

## Dichtheidshoogte

De prestaties van een vliegtuig zijn afhankelijk van vele factoren, zoals de luchtdruk, de temperatuur en de hoogte waarop het vliegtuig vliegt. Voor en tijdens een vlucht worden er allerlei berekeningen gemaakt, bijvoorbeeld om te bepalen hoeveel brandstof het vliegtuig nodig heeft en hoe steil het vliegtuig kan stijgen en dalen.

Om onder allerlei verschillende omstandigheden dezelfde (veiligheids)richtlijnen te kunnen hanteren, ontwikkelde de Internationale Burgerluchtvaartorganisatie het model van de zogeheten **standaardatmosfeer**.

Dit model geldt slechts beperkt, want in werkelijkheid blijft de temperatuur vanaf een bepaalde hoogte constant op  $-56,5$  °C.

In het model gelden de volgende formules:

- Voor de temperatuur:  $T = 15 - 0,0065h$  met  $T$  de temperatuur in °C en  $h$  de hoogte in meter (m).
- Voor de luchtdruk:  $L = 1013,25 \cdot \left(1 - \frac{0,0065h}{288,15}\right)^{5,2561}$  met  $L$  de luchtdruk in hectopascal (hPa) en  $h$  de hoogte in meter (m).

De luchtdruk  $L$  is nooit kleiner dan nul. Vanaf een bepaalde hoogte geeft de formule voor  $L$  geen uitkomsten meer.

- 3p 5 Onderzoek vanaf welke hoogte dat is. Geef je antwoord in hele kilometers.

In het model neemt de temperatuur af bij toenemende hoogte.

- 3p 6 Bereken volgens het model de luchtdruk op de hoogte waar de temperatuur  $-56,5$  °C is. Geef je antwoord in hPa en in één decimaal.

De luchtdruk neemt af bij toenemende hoogte, dus de grafiek van  $L$  is dalend.

- 5p 7 Beredeneer aan de hand van een formule van de afgeleide van  $L$ , zonder getallen in te vullen of een schets/tekening te maken, of de luchtdruk toenemend of afnemend daalt als  $h$  toeneemt.

In werkelijkheid zal een vliegtuig zelden in een standaardatmosfeer vliegen. Daarom worden de werkelijke omstandigheden waarin het vliegtuig zich bevindt, omgerekend naar de standaardatmosfeer. Het resultaat van deze berekening is de zogenoemde **dichtheidshoogte ( $D$ )**. Dit is de theoretische hoogte waarop het vliegtuig zich zou bevinden in de standaardatmosfeer. Met de berekende dichtheidshoogte kan de piloot volgens de richtlijnen de veilige landingsnelheid bepalen.

Het berekenen van de dichtheidshoogte  $D$  gaat als volgt:

- 1 Meet de werkelijke luchtdruk en bereken met behulp van de formule voor  $L$  de bijbehorende theoretische hoogte. Deze hoogte wordt de **drukhoogte ( $h_p$ )** (in m) genoemd.
- 2 Bereken de theoretische temperatuur ( $T_p$ ) die volgens het model van de standaardatmosfeer hoort bij deze drukhoogte.
- 3 Meet de werkelijke temperatuur ( $T_w$ ).
- 4 Nu geldt voor de dichtheidshoogte:  $D = h_p + 36,576 \cdot (T_w - T_p)$ , met  $D$  en  $h_p$  in m,  $T_w$  en  $T_p$  in °C.

De piloot van een vliegtuig wil haar landing inzetten.

De luchtdrukmeter geeft 990 hPa aan, de temperatuur is 21,4 °C.

- 4p 8 Bereken de dichtheidshoogte die hierbij hoort. Geef je antwoord in hele meters.

Er bestaat een vuistregel om de drukhoogte  $h_p$  te bepalen. Deze vuistregel is op grote hoogte niet bruikbaar, maar is wel geschikt als een vliegtuig op een lagere hoogte vliegt.

De vuistregel luidt:  $h_p = 8,23 \cdot (1013,25 - M)$  met  $M$  de gemeten luchtdruk in hPa en  $h_p$  in m.

Door deze formule voor de drukhoogte in te vullen in de formule voor de temperatuur in het model van de standaardatmosfeer, kan een lineair verband worden opgesteld tussen  $M$  en  $T_p$ .

Dit verband heeft de vorm  $T_p = a \cdot M + b$  met  $M$  in hPa en  $T_p$  in °C.

- 3p 9 Bereken de waarden van  $a$  en  $b$ . Geef  $a$  en  $b$  in drie decimalen.