

DAC-2007: Tom Sietas – Apnoe-Rekord unter Hyperoxie

Presse-Verlautbarung

Presse-Verlautbarung Hamburg, 6. Mai 2007: Über hundert geladene Gäste hielten bei der Abendveranstaltung von Linde Gas Therapeutics im Rahmen des Deutschen Anästhesie-Congresses 2007 buchstäblich den Atem an, als der Apnoe-Taucher Tom Sietas unter medizinischer Überwachung in einem Wassertank abtauchte. 16 Minuten und 14 Sekunden später hatte er einen inoffiziellen Weltrekord im Tauchen mit Präoxygenierung aufgestellt – ein neuer Nachweis, dass die präventive Gabe von 100 % Sauerstoff den Überlebensspielraum bei Atemstillstand erheblich verlängert. Die Bestleistung von Sietas mit normaler Luft liegt bei 9 Minuten und 8 Sekunden. Der spektakuläre Versuch stand unter der Aufsicht und wissenschaftlichen Begleitung von Prof. Dr. Rolf Zander (ehem. Institut für Physiologie und Pathophysiologie der Universität Mainz) und Prof. Dr. Jörg Weimann (Klinik für Anästhesiologie des VU Medical Center, Amsterdam).

Ausschnitte eines [Video-Mitschnittes](#) dieser Veranstaltung können hier gestartet werden:
Für Windows Media Player [wmv-Format, 87 MB](#)

Der wissenschaftliche Hintergrund wird im Folgenden dargestellt - hoffentlich wie schon bei der Veranstaltung auch für Laien verständlich.

Apnoe-Rekord unter Hyperoxie

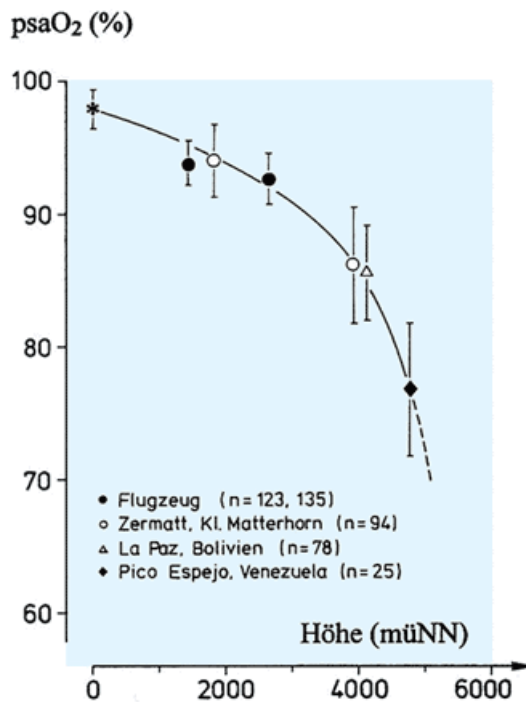
Rückblick

Der von Tom Sietas gehaltene Apnoe-Rekord von 9 Minuten unter Luft-Atmung wird am 18.10.2006 im ZDF bei J. B. Kerner diskutiert, ein Tauchgang im Becken wird nach 6 Minuten abgebrochen. Das Risiko dieses Versuches besteht darin, dass der Taucher nach subjektiver Erfahrung genau den Zeitpunkt der Beendigung bestimmen muss, bei dem die Hypoxie seine lebenswichtigen Organe, Gehirn und Herz, zu gefährden droht. Die während der Apnoe entstehende Hyperkapnie wird weitgehend ausgeschaltet, weil der Taucher vor dem Tauchgang seinen CO₂-Speicher durch intensive Hyperventilation entleert.

Hypoxie

Erfahrungen mit akuter Hypoxie werden in der Medizin häufig gemacht. Auch jeder Laie kann allein in körperlicher Ruhe Hypoxie-Erfahrungen sammeln, nämlich beim Aufenthalt in größeren Höhen. Beispiele dafür sind in der [Abb. Pulsoxymeter-Anzeige bei verschiedenen Höhen](#) wiedergegeben. Als Extremfall kann der Aufenthalt auf dem höchsten Berg weltweit gelten, den man als Tourist in weniger als 1 Stunde (per Seilbahn) erreichen kann, also nicht höhenadaptiert, nämlich der Pico Espejo in Venezuela mit einer Höhe von 4.865 m. Ausgeprägte Hypoxie-Reaktionen in körperlicher Ruhe, außer einer gewissen Müdigkeit, werden bei den zehntausenden von Touristen nicht bemerkt, insbesondere keine Hyperventilation [Details dazu bei [Zander, Mertzluft 1996](#)].

Pulsoxymeter-Anzeige bei verschiedenen Höhen



Abhängigkeit der pulsoxymetrisch gemessenen partiellen, arteriellen O₂-Sättigung (psaO₂, %) als Funktion der von Touristen bzw. Flugpassagieren erreichten Höhen (müNN) an den genannten Orten. Angegeben sind Mittelwerte mit Standardabweichung und Anzahl der Messwerte. Mit Abnahme der psaO₂ bei zunehmender Höhe nimmt die Streuung der Werte offensichtlich im Sinne einer individuell sehr unterschiedlichen Hypoxie-Reaktion zu [Zander, Mertzlufft 1996].

Ausgehend von diesen Befunden wurden in der **Tab. Therapeutische Grenzwerte** für den Anästhesisten obligatorische und fakultative Grenzwerte einer Hypoxie definiert [Zander, Mertzlufft 1996].

Therapeutische Grenzwerte

Die bereits früher angegebenen therapeutischen Grenzwerte für eine akute, arterielle Hypoxie, nämlich **psaO₂ von 90 % (fakultativ) und 75 % (obligatorisch)**, können als gut begründet angesehen werden und gelten für Patienten beiderlei Geschlechts mit weitgehend normaler Hb-Konzentration in körperlicher Ruhe. Sie können dem Anästhesisten ein eventuelles (fakultatives) oder unbedingtes (obligatorisches) Handeln nahe legen, z. B. im Sinne einer Erhöhung der inspiratorischen O₂-Konzentration, wobei immer noch ausreichende, zusätzliche Sicherheitsmargen vorhanden sind.

Zitat aus Zander R, Mertzlufft F: Therapeutische Grenzwerte der akuten, arteriellen Hypoxie. AINS 1996; 31: 372-374

Apnoe

In Deutschland werden pro Jahr etwa 8 Millionen Menschen in Intubationsnarkose operiert, das bedeutet, dass dem Patienten vom Arzt eine medikamentöse muskuläre Blockade aufgezwungen werden muss, die auch die Atmung zum Stillstand bringt, also eine erforderliche Apnoe. Sie ist Voraussetzung dafür, dass der Patient über einen in die Luftröhre eingeführten Tubus beatmet werden kann.

Für den Anästhesisten bedeutet dies, dass er nur maximal 2 Minuten Zeit hätte, die Intubation erfolgreich vorzunehmen. Bietet er hingegen dem Patienten zuvor reinen Sauerstoff (100 % O₂) anstelle von Raumluft (21 % O₂) zur Atmung an, so kann der Sauerstoff-Speicher der Lunge so weit aufgefüllt werden, dass eine Zeit von etwa 10 Minuten Apnoe-Dauer vom Patienten problemlos toleriert wird. Dies schafft Sicherheit und sollte routinemäßig als so genannte Präoxygenierung durchgeführt werden. Die Quantifizierung dieses Sachverhaltes wird in der **Tab. Intrapulmonaler O₂-Speicher** dargestellt [Zander 2005].

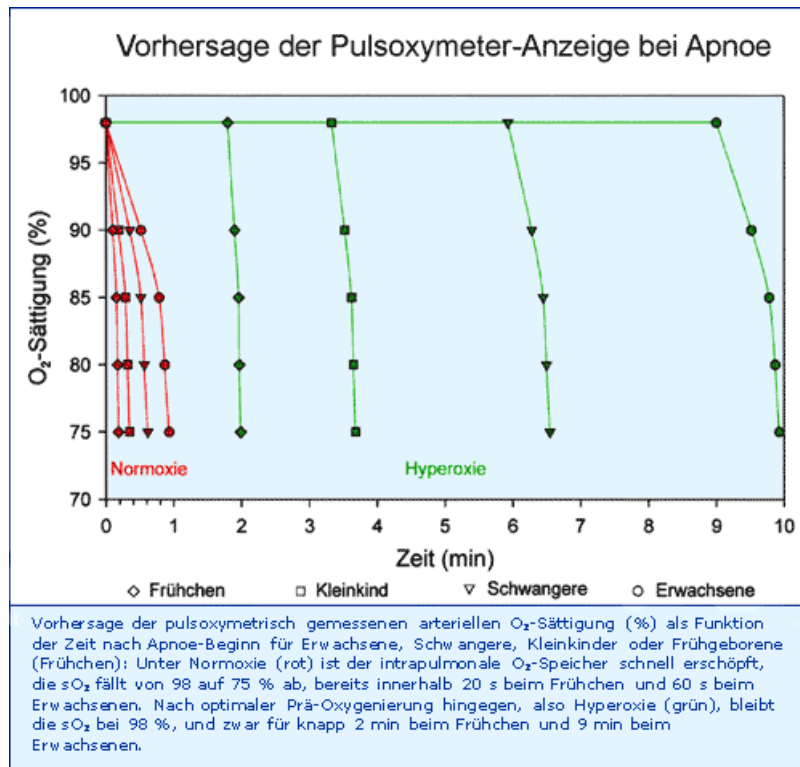
Intrapulmonaler O₂-Speicher

Größe (ml)	Intrapulmonaler Speicher	Utilisation
2250	Hyperoxie/FRC	hyperoxisch → normoxisch
	FRC x ΔFAO ₂	pAO ₂ 670 → 100 mmHg
	3000 ml x (0,882-0,132)	saO ₂ 98 → 96 %
235	Normoxie/FRC	normoxisch → hypoxisch
	FRC x ΔFAO ₂	pAO ₂ 100 → 40 mmHg
	3000 ml x (0,132-0,053)	saO ₂ 96 → 75 %

Intrapulmonaler O₂-Speicher des Menschen unter Hyperoxie bzw. Normoxie, abgeleitet aus den jeweiligen Änderungen des alveolären O₂-Partialdruckes (pAO₂) bzw. der O₂-Fraktion (FAO₂) unter der Annahme einer funktionellen Residualkapazität (FRC) von 3000 ml.

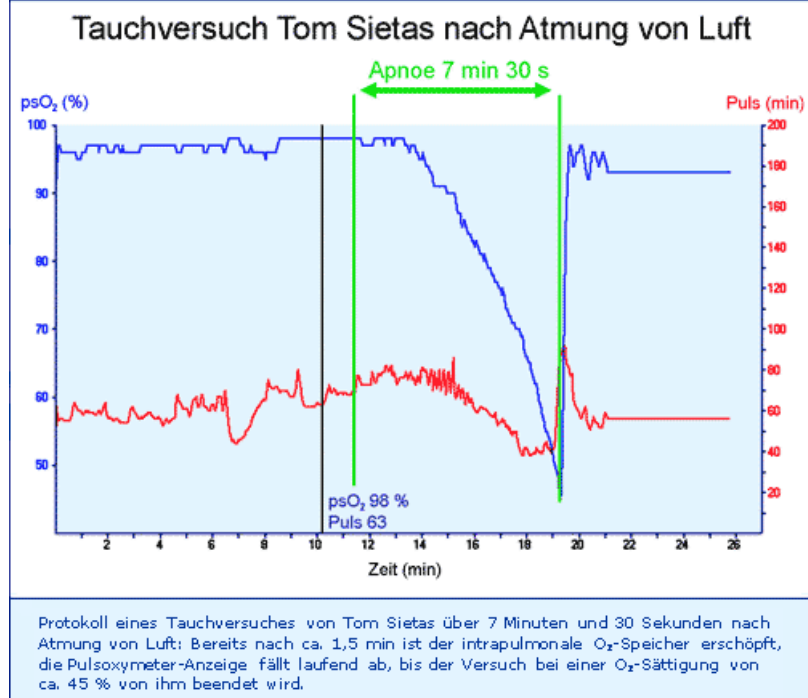
Zitat aus Zander R: Physiologie und klinischer Nutzen einer Hyperoxie. AINS 2005; 40: 616-623

Nach normaler Luft-Atmung beträgt der intrapulmonale O₂-Speicher mit 235 ml in etwa der Menge, die ein Erwachsener gerade pro Minute verbraucht (250 ml/min). Diese Verhältnisse ändern sich aber deutlich, wenn Frühgeborene, Kleinkinder oder Schwangere betrachtet werden, wie man an der **Abb. Vorhersage der Pulsoxymeter-Anzeige bei Apnoe** ersehen kann (rot), d. h. eine Hypoxie muss in deutlich weniger als 1 Minute Apnoe-Dauer eintreten.



Apnoe unter Hypoxie

Ein von Tom Sietas freundlicherweise überlassenes Protokoll wird in der **Abb. Tauchversuch Tom Sietas nach Atmung von Luft** wiedergegeben. Es ist offensichtlich, dass der intrapulmonale O₂-Speicher sehr schnell erschöpft ist, bei einer O₂-Sättigung von ca. 45 % wird der Versuch von ihm beendet.



Hyperoxie

Die **Abb. Vorhersage der Pulsoxymeter-Anzeige bei Apnoe** zeigt sehr deutlich, wie sich die Verhältnisse erheblich verbessern, wenn der Patient oder Taucher vor der Apnoe 100 % O₂ im Sinne einer Präoxygenierung angeboten bekommt (grün).

In der **Tab. Intrapulmonaler O₂-Speicher** werden dazu konkrete Angaben gemacht: Unter Hyperoxie können intrapulmonal erhebliche Mengen von O₂ zusätzlich gespeichert werden, für den Erwachsenen jetzt maximal ca. 2.250 ml. Für den Fall eines Atemstillstandes nach erfolgreicher Füllung des intrapulmonalen O₂-Speichers ändern sich damit die Zeiten bis zu einem Abfall der arteriellen O₂-Sättigung auf 75 % nun ganz erheblich: Beim Erwachsenen von ca. 1 min unter Normoxie auf ca. 10 min unter Hyperoxie, beim Fröhchen von ca. 10 s unter Normoxie auf ca. 2 min unter Hyperoxie.

Apnoe unter Hyperoxie

Apnoe-Taucher sehen den Atemstillstand als Herausforderung an und versuchen daher, die Bedingungen für seine Ausdehnung zu optimieren. Während ein erwachsener Patient beim Atemstillstand ein Lungenvolumen von etwa 3 Liter aufweist, verfügt der Sportler nach maximaler Einatmung über ein Lungenvolumen von maximal etwa 10 Liter. Weiterhin wird der Taucher vermehrt atmen (Hyperventilation), um seinen CO₂-Speicher vor dem Tauchgang möglichst optimal zu entleeren. Bei Versuchen mit so genannten Kampftauchern der Bundeswehr wurde dementsprechend ein Rekord von 14,5 Minuten Apnoe-Dauer nach Atmung von 100 % Sauerstoff eingestellt [[Neubauer, Zander 1996](#)]. Der limitierende Faktor, den der Taucher jetzt üben muss, ist der Umgang mit der Hyperkapnie, die ihn allein zwingt, den Tauchgang zu beenden. Bei den Kampftauchern betrug der höchste, mit einem Kapnometer endexpiratorisch gemessene Wert 85 mmHg.

Rekord-Versuch Tom Sietas unter Hyperoxie

Die individuellen Daten des O₂-Speichers der Lunge von Tom Sietas sind in der **Tab. O₂-Speicher Tom Sietas** aufgeführt, zusätzlich der seines Blutes. Die große Vitalkapazität wird nochmals deutlich erhöht, indem er, wie die meisten Apnoe-Taucher auch, vor dem Tauchgang weitere Luft über eine „Mund-Pumpe“ (hier Auto-PEEP genannt) aufnimmt. Damit verfügt er über eine Total-Kapazität von 12,5 l, die nach Umrechnung auf Standardbedingungen beachtliche 11,0 l Totalkapazität ergibt. Bei einer O₂-Konzentration von 92 % nach Atmung von 100 % O₂ ergibt dies 10 l Sauerstoff und damit eine theoretische Apnoe-Dauer von 40 Minuten, einen O₂-Verbrauch von 250 ml/min unterstellt.

Damit ist klar, dass Tom Sietas mit Sicherheit auf den vergleichsweise kleinen O₂-Pool in seinem Blut nicht zurückgreifen muss. Das Pulsoxymeter wird also während des gesamten Versuches einen „langweiligen“ Wert von angenähert 100 % anzeigen müssen. Damit ist auch absolut sicher, dass die Apnoe-Dauer ausschließlich davon bestimmt wird, bei welchem pCO₂ (Hyperkapnie) er den Versuch abbricht. Je besser seine Hyperventilation daher vor dem Versuch ausfällt, desto länger wird er die Hyperkapnie tolerieren können.

O ₂ -Speicher Tom Sietas	
➤ O ₂ -Speicher Lunge	
Vitalkapazität	7,0 L
"Mund-Pumpe" (Auto-PEEP)	3,0 L
Residual-Volumen	2,5 L
Total-Kapazität	12,5 L = 11,0 L (STPD)
Atmung 100 % O ₂	92 % O ₂
(pAO ₂ = 760 - 47 - 13 = 700 mmHg)	10 L O ₂
➤ O ₂ -Verbrauch 250 ml/min = 40 min	
➤ O ₂ -Speicher Blut (Hyperoxie)	
5 L Blut mit 250 ml O ₂ /L	1,25 L = 5 min

Apnoe unter Hyperoxie: Fazit für die Klinik

Die optimale Präoxygenierung vor jeder iatrogenen oder akzidentellen Apnoe ist absolut obligatorisch und schafft ein hohes Maß an Sicherheit für den Patienten. Die Diagnostik der Hypoxie erfolgt heute mit dem Pulsoxymeter im arteriellen Blut und die der Hyperkapnie im Sinne einer permissiven Hyperkapnie mit dem Kapnometer endexpiratorisch.