

6 Aerosoltherapie und Applikation

Matthias Griese, Judith Glöckner-Pagel

Ziele der Inhalationstherapie sind:

- Deposition von Medikamenten:
 - Betamimetika, inhalative Steroide, Anticholinergika
 - rhDNase (rekombinante humane DNase, Pulmozyme), hypertones Kochsalz, Acetylcystein (ACC)
 - Antibiotika (Colistin, Tobramycin, Aztreonam u. a.)
 - Ilomedin, Cyclosporin u. a.
- Hilfe bei der Mobilisation und Drainage von Sekreten:
 - Kochsalz (0,9–10 %ig)
 - Acetylcystein (ACC)

Anforderungen sind:

- Die Deposition der Medikation sollte rasch erfolgen, eine exzellente Verteilung aufweisen, mit minimalen Verlusten einhergehen und sehr bequem sein. Alter und Geschick des Patienten spielen eine Rolle, dieser Einfluss sollte aber durch technische Vorgaben minimiert werden.

- Die Mobilisation und Drainage von Sekreten ist zum einen abhängig von der Deposition der inhalierten Medikamente, zum anderen auch von der Dauer der Einwirkung. Die Effektivität der Inhalation in Bezug auf Transport von Sekret aus den Atemwegen ist eindeutig direkt proportional zur Inhalationszeit. Sie verlangt deshalb Nassvernebler mit hohem Massenauswurf und gleichzeitig kleiner Partikelgröße (► Abb. 6.1). Dabei ist zu beachten:
 - Unterschiedliche Aerosolapplikationsgeräte können unterschiedliche Massen an Medikamente transportieren.
 - Unterschiedliche Medikamente werden in unterschiedlicher Menge in der Lunge benötigt (► Abb. 6.2).
 - Nassvernebler sollten zusätzlich auch bequem sein, das heißt geräuscharm, möglichst mobil (Batteriebetrieb), leicht zu reinigen, klein und handlich.

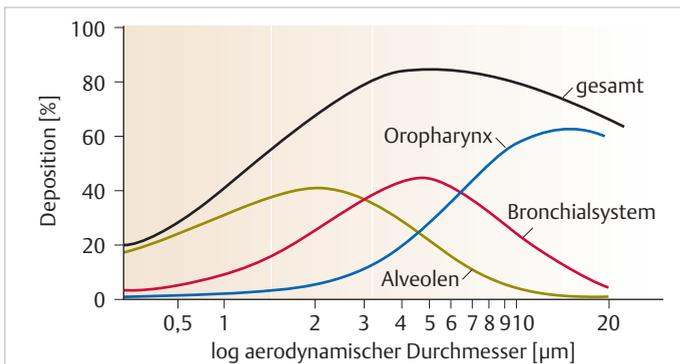


Abb. 6.1 Partikelgröße und Deposition. Es besteht ein klarer Zusammenhang zwischen der Partikelgröße und der Gesamtmasse, die in der Lunge deponiert wird. Es findet sich ein Depositionsmaximum bei ca. 3–4 µm großen Partikeln, werden kleinere Partikel verwendet, so sinkt die Deposition überproportional ab, da diese zwar gut in die Alveolen penetrieren, jedoch nur vergleichsweise wenig in das Bronchialsystem.

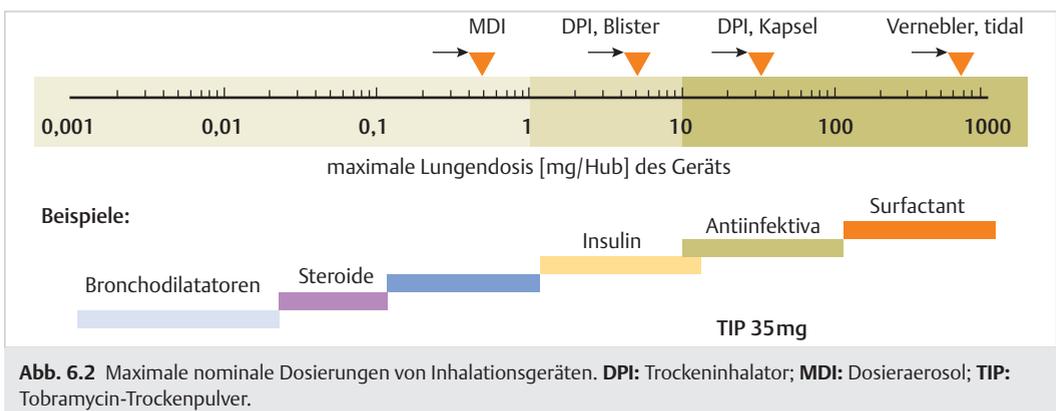


Abb. 6.2 Maximale nominale Dosierungen von Inhalationsgeräten. **DPI**: Trockeninhalator; **MDI**: Dosieraerosol; **TIP**: Tobramycin-Trockenpulver.

Einsatzziele der Inhalationstherapie:

- Bei Asthma, obstruktiver Bronchitis, Bronchiolitis und z. T. bei zystischer Fibrose (CF) steht die Deposition der Medikamente im Vordergrund.
- Bei Bronchiektasen, primärer ziliärer Dyskinesie, zystischer Fibrose und z. T. bei Bronchitis und Bronchiolitis steht die Sekretmobilisation im Mittelpunkt.

- Ist die Koordination zwischen Auslösung und Inhalation gut, muss kein Spacer verwendet werden.
- Im Zweifelsfall ist immer, unabhängig vom Inspirationsfluss, für alle Dosieraerosole ein Spacer zu empfehlen. Cave: Manch ein Patient wird u.U. von dem Gerät nicht Gebrauch machen, weil er die Benutzung als „uncool“ empfindet.

6.1 Aerosolerszeugersysteme

Eine Übersicht gibt ▶ Tab. 6.1.

Auswahl des richtigen Inhalationssystems:

- 1. Frage: Ist der Patient in der Lage, Auslösung und Inhalation zu koordinieren?
- 2. Frage: Ist die inspiratorische Flussrate > 30 l/min?
- Antworten:
 - Ist der Inhalationsfluss > 30 l/min kann ein atemaktiviertes Dosieraerosol, ein Trockenpulverinhalationsgerät oder ein Nassvernebler verwendet werden.
 - Ist der Inhalationsfluss < 30 l/min können nur Dosieraerosole mit Spacer oder Nassvernebler verwendet werden.

6.1.1 Dosieraerosol

- Aufgrund von Problemen bei der Koordination des Auslösens des Geräts und des Einatemmanövers sind generell bei Kindern unter 5 Jahren sog. Spacer (Inhalationshilfen) zu verwenden.
- (immer) Verwendung von Inhalationshilfen mit Ventil (AeroChamber plus, OptiChamber, Vortex Volumatic, Babyhaler), möglichst antistatisch (antistatische Geräte: AeroChamber Max, Vortex)
- Extra feine Partikel werden durch besondere Treibmittel-Medikamenten-Kombinationen ermöglicht und führen zu einer größeren Lungendeposition, z. B. Ciclesonid (Alvesco) oder Beclometason (Qvar). Für Letzteres sind nur 50% der traditionellen Applikationsdosen not-

6

Tab. 6.1 Aktuell verwendete Aerosolerszeugersysteme.

Prinzip	Beispiele und Bemerkungen		
Dosieraerosol (pMDI)	Umstellung aller mit chlorierten Fluorkohlenwasserstoffen getriebenen Geräte auf HFA-Treibmittel (HFA: Hydrofluoralkan) ist inzwischen erfolgt	mit Zählmechanismen und Anzeigen für Anzahl verbleibender Dosen	
Trockenpulverinhalator (DPI)	kapselbasiert, Einzeldosis	Vielfachdosis aus Massenvorrat	Vielfachdosis, individuelle Blister
Ultraschallvernebler	piezoelektrischer Kristall	Nachteil: kann sich erhitzen und Proteinmedikamente inaktivieren	
Düsenvernebler	mit und ohne Medikamentenauslass (vented/unvented)	atemverstärkt, atemausgelöst	unterschiedliche Kompressoren können mit verschiedenen Verneblern kombiniert werden
Langsam-Nebel-Gerät (Slow Mist Device)	RespiMat (Boehringer, Deutschland)	AERx (Aradigm, USA)	
Vibrierendes-Netz-Gerät (Vibrating Mesh Device)	eFlow (Pari)	Omron NE-U22V MicroAir Nebulizer (Omron, USA)	Aerogen's On Q Aerosol Generator (Nektar/Novartis)
Smart Device	AeroEclipse (Trudell Medical International, Canada)	I-neb (Respironics/Philips, UK)	Akita Breath Control (Deutschland)

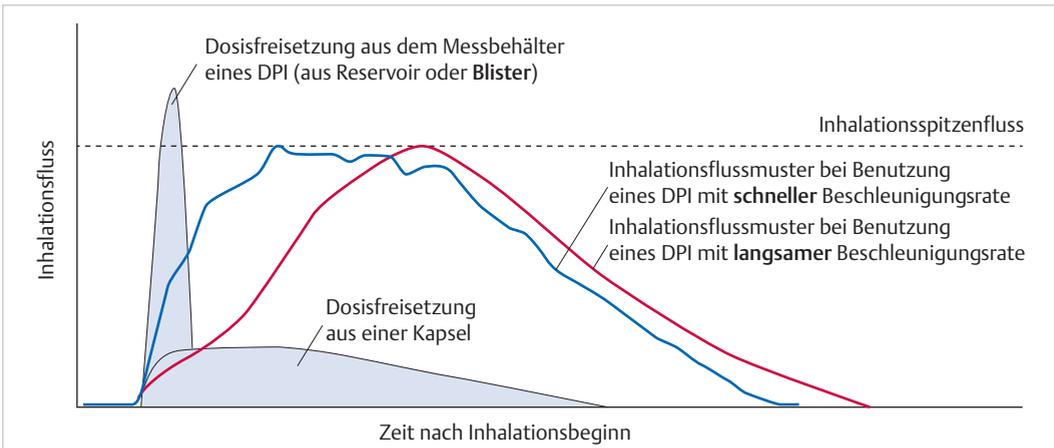


Abb. 6.3 Unterschiedliche Flussmuster für Trockenpulverinhalatoren, in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial (Blister oder Kapsel) (gilt nicht für die neue PulmoSphere-Technologie). **DPI:** Trockenpulverinhalator.

wendig. Auch in Kombination mit Formoterol (Foster) verfügbar.

- atemaktivierte Dosieraerosole: Autohaler für Salbutamol und Beclometason.

6.1.2 Trockenpulverinhalatoren

Prinzipiell werden 3 verschiedene Typen von Trockenpulverinhalatoren (DPI) unterschieden:

- reservoirbasierte Inhalatoren: Die Dosis wird aus einem Messbehälter in Form eines Reservoirs (Bulk) oder einer Blase (Blister) freigesetzt (z. B. bei Diskhaler, Diskus, Clickhaler, Novolizer, Turbohaler).
- kapselbasierte Inhalatoren: Die Dosis wird aus einer Kapsel freigesetzt (z. B. Aerolizer, Cyclohaler, Handihaler, Spinhaler).
- Inhalatoren mit (neuer) **PulmoSphere-Technologie**. Im Gegensatz zu herkömmlich mikronisierten Arzneimitteln, die ein sehr heterogenes Teilchenspektrum enthalten – was die Ausbildung großer elektrostatischer Kräfte zwischen den Partikeln erlaubt und zur Pulveraggregation führt –, bestehen die Teilchen bei der PulmoSphere-Technologie aus sehr homogenen Partikeln, die mithilfe eines **Sprühtrockenverfahrens** hergestellt werden.
 - Hierbei wird die wässrige Wirkstoff suspension von Lipidteilchen (aus Dipalmitoylphosphatidylcholin, dem Hauptbestandteil des Lungensurfactants, somit sind keine Nebenwirkungen zu erwarten) umschlossen und in einem speziellen Atomisierungs- und Trocknungsprozess zu

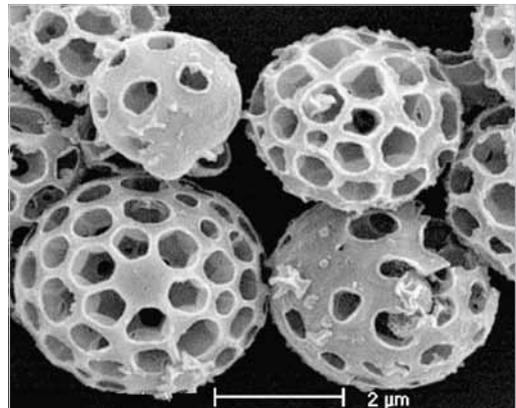


Abb. 6.4 PulmoSpheres sind homogene Partikel, in die Wirkstoffe gepackt wurden. Sie können exzellent intrapulmonal deponiert werden. Mit freundlicher Genehmigung der Novartis Pharma GmbH.

homogenen Teilchen mit einem mittleren Mas sendurchmesser von 1,7–2,7 µm verarbeitet.

- Diese runden Teilchen (► Abb. 6.4) sind sehr gut lungengängig, enthalten zwischen 90% und 95% Wirkstoff und können mit sehr geringer Variabilität zwischen verschiedenen Patienten nahezu unabhängig vom Inhalationsfluss in die Lunge inhaliert werden. Derzeit sind 7 verschiedene derartige Medikamente in Entwicklung. Am weitesten entwickelt und bereits in den Klinikbetrieb eingeführt ist das Tobramycin-Trockenpulver (TIP).



Abb. 6.5 Ein klassischer Ultraschallvernebler (mit und ohne Abdeckung) ist das Modell Aerosonic Mobil. Mit freundlicher Genehmigung der Flores medical GmbH.

6

6.1.3 Ultraschallvernebler

Hier gibt es nur wenige Neuerungen; die Geräte haben sich für den individuellen Gebrauch kaum durchgesetzt. Zur Anwendung kommt z. B. der **Aerosonic Mobil** (► Abb. 6.5).

6.1.4 Düsenvernebler

Standardgerät ist hier der **Pari Boy S** mit dem **LC Plus Vernebler** (► Abb. 6.6), der auch mit Unterbrechertaste zur Verfügung steht. Ferner gibt es den Vernebler, mit kleinerem Tröpfchenspektrum und Masken, für Säuglinge und Kleinkinder. Eine Besonderheit ist, dass es für alle Geräte flusslimitierende Inspirationsventile gibt, die zu einer verbesserten Deposition führen können.

6.1.5 Langsam-Nebel-Geräte

Diese Geräte erzeugen feinpartikuläre Aerosole, die kaum impaktieren und gut inhaliert werden können.

Der **Respimat** (► Abb. 6.7) ist ein kleines, treibmittelfreies Vielfachdosisgerät.

- Es erzeugt mechanisch einen langsamen Aerosolnebel, der besonders gut intrapulmonal deponiert werden kann: Ein Federmechanismus drückt Flüssigkeit durch ein Düsenendstück und generiert für 1–1,5 Sek einen langsamen Nebel (engl. slow mist) aus Aerosol.
- Spacer, Batterie oder elektrische Energie sind nicht erforderlich.
- Ein Schütteln ist nicht notwendig, da das Medikament in Lösung ist.

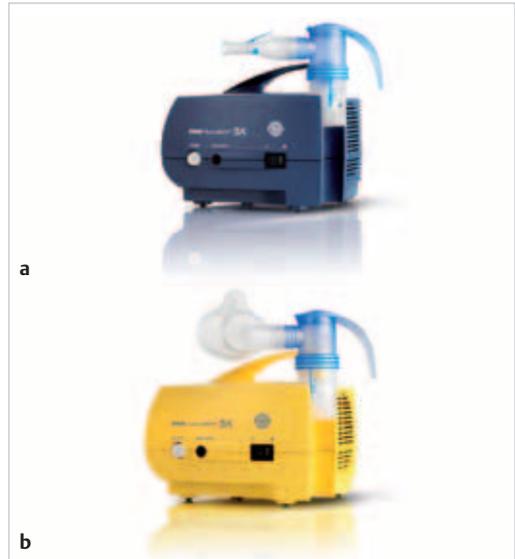
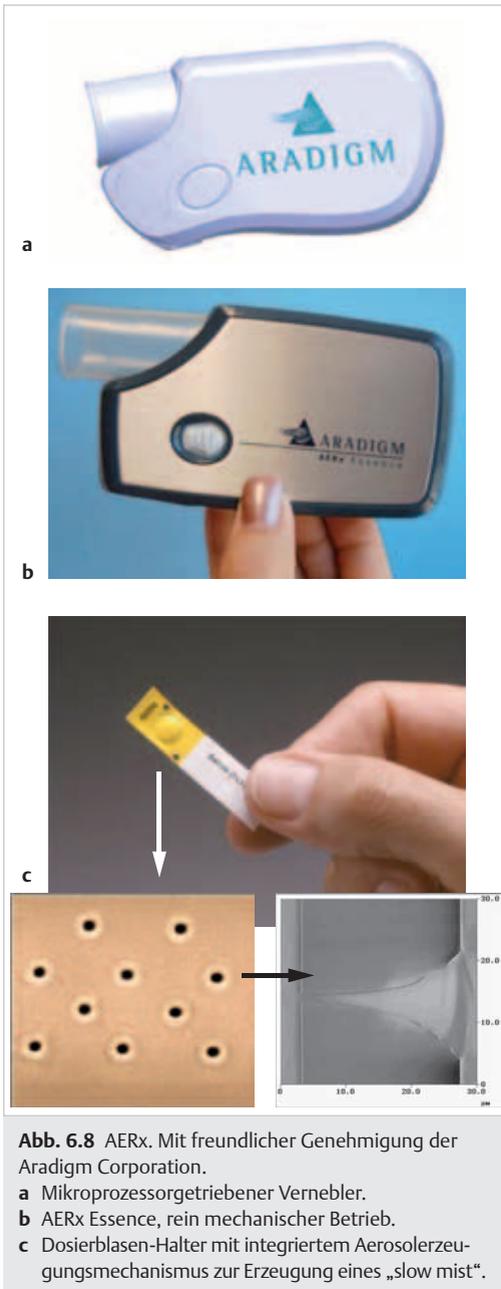


Abb. 6.6 Klassische Düsenvernebler. Mit freundlicher Genehmigung der PARI GmbH.
a PARI TurboBOY®SX.
b PARI JuniorBOY®SX mit Babymaske.



Abb. 6.7 Spiriva Respimat. Mit freundlicher Genehmigung der Boehringer Ingelheim Pharma GmbH & Co. KG.

- Koordination bei der Benutzung („press and breathe“) ist jedoch nötig, sodass kleinere Kinder das Gerät nicht verwenden sollten.
- Die Qualität des Aerosols ist unabhängig vom Treibmittel oder der Inspirationsanstrengung. Die Depositionsfraktion beträgt 40%. Der Inhaltsstoff ist Thiotropium, ein langwirksames Anticholinergikum, in klinischen Studien getestet für Asthma bronchiale und CF.



Der AERx (► Abb. 6.8) ist ein mikroprozessorkontrolliertes Gerät, das eine sehr präzise Dosierung von Flüssigmedikamenten, die in Dosierblasen eingeschweißt sind, erlaubt.

- Das Gerät ist handgehalten.
- Es handelt sich um ein batteriebetriebenes Einweg-Vielfachdosis-System.

- Es kann zur Dosistitration verwendet werden.
- Es gibt Rückmeldung über gute Inhalationstechnik.
- Es monitort die Anzahl der abgegebenen Dosen.
- Jede einzelne Dosierblase hat ein Ventilstück, durch das das Medikament gepresst wird; so wird das Aerosol erzeugt.
- Anheizen der eingebrachten Luft sorgt für stabile Umgebungsbedingungen bei der Aerosolzeugung.
- Das Aerosol wird zu einem festgelegten Zeitpunkt der Inspiration freigesetzt.
- Wenn der Patient nicht korrekt inhaliert, wird kein Medikament freigesetzt.
- Die Lungendeposition beträgt bis zu 80% der abgegebenen Dosis.
- Es verbleibt kaum Rückstand an Medikament.
- Nachteile:
 - kleine Kapazität der Medikamentenblase (45 µl Flüssigkeit, max. 10 mg)
 - Anwendung bei Kindern erst im Alter > 8 Jahre
 - teuer
- Einsatzbeispiel: Pulmozyme wurde per 3 Dosierblasen verabreicht, um auf eine etwas höhere Dosierung zu kommen (die jedoch nicht der der Nassinhalation entsprach). Dies führte bei Zystische-Fibrose-Patienten nach 2 Wochen zu einer signifikanten Verbesserung der Lungenfunktion.

Das AERx Essence Gerät entspricht dem AERx, ist jedoch rein mechanisch betrieben.

- ohne Batterie
- keine Erhitzung der eingebrachten Atemluft
- kein elektronisches Feedback
- Die Dosis wird durch einen Sprungfedermechanismus freigesetzt, ähnlich wie beim Respimat.
- Ein Flusswiderstand verhindert eine zu schnelle Einatmung.
- Der langsame Nebel (Slow Mist) weist eine Lungendeposition auf, der der beim elektronischen Gerät entspricht.

6.1.6 Vibrierendes-Netz-Geräte

Bei Geräten dieses Typs erzeugen vibrierende perforierte Netze Aerosoltropfen. Hauptnachteil dieser Technologie ist das schlechte Funktionieren mit Suspensionen und viskösen Flüssigkeiten. Das Netz muss periodisch ersetzt werden und sorgfältig gereinigt werden. Die Geräte sind sehr teuer.

3 Technologien sind zurzeit in Gebrauch:

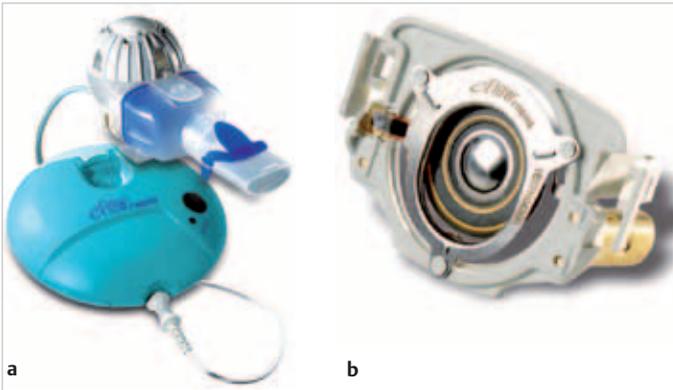


Abb. 6.9 eFlow Aerosolerzeuger. Mit freundlicher Genehmigung der PARI Pharma GmbH.
a eFlow®rapid-Gerät.
b Detailansicht des Aerosolerzeugers.

6

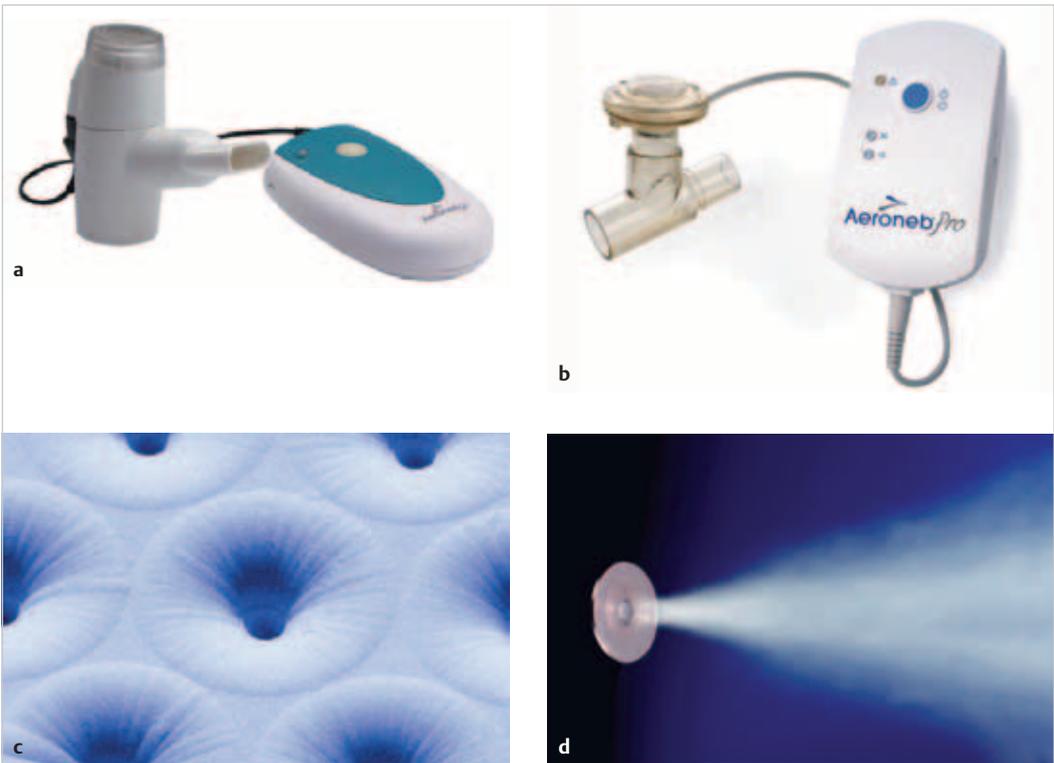


Abb. 6.10 Aeroneb Aerosolerzeuger. Mit freundlicher Genehmigung der INSPIRATION Medical GmbH.
a Aeroneb go für den Handbetrieb.
b Aeroneb pro für den Betrieb in einem Beatmungssystem.
c Vibrierendes Netz.
d Erzeugung eines „slow mist“.

- Der eFlow (► Abb. 6.9) erzeugt ein langsames Aerosol durch eine ringförmige Schwingmembran, die aus dem Medikamentenbehälter gespeist wird und das Aerosol in eine Vernebelkammer abgibt. Diese hat Reservoircharakter

- und stellt so bei jedem Atemzug größere Mengen Aerosol zur Verfügung.
- Der Aeroneb OnQ (► Abb. 6.10) produziert Tröpfchen mit langsamer Geschwindigkeit durch ein dünnes, perforiertes Netz, das durch



Abb. 6.11 Omron NE-U22V Microair. Mit freundlicher Genehmigung der OMRON Medizintechnik Handelsgesellschaft mbH.

ein ringförmiges piezoelektrisches Element angetrieben wird.

- Der **Omron NE-U22V Microair**-Vernebler (► Abb. 6.11) arbeitet mit einem piezoelektrischen Element, das ein Übertragungshorn zum Vibrieren bringt und so Flüssigkeitspulse durch das Netz bringt und Aerosoltröpfchen erzeugt.

6.1.7 Smart Devices

Smart Devices erlauben, die Dosierung während eines spezifischen Inhalationszyklus anzupassen, und sorgen so für eine gute Inhalationstechnik, um zur maximal möglichen Lungendeposition zu kommen. Die Geräte können die Behandlungsdauer genau monitorieren.

Die entscheidende technologische Innovation ist jedoch die Kontrolle des Atemmusters. Dieses Prinzip nutzt keines der vorstehend gelisteten Inhalationsgeräte. Somit führen die Smartdevices im Vergleich zu verbesserter Deposition, homogener Verteilung in der Lunge, reduzierter Variabilität und verkürzten Behandlungszeiten. Hauptnachteile sind hohe Kosten und die Tatsache, dass es nur wenig Kinderstudien zur optimalen Anwendung der Geräte gibt.

- **1. Prinzip: adaptive Aerosolzeugung.** Mehr als 50% der Medikamente werden während der

Ausatmung verschwendet. Durch Monitoring des wechselnden Atemmusters passt sich das Gerät den Änderungen an (adaptive Aerosolzeugung, Adaptive Aerosol Delivery, AAD) (► Abb. 6.12). Das Medikament wird während der ersten 50–80% der Inspiration freigesetzt. Für jedes unterschiedliche Medikament ist jeweils ein anderer Mikrochip erforderlich.

- **2. Prinzip: Training und Targeted Inhalation Mode.** Die Geräte, die nach diesem Prinzip arbeiten, trainieren den Patienten, eine langsame, langandauernde Inhalation zu machen, und geben das Aerosol nur während den letzten 2 s der Inhalation ab (► Abb. 6.13).

Geräte zur adaptiven Aerosolzeugung

Die 1. und 2. Gerätegeneration waren kompressorgetriebene Nassverneblersysteme: der Halo-Lite und der ProDose (in Europa zugelassen für die Colistin- und Iloprost-Verabreichung). Die aktuelle 3. Generation an Geräten umfasst I-neb und Akita.

- Der **I-neb** (► Abb. 6.14) verwendet die (Omron-) Vibrierendes-Netz-Technologie, ist portabel, ruhig, batteriebetrieben und hat eine minimale residuelle Dosis. Für jedes Medikament ist das vibrierende Horn optimiert. Für verschiedene Medikamente sind jeweils unterschiedlich große Dosierkammern nötig. Es erfolgt eine kontinuierliches Feedback auf einem Display; darüber hinaus gibt es eine taktile Rückmeldung am Ende der Behandlung. Zur Adhärenzkontrolle ist ein Download von Informationen möglich, mit der Angabe, wie häufig das System gebraucht wurde.
- Das Gerät **Akita Jet** (► Abb. 6.15) erlaubt eine individualisierte kontrollierte Inhalation, in Kombination mit Pari-Düsenverneblern oder dem Pari eFlow. Eine Smartcard speichert die Lungenfunktion und steuert das Gerät so, dass der Aerosolpuls während der Inspiration abgegeben wird, in Abhängigkeit vom Depositionsziel in der Lunge. Bei Abgabe des Aerosolpulses früh während der Inspiration werden die distalen Atemwege, bei später Abgabe die großen Atemwege erreicht. Szintigrafische Studien zeigten bei CF-Patienten, dass 86% der emittierten Dosis in der Lunge deponiert werden.

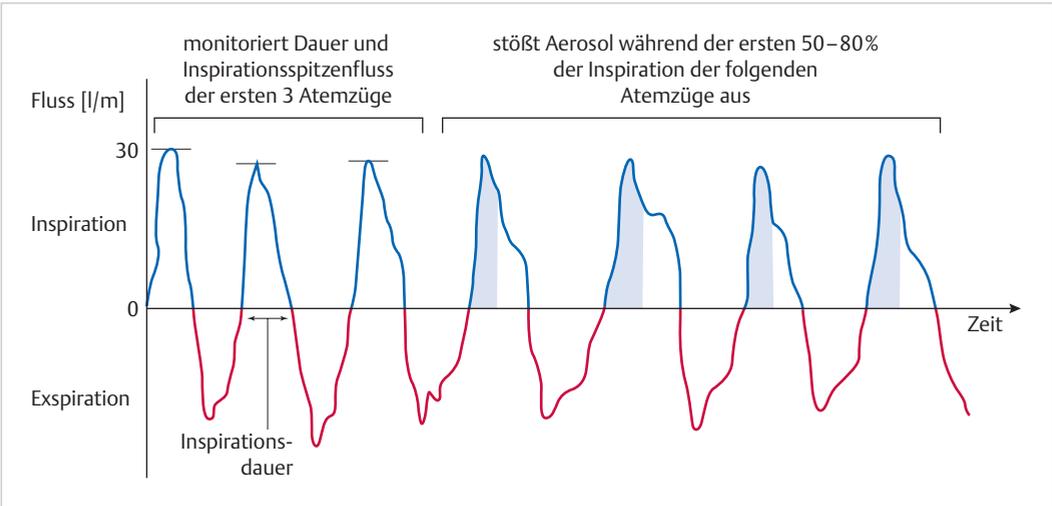


Abb. 6.12 Erläuterndes Schema zur adaptiven Aerosolerzeugung.

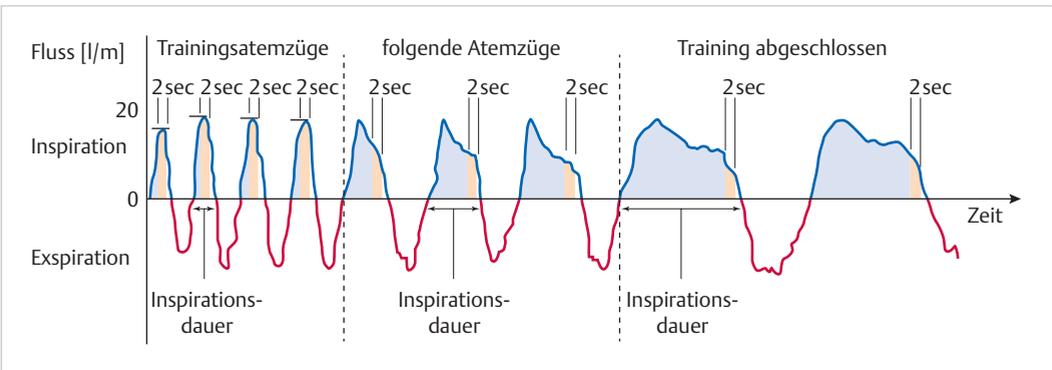


Abb. 6.13 Erläuterndes Schema zum Targeted Inhalation Mode.



Abb. 6.14 Diese Patientin benutzt das I-neb, ein Gerät zur adaptiven Aerosolerzeugung. Mit freundlicher Genehmigung der Philips GmbH, Zweigniederlassung Respiration, Herrsching.



Abb. 6.15 AKITA JET Jet mit Pari LC Sprint-Vernebler. Mit freundlicher Genehmigung der Activaero GmbH.

6.1.8 Allgemeine Hinweise zur Verordnung und Technik von Inhalationssystemen

- Die unterschiedlichen Inhalationssysteme erlauben es, für jeden Patienten mit Schwierigkeiten im Umgang mit einem bestimmten System eine optimale Lösung zu finden.
- Die korrekte Anwendung ist für Wirksamkeit und Effizienz entscheidend. Die folgenden Atemmanöver sind als optimal anzusehen:
 - Dosieraerosol ohne Spacer: ein langsamer tiefer Atemzug (dann Atem anhalten)
 - Dosieraerosol mit Spacer: langsame tiefe Einatmung über mehrere Atemzüge
 - Pulverinhalator: rasche tiefe Inspiration (dann Atem anhalten)
 - Nassvernebler: langsame tiefe Inspiration, normale Expiration
- Vor der Verschreibung eines Inhalationssystems soll sichergestellt werden, dass der Patient in dessen Gebrauch unterwiesen wurde und die korrekte Handhabung selbst demonstriert hat.
- Im Langzeitverlauf sollte möglichst nur 1 Typ von Inhalationssystem verwendet werden.
- Bei jedem Wechsel muss eine Neueinweisung erfolgen.
- Die Inhalationstechnik muss regelmäßig überprüft werden.
- Bei Kindern bis zu 5 Jahren für Dosieraerosol immer Spacer verwenden.
- Eine Gesichtsmaske soll nur so lange angewandt werden, bis das Kind nachweislich über das Mundstück eines Spacers atmen kann. Ausnahme: Medikamente sollen im Nasenrachenraum vorrangig deponiert werden (z. B. Antibiotika).

Literatur

- Bundesärztekammer (BÄK)**, Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). Nationale Versorgungs-Leitlinie Asthma – Langfassung, 2. Auflage. Version 1.3, 2011. AWMF-Register: nvl-002. Im Internet: http://www.versorgungsleitlinien.de/themen/asthma/pdf/nvl_asthma_lang.pdf; Stand: 07.05.2012
- Kesser KC**, Geller DE. New aerosol delivery devices for cystic fibrosis. *Respir Care* 2009; 54: 754–767
- Weers A**, Clark A, Challoner P. High dose inhaled powder delivery: challenges and techniques. *Proc RDD* 2004; 9: 281–288

7 Sauerstofftherapie

Thomas Nicolai, Matthias Griese

Hypoxämie ist definiert als eine Sauerstoffsättigung von $< 92\%$, dies entspricht einem arteriellen Sauerstoffpartialdruck (p_aO_2) von < 60 mmHg.

Ursachen für Hypoxämie sind:

- Hypoventilation (primär zentral, medikamenteninduzierte Depression, Hirnstammerkrankungen, spinale Muskelatrophie, Guillain-Barré-Syndrom, Poliomyelitis, Diphtherie, Myasthenie, Muskeldystrophie, mechanische Probleme der Atemwege und des Brustkorbs)
- Ventilations-Perfusions-Missverhältnis
- Shunts
- Diffusionsbeeinträchtigung in der Lunge
- verminderter Transport (Hb erniedrigt, Blutzellen rigide, niedriges Herzminutenvolumen, Gewebsödem)
- verminderter Gasaustausch im Gewebe (kapillarer „Shunt“ durch periphere Vasodilatation, Vergiftung zellulärer Enzyme, dysfunktionelles Hämoglobin)

Sauerstoff wird zur Behandlung vieler kinderpneumologisch relevanter Erkrankungen verwendet. Das **Prinzip** ist immer die Erhöhung des Partialdrucks von Sauerstoff bei gleichbleibendem Gesamtdruck (im Gegensatz etwa zur hyperbaren Oxygenierung in der Druckkammer). Die dadurch erzielbaren therapeutischen Effekte variieren jedoch erheblich, je nach klinischer Situation (Köhler u. Haidl 2010).

Cave

Sauerstoffgabe bei Kindern mit Hypoventilation: Hypoxämie kann zwar einfach behoben werden, gleichzeitig kann jedoch auch der hypoxische Atemantrieb entfallen und eine CO_2 -Narkose daraus resultieren $\rightarrow CO_2$ mittels Blutgasanalyse (BGA) untersuchen (venöse Proben gehen häufig auch).



Sauerstoff ist nicht nur ein Mittel, um die Sauerstoffsättigung im Blut zu verbessern, sondern er hat auch diverse andere physiologische Effekte und ist potenziell hoch toxisch. In den letzten Jahren ist die **toxische Wirkung** des Sauerstoffs bei der Reanimation des Neugeborenen direkt nach der Geburt in das Zentrum des Interesses der Neonatologie gerückt. Die diesbezüglichen Beobach-

tungen haben erneut klargemacht, dass Sauerstoff keineswegs ein immer sinnvolles und nicht mit potenziell langfristig schädlichen Nebenwirkungen behaftetes Therapieprinzip sein kann.

Prinzipielle **Indikationen** sind:

- Erhöhung der Sauerstoffsättigung, um dadurch die Oxygenierung der Gewebe zu verbessern
- Erhöhung des alveolären und lungkapillaren p_aO_2 , um über diesen Weg den Druck im Lungenkreislauf zu senken
- Verhinderung der Bildung von Deoxy-Hb (z. B. beim akuten Thoraxsyndrom des Sichelzell-Patienten, hier „sichelt“ bekanntermaßen nur das deoxygenierte Hämoglobin)
- Verkürzung der Halbwertszeit des CO-Hämoglobins bei Kohlenmonoxidvergiftung

7.1 Therapieszenarien und wichtige Prinzipien

7.1.1 Akute Hypoxie bei akuter Lungenerkrankung

Hier sind einige der Kompensationsmöglichkeiten nicht sofort nutzbar, sodass die Folgen einer Hypoxie möglicherweise schwerer und akuter sind als bei chronischer Hypoxie. Andererseits sind die optimalen Sauerstoffsättigungswerte für eine solche Situation nicht ausreichend geklärt. Da Sauerstoff vermutlich ab einer inspiratorischen Konzentration von $> 60\%$ toxisch auf die Lunge wirkt, ist die Indikation zur Sauerstoffgabe in höheren Konzentration streng zu stellen. In der Praxis ist eine konstant erniedrigte Sauerstoffspannung oder -sättigung bei erhaltenem Allgemeinzustand und **ohne Zeichen** der Gewebshypoxie, d. h. ohne Laktatazidose, ohne mentale Beeinträchtigung oder die Entwicklung von Apnoen, nicht automatisch als Indikation zur hochdosierten Sauerstoffgabe oder Intubation und Beatmung zu sehen. Diese Zeichen, also eine klinische Erschöpfung, die Entwicklung einer Laktatazidose oder von Apnoen, sind jedoch umgekehrt wichtige Alarmzeichen dafür, dass die Gesamtsituation keine Kompensation der Hypoxie mehr zulässt, und sollten zu entsprechender Sauerstoffgabe führen.