koeffizienten der Henry-Gleichung (Daten aus [5])

Koeffizienten der Henry-Gleichung	Buttersäure	n-Butanol	NH ₃	Diethylamin	H ₂ S
B bzw. C	4000*	7200	4200	10000	2200
$\lambda_{25^\circ\text{C}}$	4700	130	58	130	0,1
A	-4,96	-19,28	-10,03	-28,76	-9,68
$\vartheta_{\text{Neutral}}$	-	36,2	26,3	33,0	-

* kein Wert verfügbar, Annahme

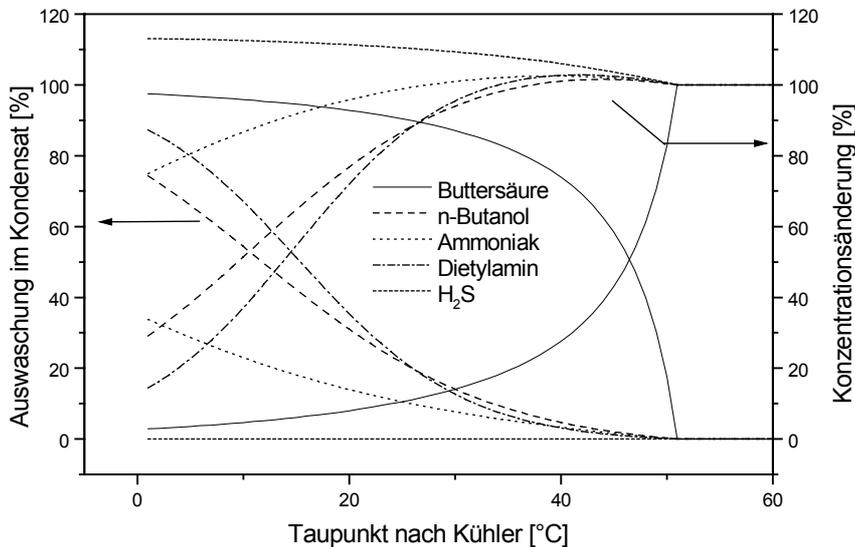


Bild 6: Konzentrationsänderungen bei Geruchsstoffen

Taupunktsenkung durch Zumischung von trockener Luft

Bei der Probenahme von geruchsbelasteten Luftströmen wird anstelle einer Auskondensation des Wasseranteils trockene Luft zugemischt, um das Problem der Auswaschung zu vermeiden. Die Probenverdünnung ist bei Proben für die olfaktometrische Messung unproblematisch, da ohnehin im Olfaktometer bis auf die Geruchsschwelle verdünnt werden muß. Für die online Messung von Geruchsstoffen stellt dagegen die Verdünnung ein Problem dar, da die typischerweise niedrigen Konzentrationen weiter verdünnt werden. Zur Berechnung des Verdünnungseffektes kann der in Gleichung 1 definierte Was-

sergehalt x herangezogen werden. Die hohe Eingangsfeuchte x_{ein} unterscheidet sich von der Endfeuchte x_{end} nach Zumischung von trockener Luft durch den Anteil trockener Luft.

Eine einfache Bilanzierung mit den Gleichungen:

$$c'_{\text{ein}} = \frac{m_G}{m_{\text{ges,ein}}} = \frac{m_G}{m_{\text{tr,L,ein}} + m_W} = \frac{m_G}{m_{\text{tr,L,ein}}(1 + x_{\text{ein}})} \quad (13)$$

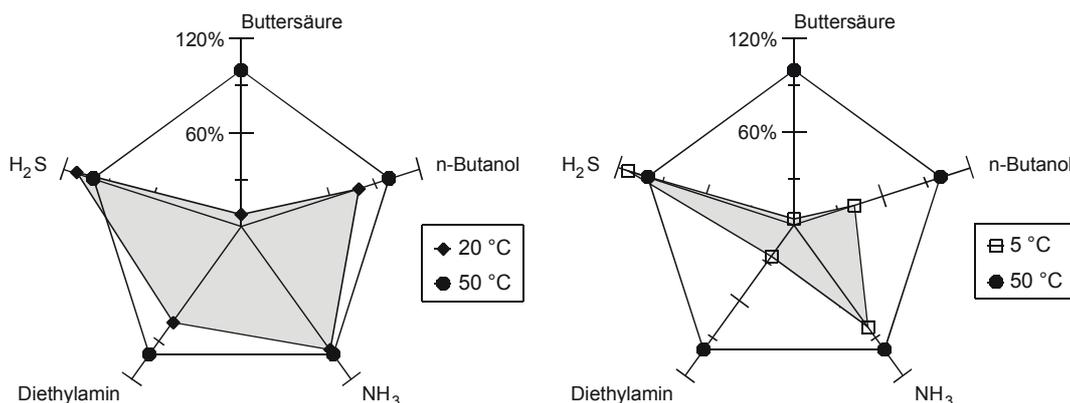


Bild 7: Veränderung des Geruchsmusters durch Absenkung des Taupunktes von 50°C auf 20°C bzw. 5°C

$$c'_{\text{end}} = \frac{m_G}{m_{\text{ges,end}}} = \frac{m_G}{m_{\text{tr,L,end}} + m_W} = \frac{m_G}{m_{\text{tr,L,end}}(1 + x_{\text{end}})} \quad (14)$$

$$m_{\text{tr,L,end}} \cdot x_{\text{end}} = m_{\text{tr,L,ein}} \cdot x_{\text{ein}} \quad (15)$$

führt zur Beziehung:

$$c'_{\text{end}} = c'_{\text{ein}} \frac{\frac{1}{x_{\text{ein}}} + 1}{\frac{1}{x_{\text{end}}} + 1} \quad (16)$$

In Bild 8 ist Gleichung 16 für drei Endtaupunkte nach der Zumischung von trockener Luft ausgewertet. Es ist ersichtlich, daß bei einer Eingangsfeuchte mit einem Taupunkt von 60°C und einer angezielten Endfeuchte mit einem Taupunkt von 20°C die Konzentration auf nur noch 11% absinkt. Für online Messungen ist daher die Methode der Gasverdünnung problematisch, auch wenn bei der Verdünnung die Mischung der Geruchsstoffe konstant bleibt.

Korrekturrechnung für Gasmessungen

Mit den vorgestellten Berechnungsmethoden für Konzentrationsänderungen können die tatsächlichen Emissionen von biologischen Emittenten ermittelt werden. Ohne Berechnung der Konzentrationseffekte treten erhebliche Unter- aber auch Überschätzungen auf.

In Bild 9 ist die Messkette für die Untersuchung eines warmen biologischen Emittenten mit Zwangsbelüftung dargestellt. Der Fall entspricht beispielsweise der Beprobung eines Biofilters oder einer eingehausten Kompostierung. Ziel ist die Ermittlung des Emissionsmassenstromes, der den Emittenten verläßt. Dem warmen

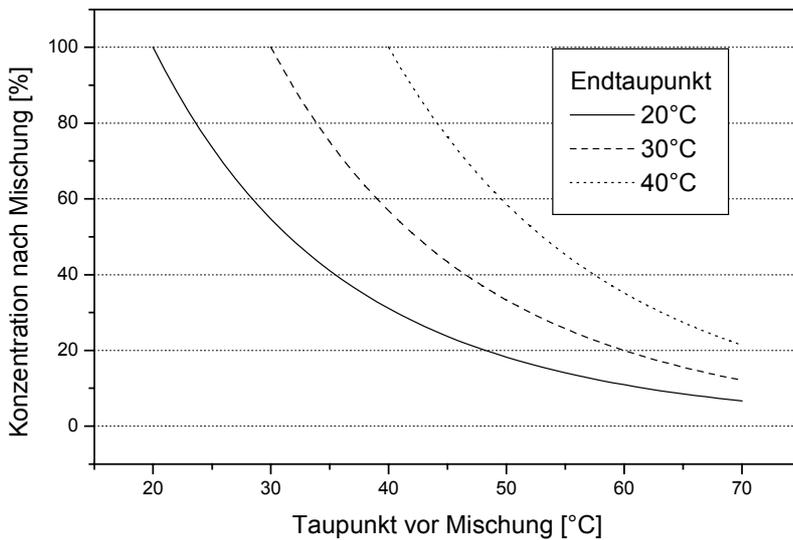


Bild 8: Konzentrationsverdünnung bei Taupunktsenkung durch Zumischung von trockenem Gas

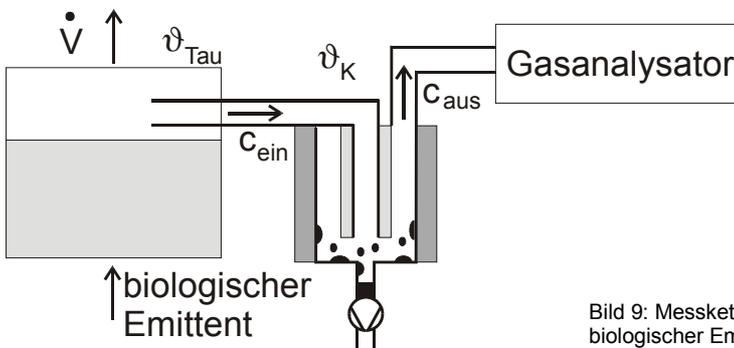


Bild 9: Messkette zur Messung biologischer Emissionen

und feuchten Messgas wird mit einem Kühler Feuchte entzogen. Der Gasanalysator misst nach dem Kühler eine durch die Kondensation und Auswaschung veränderte Konzentration c_{aus} . Die Rückrechnung auf die tatsächliche Konzentration c_{ein} vor dem Kühler lautet:

$$c_{\text{ein}} = \left[(p_{s\text{Tau}} - p_{sK}) \cdot M_W \cdot \Lambda_K + p_{\text{ges}} - p_{s\text{Tau}} \right] \cdot (p_{\text{ges}} - p_{sK})^{-1} \cdot c_{\text{aus}} \quad (17)$$

Bei Kenntnis des Volumenstroms \dot{V}_{Luft} , der den Emittenten verlässt, ist der Emissionsmassenstrom gegeben durch:

$$\dot{m} = \frac{c_{\text{ein}} \cdot \dot{V}_{\text{Luft}} \cdot M_{\text{Gas}} \cdot T_{\text{norm}}}{v_{\text{molar}} \cdot T_{\text{mess}}} \quad (18)$$

Die Temperaturkorrektur $T_{\text{norm}}/T_{\text{mess}}$ ist zur Umrechnung des bei T_{mess} gemessenen Volumenstroms \dot{V}_{Luft} auf Normbedingungen erforderlich.

Zusammenfassung

Bei Gaskonzentrationsmessungen nach Messgaskühlern müssen Veränderungen der Gaskonzentrationen durch Kondensation und Auswaschung in den Rückrech-

nungen auf die tatsächlichen Werte berücksichtigt werden. Ohne Kompensation der Konzentrationsverschiebungen treten sowohl bei wasserlöslichen, als auch bei unlöslichen Gasen erhebliche Fehler auf. Bei Geruchsstoffen tritt ein zusätzlicher Effekt auf. Durch die unterschiedlichen Löslichkeiten verändert sich die Mischungszusammensetzung und damit der Geruchseindruck. Für olfaktometrische Beprobungen ist deshalb der Einsatz von Messgaskühlern problematisch. Umgekehrt sinkt bei der Verdünnung von Probegasen die Konzentration drastisch ab, was eine messtechnische Erfassung erschwert.

Im Beitrag werden die erforderlichen Berechnungsbeziehungen angegeben und anhand eines Beispiels die Rückrechnung und die Ermittlung des Emissionsmassenstroms durchgeführt.

Verwendete Formelzeichen

p_{ges}	[bar]	Gesamtdruck
$p_s(\vartheta)$	[bar]	Sättigungsdruck von Wasser bei Temperatur ϑ
p_{sK}	[bar]	Sättigungsdruck von Wasser bei Temperatur ϑ_K
$p_{s\text{Tau}}(\vartheta)$	[bar]	Sättigungsdruck von Wasser bei Temperatur ϑ_{Tau}

p_d	[bar]	Partialdruck von Wasser
p_{Gas}	[bar]	Partialdruck des Gases
rF	%	Relative Feuchte
n_i	[mol]	Molzahl einer Komponente i
x	[kg/kg _{tr.Luft}]	Feuchtebeladung bezogen auf Anteil trockener Luft
x'	[kg/kg _{ges}]	Feuchtebeladung bezogen auf gesamte Luft
M_W	[kg/kmol]	Molgewicht von Wasser (18,016)
M_{Luft}	[kg/kmol]	Molgewicht von Luft (Mittelwert: 28,96)
M_{Gas}	[kg/kmol]	Molgewicht des Gases
$c_{\text{gel.Gas}}$	[mol/kg]	Gleichgewichtskonzentration in Wasser
c_{ein}	[m ³ _{Gas} /m ³ _{Luft}]	Konzentration des Messgases
c_{aus}	[m ³ _{Gas} /m ³ _{Luft}]	Konzentration nach dem Kühler
c'	[kg _{Gas} /kg _{Luft}]	massebezogene Konzentration
m_i	[kg]	Massenanteil von i : Gas, Wasser bzw. trockener Luft
$\lambda(\vartheta)$	[mol/kg bar]	Absorptionskoeffizient
$\Lambda(\vartheta)$	[mol/kg]	Absorptionskoeffizient
Λ_K	[mol/kg]	Absorptionskoeffizient bei Temperatur ϑ_K
ϑ_K	[°C]	Temperatur des Kühlers
ϑ_{Tau}	[°C]	Taupunkt des Messgases
$\vartheta_{\text{Neutral}}$	[°C]	Neutraltemperatur (keine Konzentrationsänderung)
T_{norm}	[K]	Normtemperatur (273,15 K)
T_{mess}	[K]	Temperatur bei Messbedingungen
$\dot{V}(T_{\text{mess}})$	[m ³ /s]	Volumenstrom des Emittenten bei T_{mess}
v_{molar}	[m ³ /mol]	Molvolumen bei T_{norm} (22,4 · 10 ⁻³ m ³ /mol)
\dot{m}	[kg/s]	Emissionsmassenstrom

Literatur

- [1] M&C Products Analysetechnik, Ratingen, Datenblätter Messgaskühler
- [2] Baehr, H.D.: Thermodynamik, 5. Aufl., Berlin: Springer, 1981
- [3] VDI-Wärmeatlas, 7.Aufl., Düsseldorf: VDI-Verlag, 1994
- [4] Jakubith, M.: Chemische Verfahrenstechnik, Weinheim: Wiley-VCH, 1991
- [5] Datenbank des National Institute of Standards and Technology, NIST: <http://webbook.nist.gov/chemistry/>
- [6] Boeker, P. et al. (1999): Messung biogener Gase: Konzentrationsverschiebungen durch Auskondensation von Gasfeuchte, Agrartechnische Forschung 5 (1999) Heft 1, S. 11-18

Autor

Dr. rer. nat. Peter Boeker
Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn
Tel.: +49/(0)228/732387
Fax: +49/(0)228/732596
E-mail: boeker@uni-bonn.de