

Hartslag bij bocken en hardlopen



M.D. Hoogerwerf
Den Haag, juni 2009
Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool



Naam student:	M.D. Hoogerwerf
Studentnummer:	20050774
Periode:	9 maart tot en met 17 juni 2009
Opleiding:	Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool, Den Haag
Afstudeerbegeleiders:	Chris Riezebos Monique Berger

Voorwoord

Voor mijn afstuderen aan de opleiding Bewegingstechnologie aan de Haagse Hogeschool heb ik mij bezig gehouden met een project waarin ik de hartslag en het energieverbruik bij bocken onderzocht. Bocken is, zoals in dit rapport te vinden is, een activiteit die nog het meeste lijkt op het springen op een gecombineerde pogostick-stelt. Voor het eerst kwam ik dit apparaat tegen tijdens een fietsvakantie in Frankrijk. Een loper erop haalde ons (op de fiets, 20 km/u) zonder zichtbare inspanning in. Via kangaroo boot kwam ik uiteindelijk uit op powerizer, een veelgebruikte term. Ik heb gekozen voor bock, omdat het als zelfstandig naamwoord ook nog eens te vervoegen is voor een gebruiker en activiteit. Bovendien bleek de uitvinder Alexander Böck te heten.

Dit afstudeerverslag is geschreven in de vorm van een artikel, waarbij dit voorwoord de functie van begeleidend schrijven heeft. Het eigenlijke artikel begint pas 'hierna'. Ik wil dan ook van deze gelegenheid gebruik maken om mijn dank uit te spreken naar de vele proefpersonen die zo gewillig tijd voor mij vrijmaakten voor de, toch wel intensieve, testen. Ook mijn begeleiders Chris Riezebos en Monique Berger dank ik van harte voor hun steun. Voor de nodige statistische hulp wil ik dank uitspreken naar Rochus van der Doef en Kim Verbert. Johanneke, bedankt voor al je steun!

Ik hoop dat dit artikel een stapsteen is voor verder onderzoek naar de effectiviteit van gebruikte veren bij onderbeenprothesen, maar ook in de wereld van de reguliere sporten.

Den Haag, juni 2009

Maurits Hoogerwerf

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1. Inleiding	6
2. Methode.....	7
2.1. Proefpersonen	7
2.2. Meetprotocol.....	7
2.3. Data analyse	7
2.3.1. Hoofdonderzoek: Verschil in hartfrequenties bij hardlopen en bocken.....	7
2.3.2. Deelonderzoek: Verschil in energetische kosten bij hardlopen en bocken	7
2.3.3. Betrouwbaarheid van de meting	8
3. Resultaten	9
3.1. Hoofdonderzoek: Verschil in hartfrequenties bij hardlopen en bocken	9
3.2. Deelonderzoek: Verschil in energetische kosten bij hardlopen en bocken.....	9
3.4. Betrouwbaarheid van de meting.....	10
4. Discussie	11
5. Conclusie	12
Literatuurlijst	13
Bijlagen	14

Samenvatting

Bocken is een nog redelijk onbekende sport in Nederland, maar een hype in de Verenigde Staten en Frankrijk. Een bock is een soort stelt met ingebouwde veer, die de gebruiker in staat stelt om salto's te maken en ver en hoog te springen. In de sportwereld wordt een dergelijk instrument ook gebruikt door mensen met een (dubbele) onderbeenamputatie. De hardloper Pistorius (dubbele onderbeenamputatie) ontketende een discussie met zijn wens om mee te mogen doen met de reguliere hardloopwedstrijden. De discussie draait om de vraag of hij wel of niet voordeel heeft van zijn onderbeenprothesen.

In dit onderzoek is het verschil onderzocht tussen het lopen met en zonder bocks op verschillende snelheden. Met behulp van de hartfrequentiewaarden en het gewicht van de proefpersoon is het energieverbruik bij de verschillende belastingen bepaald met een in de literatuur aangedragen formule van Hiiliskorpi et al. 2003.

De verschillende uitkomsten zijn met elkaar vergeleken, waarbij een significant verschil werd gevonden tussen het lopen met en zonder bocks. Bij het gebruik van de bocks bleek zowel de hartslag als het energieverbruik significant hoger te liggen ($p < 0,05$).

De betrouwbaarheid van het onderzoek is getest door middel van een herhaalde meting. Bij de hartslag bedraagt de correlatiecoëfficiënt 0,732 bij het bocken op 5 km/u en 0,880 bij het bocken op 11 km/u. Bij het energieverbruik bedraagt de correlatiecoëfficiënt 0,763, bij het bocken op 5 km/u, de correlatiecoëfficiënt bedraagt 0,939 bij het hardlopen op 11 km/u. In de statistiek gelden deze waarden als gemiddeld sterk (Vincent, 2005). Alle waarden zijn significant ($p < 0,05$).

1. Inleiding

Een in Amerika al bestaande en in Nederland nieuwe hype op het gebied van voortbewegen is de kangaroo boot. Het is een soort stelt met ingebouwde veer, die de gebruiker in staat stelt salto's te maken of over auto's, afvalbakken en andere objecten heen te springen. De spronghoogte kan oplopen tot twee meter, de spronglengte tot drie meter. De gebruiker wordt wel bocker genoemd, de activiteit bocken en het apparaat bock/bocks, naar de uitvinder Alexander Böck.

In de sportwereld wordt een dergelijk instrument ook gebruikt bij het hardlopen door mensen met een (dubbelzijdige) onderbeen-amputatie. Een beroemd voorbeeld is Pistorius, een hardloper met een dubbele onderbeenamputatie. Hij wil meedoen met de reguliere wedstrijden, maar er is grote discussie of zijn prothesen hem een voordeel geven. In een onderzoek van Brown et al. 2007 werden enkel- en dubbelzijdig geamputeerde hardlopers vergeleken met niet-geamputeerde hardlopers. Hieruit bleek dat er bij gebruik van speciale hardlooprothesen, zoals de Cheetah foot, geen significant verschil te zijn tussen de hartslagen bij het lopen op een bepaalde snelheid¹.

De beweging en het ontwerp bij het bocken is in grote mate hetzelfde als bij hardlopen. Bij het gebruik van prothesen was er geen significant verschil in hartfrequenties, maar is dat bij het bocken nog steeds zo? Een hardlooprothese verlengt niet de natuurlijke lengte van het been (en dus de natuurlijke staplengte) en weegt minder dan een 'normaal' onderbeen en voet. Door het ontwerp van de bock wordt de staplengte langer (de lengte van het onderbeen neemt toe) en neemt het gewicht van het onderbeen toe met het gewicht van de bocks. Weegt de grotere staplengte op tegen het gewichtsverschil?

Dit leidt tot de probleemstelling van dit onderzoek: Is er verschil in hartfrequenties tussen hardlopen en bocken op dezelfde snelheid?

In dit onderzoek worden de hartfrequentiewaarden bepaald bij verschillende belastingen. Een belangrijk verschil tussen hardlopen en bocken is het verschil in gewichtsverdeling en gewichtstoename, het onderbeen wordt zwaarder gemaakt bij bocken. Ook de mogelijke opslag van veerenergie in de bladveer en de reductie van het aantal gewrichten in het onderbeen door het fixeren van het enkelgewricht, kan de hartslag beïnvloeden. Als onderzoekshypothese wordt gesteld dat bij bocken en hardlopen op eenzelfde snelheid de hartfrequenties significant verschillen ($p < 0,05$).

Aansluitend aan het verschil in hartfrequenties tussen hardlopen en bocken, is interessant te weten wat het verschil is in energetische kosten: Is er verschil in energetische kosten tussen hardlopen en bocken? Een vraag die daar nog aan vooraf gaat is hoe de energetische kosten kunnen worden berekend. In diverse onderzoeken (Zakeri et al. 2008, Keytel et al. 2005, Crouter et al. 2004, Hiiliskorpi et al. 2003) wordt een verband verondersteld tussen hartfrequentie (of een afgeleide daarvan) en energetische kosten. Er wordt verondersteld dat bij bocken en hardlopen op eenzelfde snelheid de energetische kosten significant verschillen ($p < 0,05$).



¹ Nolan 2008: "... One bilateral and two unilateral amputees running at 2.2 ms^{-1} [...] with the carbon fibre prosthesis, their HR ($186 \pm 3.5 \text{ b/min}$) and peak VO_2 ($50.7 \pm 9.1 \text{ ml/kg/min}$) were similar to an age, training status and body composition-matched group of able-bodied persons (HR $182 \pm 2.5 \text{ b/min}$, peak VO_2 $55.0 \pm 8.7 \text{ ml/kg/min}$)"

2. Methode

2.1. Proefpersonen

Het onderzoek is uitgevoerd bij 10 gezonde volwassen mannelijk proefpersonen. De belangrijkste gegevens worden weergegeven in tabel 1, meer informatie is te vinden in bijlage I. Alle proefpersonen waren ongetraind in het gebruik van de bocks. Vijf van hen sporten tenminste driemaal in de week en zeven tenminste tweemaal. Vier beoefenen onder andere hardlopen.

Tabel 1. Gegevens proefpersonen

	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Leeftijd (jaar)	24	4,4
Lengte (cm)	183	7,4
Gewicht (kg) (exclusief bocks)	77	9,8
Aantal keren per week sport	3	1,6

2.2. Meetprotocol

Bij het onderzoek is de hartfrequentie bepaald bij verschillende belastingen. Deze belastingen werden opgelegd door middel van een snelheid die de proefpersoon moest aanhouden. De snelheden waren 11 en 5 km/u, een gangbare snelheid bij hardlopen en een normaal wandeltempo. Elke belastingstrap duurde 5 minuten² waarna werd overgegaan naar de volgende snelheid.

Tijdens het uitvoeren van de tests droegen de proefpersonen een hartslagband en hartslaghorloge. Het gebruikte horloge was de Polar RS400. De snelheid werd gecontroleerd door een fietser die naast de loper meefietste. De proeven zijn voor zo ver mogelijk onder gelijke weersomstandigheden uitgevoerd.

De volgorde van de test werd bepaald door middel van loting in twee even grote groepen, A of B. De proef werd tweemaal uitgevoerd, tussen de twee testmomenten zat minimaal 24 uur. Bij het eerste testmoment werd er geloot, de tweede testvolgorde was afhankelijk van de eerste. Voor de volgorde van de test, zie bijlage II.

2.3. Data analyse

Per belastingstrap zijn de laatste twee minuten gebruikt voor de bepaling van de gemiddelde steady-state hartslag. De data is geanalyseerd met behulp van het programma SPSS 16.0.

2.3.1. Hoofdonderzoek: Verschil in hartfrequenties bij hardlopen en bocken

De hartfrequentiewaarden zijn vergeleken met behulp van een within-within factorial ANOVA. Er is sprake van twee factoren, het type (bocken of hardlopen) en snelheid (5 of 11 km/u). Een verschil tussen de activiteit wordt als significant beschouwd wanneer bij het type geldt $p < 0,05$. Een verschil tussen de snelheden per sport wordt als significant beschouwd wanneer bij de snelheid geldt $p < 0,05$.

2.3.2. Deelonderzoek: Verschil in energetische kosten bij hardlopen en bocken

Het energieverbruik kan op verschillende manieren worden bepaald. Rechtstreeks de energetische kosten meten is in dit geval echter niet mogelijk, het moet worden afgeleid van andere meetwaarden, zoals zuurstofverbruik of hartfrequentie. Een veel gebruikte manier is het meten met behulp van Oxycon, waarbij de energetische kosten worden bepaald door middel van een verhouding van zuurstof in de in- en uitgeademde lucht. Een nadeel van deze bepaling is dat de meetapparatuur kostbaar is en erg zwaar. Een mobiele meting was daardoor niet goed mogelijk. Een andere, eenvoudiger, manier is het

² Bij hardlopen wordt een steady state bereikt na ongeveer 3 minuten. Hardlopers met prothesen hebben ± 30 m nodig om in het ritme te komen, waardoor verondersteld kan worden dat de steady state rond dezelfde tijd bereikt zal worden.

door het met behulp van formules te berekenen aan de hand van de hartfrequentie (Zakeri et al. 2008, Keytel et al. 2005, Crouter et al. 2004, Hiilloskorpi et al. 2003).

In de onderzoeken van Zakeri et al. 2008, Keytel et al. 2005, Garet et al. 2005 en Hiilloskorpi et al. 2003 zijn verschillende formules geformuleerd om met behulp van de hartslag en enkele andere gegevens het energieverbruik te bepalen. In de formule van Keytel et al. 2005 wordt gebruik gemaakt van de hartslag, het gewicht, de leeftijd en het geslacht. In het onderzoek van Hiilloskorpi et al. 2003 zijn meerdere formules opgesteld. Zo zijn er verschillende formules voor mannen en vrouwen, en voor zware en lichte arbeid. Het energieverbruik wordt voorspeld op basis van gewicht en hartslag, percentage hartslagreserve of HRnet (hartslag – rusthartslag). In het onderzoek van Garet et al. 2005 wordt er aan de hand van het gecorrigeerd hartslagreserve en het maximale energieverbruik een voorspelling gedaan van het energieverbruik.

Bij het onderzoek naar het energieverbruik bij trikken (Hoogerwerf et al. 2008), waarbij de uitkomsten werden vergeleken met gestandaardiseerde meetapparatuur (Oxycon, Berger et al. 2007), bleek dat twee formules van Hiilloskorpi et al. 2003, waarin de hartfrequentie en het percentage hartslagreserve gebruikt werden, de grootste correlatiecoëfficiënt hadden wanneer de uitkomsten werden vergeleken met de gestandaardiseerde apparatuur. Vanwege de hogere nauwkeurigheid en eenvoud van de eerste formule, er kan geen fout in de berekening worden gemaakt door een verkeerd geschatte rusthartslag, wordt in dit onderzoek onderstaande formule gebruikt van Hiilloskorpi et al. 2003³.

Hiilloskorpi et al. 2003:

$$\text{Energieverbruik (kCal/min)} = 3,56 - (0,0138 \cdot \text{HR}) - (0,1358 \cdot \text{gewicht}) + (0,00189 \cdot \text{HR} \cdot \text{gewicht}) \quad (1)$$

Bij het berekenen van het energieverbruik met bocks is het gewicht van de bocks (3,07 kg per stuk) toegevoegd aan het lichaamsgewicht.

De energiewaarden zijn vergeleken met behulp van een within-within factorial. Er is ook hier sprake van twee factoren, het type (bocken of hardlopen) en snelheid (5 of 11 km/u). Een verschil tussen de activiteit wordt als significant beschouwd wanneer bij het type geldt $p < 0,05$. Een verschil tussen de snelheden per sport wordt als significant beschouwd wanneer bij de snelheid geldt $p < 0,05$.

2.3.3. Betrouwbaarheid van de meting

Om te controleren of de gemeten waarden betrouwbaar zijn is de test tweemaal uitgevoerd door alle proefpersonen. Daarna zijn per belastingsniveau en activiteit de waarden van de twee testmomenten vergeleken, door middel van de within-within factorial ANOVA (significantieniveau $p = 0,05$) en een Paired Sample T-test.

Leereffect

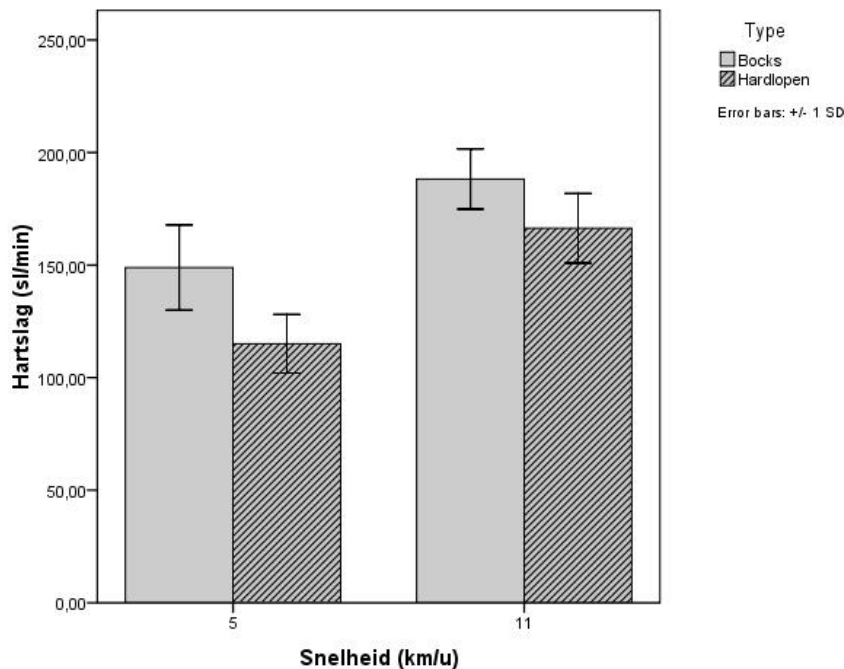
Vanwege de ongetraindheid van de proefpersonen bij aanvang van de test werd door de oefenperiode van een uur getracht om de leereffecten te minimaliseren. De meting zelf duurde 10 minuten, waardoor er werd verwacht dat tijdens de meting zelf de leereffecten minimaal waren.

³ Zoals al vermeld zijn er in het onderzoek van Hiilloskorpi et al. 2003 meerdere formules opgesteld. De gebruikte formule geldt voor mannen bij zware arbeid.

3. Resultaten

3.1. Hoofdonderzoek: Verschil in hartfrequenties bij hardlopen en bocken

In grafiek 3.1 is te zien dat bocken een hogere hartslag vereist dan hardlopen. De spreiding bij het bocken op 5 km/u is het grootst, maar bij het bocken op 11 km/u is het kleiner dan die bij hardlopen. Een tabel met de gevonden hartslagwaarden is te vinden in bijlage IV, tabel 8.



Grafiek 3.1 Hartslag tegen snelheid

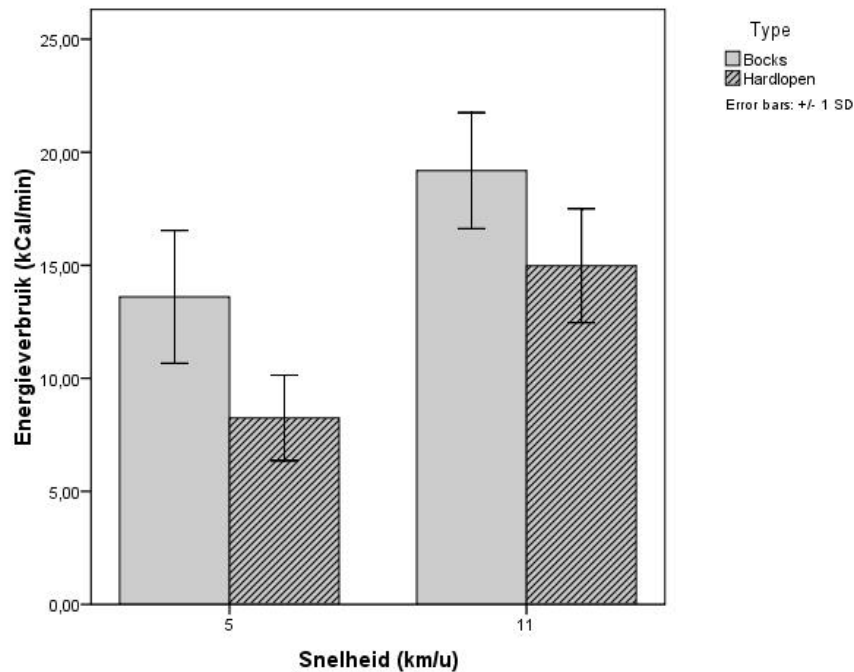
Bij bocken op 5 km/u is de gemiddelde hartslag hoger dan bij hardlopen ($148,9 \pm 18,9$ sl/min en resp. $115,1 \pm 13,0$ sl/min). Bij bocken op 11 km/u is de gemiddelde hartslag ook hoger dan bij hardlopen ($188,2 \pm 13,3$ sl/min resp. $166,4 \pm 15,5$ sl/min).

Aannemende een significantieniveau van 5% zijn de waarden significant voor het verschil in snelheid ($p=0,000$) en het verschil in type sport ($p=0,000$). Voor een overzicht van de uitkomsten zie bijlage III, tabel 3 en 4.

3.2. Deelonderzoek: Verschil in energetische kosten bij hardlopen en bocken

De energetische kosten zijn berekend met behulp van de formule van Hiiliskorpi, zoals gevonden in de literatuur. In grafiek 3.2 zijn de resultaten te zien. Een tabel met het berekende energieverbruik van alle proefpersonen is te vinden in bijlage V, tabel 9.

In grafiek 3.2 is te zien dat er bij bocken meer energie wordt verbruikt dan bij hardlopen. Bij bocken op 5 km/u is het gemiddelde energieverbruik hoger dan bij lopen ($13,6 \pm 2,9$ kCal/min resp. $8,3 \pm 1,9$ kCal/min). Bij bocken op 11 km/u is het gemiddelde energieverbruik ook hoger dan bij hardlopen ($19,2 \pm 2,6$ kCal/min resp. $15,0 \pm 2,5$ kCal/min).



Grafiek 3.2 Energieverbruik tegen snelheid

Aannemende een significantieniveau van 5% zijn de waarden significant voor het verschil in snelheid ($p=0,000$) en het verschil in type sport ($p=0,000$). Voor een overzicht van de uitkomsten zie bijlage III, tabel 5 en 6.

3.4. Betrouwbaarheid van de meting

Bij het beoordelen van de betrouwbaarheid werden de twee metingen onderling vergeleken. Aannemende een significantieniveau van 5% was het verschil tussen de beide metingen niet significant ($p>0,05$).

De correlatiecoëfficiënten zijn bepaald voor zowel de hartslag als het energieverbruik. In tabel 3.1 en bijlage III tabel 7 is te vinden dat de correlatiecoëfficiënten bij de hartslag liggen tussen de 0,732 (bocken op 5 km/u) en 0,880 (bocken op 11 km/u). Bij het energieverbruik liggen de correlatiecoëfficiënten tussen de 0,763 (bocken op 5 km/u) en 0,939 (hardlopen op 11 km/u). Alle waarden zijn significant ($p<0,05$).

Tabel 3.1 Correlatiecoëfficiënten

Paar (meting 1 en 2)	Correlatiecoëfficiënt	Significantie
Bock 5 km/u	,732	,016
Bock 11 km/u	,880	,001
Hardlopen 5 km/u	,831	,003
Hardlopen 11 km/u	,818	,004
Bock 5 km/u, energie	,763	,010
Bock 11 km/u, energie	,905	,000
Hardlopen 5 km/u, energie	,888	,001
Hardlopen 11 km/u, energie	,939	,000

4. Discussie

Het onderzoek is uitgevoerd in het Zuiderpark (Den Haag) en bij de Strijkviertelplas (Utrecht). Er is getracht de testen uit te voeren bij zoveel mogelijk gelijke weersomstandigheden. Voor een groot deel is dit gelukt. Toch kon een plotselinge windvlaag van opzij dan wel van voren niet voorkomen worden. Dit kan de meetresultaten beïnvloed hebben.

Er is begonnen met 14 proefpersonen. Tijdens de test zijn er een aantal proefpersonen uitgevallen, waardoor er uiteindelijk 10 complete datasets overbleven. Hiervan begonnen er bij de eerste meting zes met bocken en vier met hardlopen.

De uitval kwam onder andere door de moeilijkheid van het bocken. Het leren bleek tegen te vallen. De één had het binnen een kwartier onder de knie, de ander na een uur. Eén proefpersoon haalde de 11 km/u niet en kon er (na een uur oefenen) alleen nog maar op lopen. Door dit soort omstandigheden is er bij één proefpersoon geen waarde van het lopen op 5 km/u van de eerste meting vastgesteld en zijn er twee proefpersonen die niet beide snelheden hebben gelopen.

Eén proefpersoon heeft bij beide testen de 15 km/u gelopen op de bocks, zijn gemiddelde hartslag was bij het gebruik van de bocks op 15 km/u hoger dan bij hardlopen op 15 km/u (183,2 resp. 171,6 sl/min). Zijn hartslag bij bocken en hardlopen op 11 km/u bedroeg 170,5 resp. 145,2 sl/min.

Bij de test bleek dat het onderbeen verkrampde, doordat de proefpersoon de neiging bleef houden om zijn voet af te wikkelen terwijl er geen beweging mogelijk is tussen de voet en het onderbeen. Bovendien bleek ook de concentratie lastig vol te houden. De beweging was, zelfs na een uur oefenen, niet zo 'gewoon' dat de proefpersoon er zonder na te denken op kon lopen. De beweging/activiteit is niet zozeer moeilijk, maar vereist een grotere concentratie dan gewoon lopen.

Het gewicht en de constructie van de bock liet zijn sporen na. Bij de berekening van het energieverbruik is rekening gehouden met het gewicht van de bocks. Een proefpersoon van 94 kg zakt er echter veel verder door dan een proefpersoon van 65 kg. Het gevolg hiervan is dat de afzet langer duurt: de bock heeft een grotere veerweg. De veersterkte zou dus af moeten worden gestemd op het gewicht van de proefpersoon. Bij normale hardloopporthesen wordt dit inderdaad gedaan, waardoor er optimaal gebruik kan worden gemaakt van de veerkracht.

De gevonden hartfrequenties bij het lopen en bocken op 5 km/u bij test één en twee lagen relatief ver uit elkaar. Met een correlatiecoëfficiënt van ten minste 0,738 voor bocken en 0,831 voor hardlopen is er echter nog steeds sprake van een redelijk goede correlatie. Opvallend is dat de correlatiecoëfficiënt bij hogere snelheden hoger is en dat de correlatie bij bocken op 11 km/u hoger is dan bij hardlopen op 11 km/u. Een verklaring is dat de proefpersonen die veel hardlopen daarin getraind zijn waardoor zij een relatief lage hartslag hebben ten opzichte van de ongetrainde hardlopers. Bij bocken was iedereen ongetraind en was de hartslag vrij hoog (soms tegen het maximum aan).

Bij de betrouwbaarheid verschillen de waarden van de correlatiecoëfficiënt bij de hartslag en het energieverbruik, hoewel het energieverbruik uit de hartslag wordt berekend en er dus eenzelfde waarde wordt verwacht. Echter, bij de berekening is het gewicht van de proefpersoon van belang en wordt er gewicht van de bock meegenomen in de berekening. Hierdoor is de spreiding van de waarden bij het energieverbruik kleiner. In de statistiek wordt een correlatiecoëfficiënt hoger dan 0,70 als gemiddeld sterk en hoger dan 0,90 als sterk gezien (Vincent, 2005). De gevonden correlaties voor de hartslag zijn dan ook gemiddeld sterk. Bij het energieverbruik zijn de gevonden correlaties sterk bij 11 km/u. Bij 5 km/u zijn ze gemiddeld sterk. Alle waarden zijn significant ($p < 0,05$).

5. Conclusie

Het verschil in hartfrequenties tussen bocken en hardlopen is significant verschillend ($p < 0,05$), waarbij de hartslag bij bocken hoger is dan bij hardlopen. De onderzoekshypothese, waarbij werd aangenomen dat de hartslag significant verschilde, wordt dan ook aangenomen.

Het energieverbruik is met behulp van een in de literatuur gevonden formule berekend uit de hartslagwaarden. Het verschil in energieverbruik tussen bocken en hardlopen is significant verschillend ($p < 0,05$), waarbij het energieverbruik bij bocken hoger ligt dan bij hardlopen. De onderzoekshypothese, waarbij werd aangenomen dat het energieverbruik significant verschilde, wordt dan ook aangenomen.

De betrouwbaarheid van de meting is over het geheel gemiddeld sterk, met een correlatiecoëfficiënt van tenminste 0,732. Alle waarden waren significant ($p < 0,05$). Het verschil tussen de metingen is niet significant ($p > 0,05$).

Literatuurlijst

Berger, M.A.M; Oonk, H.H.N; Koopman, J; Hellingwerf, L; Energieverbruik en mechanische efficiëntie van trekken; Sport en geneeskunde, december 2007.

Brown, M.B.; Allison, A.R.; Millard-Stafford, M.L.; Running Prosthesis Facilitates Greater Speed, Peak Aerobic Capacity, And Improved Exercise Economy In Amputee Runners; Medicine & Science in Sports & Exercise Volume 39(5) Supplement May 2007p S244-S245

Crouter, S.E.; Albright, C.; Bassett, D.R.; Accuracy of polar S410 heart rate monitor to estimate energy cost of exercise; Medicine & Science in Sports & Exercise 0195-9131/04/3608-1433

Garet, M.; Boudet, G.; Montaurier, C.; Vermorel, M.; Cudert, J.; Chamoux, A.; Estimating relative physical workload using heart rate monitoring: a validation by whole-body indirect calorimetry; Eur J Appl Physiol, 2005, 94: 46-53

Hiilloskorpi, H.K.; Pasanen, M.E.; Fogelholm, M.G.; Laukanen, R.M.; Mantta, A.T.; Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels; Int J Sports Med, 2003, 24:332-336

Hoogerwerf, M.D.; Klerks, M.; Middag, T.; Verbert, K.A.J.; Het verband tussen snelheid en trekken; juni 2008

Keytel, L.R.; Goedecke, J.H.; Noakes, T.D.; Hilloskorpi, H.; Laukanen, R.; van der Merwe, L.; Lambertt, E.V.; Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercises; Journal of Sports Sciences, maart 2005, 23(3): 289 – 297

Nolan, L.; Carbon fibre prostheses and running in amputees a review; Elsevier Foot and Ankle Surgery 14 (2008), 15-129

Vincent, W.J.; Statistics in Kinesiology 3rd edition; Human Kinetics; 2005

Zakeri, I.; Adolph, A.L.; Puyau, M.R.; Vohra, F.A.; Butte, N.F.; Application of crosssectional time series modeling for the prediction of energy expenditure from heart rate and accelerometry; Eur J Appl Physiol, april 2008

Bijlagen

<i>Bijlage I – Overzicht proefpersonen.....</i>	<i>15</i>
<i>Bijlage II – Testvolgorde.....</i>	<i>16</i>
<i>Bijlage III - Meetgegevens.....</i>	<i>17</i>
Hartslag.....	17
Energieverbruik	18
Betrouwbaarheid.....	20
<i>Bijlage IV – Hartslag</i>	<i>21</i>
<i>Bijlage V – Energieverbruik</i>	<i>22</i>

Bijlage I – Overzicht proefpersonen

Tabel 1 Overzicht gegevens proefpersonen

Nr	Volgorde	Leeftijd	Lengte	Schoenmaat	Lengte been	Lengte onderbeen	Gewicht
1	B-HL / HL-B	22	179,00	42,5	96	38	72
2	HL-B / B-HL	23	178,00	42,5	103	42	85
3	B-HL / HL-B	24	188,00	41,5	95	39	65
4	HL-B / B-HL	29	186,00	43,5	106	43	62
5	B-HL / HL-B	32	187,00	43,0	99	44	94
6	B-HL / HL-B	30	173,00	42,0	89	37	80
7	B-HL / HL-B	20	175,00	42,5	97	37	78
8	HL-B / B-HL	20	198,00	47,0	107	43	85
9	HL-B / B-HL	21	183,00	43,0	101	40	70
10	B-HL / HL-B	23	186,00	44,5	103	39	78
Gemiddelden		24	183	43	100	40	77
SD		4,4	7,4	1,6	5,5	2,5	9,8
6x B-HL / HL-B							
4x HL-B / B-HL							

Nr	Gewicht	Ochtendpols	Roken	Aantal jaren hardlopen	Aantal keren per week sport
1	72	60	x	x	x, sporadisch
2	85	55	x	x	2x voetbal
3	65	48	x	x, sporadisch	1x hardlopen, 2x wielrennen
4	62	58	x	2,0	2 a 3 hardlopen
5	94		x	x	3x hockey
6	80	63	x	x	3x fietsen
7	78	62	x	x	stadspringen'
8	85	58	x	x	1x klimmen
9	70	45	x	2,0	6x triatlon
10	78	65	x	2,0	2 a 3 triatlon
Gemiddelden		57		2	3
SD		6,8		0	1,6

Nr	Temperatuur		Luchtdruk		Luchtvochtigheid		Windrichting	
1	11	15	1011	1023	77	80	NO	ZW
2	10	16	1025	1015	70	55	WZW	O
3	10	16	1025	1015	70	55	WZW	O
4	23	23	1024	1019	75	69	NNW	NNW
5	23	13	1024	1015	75	80	NNW	ZW
6	23	23	1024	1019	75	69	NNW	NNW
7	20	23	1019	1019	65	69	ZO	NNW
8	12	20	1028	1020	81	69	W	N
9	13	13	1014	1020	77	50	WZW	ONO
10	16	17	1008	1017	66	66	O	NW
Gemiddelden		18	1020	1018	73	66		
SD		4,0	6,9	2,7	5,2	10,1		

Nr	Windsnelheid		Extra opmerkingen
1	2	4	
2	3	3	
3	3	3	
4	2	2	
5	4	3	bij test 2 kniebeschermers rechts ging los na 2 minuten 11 km, vastgemaakt en tot 6 minuten gelopen. Wel steady state.
6	5	2	Meting 2: vallen op plm 3 min, daarna door. Steady state goed bereikt voor 3 minuten.
7	2	2	meting 1: moeite met snelheid, eerder gestop na struikelen en vanwege conditie. Meting 2: eerder gestop vanwege conditie. Wel steady state.
8	3	2	meting 1 en 2: haalde 11 km/u op bocks net niet, meting 2: na 3,5min gestop vanwege last knie. Wel steady state.
9	3	4	
10	3	3	
Gemiddelden		3	
SD		1	

Bijlage II – Testvolgorde

Tabel 2 Testvolgorde

Groep A	Testmoment 1	Trainen bocks (60 minuten) Hardlopen met bocks 11 km/u (5 minuten) Hardlopen met bocks 5 km/u (5 minuten) Rust (30 minuten) Hardlopen zonder bocks 11 km/u (5 minuten) Hardlopen zonder bocks 5 km/u (5 minuten) <i>Totaal: 110 minuten</i>
	Testmoment 2	Hardlopen zonder bocks 11 km/u (5 minuten) Hardlopen zonder bocks 5 km/u (5 minuten) Rust (30 minuten) Hardlopen met bocks 11 km/u (5 minuten) Hardlopen met bocks 5 km/u (5 minuten) <i>Totaal: 50 minuten</i>
Groep B	Testmoment 1	Hardlopen zonder bocks 11 km/u (5 minuten) Hardlopen zonder bocks 5 km/u (5 minuten) Rust (30 minuten) Trainen bocks (60 minuten) Hardlopen met bocks 11 km/u (5 minuten) Hardlopen met bocks 5 km/u (5 minuten) <i>Totaal: 110 minuten</i>
	Testmoment 2	Hardlopen met bocks 11 km/u (5 minuten) Hardlopen met bocks 5 km/u (5 minuten) Rust (30 minuten) Hardlopen zonder bocks 11 km/u (5 minuten) Hardlopen zonder bocks 5 km/u (5 minuten) <i>Totaal: 50 minuten</i>

Bijlage III - Meetgegevens

Hartslag

Tabel 3 Hartslag, gemiddelden en standaarddeviaties

Type	Mean	Std. Deviation	N
B105	140,8400	23,88597	10
B111	182,0880	18,36704	10
HL105	114,4360	14,76779	10
HL111	165,9960	18,38495	10
B205	148,9240	18,93117	10
B211	188,2140	13,34457	10
HL205	115,0640	13,00776	10
HL211	166,3680	15,47086	10

B staat voor bocken, HL voor hardlopen. Het eerste getal staat voor de meting (één of twee) en de twee laatste getallen voor de snelheid (5 of 11 km/u). B205 betekend dus Bocken, meting twee, 5 km/u.

Tabel 4 Hartslag, uitkomsten ANOVA

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Powera
meting	Sphericity Assumed	289,180	1	289,180	1,795	,213	1,795	,224
	Greenhouse-Geisser	289,180	1,000	289,180	1,795	,213	1,795	,224
	Huynh-Feldt	289,180	1,000	289,180	1,795	,213	1,795	,224
	Lower-bound	289,180	1,000	289,180	1,795	,213	1,795	,224
Error(meting)	Sphericity Assumed	1449,832	9	161,092				
	Greenhouse-Geisser	1449,832	9,000	161,092				
	Huynh-Feldt	1449,832	9,000	161,092				
	Lower-bound	1449,832	9,000	161,092				
type	Sphericity Assumed	12054,541	1	12054,541	95,894	,000	95,894	1,000
	Greenhouse-Geisser	12054,541	1,000	12054,541	95,894	,000	95,894	1,000
	Huynh-Feldt	12054,541	1,000	12054,541	95,894	,000	95,894	1,000
	Lower-bound	12054,541	1,000	12054,541	95,894	,000	95,894	1,000
Error(type)	Sphericity Assumed	1131,363	9	125,707				
	Greenhouse-Geisser	1131,363	9,000	125,707				
	Huynh-Feldt	1131,363	9,000	125,707				
	Lower-bound	1131,363	9,000	125,707				
snelheid	Sphericity Assumed	42045,367	1	42045,367	341,136	,000	341,136	1,000
	Greenhouse-Geisser	42045,367	1,000	42045,367	341,136	,000	341,136	1,000
	Huynh-Feldt	42045,367	1,000	42045,367	341,136	,000	341,136	1,000
	Lower-bound	42045,367	1,000	42045,367	341,136	,000	341,136	1,000
Error(snelheid)	Sphericity Assumed	1109,260	9	123,251				
	Greenhouse-Geisser	1109,260	9,000	123,251				
	Huynh-Feldt	1109,260	9,000	123,251				
	Lower-bound	1109,260	9,000	123,251				
meting * type	Sphericity Assumed	218,130	1	218,130	3,201	,107	3,201	,360
	Greenhouse-Geisser	218,130	1,000	218,130	3,201	,107	3,201	,360
	Huynh-Feldt	218,130	1,000	218,130	3,201	,107	3,201	,360
	Lower-bound	218,130	1,000	218,130	3,201	,107	3,201	,360
Error(meting*type)	Sphericity Assumed	613,224	9	68,136				
	Greenhouse-Geisser	613,224	9,000	68,136				
	Huynh-Feldt	613,224	9,000	68,136				

Rapport - Hartslag bij bocken en hardlopen

	Lower-bound	613,224	9,000	68,136				
meting * snelheid	Sphericity Assumed	6,127	1	6,127	,213	,656	,213	,070
	Greenhouse-Geisser	6,127	1,000	6,127	,213	,656	,213	,070
	Huynh-Feldt	6,127	1,000	6,127	,213	,656	,213	,070
	Lower-bound	6,127	1,000	6,127	,213	,656	,213	,070
Error(meting*snelheid)	Sphericity Assumed	259,295	9	28,811				
	Greenhouse-Geisser	259,295	9,000	28,811				
	Huynh-Feldt	259,295	9,000	28,811				
	Lower-bound	259,295	9,000	28,811				
type * snelheid	Sphericity Assumed	623,063	1	623,063	19,174	,002	19,174	,972
	Greenhouse-Geisser	623,063	1,000	623,063	19,174	,002	19,174	,972
	Huynh-Feldt	623,063	1,000	623,063	19,174	,002	19,174	,972
	Lower-bound	623,063	1,000	623,063	19,174	,002	19,174	,972
Error(type*snelheid)	Sphericity Assumed	292,454	9	32,495				
	Greenhouse-Geisser	292,454	9,000	32,495				
	Huynh-Feldt	292,454	9,000	32,495				
	Lower-bound	292,454	9,000	32,495				
meting * type * snelheid	Sphericity Assumed	3,621	1	3,621	,491	,501	,491	,096
	Greenhouse-Geisser	3,621	1,000	3,621	,491	,501	,491	,096
	Huynh-Feldt	3,621	1,000	3,621	,491	,501	,491	,096
	Lower-bound	3,621	1,000	3,621	,491	,501	,491	,096
Error(meting*type*snelheid)	Sphericity Assumed	66,386	9	7,376				
	Greenhouse-Geisser	66,386	9,000	7,376				
	Huynh-Feldt	66,386	9,000	7,376				
	Lower-bound	66,386	9,000	7,376				

a. Computed using alpha = ,05

Energieverbruik

Tabel 5 Energieverbruik, gemiddelden en standaarddeviaties

Type	Mean	Std. Deviation	N
B105E	12,4103	3,71010	10
B111E	18,3081	3,15907	10
HL105E	8,2297	2,34472	10
HL111E	15,0740	3,38411	10
B205E	13,6030	2,93911	10
B211E	19,1884	2,56420	10
HL205E	8,2489	1,89270	10
HL211E	14,9788	2,52040	10

B staat voor bocken, HL voor hardlopen. Het eerste getal staat voor de meting (één of twee) en de twee laatste getallen voor de snelheid (5 of 11 km/u). De laatste E staat voor energieverbruik.

Tabel 6 Energieverbruik, uitkomsten ANOVA
Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
meting	Sphericity Assumed	4,985	1	4,985	1,647	,231	1,647	,210
	Greenhouse-Geisser	4,985	1,000	4,985	1,647	,231	1,647	,210
	Huynh-Feldt	4,985	1,000	4,985	1,647	,231	1,647	,210
	Lower-bound	4,985	1,000	4,985	1,647	,231	1,647	,210
Error(meting)	Sphericity Assumed	27,235	9	3,026				
	Greenhouse-Geisser	27,235	9,000	3,026				
	Huynh-Feldt	27,235	9,000	3,026				
	Lower-bound	27,235	9,000	3,026				
type	Sphericity Assumed	360,329	1	360,329	171,589	,000	171,589	1,000
	Greenhouse-Geisser	360,329	1,000	360,329	171,589	,000	171,589	1,000
	Huynh-Feldt	360,329	1,000	360,329	171,589	,000	171,589	1,000
	Lower-bound	360,329	1,000	360,329	171,589	,000	171,589	1,000
Error(type)	Sphericity Assumed	18,900	9	2,100				
	Greenhouse-Geisser	18,900	9,000	2,100				
	Huynh-Feldt	18,900	9,000	2,100				
	Lower-bound	18,900	9,000	2,100				
snelheid	Sphericity Assumed	784,841	1	784,841	216,132	,000	216,132	1,000
	Greenhouse-Geisser	784,841	1,000	784,841	216,132	,000	216,132	1,000
	Huynh-Feldt	784,841	1,000	784,841	216,132	,000	216,132	1,000
	Lower-bound	784,841	1,000	784,841	216,132	,000	216,132	1,000
Error(snelheid)	Sphericity Assumed	32,682	9	3,631				
	Greenhouse-Geisser	32,682	9,000	3,631				
	Huynh-Feldt	32,682	9,000	3,631				
	Lower-bound	32,682	9,000	3,631				
meting * type	Sphericity Assumed	5,773	1	5,773	3,607	,090	3,607	,397
	Greenhouse-Geisser	5,773	1,000	5,773	3,607	,090	3,607	,397
	Huynh-Feldt	5,773	1,000	5,773	3,607	,090	3,607	,397
	Lower-bound	5,773	1,000	5,773	3,607	,090	3,607	,397
Error(meting*type)	Sphericity Assumed	14,405	9	1,601				
	Greenhouse-Geisser	14,405	9,000	1,601				
	Huynh-Feldt	14,405	9,000	1,601				
	Lower-bound	14,405	9,000	1,601				
meting * snelheid	Sphericity Assumed	,228	1	,228	,406	,540	,406	,088
	Greenhouse-Geisser	,228	1,000	,228	,406	,540	,406	,088
	Huynh-Feldt	,228	1,000	,228	,406	,540	,406	,088
	Lower-bound	,228	1,000	,228	,406	,540	,406	,088
Error(meting*snelheid)	Sphericity Assumed	5,049	9	,561				
	Greenhouse-Geisser	5,049	9,000	,561				
	Huynh-Feldt	5,049	9,000	,561				
	Lower-bound	5,049	9,000	,561				
type * snelheid	Sphericity Assumed	5,465	1	5,465	8,160	,019	8,160	,720
	Greenhouse-Geisser	5,465	1,000	5,465	8,160	,019	8,160	,720
	Huynh-Feldt	5,465	1,000	5,465	8,160	,019	8,160	,720
	Lower-bound	5,465	1,000	5,465	8,160	,019	8,160	,720
Error(type*snelheid)	Sphericity Assumed	6,027	9	,670				
	Greenhouse-Geisser	6,027	9,000	,670				

Rapport - Hartslag bij bocken en hardlopen

	Huynh-Feldt	,6027	9,000	,670				
	Lower-bound	,6027	9,000	,670				
meting * type * snelheid	Sphericity Assumed	,049	1	,049	,358	,564	,358	,084
	Greenhouse-Geisser	,049	1,000	,049	,358	,564	,358	,084
	Huynh-Feldt	,049	1,000	,049	,358	,564	,358	,084
	Lower-bound	,049	1,000	,049	,358	,564	,358	,084
Error(meting*type* snelheid)	Sphericity Assumed	1,233	9	,137				
	Greenhouse-Geisser	1,233	9,000	,137				
	Huynh-Feldt	1,233	9,000	,137				
	Lower-bound	1,233	9,000	,137				

a. Computed using alpha = ,05

Betrouwbaarheid

Tabel 7 Uikomsten paired sample t-test

Paren	N	Correlation	Sig.
Pair 1 B105 & B205	10	,732	,016
Pair 2 B111 & B211	10	,880	,001
Pair 3 HL105 & HL205	10	,831	,003
Pair 4 HL111 & HL211	10	,818	,004
Pair 5 B105E & B205E	10	,763	,010
Pair 6 B111E & B211E	10	,905	,000
Pair 7 HL105E & HL205E	10	,888	,001
Pair 8 HL111E & HL211E	10	,939	,000

B staat voor bocken, HL voor hardlopen. Het eerste getal staat voor de meting (één of twee) en de twee laatste getallen voor de snelheid (5 of 11 km/u). De laatste E staat voor energieverbruik, zonder de E staat het voor hartslag. HL111E betekend dus de energiewaarden van hardlopen, meting één, 11 km/u.

Bijlage IV – Hartslag

Tabel 8 Uitkomsten energieverbruik

Nr	B105	B111	HL105	H111	B205	B211	HL205	H211
3	157,56	199,96	131,44	190,20	151,04	205,36	127,08	189,28
4	91,88	154,68	89,40	154,72	126,04	171,72	96,16	152,52
5	117,28	165,28	100,40	141,72	119,80	169,84	101,08	146,96
6	151,92	181,20	108,08	146,48	172,44	194,68	121,52	168,52
8	136,60	163,76	124,24	165,28	145,20	174,36	114,76	152,80
9	145,52	179,12	118,20	169,36	153,08	184,14	110,16	156,28
10	161,68	204,56	125,28	183,72	176,52	204,12	137,16	184,88
11	173,84	209,72	133,84	194,88	161,28	199,84	127,28	186,00
12	145,32	187,12	113,32	160,64	130,68	183,60	110,40	166,56
13	126,80	175,48	100,16	152,96	153,16	194,48	105,04	159,88
<i>Gemiddelde</i>	<i>140,84</i>	<i>182,09</i>	<i>114,44</i>	<i>166,00</i>	<i>148,92</i>	<i>188,21</i>	<i>115,06</i>	<i>166,37</i>
<i>SD</i>	<i>23,89</i>	<i>18,37</i>	<i>14,77</i>	<i>18,38</i>	<i>18,93</i>	<i>13,34</i>	<i>13,01</i>	<i>15,47</i>

B staat voor bocken, HL voor hardlopen. Het eerste getal staat voor de meting (één of twee) en de twee laatste getallen voor de snelheid (05 of 11 km/u).

Bijlage V – Energieverbruik

Tabel 9 Uitkomsten energieverbruik

Proefpersoon	B105E	B111E	HL105E	HL111E	B205E	B211E	HL205E	HL211E
1	14,04	19,72	9,85	17,04	13,17	20,44	9,32	16,93
2	5,74	15,69	5,15	14,74	11,15	18,39	6,14	14,41
3	8,05	13,84	5,68	10,19	8,35	14,39	5,76	10,76
4	11,78	15,14	6,31	10,28	14,13	16,69	7,70	12,56
5	13,93	18,70	11,15	17,88	15,44	20,55	9,60	15,83
6	13,55	18,55	8,94	15,97	14,67	19,30	7,83	14,17
7	15,61	21,84	9,71	17,52	17,77	21,78	11,29	17,67
8	18,73	24,41	11,67	20,64	16,74	22,85	10,71	19,33
9	12,13	17,57	7,48	13,09	10,22	17,11	7,14	13,79
10	10,55	17,62	6,35	13,41	14,38	20,38	7,00	14,33
<i>Gemiddeld</i>	<i>12,41</i>	<i>18,31</i>	<i>8,23</i>	<i>15,07</i>	<i>13,60</i>	<i>19,19</i>	<i>8,25</i>	<i>14,98</i>
<i>SD</i>	<i>3,71</i>	<i>3,16</i>	<i>2,34</i>	<i>3,38</i>	<i>2,94</i>	<i>2,56</i>	<i>1,89</i>	<i>2,52</i>

B staat voor bocken, HL voor hardlopen. Het eerste getal staat voor de meting (één of twee) en de twee laatste getallen voor de snelheid (05 of 11 km/u). De laatste E staat voor energieverbruik.