

DUID 2.0: Untersuchungen über die forensisch-analytische Nachweisbarkeit eines Lachgas-Konsums bei Straßenverkehrsdelikten

Paul Stach^{1,*}, Hilke Andresen-Streichert¹, Lina Lucuta¹, Tobias Kieliba¹, Mario Thevis², Martin Jübner¹

¹Forensische Toxikologie und Alkoholologie, Institut für Rechtsmedizin, Uniklinik Köln

²Institut für Biochemie, Deutsche Sporthochschule Köln

*Korrespondierender Autor: paul.stach@uk-koeln.de

1. Einleitung - Lachgas Medikament und Missbrauchsdroge

Historie. Distickstoffmonoxid (N₂O), auch bekannt als Lachgas, hat eine lang zurückreichende Historie als Inhalationsnarkotikum, die hauptsächlich auf den analgetischen Effekt des Gases zurückzuführen ist [1]. Der Konsum als Rauschdroge geht sogar noch weiter zurück und fand seinen Anfang in den Experimenten von Humphry Davy Ende des 18. Jahrhunderts. Im Rahmen seiner Untersuchungen inhalierte er zunächst selber das Gas. Sukzessive lud er immer mehr Gäste zum „Pneumatic Institute“ in Bristol (England) ein und verabreichte ihnen Lachgas. Seine persönlichen Erfahrungen sowie die Erfahrungen seiner Gäste dokumentierte er später in seinem Buch „Researches, Chemical and Philosophical; Chiefly Concerning Nitrous Oxide: Or Dephlogisticated Nitrous Air, and its Respiration“ [2].

Auch die Idee, Lachgas für zahnmedizinische Eingriffe einzusetzen, geht auf ähnliche Umstände zurück. Gardner Quincy Colton brach sein Medizinstudium ab, um private Vorträge zu halten. Schon zum Ende seines Studiums hatte er gemerkt, dass Vorträge zu Lachgas auf großes Interesse stießen. Somit veranstaltete er im Jahre 1844 seinen ersten kommerziellen Vortrag über Lachgas, bei dem Freiwillige aus dem Publikum das Gas inhalierten. Der finanzielle Erfolg veranlasste ihn dazu, weitere solcher Vorträge zu veranstalten [3]. Bei einem dieser Vorträge am 10. Dezember 1844 saß der Zahnmediziner Dr. Horace Wells im Publikum und beobachtete, wie ein Mann unter der Wirkung von Lachgas stolperte, sich verletzte, hierbei jedoch keine Schmerzen verspürte. Dies brachte Dr. Wells auf die Idee, diesen Effekt auch für zahnmedizinische Einsätze zu nutzen. Am folgenden Tag brachte Colton Lachgas zur Praxis von Dr. Wells und dieser ließ sich durch einen Kollegen (Dr. Riggs) einen Backenzahn ziehen. Durch das Gas habe Dr. Wells „nicht mal einen Nadelstich gespürt“ [3,4]. Da eine offizielle Demonstration am „Massachusetts General Hospital“ im Jahre 1845 scheiterte und Dr. Wells Probleme hatte, seine zahnmedizinischen Kollegen von der anästhetischen Wirkung von Lachgas zu überzeugen, dauerte es bis zum Jahre 1863, bis Colton die Idee wiederaufleben ließ und die „Colton Dental Association“ gründete, wo er nach eigenen Angaben über 150.000 Patienten mit Lachgas-Narkose behandelte [4].

Der Freizeitkonsum von Lachgas durchlief seit dem 19. Jahrhundert mehrere Perioden mit unterschiedlicher kultureller Relevanz. In den letzten Jahren hat der Konsum von Lachgas wieder deutlich zugenommen. Dies hängt vermutlich mit der Verbreitung über soziale Medien und der gesteigerten Verfügbarkeit des Gases in Form von Kapseln bzw. Zylindern, die eigentlich für die Herstellung von Schlagsahne vorgesehen sind, zusammen. Besonders der um 2017 begonnene Verkauf von großen Zylindern (300 bis 5000 L N₂O) hat dazu beigetragen, Lachgas günstig in größeren Mengen verfügbar zu machen und somit einen regelmäßigen und stark ausgeprägten Konsum zu Rauschzwecken zu fördern [5]. Die Substanz ist besonders bei jungen Leuten beliebt: Im Global Drug Survey (GDS) von 2021 gaben 24 % der 16- bis 24-Jährigen

an, in den letzten 12 Monaten das Gas inhaliert zu haben [6]. Für Deutschland gibt es derzeit noch keine Statistiken über die Konsumentenzahlen. Zwei separaten Studien zufolge ist die Anzahl an Patienten, die mit neurologischen Störungen – infolge eines chronischen Lachgaskonsums – behandelt wurden, im Zeitraum zwischen 2020 und 2024 allerdings deutlich gestiegen. Mehr als die Hälfte (58 %) der insgesamt 43 Fälle stammten aus dem Jahr 2024 [7,8]. Als politische Konsequenz wurde am 13. November 2025 durch den Deutschen Bundestag beschlossen, dass Lachgas bei einer Füllmenge über 8,4 g dem Umgangsverbot des § 3 NpSG unterfallen soll. Auch der Verkauf an Minderjährige soll bundesweit verboten werden. Das Gesetz soll voraussichtlich im April 2026 in Kraft treten [9].

Wirkung. Pharmakologisch zählt Lachgas zu den Inhalationsnarkotika und wirkt vor allem analgetisch. Die narkotische Wirkung ist eher gering [10]. Beim medizinischen Einsatz wird Lachgas immer in Kombination mit Sauerstoff eingesetzt, um eine Hypoxie zu vermeiden. Für schwerwiegendere Operationen wird es außerdem mit stärker narkotisch wirkenden Substanzen (wie z. B. Propofol) kombiniert. Der genaue Wirkmechanismus von Lachgas ist noch nicht entschlüsselt. Die analgetische Wirkung beruht mutmaßlich auf einer Aktivierung des absteigenden schmerzhemmenden Systems. Diese Aktivierung resultiert vermutlich auf der Freisetzung endogener Opiode im Mittelhirn, die anschließend zu einer Opioid-Rezeptor-bedingten Hemmung von GABAergen Interneuronen führt, was wiederum eine Disinhibition noradrenerger Neuronen des absteigenden schmerzhemmenden Systems zur Folge hat [11]. Die anästhetische Wirkung beruht hingegen auf einer antagonistischen Wirkung von Lachgas am *N*-Methyl-*D*-Aspartat (NMDA)-Rezeptor. Des Weiteren besitzt Lachgas einen anxiolytischen Effekt als Folge seiner agonistischen Wirkung am GABA_A-Rezeptor [12].

Bei der Inhalation des Gases im Rahmen des „Freizeitkonsums“ setzt die Wirkung nahezu unmittelbar ein. Der Großteil der Wirkung hält nur für etwa 10 bis 30 Sekunden an. Zu den subjektiven Effekten zählen vor allem Euphorie, Relaxation, Ruhegefühl sowie eine Verzerrung der Wahrnehmung, die sich auch auf das Sehvermögen und das Gehör auswirken kann. Zu den unerwünschten Effekten zählen besonders Schwindel, Benommenheit, Störung der Orientierung, Kopfschmerzen und Kribbeln am gesamten Körper. In der Regel sind, dosisabhängig, nach spätestens 5 Minuten keine akuten erwünschten Effekte mehr zu spüren. Benommenheit und Schwindel können jedoch noch bis etwa 30 Minuten nach der Inhalation auftreten [5].

Pharmakokinetik. Lachgas besitzt im Verhältnis zu den Dampfnarkotika (mit Ausnahme von Desfluran) eine geringere Blutlöslichkeit (Blut/Gas-Koeffizient: 0,47). Diese geringe Löslichkeit führt dazu, dass sich ein Gleichgewicht im Blut sehr schnell einstellt und sich somit auch der Partialdruck des Gases im Blut schnell dem Partialdruck des Gases in den Alveolen angleicht. Dies führt zu einem schnellen Wirkeintritt und macht eine Narkose mit Lachgas sehr gut steuerbar [13].

Vom pulmonalen Blut ausgehend verteilt sich Lachgas dann im restlichen Körper. Relevant sind hier besonders die Löslichkeit im jeweiligen Gewebe, dessen Durchblutung und die Lachgas-Partialdruckdifferenz zwischen arteriellem Blut und Gewebe. Im Vergleich zu den anderen Inhalationsnarkotika ist bei Lachgas jedoch zu beachten, dass die Löslichkeit nicht nur in Blut, sondern auch in den verschiedenen Geweben erheblich niedriger ist [14]. Somit verteilt sich Lachgas deutlich weniger im peripheren Gewebe, was u. a. die schnellere Erholung nach einer Narkose im Vergleich zu Desfluran erklärt (trotz des niedrigeren Blut/Gas-Koeffizienten von Desfluran: 0,42) [15].

Im Gegensatz zu den Dampfnarkotika durchläuft Lachgas keinen relevanten Metabolismus. In In-vitro-Experimenten wurde zwar gezeigt, dass anaerobe Bakterien in der Lage sind, N₂O zu N₂ abzubauen, der hypothetische Anteil dieses Abbaus an der Ausscheidung von N₂O aus dem

Körper ist jedoch sehr gering (ca. 0,004 %) [16]. Somit erfolgt die Exkretion von Lachgas hauptsächlich in unveränderter Form über die Lunge, in geringem Maße über den Urin sowie über eine minimale perkutane Diffusion über die Haut [17].

Situation im Straßenverkehr. Ein neues Phänomen der aktuellen Konsumwelle ist der Anstieg von Verkehrsdelikten mit einer potentiell vorausgegangenen Lachgas-Aufnahme. In der Rechtsmedizin Köln sind im gesamten Jahr 2025 insgesamt 36 Verkehrsdelikte aus dem Großraum Köln/Aachen mit potentiell Lachgaskonsum registriert worden. Bei einer aktiven Teilnahme am Straßenverkehr zählt Lachgas zu den sog. „anderen berauschenden Mitteln“ im Sinne der §§ 316 und 315c StGB. Für eine strafrechtliche Verfolgung und eine forensisch-toxikologische Beurteilung der Fahrsicherheit eines Straßenverkehrsteilnehmers ist deshalb der sichere quantitative Nachweis von Lachgas im Blut in den Fokus gerückt.

Ziel der Untersuchungen. Aufgrund der augenscheinlich gestiegenen forensischen Relevanz von Lachgas, insbesondere in Bezug auf Verkehrsdelikte, wurde eine Methode entwickelt, die den sicheren Nachweis von Lachgas im Blut ermöglicht. Da zum jetzigen Zeitpunkt kaum Informationen über die Pharmakokinetik von Lachgas, insbesondere über die Kinetik der Ausscheidung, vorliegen, wurde zusätzlich eine Probandenstudie durchgeführt. Die ersten Ergebnisse dieser Studie werden im Folgenden vorgestellt.

2. Methoden

Analytik. Für die Messung werden 500 μL Plasma/Serum in 20 mL Headspace-Vials pipettiert. Als interner Standard werden 250 μL eines 3000 ppmv Krypton-Gasgemisches (in Argon) in das geschlossene Vial pipettiert. Im nächsten Schritt wird die Probe in einem Agitator bei 40 °C für 10 min inkubiert und mit einer Frequenz von 4,2 Hz geschüttelt. Mithilfe einer gasdichten Headspace-Spritze werden 800 μL aus dem Dampfraum entnommen und in das GERSTEL-Kaltaufgabe-System (KAS 2, 40 °C) injiziert (Gerstel, Mühlheim an der Ruhr).

Die Trennung erfolgt bei isothermen Bedingungen (45 °C) mithilfe einer Rt-Q-BOND PLOT Säule (Restek, Bad Homburg v. d. Höhe) und bei einem konstanten Druck von 22 psi (Helium). Das Massenspektrometer (Agilent 5977B, Santa Clara, CA, USA) wird im SIM-Modus mit Elektronenstoßionisation verwendet (m/z 30, 44 für N_2O ; m/z 83, 84 und 86 für Krypton). Die unterstrichenen m/z werden als Quantifier eingesetzt.

Für die Kalibration werden definierte Volumina eines N_2O -Kalibriergases (ALL-in Gas GmbH, Starnberg) mit einer Konzentration von 100 ppmv bzw. 1000 ppmv (in N_2) zu Plasma-Leerproben hinzugegeben. Somit kann ein Kalibrationsbereich von 0,050 mL/L bis 10 mL/L erreicht werden. Die Zugabe des Kalibriergases bzw. des internen Standards erfolgt automatisch mithilfe der Gerstel Gas-Sampling-Bag-Station (Abb. 1). Sie ermöglicht die automatisierte Entnahme von Gasproben aus Gasprobennahme-Beuteln (Restek, Bad Homburg v. d. Höhe), die an die Station angeschlossen werden. Dazu müssen die Kalibriergase zuvor in die Beutel gefüllt werden.

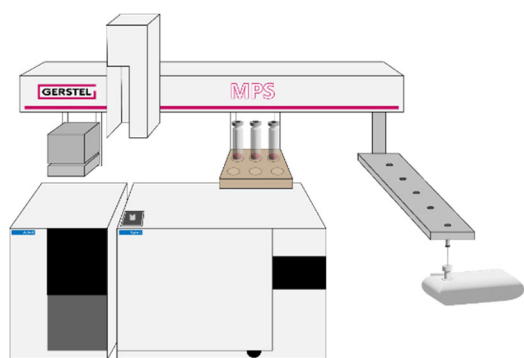


Abb. 1. Agilent GC/MS mit Gerstel MPS und Gas-Sampling-Bag-Station (mit angeschlossenem Gasprobennahme-Beutel).

Probandenstudie. An der Studie haben zehn männliche Probanden, aufgeteilt in zwei Gruppen zu je fünf Personen, an jeweils zwei Studientagen teilgenommen. Am ersten Studientag konsumierten jeweils alle fünf Probanden eine geringe Dosis Lachgas (8 g) in einem Zeitraum von 5 Minuten. Am zweiten Studientag wurde ein Proband der jeweiligen Gruppe randomisiert für einen Passiv-Konsum ausgewählt. Diese Person konsumierte nicht selber und war somit nur der Belastung durch die Umgebungsluft ausgesetzt. Beide Probanden-Gruppen durchliefen jeweils zwei Studientage mit unterschiedlichen Umgebungsbedingungen. Am ersten Studientag fand der Lachgas-Konsum in einem Raum im Gebäude der Rechtsmedizin Köln statt. An dem zweiten Studientag fand der Konsum in einem geschlossenen Pkw statt. Hier nahm der ausschließlich passiv konsumierende Proband die Position auf dem Fahrersitz ein, die weiteren vier Personen konsumierten das Lachgas analog zu dem vorherigen Studientag.

Es wurden Blutproben in definierten Zeitabständen erstmalig nach 2 Minuten nach Konsum bis zu einem Zeitpunkt von fünf Stunden nach der Applikation entnommen (Vacuette® 6 mL, Natrium-Fluorid/Kalium-Oxalat, Greiner Bio-One, Frickenhausen). Da bei einem Probanden am ersten Studientag nur sehr aufwändig Blutproben entnommen werden konnten, wurde dieser Proband am zweiten Studientag durch einen anderen Probanden ersetzt. Somit nahmen insgesamt 11 verschiedene Probanden an der Studie teil.

3. Ergebnisse und Diskussion

Analytik. Die Methode zur Lachgas-Bestimmung im Plasma/Serum mit Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) wurde nach den Richtlinien der GTFCh validiert [18]. Da Lachgas (und Krypton) auch in der Umgebungsluft vorkommen, wird das Messsignal einer Nullprobe mithilfe von MassHunter Quantitative Analysis (Agilent, Santa Clara, CA, USA) als „Blank offset“ verwendet. Die Bestimmungsgrenze der Methode liegt bei 0,05 mL/L. In Übereinstimmung mit der Literatur wird die Berichtsgrenze auf 0,10 mL/L festgelegt [19].

In Abbildung 2 ist ein aus zwei Messungen zusammengestelltes Chromatogramm der GC-MS-Methode abgebildet. Auf diesem sind die Peaks der zusammen eluierenden Luftkomponenten (v. a. N₂, O₂, Ar), des internen Standards (Krypton), Kohlenstoffdioxid (CO₂) sowie von Lachgas abgebildet. Die chromatographische Trennung von CO₂ und N₂O ist aufgrund der Überschneidungen bei den Massen der Ionen (m/z 30 und 44) essentiell. Die Trennung der Luftkomponenten ist mit der hier eingesetzten PLOT Säule (Divinylbenzol-Phase) nicht möglich, sie ist für die Lachgas-Analytik jedoch auch nicht notwendig.

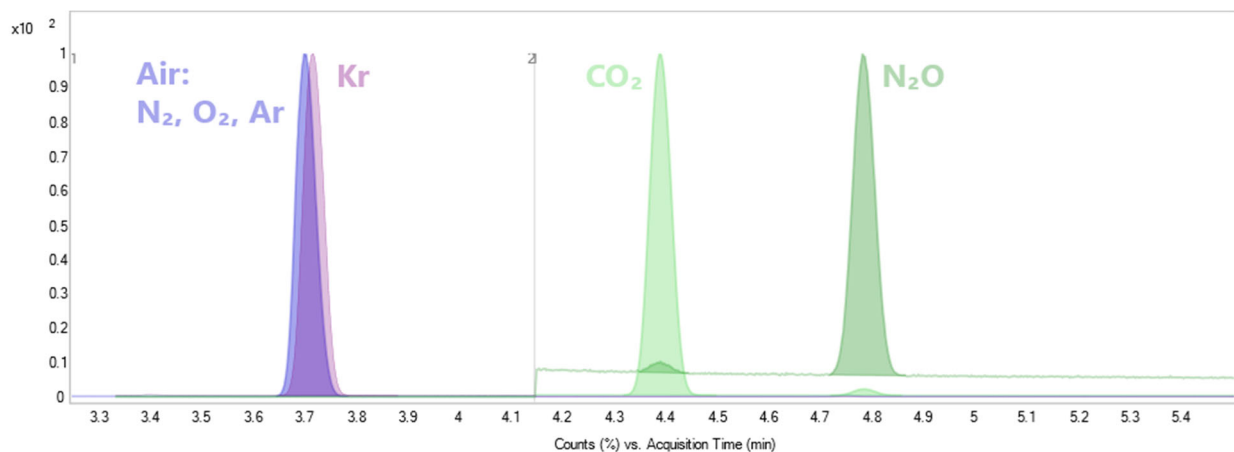


Abb. 2. Skaliertes Chromatogramm der GC-MS-Methode mit Peaks der Luftkomponenten (v. a. N₂, O₂, Ar), CO₂ und N₂O.

Probandenstudie. Die während der Probandenstudie gesammelten Blutproben wurden zentrifugiert und das Plasma anschließend mit der beschriebenen validierten GC-MS-Methode auf Lachgas analysiert. In Tabelle 1 sind die maximalen Plasmakonzentrationen, welche jeweils nach ca. 2 Minuten erreicht wurden und die Nachweisdauer im Blut für die Probandenpopulation aufgelistet.

Tab. 1. Maximale Plasmakonzentrationen (c_{\max}) und Nachweisbarkeitsdauer für die Probandenpopulation. Proband 4 (s. Text) sowie die Passiv-Konsumenten wurden exkludiert.

c_{\max} (nach ca. 2 min)	7,4 – 17 mL/L
Nachweisbarkeitsdauer bei einer Berichtsgrenze von 0,10 mL/L	2 – 4 Stunden

Die maximale Konzentration bei der ersten Blutentnahme nach 2 Minuten lag bei 10 der 11 Probanden zwischen 7,4 und 17 mL/L. Bei Proband 4 war die Blutentnahme an beiden Studientagen erschwert. Hier lag die Konzentration der ersten Blutentnahme bei 1,6 mL/L nach 6 Minuten bzw. bei 0,53 mL/L nach 21 Minuten. Die bei den Passiv-Konsumenten am zweiten Studientag bestimmten Konzentrationen sind hier nicht dargestellt. Unter Berücksichtigung der in der Praxis angewandten Berichtsgrenze von 0,10 mL/L war Lachgas bei allen aktiv konsumierenden Probanden 2 bis 4 Stunden nach der Applikation noch nachweisbar. Wird anstelle der Berichtsgrenze die Bestimmungsgrenze der Methode (0,05 mL/L) zugrunde gelegt, war Lachgas im Großteil der Fälle ($n = 7$) noch mindestens eine weitere Stunde im Plasma nachweisbar. Bei zwei Probanden lag die Lachgas-Konzentration 5 Stunden nach der Applikation noch über der Bestimmungsgrenze.

Für Straßenverkehrsdelikte ist somit anzunehmen, dass ein Nachweis von Lachgas mindestens zwei Stunden nach dem aktiven Konsum einer geringen Dosis noch möglich ist.

4. Fazit und Ausblick

Für den Nachweis von Lachgas in Blutproben bei Straßenverkehrsdelikten wurde eine quantitative GC-MS-Methode entwickelt und nach den Richtlinien der GTFCh validiert. Des Weiteren wurde eine Probandenstudie durchgeführt, um Erkenntnisse über die Dauer der Nachweisbarkeit einer Lachgas-Aufnahme zu erlangen. Aus den Ergebnissen der Studie kann gefolgert werden, dass die Aufnahme einer geringen Menge an Lachgas (8 g) auch noch etwa zwei bis vier Stunden später im Blut nachgewiesen werden kann. Somit ist ein Nachweis von Lachgas im Blut deutlich länger möglich, als bisher angenommen wurde.

Auch eine passive Exposition gegenüber Lachgas in einem geschlossenen Fahrzeug führte zu messbaren Lachgaskonzentrationen im Blut der beiden Probanden. Diese lagen jedoch deutlich niedriger als bei den aktiv konsumierenden Personen und während eines wesentlich geringeren Zeitintervalls oberhalb der Berichtsgrenze. Details hierzu sowie die vollständigen Ergebnisse der Probandenstudie werden nach Abschluss der Auswertungen in einem internationalen Journal veröffentlicht.

5. Literatur

- [1] M. Goerig and J. S. am Esch, "History of nitrous oxide—with special reference to its early use in Germany," *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, vol. 15, no. 3, pp. 313-338, 2001.
- [2] H. Davy, *Researches, Chemical and Philosophical; Chiefly Concerning Nitrous Oxide: Or Dephlogisticated Nitrous Air, and its Respiration*. J. Johnson, 1800.

- [3] G. B. Smith and N. P. Hirsch, "Gardner Quincy Colton: pioneer of nitrous oxide anesthesia," *Anesthesia & Analgesia*, vol. 72, no. 3, pp. 382-391, 1991.
- [4] G. Q. Colton, *Anaesthesia: Who Made and Developed this Great Discovery?: A Statement" Delivered Upon the Mellowing of Occasion"*. AG Sherwood & Company, Publishers, 1886.
- [5] L. van Aerts *et al.*, "Recreational use of nitrous oxide: a growing concern for Europe," 2022.
- [6] A. Winstock, R. Munksgaard, E. Davies, J. Ferris, A. ZhuParris, and M. Barratt, "2022 Drug Trend Report: Time, Music, Clubbing, Age, and Diet," in "Global Drug Survey," 2022.
- [7] J. N. Meißner *et al.*, "Increase of nitrous oxide-induced neurological disorders—a German multicenter experience," *Neurological research and practice*, vol. 7, no. 1, p. 3, 2025.
- [8] A. Tshagharyan *et al.*, "Neurological disorders caused by recreational use of nitrous oxide—a retrospective study from a German metropolitan area and review of the literature," *Neurological Research and Practice*, vol. 7, no. 1, p. 29, 2025.
- [9] Bundesgesundheitsministerium. "Bundestag verabschiedet Verbot von Lachgas und K.O.-Tropfen." <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/presse/pressemitteilungen/bundestag-verabschiedet-verbot-von-lachgas-und-ko-tropfen-pm-14-11-2025.html> aufgerufen am 29.01.2025, (2025).
- [10] F. Bracher *et al.*, *Arzneibuch-Kommentar: Distickstoffmonoxid*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 2015.
- [11] R. D. Sanders, J. Weimann, M. Maze, D. S. Warner, and M. A. Warner, "Biologic effects of nitrous oxide: a mechanistic and toxicologic review," *Anesthesiology*, vol. 109, no. 4, pp. 707-722, 2008.
- [12] K. Gupta, D. Emmanouil, and A. Sethi, *Nitrous Oxide in Pediatric Dentistry: a clinical handbook*. Springer, 2019.
- [13] R. Larsen, "Inhalationsanästhesie," in *Anästhesie und Intensivmedizin für die Fachpflege*: Springer, 2016, pp. 139-151.
- [14] G. Lockwood, "Pharmacokinetics of inhaled anesthetics," *Anesthetic pharmacology basic principles and clinical practice*, vol. 2, pp. 385-96, 2011.
- [15] J. Hendrickx, P. Peyton, R. Carette, and A. De Wolf, "Inhaled anaesthetics and nitrous oxide: Complexities overlooked: things may not be what they seem," *European Journal of Anaesthesiology| EJA*, vol. 33, no. 9, pp. 611-619, 2016.
- [16] K. Hong, J. R. Trudell, J. R. O'Neil, and E. N. Cohen, "Metabolism of nitrous oxide by human and rat intestinal contents," *Anesthesiology*, vol. 52, no. 1, pp. 16-19, 1980.
- [17] R. K. Stoelting and E. I. Eger, "Percutaneous loss of nitrous oxide, cyclopropane, ether and halothane in man," *Anesthesiology*, vol. 30, no. 3, pp. 278-283, 1969.
- [18] F. Peters, "Anhang B zur Richtlinie der GTFCh zur Qualitätssicherung bei forensisch-toxikologischen Untersuchungen-Anforderungen and die Validierung von Analysenmethoden," *Toxichem Krimtech*, vol. 76, no. 3, p. 185, 2009.
- [19] A. Ø. Lindholm, M. K. K. Nielsen, M. Kristensen, and B. S. Rasmussen, "Driving under the influence of nitrous oxide—A retrospective study of HS-GC-MS analysis in whole blood," *Forensic science international*, vol. 354, p. 111904, 2024.