

M. von Rettberg¹ · E. Thil¹ · H. Genzwürker^{2,3} · C. Gernoth² · J. Hinkelbein^{3,4}

¹ Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin,
 Universitätsmedizin Mannheim, Mannheim

² Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin,
 Neckar-Odenwald-Kliniken gGmbH, Buchen und Mosbach

³ Medizinische Fakultät Mannheim, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Heidelberg

⁴ Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin,
 Universitätsklinikum Köln, Köln

Endotrachealtuben bei Kindern

Publizierte Formeln zur Abschätzung der optimalen Größe

Ziele der vorliegenden Übersichtsarbeit sind die Darstellung und Analyse der bisher publizierten Formeln mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen mithilfe einer Zusammenstellung publizierter Daten aus der Medline®. Zusätzlich wird die Verwendung von Endotrachealtuben mit und ohne Cuff diskutiert.

Wahl des optimalen Endotrachealtubus

Die Wahl des optimalen Endotrachealtubus zur Atemwegssicherung ist in der pädiatrischen Anästhesiologie von herausragender Bedeutung. Bei Tuben ohne Cuff ist die optimale Tubusgröße maßgeblich für die Minimierung des Aspirationsrisikos, aber auch zur Vermeidung von Läsionen glottischer- und trachealer Strukturen relevant. Daher wird bei Kindern zur Abschätzung der geeigneten und optimalen Tubusgröße im klinischen Alltag seit vielen Jahren eine Vielzahl unterschiedlicher gewichts-, größen- und/oder altersabhängiger Formeln verwendet. Auch andere Schätzmöglichkeiten haben Einzug in die klinische Routine gehalten (z. B. Breite des Fingernagels; [9, 13, 23]).

Die verwendbaren Formeln für Tuben ohne Cuff unterscheiden sich teilweise er-

heblich in ihrer Genauigkeit für bestimmte Gruppen von Kindern, aber auch in ihrer Komplexität und der Altersklasse, für die sie ursprünglich entwickelt wurden und angewendet werden können. Außerdem muss darüber hinaus zwischen Formeln für Endotrachealtuben mit einem trachealen Cuff und solchen ohne einen Cuff differenziert werden. Da die anatomische Variationsbreite bei Kindern sehr groß ist, können Tuben mit Cuff potenziell Vorteile bieten und dieses Problem weitgehend eliminieren.

Literaturrecherche

Material und Methoden

Die bisher zur Abschätzung des idealen Tubusdurchmessers publizierten Formeln wurden mithilfe einer Recherche in der Medline® bzw. PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) ermittelt. Zur Identifikation der relevanten und bisher publizierten Untersuchungen wurden folgende englische Suchbegriffe in variierender Kombination verwendet:

- „pediatric“ oder „paediatric“;
- „anesthesia“ oder „anaesthesia“;
- „anesthesiology“ oder „anaesthesiology“;
- „size“;

- „diameter“;
- „tube“ oder „endotracheal tube“ und
- „formula“.

Zusätzlich zu den hierdurch identifizierten Publikationen wurden relevante, von PubMed als ähnlich klassifizierte Publikationen („related articles“) in die Studie einbezogen. Außerdem wurde die in den hierdurch identifizierten Publikationen zitierte Literatur gesichtet und relevante Publikationen genutzt.

Die Suche wurde auf den Zeitraum vom 01.01.1951 bis zum 30.06.2009 begrenzt. Hinsichtlich der Sprache oder der Publikationsart erfolgte keine Einschränkung. Entsprechend wurden Originalarbeiten, Übersichtsarbeiten, Metaanalysen, Fallberichte und Briefe an den Herausgeber analysiert. Alle identifizierten Publikationen wurden anschließend durch zwei unabhängige Fachärzte für Anästhesiologie gesichtet und als „relevant“ bzw. „nichtrelevant“ für Kinder (0–18 Jahre) kategorisiert. Für die relevanten Formeln wurden Korrelationskurven ermittelt und diese vergleichend gegeneinander aufgetragen. Spezielle Formeln für Kinder mit Erkrankungen bzw. Besonderheiten, wie z. B. genetischen Defekten, wurden für die vorgestellte Analyse nicht berücksichtigt.

Tab. 1 Altersbasierte Formeln zur Abschätzung des geeigneten Endotrachealtubus (Abb. 1)

Formel ID (mm)=	Anwendungsbereich	Autor	Jahr	Tubustyp/-hersteller	Methode zur Beurteilung	Anmerkungen
Alter+3,2	Kinder bis 1 Jahr	Eck et al. [5]	2002	Keine Angabe	Retrospektive Arbeit! Bei einer Leckage zwischen 10 und 30 cmH ₂ O wurde ein anderer Tubus verwendet. Verwendung klinischer Parameter, z. B. Thoraxexkursionen, Kapnographie und Oxygenierung zur Verifikation	Eck et al. [5] zeigten, dass die Formel signifikant ungenauer ist als eine höhenbasierte Formel
(Alter/4)+4	Kinder, 1 bis 7 Jahre	Eck et al. [5]	2002	Keine Angabe	Retrospektive Arbeit! Bei einer Leckage zwischen 10 und 30 cmH ₂ O wurde ein anderer Tubus verwendet. Verwendung klinischer Parameter, z. B. Thoraxexkursionen, Kapnographie und Oxygenierung zur Verifikation	Eck et al. [5] schlussfolgerten in der Untersuchung, dass die Verwendung einer multivariaten Formel die optimale Tubusgröße am besten abschätzt. Die Formel ist identisch mit [2, 5, 6, 9, 14, 22]. Sie wird auch als „Cole-Formel“ bezeichnet [19]
Alter/4+4,5	Kinder, 1 bis 10 Jahre	Van den Berg u. Mphanza [23]	1997	„Mallikrodt RAE oral tracheal tube“	Ein Tubus wurde als „dicht“ beurteilt, wenn bei einem positiven inspiratorischen Druck von 30 cmH ₂ O lediglich ein minimales Leck hörbar war	Nur für Kinder ab 1 Jahr geeignet [23]. Die Formel ist identisch mit [2, 18, 23]
(Alter+16)/4	Unklar	Davis et al. [2]	1998	Keine Angabe	Hörbares Leck zur Beurteilung der Dichtigkeit	Davis et al. [2] zeigten, dass die Formel im untersuchten Patientenkollektiv signifikant <i>genauer</i> ist als (Alter+18)/4. Die Formel ist identisch mit [2, 5, 6, 9, 14, 22]
(Alter+18)/4	Unklar	Davis et al. [2]	1998	Keine Angabe	Hörbares Leck zur Beurteilung der Dichtigkeit	Davis et al. [2] zeigten, dass die Formel im untersuchten Patientenkollektiv signifikant <i>ungenauer</i> ist als (Alter+16)/4. Die Formel ist identisch mit [2, 18, 23]
(Alter+16)/4	Kinder, 2–8 Jahre	Takita et al. [22]	2001	Portex, Hythe, UK	Retrospektive Arbeit! Keine detaillierten Angaben zur Verifikation eines Lecks. Verwendung klinischer Parameter zur Auswahl des geeigneten Tubus	Takita et al. [22] schlussfolgerten, dass diese Formel die optimale Tubusgröße unterschätzt. Wenngleich die Formel identisch ist mit [2, 5, 6, 9, 14, 22], sind die Ergebnisse hierzu diskrepant
(Alter+16)/4	Kinder, 6 Monate – 11 Jahre	Hofer et al. [9]	2002	Keine Angabe	Keine detaillierte Angabe; retrospektive Untersuchung!	Hofer et al. [9] schlussfolgerten aus ihrer Untersuchung, dass die Formel die optimale Tubusgröße <i>überschätzt</i> . Sie machen allerdings keine Angabe zum verwendeten Tubus oder zur Detektion der Leckage. Wenngleich die Formel identisch mit [2, 5, 6, 9, 14, 22] ist, können die Unterschiede z. B. aus der Patientenpopulation resultieren
(Alter/4)+4	Kinder, 1–10 Jahre	Eipe et al. [6]	2009	Keine Angabe	Keine Angabe, lediglich Vergleich mit dem tatsächlich verwendeten Tubus	Eipe et al. [6] zeigten, dass die Formel die optimale Tubusgröße <i>unterschätzt</i> . Wenngleich die Formel identisch mit [2, 5, 6, 9, 14, 22] ist, sind die Schlussfolgerungen im Vergleich zu Hofer et al. [9] diskrepant. Die Formel wird auch als „Cole-Formel“ bezeichnet [19]
Alter+18 oder Alter+19	Kinder, >1 Jahr	Cole [1]	1957	Keine Angabe	Keine Angaben	Angabe in Charrière (Charr) oder French (F) bzw. Außendurchmesser (AD)
Alter/4+4,5	Kinder, >6,5 Jahre	Penlington [18]	1974	Keine Angabe	Keine Angaben	Zur Anwendung bei Kindern >6,5 Jahre [18]
Alter/3+3,5	Kinder, <6,5 Jahre	Penlington [18]	1974	Keine Angabe	Keine Angaben	Zur Anwendung bei Kindern <6,5 Jahre [18]
(Alter+16)/4	Kinder, 1 Monat bis 9 Jahre	King et al. [14]	1993	„Mallinckrodt endotracheal tubes“	Keine Angaben	Nicht für Kinder >9 Jahre geeignet [14]. Wie Davis et al. [2] zeigen konnten, ist die Formel besser geeignet als die Formel von Penlington [18]. Die Formel ist identisch mit [2, 5, 6, 9, 14, 22]

Zur Berechnung wird das Alter (Jahre) verwendet, sofern nicht anderweitig angegeben.

Die Formel (Alter+16)/4 ist mathematisch identisch mit (Alter/4+4). Die Formel (Alter+18)/4 ist mathematisch identisch mit (Alter/4+4,5). Um die Originalangaben der Autoren wiederzugeben, wurde bewusst die jeweilige Originalschreibweise beibehalten. RAE, Ring-Adair-Elwyn.

Ergebnisse

Mithilfe der PubMed-Recherche wurden im untersuchten Zeitraum insgesamt 13 Arbeiten identifiziert, die Formeln

zur Abschätzung der idealen Tubusgröße beim Kind beschreiben [d. h. Innendurchmesser (ID) bzw. Außendurchmesser (AD)]; [1, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 18, 22, 23, 27]]. Zusätzlich wurden durch die erwei-

terte Suche 3 Originalpublikationen gefunden [2, 21, 24]. Insgesamt wurden 14 Originalarbeiten [1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24] und 2 Leserbriefe an den Herausgeber [18, 27] ermittelt. In diesen

M. von Rettberg · E. Thil · H. Genzwürker · C. Gernoth · J. Hinkelbein

Endotrachealtuben bei Kindern. Publierte Formeln zur Abschätzung der optimalen Größe

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Wahl des Endotrachealtubus mit optimalem Innendurchmesser (ID) zur Atemwegssicherung ist in der pädiatrischen Anästhesiologie von herausragender Bedeutung. Seit vielen Jahren wird für Kinder eine Vielzahl unterschiedlicher gewichts-, größen- und/oder altersabhängiger Formeln verwendet. Ziel der vorliegenden Untersuchung war der Vergleich bisher publizierter Formeln zur Abschätzung der optimalen Tubusgröße bei Kindern.

Material und Methoden. Mithilfe einer Recherche in der PubMed-Datenbank wurden publizierte Formeln zur Abschätzung des idealen Tubusdurchmessers anhand der Suchbegriffe „pediatric“ oder „paediatric“, „anesthesia“ oder „anaesthesia“, „anaesthesiology“ oder „anesthesiology“, „size“, „formula“,

„diameter“, „tube“ oder „endotracheal tube“ identifiziert. Die Suche wurde auf den Zeitraum vom 01.01.1951 bis zum 30.06.2009 begrenzt. Weiterhin wurden von PubMed als ähnlich klassifizierte („related articles“) und die zitierten Publikationen verwendet. Alle identifizierten Publikationen wurden durch 2 unabhängige Kollegen kategorisiert.

Ergebnisse. Im Untersuchungszeitraum wurden mithilfe der PubMed-Recherche insgesamt 13 Publikationen (11 Originalarbeiten sowie 2 Leserbriefe) und durch die erweiterte Suche 3 Publikationen identifiziert. In diesen wurden insgesamt 22 Formeln zur Abschätzung der idealen Tubusgröße bei Kindern (Alter 0 bis 18 Jahre) ermittelt: 12 altersbasierte Formeln für Tuben ohne Cuff, 4 größenbasierte Formeln für Tuben ohne Cuff, 2 ge-

wichtsbasierte Formeln für Tuben ohne Cuff und eine multivariate Formel für Tuben ohne Cuff sowie 3 altersbasierte Formeln für Tuben mit Cuff.

Schlussfolgerungen. Alle identifizierten Formeln sind zwar vergleichsweise einfach anzuwenden, aber nur für ein Kindesalter ab einem Jahr validiert. Die Verwendung von Tuben mit Cuff kann das Problem der „optimalen Tubusgröße“ reduzieren. Beim Einsatz von Tuben ohne Cuff sollten auch Tuben anderer Größen verfügbar sein.

Schlüsselwörter

Tubusgröße · Tubusdurchmesser · Endotrachealtubus · Kinderanästhesie · Innendurchmesser

Endotracheal tubes in pediatric patients. Published formulas to estimate the optimal size

Abstract

Background. Estimating the endotracheal tube size with the optimal internal diameter (ID) is of outstanding importance for airway management in pediatric patients. For many years different weight, height, and/or age-based formulas have been published. The aim of the present study was to identify and to compare published formulas to estimate optimal tube size in pediatric patients.

Materials and methods. A PubMed search was performed to identify published formulas for tube diameter in pediatric patients. The keywords “pediatric” or “paediatric”, “anesthesia” or “anaesthesia”, “anaesthesiology” or “anesthesiology”, “size”, “formula”, “diameter”, “tube” or “endotracheal tube” were used.

Analysis was limited to articles published between 01.01.1951 and 30.06.2009. Additionally, similar publications retrieved from PubMed (related articles) and cited references were identified. Publications and formulas were assessed and classified by two independent colleagues.

Results. In the specified time-frame, 13 publications (11 original contributions and 2 letters to the editor) were identified with PubMed and 3 more formulas with the extended search. Altogether 22 formulas to estimate appropriate endotracheal tube size for pediatric patients (age 0–18 years) were identified: 12 age-based formulas for tubes without a cuff, 4 height-based formulas for

tubes without a cuff, 2 weight-based formulas for tubes without a cuff and one multivariate formula for tubes without a cuff as well as 3 age-based formulas for cuffed endotracheal tubes.

Conclusions. The identified formulas were comparatively simple to apply but were validated only for pediatric patients older than 1 year. Using tubes with a cuff can minimize the problem of optimal tube size. If a tube without a cuff is intended to be used other sizes should also be available.

Keywords

Tube size · Tube diameter · Endotracheal tube · Pediatric anesthesia · Internal diameter

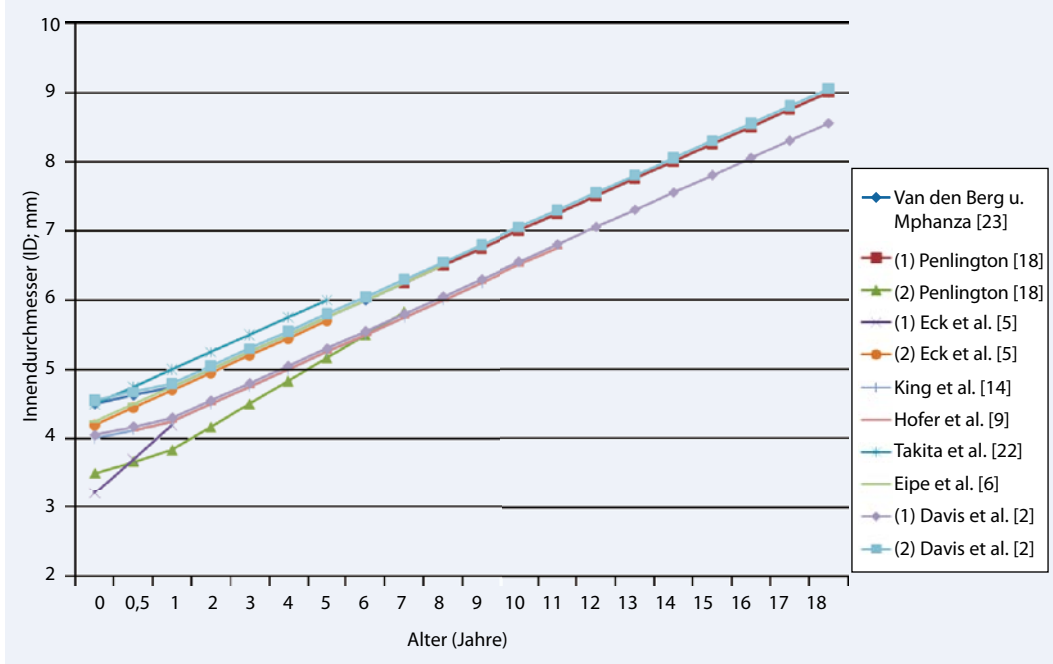


Abb. 1 ◀ Altersbasierte Formeln zur Abschätzung der optimalen Tubusgröße beim Kind

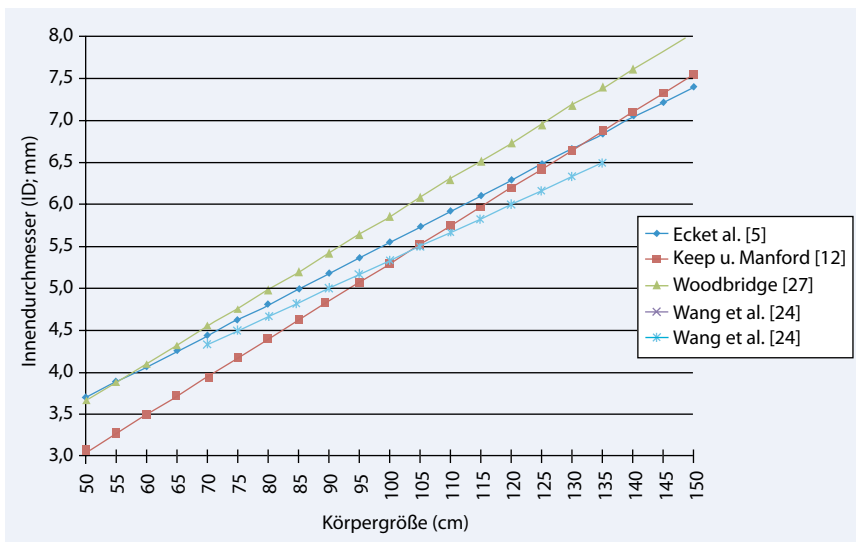


Abb. 2 ▲ Größenbasierte Formeln zur Abschätzung der optimalen Tubusgröße beim Kind

Arbeiten wurden insgesamt 22 Formeln zur Abschätzung der idealen Tubusgröße bei Kindern veröffentlicht:

- 12 altersbasierte Formeln für Tuben ohne Cuff (■ Tab. 1; ■ Abb. 1),
- 4 größenbasierte Formeln für Tuben ohne Cuff (■ Tab. 2; ■ Abb. 2) und
- 2 gewichtsbasierte Formeln für Tuben ohne Cuff (■ Tab. 3; ■ Abb. 3),

Darüber hinaus wurden noch folgende Formeln recherchiert:

- eine multivariate Formel für Tuben ohne Cuff (■ Tab. 4),

- 4 (nichtformelbasierte) Methoden zur Abschätzung für Tuben ohne Cuff (■ Tab. 5) und
- 3 altersbasierte Formeln für Tuben mit Cuff (■ Tab. 6).

Insgesamt 11 Formeln [2, 4, 5, 6, 9, 13, 14, 17, 18, 22, 23] waren altersbasiert und folgten dem Schema:

- Tubusgröße ID [mm]=(Alter [Jahre]/4)+x oder
- Tubusgröße ID [mm]=(Alter [Jahre]+16)/4.

Diskussion

Historische Entwicklung

Die beiden ältesten Formeln sind aus dem Jahr 1951 bzw. 1957 und wurden von Woodbridge [27] sowie Cole [1] vorgestellt. Beide dienen der Abschätzung des optimalen Außendurchmessers (AD) anhand Körpergröße bzw. Alter des kindlichen Patienten.

Historisch bedingt wurde der Außendurchmesser als besonders wichtig angesehen, da er maßgeblich für Leckage und Aspirationsschutz ist. Neuere Formeln dienen hingegen zur Berechnung des optimalen Innendurchmessers (ID), da sich das Lumen relevant auf den möglichen „flow“ und die resultierenden Beatmungsdrücke auswirkt. Daher hat sich in der klinischen Routine die Verwendung des ID zur Abschätzung der optimalen Tubusgröße etabliert. Materialbeschaffenheit und Wanddicke haben sich ebenfalls im Laufe der Jahre verändert. Während früher Tuben aus Gummi mit einer großen Wandstärke genutzt wurden, sind heute Plastikarten erhältlich, die eine hohe Flexibilität bei geringer Wandstärke erlauben. Entsprechend ist es plausibel, dass sich der resultierende ID im Laufe der Jahre ebenfalls geändert hat. Daneben ist es problematisch, dass die Materialdicke des Endotrachealtubus verschiedener Produkte oftmals variiert, sodass die Tu-

Tab. 2 Größenbasierte Formeln zur Abschätzung des geeigneten Endotrachealtubus (Abb. 2)

Formel ID [mm]=	Anwendungsbereich	Autor	Jahr	Tubustyp/-hersteller	Methode zur Beurteilung	Anmerkungen
1,85+(Größe/27)	Kinder, 1–7 Jahre	Eck et al. [5]	2002	Keine Angabe	Retrospektive Arbeit! Bei einer Leckage zwischen 10 und 30 cmH ₂ O wurde ein anderer Tubus verwendet. Verwendung klinischer Parameter, z. B. Thoraxexkursionen, Kapnographie und Oxygenierung zur Verifikation	Eck et al. [5] schlussfolgerten in der Untersuchung, dass die Verwendung einer multivariaten Formel die optimale Tubusgröße am besten abschätzt
(Größe•0,045)+0,8	Unklar	Keep u. Manford [12]	1974	Keine Angabe	Verwendung der größtmöglichen Tuben. Wechsel bei hörbarem Leck	In der Untersuchung wird keine Altersangabe für „Kinder“ erwähnt
(Größe [Inch]+34)/3=French	„Für ungeübte Anwender“	Woodbridge [27]	1951	Keine Angabe	Keine detaillierte Angabe	Zur Berechnung des Außendurchmessers; Einheiten: Inch, French
2+(Größe/30)	Kinder, 3 Monate bis 6 Jahre	Wang et al. [24]	1997	Keine Angabe	Keine detaillierte Angabe	Wang et al. [24] zeigten, dass die Formel besser geeignet ist als die Berechnung nach Alter, Gewicht und Dicke des Kleinfingers. Bei 82% der Kinder war die mit der Formel bestimmte Größe optimal [21]

Zur Berechnung wird die Körpergröße (cm) verwendet, sofern nicht anderweitig angegeben.

Tab. 3 Gewichtsbasierte Formeln zur Abschätzung des geeigneten Endotrachealtubus (Abb. 3)

Formel ID [mm]=	Anwendungsbereich	Autor	Jahr	Tubustyp/-hersteller	Methode zur Beurteilung	Anmerkungen
3,6+(Gewicht/12)	Kinder, 1–7 Jahre	Eck et al. [5]	2002	Keine Angabe	Retrospektive Arbeit! Bei einer Leckage zwischen 10 und 30 cmH ₂ O wurde ein anderer Tubus verwendet. Verwendung klinischer Parameter, z. B. Thoraxexkursionen, Kapnographie und Oxygenierung zur Verifikation	Nur für Kinder zwischen 1 und 7 Jahren validiert
(Gewicht/10)+3,5	Kinder, 1–10 Jahre	Eipe et al. [6]	2009	Keine Angabe	Keine Angabe, lediglich Vergleich mit dem tatsächlich verwendeten Tubus	Eipe et al. [6] zeigten, dass die Formel die optimale Tubusgröße überschätzt. Sie schlussfolgerten, dass die Formel einer altersbasierten Formel unterlegen ist

Zur Berechnung wird das Körpergewicht [kg] verwendet, sofern nicht anderweitig angegeben.

Tab. 4 Formel mit multiplen Parametern zur Abschätzung des Innendurchmessers (ID; mm) des geeigneten Endotrachealtubus (Abb. 1, 2, 3)

Formel ID [mm]=	Anwendungsbereich	Autor	Jahr	Tubustyp/-hersteller	Methode zur Beurteilung	Anmerkungen
2,44+(Alter•0,1)+(Größe•0,02)+(Gewicht•0,016)	Kinder bis 7 Jahre	Eck et al. [5]	2002	Keine Angabe	Retrospektive Arbeit! Bei einer Leckage zwischen 10 und 30 cmH ₂ O wurde ein anderer Tubus verwendet. Verwendung klinischer Parameter, z. B. Thoraxexkursionen, Kapnographie und Oxygenierung zur Verifikation	Nur für Kinder bis 7 Jahre validiert. Eck et al. [5] schlussfolgerten, dass diese multivariate Formel die optimale Tubusgröße am besten abschätzt

Zur Berechnung werden Alter (Jahre), Körpergröße (cm) und Körpergewicht (kg) verwendet.

Tab. 5 Sonstige Möglichkeiten zur Abschätzung des geeigneten Endotrachealtubus

Methode	Anwendungsbereich	Autor	Jahr	Anmerkungen
Breite des fünften Fingernagels	Notfall	King et al. [14]	1993	Unterliegt erheblicher Schwankungsbreite; ungenauer als Alter als Parameter [23]
Durchmesser von Kleinfinger oder Zeigefinger	Kinder, 1–10 Jahre	Van den Berg u. Mphanza [23]	1997	Nicht bzw. ungenau bei Kindern <1 Jahr; ungenauer als Alter als Parameter [23]
Braselow-Tape	Notfallsituationen	Hofer et al. [9]	2002	Unterschätzt optimale Tubusgröße; ausreichend genau, wenn Alter nicht verfügbar [2]
Röntgenaufnahme der Trachea auf Höhe C6 oder Th2	Keine Routine	Furuya et al. [7]	2009	Vorhersagegenauigkeit signifikant geringer als eine altersbasierte Formel [7]

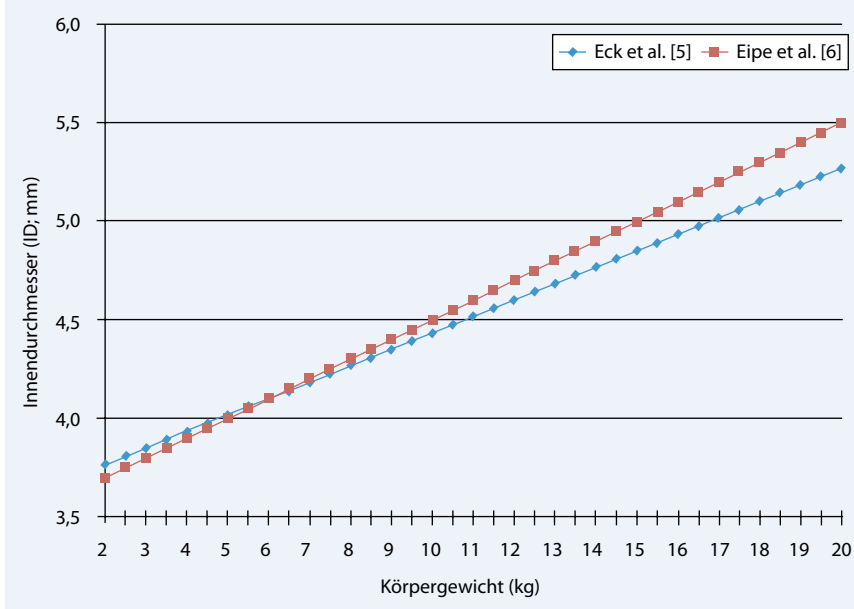


Abb. 3 ▲ Gewichts-basierte Formeln zur Abschätzung der optimalen Tubusgröße beim Kind

ben unterschiedlicher Hersteller und unterschiedlicher Art differente Wandstärken aufweisen können.

Ein weiterer Grund für Modifikationen der Formeln besteht darin, dass viele dieser zum Einsatz in Notfallsituationen oder aber auch für wenig erfahrene Anwender konzipiert wurden. Dabei ging man den Kompromiss ein, besser einen geringfügig zu kleinen Tubus mit größerem Leck zu verwenden als einen zu großen Tubus, mit dem möglicherweise die subglottische Enge nicht passiert werden konnte. Entsprechend halten sich in einigen Lehrbüchern nach wie vor teils alte Formeln.

„Optimaler“ Durchmesser von Endotrachealtuben

Die Definition von „optimal“ ist für die Beurteilung des Durchmessers von Endotrachealtuben und für die Auswahl der Formel entscheidend. Ohne die Angabe der Methode zur Beurteilung des Lecks ist die Verwendung der angegebenen Formeln signifikant limitiert. In den untersuchten Publikationen wurde hingegen eine Vielzahl verschiedener Parameter verwendet, um die Tubusgröße als „optimal“ bzw. „ideal“ zu bezeichnen. Etliche – insbesondere retrospektive – Untersuchungen machen oftmals keine Angabe zu den Verfahren zur Beurteilung der Dichtigkeit bzw. des Lecks [1, 6, 9, 14, 17, 18, 27]. Neben einfachen Maßnahmen

(z. B. Hören einer Luftströmung als Zeichen eines Lecks; [2, 12, 22]) wurden in der neueren Zeit auch einige wenige Studien publiziert, die klar definierte Parameter zur Beurteilung des Lecks nennen (z. B. inspiratorischer Druck; [4, 5, 13, 23]).

Tuben ohne Cuff

Die Verwendung von Tuben ohne Cuff hat sich in der pädiatrischen Anästhesie historisch bewährt [11]. Wurde der optimale Endotrachealtubus platziert, war eine Schädigung der trachealen Schleimhaut während des weiteren Narkoseverlaufs (z. B. durch zu hohen oder ansteigenden Cuffdruck) nahezu unmöglich. Wenngleich in den letzten Jahren zunehmend Tuben mit Cuff genutzt werden, sind die meisten der vorhandenen Formeln für Tuben ohne Cuff konzipiert worden.

Altersbasierte Formeln

Das Patientenalter ist einer der besten [11, 23] und gebräuchlichsten singulären Parameter zur Abschätzung des optimalen Durchmessers eines Endotrachealtubus. Prinzipiell unterscheiden sich etliche der altersbasierten Formeln nicht oder nur marginal. Die erste altersbasierte Formel zur Abschätzung der geeigneten Tubusgröße wurde im Jahr 1957 von Cole vorgestellt [1]. Diese Formel eignet sich zwar für Kinder >1 Jahr und erlaubt eine einfach Berechnung, ist aber aufgrund des

berechneten Außendurchmessers (Charrière, French) mittlerweile nicht mehr gebräuchlich. Eine der heute gebräuchlichen Formeln ($ID [mm] = \text{Alter}/4 + 4$) wurde erstmals von Penlington [18] im Jahr 1974 vorgestellt und wird in gängigen Lehrbüchern nach wie vor favorisiert [8, 16, 20].

Im Gegensatz hierzu wird von Larsen [15] in dessen Lehrbuch die Formel $ID [mm] = \text{Alter}/4 + 4,5$ empfohlen, wie sie beispielsweise auch von van den Berg u. Mphanza [23] oder Penlington [18] vorgeschlagen wird. Während van den Berg u. Mphanza [23] die Formel $ID [mm] = (\text{Alter} [Jahre]/4) + 4,5$ für Kinder im Alter von 1 bis 10 Jahren beschreiben, empfiehlt Penlington [18], diese Formel erst bei Kindern ab 6,5 Jahren zu verwenden, da sie den idealen Tubus-ID für jüngere Kinder unterschätzen kann. Für Kinder unter 6,5 Jahren empfiehlt Penlington [18] entsprechend die Formel $ID [mm] = (\text{Alter} [Jahre]/3) + 3,5$.

Für japanische Kinder untersuchten Takita et al. [22] im Jahr 2001 an insgesamt 874 Kindern die Formel Tubusgröße $[mm] = (\text{Alter} [Jahre] + 16)/4$ und fanden sie ebenso geeignet wie für Kinder aus westlichen Ländern. In 53,5% der Fälle konnte die optimale Tubusgröße vorhergesagt werden; im Rest der Fälle unterschätzte die Formel die Tubusgröße im Durchschnitt um 0,25 mm. Ähnliche Ergebnisse fanden Hofer et al. [9] bei Kindern im Alter von 6 Monaten bis 11 Jahren. Die Autoren nennen aber keine Details zur Studie; weder die Art des untersuchten Tubus noch Kriterien zur Detektion einer Leckage werden angegeben. Khine et al. [13] schlagen die altersbasierte Formel $ID [mm] = (\text{Alter}/4) + 3$ zur Abschätzung der Größe für Tuben mit Cuff vor, die bei 99% von 488 Kindern vom Neugeborenen bis zum Alter von 8 Jahren nachweislich die korrekte Tubusgröße lieferte.

Im Gegensatz dazu fanden Duracher et al. [4] in ihrer Arbeit aus dem Jahr 2008 bei 204 Kindern (Neugeborene bis zu Kindern im Alter von 15 Jahren), dass diese die Tubusgröße in 72% der Fälle um 0,5 mm unterschätzte. Die Autorengruppe empfiehlt daher eine modifizierte Formel: $\text{Tubusgröße ID} [mm] = (\text{Alter}/4) + 3,5$. Davis et al. [2] untersuchten die Korrelation zwischen der Formel $(\text{Alter} + 16)/4$

Tab. 6 Altersbasierte Formeln für Tuben mit Cuff zur Abschätzung des geeigneten Endotrachealtubus

Formel ID [mm]=	Anwendungsbereich	Autor	Jahr	Tubus-Typ bzw. Hersteller	Methode zur Beurteilung	Anmerkungen
(Alter/4)+3	Neugeborene bis 8-jährige Kinder	Khine et al. [13]	1997	„Mallinkrodt lo-pro tube“ (Mallinkrodt, Inc., Glens Fall, NY) sowie „oral RAE“ und „Sheridan low pressure cuffed endotracheal tube“ (Sheridan Catheter Corp., Argyle, NY)	Die optimale Tubusgröße wurde durch ein Leck bei einem inspiratorischen Beatmungsdruck über 10 cmH ₂ O und bei einem Cuffdruck von 25 cmH ₂ O ermittelt. Wenn dann ein Leck auftrat, wurde der Endotrachealtubus als undicht eingestuft [13]	In der Untersuchung wurden mehrere unterschiedliche Tuben verwendet [13]. Die Formel ist aus der Cole-Formel für Tuben ohne Cuff abgeleitet [1]. Wie Duracher et al. [4] berichten, unterschätzt die Formel die optimale Größe signifikant
(Alter/4)+3,5	Kinder, >1 Jahr	Duracher et al. [4]	2008	„Low pressure – high volume“; Mallinkrodt, Athlone, Ireland	Die optimale Tubusgröße wurde durch ein Leck von mehr als 25% des eingestellten Tidalvolumens bei einem Cuffdruck von 20 cmH ₂ O definiert [4]	Anwendung nicht für Kinder <1 Jahr [4]. Formel ist identisch mit [17]
(Alter/4)+3,5	Keine Angabe	Motoyama [17]	1990	Keine Angabe	Unklar	Formel ist identisch mit [4]

Zur Berechnung wird das Alter (Jahre) verwendet, sofern nicht anderweitig angegeben.

und $(\text{Alter}+18)/4$ an 174 pädiatrischen Patienten. Im Gegensatz zur ersten Formel war die zweite in nur 11% der Fälle optimal.

Größenbasierte Formeln

Keep et al. [12] und Woodbridge [27] empfehlen im Gegensatz zu den vorgenannten Autoren die Verwendung von größenbasierten Formeln. Hierbei erscheint die Formel von Keep u. Manford [12] aus dem Jahr 1974 für den klinischen Alltag zu kompliziert, sodass sie heute nur wenig gebräuchlich ist. Auch die Formel von Woodbridge [27] aus dem Jahr 1951 ist aufgrund der in Deutschland wenig gebräuchlichen Einheiten (Körpergröße in Inch und Durchmesser in Charrière bzw. French) ebenfalls nur wenig geeignet, wenngleich das Ergebnis einfach und unkompliziert zu berechnen ist. Eck et al. [5] beschreiben in ihrer Originalarbeit mithilfe retrospektiv erhobener Daten aus dem Jahr 2002 außer einer multivariaten Formel noch weitere univariate Formeln zur Abschätzung des Innendurchmessers eines Endotrachealtubus. Für Kinder <1 Jahr wurden unter Berücksichtigung nur einer Variable die besten Ergebnisse mit der größenbasierten Formel erreicht: $\text{ID [mm]}=1,4+(\text{Größe [cm]}/27)$. Bei Kindern in der Altersgruppe zwischen 1 und 7 Jahren war jedoch folgende altersbasierte Formel [5] genauer: $\text{ID [mm]}=(\text{Alter [Jahre]}+16)/4$. Wang et al. [24] untersuchten insgesamt 533 chinesische Kinder im Alter von 3 Monaten bis 6 Jahren. Für die Formel $\text{ID}=2+(\text{Größe$

[cm]/30) fanden sie die optimale Korrelation zum Innendurchmesser des verwendeten Endotrachealtubus. In einer Folgeuntersuchung konnte an 336 chinesischen Kindern gezeigt werden, dass mit dieser Formel in 82,4% der Fälle ein optimaler Durchmesser berechnet werden konnte [21]. Limitierend ist hierbei anzumerken, dass die Größe eines Kindes oftmals nur unzureichend genau oder aber auch unzureichend schnell in der klinischen Routine und bei Notfällen bestimmt werden kann. Entsprechend – unterstellt man eine gewisse Unsicherheit in der Abschätzung – wird die Berechnung des optimalen Durchmessers anhand der Körpergröße von Kindern zusätzlich erschwert.

Gewichtsbasierte Formeln

Neben diesen größen- und altersbasierten Formeln beschreiben Eck et al. [5] auch folgende weitere gewichtsbasierte Formel zur Abschätzung des idealen Innendurchmessers: $\text{ID [mm]}=3,6+(\text{Gewicht [kg]}/12)$. Diese Formel ist zwar vergleichsweise einfach in der täglichen Routine anzuwenden, stellte sich jedoch als relativ ungenau bei Kindern über 8 Jahren heraus (überschätzt die optimale Tubusgröße; [5]). Eipe et al. [6] schlagen in einer Arbeit aus dem Jahr 2009 ebenfalls eine gewichtsbasierte Formel vor, die zwar einfach anzuwenden, jedoch auch relativ ungenau ist.

Multivariate Formeln

In einer retrospektiven Arbeit mit insgesamt 3814 Kindern bis zu einem Alter von 7 Jahren nutzten Eck et al. [5] die multi-

variate lineare Regressionsanalyse zur Ermittlung einer Formel, die Alter, Gewicht und Größe einbezieht. Die optimale Tubusgröße (ID) für Kinder bis zu einem Alter von 7 Jahren ließ sich unter Anwendung aller 3 Parameter am besten mit der Formel

$$\text{ID [mm]}=2,44+(\text{Alter [Jahre]} \cdot 0,1)+(\text{Körpergröße [cm]} \cdot 0,02)+(\text{Körpergewicht [kg]} \cdot 0,016)$$

vorhersagen. Der offensichtliche Nachteil liegt in ihrer Komplexität und der Tatsache, dass alle 3 Variablen möglichst exakt bekannt sein müssen. Entsprechend eignet sie sich für Intubationen unter Anwendung einer elektronischen Rechenhilfe. Mit der zunehmenden Verbreitung von Computern und „handheld PC“ an den Narkosearbeitsplätzen kann der Nachteil der Komplexität allerdings relativiert werden. Darüber hinaus ermittelten sie Formeln für nur jeweils eine der Variablen Alter, Gewicht und Körpergröße (■ Tab. 1, 2, 3).

Größenauswahl bei Tuben mit Cuff

Traditionell werden in der pädiatrischen Anästhesie bei Kindern unter 8 bis 10 Jahren Endotrachealtuben ohne Cuff verwendet [4, 11, 26]. Erst in den letzten Jahren wurde erkannt, dass die Verwendung von Tuben mit Cuff vermutete, resultierende (postoperative) Probleme nicht begünstigt [4, 13, 25, 26] und außerdem signifikante Vorteile bietet (z. B. reliable Kapnographie, bessere Bedingungen zur Ventilation; [26]). Außerdem konnte gezeigt wer-

den, dass der Einsatz von zu großen Tuben ohne Cuff relevante tracheale Schäden induzieren und eine kleinere Tubusgröße aufgrund des verwendeten Cuffs genutzt werden kann [10].

Formeln zur Abschätzung der optimalen Tubusgröße für Tuben mit Cuff leiten sich aus den altersbasierten Formeln für Tuben ohne Cuff ab [1]. Andere als altersbasierte Formeln wurden für Tuben mit Cuff mithilfe dieser Recherche nicht gefunden. Aufgrund des außen anliegenden Cuffs ist im Gegensatz zu Tuben ohne Cuff eine geringere Tubusgröße erforderlich [z. B. $ID=(\text{Alter}/4)+3$ [13] oder $ID=(\text{Alter}/4)+3,5$ [4]]. Dieser Unterschied von lediglich 0,5 mm im ID scheint gerade bei Tuben mit Cuff in der klinischen Routine eher von untergeordneter Bedeutung, dennoch fanden Khine et al. [13] sowie Duracher et al. [4] Unterschiede hinsichtlich der optimalen Tubusgröße. Die zugrunde liegende Ursache wird erst bei genauer Analyse der beiden Publikationen evident: Während Khine et al. [13] den optimalen Durchmesser durch ein (hörbares?) Leck bei einem inspiratorischen Beatmungsdruck über 10 cmH₂O und bei einem Cuffdruck von 25 cmH₂O identifizierten, verwendeten Duracher et al. [4] ein Leck von mehr als 25% des eingestellten Tidalvolumens bei einem Cuffdruck von 20 cmH₂O als relevanten Parameter.

Andere Verfahren

Für eine grobe Abschätzung können außer den genannten Formeln sowohl der Durchmesser des Kleinfingers [23] als auch die Breite des Kleinfingernagels [14] des pädiatrischen Patienten zur Bestimmung der erforderlichen Tubusgröße herangezogen werden. Im angloamerikanischen Raum hat sich darüber hinaus das Braselow-Tape [9] insbesondere für Notfallsituationen [2] bewährt. Diese faltbare Karte dient u. a. zur Ermittlung der optimalen Tubusgröße basierend auf der Körpergröße. Sie kann neben das Kind gelegt werden und bietet beispielsweise wichtige Kenngrößen zur Notfallversorgung. Furuya et al. [7] berichten in ihrer Untersuchung über die Korrelation zwischen einer altersbasierten Formel und einer Röntgenaufnahme der Trachea. Die Au-

toren untersuchten retrospektiv den sichtbaren Durchmesser der Trachea auf Höhe von C6 und Th2 und fanden, dass die Vorhersage des optimalen Durchmessers mit der altersbasierten Formel in 62,2% der Fälle und durch die Röntgenaufnahme in 42,8% bzw. 43,7% der Fälle gelang. Alle diese Möglichkeiten geben zwar meist einen guten Anhaltspunkt [2], können im Einzelfall allerdings deutlich vom Ideal abweichen. Insbesondere die Breite des Kleinfingers und eine Röntgenaufnahme der Trachea sind signifikant schlechtere Parameter zur Abschätzung als das Alter [23].

Allgemeine Limitationen

Der direkte Vergleich und die Interpretation der publizierten Ergebnisse gestalten sich schwierig. So wurden beispielsweise bei der Analyse verschiedener Formeln unterschiedliche Kriterien angelegt, um die ideale Tubusgröße zu bestimmen. Unter der Verwendung der gleichen Formel kamen z. B. Duracher et al. [4] und Khine et al. [13] zu konträren Ergebnissen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, einen idealen Innendurchmesser abzuschätzen (Erfolgsrate 99 vs. 28%). In einigen weiteren Fällen blieb auch in den Originalpublikationen unklar, welcher Tubustyp bzw. welcher -hersteller überhaupt genutzt worden waren ([9]; **Tab. 1, 2, 3, 4, 5, 6**).

Die meisten der genannten Formeln wurden für kaukasische Kinder entwickelt. Einige der beschriebenen Formeln bezogen sich auf Kinder anderer Rassen bzw. wurden an ihnen validiert. Daher bleibt es weitgehend unklar, ob z. B. für Kinder asiatischer oder afrikanischer Herkunft die gleichen Formeln überhaupt erfolgreich angewendet werden können [11, 21, 24]. Auf die Analyse von Formeln für Kinder mit Besonderheiten (z. B. genetische Defekte) wurde in dieser Arbeit bewusst verzichtet, wenngleich einige Publikationen über eine gute Übereinstimmung berichten [11].

Rundungsfehler können bei der Auswahl der Tuben Schwierigkeiten bereiten. Insbesondere bei größenbasierten Formeln kann mit der Berechnung des ID ein Wert zwischen 2 verfügbaren Tubusgrößen errechnet werden. Die Entschei-

dung, ob der größere oder kleinere Tubus zu bevorzugen ist, sollte im Einzelfall getroffen werden.

Fazit für die Praxis

Die Verwendung von Tuben ohne Cuff hat sich in der pädiatrischen Anästhesie historisch bewährt. In der Zusammenfassung zeigt sich, dass mit allen Formeln, seien sie gewichts-, alters- oder größenbasiert, mit relativer Genauigkeit die passende Größe für Tuben ohne Cuff bestimmt werden kann, sofern bestimmte Grenzen der Anwendbarkeit beachtet werden. Dies gilt insbesondere für Kinder unter einem Lebensjahr, da diese leicht anwendbaren Formeln hier nicht validiert sind. Durch die Einbeziehung einer einzigen Variablen lässt sich die optimale Tubusgröße allerdings nicht mit ausreichender Sicherheit vorhersagen. Einen vielversprechenden Ansatz kann die multivariate Formel darstellen, die jedoch aufgrund ihrer Komplexität vermutlich nur an computergestützten Arbeitsplätzen Einzug halten wird. Daher sollten bei der Narkoseeinleitung neben der berechneten immer auch die nächstgrößere und die nächstkleinere Tubusgröße bereitliegen. Neben wiederholten Intubationsversuchen bei der Verwendung unterschiedlich großer Tuben ohne Cuff sind resultierende Traumen möglich. Die Schwierigkeiten bei der Auswahl der optimalen Größe für Tuben ohne Cuff sind u. a. auch der Hauptgrund dafür, dass bei Kindern im Alter über 2 Jahren an vielen Orten zunehmend Tuben mit Cuff (z. B. Microcuff) verwendet werden.

Korrespondenzadresse

PD Dr. J. Hinkelbein
Klinik für Anästhesiologie
und Operative Intensivmedizin,
Universitätsklinikum Köln
Kerpener Str. 62, 50937 Köln
jochen.hinkelbein@uk-koeln.de

Interessenskonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Cole F (1957) Pediatric formulas for the anesthesiologist. *Am J Dis Child* 94:672–673

2. Davis D, Barbee L, Ririe D (1998) Pediatric endotracheal tube selection: a comparison of age-based and height-based criteria. *AANA J* 66:299–303
3. Dullenkopf A, Gerber AC, Weiss M (2005) Fit and seal characteristics of a new paediatric tracheal tube with high volume-low pressure polyurethane cuff. *Acta Anaesthesiol Scand* 49:232–237
4. Duracher C, Schmautz E, Martinon C et al (2008) Evaluation of cuffed tracheal tube size predicted using the Khine formula in children. *Paediatr Anaesth* 18:113–118
5. Eck JB, De Lisle Dear G, Phillips-Bute BG et al (2002) Prediction of tracheal tube size in children using multiple variables. *Paediatr Anaesth* 12:495–498
6. Eipe N, Barrowman N, Writer H et al (2009) A weight-based formula for tracheal tube size in children. *Paediatr Anaesth* 19:343–348
7. Furuya A, Nomura H, Kuroiwa G et al (2009) Endotracheal tube selection in children: which is the better predictor for the selection, tracheal internal diameter in X-ray photograph or age-based formula? *Masui* 58:724–727
8. Heck M, Fresenius M (2008) *Repetitorium Anästhesiologie*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio
9. Hofer CK, Ganter M, Tucci M et al (2002) How reliable is length-based determination of body weight and tracheal tube size in the paediatric age group? The Broselow tape reconsidered. *Br J Anaesth* 88:283–285
10. Holzki J (1997) Laryngeal damage from tracheal intubation. *Paediatr Anaesth* 7:435–437
11. Jöhr M (2002) Die Wahl der Tubusgröße beim Kind. *Anaesthesist* 51:326–327
12. Keep PJ, Manford ML (1974) Endotracheal tube sizes for children. *Anaesthesia* 29:181–185
13. Khine HH, Corddry DH, Kettrick RG et al (1997) Comparison of cuffed and uncuffed endotracheal tubes in young children during general anaesthesia. *Anesthesiology* 86:627–631
14. King BR, Baker MD, Braitman LE et al (1993) Endotracheal tube selection in children: a comparison of four methods. *Ann Emerg Med* 22:530–534
15. Larsen R (2006) *Anästhesie*, 8. Aufl. Urban & Fischer, München
16. Madler C, Jauch KW, Werdan K et al (2005) *Das NAW-Buch*, 3. Aufl. Urban & Fischer, München
17. Motoyama EK (1990) Endotracheal intubation. In: Motoyama EK (ed) *Smith's anesthesia for infants and children*. Mosby, St. Louis
18. Penlington GN (1974) Endotracheal tube sizes for children. *Anaesthesia* 29:494–495
19. Salgo B, Schmitz A, Henze G et al (2006) Evaluation of a new recommendation for improved cuffed tracheal tube size selection in infants and small children. *Acta Anaesthesiol Scand* 50:557–561
20. Schulte am Esch J, Kochs E, Bause H (2002) *Anästhesie und Intensivmedizin*, 2. Aufl. Thieme, Stuttgart
21. Shih MH, Chung CY, Su BC et al (2008) Accuracy of a new body length-based formula for predicting tracheal tube size in Chinese children. *Chang Gung Med J* 31:276–280
22. Takita K, Morimoto Y, Okamura A et al (2001) Do age-based formulae predict the appropriate endotracheal tube sizes in Japanese children? *J Anesth* 15:145–148
23. Berg AA van den, Mphanza T (1997) Choice of tracheal tube size for children: finger size or age-related formula? *Anaesthesia* 52:701–703
24. Wang TK, Wu RS, Chen C et al (1997) Endotracheal tube size selection guidelines for Chinese children: prospective study of 533 cases. *J Fomos Med Assoc* 96:325–329
25. Weiss M, Dullenkopf A (2007) Cuffed tracheal tubes in children: past, present and future. *Expert Rev Med Devices* 4:73–82
26. Weiss M, Dullenkopf A, Fischer JE et al (2009) Prospective randomized controlled multi-centre trial of cuffed or uncuffed endotracheal tubes in small children. *Br J Anaesth* 103:867–873
27. Woodbridge PD (1951) Formula for estimating size of child's endotracheal tube. *Anesthesiology* 12:255