

# Die Kunst der Geruchsanalyse zur Qualitätssicherung von Lösungsmitteln

Gerd Scharfenberger, Uwe Matschulat, Silke Gleser

In Zukunft sollen vermehrt verschiedene Lösungsmittel biotechnologisch hergestellt werden. Diese können jedoch Fremdgerüche enthalten, die möglicherweise von den Druckfarben auf der Verpackung zurückbleiben und im schlimmsten Fall auf das Füllgut übergehen. Hierbei spielen Geruchstests eine wichtige Rolle zur Ergänzung der gaschromatografischen Analyse. Darüber hinaus sind diese Tests entscheidend für die Qualitätssicherung der Verpackungen. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, hat QUMA fünf spezifische Test-Sets entwickelt. Sollten weitere Geruchsprobleme auftreten, könnten neue Test-Sets folgen.

Die Nase ist das älteste und eines der leistungsfähigsten Analysengeräte des Menschen. Farben und Lacke sind oft mit einem Geruch verbunden – sei es aufgrund der Rohstoffe oder des Endprodukts, wie etwa der Verpackung. Dabei sollte die Verpackung jedoch einen neutralen Geruch aufweisen, um den Inhalt nicht negativ zu beeinflussen. Der Geruchssinn, häufig als „graue Eminenz“ der Sinnesorgane bezeichnet, ist unbewusst immer präsent und im Gehirn tief verankert. Interessanterweise speichert das Gehirn Erinnerungen an Gerüche besser als an Farben. Farbnuancen unterscheiden wir nur dann

präzise, wenn die Proben nebeneinander liegen, es sei denn, es handelt sich um große Farbunterschiede. Aus diesem Grund ist die Geruchsprüfung eine wertvolle Ergänzung zur instrumentellen Analytik.

## Geruch und Geschmack

Geschmacksstoffe und Geruchsubstanzen unterscheiden sich hauptsächlich durch ihr Molekulargewicht. Während Geschmacksstoffe unterschiedliche Gewichte haben können, müssen Geruchsubstanzen flüchtig sein und haben in der Regel ein Molekulargewicht von unter 350 g/mol (Abbildung 1 und 2). Der Geruch trägt maßgeblich zum Geschmackserlebnis bei – etwa 80% des wahrgenommenen Geschmacks kommen von der Nase, während die Zunge nur etwa 20% beiträgt. Diese Tatsache wird besonders deutlich, wenn wir an einem starken Schnupfen leiden: Alles schmeckt gleich, da das Geschmackserlebnis hauptsächlich durch den Geruch vermittelt wird. Der Geruchssinn ist daher entscheidend für den Erfolg von Lebensmitteln und Genussmitteln – was nicht „schmeckt“, wird nicht gekauft.

## Geruchswahrnehmung

Gerüche haben die Fähigkeit, sowohl positive als auch negative emotionale Reaktionen beim Menschen auszulösen. Im Zusammenhang mit Lebensmitteln sind angenehme Gerüche oft ein Indikator für Frische und Unversehrtheit der Ware, was sie für Verbraucher besonders wichtig macht. Auf der anderen Seite warnen unangenehme Gerüche vor möglichen gesundheitsschädlichen Veränderungen. Sie dienen somit als ein natürlicher Schutzmechanismus, der uns vor dem Konsum verdorbener oder gefährlicher Produkte bewahrt. Die Nase ist ein erstaunlich leistungsfähiges Geruchsorgan. Der niedrigste bekannte Geruchsschwellenwert gehört dem 2,4,6-Trichloranisol, dem sogenannten Korkgeruch im Wein (Abbildung 3). Erfahrene Weintrinker können diesen Geruch noch bei Konzentrationen von nur 10 ppt wahrnehmen, das entspricht 10 Nanogramm pro Liter<sup>[1]</sup>. Gelegenheitsweintrinker benötigen

deutlich höhere Konzentrationen, um den Korkgeruch zu erkennen.

## Die Nase: Ein hochkomplexes Organ

Die Nase ist ein hochkomplexer Strömungskanal. Beim Einatmen wird die Luft in der Nase erwärmt, von Staubpartikeln gereinigt und befeuchtet, bevor sie zur Riechschleimhaut transportiert wird. In der Riechschleimhaut findet eine Art chromatografische Trennung statt<sup>[3]</sup>, bei der rund 350 verschiedene, hochspezifische Riechzellen auf verschiedene Substanzklassen ansprechen. Diese Zellen haben eine kurze Lebensdauer von nur wenigen Tagen und werden dann ersetzt. Anders als andere Sinnesreize gelangen Geruchsreize direkt in das limbische System, einen Teil unseres Hirns, das für Emotionen zuständig ist. Dort werden Gerüche gespeichert (Abbildung 4) und mit Erinnerungen verknüpft. So erinnern uns bestimmte Gerüche an Erlebnisse aus der Kindheit, beispielsweise der Duft von Süßigkeiten, die auch heute noch so gut wie früher schmecken. Karl Lagerfeld sagte einmal: „Ein Duft muss die besten Augenblicke des Lebens wieder wachrufen.“ Neben der Riechfunktion beherbergen die Nase sowie der Unter- und Oberkiefer den Nervus Trigemini, der auf Temperatur, Schmerz und bestimmte Reizstoffe wie Salzsäure, Essigsäure, Ammoniak, Chlor und Pyrolysegase reagiert. Dieser Nerv warnt uns beispielsweise, wenn es in der Wohnung brennt. Interessanterweise liegen die meisten MAK-Werte (maximale Arbeitsplatzkonzentration) über der Geruchsschwelle – Ausnahmen sind beispielsweise Kohlenmonoxid und Blausäure.

## Hedonik: Die Wahrnehmung von angenehmen und unangenehmen Gerüchen

Die Hedonik, ein Zweig der Psychologie, beschäftigt sich mit der Analyse angenehmer und unangenehmer Bewusstseinszustände und deren Beziehung zum organischen Leben. Im Bereich der Geruchswahrnehmung stellt sich die zentrale Frage: Ist ein Geruch angenehm oder unangenehm? Die Be-

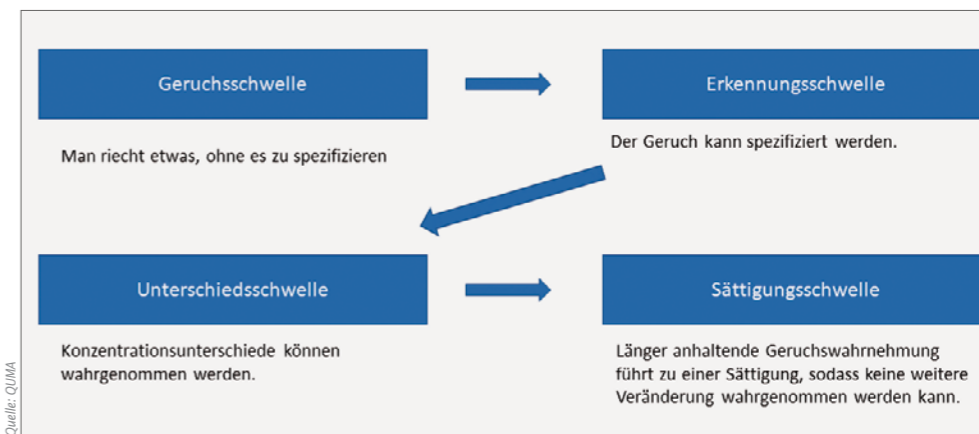


Abbildung 3: Schwellenwerte

antwortung dieser Frage ist entscheidend, da Gerüche stark mit Emotionen und Erinnerungen verknüpft sind. Eine häufig angewandte Methode zur Bewertung von Gerüchen ist die Peryam- und Pilgrim-Skala. Diese eindimensionale Hedonik-Messkala reicht von -4 bis +4, wobei 0 für eine neutrale Geruchsempfindung steht. Ein Geruch wie Chanel No. 5 könnte beispielsweise mit +4 bewertet werden, da er als besonders angenehm gilt, während konzentrierter Schweißgeruch auf der Skala mit -4 eingestuft werden könnte (Abbildung 5).

Auch das Marketing hat das Potenzial solcher Auswertungen erkannt. So hat die Universität Rostock in Zusammenarbeit mit der Siegwark Druckfarbenfabrik ein Forschungsprojekt zur Hedonik

von Lösungsmitteln durchgeführt, um besser zu verstehen, wie Gerüche von Menschen wahrgenommen werden und welche Auswirkungen sie haben können.

## Olfaktometrie: Die Messung von Geruchsschwellen

Die erste Bestimmung von Geruchsschwellen wurde bereits 1887 von Emil Fischer und Franz Penzoldt durchgeführt. Für ihre Experimente nutzten sie den Hörsaal des Würzburger Instituts, der damals als das größte Olfaktometer der Welt diente. Im Laufe der Zeit wurde jedoch klar, dass für alltägliche Anwendungen ein kleineres Gerät erforderlich war, um präzise Geruchsmessungen vornehmen zu können. So entwickelte sich die Ol-

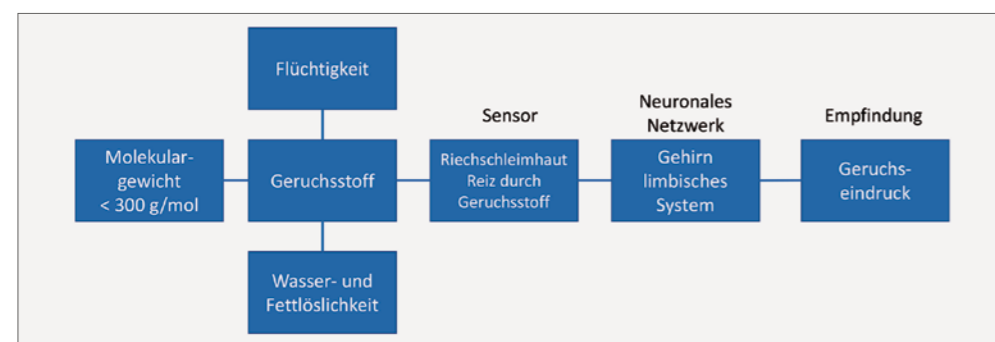


Abbildung 1: Wahrnehmung des Geruchs<sup>[6]</sup>

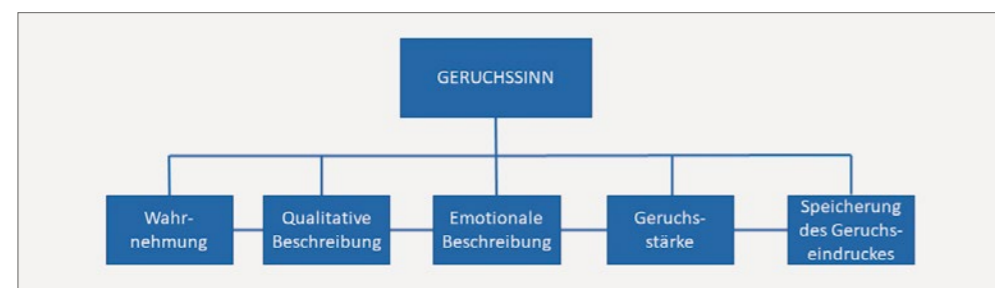


Abbildung 2: Leistungsfähigkeit des Geruchssinns<sup>[6]</sup>: Die Nase fungiert als hochempfindlicher Sensor, während das Gehirn als Auswertungseinheit und Datenspeicher dient – gemeinsam bilden sie das leistungsstärkste „Analysegerät“ der Welt, weit überlegen jedem modernen Computer

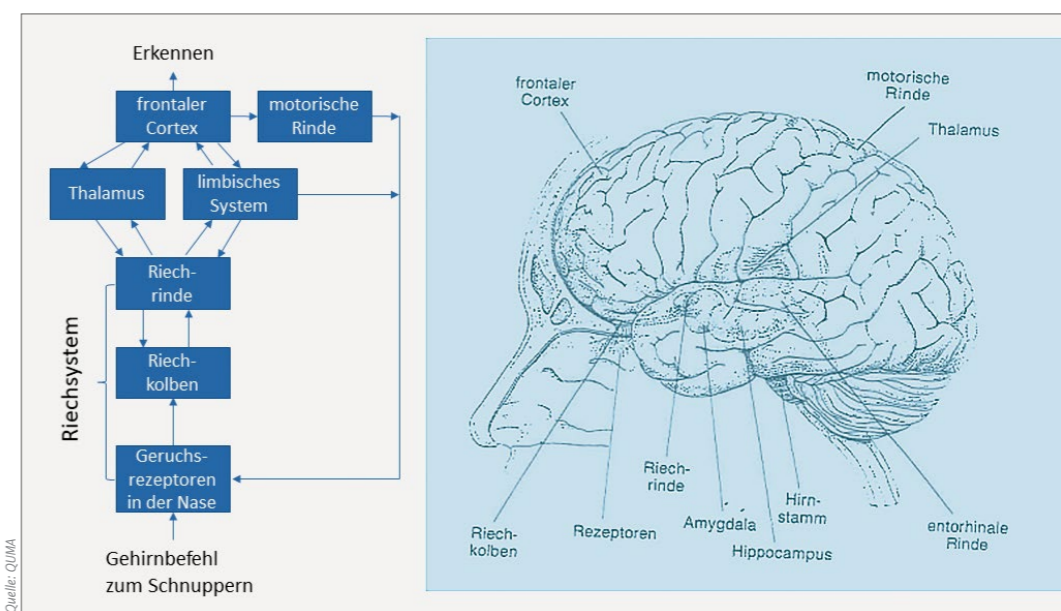


Abbildung 4: Die Wechselwirkung zwischen der Riechrinde und dem Riechkolben sowie die Rückkopplung mit anderen Hirnregionen (rechts) sind entscheidend für die Aufrechterhaltung und Steuerung der komplexen Prozesse im Riechsystem (links). Das limbische System spielt dabei eine wichtige Rolle, um Gerüche wahrzunehmen

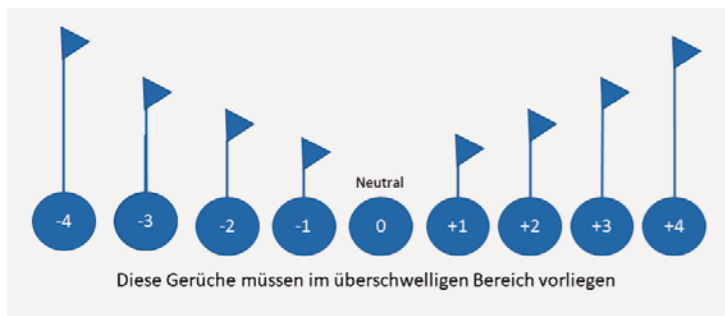


Abbildung 5: Hedonische Wirkung einer Geruchsprobe [5] Negativ-Positiv – Emotionale Skala

faktometrie zu einem vollständigen Messverfahren zur Bestimmung von Geruchsintensitäten. Ein Beispiel für ein statisches Olfaktometer ist das von Gerd Scharfenberger [8] entwickelte Modell. Dabei wird eine kleine Probe, etwa 1 µl Lösungsmittel, in eine 120-ml-Headspaceflasche injiziert. Anschließend wird Luft über eine Dosierschleife in die Flasche geleitet, bis ein Überdruck von 1 bar entsteht. Die eigentliche Geruchsmessung erfolgt durch eine Nasenmaske, die auf der Ausgangsseite des Systems montiert ist. Über ein Nadelventil wird die Luft in Entspannungsschritten freigesetzt. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis der Geruch nicht mehr wahrnehmbar ist, was die genaue Bestimmung der Geruchsschwelle ermöglicht [2].

**Verfahren zur Geruchsanalyse**

In der Olfaktometrie werden Geruchsschwellen von Substanzen ge-

messen, um deren Geruchseigenschaften zu bewerten. In einer Untersuchung wurden 14 verschiedene Lösungsmittel anhand der Geruchsschwellenwerte von sechs Probanden analysiert (Tabelle 1 und Tabelle 2) [2]. Die Lösungsmittel werden dabei in stark und schwach riechende Stoffe unterteilt. Innerhalb einer Lösungsmittelklasse besteht ein Zusammenhang zwischen dem Molekulargewicht und der Geruchsschwelle: Je höher das Molekulargewicht, desto niedriger ist die Geruchsschwelle [4]. Das statische Olfaktometer, das von der Firma QUMA Elektronik & Analytik GmbH aus Wuppertal hergestellt wird, eignet sich für die Analyse von Flüssigkeiten, Feststoffen und Gasen. Zur Probenahme können Headspace-Flaschen auch evakuiert werden.

**Geruchsanalyse als Ergänzung zur instrumentellen Analytik**

Bei der Kontrolle von Lösungsmitteln, die per Tankwagen angeliefert werden, ist die Gaschromatographie die bevorzugte Methode. Allerdings ist es aufgrund der kurzen Wartezeit des Tankwagens (20–30 Minuten) oft notwendig, die Analyse zu optimieren. Hier kann die Geruchsprü-

fung mittels Riechstreifen eine wertvolle Unterstützung bieten. In der Parfüm- und Aromenindustrie hat sich diese Methode über Jahrzehnte bewährt. Auf dem Riechstreifen findet eine fraktionierte Destillation statt, bei der Experten mit viel Erfahrung kleinste Verunreinigungen riechen können, die der Gaschromatograph in kurzer Zeit möglicherweise nicht erkennt. Ein umfassender gaschromatographischer Test würde den Tankwagen mehrere Stunden aufhalten, was betriebswirtschaftlich nicht tragbar ist. Geschulte Laien können durch Geruchstests schnell den analytischen Wert dieser Methode erkennen [4]. Die Firma QUMA hat spezielle Testsets für Druckereilabore entwickelt. Eines dieser Sets enthält 27 häufig verwendete Lösungsmittel, die rund 90% der im Tief- und Flexodruck eingesetzten Stoffe abdecken. Das Set dient Riechübungen und hilft, die verschiedenen Lösungsmittel anhand ihres Geruchs zu identifizieren. Diese Schulungen bilden die Grundlage für erste Riechtests und unterstützen die Identifikation unbekannter Lösungsmittel in der Gaschromatographie.

**Schnüffeln statt Riechen**

Bei der Geruchsanalyse mit dem Riechstreifen wird nicht gerochen, sondern geschnüffelt. Unter schnüf-

feln versteht man das stoßartige Einatmen von Luft in die Nase. Unser Gehirn bekommt durch den vermehrten Luftstrom mitgeteilt, dass es eine Geruchsanalyse durchführen muss. Die Unterschiede zwischen Riechen und Schnüffeln wurde durch die Magnetresonanztomographie nachgewiesen [7]. Beim Riechen besetzen ca. 5% der Geruchsstoffe die Rezeptoren in der Riechschleimhaut, während es beim Schnüffeln etwa 20% sind.

**Praktische Anwendung von Riechsets**

Ein gängiges Lösungsmittel in der Farben- und Lackindustrie ist Ethanol, und es wird zunehmend auf Bioethanol umgestellt. Die Analyse dieser Lösungsmittel erfolgt meist durch gaschromatographische Verfahren, um Verunreinigungen zu erkennen, bevor das Ethanol entladen wird. Bei der Anlieferung z.B. mit dem Tankwagen können jedoch leichtflüchtige und schwerflüchtige Stoffe zu Verunreinigungen führen, die durch den Transport entstehen. Hier kann ein einfacher Geruchstest schnell Hinweise auf potenzielle Verunreinigungen wie Diesel oder Öl geben, die den Geruch des Ethanols beeinträchtigen können.

Ein Workshop der Universität Kassel zeigte, dass 51 von 54 Teilnehmern Diesel in einer Konzentration von 500 ppm in Ethanol erkennen konnten, während einige Teilnehmer sogar bei geringeren Konzentrationen von 100 ppm und 50 ppm noch Diesel wahrnehmen konnten. Durch regelmäßige Übung lässt sich die Geruchsempfindlichkeit weiter steigern. Für kritische Fälle wird die Dreiecksprüfung nach DIN ISO 4120 [9] empfohlen,

Tabelle 2: Geruchsschwellen von Lösemitteln in Relation zum Molekulargewicht [4]

Lösemittel	Molekulargewicht [g/mol]	Geruchsschwelle [mg/m3]
Methylacetat	74	579
Ethylacetat	88	141
Isopropylacetat	102	68
n-Butylacetat	116	4
Methanol	32	1975
Ethanol	46	988
Isopropanol	60	491
n-Propanol	60	16
n-Butanol	74	0,13
Benzol	78	193
Toluol	92	17
Xylol	106	4
Aceton	58	242
Methylethylketon	72	126

bei der die Probanden drei Proben riechen und die abweichende Probe identifizieren müssen.

**Modifizierter Riechstreifentest**

Bei der klassischen Geruchsprüfung mit Riechstreifen kann die Flüssigkeitsmenge variieren. Ziel des modifizierten Tests ist es, immer mit einer identischen Volumenmenge zu arbeiten, um konsistente Ergebnisse zu erzielen. So wird beispielsweise eine Probe mit 20 µl auf einen Riechstreifen gespritzt, so dass jeder Prüfer dieselbe Menge auf seinem Streifen hat.

Für eine Verdünnungsreihe werden unterschiedliche Volumina verwendet, was mit speziellen Mikroliterspritzen ermöglicht wird. Bei starken Gerüchen wird eine Verdünnung bis zu 1:1000 erreicht. Diese Methode ist vielseitig für ver-

schiedene Probleme der Geruchsstärke. Bei den Geruchstesten sollte der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Raum unter 1500 ppm liegen. Bei höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen kann es bei den Probanden zu Konzentrationsstörungen kommen.

**Fazit**

Die Geruchsprüfung ist eine wertvolle Ergänzung zur instrumentellen Analytik. Sie ist zeit- und kostensparend und fördert die Qualitätssicherung im Produktionsprozess. Der modifizierte Riechstreifentest ist besonders hilfreich bei der Bestimmung von Geruchsstärken und bietet eine praktische Lösung für zahlreiche Herausforderungen der Geruchsanalyse. Dabei sollte man sich immer vor Augen halten: Der Gaschromatograph ist keine Nase.

**Literatur**

- [1] Quadbeck-Seeger H.; Chemie der Rekorde; Wiley-VCH 1997
- [2] Scharfenberger G., Römer H., Lorbach V.; GIT Laborzeitschrift 1/2013
- [3] Fricken A. und Brock M., Lebensmittel – mit allen Sinnen prüfen
- [4] Scharfenberger G., Matschulat U., Gleser S., Flexo-Tief-Drucke 1-2018
- [5] Kleinschmidt E-G, Scharfenberger G., Just T., Rostocker Medizinische Beiträge, Heft 9, Universitätsdruckerei Rostock 585/00
- [6] Scharfenberger G., Lorbach V., Farbe und Lack 3/2015
- [7] Sobel N., Prabhakaran V., Desmond JE., Glover GH., Goode RL., Sullivan EV., Gabrieli JDE., Sniffing and smelling: different subsystems in the olfactory cortex, Nature, 1998, 392, S. 282-286
- [8] Scharfenberger G., Papier und Kunststoff-Verarbeiter 10/1990
- [9] DIN EN ISO 4120:2021-06, Sensorische Analyse – Prüfverfahren – Dreiecksprüfung
- [10] Zenner H.P., Zrenner E., Physiologie der Sinne, Spektrum Akademischer Verlag

Tabelle 1: Olfaktometrische Untersuchung ausgewählter Lösemittel [4]

Lösemittel	Einwaage [µl]	Konzentration [mg/m3]	Zahl der Extraktionen	Experimentelle Geruchsschwelle [mg/m3]	Geruchsschwelle Literaturwerte [mg/m3]
Toluol	0,5	4360	8	17	0,6-153
Ethylacetat	1,0	9000	6	141	0,2-183
Ethanol (vergällt mit 2% Cyclohexan)	1,0	7900	6	123	
Ethanol p.a.	1,0	7900	3	988	19-672
Methylethylketon	1,0	8060	6	126	30-80
Isopropanol	1,0	7850	4	491	80-250
Benzin 80/110	1,0	7160	4	448	3300
Xylol	0,5	4325	10	4	1-100
Isopropylacetat	1,0	5700	7	68	140
Methanol	1,0	7900	2	1975	606-7800
n-Propanol	1,0	8035	9	16	30-250
n-Butanol	1,0	8100	16	0,13	0,36-77
n-Butylacetat	1,0	8820	11	4	0,35-48
Methylacetat	1,0	9270	4	579	145-550
Ammoniak				1	0,7-70
Styrol				1	0,43-866

1/4 quer rechts  
 Anschnitt: 210 x 74  
 Satzspiegel: 178 x 65  
 x: 210  
 y: 0