

4. Ergebnisse

4a. Basisdaten

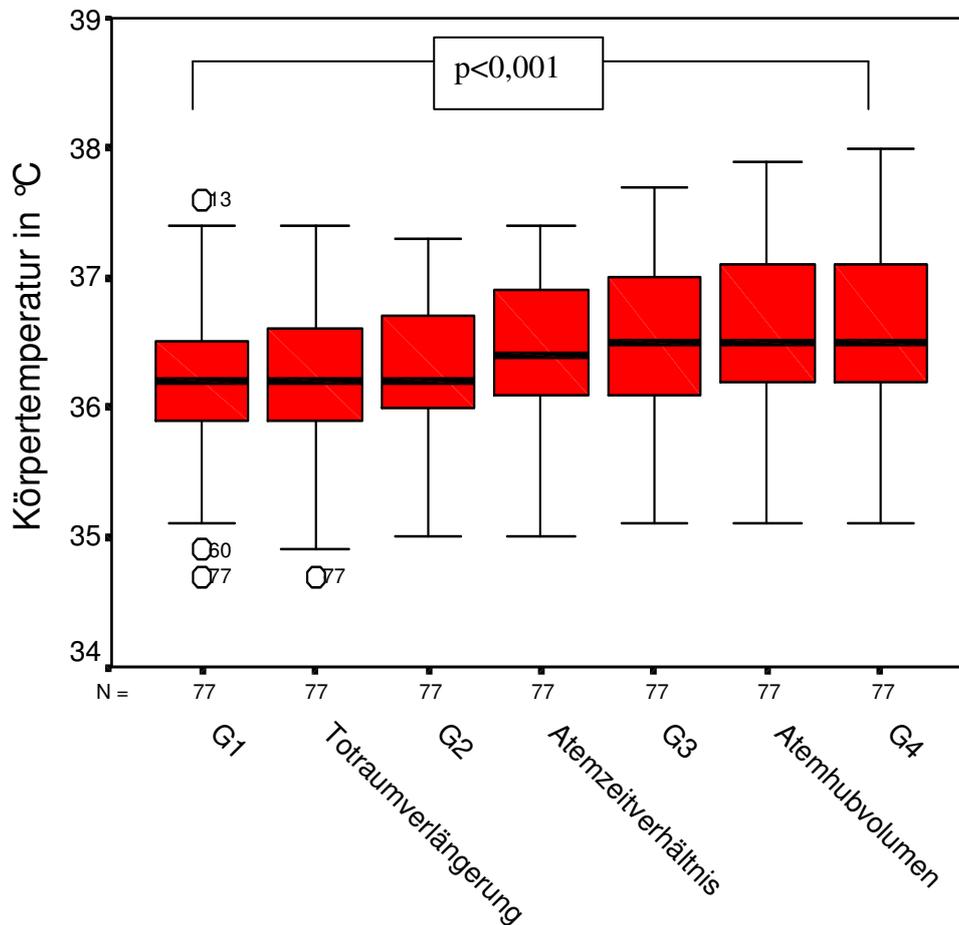
Es musste kein Patient aufgrund der Ausschlusskriterien von der Studie ausgeschlossen werden. Im Beobachtungszeitraum von ca. 2,5 Stunden kam es zu keinen Komplikationen und im weiteren Verlauf zu keinen studienbedingten Nachbeatmungen über 12 Stunden postoperativ. Ein Abbruch der Messungen war in keinem Fall erforderlich.

Messungen der Respiratorabluftfeuchte wurden vorgenommen bei 58 Männern und 19 Frauen im Alter zwischen 31 und 84 Jahren. Der Altersmedian lag bei 64 Jahren (25./75. Perzentile: 57/70). Im Folgenden werden die 25./75. Perzentile nach dem Median in Klammern ohne Dimension angegeben. Das Körpergewicht der Patienten lag zwischen 51 und 116 kg, der Median bei 77 kg (70/88,5). Die Körpergröße der Patienten lag zwischen 154 und 190 cm, der Median bei 172 cm (167/176,5). Aus Körpergewicht und Körpergröße wurde nach folgender Formel der Body mass index (BMI) errechnet: $\text{Körpergewicht (kg)} / \text{Körpergröße (m)}^2$. Der BMI lag zwischen 21,1 und 38,7. Der mediane BMI lag bei 26,1 (23,8/28,7). 42 der 77 Patienten gaben präoperativ anamnestisch an Raucher oder Ex-Raucher zu sein, davon 35 Männer und 7 Frauen. Die anderen 35 Patienten verneinten dies. In 5 Fällen (3 „Raucher“, 2 „Nichtraucher“) musste im Beobachtungszeitraum auf der Intensivstation Trachealsekret wegen erhöhten Sekretanfalls über den Tubus abgesaugt werden. Das Sekret war in allen Fällen flüssig. Tubusokklusionen kamen im Beobachtungszeitraum nicht vor.

Die im Abluftauffanggefäß gemessenen Temperaturen (Respiratorablufttemperaturen) lagen zwischen 23,8 und 26,7°C. Der Median betrug 25,4°C (25/25,7). Die Körpertemperatur der Patienten wurde bei 61 Patienten über eine in den Harnblasenkatheter integrierte Temperatursonde ermittelt. Bei 15 Patienten wurde die Körpertemperatur über einen Pulmonalarterienkatheter ermittelt, bei einem Patienten wurde rektal gemessen. Zu Beginn der Messungen lag die Körpertemperatur zwischen 34,7 und 37,6°C. In der Beobachtungszeit stieg die Körpertemperatur nach Aufnahme aus dem Operationssaal auf die Intensivstation durch passive oder aktive

Erwärmungsmaßnahmen an. Im Median stieg die Körpertemperatur von der ersten Abluftfeuchtemessung bis zur letzten Abluftfeuchtemessung um 0,3 °C ($p < 0,001$).

Abb.7: Die Körpertemperaturen zu den verschiedenen Messzeitpunkten



Legende:

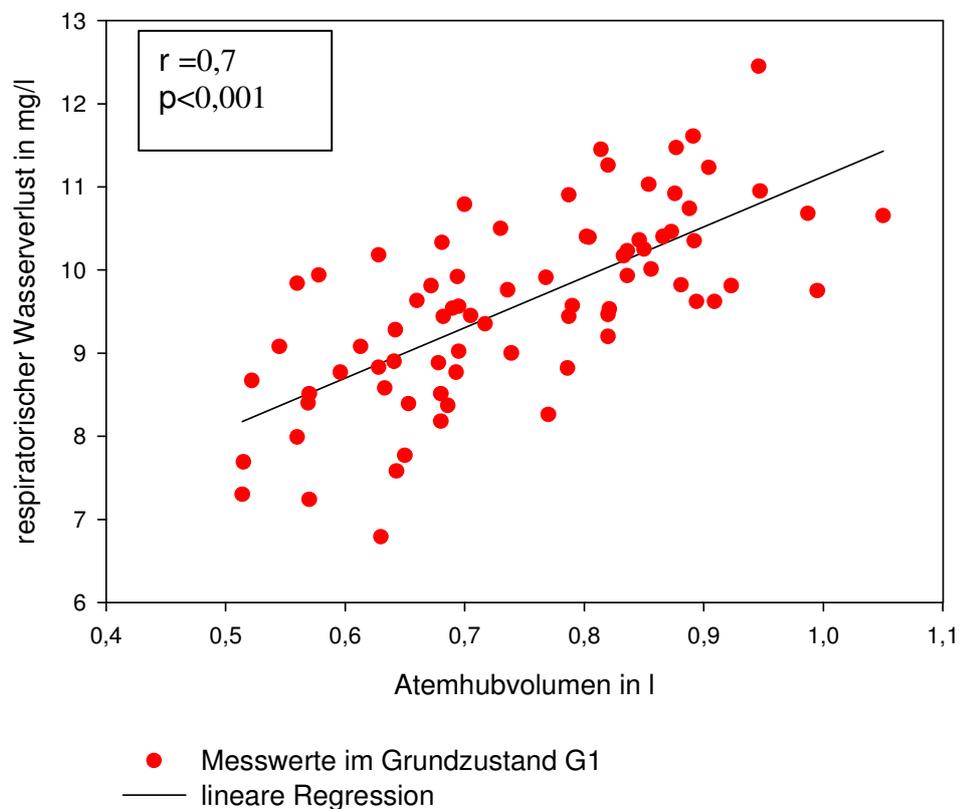
- G1;G2;G3;G4 = Grundzustände der Beatmung.
- Totraumverlängerung = Position zwischen HME und Y-Stück (Variation 1).
- Atemzeitverhältnis = Atemzeitverhältnis verlängert (Variation 2).
- Atemhubvolumen = Atemhubvolumen reduziert (Variation 3).
- O¹³,O⁶⁰,O⁷⁷ = Ausreißerwerte mit Fallnummer (Werte die zwischen 1,5 und 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Rand der Box entfernt sind. Die Boxlänge entspricht dem interquartilen Bereich).
- N = Fallzahl

4b. Einflussvariablen auf den respiratorischen Wasserverlust

Für die Untersuchung möglicher Einflussvariablen auf den respiratorischen Wasserverlust bei beatmeten Patienten unter Verwendung eines hydrophoben HME in Nicht-Rückatmungssystemen und unter klinischen Bedingungen, werden exemplarisch die zum Messzeitpunkt G1 (Grundzustand 1) ermittelten Messwerte zugrunde gelegt.

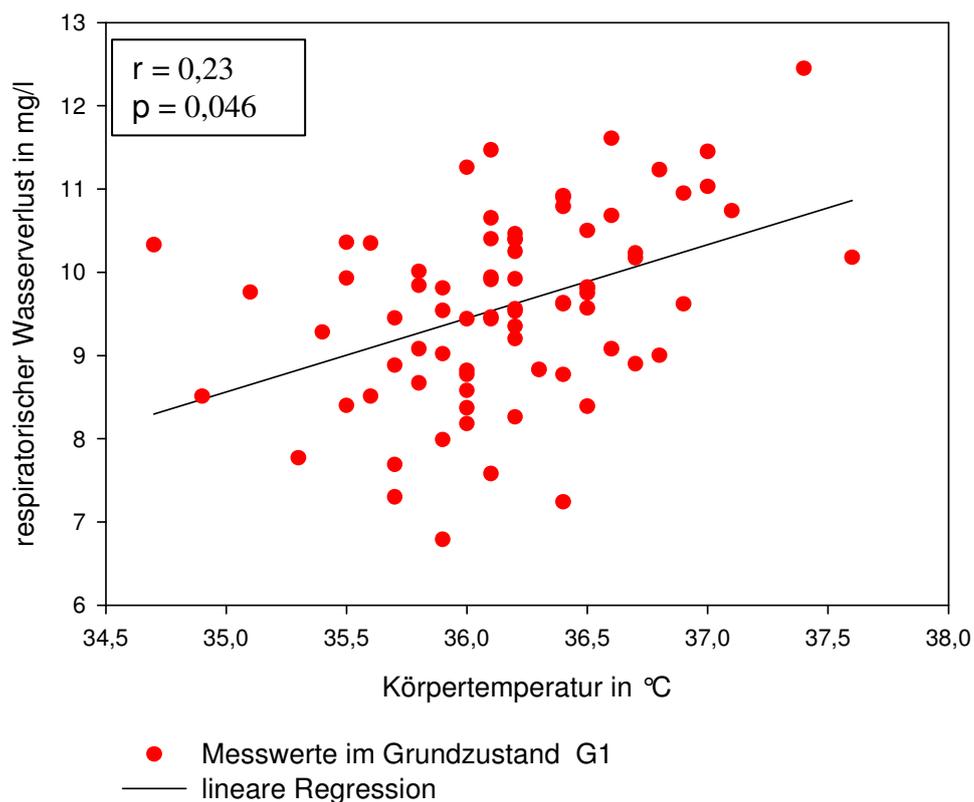
Eine signifikante, enge und positive Korrelation besteht zwischen respiratorischem Wasserverlust und Atemhubvolumen (Korrelationskoeffizient nach Pearson $r = 0,70$; $p < 0,001$). Durch Erstellen einer Punktwolke (Streudiagramm) kann die Relation zwischen Atemhubvolumen und respiratorischem Wasserverlust im Messbereich veranschaulicht werden:

Abb.8: Zusammenhang zwischen Atemhubvolumen und resp.Wasserverlust



Auch die Körpertemperatur korreliert positiv mit dem respiratorischen Wasserverlust. Die Korrelation von Körpertemperatur und Wasserverlust im Messbereich ist schwach und an der Grenze zur Signifikanz ($r = 0,23$; $p = 0,046$):

Abb.9: Zusammenhang zwischen Körpertemperatur und resp. Wasserverlust



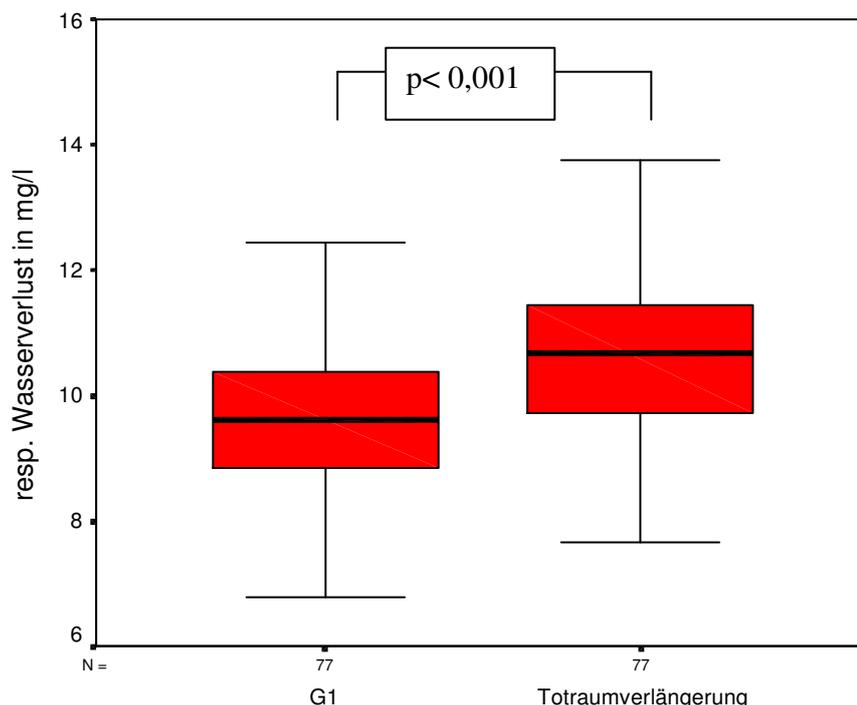
Der Einfluss der Körpertemperatur in dem gemessenen Bereich auf den respiratorischen Wasserverlust ist gering, wie an der weiten Streuung der Punktwolke erkennbar ist. Das Bestimmtheitsmaß (Determinationskoeffizient) für den Parameter Körpertemperatur beträgt $r^2 = 0,05$. Anders ausgedrückt: Nur 5% der Streuung des Wasserverlustes lässt sich durch eine lineare Abhängigkeit von der Körpertemperatur erklären. Die Parameter Körpertemperatur und Atemhubvolumen in einem linearen Regressionsmodell zusammengefasst, erklären 51% ($r^2 = 0,51$) der Streuung des Wasserverlustes. Zwischen respiratorischem Wasserverlust und Geschlecht,

Lebensalter, Körpergröße, Körpergewicht und Raucherstatus bestehen nach multivariater linearer Regressionsanalyse über den mittelbaren Zusammenhang mit dem Atemhubvolumen hinaus, keine signifikanten Zusammenhänge. Das heißt, sie tragen als Faktor in einem linearen Regressionsmodell nicht signifikant zur Verbesserung des Modells bei.

4c. Auswirkung der Position der Totraumverlängerung auf den respiratorischen Wasserverlust

Im Grundzustand beträgt der respiratorische Wasserverlust im Median 9,6 mg/l (8,8/10,4). Durch Umsetzen der Totraumverlängerung auf die „trockene“ Seite des HME (Variation 1) steigt der Wasserverlust im Median auf 10,7 mg/l (9,7/11,5) ($p < 0,001$). Der Median der Abweichungen beträgt 1,1 mg/l (0,7/1,4) oder 11,5% des respiratorischen Wasserverlustes des Grundzustands ($p < 0,001$). Atemfrequenzen, Atemhubvolumina und Atemminutenvolumina unterscheiden sich nicht signifikant.

Abb.10: Der respiratorischen Wasserverlust im Grundzustand und nach Umsetzen der Totraumverlängerung auf die „trockene“ Seite des HME



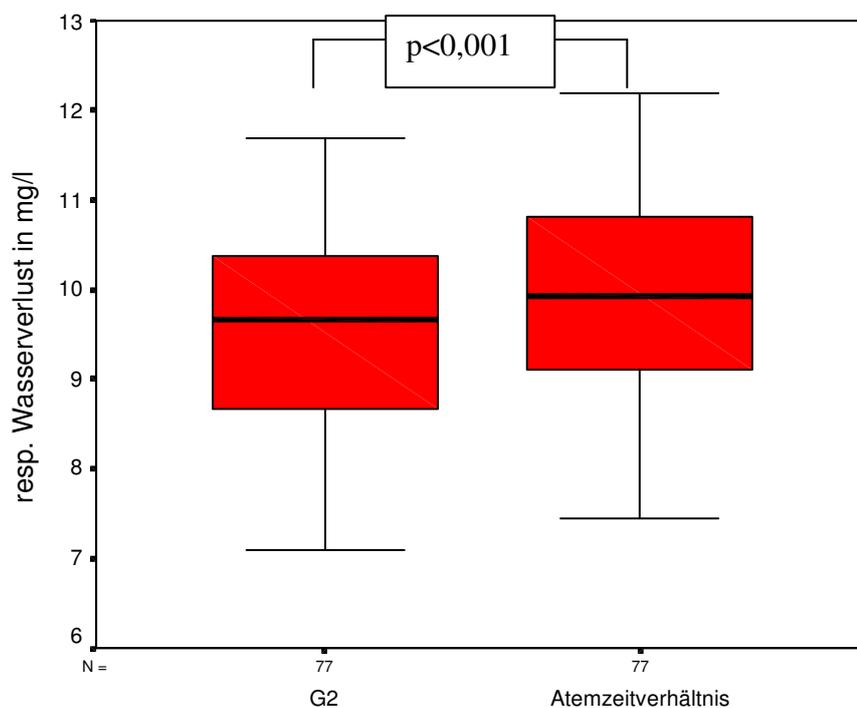
Legende:

- G1= Beatmung im Grundzustand 1 (Totraumverlängerung zwischen Tubus und HME).
- Totraumverlängerung = Position zwischen HME und Y-Stück (Variation 1).
- N = Fallzahl

4d. Auswirkung der Verlängerung des Atemzeitverhältnisses auf den respiratorischen Wasserverlust

Durch Veränderung des Atemzeitverhältnisses (Inspiration: Expiration) von 1:2 auf 1:1 steigt der Median des resp. Wasserverlustes von 9,7 mg/l (8,7/10,4) geringfügig auf 9,9 mg/l (9,1/10,9) ($p < 0,001$). Der Median der Abweichungen beträgt 0,4 mg/l (0,2/0,6) oder 4,1% vom respiratorischen Wasserverlust des Grundzustands. Die Atemfrequenzen, Atemhubvolumina und Atemminutenvolumina unterscheiden sich nicht signifikant.

Abb.11: Der respiratorischen Wasserverlust im Grundzustand und bei Verlängerung des Atemzeitverhältnisses



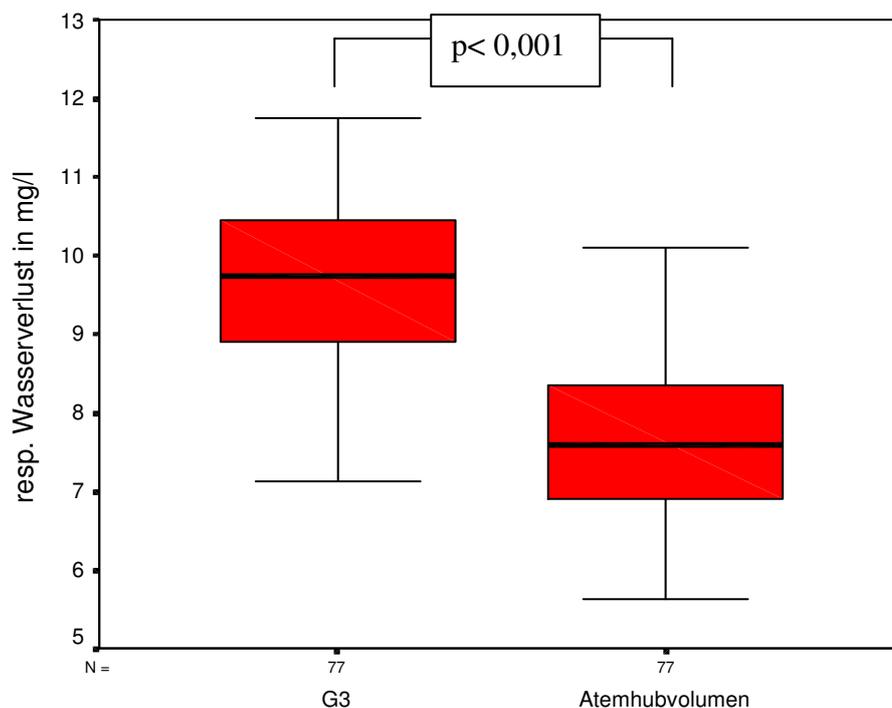
Legende:

- G2 = Beatmung im Grundzustand 2 (Atemzeitverhältnis 1:2).
- Atemzeitverhältnis = Atemzeitverhältnis verlängert auf 1:1 (Variation 2).
- N = Fallzahl

4e. Auswirkung der Reduktion des Atemhubvolumens auf den respiratorischen Wasserverlust

Die Reduktion des Atemhubvolumens im Median von 9,2 ml/kgKG (7,9/10,2) auf 5,7 ml/kgKG (5,2/6,4) führt zu einer Abnahme des respiratorischen Wasserverlustes im Median von 9,7 mg/l (8,9/10,5) auf 7,6 mg/l (6,9/8,4) ($p < 0,001$). Der Median der Abweichungen beträgt -1,9 mg/l (-2,5/-1,6) oder -19,6% vom respiratorischen Wasserverlust des Grundzustands.

Abb.12: Der respiratorischen Wasserverlust im Grundzustand und bei reduziertem Atemhubvolumen



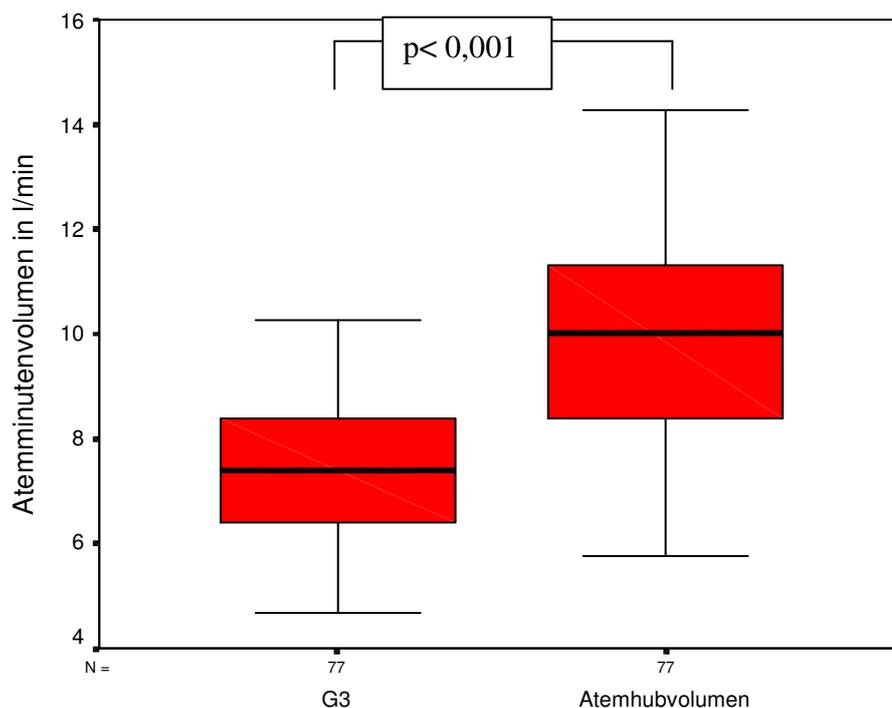
Legende:

- G3 = Beatmung im Grundzustand 3 (Atemhubvolumen im Median 9,2 ml/kgKG).
- Atemhubvolumen = Atemhubvolumen im Median auf 5,7 ml/kgKG reduziert (Variation 3).
- N = Fallzahl

Der Wasserverlust pro Zeiteinheit (Minute) sinkt dagegen nicht, sondern steigt geringfügig durch das erhöhte Atemminutenvolumen:

Aus der Reduzierung des Atemhubvolumens ergibt sich klinisch die Notwendigkeit kompensatorisch die Atemfrequenz zu erhöhen, will man die alveoläre Ventilation, und damit die Kohlendioxidelemination, weitgehend konstant halten. Durch Erhöhung der Atemfrequenz im Median von 10/min (9,6/10,6) auf 22/min (20/23), wird das Atemminutenvolumen von 7,4 l/min (6,4/8,4) im Grundzustand auf 10 l/min (8,4/11,3) bei reduziertem Atemhubvolumen gesteigert ($p < 0,001$).

Abb.13: Atemminutenvolumina im Grundzustand und bei reduziertem Atemhubvolumen



Legende:

- G3 = Beatmung im Grundzustand 3 (Atemhubvolumen im Median 9,2 ml/kgKG, Atemfrequenz 10/min).
- Atemhubvolumen = Atemhubvolumen im Median auf 5,7 ml/kgKG reduziert, Atemfrequenz auf 22/min erhöht (Variation 3).
- N = Fallzahl

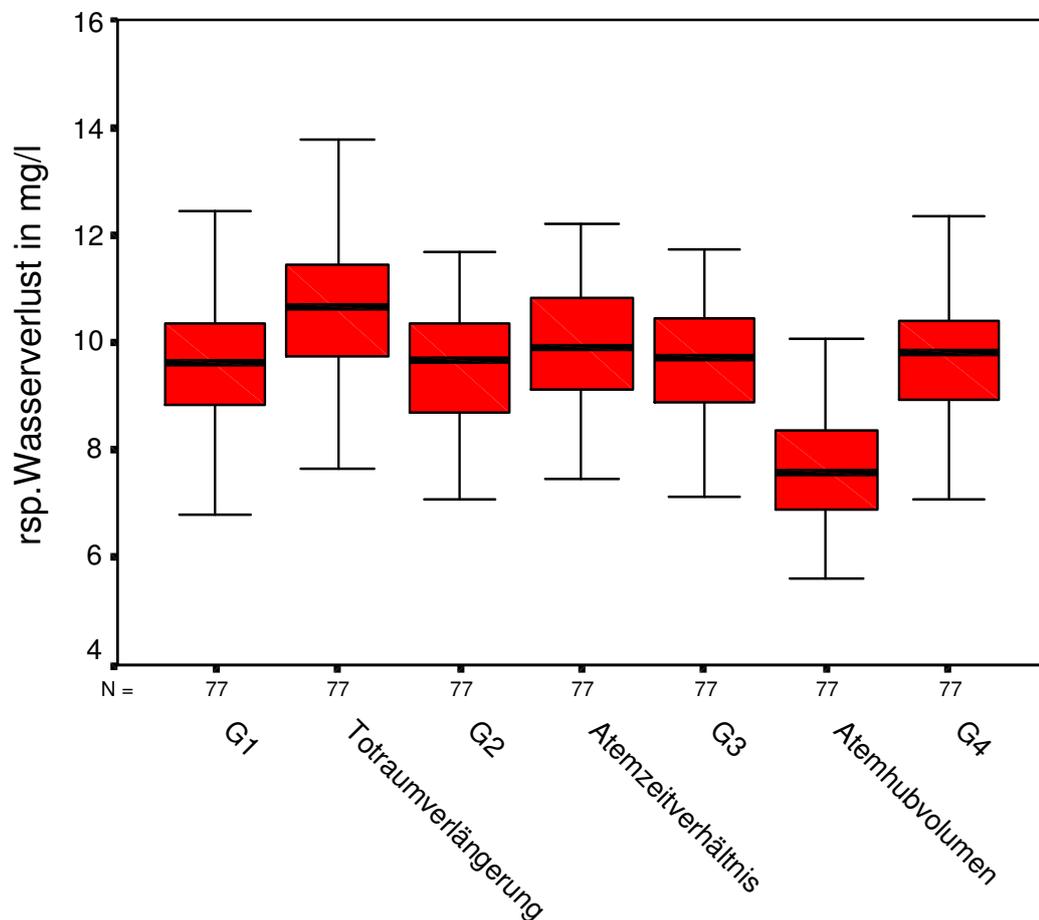
Der arterielle Kohlendioxidpartialdruck ($p_a\text{CO}_2$) steigt trotz des erhöhten Atemminutenvolumens im Median von 36 mmHg (34/39) auf 38 mmHg (35/42) signifikant an ($p < 0,001$). Die alveoläre Ventilation ist also offenbar durch das reduzierte Atemhubvolumen vermindert, und wird durch die Atemfrequenzerhöhung nicht vollständig kompensiert. Der respiratorische Wasserverlust pro Minute steigt leicht von im Median 71,1 mg/min (56,9/87,6) auf 73,9 mg/min (60,4/92,5) ($p = 0,02$).

4f. Ergebnisübersicht

Die Grundzustände der Beatmung G1 bis G4 unterscheiden sich hinsichtlich des respiratorischen Wasserverlustes nicht signifikant.

Die Variationen vom Grundzustand (bezeichnet mit: „Totraumverlängerung“; „Atemzeitverhältnis“; „Atemhubvolumen“) unterscheiden sich dagegen signifikant von dem jeweils vorhergehenden Grundzustand ($p < 0,001$).

Abb.14: Der respiratorischen Wasserverlust zu den verschiedenen Messzeitpunkten in einer Abbildung zusammengefasst



Legende: - G1;G2;G3;G4 = Grundzustände der Beatmung.

- Totraumverlängerung = Position zwischen HME und Y-Stück (Variation 1).

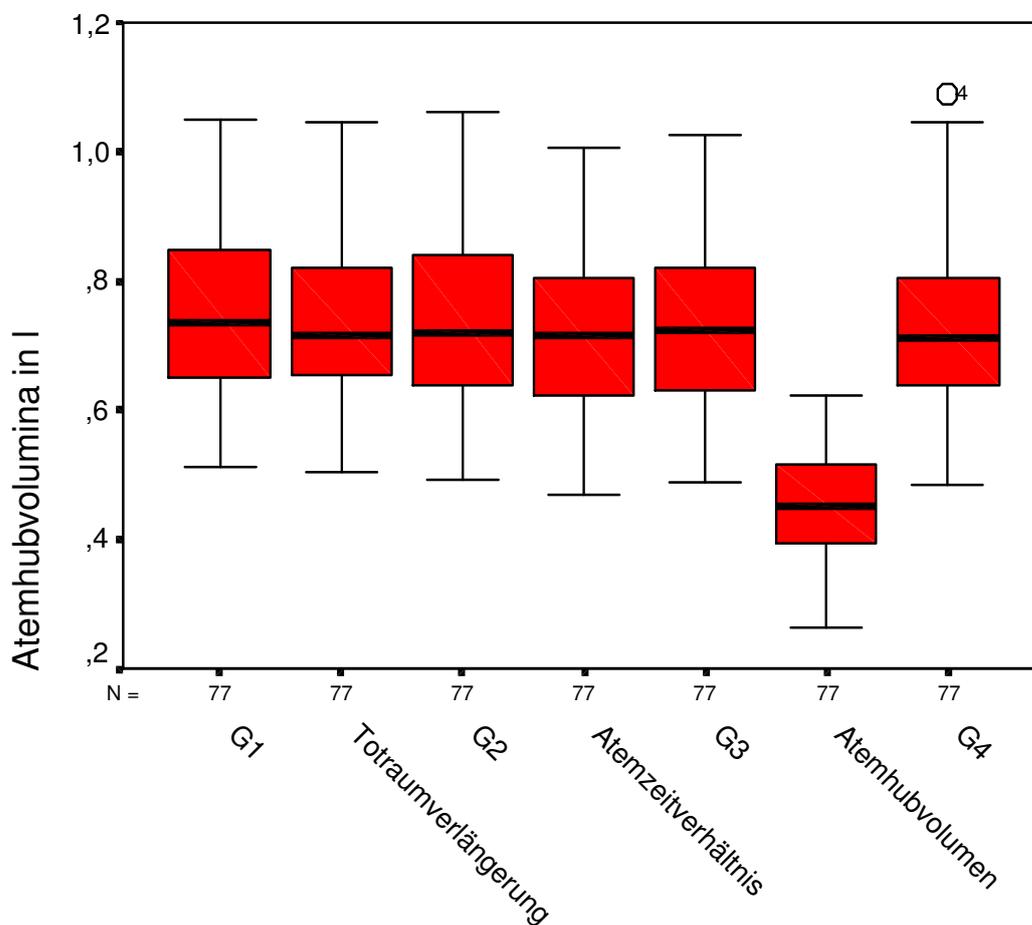
- Atemzeitverhältnis = Atemzeitverhältnis verlängert (Variation 2).

- Atemhubvolumen = Atemhubvolumen reduziert (Variation 3).

- N = Fallzahl

Die übrigen Beatmungsparameter, wenn nicht ausdrücklich Gegenstand der Veränderung, wurden konstant gehalten. Insbesondere das Atemhubvolumen, als wichtiger Einflussparameter auf die Respiratorablufftfeuchte (siehe 4b), unterscheidet sich zu den verschiedenen Messzeitpunkten (mit Ausnahme von Variation 3 „Atemhubvolumen“) nicht signifikant voneinander:

Abb.15: Atemhubvolumina zu den verschiedenen Messzeitpunkten



Legende: - G1;G2;G3;G4 = Grundzustände der Beatmung.

- Totraumverlängerung = Position zwischen HME und Y-Stück (Variation 1).

- Atemzeitverhältnis = Atemzeitverhältnis verlängert (Variation 2).

- Atemhubvolumen = Atemhubvolumen reduziert (Variation 3).

- O⁴ = Ausreißerwert mit Fallnummer

- N = Fallzahl

Tabelle 1 zeigt Median, 25. und 75. Perzentile der respiratorischen Wasserverluste zu den sieben Messzeitpunkten zusammengefasst:

Tabelle1: Respiratorische Wasserverluste in mg/l zu den sieben Messzeitpunkten

	Median	25 Perzentile	75 Perzentile
Grundzustand 1	9,6	8,8	10,4
„Totraumverlängerung“	10,7	9,7	11,5
Grundzustand 2	9,7	8,7	10,4
„Atemzeitverhältnis“	9,9	9,1	10,9
Grundzustand 3	9,7	8,9	10,5
„Atemhubvolumen“	7,6	6,9	8,4
Grundzustand 4	9,8	8,9	10,4

Die Differenzen der respiratorischen Wasserverluste der jeweiligen Variation (Totraumverlängerung, Atemzeitverhältnis, Atemhubvolumen) vom vorhergehenden Grundzustand für jeden der 77 Fälle zusammengefasst durch Median und Quartilen zeigt Tabelle 2:

Tabelle2: Differenzen (Variation – Grundzustand) der resp.Wasserverluste in mg/l

	Median	Prozente %	25 Perzentile	75 Perzentile	p <
ΔTotraumverlängerung	1,1	11,5	0,7	1,4	0,001
ΔAtemzeitverhältnis	0,4	4,1	0,2	0,6	0,001
Δ Atemhubvolumen	-1,9	-19,6	-2,5	-1,6	0,001

Angegeben sind hier Median, 25.und 75. Perzentile der Differenzen, nicht etwa die Differenz der Mediane, 25. und 75. Perzentilen aus Tabelle 1.