

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

Stellungnahme der Kommission für Normung und technische Sicherheit der DGAI

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)

Hönemann, Christian

Abteilung für Anästhesie und operative Intensivmedizin St. Marienhospital Vechta

Rübsam, Marie-Luise

Abteilung für Anästhesie und operative Intensivmedizin St. Marienhospital Vechta (Chefarzt Prof. Dr. C. Hönemann)

Klinik für Anästhesie, Intensiv-, Notfall- und Schmerzmedizin, Universitätsmedizin Greifswald (Direktor: Prof. Dr. K. Hahnenkamp)

Krauß, Terence

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Medizinische Hochschule Hannover (Direktor: Prof. Dr. W. Koppert)

Bürkle, Hartmut

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Freiburg

Czaplik, Michael

Klinik für Anästhesiologie, Uniklinik RWTH Aachen (Direktor: Prof. Dr. R. Rossaint)

Hölzl, Mathias

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Helios Klinikum Emil von Behring, Berlin (Chefarzt: Dr. E. Nickel)

Grensemann, Jörn

Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Muders, Thomas

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Bonn (Direktor: Prof. Dr. M. Coburn)

Sattler, Robert

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Universitätsmedizin Rostock (Direktor: Prof. Dr. D. Reuter)

Schädler, Dirk

Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel (Komm. Direktor: Prof. Dr. M. Steinfarth)

**Aktualisierung der Stellungnahme aus dem Jahre 2019 (Anästh Intensivmed
2019;60:29–34. DOI: 10.19224/ai2019.029)**

Schlüsselwörter:

**Atemkalk – Ca(OH)_2 – CO_2 -Absorber – Niedrigflussnarkose- Rückatemsystem –
Patientensicherheit**

Keywords:

**Soda Lime – Ca(OH)_2 - CO_2 -absorber – Low-Flow-Anaesthesia- Rebreathing System –
Patient Safety**

Zusammenfassung

Atemkalk ermöglicht im Atemkreissystem von Narkosegeräten die Rückatmung durch chemische Bindung des ausgeatmeten Kohlenstoffdioxids. Er besteht in der Regel aus Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) und Adjuvantien, die z.B. als pH-Indikator oder Stabilisatoren zugesetzt werden. Die Durchführung von Narkosen mit einem Frischgasfluss $\leq 0,35 \text{ l/min}$ wird ermöglicht, wenn ein akzidentielles Austrocknen des Atemkalks vermieden wird. In dieser Stellungnahme werden die aktuell verfügbaren Atemkalkprodukte beschrieben sowie Empfehlungen für den Umgang mit diesen Substanzen gegeben.

Summary

Soda lime is used in the breathing circuits of anesthesia machines to enable rebreathing by chemically binding exhaled carbon dioxide. It generally contains calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) and adjuvants, such as pH indicators or stabilizing agents, respectively. Anesthesia with a fresh gas flow of $\leq 0.35 \text{ L/min}$ can be safely performed if accidental desiccation of the soda lime is prevented. This statement describes currently available soda lime products and provides recommendations for their use.

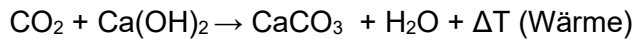
Grundvoraussetzung für die Durchführung von Allgemeinanästhesien mit niedrigem Frischgasfluss ist der im Kreissystem integrierte CO_2 -Absorber („Atemkalk“). Er bindet chemisch Kohlenstoffdioxid aus der Ausatemluft, ermöglicht Rückatmung und ist deshalb auch ein charakteristisches Bauteil aller Narkose-Rückatemsysteme.

Gleichzeitig ermöglicht die Verwendung von Rückatemsystemen mit niedrigem Frischgasfluss die ökologisch verantwortungsbewusste Anwendung von Inhalationsanästhetika. Inhalationsanästhetika stellen Treibhausgase dar und tragen teils zur Zerstörung der Ozonschicht bei. Die klinische Anwendung sollte somit nur im Rahmen von Minimal- oder Metabolic-Flow-Narkosen erfolgen, um den Verbrauch der Inhalationsanästhetika und somit auch die Umweltbelastung zu minimieren.

In dieser Stellungnahme werden aktuell verfügbare Atemkalkprodukte beschrieben sowie Empfehlungen für den Umgang mit diesen Substanzen gegeben.

In Deutschland zurzeit erhältliche und gebräuchliche Atemkalkprodukte enthalten im Wesentlichen Kalziumdihydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), vgl. auch Tabelle 2.

Das vom Patienten ausgeatmete Kohlenstoffdioxid reagiert mit dem Kalziumdihydroxid des Kohlenstoffdioxidabsorbers und es entsteht Kalziumkarbonat – der eigentliche ‚Kalk‘. Nachfolgend die vereinfachte chemische Reaktionsgleichung im Kohlenstoffdioxidabsorber:



Zugesetzt sein können Natriumhydroxid (NaOH) als Katalysator zur Beschleunigung der Absorptionsreaktion und Kalziumchlorid (CaCl_2), unter anderem um durch Kristallisationswasser ein Austrocknen des Atemkalks zu verhindern. 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 (SiO_2) oder Zeolith ($\text{Na} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) zugesetzt (Tabelle 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 bzw. Schüttkalk in größeren Gebinden oder in gerätespezifischen vorgefüllten Atemkalk - Kartuschen vertrieben.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht einiger Atemkalkprodukte und ihrer Zusammensetzung entsprechend der Spezifikation 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 Atemkalk 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 Verordnung über Medizinprodukte EU 2017/245 (MDR). Die Hersteller von Atemkalk haben zur Erlangung der CE-Kennzeichnung die Übereinstimmung mit dieser Verordnung unter Zuhilfenahme von Risikoanalysen, verpackungs- und fertigungsbegleitenden sowie Biokompatibilitätstests zu dokumentieren. Die fertigungsbegleitenden Tests der Atemkalkchargen auf Feuchtegehalt, Partikelgröße, Härte

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.

und CO₂-Absorptionskapazität werden entsprechend den Anforderungen der amerikanischen Pharmakopoe (USP) durchgeführt, da es eine europäische Norm für Atemkalk nicht gibt.

Umgang mit Atemkalk

Lose Gebinde – Kanister - Schüttgut

Nach Öffnung eines Originalgebindes soll der Atemkalk sofort, zumindest aber innerhalb eines Zeitraumes von vier Wochen verbraucht werden. Untersuchungen zur passiven Austrocknung liegen für den Atemkalk der Firmen 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 ($> - 20^{\circ} \text{C}$, $< 50^{\circ} \text{C}$) gelagert und vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden. Beim Umgang mit losem Atemkalk sind entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu beachten, u.a. das Tragen von Schutzhandschuhen und Schutzbrille oder Gesichtsschutz.

Vorgefüllte Atemkalk - Kartuschen

Nach den Angaben der Unternehmen (Armstrong Medical, Löwenstein Medical, 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 ($> - 20^{\circ} \text{C}$, $< 50^{\circ} \text{C}$) 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 (z.B. Erschöpfung, Freisetzung toxischer Substanzen),
- CO₂-Absorptionskapazität (z.B. „Standzeit“),
- Absorption von Inhalationsanästhetika (z.B. bei der Anflutung),
- Staubbildung,
- Handhabung des Atemkalks (z.B. vorkonfektionierte Kartuschen vs. Wiederbefüllen mit Schüttkalk Austauschbarkeit mit oder ohne Unterbrechung der intraoperativen Beatmung)

Entsorgung des Atemkalks

Atemkalk wurde bereits vor Jahren von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) als *gefährlicher Abfall gemäß Abfallschlüsselnummer 180106* eingestuft; dies wurde im Jahr 2021 noch einmal bestätigt (29). Daher ist eine Entsorgung durch Sonderabfallverbrennung (SAV) oder chemisch-physikalischen Behandlung (CPB) erforderlich. Der Atemkalk kann in separaten und verschließbaren Gebinden gesammelt und über beauftragte Entsorgungunternehmen entsorgt werden. Alternativ kann eine Rückgabe des verbrauchten Atemkalks an die Hersteller³ bzw. an Beauftragte regionaler Entsorgungsunternehmen zur anschließenden Weiterverwendung erfolgen .

Zur **Absorption von Inhalationsanästhetika** sei angemerkt, dass Atemkalk nicht nur Kohlendioxid aufnimmt, sondern auch halogenierte Kohlenwasserstoffe, und zwar umso mehr, je trockener der Atemkalk ist (2,3). Dieser Effekt ist allerdings nur dann sicherheitsrelevant, wenn die in- und expiratorische Konzentration der Inhalationsanästhetika nicht patientennah gemessen wird.

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 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 Atemkalkes mittels Farbumschlag (im Falle des Ethylvioletts von weiß nach blau-violett) anzeigt.

³ z.B. Dräger Gebäude und Service GmbH
<https://www.draeger.com/Content/Documents/Content/auftragsbogen-zur-atemkalkentsorgung.pdf>
Atemkalk

Bei einigen handelsüblichen Atemkalken ist der Farbumschlag nach Beenden der CO₂-Exposition reversibel (Rückfärbung nach weiß); eine weiße Farbe bei Anästhesiebeginn ist also keine Garantie für unverbrauchten Atemkalk.

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 Kohlenstoffdioxidabsorption ist die Messung der CO₂-Konzentration im Atemgas entsprechend DIN EN ISO 80601-2-13, der Norm zum Anästhesie-Arbeitsplatz.

Zur chemischen Reaktion von Inhalationsanästhetika mit Atemkalk

Alle Inhalationsanästhetika vom Typ der halogenierten Kohlenwasserstoffe, können mit Atemkalk unter Absorption und Degradation reagieren, wobei diese Reaktionen durch abnehmenden Feuchtegehalt des Atemkalkes begünstigt werden (4-10, 13, 14).

Folgendes kann festgestellt werden:

- Die Austrocknung von Atemkalk ist weder klinisch noch mit dem Standardmonitoring detektierbar.
- *Compound A* (potentielles Nephrotoxin) ist nur bei Verwendung von Sevofluran nachweisbar, sowohl bei trockenen als auch feuchten Atemkalken. Bei Atemkalkprodukten mit Zusatz von Kalziumchlorid ist die messbare Compound-A-Konzentration unter Sevofluran unabhängig vom Feuchtigkeitsgehalt des Atemkalks nahezu nicht nachweisbar (1-3 ppm) (14).
- *Kohlenstoffmonoxid* kann vor allem bei Verwendung von Desfluran und Enfluran, weniger bei Isofluran und in nur geringem Maße von Halothan und Sevofluran durch bestimmte ausgetrocknete Atemkalke gebildet werden (11-13).
Atemkalkprodukte, die frei von den starken Basen (KOH und NaOH) sind oder Atemkalkprodukten mit Zusatz von Kalziumchlorid bilden kein Kohlenmonoxid (14).
- Die Produktion von Kohlenstoffmonoxid und Compound A ist weder klinisch noch mit der Standard-Atemgasmonitoring detektierbar.

Atemkalkprodukte aus klinisch-praktischer Sicht

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

- Barium- und Natriumhydroxidhaltige Atemkalke (hier nur aus historischen Gründen aufgeführt) haben ein besonders hohes Potential, toxische Degradierungsprodukte freizusetzen. Von der Verwendung dieser Atemkalke wird abgeraten.
- Bei der Verwendung Kalziumchlorid-haltiger Atemkalke ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand keine relevante Bildung volatiler toxischer Produkte zu erwarten.
- Bei korrektem Gebrauch zeigen Atemkalke ohne Kalziumchlorid und Natriumhydroxid-Beimischung nur eine sehr geringe Kohlenmonoxid- und Compound-A-Bildung.
- Die Anwendung von Kalziumchlorid-freien Atemkalken mit geringen Anteilen (2-4%) von Natriumhydroxid ist klinisch sicher, sofern Maßnahmen gegen ein akzidentelles Austrocknen (siehe unten) getroffen werden. Ist der korrekte Umgang mit dem Atemkalk nicht sicher gewährleistet, wird vom Gebrauch dieser Produkte abgeraten.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand führen alle in Deutschland erhältlichen Atemkalksorten (vgl. 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 länger dauernde 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 (15). Eine zeitlich oder an einem minimalen Frischgasfluss orientierte Einschränkung des Einsatzes von Sevofluran erscheint deshalb nicht gerechtfertigt (16, 17).

Eine Anleitung zu korrektem Gebrauch von Atemkalk finden Sie im Anhang.

Literatur

1. Petty C: Carbon dioxide absorption. In: The Anesthesia Machine. Churchill Livingstone, New York, 1987; 67-9.
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 absorbents does not correlate with small carbon dioxide absorption. *Anesth Analg* 2002;95:650
4. Baum J, Straus JM: Kohlenmonoxidbildung am Atemkalk. *Anasth Intensivmed* 1995;36: 237-40
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;39:11-6
6. Berry PD, Sessler DI, Larson MD: Severe carbon monoxide poisoning during desflurane anesthesia. *Anesthesiology* 1999;90:613-6
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;81:564-8
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 Anlag* 1995;80:1187-93
9. Strum DP, Eger II EI: The degradation, absorption, and solubility of volatile anesthetics in soda lime depend on water content. *Anesth Analg* 1994;78:340-8
10. Zwißler B, Conzen P, Peter P: Inhalationsanästhetika und CO₂-Absorber - Zur Problematik des trockenen Atemkalks. *Anästh Intensivmed* 1998;39:7-10
11. Keijzer C, Perez RSGM, De Lange JJ. Carbon monoxide production from five volatile anesthetics in dry sodalime in a patient model: halothane and sevoflurane do produce CO; temperature is poor predictor of CO production. *BMC Anesthesiology* 2005;5:6; www.biomedcentral.com/1471-2253/5/6
12. 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: 815-8
13. Coppens MJ, Versichelen LFM, Rolly G et al. The mechanisms
14. 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;59:584-9

15. Obata R, Bito H, Ohmura M et al. The effects of low-flow sevoflurane anesthesia on renal and hepatic function. *Anesth Analg* 2000;91:1262-8
16. Baum JA, Whoelck HJ. Interaction of inhalational anaesthetics with CO₂ absorbents. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology* 2003;17:63-76
17. 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)
18. Baum J, Enzenauer J, Krause Th: (1993) Atemkalk - Nutzungsdauer, Verbrauch und Kosten in Abhängigkeit vom Frischgasfluss. *Anaesthesiol Reanimat* 18:108-13
19. Baxter PJ, Kharasch ED: Rehydration of desiccated Baralyme prevents carbon monoxide formation from Desflurane in an anesthesia machine. *Anesthesiology* 1997;86:1061-5
20. 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
21. 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;79:782-6
22. Woehlk H: Optimal rehydration of desiccated CO₂ absorbents. *Anesthesiology* 1997;87:1590
23. Förster H, Dudziak R: Über die Ursachen der Reaktion von trockenem Atemkalk und halogenierten Inhalationsanästhetika. *Anaesthesist* 1997;46:1054-63
24. Förster H, Warnken UH, Asskali F: Unterschiedliche Reaktion von Sevofluran mit einzelnen Komponenten von Atemkalk. *Anaesthesist* 1997;46:1071-5
25. Funk W, Gruber M, Wild K, Hobbhahn J: Dry soda lime markedly degrades sevoflurane during simulated inhalation induction. *Br J Anaesth* 1999;82:193-8
26. Wissing H, Kuhn I, Dudziak R: Zur Temperaturentwicklung von Inhalationsanästhetika auf trockenem Atemkalk. *Anaesthesist* 1997;46:1064-70
27. Woehlk HJ, Dunning M, Conolly LA: Reduction in the incidence of carbon monoxide exposures in humans undergoing general anesthesia. *Anesthesiology* 1997;87:2234
28. Woehlk HJ: Severe intraoperative CO poisoning. *Anesthesiology* 1999;90:353-4.
29. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall: Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 18. Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes 2021

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

1. Wechsel des Atemkalks,

Bei sichtbarer Erschöpfung des Atemkalks ist ein Wechsel zwingend erforderlich. Das heißt:

- Die inspiratorische CO₂-Konzentration erreicht ca. 4 mmHg, bzw.
- der Farbumschlag des Indikators erreicht maximal 2/3 der Füllhöhe des Absorbers.

Alternative Wechselkriterien

- Bei nicht 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 (18), der Vermeidung akzidenteller Austrocknung und eines möglichen Ablassens des Indikators gerechtfertigt. Erscheint bei nicht täglich eingesetzten Geräten ein wöchentlicher Wechsel der Absorberfüllung unzweckmäßig, so sollte der Absorber nach Gebrauch aus dem Atemsystem herausgenommen und mit passenden luftundurchlässigen Kappen verschlossen werden. Dies gilt insbesondere bei Geräten, bei denen der Frischgasfluss nicht sicher sistiert (mechanische Gasdosierung). Ein routinemäßiger Wechsel zumindest im 4 Wochen-Rhythmus ist dennoch nach Herstellerangaben obligat.
- Das Ablaufdatum der jeweiligen Befüllung ist auf dem Absorbergehäuse zu vermerken (Nächster Wechsel am:...), falls die Geräte keine andere technische Überwachung der Standzeit gewährleisten.
- Im Vergleich zur Hochflussnarkose (Frischgasfluss etwa 4,0 l/min) nimmt bei konsequenter Durchführung von Niedrigflussnarkosen (Frischgasfluss $\leq 1,0$ l/min) die Kohlendioxidbelastung des Atemkalkes etwa um den Faktor 4 zu (18). 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. Maßnahmen zu Verhinderung akzidenteller Austrocknung des Atemkalkes

- Nach jeder Anästhesie den Frischgasfluss komplett abstellen.
- Geräte in Phasen des Nichtgebrauches nicht durch konstanten Gasstrom oder Einschalten des Ventilators trocknen. Alternativ muss vor dem Trocknungsprozess der Absorber aus dem Atemsystem entfernt werden.

- Bei sehr selten genutzten Narkosegeräten den Absorberkanister unbefüllt lassen, deutlich als ungefüllt markieren und den Atemkalk im ungeöffneten Originalgebinde neben dem Gerät zur Befüllung des Absorbers bereitstellen.
- Wird ein Umstand bemerkt, der eine akzidentelle Austrocknung des Atemkalkes nicht ausschließen lässt, so ist dieser 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. Auch hierbei ist die maximale Standzeit laut Hersteller zu beachten.
- Besondere Vorsicht ist beim Einsatz von Einmal-Absorbern angezeigt: Diese sollten einzeln wasserdampfundurchlässig verpackt oder versiegelt und jeweils mit einem Verfallsdatum gekennzeichnet sein.
- Von einer – gar routinemäßigen – Befeuchtung des Atemkalkes durch Aufgießen oder Aufsprühen von Wasser (19-22) muss dringend abgeraten werden: die ungleichmäßige Verteilung der Feuchte im Absorber und die Verminderung der CO₂-Absorptionskapazität sprechen eindeutig gegen ein solches Vorgehen.
- Atemkalksorten mit vermindertem Anteil an Alkalihydroxiden - vor allem ohne Kaliumhydroxidanteil - , vermindern zwar die chemische Umsetzung des Atemkalkes mit den Inhalationsanästhetika (23-25), die übrigen Risiken, die aus prolongierter Nutzung des Atemkalkes resultieren, bleiben dennoch unverändert bestehen. So sollte der Umgang auch mit diesen Kalksorten den vorab gegebenen Empfehlungen entsprechen.
- **Bei plötzlicher starker Erwärmung des Atemkalkes, verzögertem Anstieg der Narkosemittelkonzentration im Atemsystem oder plötzlichem Farbumschlag des Indikators (6, 26) 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 (27, 28).

Tabelle 1: Kohlenstoffdioxidabsorber-Zusätze und ihre Eigenschaften

Eigenschaften	Bezeichnung des Zusatz	Wechsel-/ Nebenwirkungen	zu beachten
Reaktions- beschleunigung	Natriumhydroxid (NaOH)	Farbindikatorumschlag reversibel starke Basen katalysieren Bildung toxischer Produkte (s.u.)	Absorptionskapazität des Atemkalks nicht sicher beurteilbar Kohlenstoffmonoxid (CO) und Compound A mit Standardmonitoring nicht detektierbar
	Kaliumhydroxid (KOH)		
	Bariumhydroxid (Ba(OH) ₂)		
		Austrocknung	leicht entflammbar
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 mechanische Stabilität	Siliciumoxide, Silikate	Vermeidung von Abrieb- und Staubbildung	/
Indikator	z.B. Ethylenviolett	in Kombination mit NaOH ist Farbumschlag reversibel	Absorptionskapazität des Atemkalks nicht sicher zu beurteilen

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, Coleraine, GB	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	78-84	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%
Löwenstein Medical SE & Co. KG, Bad Ems, DE	Leonsorb Plus	> 75	0	< 3	12 - 19	Spuren Ethylviolett
	Leonsorb Premium	> 75	0	< 1	12 - 19	Spuren Ethylviolett
Micropore Inc., Elkton, MD, US	SpiraLith™	0	0	0	0	100% Lithiumhydroxid (LiOH)
Molecular Products Group Ltd, Harlow Essex, GB	Sofnolime®	> 75	0	< 3	k.A.	k.A.
P ³ Medical, Bristol, GB	P ³ Soda Lime™	>75%	0	<3%	k.A.	k.A:
Smiths Medical, St.Paul, MN, US	Sodasorb® LF	> 80	0	< 3??	12-19	Spuren Ethylviolett
	Sodasorb® WISL 16% 4/8	≈ 80	0	≈ 3	k.A.	k.A.

k.A. = keine Angabe, Ca(OH)₂ = Calciumhydroxid, CaCl₂ = Calciumchlorid, H₂O = Wasser, NaOH = Natriumhydroxid, CaSO₄ = Calciumsulfat

Tabelle 3: Atemkalk sicher und ökonomisch nutzen

Wechsel bei sichtbarer Erschöpfung

- Die inspiratorische CO₂-Konzentration erreicht ca. 4 mmHg, bzw.
- Der Farbumschlag des Indikators erreicht maximal 2/3 der Füllhöhe des Absorbers.

Austrocknung vermeiden

- Frischgaszufuhr nach Nutzungsende (elektronisch) abstellen („Standby“).

Vorgehen im Routinebetrieb

- Ablaufdatum der jeweiligen Befüllung auf dem Absorbergehäuse vermerken (Nächster Wechsel am:...), sofern die Überwachung der Standzeit nicht durch das Gerät erfolgt.
- Wechsel in regelmäßigen Abständen oder aufgrund der genannten Kriterien (F_iCO₂-Anstieg, Hitzeentwicklung, etc.) ist unabhängig von der Zusammensetzung des Atemkalksproduktes.
- 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
- zwei bis 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

Tabelle 4: Fachgerechte Entsorgung von Atemkalk (modifiziert nach (29))

Atemkalk wird als gefährlicher Abfall gemäß Abfallschlüsselnummer 180106 eingestuft. Hierfür ist das Führen eines Entsorgungsnachweises zur Sonderabfallverbrennung (SAV) oder chemisch-physikalischen Behandlung (CPB) erforderlich.

AVV Abfallschlüssel AS 18 01 06*	AVV-Bezeichnung: Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten		Abfalleinstufung: gefährlicher Abfall
Abfalldefinition: Chemikalienabfälle			
Anfallstellen	Bestandteile	Sammlung - Bereitstellung	Entsorgung
diagnostische Apparate, Laborbereiche, Pathologie	Säuren, Laugen, halogenierte Lösemittel, sonstige Lösemittel, anorganische Laborchemikalien, einschließlich Diagnostikarest- mengen, organische Laborchemikalien, einschließlich Diagnostikarest- mengen, Fixierbäder, Entwicklerbäder, Desinfektions- und Reinigungsmittelkonzentrate, nicht restentleerte Druckgaspackungen, Formaldehydlösungen, Atemkalk	Vorzugsweise getrennte Sammlung der Einzel- fraktionen unter eigenem Abfallschlüssel bei größeren Anfallmengen Entsorgung unter speziellerem Abfallschlüssel wie z. B.: 06 01 01* bis 06 01 05* oder: 06 01 06*: andere Säuren (säurehaltige Abfalllösungen), 06 02 01* bis 06 02 04* oder: 06 02 05*: andere Basen (basische Abfalllösungen), 07 01 03*: organische halogenierte Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, 07 01 04*: andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, 09 01 01*: Entwickler und Aktivatoren auf Wasserbasis, 09 01 03*: Entwicklerlösungen auf Lösemittelbasis, 09 01 04*: Fixierbäder, 09 01 05*: Bleichlösungen und Bleich-Fixier-Bäder, 16 05 06*:	Entsorgung als gefährlicher Ab- fall mit Sammel-/Entsorgungs- nachweis (SAV, CPB)