



# Berechnung von Oberflächendrücken

# Berechnung von Oberflächendrücken



# Berechnung von Oberflächendrücken

## Methode 1: Faustformel 1 (fixe, konstante Druckänderung)

Es wird von einem fixen, konstanten Druckabfall von 0.1bar / 1000m Höhe (ü.M.) ausgegangen.

$$p_{\text{amb-surf}}(H) = p_{\text{amb-surf}}(H_0) - dp_H * H$$

$p_{\text{amb-surf}}(H)$ : Oberflächen-Umgebungsdruck [bar] auf Höhe H

H: Höhe über Meer [m];  $H_0$ =Meereshöhe (0m)

$p_{\text{mb-surf}}(H_0)$ : Oberflächen-Umgebungsdruck auf Meereshöhe;  
= 1.013bar

$dp_H$ : Druckabfall-Faktor für den Oberflächendruck;  
= 0.0001bar/m Höhe über Meer (fix, konstant)

Wie später zu sehen ist, stimmt das recht gut bis in etwa 3000m Höhe.



# Berechnung von Oberflächendrücken

## Methode 2: Die IATA Formel

Es wird von einem nicht-linearen Druckabfall ausgegangen, was den tatsächlichen Verhältnissen entspricht (Luftdichte nimmt mit zunehmender Höhe ab). Wird in der Luftfahrt verwendet.

$$p_{\text{amb-surf}}(H) = p_{\text{amb-surf}}(H_0) * e^{\left[ \frac{-1 * \rho_L * g * H}{p_0 * 100'000} \right]}$$

H: Höhe über Meer [m];  $H_0$ =Meereshöhe (0m)

$p_{\text{amb-surf}}(H_0)$ : Oberflächen-Umgebungsdruck auf Meereshöhe;  
= 1.013bar

$\rho_L$ : Dichte der Luft [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]; ist abhängig von der Höhe  
-25°C: 1.404 / 0°C: 1.275 / +25°C: 1.168 /  
Verwendeter Mittelwert für Formel: 1.24  $\text{kg}/\text{m}^3$

g: mittlere Erdbeschleunigung; = 9.80665  $\text{m}/\text{sec}^2$

100'000: Umrechnungsfaktor von bar -> N/m<sup>2</sup>

e: Basis der natürlichen Logarithmen; e= 2.718281828...



# Berechnung von Oberflächendrücken

## Methoden 3: barometrische Höhenformel

Es wird von einem nicht-linearen Druckabfall ausgegangen, was den tatsächlichen Verhältnissen entspricht (Luftdichte nimmt mit zunehmender Höhe ab).

$$p_{\text{amb-surf}}(H) = p_{\text{amb-surf}}(H_0) * \left[ 1 - \frac{6.5 * H}{1000 * 288.15} \right]^{5.255}$$

$p_{\text{amb-surf}}(H)$ : Oberflächen-Umgebungsdruck [bar] auf Höhe H

H: Höhe über Meer [m];  $H_0$ =Meereshöhe (0m)

$p_{\text{amb-surf}}(H_0)$ : Oberflächen-Umgebungsdruck auf Meereshöhe;  
= 1.013bar

6.5/1000 fixe Grösse [K/1000m]; vertikaler Temperaturgradient (Abfall)  
bis zur Tropopause

288.15 Temperatur in [K] für ICAO Standardatmosphäre; fixe  
Grösse; = 15°C

# Berechnung von Oberflächendrücken

## Method 4: Faustformel 2 mit fixer, relativer (prozentualer) Druckänderung

Es wird von einem nicht-linearen Druckabfall ausgegangen, was den tatsächlichen Verhältnissen entspricht (Luftdichte nimmt mit zunehmender Höhe ab).

$$p_{\text{amb-surf}}(H_i) = p_{\text{amb-surf}}(H_0) * (1 + dp/dH_{850})^{\{n\}}$$

$$p_{\text{amb-surf}}(H_i) = p_{\text{amb-surf}}(H_0) * (1 + dp/dH_{860})^{\{H / dH_{860}\}}$$

$p_{\text{amb-surf}}(H)$ : Oberflächen-Umgebungsdruck [bar] auf Höhe H

H: Höhe über Meer [m];  $H_0$ =Meereshöhe (0m)

$p_{\text{amb-surf}}(H_0)$ : Oberflächen-Umgebungsdruck auf Meereshöhe;  
= 1.013bar

$dp/dH_{860}$  : vertikaler Druckabfall [%/m]; = -10% / 860m (Referenz)

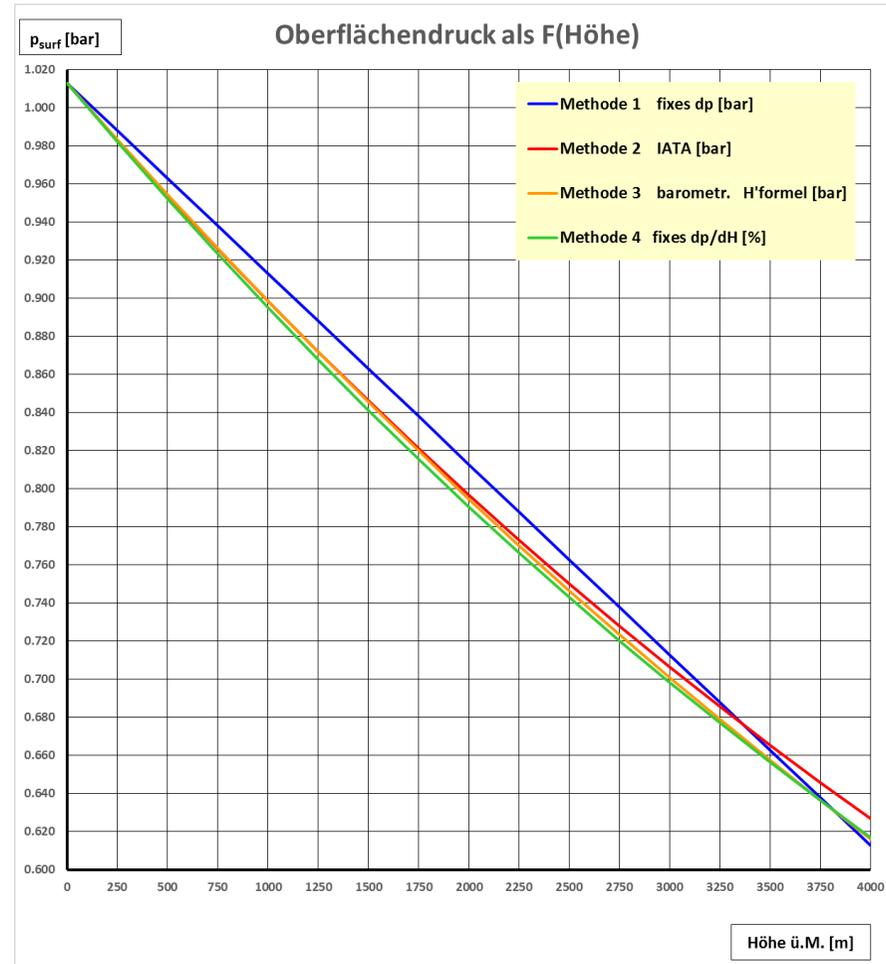
n: Verhältnis Höhe zu Referenz-Höhenänderung [---];  
=  $H / dH_{860}$

# Berechnung von Oberflächendrücken

## Gesamtüberblick aller 4 Methoden

Höhe ü.M. [m]	Methode 1 fixes dp [bar]	Methode 2 IATA [bar]	Methode 3 barometr. H'formel [bar]	Methode 4 fixes dp/dH [%]
0	1.013	1.013	1.013	1.013
250	0.988	0.983	0.983	0.982
500	0.963	0.954	0.954	0.952
750	0.938	0.926	0.926	0.923
1000	0.913	0.898	0.899	0.895
1250	0.888	0.872	0.872	0.868
1500	0.863	0.846	0.845	0.841
1750	0.838	0.821	0.820	0.815
2000	0.813	0.797	0.795	0.791
2250	0.788	0.773	0.770	0.766
2500	0.763	0.750	0.747	0.743
2750	0.738	0.728	0.724	0.720
3000	0.713	0.707	0.701	0.698
3250	0.688	0.686	0.679	0.677
3500	0.663	0.665	0.658	0.656
3750	0.638	0.646	0.637	0.636
4000	0.613	0.627	0.616	0.617

[Online-Berechnung](#)





# Berechnung von Oberflächendrücken

## Internationale Standard-Atmosphäre der ICAO (1)

Parameter                      metrisches Maßsystem

Feuchtigkeit /H<sub>2</sub>O

0 rel. %

[Molare Masse](#)  $M$  der Luft: 28,9644 g/mol

Druck  $p_0$

1013,25 hPa

[Erdradius](#)  $R_{Erde}$ : 6 356 766 m

Dichte  $\rho_0$

1,225 kg/m<sup>3</sup>

[Universelle Gaskonstante](#)  $R^*$ : 8.31432 J/(mol·K)

Temperatur  $T_0$

15 °C / 288,15 K

Schallgeschwindigkeit  $a_0$

340 m/s

[Erdbeschleunigung](#)  $g_0$ : 9,80665 m/s<sup>2</sup>

1 bar = 1000 hPa = 100 kPa

Zudem ist auch die Einteilung der Atmosphäre beschrieben. Hierbei gilt:

- Der Temperaturgradient von Meereshöhe bis zur Tropopause beträgt  $-6.5 \text{ K}/1'000 \text{ m}$  ( $-3.564 \text{ °F}/1'000 \text{ ft}$ ).
- Die Tropopause befindet sich auf einer Höhe von 11'000 m (36'089 ft).
- In der Stratosphäre ist eine konstante Temperatur von  $-56.5 \text{ °C}$  (21.65 K;  $-69.7 \text{ °F}$ ) gegeben.

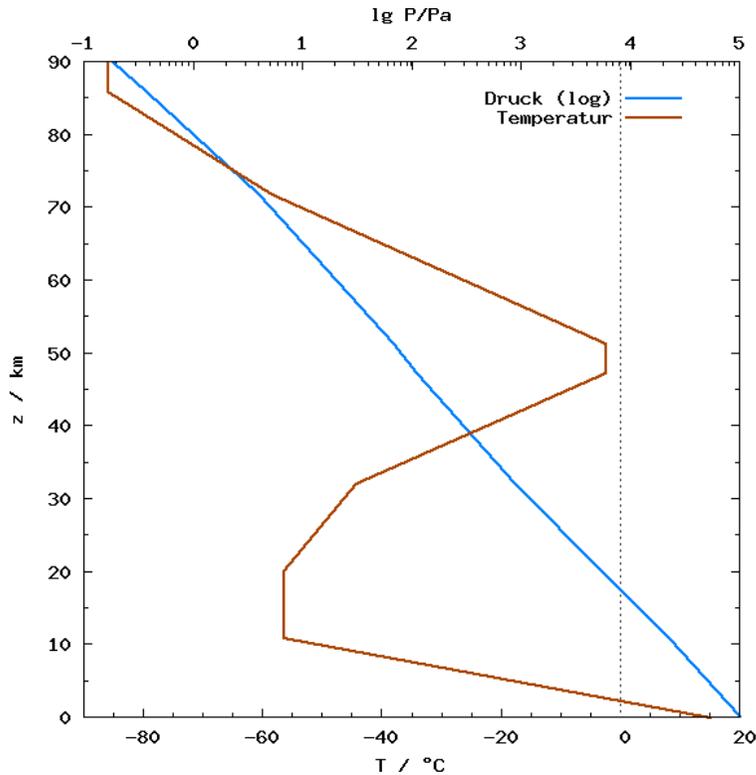
Die Temperatur in einer Höhe unterhalb der Tropopause lässt sich mit folgender Formel berechnen:

Metrisches System:  $T = T_0 - 6.5 \text{ K} / 1'000 \text{ m} \cdot H$



# Berechnung von Oberflächendrücken

## Internationale Standard-Atmosphäre der ICAO (2)



$$Z = (R_{\text{Erde}} * H) / (R_{\text{Erde}} - H)$$

Table 3 International Standard Atmosphere [2]

ALTITUDE (Feet)	TEMP. (°C)	PRESSURE			PRESSURE RATIO $\delta = P/P_0$	DENSITY $\sigma = \rho/\rho_0$	Speed of sound (kt)	ALTITUDE (meters)
		hPa	PSI	In.Hg				
40 000	- 56.5	188	2.72	5.54	0.1851	0.2462	573	12 192
39 000	- 56.5	197	2.58	5.81	0.1942	0.2583	573	11 887
38 000	- 56.5	206	2.99	6.10	0.2038	0.2710	573	11 582
37 000	- 56.5	217	3.14	6.40	0.2138	0.2844	573	11 278
36 000	- 56.3	227	3.30	6.71	0.2243	0.2981	573	10 973
35 000	- 54.3	238	3.46	7.04	0.2353	0.3099	576	10 668
34 000	- 52.4	250	3.63	7.38	0.2467	0.3220	579	10 363
33 000	- 50.4	262	3.80	7.74	0.2586	0.3345	581	10 058
32 000	- 48.4	274	3.98	8.11	0.2709	0.3473	584	9 754
31 000	- 46.4	287	4.17	8.49	0.2837	0.3605	586	9 449
30 000	- 44.4	301	4.36	8.89	0.2970	0.3741	589	9 144
29 000	- 42.5	315	4.57	9.30	0.3107	0.3881	591	8 839
28 000	- 40.5	329	4.78	9.73	0.3250	0.4025	594	8 534
27 000	- 38.5	344	4.99	10.17	0.3398	0.4173	597	8 230
26 000	- 36.5	360	5.22	10.63	0.3552	0.4325	599	7 925
25 000	- 34.5	376	5.45	11.10	0.3711	0.4481	602	7 620
24 000	- 32.5	393	5.70	11.60	0.3876	0.4642	604	7 315
23 000	- 30.6	410	5.95	12.11	0.4046	0.4806	607	7 010
22 000	- 28.6	428	6.21	12.64	0.4223	0.4976	609	6 706
21 000	- 26.6	446	6.47	13.18	0.4406	0.5150	611	6 401
20 000	- 24.6	466	6.75	13.75	0.4595	0.5328	614	6 096
19 000	- 22.6	485	7.04	14.34	0.4791	0.5511	616	5 791
18 000	- 20.7	506	7.34	14.94	0.4994	0.5699	619	5 486
17 000	- 18.7	527	7.65	15.57	0.5203	0.5892	621	5 182
16 000	- 16.7	549	7.97	16.22	0.5420	0.6090	624	4 877
15 000	- 14.7	572	8.29	16.89	0.5643	0.6292	626	4 572
14 000	- 12.7	595	8.63	17.58	0.5875	0.6500	628	4 267
13 000	- 10.8	619	8.99	18.29	0.6113	0.6713	631	3 962
12 000	- 8.8	644	9.35	19.03	0.6360	0.6932	633	3 658
11 000	- 6.8	670	9.72	19.79	0.6614	0.7156	636	3 353
10 000	- 4.8	697	10.10	20.58	0.6877	0.7385	638	3 048
9 000	- 2.8	724	10.51	21.39	0.7148	0.7620	640	2 743
8 000	- 0.8	753	10.92	22.22	0.7428	0.7860	643	2 438
7 000	+ 1.1	782	11.34	23.09	0.7716	0.8106	645	2 134
6 000	+ 3.1	812	11.78	23.98	0.8014	0.8359	647	1 829
5 000	+ 5.1	843	12.23	24.90	0.8320	0.8617	650	1 524
4 000	+ 7.1	875	12.69	25.84	0.8637	0.8881	652	1 219
3 000	+ 9.1	908	13.17	26.82	0.8962	0.9151	654	914
2 000	+ 11.0	942	13.67	27.82	0.9298	0.9428	656	610
1 000	+ 13.0	977	14.17	28.86	0.9644	0.9711	659	305
0	+ 15.0	1013	14.70	29.92	1.0000	1.0000	661	0
- 1 000	+ 17.0	1050	15.23	31.02	1.0366	1.0295	664	- 305