

Soda lime: Information on correct handling and professional use in rebreathing systems*

Statement of the Standards and Technical Safety Commission of the The German Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine (DGAI)

C. Hönemann¹

► **Zitierweise:** Hönemann C: Atemkalk: Hinweise zu korrektem Umgang und fachgerechter Nutzung in Rückatemsystemen – Stellungnahme der Kommission für Normung und technische Sicherheit der DGAI. Anästh Intensivmed 2019;60:29–34. DOI: 10.19224/ai2019.029

Atemkalk: Hinweise zu korrektem Umgang und fachgerechter Nutzung in Rückatemsystemen*

Stellungnahme der Kommission für Normung und technische Sicherheit der DGAI

¹ Chefarzt der Abteilung für Anästhesie des St. Marien-Hospitals Vechta für die Kommission für Normung und technische Sicherheit der DGAI

Zusammenfassung

Atemkalk dient in Narkosegeräten der chemischen Bindung des ausgeatmeten Kohlendioxids. Klinisch wurde der Atemkalk (NaOH) erstmalig von Ralf Waters eingesetzt (Anesth Analg 1924;3:20–22). Heute besteht Atemkalk aus einer Mischung aus Calciumhydroxid (Ca(OH)₂) und Adjuvantien, die als pH-Indikator bzw. Stabilisatoren zugemischt werden. In dieser Stellungnahme werden die aktuell verfügbaren Atemkalkprodukte beschrieben sowie Empfehlungen für den Umgang mit diesen Substanzen gegeben.

Summary

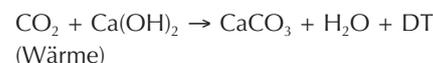
In anaesthesia machines, soda lime is used to chemically bind exhaled carbon dioxide. Clinically, soda lime (NaOH) was first used by Ralf Waters (Anesth Analg 1924;3:20–22). Today, soda lime consists of a mixture of calcium hydroxide (Ca(OH)₂) and adjuvants, which are added as a pH indicator or stabilisers. This manuscript describes the currently available soda lime products and gives recommendations for the handling of these substances.

Einleitung

Atemkalk dient bei Anwendung der Rückatmungstechnik dazu, Kohlendioxid aus der Ausatemluft zu entfernen. Ein mit Atemkalk gefüllter Behälter, der Absorber, ist deshalb auch charakteristisches Bauteil aller Narkose-Rückatemsysteme.

In Deutschland zurzeit erhältliche und gebräuchliche Atemkalkprodukte (Tab. 2) enthalten im Wesentlichen Kalziumdihydroxid (Ca(OH)₂).

Das Kohlenstoffdioxid reagiert mit dem Kalziumdihydroxid und es entsteht Kalziumkarbonat – der eigentliche „Kalk“. Dies ist die vereinfachte chemische Reaktionsgleichung im Kohlenstoffdioxidabsorber:



Zugesetzt sein können Natriumhydroxid (NaOH) und Kalziumchlorid (CaCl₂), unter anderem zur Beschleunigung der Absorptionsreaktion. Atemkalk enthält ca. 16% lose gebundenes, „freies“ Wasser; die Kalziumchlorid-haltigen Produkte enthalten zusätzlich ca. 20% stark gebundenes sog. „Kristallisations“-Wasser. Einigen Atemkalkprodukten sind zusätzlich Silikate (SiO₂) oder Zeolith (Na₂Al₂O₃·SiO₂) zugesetzt (Tab. 1), um die mechanische Festigkeit der Kalkpartikel zu erhöhen und die Bildung von Abrieb und Staub zu vermindern [1] sowie – im Fall des Zeoliths – einer Austrocknung entgegenzuwirken und die Standzeit (Nutzungsdauer, bis der Atemkalk verbraucht ist) zu verlängern.

Atemkalk wird sowohl als loses Material in größeren Gebinden ausgeliefert oder in gerätespezifischen vorgefüllten Atemkalk-Kartuschen vertrieben.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht einiger Atemkalkprodukte und ihrer Zusammensetzung entsprechend der Spezifika-

* Aktualisierung der Stellungnahme aus dem Jahre 2010 (Anästh Intensivmed 2010;51:49–52).

Schlüsselwörter

Atemkalk – Ca(OH)₂ – Rückatemsystem – Patientensicherheit

Keywords

Soda Lime – Ca(OH)₂ – Rebreathing System – Patient Safety

tion in den Sicherheitsdatenblättern der Hersteller nach EG-Richtlinie 91/155/EWG.

Atemkalk wird als Bruchkalk oder in pelletierter¹ Form in einer Korngröße zwischen 2–5 mm konfektioniert. Pelletierter Kalk soll eine höhere Absorptionskapazität und geringere Neigung zur Kanalbildung² als der Bruchkalk haben.

Atemkalk wird als Medizinprodukt der Klasse IIa eingestuft und unterliegt den grundlegenden Anforderungen der entsprechenden EU-Richtlinie (die Verordnung über Medizinprodukte EU 2017/745 ist am 25.05.2017 in Kraft getreten und ist ohne Umsetzung in nationale Gesetze gültig; mit einer Übergangsfrist von 3 Jahren wird sie die Medizinprodukterichtlinie 93/42/EWG ersetzen). Die Hersteller von Atemkalk haben zur Erlangung der CE-Kennzeichnung die Übereinstimmung mit diesen Richtlinien mit Hilfe von Risikoanalysen, verpackungs- und fertigungsbegleitenden sowie Biokompatibilitätstests zu dokumentieren. Die fertigungsbeglei-

tenden Tests der Atemkalkchargen auf Feuchtegehalt, Partikelgröße, Härte und CO₂-Absorptionskapazität werden entsprechend den Anforderungen der amerikanischen Pharmakopoe (USP) durchgeführt, da es eine europäische Norm für Atemkalke nicht gibt.

Umgang mit Atemkalk

Lose Gebinde – Kanister-Schüttungen

Nach Öffnung eines Originalgebundes soll der Atemkalk sofort, zumindest aber innerhalb eines Zeitraumes von vier Wochen verbraucht werden. Untersuchungen zur passiven Austrocknung liegen für den Atemkalk von Dräger und Intersurgical vor: Demnach ist die Abnahme des Wassergehaltes in diesem Zeitraum unter normalen Umgebungsbedingungen für Raumtemperatur und -feuchte unkritisch. Atemkalk soll in geschlossenem Behälter in sauberer und trockener Umgebung bei gleichmäßiger Temperatur (>-20°C, <50°C) gelagert und vor direkter Sonneneinstrahlung

geschützt werden. Verbrauchter, aber auch ungebrauchter Atemkalk muss nach den örtlichen/regionalen Vorschriften entsorgt werden; in der Regel kann Atemkalk – solange er nicht gesammelt in größeren Mengen anfällt – zusammen mit den hausmüllähnlichen Krankenhausabfällen entsorgt werden.

Vorgefüllte Atemkalk-Kartuschen

Nach den Angaben der Unternehmen (Armstrong Medical, Heinen Löwenstein, Dräger) kann nach Inbetriebnahme der Original-Kartusche der Atemkalk innerhalb eines Zeitraumes von längstens vier Wochen verwendet werden. Danach muss die Kartusche verworfen werden. Demnach ist die Abnahme des Wassergehaltes in diesem Zeitraum unter normalen Umgebungsbedingungen für Raumtemperatur und -feuchte unkritisch. Atemkalk soll in geschlossenem Behälter in sauberer und trockener Umgebung bei gleichmäßiger Temperatur (>-20°C, <50°C) gelagert und vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.

Für den Anwender relevante Aspekte

Folgende Aspekte sind für den Anwender bei der Wahl eines für ihn geeigneten Produkts relevant:

- Risiken der Anwendung (vor allem Erschöpfung; Freisetzung toxischer Substanzen)
- CO₂-Absorptionskapazität (z.B. „Standzeit“)
- Absorption von Inhalationsanästhetika (z.B. bei der Anflutung)
- Staubbildung

In dieser Stellungnahme wird im Wesentlichen nur auf die Anwendungsrisiken und die fachgerechte Nutzung eingegangen.

Tabelle 1

Kohlenstoffdioxidabsorber-Zusätze und ihre Eigenschaften.

Eigenschaften	Bezeichnung des Zusatzes	Wechsel-/Nebenwirkungen	zu beachten
Reaktionsbeschleunigung	Natriumhydroxid (NaOH)	Farbindikatorumschlag reversibel	Absorptionskapazität des Atemkalks nicht sicher beurteilbar CO und Compound A mit Standardmonitoring nicht detektierbar
	Kaliumhydroxid (KOH)	starke Basen katalysieren Bildung toxischer Produkte (s.u.)	
	Bariumhydroxid (Ba(OH) ₂)	Austrocknung	
	Lithiumchlorid (LiCl)		
Verhindern von Austrocknung	Silikate (Zeolithe, Quartz, Siliziumdioxid, Calciumsulfat)	Adsorption von H ₂ O in Poren im Aluminium- und Siliziumoxiden-Gerüst; Freisetzung von H ₂ O bei Erwärmung	/
	Kalziumchlorid (CaCl ₂)	bildet Hydrathülle	/
Erhöhung mechanischer Stabilität	Siliziumoxide, Silikate	Vermeidung von Abrieb- und Staubbildung	/
Indikator	z.B. Ethylenviolett	in Kombination mit NaOH ist Farbumschlag reversibel	Absorptionskapazität des Atemkalks nicht sicher zu beurteilen

1 pelletieren: feinkörnige Stoffe durch besondere Verfahren zu kleinen kugel- oder walzenförmigen Stücken von einigen Millimetern Durchmesser (Pellets) zusammenfügen.

2 Kanalbildung: Ungleichmäßiger Verbrauch des Atemkalks im Atemkalkbehälter infolge ungleichmäßiger Schüttung und Ausbildung von Kanälen mit geringerem Widerstand.

Tabelle 2

Atemkalkprodukte und Zusätze in alphabetischer Reihenfolge ohne Anspruch auf Vollständigkeit; aktualisiert nach [2]. k.A.=keine Angabe.

Hersteller	Produkt	Ca(OH) ₂ (%)	CaCl ₂ (%)	NaOH (%)	H ₂ O (%)	andere wesentliche Bestandteile
Armstrong Medical, Coleraire, NIR	Amsorb® Plus	77–88	2–3,5	0	10–18	0,6–1,5% CaSO ₄ , „crystal violet“
Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, DE	Drägersorb® 800+	78–84	0	2–4	14–18	<0,1% Ethylviolett
	Drägersorb® Free	74–82	3–5	0,5–2	14–18	<0,1% Ethylviolett
Intersurgical GmbH, Sankt Augustin, DE	Intersorb plus™	75–80	0	3,5	13,5–17,5	<0,1% Ethylviolett
	LoFloSorb®	75–80	0	0	13,5–17,5	Siliziumdioxid 6–7%, Ethylviolett <0,1 %, Pigmentgrün k.A.
	Spherasorb®	75–80	0	<2	13,5–17,5	Zeolith 4–5%, Ethylviolett <0,1%
Micropore Inc., Elkton, MD, USA	SpiraLith™	0	0	0	0	100% Lithium
Molecular Products Group Ltd, Harlow Essex, UK	Sofnolime®	>75	0	< 3	k.A.	k.A.
P ³ Medical, Bristol, UK	P ³ Soda Lime™	>75%	0	<3%	k.A.	k.A.
Smiths Medical, St. Paul, MN, USA	Sodasorb® LF	>80	0	<3??	12–19	Spuren Ethylviolett
	Sodasorb® WISL 16% 4/8	≈80	0	≈3	k.A.	k.A.

Zur **Absorption von Inhalationsanästhetika** sei angemerkt, dass Atemkalk nicht nur Kohlenstoffdioxid aufnimmt, sondern auch halogenierte Kohlenwasserstoffe, und zwar umso mehr, je trockener der Kalk ist [2,3]. Dieser Effekt ist allerdings nur dann sicherheitsrelevant, wenn die in- und expiratorische Konzentration der Inhalationsanästhetika nicht patientennah gemessen wird, wie es die DIN EN ISO 80601-2-13 vorschreibt.

Zur **Staubbildung** sei angemerkt, dass z.B. die Ventilfunktion im Patiententeil des Anästhesiegerätes bei exzessiver Staubbildung gestört sein kann. Wenn keine Filter eingesetzt werden, können Staubemissionen in die Patientenlungen gelangen. Deshalb sollten staubarme Produkte bevorzugt werden.

Risiken bei der Verwendung von Atemkalk

- Erschöpfung der Absorptionskapazität des Atemkalkes
- Erschöpfung und Abblenden des Farbindikators bei intensiver Lichteinstrahlung
- Austrocknung des Atemkalkes, dadurch zunehmende Gefahr der

Absorption und/oder der chemischen Reaktion von Inhalationsanästhetika mit dem Kalk [4–10]

Erschöpfung der Absorptionskapazität

Dem Atemkalk ist ein pH-sensitiver Farbindikator – in Deutschland überwiegend Ethylviolett – zugemischt, der die Erschöpfung des Kalkes mittels Farbumschlag (im Falle des Ethylvioletts von weiß nach blau-violett) anzeigt.

Bei Natriumhydroxid-haltigen Kalken ist der Farbumschlag nach Beenden der CO₂-Exposition reversibel (Rückfärbung nach weiß); eine weiße Farbe bei Anästhesiebeginn ist bei diesen Sorten also keine Garantie für unverbrauchten Kalk.

Da die Verfärbung nach prolongiertem Gebrauch und stärkerer Licht- oder UV-Einstrahlung völlig ausbleiben oder bei einer Kanalbildung im Absorberbehälter nicht erkannt werden kann, ist der Umschlag des Farbindikators eine ausgesprochen unsichere Methode zur Überwachung der Absorptionskapazität des Atemkalkes [11,12].

Die einzig sichere Methode zur Überwachung einer ausreichenden Kohlendioxidabsorption ist die Messung der CO₂-Konzentration im Atemgas mit Gasanalysatoren, die verlässlich auch die inspiratorische Konzentration bestimmen (wie es die DIN EN ISO 80601-2-13) vorschreibt.

Zur chemischen Reaktion von Inhalationsanästhetika mit Atemkalk

Alle Inhalationsanästhetika vom Typ der halogenierten Kohlenwasserstoffe, vor allem aber die rein fluorsubstituierten Kohlenwasserstoffe wie Sevofluran und Desfluran [13,14] können mit Atemkalk unter Absorption und Degradation reagieren, wobei diese Reaktionen durch abnehmenden Feuchtegehalt des Kalkes begünstigt werden [4–10].

Folgendes kann festgestellt werden:

- Compound A (potentielles Nephrotoxin) ist nur bei Verwendung von Sevofluran nachweisbar, sowohl bei trockenen als auch feuchten Kalken.
- Kohlenmonoxid kann vor allem bei Verwendung von Desfluran und

Enfluran, weniger bei Isofluran und in nur geringem Maße von Halothan und Sevofluran durch bestimmte ausgetrocknete Atemkalk gebildet werden [15–17].

- Atemkalkprodukte, die frei von den starken Basen (KOH und NaOH) sind, bilden kein Kohlenmonoxid.
- Bei Atemkalkprodukten mit Zusatz von Kalziumchlorid ist die messbare Compound-A-Konzentration unter Sevofluran fast Null (1–3 ppm) und Kohlenmonoxid ist nicht detektierbar, sowohl im feuchten als auch ausgetrockneten Zustand [18].
- Die Austrocknung von Atemkalk ist weder klinisch noch mit dem Standardmonitoring zu detektieren.
- Die Produktion von Kohlenmonoxid ist weder klinisch noch mit dem Standardmonitoring zu detektieren.

Atemkalkprodukte aus klinisch-praktischer Sicht

Die Atemkalk lassen sich für den Anwender in folgende Gruppen einteilen:

- Barium- und Kaliumhydroxid-haltige Kalk (hier nur aus historischen Gründen aufgeführt) haben ein besonders hohes Potential, toxische Degradierungsprodukte freizusetzen. Ausgetrocknete Bariumkalk können entflammen [19]. Von der Verwendung dieser Kalk wird abgeraten.
- Die Kalziumchlorid-haltigen Produkte (Amsorb® Plus; Dräger-sorb® Free). Nach dem derzeitigen Kenntnisstand ist bei Verwendung dieser Kalk keine Bildung volatiler toxischer Produkte zu erwarten; dies gilt explizit auch für eine extreme Austrocknung des Kalks.
- Die Produkte ohne Kalziumchlorid und Natriumhydroxid-Beimischung (LoFloSorb®) zeigen nur eine sehr geringe Kohlenmonoxid- und Compound-A-Bildung (maximal ca. 30 ppm).
- Die Nicht-Kalziumchlorid-haltigen Produkte mit geringen Anteilen (2–4%) von Natriumhydroxid (alle anderen, Tab. 2). Ihre Anwendung

ist klinisch sicher, sofern Maßnahmen gegen ein akzidentelles Austrocknen (s. Anleitung zu korrektem Gebrauch von Atemkalk, Abs. 2) getroffen werden. Ist der korrekte Umgang mit dem Adsorbens nicht sicher zu gewährleisten, wird vom Gebrauch dieser Produkte abgeraten.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand führen alle in Deutschland erhältlichen Atemkalksorten (Tab. 2) – vorausgesetzt sie sind nicht völlig ausgetrocknet – bei normalem Gebrauch nicht zur Bildung toxischer Produkte in klinisch relevanten Konzentrationen (z.B. Kohlenmonoxid, Compound A, Formaldehyd, Methanol); dies gilt auch für Niedrigflussanästhesien.

So wurden selbst bei Compound-A-Belastungen bis 478 ppmh, wie sie im klinischen Alltag nur im Extrem erreicht werden, keinerlei Anzeichen einer Nierenfunktionsstörung bei Patienten gefunden [20]. Eine zeitlich oder an einem minimalen Frischgasfluss orientierte Einschränkung des Einsatzes von Sevofluran erscheint deshalb nicht gerechtfertigt

[21,22]. Zusätzliche Sicherheit bietet die Verwendung Kalziumchlorid-haltiger Produkte (Amsorb® Plus; Dräger-sorb® Free).

Eine Gefährdung durch die Reaktion von Inhalationsanästhetika mit erschöpftem Atemkalk ist bislang nirgendwo in der Literatur beschrieben. In einer klinischen Untersuchung mit kaliumhydroxidhaltigem Natriumkalk, der über den Zeitraum einer Woche genutzt wurde, zeigte sich auch am siebten Tag des Einsatzes kein Hinweis auf eine erhöhte Kohlenmonoxidbildung. Im Testcenter der Fa. Dräger Medical in Lübeck wurde bei Untersuchungen zur Absorptionskapazität keine erhöhte Compound-A-Konzentration zum Zeitpunkt der Erschöpfung von Natriumkalk beobachtet. Es wurde allerdings nachgewiesen, dass bei routinemäßigem Gebrauch von Atemkalk die unteren, expirationseitigen Schichten trockener als die oberen, inspirationseitigen sind. Bei Frischgasflows von 5–6 L/min und niedriger wird aber kein Austrocknungsgrad erreicht, der zu erhöhter Reaktion des Adsorbens mit den Inhalationsanästhetika führt.

Tabelle 3

Atemkalk sicher und ökonomisch nutzen.

Austrocknung vermeiden

- Frischgaszufuhr nach Nutzungsende elektronisch abstellen („Stand by“)
- Narkosegerät von zentraler Gasversorgung trennen (O₂-, Air-, AGFS-Leitungen manuell diskonnektieren und über das Gerät legen; zusätzlicher Schutz vor akzidenteller Arbeitsplatzkontamination und den damit verbundenen Kosten der Leckage, Schutz der Zuleitungen vor Beschädigungen)

Atemkalk regelmäßig wechseln

- Datum von Anbruch bzw. Neubefüllung immer auf dem Absorberbehälter notieren
- Wechsel in regelmäßigen Abständen oder aufgrund der genannten Kriterien (FiCO₂-Anstieg, Hitzeentwicklung etc.) ist unabhängig von der Zusammensetzung des Atemkalkproduktes.
- Bei Narkosegeräten mit elektronischer Frischgasdosierung erfolgt der Wechsel des Atemkalks nach den o. a. Kriterien.
- Bei Narkosegeräten ohne elektronische Frischgasdosierung wird ein Wechsel im Wochenabstand empfohlen, da hier eine Austrocknung aufgrund eines wenn auch geringen persistierenden Frischgasflusses über die Zeit nicht sicher ausgeschlossen werden kann.

Vorgehen bei selten bzw. nicht routinemäßig genutzten Narkosegeräten

- nach Gebrauch mit passenden luftundurchlässigen Kappen verschließen, nach 4 Wochen Nutzung regelhaft ersetzen
- drei Wochen Stand-/Nutzungszeit im Außenbereich, dann Aufbrauchen innerhalb einer Woche im Zentral-OP
- Absorberbehälter unbefüllt lassen bzw. das ungeöffnete Originalgebinde neben dem Narkosegerät zur Befüllung bereitstellen und das Narkosegerät deutlich (!) als ungefüllt markieren; Befüllung erst unmittelbar im Rahmen der Narkosevorbereitung

Anleitung zu korrektem Gebrauch von Atemkalk (vgl. Tabelle 3)

1. Die Atemkalkfüllung des Absorbers ist zu wechseln:

- Zwingend sofort, wenn die Erschöpfung des Atemkalkes zu erkennen ist:
 - Die inspiratorische CO₂-Konzentration erreicht 1% (7 mmHg),
 - Der Farbumschlag des Indikators erreicht maximal 2/3 der Füllhöhe des Absorbers.
- Bei täglich eingesetzten Narkosegeräten nach festem Zeitschema, auch dann, wenn es noch kein Anzeichen für die Erschöpfung des Atemkalkes gibt. Ein regelmäßiger Wechsel zumindest im Wochenabstand ist zu fordern. Diese Forderung ist unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Atemkalkes [23], der Vermeidung akzidenteller Austrocknung, eines möglichen Ablassens des Indikators und aus hygienischen Gründen [24] gerechtfertigt. Auf diesen routinemäßigen Wechsel (z.B. montagsmorgens vor Nutzungsbeginn) kann lediglich bei Geräten mit elektronisch gesteuerter Frischgasdosierung verzichtet werden, bei denen der Frischgasfluss in der „Stand by“-Funktion sistiert und eine Austrocknung (z.B. über das Wochenende) ausgeschlossen ist.
- Erscheint bei nicht täglich eingesetzten Geräten ein wöchentlicher Wechsel der Absorberfüllung unsinnig, so sollte der Absorber nach Gebrauch aus dem Atemsystem herausgenommen und mit passenden luftundurchlässigen Kappen verschlossen werden. Ein routinemäßiger Wechsel zumindest im Monatsabstand ist dennoch nach Herstellerangaben obligat.
- Das Datum der Neubefüllung ist auf dem Absorbergehäuse zu vermerken.
- Im Vergleich zur Hochflussnarkose (Frischgasfluss etwa 4,0 l/min) nimmt bei konsequenter Durchführung von Niedrigflussnarkosen (Frischgasfluss 0,5 l/min) die Kohlendioxidbelastung des Atemkalkes um etwa den Faktor 4 zu [23]. Die vorab aufgestellten Regeln für das Wechseln des Atemkalkes gelten in gleicher Weise für alle Geräte, unabhängig davon, ob Hoch- und Niedrigflussnarkosen durchgeführt werden.

2. Alle Maßnahmen sind zu ergreifen, ein akzidentelles Austrocknen des Atemkalkes sicher zu verhindern:

- Nach jeder Anästhesie den Frischgasfluss komplett abstellen.
- Geräte in den Phasen des Nichtgebrauches nicht durch konstanten Gasstrom trocknen oder es muss vor dem Trocknungsprozess der Absorber aus dem Atemsystem herausgenommen werden.
- Geräte in den Phasen des Nichtgebrauches nicht durch Einschalten des Ventilators trockenfahren oder es muss vor dem Trocknungsprozess der Absorber aus dem Atemsystem herausgenommen werden.
- Bei sehr selten, nicht routinemäßig genutzten Narkosegeräten den Absorberkanister unbefüllt lassen, deutlich als ungefüllt markieren und den Atemkalk im ungeöffneten Originalgebinde neben dem Gerät zur Befüllung des Absorbers bereitstellen.
- In Phasen des Nichtgebrauches von Narkosegeräten sollten die Stecker aus den Anschlussdosen der zentralen Gasversorgung herausgenommen und die Gasschläuche über dem Gerät abgelegt werden. Für dieses Vorgehen sprechen – neben dem Schutz vor unbeabsichtigtem Gasstrom durch das Gerät – auch folgende weitere Argumente:
 - Verminderung der Raumkontamination mit Lachgas aus undichten Anschlussdosen der zentralen Gasversorgung,
 - Verminderung von Kosten, die durch Leckageverluste entstehen,
 - Verminderung der Gefahr akzidenteller Schlauchrupturen.
- Wird ein Umstand bemerkt, der eine akzidentelle Austrocknung des Kalkes vermuten lässt, so ist die Atemkalkfüllung des Absorbers sofort auszuwechseln.

3. Weitere wichtige Hinweise und Empfehlungen:

- Bei Durchführung ambulanter Narkosen an verschiedenen Arbeitsplätzen kann eine ökonomische Nutzung des Atemkalkes auch dadurch erreicht werden, dass der Absorber, mit Kappen verschlossen, zu dem jeweiligen Einsatzort mitgeführt wird.
- Besondere Vorsicht ist beim Einsatz von Einmal-Absorbern angezeigt: Diese sollten einzeln wasserdampfdurchlässig verpackt oder versiegelt und jeweils mit einem Verfallsdatum gekennzeichnet sein.
- Von einer – gar routinemäßigen – Befeuchtung des Atemkalkes durch Aufgießen oder Aufsprühen von Wasser [25–28] muss dringend abgeraten werden: die ungleichmäßige Verteilung der Feuchte im Absorber und die Verminderung der CO₂-Absorptionskapazität sprechen eindeutig gegen ein solches Vorgehen.
- Kalksorten mit vermindertem Anteil an Alkalihydroxiden – vor allem ohne Kaliumhydroxidanteil – wie Drägersorb® 800 Plus, Soda Lime® und Spherasorb® vermindern zwar die chemische Umsetzung des Atemkalkes mit den Inhalationsanästhetika [29–31], die übrigen Risiken, die aus prolongierter Nutzung des Kalkes resultieren, bleiben dennoch unverändert bestehen. So sollte der Umgang auch mit diesen Kalksorten den vorab gegebenen Empfehlungen entsprechen.
- **Bei plötzlicher starker Erwärmung des Kalkes, verzögertem Anstieg der Narkosemittelkonzentration im Atemsystem oder plötzlichem Farbumschlag des Indikators [6,32] ist der Absorber sofort aus dem System zu entfernen und gegen einen frisch befüllten Absorber auszutauschen.** Anders als bei der malignen Hyperthermie tritt bei der chemischen Umsetzung der Inhalationsanästhetika mit trockenem Atemkalk keine gleichzeitige, rasche und deutliche Erhöhung der expiratorischen CO₂-Konzentration auf. Bei korrektem und sorgfältigem Umgang mit dem Atemkalk kann die Auftretensfrequenz der in der Risikoanalyse aufgezeigten Probleme signifikant verringert werden [33,34].

Literatur

1. Petty C: Carbon dioxide absorption. In: The Anesthesia Machine. Churchill Livingstone, New York, 1987;67–69
2. Grodin WK, Epstein MAF, Epstein RA: Soda lime adsorption of isoflurane and enflurane. Anesthesiology 1985;62:60
3. Knolle E, Heinze G, Gilly H: Small carbon monoxide formation in absorbers does not correlate with small carbon dioxide absorption. Anesth Analg 2002;95:650
4. Baum J, Straus JM: Kohlenmonoxidbildung am Atemkalk. Anästh Intensivmed 1995;36:237–240
5. Baum J, Sitte Th, Straus JM, Forst H, Zimmermann H, Kugler B: Die Reaktion von Sevofluran mit trockenem Atemkalk – Überlegungen zu einem aktuellen Zwischenfall. Anästh Intensivmed 1998;39:11–16
6. Berry PD, Sessler DI, Larson MD: Severe carbon monoxide poisoning during desflurane anesthesia. Anesthesiology 1999;90:613–616
7. Fang ZX, Eger II EI: Factors affecting the concentration of compound A resulting from degradation of sevoflurane by soda lime and Baralyme® in a standard anesthetic circuit. Anesth Analg 1995;81:564–568
8. Fang ZX, Eger II EI, Laster MJ, Chortkoff BS, Kandel L, Ionescu P: Carbon monoxide production from degradation of desflurane, enflurane, isoflurane, halothane and sevoflurane by soda lime and baralyme. Anesth Analg 1995;80:1187–1193
9. Strum DP, Eger II EI: The degradation, absorption, and solubility of volatile anesthetics in soda lime depend on water content. Anesth Analg 1994;78:340–348
10. Zwißler B, Conzen P, Peter P: Inhalationsanästhetika und CO₂-Absorber – Zur Problematik des trockenen Atemkalkes. Anästh Intensivmed 1998;39:7–10
11. Andrews JJ, Johnston RV, Bee DE, Arens JF: Photodeactivation of ethyl violet: a potential hazard of Sodasorb®, Anesthesiology 1990;72:59–64
12. Gerstein N, Rosenberg C: Exhausted Amsorb Plus CO₂ absorbent recognized only by inspired CO₂. Anesth Analg 2007;104:237–238
13. Funk W, Gruber M, Wild K, Hobbhahn J: Dry soda lime markedly degrades sevoflurane during simulated inhalation induction. Br J Anaesth 1999;82:308–316

Special Articles

Guidelines and Recommendations

14. Frink EJ, Nogami WM, Morgan SE, Salmon RC: High carboxyhemoglobin concentrations occur in swine during desflurane anesthesia in the presence of partially dried carbon dioxide absorbents. *Anesthesiology* 1997;87:308–316
15. Keijzer C, Perez RSGM, De Lange JJ: Carbon monoxide production from five volatile anesthetics in dry soda lime in a patient model: halothane and sevoflurane do produce CO; temperature is poor predictor of CO production. *BMC Anesthesiology* 2005;5:6
16. Keijzer C, Perez RSCM, de Lange JJ: Carbon monoxide production from desflurane and six types of carbon dioxide absorbents in a patient model. *Acta Anaesthesiol Scand* 2005;49:815–818
17. Coppens MJ, Versichelen LFM, Rolly G, et al: The mechanisms of carbon monoxide production by inhalational agents. *Anaesthesia* 2006;61:462–468
18. Struys MMRF, Bouche MPLA, Rolly G, et al: Production of compound A and carbon monoxide in circle systems: an in vitro comparison of two carbon dioxide absorbents. *Anaesthesia* 2004;59:584–589
19. Dunning MB, Bretscher LE, Arain SR, et al: Sevoflurane Breakdown Produces Flammable Concentrations of Hydrogen. *Anesthesiology* 2007;106:144–148
20. Obata R, Bito H, Ohmura M, et al: The effects of low-flow sevoflurane anesthesia on renal and hepatic function. *Anesth Analg* 2000;91:1262–1268
21. Baum JA, Whoelck HJ. Interaction of inhalational anaesthetics with CO₂ absorbents. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology* 2003;17:63–76
22. Epstein RH, Dexter F, Maguire DP, et al: Economic and Environmental Considerations During Low Fresh Gas Flow Volatile Agent Administration After Change to a Nonreactive Carbon Dioxide Absorbent. *Anesth Analg* 2016;122:996–1006
23. Baum J, Enzenauer J, Krause Th: Atemkalk – Nutzungsdauer, Verbrauch und Kosten in Abhängigkeit vom Frischgasfluss. *Anaesthesiol Reanimat* 1993;18:108–1013
24. Baum J: Contaminazione Batterica dei Sistemi Ventilatori. La Riduzione del Flusso Aumenta il Rischio? In: Giunta F, (Hrsg.): *Anesthesia a Bassi Flussi e a Circuito Chiuso*. Piccin Nuova Libreria, Padova, 1992;173–180
25. Baxter PJ, Kharasch ED: Rehydration of desiccated Baralyme prevents carbon monoxide formation from Desflurane in an anesthesia machine. *Anesthesiology* 1997;86:1061–1065
26. Bito H, Ikeuchi Y, Ikeda K: Effects of the water content of soda lime on Compound A concentration in the anesthesia circuit in Sevoflurane anesthesia. *Anesthesiology* 1998;88:66–71
27. Moriwaki G, Bito H, Ikeda K: Partly exhausted soda lime or soda lime with water added, inhibits the increase in compound A concentration in the circle system during low flow sevoflurane anaesthesia. *Br J Anaesth* 1997;79:782–786
28. Woehlk H: Optimal rehydration of desiccated CO₂ absorbents. *Anesthesiology* 1997;87:1590
29. Förster H, Dudziak R: Über die Ursachen der Reaktion von trockenem Atemkalk und halogenierten Inhalationsanästhetika. *Anaesthesist* 1997;46:1054–1063
30. Förster H, Warnken UH, Asskali F: Unterschiedliche Reaktion von Sevofluran mit einzelnen Komponenten von Atemkalk. *Anaesthesist* 1997;46:1071–1075
31. Funk W, Gruber M, Wild K, Hobbhahn J: Dry soda lime markedly degrades sevoflurane during simulated inhalation induction. *Br J Anaesth* 1999;82:193–198
32. Wissing H, Kuhn I, Dudziak R: Zur Temperaturentwicklung von Inhalationsanästhetika auf trockenem Atemkalk. *Anaesthesist* 1997;46:1064–1070
33. Woehlk HJ, Dunning M, Conolly LA: Reduction in the incidence of carbon monoxide exposures in humans undergoing general anesthesia. *Anesthesiology* 1997;87:2234
34. Woehlk HJ: Severe intraoperative CO poisoning. *Anesthesiology* 1999;90:353–354.

Korrespondenz- adresse



**Priv.-Doz. Dr. med.
Christian Hönemann**

Chefarzt der Abteilung für Anästhesie
St. Marien-Hospital
Marienstraße 6–8
49377 Vechta, Deutschland
Tel.: 04441 99-0
Fax: 04441 907314
E-Mail:
christian.hoenemann@kh-vec.de