

Effekte passiver Atemgasbefeuchtung in der Sauerstofftherapie: ein Scoping-Review

Effects of passive humidification of respiratory gas in oxygen therapy: a scoping review

M. Diegelmann^{1,2} · A. Steinacker² · R. Schier³

► **Zitierweise:** Diegelmann M, Steinacker A, Schier R: Effekte passiver Atemgasbefeuchtung in der Sauerstofftherapie: Ein Scoping-Review. *Anästh Intensivmed* 2026;67:334–346. DOI: 10.19224/ai2026.334

Zusammenfassung

Hintergrund

Sauerstofftherapie stellt bei hypoxämischen Patient*innen unterschiedlicher Genese eine Behandlungsoption dar. Der Sauerstoff kann dabei mithilfe von Sprudelbefeuchtern befeuchtet und über eine Sauerstoffbrille/-maske appliziert werden. Eine routinemäßige Verwendung dieser Systeme sollte hinsichtlich ihrer klinischen Notwendigkeit und Wirksamkeit kritisch hinterfragt werden.

Fragestellung

Welche Wirksamkeit hat eine passive Atemgasbefeuchtung auf Patient*innen mit Sauerstofftherapie?

Methodik

Dieses Scoping-Review wurde gemäß der von Arksey und O'Malley beschriebenen Methodologie durchgeführt und umfasste die Recherche in vier Datenbanken (Cochrane Library, CINAHL, PubMed, Web of Science). Eingeschlossen wurden Publikationen zur Sauerstofftherapie, welche die Effektstärke einer passiven Atemgasbefeuchtung bei erwachsenen Patient*innen auf Sauerstofftherapie untersuchten.

Ergebnisse

Es wurden sechs Studien (vier Interventionsstudien, zwei Reviews) identifiziert. Bei objektivierbaren Endpunkten wie Intubations- und Bronchoskopierungen oder Schleimhautveränderungen konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen passiv befeuchteter und unbe-

feuchteter Sauerstofftherapie identifiziert werden. Das Weglassen der Sprudelbefeuchter führte ebenfalls bei subjektiven patientenbezogenen Endpunkten (Patient-reported Outcome Measures, PROMs) wie „trockene Nase und Rachen“ oder „Unwohlsein“ zu keinen Verschlechterungen. Die Verabreichung von passiv befeuchtetem Sauerstoff mit Einwegmaterial scheint mit keinen Kontaminationen einherzugehen.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend weist der Vergleich zwischen unbefeuchteter und passiv befeuchteter Sauerstoffverabreichung mittels Sprudelbefeuchtern keine wesentlichen Unterschiede auf. Alle einbezogenen Studien weisen Limitationen in Bezug auf ihre Aussagekraft und/oder Übertragbarkeit ihrer Ergebnisse auf. Die aufgefundene Literatur legt nahe, dass eine passive Atemgasbefeuchtung bei geringer Effektstärke keinen routinemäßigen Einsatz von Sprudelbefeuchtern rechtfertigt, allerdings besteht in allen Bereichen Forschungsbedarf, um die Frage abschließend zu beantworten.

Summary

Background

Oxygen therapy represents a treatment option for hypoxemic patients of various etiologies and can be passively humidified using bubble humidifiers in combination with nasal cannulae or oxygen masks. Their routine use should therefore be critically evaluated with respect to both necessity and effectiveness.

- 1 Stabsstelle Pflegewissenschaft und Praxisentwicklung, Universitätsmedizin Frankfurt (Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. J. Graf)
- 2 Hochschule Fulda
- 3 Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Notfallmedizin, Universitätsmedizin Marburg – Campus Fulda (Direktor: Prof. Dr. R. Schier)

Interessenkonflikt

Die Autorinnen und Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Schlüsselwörter

Kaltluftsprudler – Sprudelbefeuchter – Sauerstoffbefeuchtung – Sauerstoffbrille – Intensivstation

Keywords

Cold Air Humidifier – Bubble Humidifier – Oxygen Humidification – Oxygen Goggles – Nasal Cannula – Intensive Care Ward

Research Question

What effects does passive humidification have on patients receiving oxygen therapy?

Methods

This scoping review was conducted in accordance with the methodology described by Arksey and O'Malley and included a literature search in four databases (Cochrane Library, CINAHL, PubMed, Web of Science). Publications addressing oxygen therapy and the effects of passive humidification in adult patients were included.

Results

Six studies (four interventional studies and two reviews) comparing humidified and non-humidified oxygen administration were included. No differences were observed in objective outcomes such as rates of intubation, non-invasive ventilation, bronchoscopy, or mucosal changes. Omission of bubble humidifiers did not result in adverse changes in subjective outcomes (Patient-reported Outcome Measures (PROMs)), including "dry nose and throat" or "discomfort". In addition, no contamination of prefilled humidifiers was observed.

Conclusions

Overall, comparison of non-humidified and humidified oxygen indicates that the use of bubble humidifiers does not confer any beneficial effects. No differences were observed across all evaluated outcomes. All included studies exhibited limitations regarding their methodological robustness and/or generalizability. The available literature suggests that the absence of demonstrable effects does not justify the routine use of bubble humidifiers; however, further research is required in all areas to conclusively address this issue.

1. Einleitung

Die Sauerstofftherapie ist eine wichtige Behandlungsoption zur Vermeidung einer Hypoxämie unterschiedlicher Genese bei Patient*innen in der klinischen Versorgung und sollte bei einer Unterschreitung der Zielsauerstoffsättigung

von 88 bis 92 % erfolgen [1]. Damit diese Therapie umgesetzt werden kann, stellt die Industrie hierfür unterschiedliche Produkte zur Verfügung. Zum einen wird Sauerstoff direkt über einen Druckminderer als einstellbarer Flow (Liter pro Minute (l/min)) angeboten. Dabei kann bei Flussraten unter 6 l/min Sauerstoff mittels Nasensonde oder -brille verabreicht werden. Sauerstoffmasken haben sich ab einer Flussrate von 5 l/min bewährt. Hierbei spricht man auch vom konventionellen Verfahren der Sauerstoffapplikation. Grundsätzlich wird ab einer kontinuierlichen Sauerstoffverabreichung von mehr als 6 l/min eine Überwachung der Patient*innen mittels peripherer Messung der Sauerstoffsättigung (SpO_2) sowie klinische Beobachtung (intermittierend) empfohlen [2]. Übermäßige Sauerstoffgaben sollten grundsätzlich kritisch abgewogen werden, denn eine Sauerstofftherapie birgt auch Gesundheitsrisiken (z. B. Absorptionsatelektase, Verlust der hypoxischen Vasokonstriktion, Haldane-Effekt). Insbesondere bei akuten Verschlechterungen der chronisch obstruktiven Lungenerkrankung und anderen chronischen Lungenerkrankungen mit Risiko für Hyperkapnie sollte Sauerstoff nur verabreicht werden, wenn die Sauerstoffsättigung unter 88 % liegt. Übermäßige Sauerstoffgaben sollten demnach kritisch abgewogen werden, denn trotz der bekannten Risiken scheint weiterhin im klinischen Bereich die Vermeidung einer Hypoxämie als Priorität wahrgenommen zu werden [3,4]. Andererseits ist von dieser konventionellen Sauerstoffverabreichung mittels Sauerstoffbrille/-maske die High-Flow-Therapie, mit entsprechenden Geräten, speziellen High-Flow-Nasenkanülen und deutlich höheren Flussraten (40–60 l/min), abzugrenzen [2]. High-Flow-Therapie kann, basierend auf dem klinischen Patient*innenbedarf, etwa bei akuter hypoxämischer respiratorischer Insuffizienz, eingesetzt werden und wird standardgemäß aktiv befeuchtet [5,6]. Bei aktiven Befeuchtungssystemen erfolgt eine Erwärmung und Befeuchtung der inspirierten Luft, wodurch eine höhere Luftfeuchte erzielt werden kann

(weiterführende Informationen zur relativen und absoluten Luftfeuchte siehe Infobox 1).

Für konventionelle Sauerstoffbrillen/-masken existiert ein passives Verfahren mittels Sprudelbefeuchter. Es handelt sich hierbei um mit Aqua befüllte Behälter, durch welche Sauerstoff geleitet wird. Dieser Kontakt soll es ermöglichen, zusätzliche Feuchtigkeit aufzunehmen und dadurch die Luft zu befeuchten. Der Sauerstoff wird hierbei nicht erwärmt [7].

Von diesem passiven Verfahren sind zudem Heat and Moisture Exchanger (HME-Filter) bei nichtinvasiver (NIV) oder invasiver Beatmung abzugrenzen, welche über ein patientennahes Wärme-Feuchtigkeitstausch-Medium verfügen, um die inspirierte Luft zu befeuchten. Durch das expiratorische Atemgas der Patient*innen erfolgt neben der passiven Befeuchtung ebenfalls eine passive Erwärmung des inspirierten Atemgases [8].

Die Verwendung von Sprudelbefeuchtern bei der konventionellen Sauerstofftherapie unterliegt häufig einer Routineanwendung mit Mehraufwand durch Pflegefachpersonen, dessen Effektivität unklar ist [9]. In der Praxis ergeben sich daher Fragen hinsichtlich der Notwendigkeit und Wirksamkeit von passiver Atemgasbefeuchtung im Rahmen einer kosteneffektiven und evidenzbasierter Versorgung.

Infobox 1: Luftfeuchtigkeit bei der Sauerstoffverabreichung

Raumluft mit 22 °C und 50 % relativer Feuchte (entsprechend 10 mg $\text{H}_2\text{O}/\text{l}$ absoluter Feuchte) nimmt bei ruhiger Nasenatmung bis zur Tracheamitte ungefähr 25 mg $\text{H}_2\text{O}/\text{l}$ (73 % der Befeuchtungsleistung) und im weiteren Verlauf im Tracheobronchialbaum bis zu den Hauptbronchien noch weitere 9 mg $\text{H}_2\text{O}/\text{l}$ Wasser (27 % der Befeuchtungsleistung) auf, um in der Lunge eine Sättigung von 100 % relativer Feuchte bei 37 °C Körpertemperatur (entsprechend 44 mg/l absoluter Feuchte) zu erreichen [7]. Trockener Sauerstoff

aus dem Wandanschluss führt einen Wassergehalt von 1 mg/l mit sich und kann dazu beitragen, dass die isothermische Sättigungsgrenze verschoben wird. Warme Luft kann einen höheren Anteil an Wasser aufnehmen. Demnach kann 37 °C warme Luft maximal 44 mg H₂O/l Luft aufnehmen (absolute Feuchte), um eine relative Feuchte von 100 % zu erreichen. Im Gegensatz hierzu wäre bei einer Temperatur von 20 °C maximal 17 H₂O/l Luft erreichbar (100 % relative Feuchte) [18].

Sprudelbefeuchter erreichen beispielsweise bei einer Sauerstoffgabe von 3 Liter pro Minute eine Erhöhung der absoluten Luftfeuchte am Ausgang der Nasenbrille von 9,1 mg H₂O/l (unbefeuchtet) auf 21,0 mg H₂O/l (passiv befeuchtet). Die Temperaturen an der Sauerstoffbrille (29,8 °C unbefeuchtet vs. 30,6 °C passiv befeuchtet) waren ebenfalls geringfügig höher [12]. Zum Vergleich: HME-Filter erreichen teils mehr als 28 mg H₂O/l absolute Feuchte und Temperaturen von 32–33 °C [19].

1.1) Ziel und Forschungsfrage

Das primäre Ziel dieses Scoping-Reviews besteht darin, die verfügbare Literatur zur Effektstärke der passiven Atemgasbefeuchtung im Kontext der Sauerstofftherapie zu untersuchen. Durch diese Analyse soll zudem die Effektstärke hinsichtlich der Reduktion von Komplikationen und Patient*innenzufriedenheit untersucht werden, um klinische Entscheidungsprozesse zu unterstützen.

2. Methodik

Dieses Scoping-Review folgt der von Arksey und O'Malley beschriebenen Methodologie, welche aus fünf zentralen Schritten besteht: (1) Identifizierung der Forschungsfrage, (2) Identifizierung relevanter Studien, (3) Auswahl der Studien, (4) Extraktion und Aufbereitung der Daten sowie (5) Zusammenführung, Zusammenfassung und Berichterstattung der Ergebnisse [10]. Der Aufbau des

Reviews orientiert sich an den PRISMA-ScR-Richtlinien (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews) [11].

Zur Identifikation relevanter Studien zur passiven Atemgasbefeuchtung bei Sauerstofftherapie wurde eine systematische Literaturrecherche in vier Datenbanken (Cochrane Library, CINAHL (EBSCOhost), PubMed (MEDLINE), Web of Science) nach den Schlüsselbegriffen „low-flow oxygen therapy“, „humidification“ und „nonhumidification“ in unterschiedlichen Varianten/Synonymen durchgeführt:

- P erwachsene Patient*innen mit Sauerstofftherapie über Nasenbrille/-maske
- I passive Atemgasbefeuchtung/Sprudelbefeuchter
- C unbefeuchtet
- O Outcomes aller Art

(P = patient, I = intervention, C = comparison, O = outcome)

Die Strategie der systematischen Literaturrecherche für PubMed ist in Tabelle 1 ersichtlich. Die an die jeweilige Datenbank adaptierten Suchstrategien können im Appendix eingesehen werden.

Eingeschlossen wurden alle Primärstudien und Reviews, welche in deutscher oder englischer Sprache vorlagen und sich mit dem Einfluss passiver Atemgasbefeuchtung auseinandersetzen. Es wurden folgende Ausschlusskriterien angewandt:

- aktive Befeuchtung
- tracheotomierte Patient*innen
- High-Flow-Therapieverfahren
- nichtinvasive und invasive Beatmung
- Fokus auf Kinder/Jugendliche

High-Flow-Therapie und aktive Befeuchtung wurden ausgeschlossen, da die Forschungsfrage gezielt den Unterschied zwischen passiver Befeuchtung und unbefeuchteter Sauerstoffverabreichung untersucht. Tracheotomierte Patient*innen wurden ausgeschlossen, da bei ihnen die physiologischen Anfeuchtungsmechanismen der oberen Atemwege umgangen werden und die Sauerstoffverabreichung dieser Patient*innen daher nicht mit der Applikation über eine konventionelle Sauerstoffbrille/-maske vergleichbar ist [2].

Darüber hinaus wurden nur Studien der letzten 15 Jahre berücksichtigt, um eine Aktualität der Studienergebnisse zu gewährleisten. Die Recherche wurde im April und Mai 2023 durchgeführt, im November 2025 wiederholt und auf Aktualität geprüft. Der Auswahlprozess ist im PRISMA-Flussdiagramm dargestellt (Abb. 1).

Die Titel und Abstracts aller identifizierten Beiträge wurden unabhängig voneinander von zwei Reviewern (MD, AS) gesichtet. Volltexte potenziell relevanter Studien wurden anschließend hinsichtlich ihrer Eignung geprüft. Die Datenextraktion erfolgte mittels einer strukturierten Tabelle, in der zentrale Informationen erfasst wurden: Popula-

Tabelle 1
Suchstring PubMed.

	(oxygen OR „low-flow oxygen therapy“[All Fields] OR „low-flow“[All Fields])
AND	(„humidifier“[All Fields] OR „humidification“[All Fields] OR „humidified“[All Fields] OR „humidifiers“[MeSH Terms] OR „humidifiers“[All Fields] OR „humidifier“[All Fields] OR „humidifies“[All Fields] OR „humidify“[All Fields] OR „humidifying“[All Fields] OR „nonhumidified“[All Fields] OR „nonhumidification“[All Fields] OR „Bubble Humidified“[All Fields])
NOT	(„High-Flow“[All Fields] OR „intubat*“[All Fields] OR „mechanical ventilation“[All Fields] OR non-invasiv* OR trachea* OR „child“[MeSH Terms] OR „child“[All Fields] OR „children“[All Fields] OR „child s“[All Fields] OR „children s“[All Fields] OR „childrens“[All Fields] OR „childs“[All Fields] OR „infant“[MeSH Terms] OR „infant“[All Fields] OR „infants“[All Fields] OR „infant s“[All Fields] OR Covid OR anesthes*)

(Eigene Darstellung).

tion, Studiendesign, Art der Intervention, Methoden der Datenerhebung sowie zentrale Ergebnisse. Die Extraktion wurde von zwei Reviewern (MD, AS) unabhängig voneinander durchgeführt und anschließend auf Übereinstimmung geprüft. Die Abbildungen zur Darstellung der Unterschiede wurden erstellt, indem Primärdaten aus den einzelnen Studien zweimal unabhängig voneinander in Microsoft® Excel® 2016 MSO 32-Bit extrahiert und anschließend mit den Originalstudien abgeglichen wurden. Die Inhalte der eingeschlossenen Studien, deren Implikationen für die Ergebnisinterpretation und etwaige Unstimmigkeiten wurden eruiert und im gegenseitigen Einverständnis geklärt (MD, AS, RS).

Der Systematik eines Scoping-Reviews folgend wurde keine formale, standardisierte Bewertung der Studienqualität (z. B. mittels GRADE-Klassifikation) durchgeführt und als Ausschlusskriterium verwendet [10]. Qualitätsaspekte der eingeschlossenen Studien (z. B. Studiendesign, Stichprobengröße, methodische Limitationen) werden jedoch deskriptiv

dargestellt und in der Diskussion reflektiert, ohne formale Gewichtung der Evidenz. Soweit nicht anders angegeben handelt es sich bei den berichteten Daten um Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung, Anzahl (n) oder Prozent (%). Konfidenzniveaus [% KI] werden bei jedem Vorkommen angegeben, da sie unterschiedlich berichtet wurden, p-Werte und Unterschiede zwischen den Gruppen wie Odds Ratios (OR) werden entsprechend ihrer Ergebnisdarstellung in den Primärstudien angegeben.

3. Ergebnisse

Die Suche in vier Datenbanken identifizierte 412 Ergebnisse. Nach Ausschluss, etwa aufgrund von Dopplung, falschem Thema oder falscher Sprache, verblieben sechs Studien zum abschließenden Einschluss [12–17], welche die Auswirkungen passiver Befeuchtungssysteme bei Sauerstofftherapie mittels Sauerstoffbrille/-maske fokussieren. Eine zusammenfassende Tabelle der eingeschlossenen Studien ist im Zusatzmaterial einsehbar (s. Anhang).

Die aufgefundenen Ergebnisse lassen sich in objektive Endpunkte (basierend auf Messergebnissen) und subjektive patientenbezogene Endpunkte (Patient-reported Outcome Measures (PROMs)) klassifizieren. Ein Vergleich der wichtigsten Unterschiede zwischen befeuchteter und unbefeuchteter Sauerstoffverabreichung ist in Abbildung 2 zusammengefasst.

3.1) objektivierbare Endpunkte

3.1.1) klinische Outcomes

Eine randomisierte kontrollierte Studie (RCT) von Poiroux et al. [15] zeigte geringfügige Unterschiede zwischen passiv befeuchtetem (bef.) und unbefeuchtetem Sauerstoff (unbef.) nach sechs bis acht Stunden bei den nachfolgenden klinischen Endpunkten:

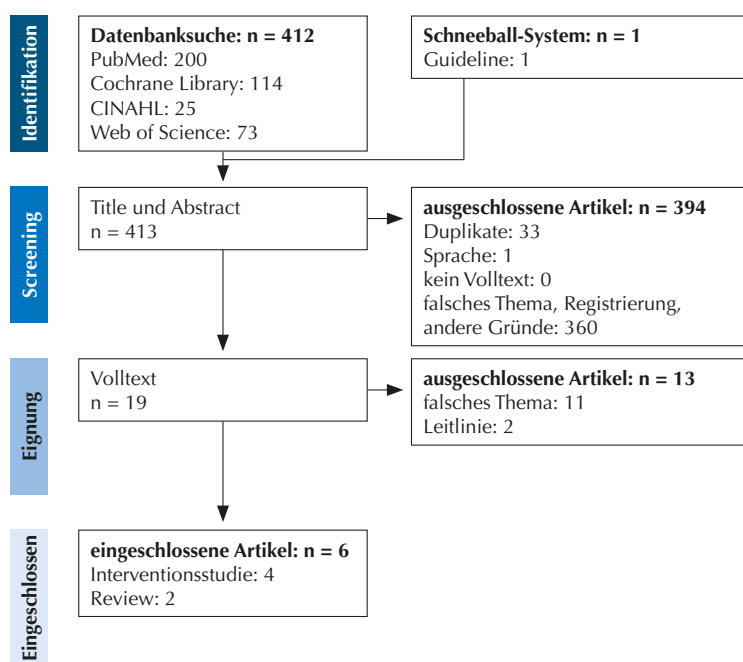
- Bedarf an Bronchoskopie
 - 278 Probanden: unbef. 5,6 % (n = 8) vs. bef. 5,1 % (n = 7); p = 0,85
- Bedarf an Intubation
 - 278 Probanden: unbef. 9,9 % (n = 14) vs. bef. 12,5 % (n = 17); p = 0,5
- Bedarf an NIV
 - 278 Probanden: unbef. 5 % (n = 7) vs. bef. 6,6 % (n = 9); p = 0,5

3.1.2) Schleimhautveränderungen

Franchini et al. und Santana et al. fanden in ihren Studien (RCTs) keine Effekte von passiver Atemgasbefeuchtung auf die nasale Mukosis (mukoziliäre Clearance, inflammatorische und oxidative Reaktionen). Die Studien umfassten gemeinsam 49 Proband*innen [12,14].

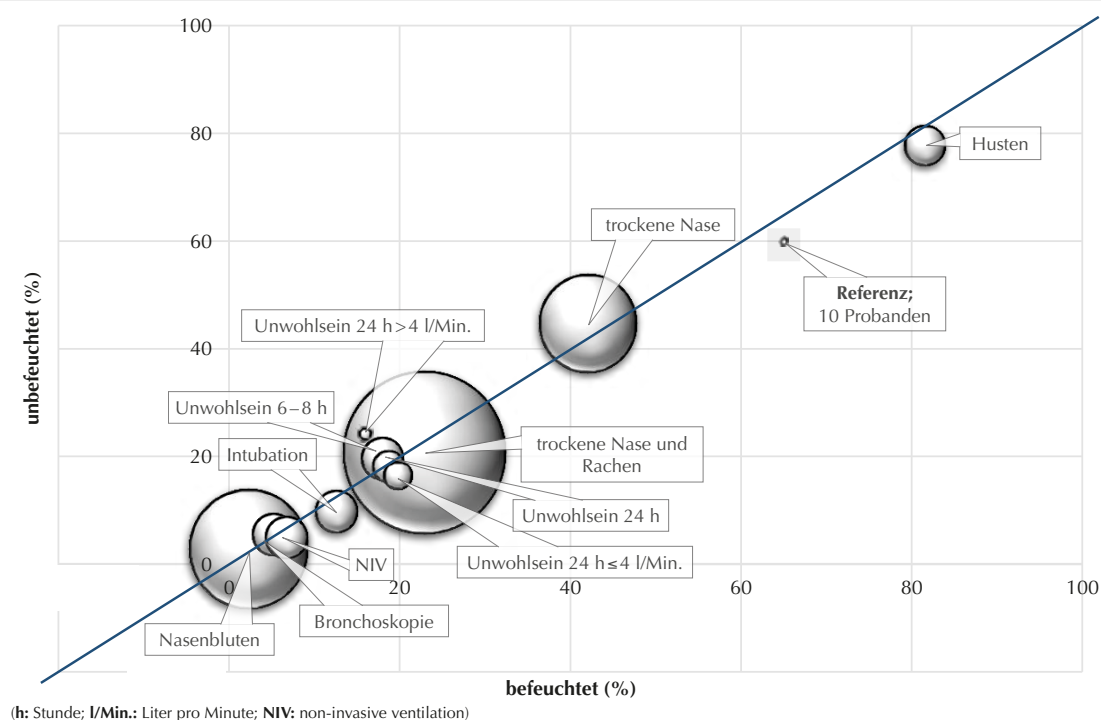
Allerdings konnten Santana et al. [14] an 31 gesunden Proband*innen Unterschiede beim Einsatz von Druckluft vs. Sauerstoff auf die nasale Schleimhaut bei Inflammation, oxidativem Stress und mukoziliärer Clearance feststellen. Demnach erhöhte die einstündige Sauerstoffgabe bereits die Konzentrationen von Makrophagen, Neutrophilen, Stickstoffmonoxid und 8-iso-Prostaglandin-F2 α und führte zu einer verlängerten Saccharin-Transitzeit (p < 0,05) (weiterführende Informationen zur Saccharin-Transitzeit siehe Infobox 2). Diese negativen Effekte zeigten sich unterschiedslos

Abbildung 1



Flussdiagramm Datenbankrecherche. (Eigene Abbildung).

Abbildung 2



Endpunkte befeuchteter und unbefeuchteter Sauerstofftherapie. (Eigene Grafik, mod. n. Poiroux et al. 2018 [Bronchoskopie, Intubation, NIV, Unwohlsein]; Wen et al. 2017 [Husten, Nasenbluten, trockene Nase, trockene Nase und Rachen]).

Auftreten der Outcomes in % unter passiv befeuchteter und unbefeuchteter Sauerstofftherapie; Unwohlsein: je höher, desto schlechter; sonstige Outcomes: je höher, desto häufiger das Auftreten; Blasengröße repräsentiert Probandenzahl: je größer, desto mehr Proband*innen; Schnittpunkte der beiden Häufigkeiten entsprechen dem Mittelpunkt der Blase; Referenzlinie markiert identische Häufigkeiten; Abstand des Blasenmittelpunkts zur Referenzlinie spiegelt Ausmaß des Häufigkeitsunterschieds (Referenzblase: 10 Proband*innen; Auftreten von Outcome XY 60 % unbef; 65 % bef.).

in der befeuchteten ($n = 8$) und unbefeuchteten Gruppe ($n = 8$). Es wurde eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte (%) am Ausgang der Nasenbrille durch den Einsatz von Sprudelbefeuchtern gemessen ($p < 0,05$), welche jedoch laut Autor*innen mit keinen relevanten Unterschieden der relativen Feuchte der nasalen Mukosa einherging.

Franchini et al. [12] wiesen an 18 Patient*innen (unbef. $n = 10$; bef. $n = 8$) in einer Langzeitstudie (24 Monate) negative Auswirkungen der Sauerstofftherapie auf die nasale Schleimhaut, wie verlängerte Saccharin-Transitzeit nach 12 Monaten ($p = 0,049$) und 24 Monaten ($p = 0,017$), sowie erhöhte Anteile von Makrophagen, Interleukin-8 und Konzentrationen epidermaler Wachstumsfaktor bei vermindertem Interleukin-10 nach. Ebenso zeigte sich eine negative Korrelation zwischen mukoziliäre Clearance (Saccharin-Transit-

zeit) und Lungenfunktion (LEV1) nach 24 Monaten ($-0,56$; $p = 0,007$). Bei diesen Parametern gab es keine Gruppenunterschiede zwischen befeuchteter und unbefeuchteter Atemluft. Durch Sprudelbefeuchter zeigte sich eine Erhöhung der absoluten Luftfeuchte am Ausgang der Nasenbrille auf 21 mg pro Liter (mg/l) (vs. unbef. 9 mg/l; $p < 0,001$). Zudem wurde eine leicht höhere absolute Feuchte der nasalen Mucosa unter befeuchteter Sauerstoffverabreichung festgestellt. Dieser Unterschied war abhängig von der Flussrate. Bei einer Sauerstoffgabe von zwei Litern pro Minute war die absolute Feuchte der Schleimhaut bei unbef. $22,3 \pm 1,9$ mg/l versus bef. $24,3 \pm 2,1$ mg/l. Bei drei Litern Sauerstoff pro Minute zeigte sich absolute Feuchte von unbef. $21,0 \pm 2,5$ mg/l vs. bef. $25,2 \pm 1,2$ mg/l. Diese Unterschiede waren laut den Autor*innen nicht signifikant.

Infobox 2: Saccharin-Transitzeit

Saccharin-Transitzeit beschreibt die Zeit, die ein Saccharin-Partikel benötigt, um vom vorderen Teil der unteren Nasenmuschel (Nasenhöhle) bis zum Rachen transportiert zu werden (Geschmackswahrnehmung) [20,21].

3.1.3) Kontaminationen und Infektionen

Wen et al. berichteten in ihrem Review mit Metaanalyse über bakterielle Kontaminationen der Befeuchterbehälter (OR 0,16 [0,06–0,43; 95%-KI]; 8 Studien; 1906 Proband*innen) und ein gehäuftes Neuauftreten respiratorischer Infektionen nach Sauerstofftherapie mit passiver Atemgasbefeuchtung (OR 0,39 [0,21–0,73; 95%-KI]; 4 Studien; 1916 Probanden) [13].

La Fauci et al. entnahmen nach fünf-tägigem Einsatz 300 Proben von Einmalmaterialien und wiederbefüllbaren Sprudelbefeuchtern. Sie wiesen mikrobielle Kontaminationen in den Mehrfachprodukten nach, meist *Pseudomonas aeruginosa*, gram-negative und gram-positive Bakterien sowie *Staphylococcus aureus*. Diese Kontamination betrafen alle klinischen Bereiche (Innere 83 %, Chirurgie 77 %, Intensivstationen 50 %). In den Proben der Einwegprodukte wurden keine Kontaminationen gefunden [16].

Ein Review von de la Fuente-Sancho verdeutlichte ebenso die Notwendigkeit der hygienischen Aufbereitung von Mehrfachsystemen, um Kontaminationen zu minimieren. Alle Studien, welche wiederbefüllbare Befeuchter beinhalten, zeigten bakterielle Kontaminationen (zwischen 10 und 100 %). Es handelte sich aber nicht immer um pathogene Keime. Aufgefundene pathogene Keime waren beispielsweise *Pseudomonas*, gram-negative Bakterien oder *Aspergillus*. Ein Nachweis von Legionellen wurde meist nicht fokussiert. Einwegsysteme zeigten auch bei längeren Laufzeiten und wechselnden Patient*innen keinerlei pathogene Kontaminationen [17].

3.2) Subjektive Endpunkte

Das RCT von Poiroux et al. [15] identifizierte beim Symptomkomplex „Unwohlsein“ in der Gesamtgruppe nach sechs bis acht Stunden ($n = 277$) und nach 24 Stunden ($n = 156$) keine Unterschiede zwischen unbefeuchteter und passiv befeuchteter Sauerstoffverabreichung. Eine Subgruppe zeigte nach 24 Stunden bei Sauerstoffflussraten über 4 l/min ($n = 29$) einen geringen Komfortvorteil beim Einsatz von Sprudelbefeuchtern (Tab. 2).

Die Metaanalyse von Wen et al. lieferte marginale Unterschiede bei folgenden subjektiven Outcomes [13]:

- trockene Nase
 - 1454 Proband*innen: unbef. 44,8 % vs. bef. 42 %; OR 1,21 [0,76–1,93; 95 %-KI]
- trockene Nase und trockener Rachen
 - 3995 Proband*innen: unbef. 20,8 % vs. bef. 22,8 %; OR 0,93 [0,78–1,10; 95 %-KI]

Tabelle 2

Symptomkomplex „Unwohlsein“ zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten.

Gruppe	Probanden	Statistisches Maß
6–8 Stunden		
Gesamt	bef. ($n = 136$) vs. unbef. ($n = 141$)	absolute Differenz: 2,8 [-0,4; +6,0; 90 % KI]
≤ 4 l/min	bef. ($n = 99$) vs. unbef. ($n = 100$)	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung: bef. $26,1 \pm 19,4$ vs. unbef. $27,9 \pm 22,2$
> 4 l/min	bef. ($n = 37$) vs. unbef. ($n = 42$)	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung: bef. $29,3 \pm 22,1$ vs. unbef. $33,9 \pm 24,2$
24 Stunden		
Gesamt	bef. ($n = 71$) vs. unbef. ($n = 85$)	absolute Differenz: -0,5 [-4,3; +3,3; 90 % KI]
≤ 4 l/min	bef. ($n = 58$) vs. unbef. ($n = 71$)	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung: bef. $29,6 \pm 19,7$ vs. unbef. $24,8 \pm 21,0$
> 4 l/min	bef. ($n = 14$) vs. unbef. ($n = 15$)	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung: bef. $23,8 \pm 16,6$ vs. unbef. $36,4 \pm 19,5$; $p = 0,04$

Eigene Darstellung n. Poiroux et al. 2018.

bef.: befeuchtet; **unbef.:** unbefeuchtet; **n:** Probandenanzahl; **KI:** Konfidenzintervall; **Skala Unwohlsein:** je höher, desto schlechter; **Einheit:** 0–150.

- Nasenbluten
 - 2165 Proband*innen: unbef. 2,9 % vs. bef. 2,2 %; OR 1,34 [0,77–2,34; 95 %-KI]
- Husten
 - 255 Proband*innen: unbef. 77,9 % vs. bef. 81,5 %; OR 0,80 [0,42–1,52; 95 %-KI]

Franchini et al. [12] zeigten in ihrer Langzeitstudie (Probandenanzahl zu Studienbeginn: unbef. $n = 10$; bef. $n = 8$) einen identischen Rückgang der mittels Fragebogen (Sino-Nasal Outcome Test 20 bzw. SNOT-20) erhobenen negativen Symptome (obere Atemwegssymptome und Schlafprobleme), unabhängig vom Einsatz einer passiven Befeuchtung. Demnach war Husten das am häufigsten berichtete Symptom zu Studienbeginn (bef. 44 % vs. unbef. 50 %), welches sich bereits nach sieben Tagen deutlich reduziert darstellte (bef. 11 % vs. unbef. 10 %; $p = 0,391$). Die Schlafprobleme waren in beiden Gruppen nach 12 bzw. 24 Monaten ebenfalls deutlich geringer (im Vergleich zu Basisdaten und 12 Std.: $p = 0,025$; im Vergleich zu 7 und 30 Tagen: $p = 0,019$):

- Husten
 - 12 Monate: 0 % (unbef. und bef.)
 - 24 Monate: unbef. 10 % vs. bef. 11 %

- Schlafprobleme
 - 12 Monate: unbef. 10 % vs. bef. 11 %
 - 24 Monate: unbef. 20 % vs. bef. 15 %

Santana et al. [14] registrierten bei 31 gesunden Proband*innen nach einstündiger Luftverabreichung von 3 l/min bei Verwendung einer passiven Atemgasbefeuchtung niedrigere Werte empfundener nasaler Trockenheit (Einschätzung mittels visueller Analogskala (VAS): je höher, desto ausgeprägter die empfundene nasale Trockenheit; 0: keine, 0,5: sehr leicht, 1: leicht, 2: mäßig, 3: schwer, 4: sehr schwerwiegend und unangenehme Symptome (SNOT-20) ($p < 0,05$)). Dieser Effekt betraf die Verabreichung von Sauerstoff (Proband*innen: bef. $n = 8$; unbef. $n = 8$) und Druckluft (Probanden: bef. $n = 7$; unbef. $n = 8$).

4. Diskussion

Insgesamt zeigen sich keine oder nur minimale Unterschiede bei allen aufgeführten Endpunkten. Die einbezogenen Studien wiesen Limitationen in Bezug auf Aussagekraft und/oder Generalisierbarkeit ihrer Ergebnisse auf.

4.1) objektivierbare Endpunkte

Hinsichtlich der Effektstärke einer passiven Atemgasbefeuchtung gegenüber einer unbefeuchteten Sauerstoffverabreichung zeigt die Studie von Poiroux et al. [15] bei den Outcomes Intubations- und NIV-Raten sehr geringe Unterschiede (s. Abb. 2). Demnach wurde in der Befeuchtergruppe eine geringfügig höhere Rate an Intubationen (2,6 %; $p = 0,5$) und NIV (1,6 %; $p = 0,5$) aufgefunden. Die Studie weist allerdings eine ungleiche Verteilung respiratorischer Insuffizienzen als Aufnahme diagnose auf Intensivstation auf (bef. 36,8 % vs. unbef. 27,5 %). Dies könnte ggf. die leicht erhöhten Intubations- und NIV-Raten unabhängig vom Befeuchtungsverfahren erklären. Die Studie von Poiroux et al. liefert in Bezug auf Nasen-/Rachenentzündungen keine auffälligen Unterschiede. Andere Infektionsraten wie (nosokomiale) Pneumonien wurden nicht dargelegt.

Wen et al. [13] benennen in ihrer Metaanalyse das häufigere Neuauftreten respiratorischer Infektionen nach befeuchteter Sauerstofftherapie (4 Studien; 1916 Proband*innen) und bakterielle Kontaminationen der Befeuchterbehälter (8 Studien; 1906 Proband*innen). Zwei der vier Studien waren in beiden Analysen enthalten. Diese Metaanalyse beinhaltete eine hohe Anzahl von Studien aus einem Land. Ebenfalls wurden bei der Analyse dieser beiden Endpunkte ausschließlich deren Studienergebnisse bewertet. Die fehlende Überprüfbarkeit der Primärstudien aufgrund der Sprachbarriere erschwert die Einschätzung und Generalisierbarkeit der Ergebnisse. Soweit beurteilbar, wurde bei deren Ergebnisdarstellung keine Differenzierung zwischen Einweg- oder Mehrwegmaterial vorgenommen [13]. Im Gegensatz zu diesen Resultaten konnten La Fauci et al. in Einwegmaterialien keine Kontaminationen identifizieren. Die Testung erfolgte allerdings bereits nach fünf Tagen [16]. Das Review von de la Fuente-Sancho et al. [17] untermauert die Einschätzung, dass kein Risiko von Einwegprodukten ausgeht, auch nicht bei längeren Laufzeiten oder wechselnden Patient*innen. Allerdings könnten

wiederverwendbare Behälter ohne korrekte antiseptische Maßnahmen ein Kontaminationsrisiko darstellen. Das Review von la de Fuente-Sancho et al. beinhaltet jedoch sehr heterogene Studien, mit beispielsweise unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren. Zudem waren fünf der zwölf eingeschlossenen Studien aus den Jahren 1990–1993. Dies könnte die Aktualität der Gesamtbetrachtung infrage stellen und möglicherweise vorliegende neuere antiseptische Verfahren nicht abbilden. Insgesamt ist der Einsatz von Einmalmaterial als sicher anzusehen. Der RCT von Poiroux et al. [15] verwendete Einmalmaterial (Aquapak®, Teleflex) zur passiven Befeuchtung. Demnach erscheint es plausibel, dass die (sehr geringen) Unterschiede der NIV- und Intubationsraten durch andere Ursachen begründet sein könnten, welche nicht mit dem Befeuchtungsverfahren assoziiert sind. Dennoch sollten zukünftige Studien sich dieser Diskrepanz annehmen.

Franchini et al. [12] und Santana et al. [14] konnten bei keine Unterschiede zwischen unbefeuchtet und passiver Befeuchtung auf die nasale Mucosa (inflammatorische Reaktionen, oxidativer Stress, mukoziliäre Clearance) nachweisen. Sauerstofftherapie scheint mit negativen Veränderungen der Schleimhäute assoziiert, welche sich nicht durch eine Befeuchtung beeinflussen lassen. Beide Studien hatten geringe Probandenzahlen, was die Ergebnisbeurteilung erschwert. Santana et al. wählten zudem gesunde Teilnehmer*innen und eine Evaluation bereits nach einer Stunde. Dies beschränkt die Aussagekraft zusätzlich und behindert eine Generalisierbarkeit der Ergebnisse auf klinische Situationen.

Beide Studien belegten eine Erhöhung der Luftfeuchte durch die Sprudelbefeuchter an der Nasenbrille. Dennoch berichten selbige über keine oder nur eine geringe Feuchtigkeitsunterschiede der nasalen Mucosa. Während die absolute Luftfeuchte bei Franchini et al. [12] 21,0 mg/l an der Sauerstoffbrille betrug, zeigte die absolute Feuchte der Nasenschleimhaut 25,2 mg/l (bei 3 l/min). Damit lag dieser Wert 4,2 Punkte über der unbefeuchteten Nasenschleimhaut

(unbef. $21,0 \pm 2,5$ vs. bef. $25,2 \pm 1,2$). Im Gegensatz zu anderen Unterschieden gaben die Autoren für die Feuchte der Nasenschleimhaut keinen p-Wert an. Santana et al. [14] wählten eine rein grafische Darstellung der Ergebnisse und berichteten ausschließlich den p-Wert des Unterschieds zwischen der relativen Feuchte an der Sauerstoffbrille ($p < 0,05$). Der Unterschied an der nasalen Mucosa wurde nur als nicht signifikant benannt. Daher ist bei beiden Studien, aufgrund fehlender statistischer Details, eine Objektivierung und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse nicht vollumfänglich möglich. Dennoch scheint passive Atemgasbefeuchtung nicht ausreichend in der Lage, die Nasenschleimhaut zu befeuchten, um negative Effekt auszugleichen. Um diese Ergebnisse abschließend beurteilen zu können, ist allerdings weiterer Forschungsbedarf nötig.

4.2) PROMs

Wen et al. [13] berichteten bei subjektiven Symptome wie beispielsweise „trockene Nase“, „trockene Nasen und Rachen“ oder „Husten“ keine wesentlichen Unterschiede (Abb. 2), während das Symptom „Husten“ laut Franchini et al. [12] grundsätzlich eher ein kurzzeitiges Problem von Patient*innen ist. Im Gegensatz hierzu zeigten Poiroux et al. [15] beim Symptomkomplex „Unwohlsein“ Unterschiede in einer Subgruppe. Dieser Symptomkomplex erfordert für die Interpretation der Ergebnisse jedoch eine differenzierte Betrachtung. Er beinhaltete beispielsweise neben „Mundtrockenheit“, „nasaler Trockenheit“ oder „Durst“ auch Symptome wie „Unwohlsein in der Brust“, „Kopfschmerz“ oder „veränderte Geschmacksempfindung im Mund“. Die Symptome könnten jedoch ebenso auf andere Ursachen als eine Befeuchtung zurückzuführen sein. Diese Studie hatte zudem eine hohe Drop-out-Rate zwischen den Zeitpunkten 6–8 Stunden und 24 Stunden (H6-8: 277 Proband*innen; H24: 156 Proband*innen), welche nicht begründet wurde. Demnach wurden nur 56 % der Patient*innen mehrmals erfasst. Insgesamt scheinen die Subgruppenanalysen aufgrund der geringen Probandenzahl eingeschränkt. Nach 24 Stunden waren noch 71 befeuchtete und

85 unbefeuchtete Patient*innen in die Analyse integriert. Eine Ähnlichkeit der Gruppen nach 24 Stunden und/oder mit Bezug auf die unterschiedlichen Sauerstoffflussraten wurde nicht dargestellt. Die berichteten Charakteristika beziehen sich auf den Zeitpunkt nach 6–8 Stunden. Insbesondere die geringe Probandenzahl nach 24 Stunden bei höheren Sauerstoffraten (15 unbef. vs. 14 bef.) erscheint problematisch. Eine Beeinflussung des Outcomes „Unwohlsein“ durch Unterschiede der Proband*innen kann demnach nicht ausgeschlossen werden.

Santana et al. [14] fanden ebenso beim Einsatz passiver Atemgasbefeuchtung geringere unangenehme Symptome (Einschätzung mittels VAS und SNOT) nach einstündiger Sauerstofftherapie. Aufgrund der geringen Proband*innenzahl kann ebenfalls eine Ergebnisbeeinflussung aufgrund von Einzelcharakteristika nicht ausgeschlossen werden. Die Daten wurden zudem ausschließlich grafisch dargestellt und nur der p-Wert numerisch berichtet. Die mittels VAS eingeschätzte subjektive nasale Trockenheit scheint eher gering (Schätzung des Mittelwerts [Min–Max] anhand der Grafik: unbef. 2 [0,5–3,1] vs. bef. 1 [0,2–2] (0: keine, 0,5: sehr leicht, 1: leicht, 2: mäßig, 3: schwer, 4: sehr schwerwiegend)). Diese Einschätzung deckt sich mit Poiroux et al. [15], welche die aufgefundenen Symptome ebenfalls als gering einstufen und schlussfolgerten, dass Sauerstofftherapie grundsätzlich gut vertragen wird.

Die subjektiven Symptome der Trockenheit ließen sich nicht durch Messungen der Feuchte der Nasenschleimhaut objektivieren [14]. Trotz der benannten Limitationen und in Anbetracht ähnlicher Feuchtemessungen von Franchini et al. [12] werfen diese Ergebnisse dennoch die Frage auf, inwieweit entweder die Auswirkungen an der Nasenschleimhaut (noch) nicht messbar sind oder ob passive Atemgasbefeuchtung ggf. durch andere Einflüsse (z. B. das Blubbern) das subjektive Befeuchtungsgefühl verbessert, ohne einen tatsächlich messbaren Effekt zu erzeugen.

Franchini et al. [12] berichteten Schlafprobleme unter der Sauerstofftherapie.

Sie benannten einen von der Befeuchtung unabhängigen Rückgang der Symptome, inkl. Nennung des p-Werts. Der 5 %ige Unterschied zum Zeitpunkt von 12 Monaten wurde nicht näher ausgeführt (unbef. 20 % vs. bef. 15 %).

Passive Atemgasbefeuchtung ist nach den vorliegenden Daten nicht in der Lage, negative subjektive Symptome der Patient*innen unter Sauerstofftherapie auszugleichen. Mögliche Unstimmigkeiten lassen sich am ehesten durch die geringen Proband*innenzahlen der Studien erklären, wenngleich eine abschließende Beurteilung nur mittels umfangreicher Studien erreicht werden könnte.

4.3) Limitationen

Die Analyse erfolgte gemäß der Methodik eines Scoping-Reviews qualitativ und grafisch, um einen Überblick über die Datenlage zu ermöglichen. Trotz intensiver Recherche in vier Datenbanken wurden nur wenige relevante Studien identifiziert. Die inkludierten Studien weisen Limitationen auf, welche zur Ergebnisinterpretation und Übertragbarkeitsanalyse dargestellt wurden. Eindeutige Schlussfolgerungen sind daher nur begrenzt generalisierbar und unterstreichen den notwendigen Forschungsbedarf.

5. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend weist der Vergleich zwischen unbefeuchteter und passiv befeuchteter Sauerstoffverabreichung mittels Sprudelbefeuchtern keine wesentlichen Effektunterschiede auf. Objektivierbare Endpunkte, wie die Analyse von Intubationsraten, Nasenfeuchte oder Nasenschleimhaut, weisen keine messbaren Unterschiede aufgrund der Befeuchtung auf. Einwegmaterialien scheinen in Bezug auf Kontaminationen zudem hygienisch unbedenklich. PROMs wie „trockene Nase“, „trockene Nase und Rachen“ oder der Symptomkomplex „Unwohlsein“ weisen ebenfalls keine Unterschiede auf. Ausschließlich in einer Subgruppe (24 Stunden: >4 l/min) beim Vergleich von 15 mit 14 Proband*innen konnten geringe

Wohlbefindensvorteile in der Befeuchtergruppe registriert werden.

Die fehlende Effektstärke einer passiven Atemgasbefeuchtung rechtfertigt somit keinen routinemäßigen Einsatz von Sprudelbefeuchtern. Passive Befeuchtung scheint demnach nicht in der Lage, die Nasenschleimhaut ausreichend zu befeuchten, um negative Effekte der Sauerstofftherapie auszugleichen. Im Sinne einer Einzelfallentscheidung kann ggf. zur Steigerung der Akzeptanz bei Patient*innen mit höheren Sauerstoffraten und Unwohlsein der Einsatz einer passiven Befeuchtung abgewogen werden. In diese Einzelfallentscheidung sollten ebenfalls der (geringe) Mehraufwand dieser Routineanwendung sowie die entstehenden Kosten ebenfalls Berücksichtigung finden. Unser Scoping-Review zeigt, dass weiterhin Forschungsbedarf besteht, um den Nutzen passiv befeuchteter Sauerstoffverabreichung mittels Sprudelbefeuchtern sicher nachzuweisen. Auf der Basis unserer Daten stellt eine passiv befeuchtete Sauerstoffverabreichung keinen wesentlichen Vorteil in der Patient*innenversorgung gegenüber der unbefeuchteten Methode dar.

Korrespondenzadresse



Marion Diegelmann

Universitätsmedizin Frankfurt
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt am Main,
Deutschland

E-Mail: marion.diegelmann@
unimedizin-ffm.de

ORCID-ID: 0009-0001-7996-3605

Literatur

- 1 Gottlieb J, Capetian P, Hamsen U, Janssens U, Karagiannidis C, Kluge S, et al: German S3 Guideline: Oxygen Therapy in the Acute Care of Adult Patients. *Respiration* 2022;101:214–252
- 2 Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V. (DGP): S3-Leitlinie Sauerstoff in der Akuttherapie beim Erwachsenen. Langversion 1.0, Juni 2021. AWMF-Registernummer: 020–021
- 3 O'Driscoll BR, Bakerly ND: Are we giving too much oxygen to patients at risk of hypercapnia? Real world data from a large teaching hospital. *Respir Med* 2025;238:107965
- 4 Sarkar M, Madabhavi I, Kadakol N: Oxygen-induced hypercapnia: physiological mechanisms and clinical implications. *Monaldi Arch Chest Dis* 2022;93
- 5 Piraino T, Madden M, Roberts KJ, Lamberti J, Ginier E, Strickland SL: AARC Clinical Practice Guideline: Management of Adult Patients With Oxygen in the Acute Care Setting. *Respir Care* 2022;67:115–128
- 6 Lewis SR, Baker PE, Parker R, Smith AF: High-flow nasal cannulae for respiratory support in adult intensive care patients. *Cochrane Database Syst Rev* 2021;3:CD010172
- 7 Dasgupta S, Ghosh S, Chandra A: Cold Bubble Humidification of Oxygen: Old habits die hard. *Sultan Qaboos Univ Med J* 2022;22:309–313
- 8 Gillies D, Todd DA, Foster JP, Batuwitage BT: Heat and moisture exchangers versus heated humidifiers for mechanically ventilated adults and children. *Cochrane Database Syst Rev* 2017;9:CD004711
- 9 Tang N, Li H, Zhang J, Ling H, Shi L, Zhang H, et al: Nurses' knowledge, attitude, and practice of low-flow oxygen therapy and humidification. *Front Med (Lausanne)* 2024;11:1460079
- 10 Arksey H, O'Malley L: Scoping studies: towards a methodological framework. *Int J Soc Res Methodol* 2005;8:19–32 doi:10.1080/1364557032000119616
- 11 Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al: PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Ann Intern Med* 2018;169:467–473
- 12 Franchini ML, Athanazio R, Amato-Lourenço LF, Carreirão-Neto W, Saldiva PHN, Lorenzi-Filho G, et al: Oxygen With Cold Bubble Humidification Is No Better Than Dry Oxygen in Preventing Mucus Dehydration, Decreased Mucociliary Clearance, and Decline in Pulmonary Function. *Chest* 2016;150:407–414
- 13 Wen Z, Wang W, Zhang H, Wu C, Ding J, Shen M: Is humidified better than non-humidified low-flow oxygen therapy? A systematic review and meta-analysis. *J Adv Nurs* 2017;73:2522–2533
- 14 Santana LA, Bezerra SKM, Saraiva-Romanhólo BM, Yamaguti WP, de Fátima Lopes Calvo Tibério I, Dos Santos TM, et al: Cold bubble humidification of low-flow oxygen does not prevent acute changes in inflammation and oxidative stress at nasal mucosa. *Sci Rep* 2021;11:14352
- 15 Poiroux L, Piquilloud L, Seegers V, Le Roy C, Colonval K, Agasse C, et al: Effect on comfort of administering bubble-humidified or dry oxygen: the Oxyrea non-inferiority randomized study. *Ann Intensive Care* 2018;8:126
- 16 La Fauci V, Costa GB, Facciola A, Conti A, Riso R, Squeri R: Humidifiers for oxygen therapy: what risk for reusable and disposable devices? *J Prev Med Hyg* 2017;58:E161–E165
- 17 de la Fuente-Sancho I, Romeu-Bordas Ó, Fernández-Aedo I, Vallejo De la Hoz G, Ballesteros-Peña S: Microbiological contamination in high and low flow oxygen humidifiers: A systematic review. *Med Intensiva (Engl Ed)* 2019;43:18–25
- 18 Lang H: Atemgaskonditionierung. In: Lang H (Hrsg): *Beatmung für Einsteiger*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2020;171–178
- 19 Lellouche F, Bouchard PA, Cyr LA, Lefebvre JC, Branson R: Hygrometric Performance of 113 Passive Humidifiers: ISO Standard Method Versus Psychrometry. *Respir Care* 2025;70:1376–1386
- 20 Rodrigues F, Freire AP, Uzeloto J, Xavier R, Ito J, Rocha M, et al: Particularities and Clinical Applicability of Saccharin Transit Time Test. *Int Arch Otorhinolaryngol* 2019;23:229–240
- 21 Caponnetto P, Emma R, Benfatto F, Ferlito S, Gulino A, Maniaci A, et al: Saccharin test: Methodological validation and systematic review of the literature. *Ear Nose Throat J* 2024;103:NP494–NP507.

Anhang

Tabelle 1A

Systematische Literaturrecherche – Datenbanken.

Datenbank	Suchstring und Filter	Resultate
Pubmed	(oxygen OR "low-flow oxygen therapy"[All Fields] OR "low-flow"[All Fields]) AND ("humidifier"[All Fields] OR "humidification"[All Fields] OR "humidified"[All Fields] OR "humidifiers"[MeSH Terms] OR "humidifiers"[All Fields] OR "humidifier"[All Fields] OR "humidifies"[All Fields] OR "humidify"[All Fields] OR "humidifying"[All Fields] OR "nonhumidified"[All Fields] OR "nonhumidification"[All Fields] OR "Bubble Humidified"[All Fields]) NOT ("High-Flow"[All Fields] OR "intubat*" [All Fields] OR "mechanical ventilation"[All Fields] OR non-invasiv* OR trachea* OR "child"[MeSH Terms] OR "child"[All Fields] OR "children"[All Fields] OR "child s"[All Fields] OR "children s"[All Fields] OR "childrens"[All Fields] OR "childs"[All Fields] OR "infant"[MeSH Terms] OR "infant"[All Fields] OR "infants"[All Fields] OR "infant s"[All Fields] OR Covid OR anesthes*) Filter: 15 Jahre, Deutsch/Englisch	200
Cochrane Library	("low-flow oxygen therapy" OR "low-flow") AND (humidification OR humidified OR nonhumidified OR nonhumidification) Filter: 15 Jahre	114
CINAHL	("low-flow oxygen therapy" OR "low-flow" OR inhalation) AND (humidification OR humidified OR nonhumidified OR nonhumidification) NOT (High-Flow OR intubat* OR "mechanical ventilation" OR children OR infant) Filter: 15 Jahre	25
Web of Science	("low-flow oxygen therapy" OR "low-flow" OR inhalation) AND (humidification OR humidified OR nonhumidified OR nonhumidification) NOT (High-Flow OR intubation OR "mechanical ventilation" OR children OR infant) Filter: 15 Jahre	73

Tabelle 2A

Charakteristika eingeschlossener Studien.

Hauptaussage	Ergebnisdetails
La Fauci et al. 2017	- Einwegprodukt zeigt 5 Tage nach Initialverwendung keine Kontamination - Mehrfachprodukte zeigen Kontaminationen - Innere (83 %), Chirurgie (77 %), Intensivstationen (50 %) - überwiegend <i>Pseudomonas aeruginosa</i>, gram-negative Bakterien, <i>Staphylococcus aureus</i>, gram-positive Bakterien
Hauptaussage: Einwegprodukte zeigten nach 5 Tagen keine Kontamination	
Studiendesign: Interventionsstudie, Vergleich von 300 Mehrwegprodukten und 300 Einwegprodukten	
Einschränkung: Testung bereits nach 5 Tagen	Einzeloutcomes - nasale mukoziliäre Clearance: Reduktion in beiden Gruppen (längere Saccharin-Transitzeiten) 12 Monate ($p = 0,049$), 24 Monate ($p = 0,017$) - keine Gruppenunterschiede ($p = 0,224$) - Assoziation zwischen beeinträchtigter mukoziliärer Clearance und Abnahme der Lungenfunktion - Korrelation STT und FEV1 nach 24 Monaten ($-0,56$; $p = 0,007$) - nasale Lavage: - erhöhte Anteile von Makrophagen und Interleukin-8 sowie erhöhte Konzentrationen des epidermalen Wachstumsfaktors bei vermind. Interleukin-10 - keine Veränderungen im Anteil zilientrager Zellen oder Kontaktwinkel - absolute Feuchte (mg/l) an der Sauerstoffbrille und Nasenschleimhaut 2 l/min Sauerstoffgabe - Sauerstoffbrille unbef. $9,0 \pm 0$ vs. bef. $21,0 \pm 0$ ($p < 0,001$)
Franchini et al. 2016	
Hauptaussage: Passive Atemgasbefeuchtung scheint nicht in der Lage, Veränderungen der Sauerstofftherapie auszugleichen keine Unterschiede zwischen befeuchteter oder unbefeuchteter Sauerstoffgabe	
Studiendesign: RCT, 18 Proband*innen mit Langzeitsauerstofftherapie Erhebungszeitpunkte: Basisdaten, nach 12 Std., 7 Tagen (18 Proband*innen), 30 Tagen (17 Proband*innen), 12 Monate (16 Proband*innen), 24 Monate (15 Proband*innen) (Drop-out-Grund: Tod)	
Testverfahren: nasale mukoziliäre Clearance (Saccharin-Transitzeit, STT), Schleimhaut-Kontaktwinkel (Oberflächenspannung), Inflammation (Zell- und Cytokin-Konzentration in nasaler Lavage), Lungenfunktion	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite

- absolute Feuchte (mg/l) an der Sauerstoffbrille und Nasenschleimhaut - Sino-Nasal Outcome Test 20 (SNOT-20) 20 Items in 2 Hauptdomänen: obere Atemwegssymptome (Fragen 1–10), Schlafqualität (Fragen 11–20) visuelle Analogskala 0 bis 5: je höher, desto ausgeprägter Einschränkungen: 18 Teilnehmende: 10 unbef., 8 bef.; 24 Mon.: 8 unbef. vs. 7 bef. - Luftfeuchte und Temperaturmessung bei 6 Proband*innen >> keine nähere Erläuterung zu Zeitpunkt/Auswahl o. ä. - nicht alle p-Werte berichtet (z. B. Schleimhautfeuchte bef. vs. unbef.) oder Zeitpunkt der p-Wert-Bestimmung unbestimmt (z. B. keine Gruppenunterschiede Schlafprobleme) - Schlafprobleme nach 24 Monaten: keine explizite Aussage	- Schleimhaut unbef. $22,3 \pm 1,9$ vs. bef. $24,3 \pm 2,1$ (kein p-Wert berichtet) 3 l/min Sauerstoffgabe - Nasenbrille unbef. $9,1 \pm 0,3$ vs. bef. $21,0 \pm 0$ ($p < 0,001$) - Schleimhaut unbef. $21,0 \pm 2,5$ vs. bef. $25,2 \pm 1,2$ (kein p-Wert berichtet) - Husten und Schlafsymptome (SNOT-20) - Husten 12 Mon.: 0 % 24 Mon.: unbef. 10 % vs. bef. 11 % - Schlafprobleme 12 Mon.: unbef. 10 % vs. bef. 11 % 24 Mon.: unbef. 20 % vs. bef. 15 % - identische Reduktion von Husten (n. 7 Tagen; keine Gruppenunterschiede; $p = 0,391$) und Schlafproblemen $p = 0,025$ 12/24 Mon. vs. Baseline und 12 Std. $p = 0,019$ 12/24 Mon. vs. 7 u. 30 Tage; "no significant differences between dry-NLFO and humidified-NLFO groups ($p = 0,391$)"
Hauptaussage	Ergebnisdetails
de la Fuente-Sancho et al. 2019	Einzeloutcomes
Hauptaussage Notwendigkeit guter aseptische Praxis bei der Verwendung von wiederverwendbaren Systemen oder Einmalsystemen als sichere Alternative Studiendesign Review, 12 Studien: 4 x wiederverwendbar, 4 x Fertigsysteme, 4 x Vergleich beider Systeme 8,876 Patient*innen (4583 Proband*innen unbef., 4293 Proband*innen bef.)	- Einwegsysteme 5 Studien verwendeten Befeuchter bei mehreren Pat. - mikrobiologische Untersuchungen max. Nutzungszeitraum bis 105 Tagen, meist < 30 Tage - keine pathogenen Bakterien, 1 Studie keine Pilze - Verwendung Einwegsystem über mehrere Wochen scheint selbst beim Einsatz bei verschiedenen Pat. sicher - wiederbefüllbare Systeme - unterschiedliche Wiederaufbereitungs-, Wiederverwendungsverfahren und Einsatzlänge - meist: zw. jedem Pat. Zwischenreinigung vor Neubefüllung, Verwendung von sterilem Aqua - alle Studien: bakterielle Kontaminationen (10–100 %) - überwiegend keine pathogenen Keime, teils Pseudomonas, gram-negative Bakterien, Aspergillus - Legionellen wurden teils nicht geprüft
Einschränkungen - teils fragliche Generalisierbarkeit der Studien - sehr unterschiedliche Studien, Aufbereitungsarten, Verwendung (Pat.wechsel oder nur 1 Pat.) 5 Studien 1990–1993	
Poiroux et al. 2018	klinische Parameter: n (%) oder Tage
Hauptaussage: Keine Unterschiede bei subjektivem Symptomkomplex „Unwohlsein“ unter Sauerstofftherapie mittels O₂-Brille/-Maske grundsätzlich gute Toleranz der Sauerstofftherapie unabhängig von Laufrate („Unwohlsein“ < 20 %)	6–8 Std.: bef. (n = 136) vs. unbef. (n = 142) - Bronchoscopy: 7 (5,1 %) vs. 8 (5,6 %); $p = 0,85$ - Intubation: 17 (12,5 %) vs. 14 (9,9 %); $p = 0,50$ - NIV: 9 (6,6 %) vs. 7 (5,0 %); $p = 0,55$ - ear, nose or throat infection: 1 (0,7 %) vs. 0; $p = 0,49$ - ICU LOS (days): 3 [1,0–6,0] vs. 3 [2,0–4,5]; $p = 0,90$ - Death: 8 (5,9 %) vs. 7 (5,0 %); $n = 0,74$
Studiendesign: RCT Erhebungszeitpunkte inkl. Proband*innenanzahl: - nach 6–8-Std. (H6–H8) (277 Proband*innen): 141 unbef. vs. 136 bef. - unbef.: > 4 l/min = 42; ≤ 4 l/min = 100 (1 anschließend ausgeschl.) → 141 - bef.: > 4 l/min = 37; ≤ 4 l/min = 99 → 136 24 Std. (H24) (156 Proband*innen) 85 unbef. vs. 71 bef. - unbef.: > 4 l/min = 15; ≤ 4 l/min = 71 (1 anschließend ausgeschlossen) → 85 - bef.: > 4 l/min = 14; ≤ 4 l/min = 58 (1 anschließend ausgeschlossen) → 71 - dargestellter Ausschluss nach Subgruppenbildung: keine klare Zuordnung > oder ≤ 4 l/min der ausgeschlossenen Proband*innen	Score Unwohlsein (nicht alle p-Werte berichtet) 6–8 Std.: - bef. (n = 136) vs. unbef. (n = 141): absolute Differenz 2,8 [-0,4–6,0; 90%-KI] ≤ 4 l/min bef. (n = 99) vs. unbef. (n = 100): Score Mean ± SD bef. $26,1 \pm 19,4$ vs. unbef. $27,9 \pm 22,2$ > 4 l/min bef. (n = 37) vs. unbef. (n = 42): Score Mean ± SD bef. $29,3 \pm 22,1$ vs. unbef. $33,9 \pm 24,2$ 24 Std.: - bef. (n = 71) vs. unbef. (n = 85): absolute Differenz -0,5 [-4,3–3,3; 90%-KI] ≤ 4 l/min bef. (n = 58) vs. unbef. (n = 71): Score Mean ± SD bef. $29,6 \pm 19,7$ vs. unbef. $24,8 \pm 21,0$ > 4 l/min bef. (n = 14) vs. unbef. (n = 15): Score Mean ± SD bef. $23,8 \pm 16,6$ vs. unbef. $36,4 \pm 19,5$; $p = 0,04$

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite

Testverfahren: • Score: 0–150; je höher, desto größeres Unwohlsein: – Mundtrockenheit – Brennen im Mund – Sprechschwierigkeiten – Durstgefühl – Trockenheitsgefühl im Hals – Halsschmerzen und/oder Schluckbeschwerden – Empfindung von Kälte oder Wärme in den Atemwegen – Nasentrockenheit – Erhöhter Bedarf, sich die Nase zu schnäuzen – ungewöhnliche Geruchswahrnehmung – Augenbeschwerden – Beschwerden im Brustbereich – Kopfschmerzen – Unwohlsein aufgrund der Umgebungsgeräusche – veränderte Geschmacksempfindung im Mund • klinische Parameter: im Gesamtaufenthalt	unterschiedliche Charakteristika 6–8 Std. [n (%)] • Sauerstofftherapie vor Intensivaufnahme: – bef. 90 (66,2 %) vs. 103 (72,5 %) • Sauerstofftherapie zu Hause: – bef. 3 (2,2 %) vs. 8 (5,7 %) • Aufnahmegründe auf Intensivstation: – respiratorische Insuffizienz – bef. 50 (36,8 %) vs. unbef. 39 (27,5 %) – Herzversagen / Lungenödem – bef. 2 (1,5 %) vs unbef. 12 (8,5 %)
Einschränkungen: • Unterschiede bei Charakteristika (6–8 Std.) • Charakteristika nur H6–8, Vergleichbarkeit der H24-Gruppe nicht möglich • nicht alle p-Werte berichtet • sehr geringe Proband*innenzahl bei bestimmten Subgruppen • hohe Drop-out-Rate, keine Begründung • schwankende Proband*innenzahl: ausgeschlossene Proband*innen teilweise in Analyse enthalten (z. B. bei klinischen Outcomes); Ausschluss von Einzelpersonen nach Klassifizierung in > oder ≤ 4 l/min; ausgeschlossene*r Proband*in nicht Subgruppe zuordenbar	
Hauptaussage	Ergebnisdetails
Santana et al. 2021	Einzeloutcomes
Hauptaussage: Passive Atemgasbefeuchtung scheint nicht in der Lage, Veränderungen der Sauerstofftherapie auszugleichen • keine Unterschiede zwischen befeuchteter oder unbefeuchteter Sauerstoffgabe	• Effekte auf nasale Mukosis (Inflammation, oxidativer Stress, mukoziliäre Clearance): – Sauerstofftherapie vs. Air: in O₂-Gruppe Zunahme/Konzentrationssteigerung von Gesamtzellzahl, Anzahl von Makrophagen, Neutrophilen, eNO, 8-iso-PGF2α; Verlängerung Saccharin-Transitzeit (p < 0,05) – kein Unterschied unbef. vs. bef.
Studiendesign: RCT, 31 gesunde Proband*innen in 4 Gruppen (2 x O₂, 2 x Druckluft, je 1 x bef. und unbef.), jede Gruppe 7–8 Proband*innen; 1 Std. 3 l/min O₂ oder Druckluft Erhebungszeitpunkte: 3 l/min für 1 Std. Testverfahren: • Gesamtzellzahl und Differenzialzellbild in der nasalen Lavageflüssigkeit (NLF), exhalierendes Stickstoffmonoxid (eNO), 8-iso-Prostaglandin-F2α-Konzentrationen, nasale mukoziliäre Clearance (Saccharin-Transitzeit STT) • relative Feuchte (%) an der Sauerstoffbrille und Nasenschleimhaut • subjektive Symptome – visuelle Analogskala (VAS) nasale Trockenheit – Skala von 0 bis 4; 0: keine, 0,5: sehr leicht, 1: leicht, 2: mäßig, 3: schwer, 4: sehr schwerwiegend – und Sino-Nasal Outcome Test 20 (SNOT-20)	• relative Luftfeuchtigkeit (%): – kein Unterschied zw. Sauerstoff vs. Air zwischen den Versuchsgruppen – bef. vs. unbef.: erhöhte relative Luftfeuchtigkeit unter passiver Befeuchtung (p < 0,05) • subjektive Symptome: – bef. vs. unbef.: geringere unangenehme Symptome (VAS und SNOT-20) (p < 0,05)
Einschränkungen: • geringe Proband*innenzahl • Testung der Komponenten nach 1 Stunde • keine Einzelwerte berichtet, nur p-Werte und Abbildungen	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite

Wen et al. 2017 Hauptaussage: Durch unbefeuchtete Sauerstoffverabreichung scheint es keine negativen Effekte auf bestimmte Symptome zu geben Studiendesign: Review mit Metaanalyse, 27 Studien; 8.876 Patient*innen (4583 Proband*innen unbef., 4293 Proband*innen bef.) Einschränkungen: - eingeschlossene Studien überwiegend in chinesischer Sprache (24 von 27) - die Mehrzahl der Studien weisen Randomisierungsbias auf „Inzidenz respiratorischer Infektionen“: es wurde ein Fixed-Effect-Modell verwendet (4 Studien) mit folgender Begründung: p-Wert des χ^2-Tests > 0,10; I^2 < 50 % - eher wahrscheinlich, dass es sich um Mehrfachprodukte handelt: - bakterielle Kontamination der Befeuchter: 34,5 % - In Tabelle wird „Flüssigkeit zur Sauerstoffbefeuchtung“ (Fluid for oxygen humidification) erwähnt - in Diskussion wird „Wechsel des sterilen Wassers“ als Arbeitsaufwand benannt	Einzeloutcomes - trockene Nase 1454 Pat.: unbef. 44,8 % vs. 42 % bef.; OR 1,21 [0,76–1,93] - trockene Nase und Rachen 3995 Pat.: unbef. 20,8 vs. 22,8 % bef.; OR 0,93 [0,78–1,10] - Husten 255 Pat.: unbef. 77,9 vs. 81,5 % bef.; OR 0,80 [0,42–1,52] - Nasenbluten 2165 Pat.: unbef. 2,9 vs. 2,2 % bef.; OR 1,34 [0,7–2,34] - Unwohlsein im Brustkorb 1637 Pat.: unbef. 4,0 vs. 4,1 % bef.; OR 0,91 [0,53–1,55] - Kontamination Befeuchtungsbehälter 1906 Fälle; OR 0,16 [0,06–0,43] - operation time for oxygen administration 2979 Fälle: Mittelwertdifferenz -35,84 [-44,51–27,7] - Sauerstoffgeruch 1745 Pat.: unbef. 2,3 vs. 1,7 % bef.; OR 1,35 [0,69–2,65] - SpO₂ 260 Pat.; Mittelwertdifferenz -0.60 [-3,32–2,11] - respiratorische Infektionen 1916 Pat.; OR 0,39 [0,21–0,73]
---	---

bef.: befeuchtet; **unbef.:** unbefeuchtet; **FEV1:** Lungenfunktion; **OR:** Odds Ratio; **RCT:** randomisierte kontrollierte Studie.