

## Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz, vereinfachte Berechnung

### Synonyme

- alveolo-arterielle Sauerstoffdruckdifferenz
- alveolo-arterielle Sauerstoffdifferenz
- AaDO<sub>2</sub>-Formel (vereinfacht)
- AaDO<sub>2</sub>-Formel (Schätzwert)

### Anwendungsbereich

Die Formel dient der einfachen Berechnung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) anhand der Parameter arterieller Sauerstoffpartialdruck (PaO<sub>2</sub>) und arterieller Kohlendioxidpartialdruck (PaCO<sub>2</sub>). Die Kenntnis des alveolären Sauerstoffpartialdrucks ist dabei nicht erforderlich.

### Formel

$$\begin{aligned} \text{AaDO}_2 &= 145 - (\text{PaO}_2 + \text{PaCO}_2) \\ &= 145 - \text{PaO}_2 - \text{PaCO}_2 \end{aligned}$$

AaDO<sub>2</sub> = alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz [mmHg]  
 PaO<sub>2</sub> = arterieller Sauerstoffpartialdruck [mmHg]  
 PaCO<sub>2</sub> = arterieller Kohlendioxidpartialdruck [mmHg]

### Beispiel

Bei einem arteriellen Sauerstoffpartialdruck (PaO<sub>2</sub>) von 100 mmHg und einem arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (PaCO<sub>2</sub>) von 35 mmHg beträgt die alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) etwa 10 mmHg (AaDO<sub>2</sub> = 145 - 100 - 35 = 10).

### Klinischer Hintergrund

Der Partialdruck eines Gases (P) ist der anteilige Druck, der in einem Gasgemisch (z.B. Umgebungsluft), einem bestimmten Gas zugeordnet werden kann. Der relative Anteil dieses Gases am Gasgemisch gibt entsprechend des Dalton-Gesetzes den Partialdruck wider.

Die alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) zählt zu den Oxygenierungsindizes und ist ein Maß für die Abschätzung einer möglichen pulmonalen Gasaustauschstörung. Die AaDO<sub>2</sub> spiegelt die Funktionsfähigkeit der Lunge wider, Sauerstoff aus den Alveolen ins arterielle Blut zu transportieren. Außerdem ist sie ein semi-quantitatives Maß für den physiologischen Rechts-Links-Shunt der Lunge. Bei der Beurteilung muss daher immer auch die inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO<sub>2</sub>) mitberücksichtigt werden: Bei Raumluft beträgt die AaDO<sub>2</sub> normalerweise etwa 10–20 mmHg, bei einer FiO<sub>2</sub> von 1,0 etwa 25–65 mmHg.

Der arterielle Sauerstoffpartialdruck ( $\text{PaO}_2$ ) ist daher immer niedriger als der alveoläre Sauerstoffpartialdruck ( $\text{PAO}_2$ ).

Generell gilt:  $\text{PAO}_2 > \text{PaO}_2 > \text{P}_{\text{ti}}\text{O}_2$  (ti = Gewebe, „tissue“).

Da während der klinischen Routine der  $\text{PAO}_2$  nicht bestimmt werden kann, bietet die o.g. Formel erhebliche Vorteile. Alle erforderlichen Messgrößen können problemlos mittels einer Blutgasanalyse erhoben werden. Die Abschätzung ist für die klinische Praxis hinreichend genau. Die Kenntnis des alveolären Sauerstoffpartialdrucks ist hier nicht erforderlich. Der  $\text{PAO}_2$  kann nur experimentell mittels eines erweiterten Monitorings gemessen werden.

Bei pulmonalen Gasaustauschstörungen (z.B. Pneumonie, ARDS) ist die  $\text{AaDO}_2$  signifikant erhöht, d.h. trotz eines hohen alveolären Sauerstoffpartialdrucks bleibt der arterielle Sauerstoffpartialdruck gering (Hypoxämie). Eine Abnahme der  $\text{AaDO}_2$  in relevantem Maße ist nicht möglich.

Zunahme der $\text{AaDO}_2$	Abnahme der $\text{AaDO}_2$
Alveolo-kapilläre Diffusionsstörung	Evtl. Hyperkapnie ( $\text{AaDO}_2$ meist aber normal)
Anstieg des intrapulmonalen veno-arteriellen Rechts-Links-Shunts	
Ventilations-/Perfusionsstörungen	
Intrakardiale anatomische Shunts	
Resorptionsatelektasen	
ARDS	
Pneumonie	
Atelektasen	

### Einschränkungen

- Die Formel liefert einen Schätzwert, der allerdings in einigen Situationen vom tatsächlichen Wert abweichen kann.
- Die Formel berücksichtigt nicht die inspiratorische Sauerstofffraktion ( $\text{FiO}_2$ ).

### Alternativen

- Exakte Formel für die Abschätzung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz ( $\text{AaDO}_2$ ) (→ Formel Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz)
- Formel für die Abschätzung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz ( $\text{AaDO}_2$ ) unter Berücksichtigung des Barometer- und Wasserdampfdrucks (→ Formel Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz).

## Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz

### Synonyme

- alveolo-arterielle Sauerstoffdruckdifferenz
- alveolo-arterielle Sauerstoffdifferenz
- AaDO<sub>2</sub>-Formel (berechnet)
- AaDO<sub>2</sub>-Formel (exakt)

### Anwendungsbereich

Die Formel dient der exakten Berechnung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) anhand der Parameter alveolärer Sauerstoffpartialdruck (PAO<sub>2</sub>) und arterieller Sauerstoffpartialdruck (PaO<sub>2</sub>).

### Formel

$$\text{AaDO}_2 = \text{PAO}_2 - \text{PaO}_2$$

$$\text{AaDO}_2 = \text{alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz [mmHg]}$$

$$\text{PAO}_2 = \text{alveolärer Sauerstoffpartialdruck [mmHg]}$$

$$\text{PaO}_2 = \text{arterieller Sauerstoffpartialdruck [mmHg]}$$

### Beispiel

Bei einem alveolären Sauerstoffpartialdruck (PAO<sub>2</sub>) von 100 mmHg und einem arteriellen Sauerstoffpartialdruck (PaO<sub>2</sub>) von 90 mmHg beträgt die alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) 10 mmHg (AaDO<sub>2</sub> = 100 - 90 = 10).

### Klinischer Hintergrund

Der Partialdruck eines Gases ist der anteilige Druck, der in einem Gasgemisch wie z.B. der Umgebungsluft, einem bestimmten Gas zugeordnet werden kann. Der relative Anteil dieses Gases am Gasgemisch gibt entsprechend dem Dalton-Gesetz den Partialdruck wider.

Die alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) zählt zu den Oxygenierungsindizes und ist ein Maß für die Abschätzung einer pulmonalen Gasaustauschstörung. Sie spiegelt die Funktionsfähigkeit der Lunge wider, Sauerstoff aus den Alveolen ins arterielle Blut zu transportieren. Außerdem ist sie ein semiquantitatives Maß für den physiologischen Rechts-Links-Shunt der Lunge. Bei der Beurteilung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz muss daher immer die inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO<sub>2</sub>) berücksichtigt werden: Bei Raumluft beträgt die AaDO<sub>2</sub> normalerweise etwa 10–20 mmHg, bei einer FiO<sub>2</sub> von 1,0 etwa 25–65 mmHg.

Entsprechend ist der arterielle Sauerstoffpartialdruck (PaO<sub>2</sub>) immer niedriger als der alveoläre Sauerstoffpartialdruck (PAO<sub>2</sub>). Generell gilt: **PAO<sub>2</sub> > PaO<sub>2</sub> > PtiO<sub>2</sub>** (ti = Gewebe, „tissue“).

Bei pulmonalen Gasaustauschstörungen (z.B. Pneumonie, ARDS, Atelektasen u.a.) ist die  $AaDO_2$  signifikant erhöht, d.h. trotz eines hohen alveolären Sauerstoffpartialdrucks bleibt der arterielle Sauerstoffpartialdruck gering (Hypoxämie).

Zunahme der $AaDO_2$	Abnahme der $AaDO_2$
Alveolo-kapilläre Diffusionsstörung	Evtl. Hyperkapnie ( $AaDO_2$ meist aber normal)
Anstieg des intrapulmonalen veno-arteriellen Rechts-Links-Shunts	
Ventilations-/Perfusionsstörungen	
Intrakardiale anatomische Shunts	
Resorptionsatelektasen	
ARDS	
Pneumonie	
Atelektasen	

### Einschränkungen

- Die klinische Aussagekraft dieser Formel ist dadurch limitiert, dass der  $PAO_2$  in der klinischen Routine nicht ohne weiteres gemessen werden kann.

### Alternativen

- Vereinfachte Formel für die Abschätzung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz ( $AaDO_2$ ) (→ Formel Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz)
- Formel für die Abschätzung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz ( $AaDO_2$ ) unter Berücksichtigung des Barometer- und Wasserdampfdrucks (→ Formel Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz)

## Alveolärer Sauerstoffpartialdruck ( $p_A O_2$ )

### Anwendungsbereich

Die Formel dient der nährungsweisen Berechnung des alveolären Sauerstoffpartialdrucks ( $p_A O_2$ ).

### Formel

Berechnung des  $p_A O_2$  mittels Alveolargleichung:

$$p_A O_2 = p_i O_2 - \frac{p_A CO_2}{R} + \left[ p_A CO_2 \cdot F_i O_2 \cdot \frac{1-RQ}{RQ} \right]$$

$p_A O_2$  = alveolärer Sauerstoffpartialdruck

$p_i O_2$  = inspiratorischer Sauerstoffpartialdruck

$p_A CO_2$  = alveolärer Kohlendioxidpartialdruck

R = 0,8 (Konstante)

$F_i O_2$  = inspiratorische Sauerstofffraktion

RQ = Respiratorischer Quotient (z.B. mittels indirekter Kalorimetrie ermittelt)

Vereinfachte Alveolargleichungen (näherungsweise ohne indirekte Kalorimetrie):

$$P_A O_2 = p_i O_2 - \frac{P_A CO_2}{R} + F$$

oder:

$$p_A O_2 = p_i O_2 - (1,25 \cdot p_A CO_2)$$

$p_A O_2$  = alveolärer Sauerstoffpartialdruck

$p_i O_2$  = inspiratorischer Sauerstoffpartialdruck

$p_A CO_2$  = alveolärer Kohlendioxidpartialdruck

R = 0,8 (Konstante)

F ≈ 2 mmHg (Konstante)

Der inspiratorische Sauerstoffpartialdruck ( $p_i O_2$ ) wird hierbei entweder direkt gemessen oder mittels der folgenden Formel aus der Differenz zwischen atmosphärischem Druck ( $p_{atm}$ ) und Wasserdampfdruck ( $P_{H_2O}$ ) berechnet:

$$p_i O_2 = (p_{atm} - p_{H_2O}) \cdot F_i O_2$$

### Beispiel zur vereinfachten Alveolargleichung

Bei einem inspiratorischen Sauerstoffpartialdruck von 200 hPa und einem alveolären Kohlendioxidpartialdruck von 50 hPa beträgt der geschätzte alveoläre Sauerstoffpartialdruck 137,5 hPa.

### Klinischer Hintergrund

Der alveoläre Sauerstoffpartialdruck ist eine treibende Kraft für den Gasaustausch. Entsprechend ist die Kenntnis des  $p_A O_2$  für die Beurteilung des Gasaustauschs, z.B.

während einer Narkose von großer Bedeutung. Die genaue Kenntnis des alveolären Sauerstoffpartialdrucks ist beispielsweise erforderlich, um die alveolo-arterielle Sauerstoffgehaltsdifferenz ( $AaDO_2$ ) zu berechnen (z.B. für APACHE-Score oder im Schock).

Physiologische, pulmonale Shunts oder eine Ventilations-Perfusions-Störung verhindern, dass das gesamte Blut in den Alveolen oxygeniert wird. Entsprechend kann aus dem Verhältnis von  $p_AO_2$  und  $p_aO_2$  auf das Vorliegen einer Oxygenierungsstörung (z.B. Pneumonie oder ARDS) geschlossen werden.

Bei pulmonalen oder kardialen Erkrankungen vergrößert sich die Differenz zwischen inspiratorischem und alveolärem Sauerstoffpartialdruck.

**Normwerte:**  $p_AO_2 \approx 100$  mmHg

### Einschränkungen

- Die Berechnung des  $p_AO_2$  mittels der Alveolargasformel ist zwar genau, jedoch ist die Bestimmung des respiratorischen Quotienten (RQ) nur aufwendig mittels indirekter Kalorimetrie möglich. Alternativ kann der RQ geschätzt werden (→ Ungenauigkeit!).
- Die Berechnung des  $p_AO_2$  mittels der vereinfachten Alveolargasformel ist näherungsweise genau.

### Alternativen

- Der alveoläre Kohlendioxidpartialdruck kann in etwa mit dem arteriellen oder dem end-expiratorischen Kohlendioxidpartialdruck gleichgesetzt werden.
- Nomogramme

## Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>)

### Synonyme

- alveolo-arterielle Sauerstoffdruckdifferenz
- alveolo-arterielle Sauerstoffdifferenz
- AaDO<sub>2</sub>-Formel

### Anwendungsbereich

Die Formel dient der vergleichsweise einfachen Berechnung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) anhand der Parameter Barometerdruck, Wasserdampfdruck, alveolärer Sauerstoffpartialdruck (PAO<sub>2</sub>) und arterieller Sauerstoffpartialdruck (PaO<sub>2</sub>) [jeweils mmHg].

### Formel

$$\begin{aligned} \text{AaDO}_2 &= (P_B - P_W) \cdot \text{FiO}_2 - (\text{PaO}_2 + \text{PaCO}_2) \\ &= (P_B - 47) \cdot \text{FiO}_2 - \text{PaO}_2 - \text{PaCO}_2 \end{aligned}$$

AaDO<sub>2</sub> = alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz [mmHg]

FiO<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstofffraktion

PaO<sub>2</sub> = arterieller Sauerstoffpartialdruck [mmHg]

PaCO<sub>2</sub> = arterieller Kohlendioxidpartialdruck [mmHg]

P<sub>B</sub> = Barometerdruck [mmHg]

P<sub>W</sub> = Wasserdampfdruck [mmHg], hier bei 100% Feuchtigkeit 47 mmHg

### Beispiel

Bei einem arteriellen Sauerstoffpartialdruck (PaO<sub>2</sub>) von 100 mmHg und einem arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (PaCO<sub>2</sub>) von 35 mmHg beträgt die alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) bei Normaldruck (760 mmHg) und Raumluft (FiO<sub>2</sub> = 0,21) etwa 14,7 mmHg  $([760 - 47] \cdot 0,21 - 100 - 35 = 149,7 - 100 - 35 = 14,7)$ .

### Klinischer Hintergrund

Der Partialdruck eines Gases ist der Druck, der in einem Gasgemisch wie z.B. der Umgebungsluft, einem bestimmten Gas zugeordnet werden kann. Der relative Anteil dieses Gases am Gasgemisch gibt entsprechend dem Dalton-Gesetz den Partialdruck wider.

Die alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO<sub>2</sub>) zählt zu den Oxygenierungsindizes und ist ein Maß für die Abschätzung einer pulmonalen Gasaustauschstörung. Sie spiegelt die Funktionsfähigkeit der Lunge wider, Sauerstoff aus den Alveolen ins arterielle Blut zu transportieren. Außerdem ist sie ein semiquantitatives Maß für den physiologischen Rechts-Links-Shunt der Lunge. Bei der Beurteilung muss daher immer die inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO<sub>2</sub>) berücksichtigt werden: Bei Raumluft beträgt die AaDO<sub>2</sub> normalerweise etwa 10–20 mmHg, bei einer FiO<sub>2</sub> von 1,0 etwa 25–65 mmHg.

Entsprechend ist daher der arteriellen Sauerstoffpartialdruck ( $\text{PaO}_2$ ) immer niedriger als der alveoläre Sauerstoffpartialdruck ( $\text{PAO}_2$ ). Generell gilt:  $\text{PAO}_2 > \text{PaO}_2 > \text{P}_{\text{ti}}\text{O}_2$  (Gewebe, „tissue“).

Da während der klinischen Routine der  $\text{PAO}_2$  nicht direkt bestimmt werden kann, bietet die o. g. Formel erhebliche Vorteile. Alle erforderlichen Messgrößen können in der klinischen Routine einfach erhoben werden. Die Abschätzung ist für die klinische Praxis hinreichend genau. Der große Vorteil dieser Formel ist, dass – im Gegensatz zu anderen  $\text{AaDO}_2$ -Formeln – die inspiratorische Sauerstofffraktion ( $\text{FiO}_2$ ) berücksichtigt wird.

Bei pulmonalen Gasaustauschstörungen (z. B. Pneumonie, ARDS) ist die  $\text{AaDO}_2$  signifikant erhöht, d. h. trotz eines hohen alveolären Sauerstoffpartialdrucks bleibt der arterielle Sauerstoffpartialdruck gering (Hypoxämie). Eine Abnahme der  $\text{AaDO}_2$  in relevantem Maße ist nicht möglich.

Zunahme der $\text{AaDO}_2$	Abnahme der $\text{AaDO}_2$
Alveolo-kapilläre Diffusionsstörung	Evtl. Hyperkapnie ( $\text{AaDO}_2$ meist aber normal)
Anstieg des intrapulmonalen veno-arteriellen Rechts-Links-Shunts	
Ventilations-/Perfusionsstörungen	
Intrakardiale anatomische Shunts	
Resorptionsatelektasen	
ARDS	
Pneumonie	
Atelektasen	

### Einschränkungen

- Die Formel liefert einen Schätzwert, der allerdings in einigen Situationen vom tatsächlichen Wert abweichen kann.

### Alternativen

- Exakte Formel für die Abschätzung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz ( $\text{AaDO}_2$ ) (→ Formel Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz)
- Vereinfachte Formel für die Abschätzung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz ( $\text{AaDO}_2$ ) unter Berücksichtigung des  $\text{PaO}_2$  und  $\text{PaCO}_2$  (→ Formel Vereinfachte Berechnung der alveolo-arteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz)



## Korrigierter Sauerstoffpartialdruck bei Hypokapnie

### Synonyme

- $PO_2\text{korr}$

### Anwendungsbereich

Die Formel dient der Berechnung des korrigierten Sauerstoffpartialdrucks ( $PO_2\text{korr}$ ) [mmHg] bei Hyperventilation bzw. Hypokapnie.

### Formel

$$PO_2\text{korr} = PO_2\text{ist} - 1,66 \cdot (40 - PCO_2)$$

$PO_2\text{korr}$  = korrigierter Sauerstoffpartialdruck [mmHg]

$PO_2\text{ist}$  = aktueller Sauerstoffpartialdruck [mmHg]

$PCO_2$  = Kohlendioxidpartialdruck [mmHg]

### Beispiel

Bei einem aktuellen Sauerstoffpartialdruck ( $PO_2\text{ist}$ ) von 100 mmHg und einem Kohlendioxidpartialdruck ( $PCO_2$ ) von 25 mmHg beträgt der korrigierte Sauerstoffpartialdruck ( $PO_2\text{korr}$ ) 75,1 mmHg ( $100 - 1,66 \cdot 15 = 75,1$ ).

### Klinischer Hintergrund

Neben dem Alter und der inspiratorischen Sauerstofffraktion wirkt sich auch der Kohlendioxidpartialdruck ( $PCO_2$ ) auf die Höhe des Sauerstoffpartialdrucks ( $PO_2$ ) aus. Die myokardiale Pumpleistung und Ventilation werden während der akuten Hypoxie kompensatorisch signifikant gesteigert.

Bei erniedrigtem Kohlendioxidpartialdruck im Rahmen einer Hyperventilation (Hypokapnie) muss daher der Sauerstoffpartialdruck vor der Beurteilung korrigiert werden.

## Murray-Formel

### Anwendungsbereich

Die Murray-Formel erlaubt die grobe Abschätzung des zu erwartenden Sauerstoffpartialdrucks ( $\text{paO}_2$ ) in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) unter Raumluft in Abhängigkeit vom Alter [Jahre].

### Formel

$$\text{paO}_2 = 100,1 - (0,323 \cdot A)$$

Vereinfacht gilt auch:

$$\text{paO}_2 = 100 - (0,26 \cdot A)$$

bzw. als „Faustformel“:

$$\text{paO}_2 = 102 - \frac{A}{3}$$

A = Alter [Jahre]

$\text{paO}_2$  = arterieller Sauerstoffpartialdruck [mmHg]

### Beispiel

Bei einem 80-jährigen Menschen ist ein physiologischer, arterieller Sauerstoffpartialdruck ( $\text{paO}_2$ ) von etwa 74 mmHg zu erwarten ( $100,1 - [0,323 \cdot 80] = 100,1 - 25,84 = 74,26$ ).

### Klinischer Hintergrund

Der arterielle Sauerstoffpartialdruck ( $\text{paO}_2$ ) ist ein Maß für die Oxygenierung. Er gehört neben der Sauerstoffsättigung ( $\text{SaO}_2$ ) und dem Sauerstoffpartialdruck im Gewebe ( $\text{p}_i\text{O}_2$ ) zu den einfachen Oxygenierungsindizes.

Physiologischerweise sinkt der  $\text{paO}_2$  unter Raumluft (im Gegensatz zum  $\text{paCO}_2$ ) mit steigendem Alter ab. Die Formel erlaubt eine schnelle Abschätzung des zu erwartenden  $\text{paO}_2$ , berücksichtigt aber nicht wichtige Begleitfaktoren wie pulmonale Gasaustauschstörungen, inspiratorische Sauerstoffkonzentration ( $\text{FiO}_2$ ), Gewicht oder Geschlecht.

### Einschränkungen

- Liefert nur einen Schätzwert für pulmonal gesunde, erwachsene Personen
- Berücksichtigt nicht die inspiratorische Sauerstoffkonzentration ( $\text{FiO}_2$ ), das Gewicht oder das Geschlecht

### Alternativen

- Reichel-Ulmer-Formel