

Wie lui is, moet slim zijn: maten, gewichten en vliegprestaties van roofvogels

Prof. Dr. Ir. Henk Tennekes

Roofvogels zijn in het algemeen nogal luie vliegers. Ze zweven graag rondjes in een thermiekbels, want dan hoeven ze niet te klapwieken. Om dat mogelijk te maken, hebben ze naar verhouding grote vleugels. Daarmee kunnen ze immers langzaam vliegen. Dat is nog wat anders dan postduiven. Die worden er op getraind plankgas te vliegen, ongeveer 75 km/uur. Als die uit Bordeaux terugkomen, zijn ze doodop. Hoe haalt een Havik dan een postduif in? Als een havikvrouw het rustig aan doet, vliegt ze ongeveer 40 km/uur. Ze begint haar achtervolging met het vouwen van haar vleugels. Dat heeft ze vast van postduiven afgekeken, want die doen dat ook. Die halen maar 50 km/uur als ze hun vleugels gespreid houden. Een havikvrouw kan 30% harder vliegen als ze haar vleugels een flink eind vouwt; ze gaat dan 55 km/uur zonder dat het haar veel moeite kost. Dat is niet genoeg om een duif in te halen, dus moet er een sprintje getrokken worden. Als ik het goed heb uitgerekend, kan een havikvrouw wel 85 km/uur halen, maar niet voor lang. En de duif was toch al aan het eind van zijn Latijn; die kan niet harder meer. Er is evenwicht in de natuur: de achtervolgde duif blijft 75 km/uur draaien, maar de havikvrouw moet 85 km/uur al na een paar honderd meter opgeven. Het alternatief is de aanvalstactiek waarvoor Slechtvalken gevreesd worden. In een stootduik haalt een havikvrouw met gemak 150 km/uur; daarmee jaagt ze gegarandeerd een duif de doodschrik op het lijf.

De snelheid waarmee vogels vliegen hangt af van hun 'vleugelbelasting', de verhouding tussen hun gewicht en hun vleugeloppervlak. Als het vleugeloppervlak naar verhouding klein is, en de vleugelbelasting dus hoog, moet er hard worden gevlogen om voldoende draagkracht te krijgen. In een winderige omgeving is dat handig: de papegaaiduikers en alken die op de kliffen van IJsland broeden, hebben vanzelfsprekend een hoge vleugelbelasting. Als het vleugeloppervlak naar verhouding groot is, en dus de vleugelbelasting laag, kan er langzaam worden gevlogen. Dat heeft zo zijn voordelen. Langzaam vliegen vergt minder spierkracht en kost dus minder energie. Luie vogels hebben dus naar verhouding grote vleugels. Wie lui is, moet slim zijn.

De vleugelbelasting van grote vogels is in het algemeen hoger dan die van kleine. Dat komt omdat het vleugeloppervlak evenredig is met het kwadraat van de afmetingen, maar het gewicht met de derde macht. Een vogel met dubbel de spanwijdte van zijn kleine neef heeft vier keer zo grote vleugels, maar is acht keer zo zwaar. Een Buizerd van 900 gram heeft een vleugeloppervlak van 2500 cm² en een vleugelspanwijdte van 130 cm. Als je die twee keer zo groot maakt, krijg je een

roofvogel met een spanwijdte van 260 cm, een vleugeloppervlak van 1 m², en een gewicht van 7200 gram. Dat klopt aardig met de feitelijke gegevens voor de Vale Gier (Tabel 1). Maar wat is de consequentie hiervan? De vleugelbelasting van de Vale Gier is twee keer zo hoog als die van een Buizerd. Dus moet hij sneller vliegen om in de lucht te blijven. Een Buizerd draait zijn rondjes in een thermiekel met een snelheid van 26 km/uur, maar een Vale Gier moet 38 km/uur aanhouden. Een Buizerd kan dus krappere bochtjes draaien, waarmee hij de stijgwind in het centrum van de thermiekel optimaal benut. Als ik de verhalen van zweefvliegers mag geloven, vinden Buizerds het heel amusant om te laten zien dat ze veel beter omhoog kunnen schroeven dan zweefvliegtuigen. Ze draaien in de binnenbocht met het zweefvliegtuig mee, en steken dan de draak met het technisch vernuft van mensen.



Vale Gier in zweefvlucht. *Soaring Griffon Vulture* (tekening: H. Tennekes).

Maar wij zijn niet altijd aan de verliezende kant van het verhaal. Mensen hebben naar verhouding veel minder spierkracht dan vogels. Als wij op eigen kracht willen vliegen, moeten we dus erg grote vleugels maken zodat we langzaam kunnen vliegen. Zelfs dan is het veel te zwaar werk voor amateurs. De vliegfiets die in 1988 de beroemde mythologische vlucht van Daedalus en Icarus nadeed, woog compleet met wielrenner op de pedalen ongeveer 100 kilo. De spanwijdte was 34 meter en het vleugeloppervlak 33 m². Niet erg handig voor een fietsenstalling. Bij een snelheid van 24 km/uur moest de propellor 210 Watt leveren, en de wielrenner dus een beetje

meer, ongeveer 230 Watt. Dat is zwaar werk, zeker als je het vier uur lang moet volhouden. Maar het was niettemin een geweldige prestatie. Die vliegfiets vloog even langzaam als een rondzwevende Boomvalk of Sperwer, ondanks zijn veel hogere gewicht. Ook in ander perspectief was het een geweldige prestatie, want de vliegfiets zakte maar 0.21 meter per seconde als de wielrenner even ophield met trappen terwijl de daalsnelheid van een Boomvalk of Sperwer bijna 0.90 m/s is. Zelfs de Grauwe Kiekendief houdt het niet bij: die zakt 0.67 m/s als er geen thermiek is (zie Tabel 1). Jammer genoeg is de vliegfiets niet geschikt om rondjes te draaien in een thermiekbjel: hij zou de vleugels van 34 meter die maar 25 kilo wegen niet heel kunnen houden als het een beetje turbulent is in de lucht.

Tabel 1. Gegevens die nodig zijn voor het berekenen van de vliegprestaties van roofvogels, waarbij W = gewicht in grammen, S = vleugeloppervlak in cm^2 , b = vleugelspanwijdte in cm, V = vliegsnelheid in meters per seconde en km/uur, L/D = gunstigste glijgetal (L = lift/draagkracht, D = drag/weerstand) en w = daalsnelheid in m/s. De daalsnelheid bij kruissnelheid wordt berekend door de kruissnelheid (m/s) te delen door het glijgetal. Zweefsnelheid (m/s en km/uur) is de snelheid waarmee een roofvogel zo min mogelijk hoogte verliest bij het glijden. *Flight data for selected raptors during cruising and soaring, in which W = body mass in grams, S = wing area in cm^2 , b = wingspan in cm, V = cruising speed in m/sec and km/hr, L/D = Lift/ Drag and w = rate of descent (m/sec).*

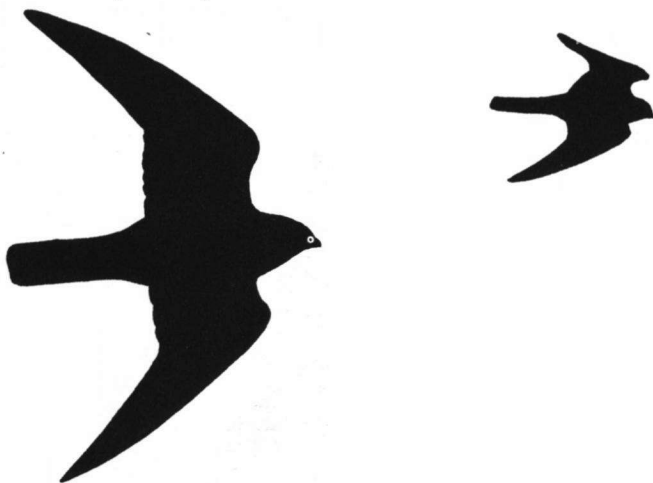
Soort <i>Species</i>	W gram	S cm^2	b cm	Kruisvlucht <i>Cruising</i>			Zweefvlucht <i>Soaring</i>		
				V m/s	V km/u	L/D	V m/s	V km/u	w m/s
Smelleken <i>Falco columbarius</i>	145	440	60	9.3	33	8.7	7.0	25	0.95
Boomvalk <i>F. subbuteo</i>	170	560	75	8.9	32	8.8	6.7	24	0.89
Torenvalk <i>F. tinnunculus</i>	200	700	75	8.7	31	9.0	6.5	23	0.84
Slechtvalk <i>F. peregrinus</i>	800	1300	105	12.7	46	10.5	9.5	34	1.06
Sperwer <i>Accipiter nisus</i> ♂	160	550	62	8.7	31	8.8	6.6	24	0.88
Sperwer <i>A. nisus</i> ♀	300	800	75	9.9	35	9.4	7.4	27	0.93
Havik <i>A. gentilis</i> ♂	700	1700	97	10.4	37	10.3	7.8	28	0.89
Havik <i>A. gentilis</i> ♀	1200	2400	115	11.5	41	11.0	8.6	31	0.92
Wespendief <i>Pernis apivorus</i>	620	1900	120	9.3	33	10.2	7.0	25	0.80
Gr. Kiekendief <i>Circus pygargus</i>	240	1300	110	7.0	25	9.2	5.2	19	0.67
Bl. Kiekendief <i>C. cyaneus</i> ♂	330	1400	100	7.9	28	9.5	5.9	21	0.72
Bl. Kiekendief <i>C. cyaneus</i> ♀	470	1760	115	8.4	30	9.9	6.3	23	0.74
Br. Kiekendief <i>C. aeruginosus</i>	700	2200	135	9.2	33	10.3	6.9	25	0.78
Buizerd <i>Buteo buteo</i>	900	2500	130	9.7	35	10.5	7.3	26	0.81
Visarend <i>Pandion haliaetus</i> ♂	1300	2600	145	11.5	41	11.2	8.6	31	0.90
Visarend <i>Pandion haliaetus</i> ♀	2000	3000	160	13.2	48	11.6	9.9	36	1.00
Steenarend <i>Aquila chrysaetos</i>	4000	5700	210	13.6	49	12.6	10.2	37	0.95
Zeearend <i>Haliaeetus albicilla</i>	5000	7200	220	13.5	49	12.9	10.1	36	0.92
Vale Gier <i>Gyps fulvus</i>	7000	10.000	260	14.0	50	13.5	10.5	38	0.91

Zo komen we vanzelf bij het centrale probleem van alle vogels en vliegtuigen die opstijgende lucht het werk willen laten doen. Of dat nu thermiek of stijgwind bij een helling is. Als je in de lucht wilt blijven zonder er zelf voor te werken, moet je ervoor zorgen dat je eigen daalsnelheid kleiner is dan de stijgsnelheid van de lucht. Elke meteoroloog kan vertellen dat stijgsnelheden van 1 m/s overal ter wereld kunnen worden gevonden. Boven savannes en heidevelden, maar ook langs duinenrijen en heuvelruggen. Alles wat wil zweven, moet dus een daalsnelheid van minder dan een meter per seconde zien te halen. Vrijwel alle roofvogels voldoen aan die eis (zie Tabel 1). Voor zweefvliegen geldt hetzelfde; de beste ervan zakken 60 cm/s, dat is nog wat gunstiger dan een Grauwe Kiekendief. Voor vlinders is het ook geen kunst. Die vliegen zo langzaam (4 km/uur) dat ze ondanks hun primitieve aerodynamische vormgeving maar 25 cm/s zakken. Meeuwen en sterns hebben het ook prima voor elkaar. Ze vliegen wat sneller dan even zware roofvogels, maar hun slanke vleugels en gladde veren zorgen voor goede aerodynamische eigenschappen zodat hun daalsnelheid ook klein genoeg wordt. Het toppunt van biologische vliegtechniek is de reuzenalbatros, die 8.5 kilo weegt en een vleugelspanwijdte van meer dan 3 meter haalt. Ondanks zijn relatief kleine vleugeloppervlak (0.6 m²) en hoge vliegsnelheid (19 m/s, 68 km/uur) zakt hij maar 0.95 m/s, net zoveel als een Steenarend die maar half zoveel weegt en half zo snel gaat. Wat zweven betreft moet je trouwens niet bij postduiven zijn. Als ze op topsnelheid zouden ophouden met klapwieken, zakken ze meer dan 3 m/s; zelfs bij de gunstigste snelheid voor een glijvlucht zakken ze nog 2 m/s. Die hoeven niet op zoek te gaan naar een thermiekbel. Toch zie je soms de vreemdste vogels zweven. De kraaien die het klif aan de noordpunt van Lanzarote (één van de Canarische eilanden) bevolken, hebben het kunstje afgekeken van de meeuwen die daar in de hellingstijgwind rondhangen. Dus zie je die kraaien voor het klif heen en weer zweven, ondanks hun slordige verenkleed en hoge daalsnelheid (2 m/s). Ach ja, in de passaat kun je je veel veroorloven.



Een echte vlieger, de Sperwer, die verhoudingsgewijs weinig van thermiek gebruik maakt tijdens de trek (tekening: H. Tennekes). *Sparrowhawk, in active flight during migration.*

Kennelijk moet je op twee dingen letten als je wilt zweven: slanke vleugels en een glad verenkleed verbeteren de aerodynamica, en een lage vleugelbelasting verlaagt de vliegsnelheid. Beide zaken tellen mee wanneer je minder dan 1 m/s wilt dalen in een glijvlucht. Het is handig om de aerodynamische perfectie uit te drukken in een getal: dan weten we waarover we praten. Het getal dat past bij onze doelstelling is de verhouding tussen de vliegsnelheid en de daalsnelheid in een glijvlucht. Dat getal, het 'glijgetal', dat ook de verhouding tussen gewicht en luchtweerstand weergeeft, vertelt ons niet alleen hoeveel gram vogel in de lucht kan worden gehouden voor elke gram weerstand, maar ook hoeveel verder een vogel kan komen voor elke meter hoogteverlies. Een zwaluw haalt '1 op 8': die komt zonder te klapwieken acht meter verder voor elke meter die hij daalt. Het lukt hem met gemak om maar 5 m/s (18 km/uur) te vliegen. Zijn laagste daalsnelheid is dus 1/8 van 5 m/s, dat is ongeveer 0.6 m/s. Wat dat betreft moet een Boomvalk, die een verse zwaluw wel lekker vindt, zijn meerdere erkennen in de zwaluw, want hij daalt bijna 0.9 m/s. Maar een huismus, die ook op het menu van de Boomvalk staat, is net zo'n klungel als een kraai: die zakt namelijk 2 m/s als hij niet klapwiekt.



Boomvalk *Falco subbuteo* Hobby (tekening H. Tennekkes).

In Tabel 1 kunt u alles vinden over het glijgetal van roofvogels. Het wordt aangegeven met het symbool L/D , want zo komt u het tegen in de vaktechnische literatuur. L staat voor 'lift', het Engelse woord voor draagkracht. D staat voor 'drag', het Engelse woord voor weerstand. In de Tabel staat ook de vliegsnelheid waarbij het glijgetal het hoogste is. Die snelheid heet de 'kruissnelheid', want dat is het tempo waarin vogels vliegen als ze hun energieverbruik per kilometer in de gaten willen houden.

Zo komen we bij de kruissnelheid terecht. Die is gelukkig niet afhankelijk van allerlei subtiele technische en aerodynamische details. De kruissnelheid wordt, als we niet op een procentje nauwkeurig hoeven te rekenen, alleen bepaald door de vleugelbelasting. De kruissnelheid is evenredig met de vierkantswortel uit de vleugelbelasting. Als de vleugelbelasting vier keer zo hoog wordt, wordt de kruissnelheid twee keer zo hoog. Simpel, maar effectief. Dubbel effectief omdat alle roofvogels er een handje van hebben hun vleugeloppervlak aan te passen aan de omstandigheden. Als ze sneller willen, verkleinen ze hun vleugeloppervlak door hun vleugels wat te vouwen (zie de tekening van de Boomvalk hierboven). Dat verhoogt hun vleugelbelasting, en dus hun voordeligste vliegsnelheid. Wil je 10% sneller en toch economisch blijven vliegen? Vouw dan je vleugels zover dat het oppervlak 20% kleiner wordt, dan gebeurt dat allemaal vanzelf. De getallen in Tabel 1 zijn uitgerekend voor de kruissnelheid bij volledig gespreide vleugels.



Grauwe Kiekendieven hebben een lage vleugelbelasting en zijn daardoor weinig afhankelijk van thermiek tijdens de trek (tekening H. Tennekes). *Montagu's Harriers have a low wing loading and are therefore not dependent on thermals during migration.*

Hoeveel speling heeft een roofvogel dan? Als hij zijn vleugeloppervlak terugbrengt tot 70% van het maximum, kan hij zijn kruissnelheid met 20% verhogen zonder

schade te lijden aan zijn glijgetal. Dat is een goed recept om intelligent met de gegevens in Tabel 1 om te gaan. Veel roofvogels slagen erin hun vleugels zo ver te vouwen dat hun vleugeloppervlak nog maar 60% van het maximum is. Dat verhoogt hun kruissnelheid met 30%, maar niet zonder een offer van grofweg 10% in hun glijgetal. Als ze, bijvoorbeeld in een achtervolging, nog harder willen, moeten ze zich echt inspannen, want dan neemt hun luchtweerstand angstig snel toe. Een havikvrouw bij 85 km/uur mag blij zijn als ze '1 op 6' draait, in plaats van de '1 op 11' die ze haalt bij 40 km/uur. Ze wil per se duiffilet, en is kennelijk bereid zich flink in te spannen.

Nu we toch met die havikvrouw bezig zijn, is het zeker de moeite waard om haar even door te rekenen. Met volledig gespreide vleugels vliegt ze 11.5 m/s (41 km/uur) met een glijgetal van 11.0. Haar daalsnelheid in een glijvlucht is dan $11.5/11.0 = 1.05$ m/s. Ze kan 0.92 m/s halen als ze wat langzamer vliegt (zie Tabel 1), maar dat is niet ter zake als ze wil achtervolgen. Als ze haar vleugeloppervlak terugbrengt tot 70% kan ze bijna 14 m/s (50 km/uur) halen zonder haar glijgetal te verminderen. Bij 14 m/s en een glijgetal van 11.0 zou haar daalsnelheid dan 1.27 m/s zijn als ze ophield met klapwieken. Ze moet dan een offer brengen, maar dat interesseert haar niet wanneer ze een duif achtervolgt. Het kan natuurlijk harder. Bij 85 km/uur draait ze nog maar '1 op 6': haar weerstand is dan 1/6 van haar gewicht, dus 200 gram. En haar daalsnelheid -als ze de achtervolging zou opgeven- is op dat moment nog erger dan die van de duif: 4 meter per seconde. Je moet het er maar voor over hebben als je duif voor je avondeten wilt.

Voor lezers die over deze dingen meer willen weten, en die het niet kunnen nalaten om deze berekeningen met hun zakjapannertje na te doen, kan ik het boek aanbevelen dat ik over het vliegen van vogels en vliegtuigen heb geschreven. Het heet *De wetten van de vliegekunst* en wordt uitgegeven door Aramith in Bloemendaal (ISBN 095-6834-095-6). Lezers die liever Engels lezen kan ik de Amerikaanse editie aanbevelen: *The simple science of flight*, uitgegeven door MIT Press (ISBN 0-262-70065-4). Beide versies liggen op voorraad bij Scheltema op het Koningsplein in Amsterdam en bij Waltman aan de Binnenwatersloot in Delft. Uw boekhandel kan u ook helpen.

Summary: Flight dynamics of raptors

Basic principles of flight performance in raptors are explained, taking into account weight, wing area and wing loading. Important data are summarised in Table 1. For more details, the reader is referred to *The simple science of flight* (MIT Press, Cambridge, ISBN 0-262-70065-4). This article is a summary of a talk given at the annual meeting of the Dutch Raptor Group on 3 March 2001.

Adres: Brugakker 1629, 3704 WK Zeist.