

Hardlopen met **Power!** *een hardlooprevolutie*



Hans van Dijk en Ron van Megen

Hardlopen met **Power!**

Hans van Dijk en Ron van Megen

Eerste druk

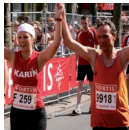
Leusden, april 2016

NedRUN

publisher

Hardlopen met **Power!**

Hans van Dijk en Ron van Megen



Fotoverantwoording

Dank aan de volgende personen en organisaties die hun toestemming hebben verleend tot het gebruik van hun fotomateriaal in onze uitgaven:

- ✓ Ries de Beer
- ✓ Rinus van Denderen
- ✓ Atty van Dijk
- ✓ Joost Enkelaar
- ✓ iStockphoto
- ✓ Henk Knapen
- ✓ Erik van Leeuwen
- ✓ Ron van Megen
- ✓ Harry Prins
- ✓ Peter Riegel
- ✓ Coen Schilderman
- ✓ Desirée Schippers
- ✓ Huub Snoep
- ✓ Jaap Stijlaart
- ✓ Stryd
- ✓ Cor Vos
- ✓ Guido Vroemen
- ✓ Cees Weeda
- ✓ Nicole Weijling-Dissel
- ✓ Wikimedia Commons, license CC BY-SA 3.0
- ✓ Cees Wouda

Omslagfoto:

Haile Gebrselassie tijdens de FBK Games in Hengelo 2007

CIP-gegevens KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Auteurs: Van Dijk, J.C. en Van Megen, J.G.W.

Hardlopen met POWER!; NedRUN, eerste druk, april 2016.

Trefwoorden: hardlopen, sport, snelheid, calculatoren, trainen, vermogensmeters, vermogen, fysiologie, prestatieverbetering, weersomstandigheden, gezondheid.

ISBN 978-90-821069-7-8, ISBN EPUB3 978-90-821069-8-5,

ISBN Adobe DRM pdf 978-90-821069-9-2

NUR 488



De Forest Stewardship Council (FSC) is een internationale organisatie die zich inzet voor verantwoord bosbeheer wereldwijd.

Vormgeving boekblok: Hakze DTP Productions, Ganzewehof 16, 3833 ZA Leusden

Vormgeving omslag: Hans van Dijk en Ron van Megen

Drukker: PrintSupport4U, Meppel

Uitgever: NedRUN

© MMXVI Hans van Dijk, Ron van Megen, NedRUN

Niets uit deze uitgave mag op welke wijze of met welk medium dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteurs en uitgever worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt.

Disclaimer: Hoewel bij deze uitgave alle zorg is nagestreefd, kan voor de afwezigheid van eventuele (druk) fouten en onvolledigheden niet worden ingestaan en aanvaarden de auteurs en uitgever deswege geen enkele aansprakelijkheid. De auteurs en de uitgever zijn niet verantwoordelijk voor verlies of risico, persoonlijk of niet persoonlijk, dat is opgelopen door direct of indirect inhoud van dit boek toe te passen.

Inhoudsopgave



Inhoudsopgave

Waarom dit boek?	9	Deel III: Hoe snel kun je lopen met je menselijke motor?	67
1. Waarom dit boek?	11	17. Hoe snel kun je lopen in de wedstrijd?	69
Deel I: Hoeveel energie kost hardlopen?	15	18. Welke tempo's kun je lopen in de training?	73
2. Energie	17	19. Hoe snel kun je lopen op een loopband?	75
3. Vermogen	19	20. De wereldrecords bij de mannen en de vrouwen	79
4. Watt en Watt/kg I: traplopen en fietsen	21	21. Hoe snel kan Usain Bolt de 100 meter lopen in Mexico?	83
5. Watt en Watt/kg II: schaatsen en hardlopen	25	22. Hoeveel sneller loop je met hazen en in een groepje?	85
6. De natuurkunde van hardlopen	29	23. Hoeveel langzamer ga je door de wind?	89
7. Hoeveel energie kost het lopen op een vlak parcours?	33	24. Hoeveel sneller ga je als je afvalt?	93
8. Hoeveel energie kost de luchtweerstand?	35	25. Hoeveel sneller ga je door goed te trainen?	97
9. Hoeveel energie kost de klimweerstand?	39	26. Hoe groot is de invloed van je uithoudingsvermogen?	99
10. Het hardloopmodel en de standaardcondities	43	27. Hoe groot is de invloed van de loopefficiency?	101
Deel II: Hoeveel vermogen levert de menselijke motor?	45	28. Hoeveel langzamer ga je op een zwaar parcours?	103
11. Sportfysiologie en de menselijke motor	47	29. Hoe groot is de invloed van een hoogtestage?	105
12. De afname van het vermogen in de tijd	51	30. Hoeveel langzamer ga je als je ouder wordt?	107
13. De grenzen van het menselijk vermogen	55	31. De wereldrecords van de masters	109
14. De VO_2 max	59	32. Running Dynamics I: loopstijl	113
15. De ADV	63		
16. De relatie tussen ADV en VO_2 max	65		

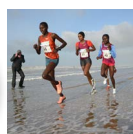
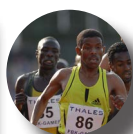
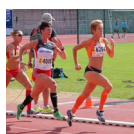
33. Running Dynamics II: paslengte en cadans	119
34. Running Dynamics III: energieverbruik	125
35. Hoe snel kun je heuvelop en heuvelaf?	129
36. Hoe groot is de invloed van de hoogte?	133
37. Hoe snel kun je lopen en fietsen op de Alpe d'Huez?	137
38. Wat gaat sneller bergop: lopen of fietsen?	139
39. Wat is zwaarder: de Alpe d'Huez of windkracht 7?	141
40. Tempovariaties en wedstrijdstrategie	143
41. Hoe groot is de invloed van de temperatuur?	147
42. Het gevaar van oververhitting	151
43. De Foster collaps: kruipend over de finish	157
44. Het gevaar van onderkoeling	159
45. Hoe snel kun je fietsen, schaatsen en traplopen?	161
46. Hoe goed ben je: wat is je prestatie-index?	165
47. De maximale vermogens van sprinters en langeafstandlopers	167
48. Vermogensmetingen bij hardlopen: een revolutionaire doorbraak!	171

Deel IV: Nog meer over hardlopen	177
49. De marathon onder de 2 uur?	179
50. Hoeveel sneller loop je op wedstrijdschoenen?	183
51. Vermijd een tekort aan vitamine D!	187
52. Slik niet te veel pillen!	191
53. Waarom kunnen sprinters goed springen?	193
54. De formules van Jack Daniels	197
55. Cees Stolwijk - van trimmer tot Wereldkampioen.	201
56. The Great Ethiopian Run	207
57. Haile Gebrselassie – de beste hardloper aller tijden	211

Literatuur	217
------------	-----

Wie zijn de auteurs?	220
----------------------	-----

Waarom dit boek?



1. Waarom dit boek?

Passie, plezier en prestatie. Als de eerste twee P's er zijn, komt de derde vanzelf
Marijn Michels

Dit boek is een vervolg op **Het Geheim van Hardlopen**¹ en **Het Geheim van Wielrennen**², twee bestsellers die een schot in de roos bleken in de sportwereld. Vele duizenden sporters delen kennelijk onze passie om te willen begrijpen welke factoren je sportprestatie bepalen. Dagelijks kregen en krijgen we (onder meer via de websites www.hetgeheimvanhardlopen.nl en www.hetgeheimvanwielrennen.nl) enthousiaste reacties van 'fans', die onze kwantitatieve benadering van de sport een openbaring noemen.

Voor wie is dit boek?

Evenals **Het Geheim van Hardlopen** is dit boek bedoeld voor het legioen van hardlopers, die net als wij genieten van een rondje dra-ven door het bos, de heide, de duinen of het stedelijke gebied. We snuiven de buitenlucht op en bewonderen een ree in de zonsopgang. Zorgen verdwijnen en we voelen ons vrij, gezond en gelukkig. En dan die douche na afloop, heerlijk

Wat is er nieuw aan dit boek?

Het Geheim van Hardlopen werd door ons geschreven aan de hand van materiaal dat we hadden geselecteerd om onze eigen nieuwsgierigheid te bevredigen. We wilden immers uitzoeken hoe het precies zit met de invloed van allerlei factoren om zo op gestructureerde wijze beter, sneller en fitter te worden. Zaken als training, voeding, gewicht, leeftijd, wind, heuvels, temperatuur en meer. We werden enorm verrast door de vele lovende reacties en recensies. Dat was voor ons een heel bevredigend bewijs dat we op de goede weg zijn!

Inmiddels zijn we enkele jaren verder en zijn er nieuwe ontwikkelingen te melden. De belangrijkste is te zien in de titel van dit boek **Hardlopen met Power!** We staan namelijk aan de vooravond van de doorbraak van vermogensmeters bij het hardlopen. Bij het wielrennen zijn

vermogensmeters inmiddels niet meer weg te denken. Chris Froome houdt exact in de gaten met hoeveel Watt hij traint en de Alpe d'Huez oprijdt.

Wij zijn ervan overtuigd dat dit bij hardlopen binnen enkele jaren ook het geval zal zijn. De toppers zullen dit als eerste oppakken. Mo Farah zal binnenkort gaan trainen op vermogen en ook bij de wedstrijden met zijn horloge in de gaten houden hoeveel Watt hij loopt! Maar ook voor ons 'gewone' lopers zal er een wereld open gaan als we continu ons Wattage op ons horloge kunnen aflezen. Dit wordt een historische doorbraak en de toekomst van het hardlopen!



De auteurs hebben de Stryd^{3,4} vermogensmeter getest en zijn zeer onder de indruk

Wat is je vermogen bij hardlopen?

Hoeveel Watt bedraagt je hardloopvermogen, hoe kun je dit bepalen en hoe snel kun je ermee lopen? Hoe moet je trainen op basis van vermogen? Wat is de invloed van je gewicht? We gaan het allemaal uitleggen in dit boek, dat helemaal gaat over je hardloopvermogen. We zullen je laten zien dat je hardloopvermogen (nog) beter inzicht geeft in je prestaties. Hoe kun je je hardloopvermogen zo groot mogelijk maken en hoe kun je met je hardloopvermogen

een zo goed mogelijke tijd lopen? Je zult alles beter begrijpen en daarbij tevens merken dat de modellen van **Hardlopen met Power!** (nog) krachtiger en duidelijker zijn dan de modellen uit **Het Geheim van Hardlopen**.

Wie zijn de auteurs?

Hans van Dijk en Ron van Meegen zijn levenslange hardlopers én hartstochtelijke liefhebbers van deze sport. Zij zijn beide Delfts ingenieur en lopen al meer dan 30 jaar samen hard in de schitterende omgeving van de Utrechtse Heuvelrug. Hans is emeritus-hoogleraar van de TU Delft en heeft zich na zijn pensionering gestort op het onderzoek naar sport en de factoren die sportprestaties bepalen. Net als bij **Het Geheim van Hardlopen** en **Het Geheim van Wielrennen** heeft Hans de literatuur bestudeerd, de modellen ontworpen, de berekeningen gemaakt en het leeuwendeel van de tekst geschreven. Ron fungeerde weer als klankbord en zorgde voor de foto's, de productie, de PR en de zakelijke aspecten.



Hans en Ron in Boedapest ter gelegenheid van het WK indoor voor masters (WMACi) 2014

Hoe zit het nu precies?

Net als bij **Het Geheim van Hardlopen** hebben we ons ook nu weer afgevraagd wat er over het hardloopvermogen echt wetenschappelijk bekend en bewezen was. Vele handboeken^{5,6,7} en artikelen zijn immers vooral gebaseerd op praktijkervaringen en niet echt wetenschappelijk onderbouwd. Op zich begrijpelijk, want er is heel veel bekend uit de praktijk en het valt niet mee om met een wetenschappelijke studie aan te tonen dat je

iets sneller wordt van een bepaalde wijze van trainen.

De wetten van de natuurkunde en de fysiologie

Wij vonden dit onbevredigend en hebben - mede op basis van **Het Geheim van Wielrennen** - een theoretisch model voor hardlopen ontwikkeld, dat is gebaseerd op de wetten van de natuurkunde en de fysiologie. We hebben hierbij gebruik gemaakt van onze ervaringen bij het hardlopen en het sportfysiologisch onderzoek.

Met ons model is het mogelijk om nauwkeurige antwoorden te geven op actuele vragen als:

- ✓ Hoeveel energie kost lopen op een vlak parcours en hoe snel kun je lopen met je hardloopvermogen?
- ✓ Hoeveel energie kost de luchtweerstand en hoeveel langzamer ga je erdoor?
- ✓ Hoeveel energie kost lopen heuvelop en heuvelaf en wat zijn de consequenties voor je tijd?
- ✓ Hoe hoog is je loopefficiëntie, hoe kun je die verbeteren en hoeveel sneller ga je dan?
- ✓ Wat is de invloed van paslengte en pasfrequentie, je 'Running Dynamics'?
- ✓ Hoeveel sneller ga je met wedstrijdschoenen?
- ✓ Wat zijn de grenzen van de menselijke motor en het hardloopvermogen?
- ✓ Hoe groot is het vermogen van sprinters en langeafstandlopers?
- ✓ Hoeveel groter wordt je hardloopvermogen als je afvalt?

Met het theoretisch model blijkt het mogelijk om alle bovenstaande vragen te beantwoorden. In dit boek wordt uitgelegd wat de invloed van al deze factoren is en hoe iedereen voor zichzelf kan bepalen wat hij of zij moet doen om sneller te worden. Als hij of zij dat wil natuurlijk...., want er is niets tegen om gewoon te genieten van het hardlopen in de buitenlucht zonder te letten op je tempo.

Ook praktijkervaringen

Uiteraard zijn het 'maar' theoretische modellen en zijn er in de praktijk altijd afwijkingen van de theorie. De praktijk van het hardlopen wordt dan ook meegenomen, zowel op basis van onze eigen ervaringen als die uit de literatuur.

In afzonderlijke hoofdstukken wordt behandeld hoe het zit met individuele verschillen en door welke aspecten deze kunnen worden veroorzaakt.

Vervolgens kunnen de juiste stappen gezet worden om ze te optimaliseren, bijvoorbeeld door meer gerichte training.

Hardlopen met **Power!**

We hebben dit boek opgezet volgens de succesformule van **Het Geheim van Hardlopen**: een groot aantal compacte hoofdstukken van 2 - 4 bladzijden, die in principe afzonderlijk leesbaar zijn. Door deze opzet kan het boek ook makkelijk gebruikt worden als naslagwerk om een onderwerp nog eens te bestuderen.



De Stryd is een geavanceerde accelerometer waarmee je vermogen tijdens hardlopen berekend wordt

Het boek bestaat uit 4 delen:

1. Hoeveel energie kost hardlopen?

Dit deel bevat 9 hoofdstukken. Allereerst worden de begrippen energie en vermogen toegelicht en enkele praktijkvoorbeelden gegeven hoe je met het vermogen de prestatie bij diverse sporten kunt bepalen. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de literatuur over het energieverbruik voor hardlopen bij verschillende omstandigheden. Tenslotte leiden we de 'hardloopvergelijking' af en laten we zien hoe je die kunt oplossen. Daarmee kun je vervolgens uitrekenen hoe snel je kunt lopen met je hardloopvermogen.

2. Hoeveel vermogen levert de menselijke motor?

In dit deel behandelen we in 6 hoofdstukken de sportfysiologie en het vermogen van de

menselijke motor. We gaan in op de afname van het vermogen bij een toenemende inspanningsduur en de grenzen van de menselijke motor. Vervolgens behandelen we de VO_2 max (het zuurstofopnamevermogen), de ADV (het anaerobe drempel vermogen) en de relatie tussen beiden.

3. Hoe snel kun je lopen met je menselijke motor?

In dit deel behandelen we in 32 hoofdstukken de factoren die bepalen hoe snel je kunt lopen. Het gaat hierbij enerzijds om aspecten die het vermogen van je menselijke motor bepalen, zoals je talent, je leeftijd, je training, de inspanningsduur, je looiefficiency, je running dynamics, enzovoort. Anderzijds zijn ook aspecten van belang die de loopweerstand bepalen, zoals de luchtweerstand (en daarmee de temperatuur, luchtdruk, hoogte en de aanwezigheid van hazen of een groepje), de hellingsgraad en de hoogte in de bergen, het parcours, hitte en koude, enzovoort. We hopen dat de lezers hierdoor een goed begrip krijgen van de invloed van al deze factoren, zodat zij voor zichzelf kunnen bepalen wat ze het beste kunnen doen om hun prestaties te verbeteren (of te relativeren....).

4. Nog meer over hardlopen

Dit deel omvat 9 hoofdstukken over diverse onderwerpen zoals de vraag of de marathon ooit onder de 2 uur gelopen zal worden en enkele inspirerende voorbeelden van lopers als Haile Gebrselassie.

We hopen dat **Hardlopen met Power!** net als **Het Geheim van Hardlopen** en **Het Geheim van Wielrennen** weer vele sporters zal inspireren en helpen om hun prestaties te doorgronden en te verbeteren. Maar bovenal hopen we dat de lezers veel plezier zullen beleven aan onze passie. We zouden het ook leuk vinden om weer veel reacties van lezers te krijgen. Dat kan onder meer via onze websites www.hetgeheimvanhardlopen.nl en www.hetgeheimvanwielrennen.nl.

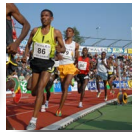
Hans van Dijk en Ron van Megen

Leusden, april 2016



Marathon door de historische binnenstad van Amersfoort

Deel I: Hoeveel energie kost hardlopen?



2. Energie

*Channel your energy. Focus.
Carl Lewis*

In dit boek kijken we naar hardlopen vanuit de wetten van de natuurkunde. Hardlopen kost een bepaalde hoeveelheid energie (E), die bij een marathon natuurlijk groter is dan bij een 5 km. Bij het hardlopen maken we gebruik van onze spieren en ons hart-longsysteem. Dit geheel duiden we aan als onze 'menselijke motor'. Die menselijke motor heeft een bepaalde capaciteit, die we het vermogen (P) noemen.

Toppers hebben een menselijke motor met een groter vermogen dan gewone mensen en kunnen daarom sneller lopen. De basisrelatie die we daarbij veel gaan gebruiken is dat je de tijd (t) die je kunt halen op een willekeurige afstand kunt berekenen als je weet hoeveel energie (E) je netto verbruikt op die afstand en wat het vermogen (P) van je menselijke motor is. Zie het voorbeeld in de box.

$$t = E/P$$

Voorbeeld voor de marathon:

$$E = 2.961 \text{ kJoule (netto)}$$

$$P = 235 \text{ Watt}$$

$$t = 2.961.000/235 = 12.600 \text{ seconden}$$

$$= 3 \text{ uur } 30 \text{ minuten}$$

De kunst is natuurlijk om de getalswaarden voor E en P te weten. Daarna is het sommetje eenvoudig te maken en kun je je tijd op de marathon (of een willekeurig andere afstand) precies berekenen. In latere hoofdstukken zullen we laten zien hoe je de getalswaarden voor E en P kunt bepalen en waar die van afhankelijk zijn. Met die nieuwe kennis en inzichten zul je (nog) beter kunnen begrijpen waar je hardloopprestaties door bepaald worden en hoe je je tijden kunt verbeteren. We zullen ook aantonen dat de getallen in het voorbeeld precies kloppen voor onze Marathon Man; een man - sorry dames - van 35 jaar die 70 kg weegt en de marathon in 3 uur 30

minuten kan lopen. Ook in dit boek zullen we - net als in ons boek Het Geheim van Hardlopen - de Marathon Man steeds als voorbeeld gebruiken om de sommen te illustreren.

In dit hoofdstuk gaan we eerst nader in op het begrip energie. We geven enkele voorbeelden uit de dagelijkse praktijk en laten zien hoe je ermee kunt rekenen.

Energie in ons eten

In het dagelijks leven kennen we het begrip energie onder meer uit het aantal kilocalorieën (kcal) van ons voedsel. De meeste lezers zullen wel weten dat we dagelijks grofweg zo'n 2.500 kcal consumeren (hoewel Obelix uiteraard heel wat meer eet dan Asterix...). Nu is 1 kcal gelijk aan 4,184 kilojoule (kJ), dus 2.500 kcal komt overeen met 10.460 kJ.

Afvallen door de marathon

Als we die 10.460 kJ even vergelijken met het voorbeeld van de Marathon Man, dan zien we dat hij tijdens zijn marathon minder energie lijkt te verbruiken dan hij in 1 dag eet. Om precies te zijn kost zijn marathon netto $2.961/10.460 = 28\%$ van zijn dagelijkse energie inname. Maar omdat het rendement van je menselijke motor (het spierrendement) ongeveer 25% bedraagt, is het bruto energieverbruik in dit voorbeeld 11.844 kJ, dus 113% van je dagelijkse consumptie. Je kunt je dus wel voorstellen dat het lopen van een marathon niet direct tot veel gewichtsverlies leidt. Even afgezien van het waterverlies via het zweten, dat wel enkele kilo's kan bedragen, maar weer snel aangevuld wordt door te drinken.

Hoeveel val je dan wel af door de marathon? Dat kun je berekenen als je weet dat ons lichaamsvet een energiewaarde heeft van 9 kcal per gram ofwel 37,6 kJ/g. De Marathon Man zal dus door een marathon in totaal $11.844/37,6 = 315$ gram vet verliezen.

Niet echt een getal dat zwaargewichten zal inspireren om af te gaan vallen door middel van het lopen van een marathon! Uiteraard leidt dagelijkse training op de lange termijn wel degelijk tot een flink en stabiel gewichtsverlies.

Energie in ons dagelijks leven

In huis kennen we het energieverbruik vooral als het aantal kilowattuur (kWh) dat we aan elektriciteit gebruiken voor verlichting en huishoudelijke apparaten. Nu is 1 kWh gelijk aan 3.600 kJ, dus kunnen we stellen dat de energiewaarde van ons dagelijkse eten overeenkomt met $10.460/3.600 = 2,9$ kWh. Dat is natuurlijk maar weinig, vooral als we bedenken dat 1 kWh circa € 0,25 kost. Voor $2,9 \cdot 0,25 = € 0,72$ per dag zouden we dus kunnen voorzien in onze dagelijkse energiebehoefte. Heel wat goedkoper dan onze dagelijkse boodschappen. Jammer dat we elektriciteit niet kunnen eten!

Een ander voorbeeld is het benzineverbruik van onze auto. Van benzine is de energiewaarde⁸ 28.800 kJ/l. Als we benzine zouden kunnen eten zouden we dus maar $10.460/28.800 = 0,4$ liter per dag nodig hebben! Met een benzineprijs van € 1,50/liter, zouden we dus met € 0,60 per dag nog goedkoper uit zijn. Dat benzine heel veel energie in zich bergt, kunnen we ook begrijpen als we bedenken dat een tank van 40 liter overeenkomt met $40 \cdot 28.800 = 1.152.000$ kJ. Dit is evenveel energie als we via ons voedsel binnen krijgen in $1.152.000/10.460 = 110$ dagen!

Zo gezien zijn wij heel wat zuiniger dan de auto!

Hoeveel energie kost hardlopen?

Het energieverbruik van hardlopen op een vlak parcours en zonder rekening te houden met de luchtweerstand kunnen we benaderen met de formule:

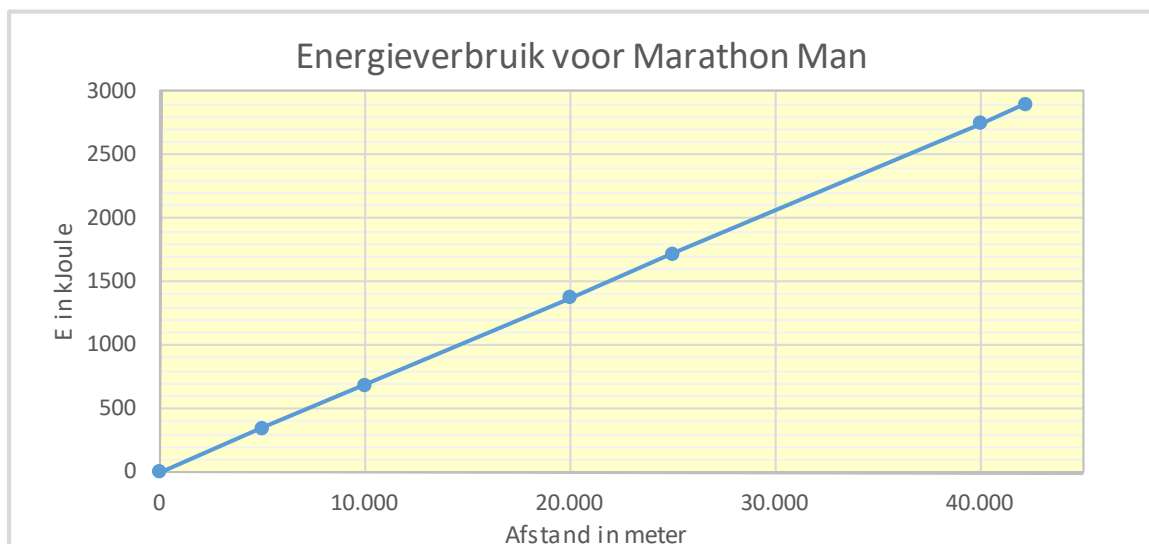
$$E = cm d$$

We zullen in een later hoofdstuk aantonen dat c bij benadering gelijk gesteld kan worden aan $0,98$ kJ/kg/km. Het netto energieverbruik van onze Marathon Man ($m = 70$ kg) op de marathon ($d = 42,195$ km) bedraagt dus volgens deze formule $0,98 \cdot 70 \cdot 42,195 = 2.895$ kJ. Dit getal is iets lager dan het voorbeeld in de bovenstaande box omdat we daarbij wel rekening gehouden hebben met de luchtweerstand. In een later hoofdstuk gaan we nader in op de luchtweerstand. In de onderstaande figuur zie je het netto energieverbruik (zonder luchtweerstand) bij verschillende afstanden.

Hoe ver moet je nu lopen om 1 kilo af te vallen? Dat kunnen we eenvoudig berekenen.

1 kg lichaamsvet komt immers overeen met 37,6 kJ. Om dat te verbranden bij het hardlopen moet onze Marathon Man bij een spierrendement van 25% dus $d = E/cm = 37,6 / (0,98 \cdot 70 \cdot 0,25) = 137$ km hardlopen!

Dat lijkt heel wat, maar met regelmatige training bereik je dat natuurlijk wel en zul je inderdaad afvallen (als je tenminste niet tegelijkertijd meer gaat eten).



3. Vermogen

I can think of nothing but this engine
James Watt

In het vorige hoofdstuk hebben we de basisrelatie uitgelegd die we kunnen gebruiken om de tijd (t) te berekenen die je kunt halen op een willekeurige afstand als je weet hoeveel energie (E) je verbruikt op die afstand en wat het vermogen (P) van je menselijke motor is.

$$t = E/P$$

Voorbeeld voor de Marathon Man:

$$E = 2.961 \text{ kJoule}$$

$$P = 235 \text{ Watt}$$

$$t = 2.961.000/235 = 12.600 \text{ seconden} = 3 \text{ uur } 30 \text{ min}$$

In dit hoofdstuk gaan we nader in op het begrip vermogen. We geven weer wat voorbeelden uit de dagelijkse praktijk en laten zien hoe je ermee kunt rekenen.

Het gemiddelde vermogen van de menselijke motor

Dit kunnen we eenvoudig uitrekenen door de dagelijkse energie inname met ons voedsel ($E = 10.460 \text{ kJ}$) te delen door het aantal seconden in 1 dag ($t = 86.400 \text{ seconden}$) met als resultaat een gemiddeld vermogen P van 121 Watt, dus vergelijkbaar met een flinke (ouderwetse) gloeilamp.

We moeten hierbij nog bedenken dat dit slechts een theoretische berekening is van het 'thermische' vermogen. In werkelijkheid moeten we bij het sporten nog rekening houden met het spierrendement, dat maar circa 25% is. Het gemiddelde 'mechanische' vermogen bedraagt dus slechts $121 \cdot 0,25 = 30 \text{ Watt}$. Uiteraard zijn we wel prima in staat om gedurende korte tijd veel meer vermogen te leveren. Zo trapte Chris Froome in de Tour de France tijdens de beklimming van de Alpe d'Huez gedurende 39 minuten een gemiddeld vermogen van 415 Watt. Hoeveel of liever hoe weinig 30 Watt waard is, kunnen we begrijpen als we



Start van Marijn Michels op de 400 m bij de WK indoor 2014 in Boedapest

ons voorstellen dat we met een hometrainer elektriciteit zouden willen opwekken. Als we een hele dag (8 uur) 30 Watt zouden trappen, levert dat $8 \cdot 30 / 1000 = 0,24 \text{ kWh}$ aan elektriciteit op, ofwel € 0,06!

Andere voorbeelden van vermogens

James Watt definieerde in 1777 de paardenkracht (pk) als het vermogen van een trekpaard om een gewicht van 150 kg in 1 minuut 30 meter op te hijsen. Het energieverbruik hiervan is:

$$E = mgh$$

Met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ wordt E dus $150 \cdot 9,81 \cdot 30 = 44.145 \text{ Joule}$

Het vermogen van 1 pk komt dus overeen met:

$$P = E/t = 44.145/60 = 736 \text{ Watt}$$

Omdat een paard dit makkelijk kan volhouden, kunnen we dus wel constateren dat het duurvermogen van een paard een stuk hoger is dan dat van een mens.

Nog veel hoger zijn de vermogens van moderne auto's, die tegenwoordig makkelijk 100 pk bedragen of 73.600 Watt (73,6 kW). Omdat we in het vorige hoofdstuk zagen dat de inhoud van een tank benzine van 40 liter overeenkomt met een hoeveelheid energie E van 1.152.000 kJ, kunnen we dus uitrekenen dat de tank leeg is na $t = E/P = 1.152.000/73.600/3.600 = 4,3$ uur rijden op maximaal vermogen.

Welke hardlooptijden kun je halen?

In het vorige hoofdstuk hebben we gezien dat je het energieverbruik van hardlopen op een vlak parcours kunt benaderen met de formule:

$$E = cmd$$

Voor onze Marathon Man geldt dus dat zijn energieverbruik gelijk is aan $0,98 \cdot 70 \cdot 1 = 68,6$ kJ/km ($c = 0,98$, $m = 70$ kg). Als we nu het ver-

mogen P van onze Marathon Man weten, kunnen we uitrekenen wat voor tijd hij kan lopen op de verschillende afstanden met de formule:

$$t = E/P$$

In dit hoofdstuk stellen we voor het gemak dat zijn vermogen constant is en gelijk aan 235 Watt. Met deze aanname kunnen we berekenen dat de Marathon Man een kilometertijd kan lopen van $68.700/235 = 292$ seconden (4 min 52 sec). In de onderstaande grafiek is weergegeven wat voor tijden dan haalbaar zouden zijn op de verschillende afstanden.

Bij de grafiek plaatsen we voor de volledigheid 2 kanttekeningen:

1. We hebben hierbij nog geen rekening gehouden met de luchtweerstand. Het effect hiervan is klein, maar niet verwaarloosbaar.
2. In werkelijkheid is het vermogen niet constant, maar afhankelijk van de afstand. Hierdoor kun je op de korte afstand sneller lopen dan op de lange afstand.

In latere hoofdstukken worden deze aspecten uitgelegd en wel volledig meegenomen.



4. Watt en Watt/kg I: traplopen en fietsen

Running takes balls. Other sports just play with them

In dit en het volgende hoofdstuk gaan we eens rekenen met de menselijke motor. Het leuke van onze theorie is dat hij geldig is voor vrijwel alle duursporten. Als je het vermogen van je menselijke motor eenmaal weet, kun je bij benadering berekenen welke prestaties je kunt leveren bij vele sporten. In dit hoofdstuk behandelen we als voorbeelden traplopen en fietsen, in het volgende hoofdstuk ook schaatsen en uiteraard hardlopen. Je zult zien dat naast je totale vermogen (P in Watt) dikwijls ook je specifieke vermogen, ofwel je vermogen per kg lichaamsgewicht (P/m in Watt/kg) maatgevend is. Een kanttekening die we vooraf maken is dat je natuurlijk wel vooraf specifiek voor een sport moet trainen. Het is niet zo dat je als hardloper zo maar even goed kunt fietsen of schaatsen. Maar het vermogen van je menselijke motor bepaalt wel waar je in principe toe in staat bent als je er voldoende voor getraind hebt!

Hoe snel kun je traplopen met je menselijke motor?

Hoeveel energie je verbruikt bij het traplopen kunnen we berekenen met de formule:

$$E = mgh$$

Als voorbeeld nemen we het kampioenschap traplopen op de Euromast in Rotterdam over een hoogte van 100 meter ($h = 100$ m).

De haalbare klimtijd volgt dan uit:

$$t = E/P = mgh/P = m \cdot 9,81 \cdot 100/P = 981/(P/m)$$

We krijgen dus een interessant resultaat, namelijk dat de klimtijd omgekeerd evenredig is met het specifieke vermogen P/m (Watt/kg). In de grafiek laten we dat zien.

Je kunt je dit verband ook wel voorstellen natuurlijk, want zware mensen moeten meer gewicht mee naar boven tillen en dus meer energie verbruiken. Als zij in dezelfde tijd

