

*Het bepalen van Critical Velocity bij
het schaatsen en het onderzoeken
van bijbehorende fysiologische en
technische parameters*

Opleiding Bewegingstechnologie, De Haagse Hogeschool

Tako Tabak 10039775

Juli 2014

Het bepalen van Critical Velocity bij het schaatsen en het onderzoeken van bijbehorende fysiologische en technische parameters

Opleiding Bewegingstechnologie, De Haagse Hogeschool

Tako Tabak, 10039775

1^{ste} begeleidster: Jorine Koopman

2^{de} begeleidster: Monique Berger

*Externe Begeleider: Roy Mulder**

**Faculteit der Bewegingswetenschappen VU Universiteit Amsterdam*

Juli 2014

Voorwoord

Deze scriptie heb ik geschreven in het kader van mijn afstudeerproject voor de opleiding Bewegingstechnologie aan de Haagse Hogeschool. Ik heb het erg interessant gevonden om mijn afstuderen met betrekking tot schaatsen te kunnen doen. Ik ben een Nederlander en dus opgegroeid met schaatsen. Ik vind het super dat ik iets, ook al is het misschien miniem, heb kunnen bijdragen aan de voortgang van deze sport.

Tijdens het schrijven van mijn afstudeerverslag heb ik veel geleerd over hoe het is om onderzoek te doen. Ik heb dit als zeer interessant en leerzaam ervaren. Graag zou ik een aantal mensen bedanken die mij tijdens mijn afstuderen hebben geholpen. Allereerst de masterstudenten van de Vrije Universiteit van Amsterdam, Rene van der Hauw en Wytze van der Zee. Zij hebben mij ontzettend geholpen. Ook wil ik Roy Mulder bedanken voor de opdracht en de feedback, evenals Jorine Koopman en Monique Berger aan wie ik altijd vragen kon stellen en mij hebben geholpen mijn verslag op orde te krijgen. Voor de rest heb ik super veel gehad aan al mijn medestudenten en studenten uit het Expertise Centrum Bewegingstechnologie die ik allemaal een eervolle vermelding in mijn voorwoord verschuldigd ben. Ik had het niet zonder jullie gekund. Als laatste wil ik mijn familie bedanken voor de onvoorwaardelijke steun gedurende mijn opleiding. En ook de wil ik de proefpersonen bedanken die hebben mee geholpen. Zonder hun medewerking was dit nooit gelukt, bedankt.

Veel plezier met het lezen van mijn scriptie.

Tako Tabak,

Den Haag, Juli 2014

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	5
1.1 Onderzoeksvragen	7
2. Methode.....	7
2.1 Proefpersonen	7
2.2 Procedure	7
2.3 Meetopstelling	8
2.4 Bepaling Critical Velocity (CV)	9
2.4.1 Zwemmen naar Wakayoshi et al. (1992)	9
2.4.2 CV bij schaatsen	10
2.5 Bepaling van snelheid CV-10%CP	12
2.6 Snelheid	12
2.7 Zuurstofverbruik.....	13
2.8 Slagfrequentie.....	14
2.9 e hoek bepalen.....	15
3. Resultaten.....	16
3.1a Snelheid	16
3.2.1 Slagfrequentie	20
3.2.2 e hoek.....	21
4. Discussie.....	22
4.1a CV bepalen.....	22
4.1a.1.1 Tijddrit.....	22
4.1a.1.2 Eerste 200 meter.....	22
4.1a.2 De berekeningen	22
4.1a.3 11 minuten rijden op CV.....	23
4.1b Zuurstofverbruik.....	23
4.2. Slagfrequentie en Effectiviteit.....	24
4.2.1 Slagfrequentie	24
4.2.2 Effectiviteit.....	25
5. Conclusie	25
6. Literatuurlijst.....	26
7. Bijlage	28

Samenvatting

DOEL: Doel van dit onderzoek is 1a. Is het mogelijk om een Critical Velocity (CV) te bepalen voor getalenteerde schaatsters? 1b. Rijden de proefpersonen op CV met een steady state in hun zuurstofopname? 2. Is er een relatie tussen slagfrequentie/e hoek en het kunnen volhouden van CV?

METHODE: De CV is bepaald met behulp van Jones et al.(2010) waarbij 4 tijddritten zijn gereden. De snelheden zijn gemeten met behulp van een local measuring system (LPM). De CV is getest door de proefpersonen (n=10) 11 minuten op CV te laten rijden. En op basis van de Koning et al.(2005) is het vermogen op CV geschat en hebben de rijders gereden op de snelheid (CV-10%CP) van 90% van het geleverde vermogen op CV. Hierbij hadden alle proefpersonen een zuurstofmasker om.

RESULTATEN: Niet alle proefpersonen hebben de 11 minuten kunnen voltooien. Op CV hebben 3 proefpersonen het voltooid en op CV-10%CP hebben 7 proefpersonen het voltooid. 9 proefpersonen hebben op CV-10%CP in een steady state gereden en 7 proefpersonen hebben op CV in een steady state gereden. Er is geen relatie gevonden tussen de e hoek en de snelheid.

DISCUSSIE: 1a. Het volhouden van de snelheid is door respectievelijk 3 en 7 proefpersonen voltooid op CV en CV-10%CP. De oorzaken van deze magere resultaten komen door verschillende factoren onder andere door het verkeerd inschatten van het frontaal oppervlakte. 1b. De methode om steady state te definiëren blijkt niet geschikt. Een aantal proefpersonen hebben namelijk een steady state in hun zuurstofverbruik echter hebben de 11 minuten op CV niet kunnen volhouden. De fout in de methode kan komen door het weglaten van de laatste minuut in de berekening voor het bepalen van steady state. 2. Opvallend is dat er geen patroon in de e hoeken te vinden valt. En dat de resultaten niet overeenkomen met Noordhof et al.(2013). De slagfrequentie blijft constant en dit is in overeenstemming met De Boer et al. (1986). De methode voor het bepalen van de parameters is relatief beperkt en zou door meer metingen per ronde van 400 meter betrouwbaarder kunnen worden. Dit zou de mogelijke patronen kunnen verhullen.

CONCLUSIE: 1a. Op basis van de methode gehanteerd in dit onderzoek is het niet mogelijk om CV te bepalen, vermoedelijk door een optelling van fouten in de gebruikte methode en het verkeerd schatten van het frontaal oppervlakte. 1b. Hoewel de proefpersonen niet allemaal de CV test hebben afgerond is er door 7 proefpersonen op CV met een steady state in zuurstofopname gereden. 2. Er is geen relatie gevonden tussen de e hoek en/of slagfrequentie en het kunnen volhouden van CV.

1. Inleiding

Aanleiding onderzoek

Sir Isaac Newton zei ooit "Als ik verder heb gezien dan anderen, komt dat doordat ik op de schouders van reuzen stond." Om er voor te zorgen dat de topsporters verder kunnen gaan (kijken) dan ooit te voren, zullen ze beter inzicht moeten krijgen in wat ze doen. Dan zullen de sporters op de schouders van de wetenschappelijke waarheden moeten gaan staan. Er zal een betere manier moeten komen van feedback geven in het schaatsen. In andere sporten dan het schaatsen is dit veel gebruikelijker. Zo heeft iedere wielrenner ten allen tijde de beschikking over zijn snelheid, hartslag en cadans. Serieuzere renners hebben zelfs de beschikking over het geleverde vermogen. Dan is een schaatscoach spreekwoordelijk een dwerg met zijn rondbord bij iedere kruising.

Het Expertisecentrum Bewegingstechnologie van de Haagse Hogeschool is in samenwerking met de TU Delft en de Faculteit Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit te Amsterdam (VU) een schaatsproject gestart, met als titel 'Real-time feedback voor een betere schaatsprestatie'. Aan dit project zijn een aantal partners verbonden welke een bijdrage leveren aan het verbeteren van de real-time feedback voor een betere schaatsprestatie. De partners zijn InnoSportLab Thialf, Thialf IJstadion, KNSB, Inmotio en OSports.

Het doel van dit schaatsproject is om real-time feedback te geven aan een schaatser en zo de prestatie te optimaliseren. Een van de deelprojecten richt zich op het onderzoek om te achterhalen welke parameters zowel fysiologisch als qua prestatie interessant zijn om terug te koppelen. Het zou bijvoorbeeld interessant zijn voor een schaatser om te kunnen zien waar de schaatser aan moet voldoen (snelheid of vermogen) om de optimale prestatie neer te zetten. In het wielrennen wordt op dit moment veel onderzoek gedaan naar critical power (CP) (Jones et al., 2010; Pringle, et al., 2002). CP van een spier of spiergroep werd in 1965 door Monod and Scherrer (1965) gedefinieerd als "the maximum rate (of work) that it can keep up for a very long time without fatigue". In het schaatsen is het meten van vermogen nog niet mogelijk zoals in het fietsen. In het wielrennen wordt het vermogen gemeten door bijvoorbeeld een SRM-systeem (Schoberer Rad Messtechnik) welke het geleverde moment op de trapas meet.

Schaatsen is een buitengewoon gecompliceerde beweging. De afzet is een zijwaartse beweging en daarmee wordt een voorwaartse (in de baanrichting) snelheidscomponent gegenereerd, waardoor koppelen van de snelheid aan de krachten die een schaatser levert niet eenvoudig is. Wel is het een optie om een afgeleide van CP te bestuderen, namelijk de critical velocity. Dit is een gebruikelijke maat voor sporten waarin het meten van vermogen moeilijk is, bijvoorbeeld zwemmen (Dekerle, J. (2006)), hardlopen (Smith, C. G., & Jones, A. M. (2001)) en roeien (Kennedy, M. D., & Bell, G. J. (2000)).

Een deelproject van het schaatsproject bestaat uit het onderzoeken of het mogelijk is om de snelheid van 100% CP (CV) te bepalen bij schaatsers.

Een schaatser die op CV blijft rijden zal volgens recent onderzoek (Jones et al., 2010) met een steady state zuurstof verbruiken. Schaatsen is een complexe sport en de statische componenten in de beweging zorgen voor een beperking van de bloedstroom (Foster, et al., 1999). De specifieke

schaatshouding zal waarschijnlijk tot vermoeidheid van de lokale spieren leiden. Dit kan er voor zorgen dat een schaatser een andere houding aanneemt, waardoor vervolgens de effectiviteit vermindert. Noordhoff et al. (2013) hebben gevonden dat de verandering van hoek e , de afzethoek van het afzetbeen t.o.v. horizontaal, een maat is voor het veranderen van de snelheid. Van Ingen Schenau et al. (1985) toont aan dat het waarschijnlijk is dat de e hoek een belangrijke parameter is voor de effectiviteit per slag. Hoewel de schaatser minder effectief per slag zal zijn door de verandering van de houding ten gevolge van uitputting, zou de slagfrequentie de afname in effectiviteit compenseren en daarmee het rendement minder snel/niet laten afnemen. Doordat de effectiviteit per slag minder wordt maar het aantal slagen meer, blijft het rendement mogelijk gelijk.

1.1 Onderzoeksvragen

- 1a. Is het mogelijk om een Critical Velocity (CV) te bepalen voor getalenteerde schaatsers?
- 1b. Rijden de proefpersonen op CV met een steady state in hun zuurstofopname?
2. Is er een relatie tussen slagfrequentie/ e hoek en het kunnen volhouden van CV?

2. Methode

2.1 Proefpersonen

Dertien schaatsers, 5 vrouwen, 8 mannen; gemiddelde (STD) leeftijd 19 (1,5) jaar, gewicht 68 (7,5) kg hebben deelgenomen aan het onderzoek. De proefpersonen zijn goed getrainde rijders die rijden voor een regionaal selectie team. Zij zijn geïnstrueerd om de dag voor de meting geen zware inspanning te verrichten. Alle proefpersonen hebben een informed consent getekend en het onderzoek is goed gekeurd door een ethische commissie.

2.2 Procedure

Alle proefpersonen voltooiden op 4 meetdagen vier tijdritten en 2 uithoudingstesten. Vóór iedere meting hebben proefpersonen een warming-up gedaan. De proefpersonen rijden 4 tijdritten in de eerste 2 meetdagen; de 1000, 1500, 3000 en 5000 meter. Op de derde dag werd er 11 minuten op de vaste snelheid van CV, zoals bepaald in paragraaf 2.4, gereden. Op de laatste dag werd er gereden op een snelheid van 90% van de critical power (CP), CV-10%CP, toelichting in paragraaf 2.5. Deze 90% is arbitrair gekozen om een meting te hebben op een lagere snelheid dan CV en er zeker van te zijn dat de snelheid 11 minuten kon worden volgehouden. De proefpersonen rijden de verschillende afstanden in een willekeurige volgorde en in een willekeurige startbaan. In Tabel 1 is een voorbeeld van de gereden afstanden door een proefpersoon te zien.

Tabel 1 Een overzicht van de gereden afstanden en de gemeten parameters. Dit is een voorbeeld van één proefpersoon, de afstanden op de tijdritten op dag 1 en 2 zijn in willekeurige volgorde gereden.

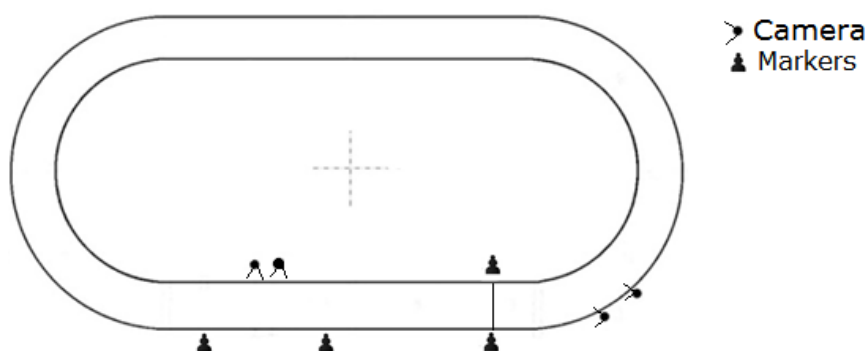
Dag	Afstand	Gemeten parameters
1	1000 m en 3000 m	Snelheid

2	1500 m en 5000 m	Snelheid
3	11 minuten op CV	Snelheid, slagfrequentie, e hoek en zuurstofverbruik
4	11 minuten op CV-10%CP	Snelheid, slagfrequentie, e hoek en zuurstofverbruik

Op de twee dagen dat er op CV en CV-10%CP is gereden, zijn de proefpersonen op hun rondetijden gecoacht. Dit is gedaan door twee verschillende coaches die de proefpersonen in willekeurige volgorde hebben gecoacht. Behalve de rondetijd zijn ook het aantal nog te rijden ronden getoond. De rijders moesten 11 minuten op CV of CV-10%CP rijden. Dit is niet door alle proefpersonen voltooid.

2.3 Meetopstelling

In het verlengde van de rijrichting zijn twee camera's geplaatst gericht op de finish van de 500 meter (Figuur 1). Eén camera wordt gebruikt voor de binnenbaan en de andere camera voor de buitenbaan. Ook zijn er twee camera's geplaatst loodrecht op het sagittale vlak, halverwege het rechte deel van de baan. Hierbij geldt ook dat één camera voor de binnenbaan gebruikt wordt en één camera voor de buitenbaan. Voor alle vier de camera's is een correctie uitgevoerd in verband met het scheef staan van de camera's. Dit is gedaan door middel van twee markers per camera die aan de overkant van de baan geplaatst zijn, zie Figuur 1.

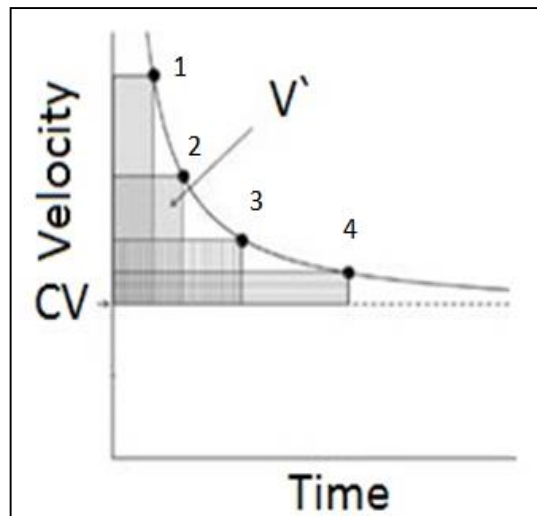


Figuur 1 Een schematische weergave van Thialf, de 400 meter schaatsbaan in Heerenveen. De stippen stellen de 4 camera's voor. Met behulp van de markers op de aangegeven positie is de camerapositie gecorrigeerd.

2.4 Bepaling Critical Velocity (CV)

2.4.1 Zwemmen naar Wakayoshi et al. (1992)

Om meer duidelijkheid te geven over de bepaling van CV wordt het onderzoek van Wakayoshi aangehaald. Hierin is onderzoek gedaan naar de CV van zwemmers, wat een beter inzicht kan geven. Wakayoshi et al. (1992) hebben de proefpersonen op 4 verschillende snelheden laten zwemmen. De hoogste snelheid kan het kortst worden volgehouden, de laagste snelheid het langst. De vier snelheden worden in Figuur 2 weergegeven. De fit door de 4 coördinaten maakt een hyperbool met een asymptoot, dit is CV.

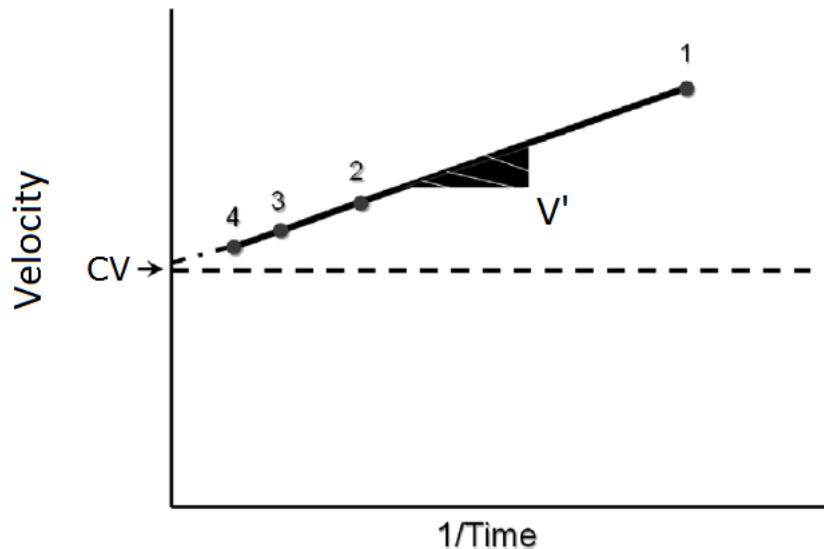


Figuur 2 Aangepast naar M. Jones et al. (2009) een schematische weergave van snelheid ten opzichte van de tijd tot uitputting. Hierin is V' uitgezet als de snelheid die wordt geleverd boven CV. Anders gezegd, de extra snelheid die leidt tot uitputting. In de tekst wordt deze weergave vergeleken met de resultaten van Wakayoshi et al. (1992), echter is er in dat onderzoek op 6 verschillende snelheden gezwommen. Voor de overzichtelijkheid is dit weggelaten.

De snelheden kunnen worden beschreven als vergelijking 1. Hierin is V de gereden snelheid (km/uur), V' is de snelheid boven CV (km/uur), t is de tijd (*seconden*) die de opgelegde snelheid is volgehouden en CV is het critical velocity van de proefpersoon. Wanneer $t = \infty$ wordt de uitkomst van de breuk 0, dan blijft alleen vergelijking 2 over. Omdat er geen grafiek te maken is die tot ∞ gaat is er voor gekozen, voor het bepalen van CV, om de snelheid tegen de inverse van de tijd te plaatsen, immers $1/\infty = 0$ en dit is het snijpunt met de y-as van Figuur 3.

Vergelijking 1 $V = \frac{V'}{t} + CV$

Vergelijking 2 $V = CV$

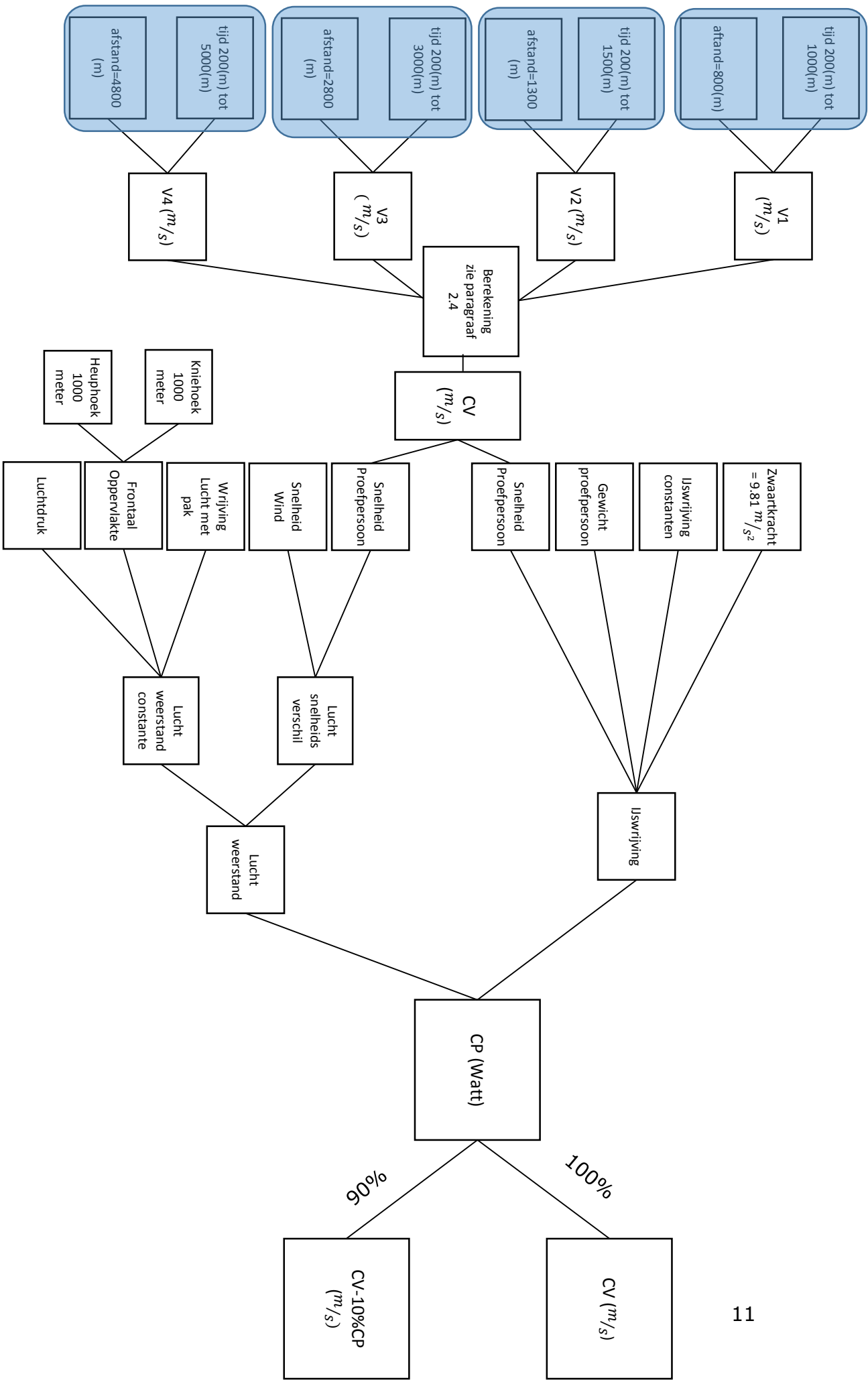


Figuur 3 Aangepast naar M. Jones et al. (2010) een schematische weergave van CV tegen de 1/tijd.

Om de bepaling van CV te verduidelijken, wordt er in dit voorbeeld gekeken naar de snelheid 1.3 m/s . Deze snelheid is weergegeven als nummer 2 in Figuur 2. De y-coördinaat is de gezwommen snelheid en de x-coördinaat is de tijd die deze snelheid is volgehouden. De gezwommen snelheid (V) kan beschreven worden als CV plus de snelheid die boven CV wordt gezwommen (V'). De oppervlakte onder de lijn van CV op tijd x correspondeert met de gezwommen afstand (immers $\frac{m}{s} * s = m$, hierin is m meters en s seconden). De oppervlakte boven CV lijn correspondeert hierdoor met de afstand die meer is afgelegd dan op basis van CV afgelegd zou worden in tijd x .

2.4.2 CV bij schaatsen

Om CV te bepalen bij het schaatsen zijn in dit onderzoeksproject 4 verschillende metingen uitgevoerd door het rijden van tijddritten (Jones et al., 2010). Tijdens de tijddritten hebben de proefpersonen zo hard mogelijk gereden. CV werd bepaald door middel van de gemiddelde snelheid per afstand vanaf 200m na de start tot het einde van de race. De eerste 200m wordt weggelaten vanwege het grote verschil in snelheid met de rest van rit. Deze gemiddelde snelheden werden vervolgens gebruikt om net als bij het zwemmen (Wakayoshi et al., 1992) CV te bepalen.



Figuur 4 Schematische weergave van alle factoren die uiteindelijk CV-10%CP bepalen. Hierbij is ieder gearceerd vlak een aparte tijddrit. En is de tijd tussen de genoemde afstanden de tijd waarmee de snelheid is berekend.

2.5 Bepaling van snelheid CV-10%CP

Om CV-10%CP te bepalen is de critical power (CP) geschat. Het schatten van het geleverde vermogen is gedaan zoals de Koning et al. (2005) dat hebben gedaan. In Figuur 4 is te zien met welke factoren de CP bepaald is.

Voor het bepalen van het vermogen zijn de overwonnen krachten geschat. Zoals in vergelijking 3 te zien is zijn er twee tegenwerkende krachten, de luchtweerstand en de ijswrijving. De ijswrijving wordt geschat met vergelijking 4. Hierin is m de massa van de proefpersoon(kg) en g is hierin de valversnelling van $9,81 \frac{m}{s^2}$.

$$\text{Vergelijking 3} \quad F_{tot} = F_{luchtweerstand} + F_{ijswrijving}$$

$$\text{Vergelijking 4} \quad F_{ijswrijving} = 0.003 * g * m$$

$$\text{Vergelijking 5} \quad F_{luchtweerstand} = \frac{1}{2} \rho \Delta v^2 A_p C_d$$

De tweede kracht die overwonnen wordt door de proefpersonen is de luchtweerstand. Deze is beschreven in vergelijking 5. Hierin is ρ de dichtheid van de lucht ($\frac{kg}{m^3}$), Δv is de relatieve snelheid van de lucht ten opzichte van de proefpersoon($\frac{m}{s}$), A_p is het frontale oppervlak(m^2) en C_d is een dimensieloze grootheid met betrekking tot de stroomlijning. De gebruikte knie- en heuphoeken om de luchtweerstand te berekenen, zijn gemeten op de 1000 meter.

Er is voor gekozen om de proefpersonen niet 90% van CV te laten rijden maar op een snelheid van 90% van de CP. Dit omdat er bij het schatten van het vermogen rekening wordt gehouden met meerdere krachten (zie Figuur 4), waardoor het een vollediger parameter is om aan te passen en te testen dan alleen snelheid. En van het uitgerekende vermogen is 90% genomen om CV-10%CP te bepalen.

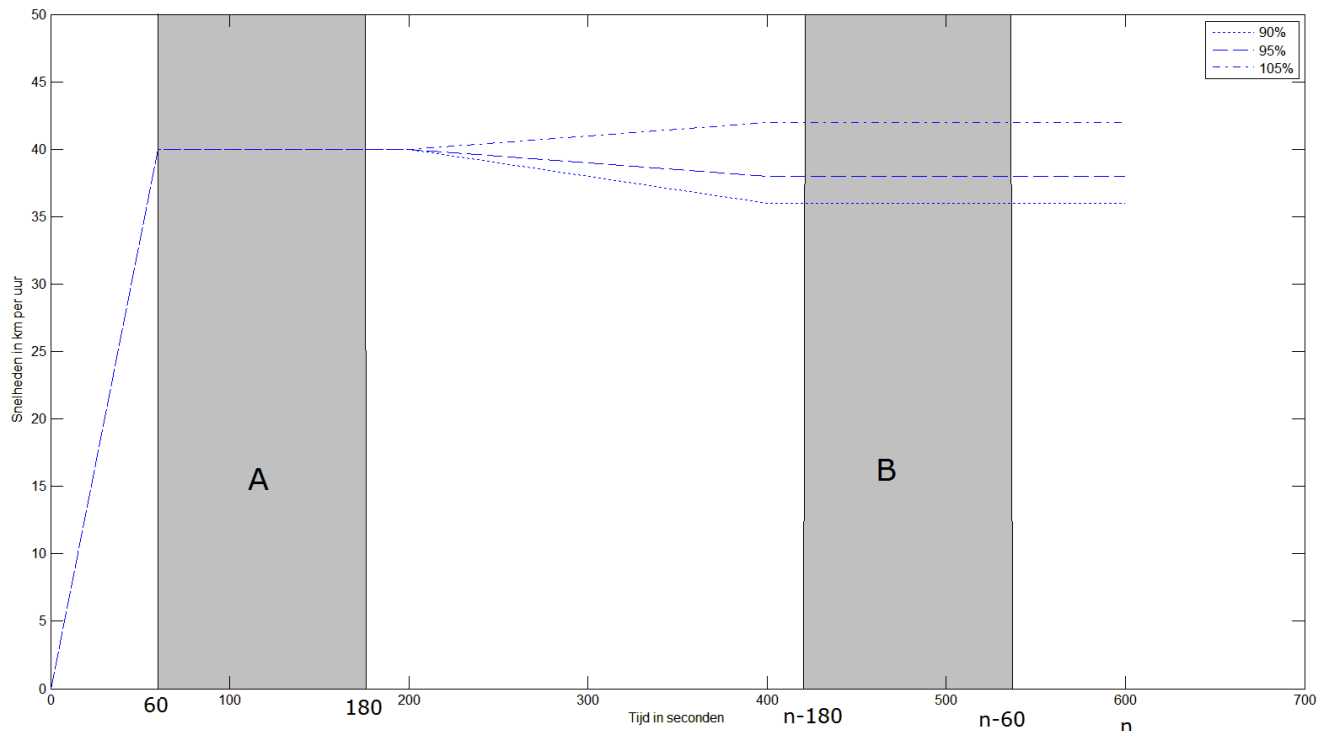
2.6 Snelheid

De rijders hadden tijdens alle metingen een local position measurement-hesje (Stelzer, Andreas 2004) van Inmotio aan ten behoeve van het verzamelen van positiedata. Deze data is gefilterd met een Kalman-filter. Het volhouden van CV is bepaald door te bepalen of de proefpersonen de snelheid stabiel konden rijden. Om te bepalen of de snelheid stabiel is, worden de eerste en de laatste minuut weggelaten, omdat deze het gemiddelde te veel beïnvloeden (Mulder et al 2014). Dit is weergegeven in Vergelijking 6. Hierin is n het aantal seconden van de meting en v de snelheid in meter per seconden op tijdstip i .

$$\text{Vergelijking 6} \quad \frac{\frac{1}{120} \sum_{i=n-180}^{n-60} V(i)}{\frac{1}{120} \sum_{i=60}^{180} V(i)} \geq 0.95$$

Het volhouden (stabiel zijn) van de snelheid is gedefinieerd als de gemiddelde snelheid zich volgens de verhouding in vergelijking 6 gedraagt en dus groter of gelijk is aan 0.95. De snelheid is stabiel wanneer deze vergelijking de arbitraire drempelwaarde ≥ 0.95 is. In het vervolg zal hiernaar worden gerefereerd als snelheidsstabiliteits-index en deze is "waar" als er voldaan is aan de vergelijking.

In Figuur 5 zijn voorbeelden van snelheidsgrafieken te zien. De snelheid daalt in de loop van tijdrit tot 90% van periode A. Deze voldoet dus niet aan vergelijking 6. De 95% en de 105% voldoen wel, voor beide grafieken geldt dat het gemiddelde van periode B minimaal 95% is van het gemiddelde van periode A. Periode A en B mogen geen overlap hebben. Wat betekent dat CV minimaal 6 minuten volgehouden moet worden.



Figuur 5 een schematische weergave van snelheidsgrafiek ter verduidelijking van vergelijking 3 met n als 600 seconden. Periode A loopt van 60 tot 180 seconden en periode B van 420 tot 540. De snelheidsstabiliteits-index is voor grafiek 90% niet waar maar voor 95% en 105% wel waar.

Behalve naar de snelheidstabiliteits-index zal er ook gekeken worden naar de verhouding tussen het berekende CV (wat de rijders zouden moeten rijden) en de gereden snelheid. Hiervan wordt een gemiddelde afwijking ten opzichte van 1 bepaald. Ten slotte zal er worden gekeken naar de gemiddelde standaard deviatie over de gereden snelheid van de rijders, om te kunnen kwantificeren of de proefpersonen veel afwijking hadden tijdens het rijden op CV en CV-10%CP.

2.7 Zuurstofverbruik

Tijdens de laatste 2 dagen reden de proefpersonen op CV en CV-10%CP met een telemetrisch open circuit spirometer (Cosmed k4b2, Cosmed S. R. L., Rome, Italy). Voor de start van iedere meting werd het gasanalyse gedeelte gekalibreerd met zowel de lucht in de ruimte als met een referentiegas (verhouding 16,00% O₂, 5,00% CO₂). Ook werd de volumebepaler gekalibreerd met behulp van een 3 L spuit (Cosmed S. R. L., Rome, Italy). Om te bepalen of de schaatser in een steady state verkeerde zijn de eerste en de laatste minuut niet meegenomen, omdat deze het gemiddelde erg zouden beïnvloeden (Mulder et al.(2014)). Een steady state is gedefinieerd als de gemiddelde VO₂ zich volgens de verhouding in vergelijking 7 gedraagt en dus groter of gelijk is aan de arbitraire drempelwaarde 0.95. Deze is "waar" als er voldaan is aan

vergelijking 7. Hierin is n het aantal seconden van de meting en VO_2 het zuurstofverbruik op tijdstip i .

$$\text{Vergelijking 7} \quad \frac{\frac{1}{120} \sum_{i=n-180}^{n-60} VO_2(i)}{\frac{1}{120} \sum_{i=60}^{180} VO_2(i)} \geq 0.95$$

2.8 Slagfrequentie

Slagfrequentie (f) is gedefinieerd als het gemiddeld aantal afgemaakte slagen per seconden, hierbij gaat het om de slagen op het rechte stuk. De Boer et al. (1986) en van Ingen Schenau et al. (1985) hebben laten zien dat de slagfrequentie verschilt wanneer de schaatser een andere afstand schaatst. Hierbij blijft echter de extern geleverde arbeid per slag gelijk. Dit maakt het waarschijnlijk dat de schaatsers geen verandering vertonen van f wanneer ze op CV rijden. De schaatsers moeten immers dezelfde snelheid blijven rijden.

De slagfrequentie is bepaald door middel van het tellen van het aantal slagen op het rechte stuk met de frontale camerabeelden. Het aantal slagen is vervolgens gedeeld door de tijd tussen de eerste en de laatste slag.

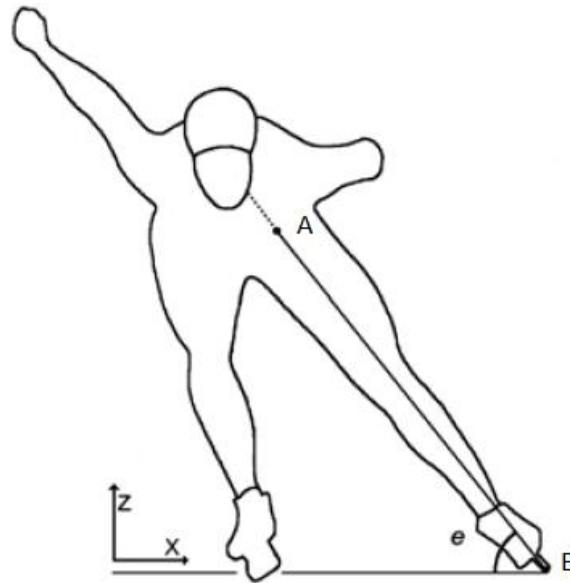
Om een verhoogde slagfrequentie te bepalen zal net als bij de snelheid en het zuurstofverbruik een definitie worden opgesteld (vergelijking 8).

Wanneer vergelijking 8 waar is, wordt de slagfrequentie groter dan 1.05 tijdens de meting. Er is arbitrair gekozen voor een drempelwaarde van 105%.

$$\text{Vergelijking 8} \quad \frac{\frac{1}{120} \sum_{i=n-180}^{n-60} f(i)}{\frac{1}{120} \sum_{i=60}^{180} f(i)} \geq 1.05$$

2.9 e hoek bepalen

Tijdens iedere ronde wordt met een videocamera op een vaste positie de hoek tussen onderbeen en het ijs, de e hoek opgenomen. Noordhoff et al. (2013) hebben hoek e (Figuur 6) al eerder gemeten. Hierbij werd de hoek bepaald die de schaats maakt 2 frames (50Hz) voordat de klapschaats opende. Deze hoek werd bepaald voor links of rechts. Punt A werd bepaald op het midden van het afzet been ter hoogte van de heup en punt B was de punt van de schaats van het afzetbeen. Dit protocol is aangehouden.



Figuur 6 Aangepast van Noordhof et al. (2013) hoek e in het frontale vlak van de schaatser. Punt A is het midden van het afzet been ter hoogte van de heup. En punt B is de punt van de schaats van het afzetbeen. Hierin is e de hoek die lijn AB maakt met horizontaal.

Om te bepalen of de e hoek groter werd tijdens het rijden is er een vergelijking op gesteld. Hierbij worden de eerste en de laatste minuut niet meegenomen (Mulder et al.(2014)). Op basis van vergelijking 9 wordt bepaald of de e hoek vergroot of gelijk blijft, wanneer groter dan de arbitraire drempelwaarde 1.05 is de vergelijking "waar", wordt de hoek groter tijdens de meting. n staat hier weer voor het aantal gereden seconden en e hoek is de e hoek die de proefpersoon op tijdstip i heeft.

$$\text{Vergelijking 9} \quad \frac{\frac{1}{120} \sum_{i=n-180}^{n-60} e \text{ hoek}(i)}{\frac{1}{120} \sum_{i=60}^{180} e \text{ hoek}(i)} \geq 1.05$$

De uitkomsten van e hoek en de snelheidsstabiliteits-index worden vergeleken. Hierbij wordt gekeken of de snelheidsstabiliteitsindex "onwaar" is, wanneer de e hoek verhoogt.

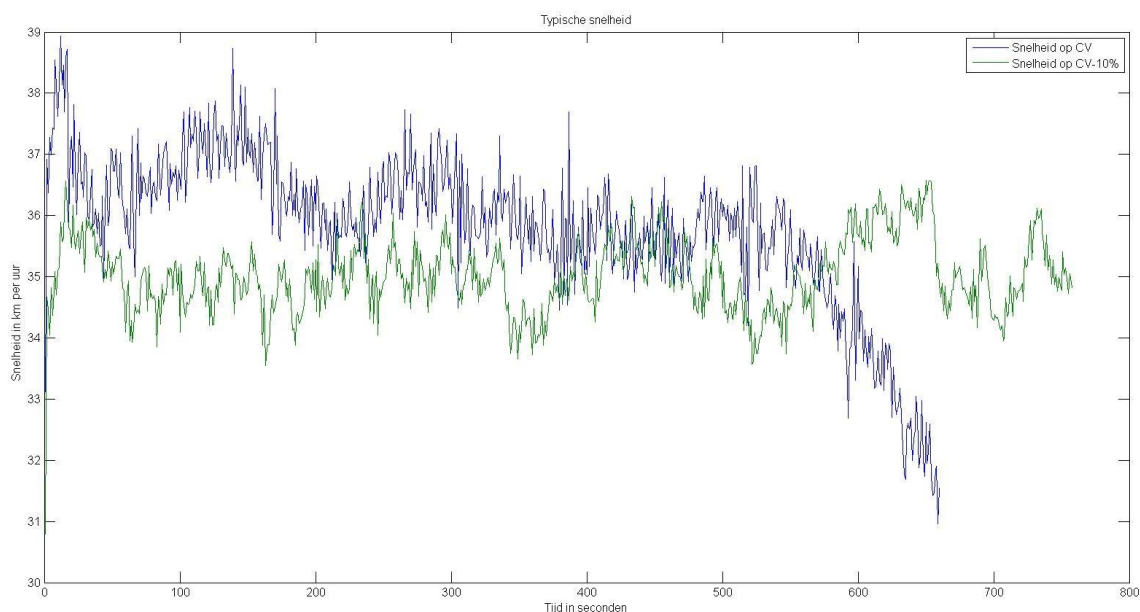
3. Resultaten

Twee proefpersonen konden hun CV niet lang genoeg volhouden, minder dan 6 minuten, om een conclusie over te kunnen trekken. Eén proefpersoon heeft op CV langzamer gereden dan op CV-10%CP, deze uitzonderlijke situatie heeft ook een uitsluiting tot gevolg. De overige 10 rijders zijn in de tabellen opgenomen.

3.1a Snelheid

In Figuur 7 is een typische weergave van de snelheid tegen de tijd weergegeven voor proefpersoon 10. In Tabel 2 zijn de gemiddelde snelheden van de proefpersonen te zien. Tevens is de berekende CV in verhouding met de gereden snelheid te zien. Verder is er te zien of de proefpersonen voldeden aan vergelijking 6, de snelheidsstabiliteitsindex. Ook is te zien of de proefpersoon de 11 minuten op CV en CV-10%CP konden volhouden.

Figuur 7 Een typische weergave van de snelheid tegen de tijd van proefpersoon 10 op CV en CV-10%CP tegen de tijd.



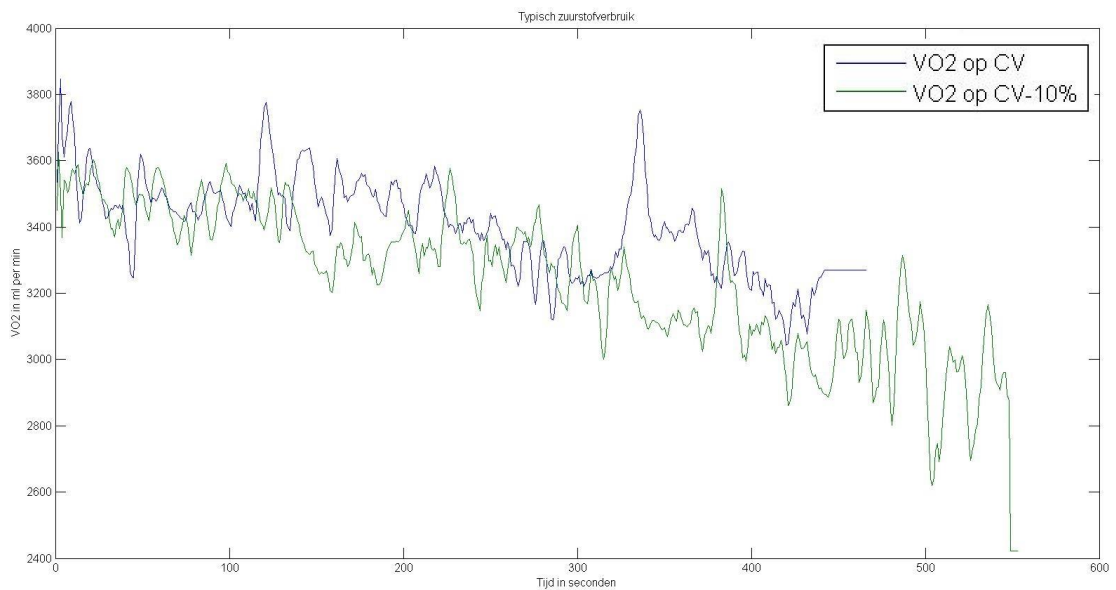
Tabel 2 Een tabel waarin van iedere proefpersoon de uitgerekende snelheid(km/uur), gemiddelde snelheid (km/uur), de standaarddeviatie verhouding tussen de uitgerekende CV en de gereden snelheid, een snelheidsstabiliteits-index (deze is waar of onwaar) en of de 11 minuten voltooid zijn te zien is. Deze waardes zijn te zien voor zowel op CV als CV-10%. De proefpersonen met een * hebben niet aan de voorwaarden voldaan.

Proefpersoon	CV					CV-10%CP				
	Berekende CV in km/uur	gem. gereden V (std) in km/uur	Berekende CV * gem. gereden V ⁻¹	Snelheids stabiliteits-index	11 minuten voltooid op CV	berekend CV-10%CP in km/uur	gem. gereden V in km/uur	Berekende CV-10%CP * gem. gereden V ⁻¹	Snelheids stabiliteits-index	11 minuten voltooid op CV-10%CP
1	43,13	41,29 (1,04)	0,96	Waar	niet uitgereden	41,14	40,60 (0,99)	0,74	Waar	uitgereden
2*	41,07	41,01 (2,36)	1,00			39,13	39,16 (1,00)	0,80		
3*	43,57	39,94 (1,03)	0,92			41,58	40,29 (0,97)	1,03		
4	35,55	35,36 (0,88)	0,99	Waar	uitgereden	33,73	34,66 (1,03)	1,26	waar	uitgereden
5	41,11	39,73 (1,31)	0,97	Waar	niet uitgereden	39,16	38,35 (0,98)	1,18	Waar	uitgereden
6	35,57	35,22 (0,68)	0,99	Waar	uitgereden	33,76	33,84 (1,00)	0,68	Waar	uitgereden
7	35,61	35,00 (1,43)	0,98	Onwaar	niet uitgereden	33,80	34,46 (1,02)	0,82	Waar	uitgereden
8	40,05	38,87 (1,21)	0,97	Waar	niet uitgereden	38,12	37,67 (0,99)	1,77	Waar	niet uitgereden
9	35,71	36,23 (1,22)	1,01	Waar	niet uitgereden	33,91	35,60 (1,05)	0,93	Waar	niet uitgereden
10	36,92	35,80 (1,27)	0,97	Waar	uitgereden	35,06	35,02 (1,00)	0,60	Waar	uitgereden
11	36,41	35,19 (1,54)	0,97	Onwaar	niet uitgereden	34,59	33,95 (0,98)	1,21	Onwaar	niet uitgereden
12	37,46	35,69 (0,90)	0,95	Waar	niet uitgereden	35,60	35,68 (1,00)	1,00	Waar	uitgereden
13*	38,57	37,72 (1,20)	0,98			36,79	35,89 (0,98)	1,35		
Gemiddelde std		1,147					1,019			
Gemiddelde afwijking t.o.v. 1			0,026					0,017		

3.1b Zuurstofverbruik

Figuur 8 is een typische weergave van het zuurstofverbruik tijdens het rijden op CV en het rijden op CV-10%CP voor proefpersoon 8. In Tabel 3 is te zien of de proefpersonen een steady state in het zuurstofverbruik vertoont. Verder is het gemiddelde en de standaarddeviatie van alle proefpersonen te zien.

De 'waar' in Tabel 3 in de steady state kolom komt voor 80% overeen met de snelheidstabiliteit-index uit Tabel 2 voor zowel CV als CV-10%CP. Dit betekent dat 80% van de uitkomsten van de snelheidsstabiliteit-index overeenkomt met de uitkomsten bij de steady state.



Figuur 8 een typische weergave van het zuurstofverbruik in ml per min van een proefpersoon 8 in de tijd (sec). Hierbij wordt zowel de VO_2 op CV als op CV-10% getoond.

Tabel 3 Een tabel waarin van iedere proefpersoon de gemiddelde VO_2 staat weergegeven, de standaarddeviatie en of de proefpersoon in een steady state verkeerde. Deze waarden zijn te zien voor zowel op CV als CV-10%.

Proefpersoon	CV		CV-10%CP	
	gem. VO_2 op CV in ml.min-1 (std)	Steady state	gem. VO_2 op CP-10% in ml.min-1 (std)	Steady state
1	2952,79 (131,53)	Waar	2855,40 (191,89)	Waar
2*	3640,97 (254,57)		3495,29 (229,97)	
3*	3809,83 (187,11)		3176,69 (131,35)	
4	3326,85 (287,26)	Waar	3471,05 (169,10)	Waar
5	3280,69 (270,34)	Waar	2879,19 (360,78)	Waar
6	3094,05 (168,88)	Waar	2550,69 (304,01)	Waar
7	1845,48 (884,30)	Waar	2493,42 (189,10)	Waar
8	3403,58 (142,38)	Waar	3238,29 (223,13)	Onwaar
9	3531,77 (214,57)	Waar	3460,52 (196,44)	Waar
10	1950,73 (266,33)	Onwaar	2432,54 (277,16)	Waar
11	2454,41 (154,49)	Onwaar	2525,09 (125,09)	Waar
12	2586,97 (162,05)	Onwaar	2461,82 (175,01)	Waar
13*	1878,91 (44,63)		2559,89 (168,87)	
gemiddelde	2842,731(243.73)		2836,799(210.92)	

3.2.1 Slagfrequentie

In Tabel 4 is te zien of de proefpersonen de slagfrequentie verhogen, de verhouding tussen de gemiddelden stijgt boven de 105%, volgens de voorwaarde beschreven in paragraaf 2.8.

De kolommen slagfrequentie verhoging uit Tabel 4 zijn vergeleken met de snelheidstabiliteits-index kolommen uit Tabel 2. Hiervan is 40% bij CV en 30% bij CV-10%CP overeenkomstig, beide 'waar' of beide 'onwaar'.

Tabel 4 Een tabel waarin van iedere proefpersoon de gemiddelde slagfrequentie en de standaard deviatie is weergegeven en of de slagfrequentie verhoogd is. 'Waar' geeft een verhoogde slagfrequentie aan en 'onwaar' een gelijkblijvende en verlaagde slagfrequentie. Deze waarde zijn te zien voor zowel CV als CV-10%CP.

proefpersoon	CV		CV-10%CP	
	gem. Slagfrequentie op CV in Hz (std)	slagfrequentie verhoging	gem. slagfrequentie op CV-10%in Hz (std)	slagfrequentie verhoging
1	1,09(0,11)	Onwaar	0,99(0,11)	Onwaar
2*	0,96(0,47)		1,15(0,08)	
3*	1,10(0,13)		0,96(0,07)	
4	0,92(0,09)	Onwaar	1,05(0,10)	Onwaar
5	1,06(0,09)	Onwaar	1,09(0,11)	Onwaar
6	1,03(0,10)	Onwaar	0,97(0,10)	Onwaar
7	1,05(0,08)	Onwaar	0,96(0,09)	Onwaar
8	0,93(0,06)	Waar	1,03(0,08)	Onwaar
9	1,03(0,08)	Waar	0,82(0,07)	Waar
10	1,16(0,13)	Onwaar	1,02(0,05)	Waar
11	1,04(0,08)	Waar	1,03(0,09)	Waar
12	1,02(0,08)	Waar	0,82(0,07)	Onwaar
13*	1,00(0,08)		1,00(0,07)	
gemiddelde	1,04 (0.12)		0,98(0.08)	

3.2.2 e hoek

In tabel 6 is de gemiddelde e hoek van de proefpersonen op CV en CV-10%CP te zien. Ook is de standard deviatie te zien. Verder is er te zien of de e hoek vergroot is.

Er is respectievelijke 40% en 30% overeenkomst, zie paragraaf 2.9, tussen de e hoek vergroting en de snelheidsstabiliteit-index.

Tabel 5 Een tabel met de gemiddelde e hoek van de proefpersonen op CV en CV-10%CP . Ook is de standard deviatie te zien. Verder is er te zien of de e hoek vergroot is.

proefpersoon	CV		CV-10%CP	
	gem. e hoek op CV in graden (std)	E-hoek vergroting op CV	gem. e hoek op CV-10% in graden (std)	E-hoek vergroting op CV-10%CP
1	59,43(2,50)	Onwaar	56,49(3,13)	Onwaar
2*	59,22(1,50)		59,41(2,68)	
3*	59,99(2,38)		58,23(2,26)	
4	63,12(2,73)	Onwaar	58,46(3,09)	Onwaar
5	58,58(3,63)	Onwaar	57,50(2,71)	Onwaar
6	60,19(2,40)	Onwaar	59,65(2,41)	Waar
7	59,68(2,00)	Onwaar	55,76(1,57)	Onwaar
8	58,52(1,53)	Waar	58,94(1,83)	Onwaar
9	64,05(2,29)	Waar	57,64(1,42)	Waar
10	61,31(2,60)	Waar	60,99(2,65)	Waar
11	59,51(2,68)	Waar	57,86(1,86)	Waar
12	60,83(1,47)	Waar	55,52(1,54)	Onwaar
13*	57,95(2,07)		58,24(3,04)	
gemiddelde	60,47 (2,38)		57,91(2,22)	

4. Discussie

Dit onderzoek had 3 onderzoeksvragen, 1a. Is het mogelijk om een Critical Velocity (CV) te bepalen voor getalenteerde schaatsters? 1b. Rijden de proefpersonen op CV met een steady state in hun zuurstofopname? 2. Is er een relatie tussen slagfrequentie/e hoek en het kunnen volhouden van CV?

4.1a CV bepalen

Het volhouden van de snelheid voor het tijdsinterval van 11 minuten is door respectievelijk 3 en 7 proefpersonen voltooid op CV en CV-10%CP. Er is met een standaard deviatie gereden van respectievelijk 1,147 en 1,019 km/uur op CV en CV-10%CP. Verder is de gemiddelde afwijking ten opzichte van 1 bij CV 0.026% en bij CV-10%CP 0.017%. De oorzaken van deze lage resultaten worden uitgewerkt in verschillende onderdelen. Eerst wordt gekeken naar de tijdritten om CV te bepalen. Vervolgens naar de berekeningen om van de tijdritten CV te bepalen. En als laatste naar de testen om CV te controleren.

4.1a.1.1 Tijdrit

De ideale methode was om de proefpersonen op een bepaalde snelheid tot uitputting te laten rijden. Dit is niet gedaan. Er zijn afstanden vastgezet en de opdracht was om deze in de kortste tijd af te leggen. Met als gevolg dat er individuele strategieën zijn toegepast om dit doel te bereiken, proefpersonen hebben niet stabiel op één snelheid gereden. Ook is mogelijk dat de proefpersonen bij de finish nog energie over hadden en dus niet tot uitputting hebben gereden.

4.1a.1.2 Eerste 200 meter

Om CV te bepalen zijn er 4 afstanden gereden. Uit deze afstanden is de gemiddelde snelheid bepaald en vervolgens CV. Echter is vanwege het starten, de eerste 200 meter niet mee genomen. Hierin hebben de rijders energie verbruikt maar de energie is niet meegenomen in de berekening van CV.

Dit is een groot verschil met Wakayoshi et al. (1992), omdat in dat onderzoek de zwemmers werden geïnstrueerd om direct een bepaalde snelheid te zwemmen. Door de sprong in het water zwommen zij vrijwel direct op de juiste snelheid tot het moment van uitputting.

4.1a.2 De berekeningen

De ideale methode om de snelheid die oneindig volgehouden kan worden te bepalen is om van iedere tijdrit het geleverde vermogen tegen de tijd tot uitputting uit te zetten in een grafiek, dit is niet gedaan. Om CV te bepalen is niet gekeken naar het geleverde vermogen, alleen naar de gemiddelde snelheden. Om CV-10%CP te bepalen zijn de knie- en heuphoeken van de 1000 meter gebruikt.

Bij het rijden van de 1000 meter zijn de hoeken kleiner dan de hoeken bij een rit gedurende 11 minuten. Het gevolg hiervan is dat het frontale oppervlakte en daarmee de luchtweerstand vergroot en de gereden snelheid zal hierdoor dalen. De gereden snelheid op CV-10%CP komt mogelijk dichtbij de juiste CP. Hier wordt nog verder onderzoek naar gedaan door de VU door knie en heupen hoeken te bepalen tijdens het rijden op CV-10%CP en hiermee het gemiddeld geleverde vermogen te bepalen.

4.1a.3 11 minuten rijden op CV

Tussen de gereden snelheid en de gewenste snelheid (de berekende CV of CV-10%CP) is een verhouding bepaald. Hiervan is een gemiddelde afwijking ten opzichte van 1 bij CV 0.026% en bij CV-10%CP 0.017%. Dit betekent dat de rijders de juiste snelheid reden. Echter is het percentage waarover de gemiddelde afwijking is bepaald, berekend met gemiddelde snelheden. Het is dus mogelijk dat de rijders erg schommelen rondom de juiste snelheid. Dit is dan ook te zien aan een gemiddelde standaard deviatie van respectievelijk 1,147 en 1,019 km/uur op CV en CV-10%CP.

Het rijden op CV is door respectievelijk 3 en 7 proefpersonen voltooid op CV en CV-10%CP. Dit is erg weinig en er zal dus verder onderzoek gedaan moeten worden omdat de oorspronkelijke methode niet valide genoeg blijkt te zijn. De eerder genoemde verandering van de houding ten gevolge van de duur zou een verklaring kunnen zijn voor de te hoge CV.

De procedure om CV te testen is niet optimaal. Het blijkt lastig om proefpersonen precies de juiste snelheid te laten rijden. Dit kan komen omdat het lastig is om de juiste snelheid aan te geven of om die snelheid constant te blijven rijden. De proefpersoon krijgt maar eens per iedere 400 meter een terugkoppeling van zijn snelheid. Dit houdt in dat er circa 20 keer feedback gegeven kan worden in 11 minuten.

4.1a.3.1 LPM meetsysteem

De nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van het meetsysteem van de positie data zijn in van der Kurk et al.(2013) bekritiseerd. Echter wordt er in dit onderzoek niet de snelheid gemeten die de proefpersonen rijden. Er wordt gemeten op maximaal 25 km/uur terwijl de proefpersonen tussen de 35 en 40 km/uur rijden. Ook wordt er gekeken naar het verschil in positie in de richting loodrecht op de rijrichting. Dit zou gezien het Kalmanfilter, waarvan niet bekend is wat de parameters zijn, niet volledig kunnen zijn. Er kunnen andere filters gebruikt worden in x en y richting. Hier wordt nog verder onderzoek naar gedaan. Dit zou alle variatie in de snelheid kunnen verklaren of meer variatie kunnen verhullen en alles daar tussenin.

4.1b Zuurstofverbruik

De tweede onderzoeksvraag was het onderzoeken of de rijders ook een steady state in het zuurstofverbruik lieten zien wanneer deze op CV reden. Van de 10 proefpersonen die aan alle voorwaarden voldeden, hebben er respectievelijk 8 en 10 met een steady state gereden op CV en CV-10%CP, volgens de gebruikte index. De overeenkomst met de snelheid op beide snelheden van 80% is hoog, dit is gedaan met de relatief weinig proefpersonen(n=10). Er is geen geschikte statistische test gevonden om een significante conclusie te kunnen trekken. Er zal veel dieper in gegaan moeten worden op welke statistische testen hier voor geschikt zijn. Op basis van deze resultaten hebben de meeste proefpersonen op CV en voornamelijk op CV-10%CP met een steady state in het zuurstofverbruik gereden. Echter hebben de meeste proefpersonen zeker op CV de snelheid niet kunnen voltooien. Het zou dan ook niet kloppen als de proefpersonen wel in steady state hebben gereden maar CV niet konden volhouden. Dus, het zou kunnen dat de controle van CV niet klopt en 11 minuten op deze snelheid rijden niet de manier is om dit te testen. Een meer aannemelijkere

verklaring is dat de methode voor de bepaling van de steady state niet klopt. Dit zou kunnen komen doordat de laatste minuut wordt weggelaten. Dit is gedaan naar aanleiding van Mulder et al.(2014). Echter kan de laatste minuut zeer waardevol zijn, omdat dit het moment van uitputting is. Verder is opvallend, maar verklaarbaar, dat de VO_2 waardes afnemen en het anaerobe verbruikt stijgt. De proefpersonen blijven dus evenveel CO_2 produceren terwijl er minder O_2 wordt gebruikt. Dit zou onder andere kunnen komen door de statische aard van de schaatshouding (Foster, et al.,1999). De rijders gaan meer anaeroob verbranden en deze anaerobe voorraad kan maar deels worden aangevuld, wat uiteindelijk leidt tot uitputting. De rijders moeten dus de waterstofcarbonaatbuffer steeds verder aanspreken. Dit zou de verhoogde ademfrequentie verklaren omdat vervolgens de CO_2 uitgeademd moet worden. Het rendement is dus niet zo veel gedaald dat het VO_2 verbruik stijgt terwijl de snelheid daalt. Dit is wel te verwachten wanneer het rendement erg zou dalen. Dan zou er immers veel meer energie verbruikt moeten worden om dezelfde snelheid te blijven rijden. Het is ook nog mogelijk dat het rendement daalt, maar dat dit door de beperkte bloedtoevoer niet kan worden opgevangen met meer zuurstof verbruik. Dit zou een nog snellere stijging van het anaerobe verbruik veroorzaken, omdat er dan nog meer anaerobe energie verbruikt moet worden. Maar er is op basis van de VO_2 , zonder de eerste en de laatste minuut, en snelheid data te verwachten dat het technische aspect niet heel veel verschil maakt.

4.2. Slagfrequentie en Effectiviteit

De derde onderzoeksvraag was het onderzoeken of er een relatie is tussen de effectiviteit en/of slagfrequentie en het kunnen volhouden van CV. Hierbij is eerst gekeken of de slagfrequentie verhoogt in de loop van meting. Vervolgens is gekeken of de e hoek veranderd.

4.2.1 Slagfrequentie

De gevonden resultaten, respectievelijk 40% en 30% op CV en CV-10%CP waarin de slagfrequentie steeg overeenkomstig met een stabiele snelheid en een standaard deviatie van 0,12Hz op CV en 0,08 Hz op CV-10%CP, zijn in overeenkomst met de verwachting op basis van De Boer et al. (1986). In dat onderzoek werd gevonden dat de rijders de slagfrequentie aanpassen voor de snelheid die gereden wordt. In dit onderzoek hebben de rijders ongeveer een constante snelheid gereden. Er is dan ook door de proefpersonen met een constante slagfrequentie gereden op CV en CV-10%CP. En de gemeten slagfrequentieverhoging van 40% en 30% is waarschijnlijker een teken dat definitie van de verhoging niet klopt. Want het algemene beeld is een constant slagfrequentie, dit is dan ook te zien aan de standaard deviatie.

Om de slagfrequentie te bepalen is in dit geval het gemiddelde van een heel recht stuk genomen. Er is geteld hoeveel slagen er zijn afgemaakt en de tijd tussen de eerste en de laatste slag is bepaald. Dit kan verbeterd worden door de tijd die iedere slag kost te meten en hiervan een gemiddelde per ronde te bepalen. Deze methode zou of erg arbeidsintensief zijn of er moet gekeken worden naar een algoritme op basis van accelerometers op het lichaam. De rijders hebben geen accelerometers gedragen en om praktische reden is afgezien van individueel tellen. Ook zou dit kunnen zijn gedaan op basis van zeer nauwkeurige positie data maar deze is de LPM positie dat nog niet nauwkeurig genoeg.

4.2.2 Effectiviteit

Opvallend is dat er geen patroon in de e hoeken te vinden valt. De e hoek is gedefinieerd als de hoek van het ijs met de lijn tussen de punt van de schaats en het midden van de heup, lijn AB in Figuur 6. Hoewel dit een interessante maat is, is dit niet de maat die wordt gebruikt door van Ingen Schenau et al. (1986). Deze is echter niet gekozen uit praktische overwegingen. De resultaten komen niet overeen met Noordhoff et al. (2013), omdat in dit onderzoek een significante overeenkomst is gevonden met het verschil in e hoek tijdens de 5000 meter tegen de verandering van snelheid. In het huidige schaatsproject is gekeken naar ongeveer 11 minuten rijden op CV of CV-10%CP. Dit zijn andere afstanden, maar CV is afgeleid van onder andere de 5000 meter.

Dat er geen patroon te vinden is in de e hoek zal in een vervolg onderzoek verder uitgezocht moeten worden. Het is mogelijk dat de validiteit van de meting te klein is. Dit kan komen door verkeerde dataverwerking. Ook zou dit kunnen komen doordat de slag waarvan de e hoek is bepaald te dicht op de bocht is. Dit is niet te verwachten, omdat Noordhof et al. (2013) van een vrijwel identieke locatie de e hoek heeft bepaald. Dit lijkt dus uitgesloten. Wel blijft het feit dat er maar op 1 moment in de 400 meter een waarde is bepaald. Deze waarde wordt als gemiddelde van die ronde genomen, wat de kans op fouten door die ene opname veel groter maakt. Er zal een vervolg onderzoek moeten plaatsvinden om te bepalen of het een redelijke aanname is om de e hoek van 1 punt als gemiddelde voor de hele ronde te nemen. De huidige methode levert geen relatie op tussen het volhouden van CV en de verandering in e hoek.

5. Conclusie

Dit onderzoek had 3 onderzoeksvragen:

1a. Is het mogelijk om een Critical Velocity (CV) te bepalen voor getalenteerde schaatsers?

1b. Rijden de proefpersonen op CV met een steady state in hun zuurstofopname?

2. Is er een relatie tussen slagfrequentie/e hoek en het kunnen volhouden van CV?

Hierover is het volgende geconcludeerd.

1a. Op basis van de methode gehanteerd in dit onderzoek is het niet mogelijk om CV te bepalen, vermoedelijk door een optelling van fouten in de gebruikte methode en het verkeerd schatten van het frontaal oppervlakte.

1b. Hoewel de proefpersonen niet allemaal het volledige tijdsinterval de CV hebben kunnen volhouden is er meestal wel op een steady state gereden.

2. Er is geen relatie gevonden tussen de e hoek en/of slagfrequentie en het kunnen volhouden van CV. In tegenstelling met Noordhof et al. (2013) waar wel een relatie is gevonden tussen de verandering van snelheid en de verandering van e hoek. De proefpersonen hadden tijdens de rit een constante slagfrequentie en er is geen relatie gevonden tot het volhouden van het volledige tijdsinterval op CV en CV-10%CP.

6. Literatuurlijst

- de Boer, R. W., Schermerhorn, P., Gademan, J., de Groot, G., & van Ingen Schenau, Gerrit Jan. (1986). Characteristic stroke mechanics of elite and trained male speed skaters. *Int J Sport Biomech*, 2, 175-185.
- de Koning, J. J., Foster, C., Lampen, J., Hettinga, F., & Bobbert, M. F. (2005). Experimental evaluation of the power balance model of speed skating. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 98(1), 227-233. doi:98/1/227 [pii]
- Dekerle, J. (2006). The use of critical velocity in swimming. A place for critical stroke rate. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(Supl 2), 201-205.
- Foster, C., Rundell, K. W., Snyder, A. C., Stray-Gundersen, J., Kemkers, G., Thometz, N., . . . Knapp, E. (1999). Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(10), 1433-1440.
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., & Poole, D. C. (2010). Critical power: Implications for determination of VO₂max and exercise tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(10), 1876-1890.
- Kennedy, M. D., & Bell, G. J. (2000). A comparison of critical velocity estimates to actual velocities in predicting simulated rowing performance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 25(4), 223-235.
- E. van der Kruk, O. den Braver, F.C.T. van der Helm, H.E.J. Veeger, and A.L. Schwab(2013) Collecting accurate 3D kinematic data of speed skaters on an icerink.(confidential, request the author for a copy to read only)
- Monod, H., & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8(3), 329-338.
- Mulder, R., Noordhof, D., Malterer, K., Foster, K., & de Koning, J. (2014). Anaerobic work calculated in cycling time trials of different length. Unpublished manuscript.
- Noordhof, D. A., Foster, C., Hoozemans, M. J., & De Koning, J. J. (2013). Changes in speed skating velocity in relation to push-off effectiveness. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 8(2)
- Smith, C. G., & Jones, A. M. (2001). The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *European Journal of Applied Physiology*, 85(1-2), 19-26.
- Stelzer, A., Pourvoyeur, K., & Fischer, A. (2004). Concept and application of LPM-a novel 3-D local position measurement system. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 52(12), 2664-2669.
- van Ingen Schenau, GJ van, De Groot, G., & De Boer, R. (1985). The control of speed in elite female speed skaters. *Journal of Biomechanics*, 18(2), 91-96.
- van Ingen Schenau, G., De Groot, G., & Hollander, A. (1983). Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(3), 343-354.

Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1992). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(2), 153-157

7. Bijlage

PROJECTVOORSTEL CRITICAL VELOCITY M.B.T. TECHNISCHE EFFECTIVITEIT

Naam: Tako Tabak
Studentnummer: 10039775
E-mail: TakoTabak@gmail.com
Behaalde studiepunten: 63
Datum: 4-3-2013

CRITICAL VELOCITY TIJDENS HET SCHAATSEN

Werkveld: Sport

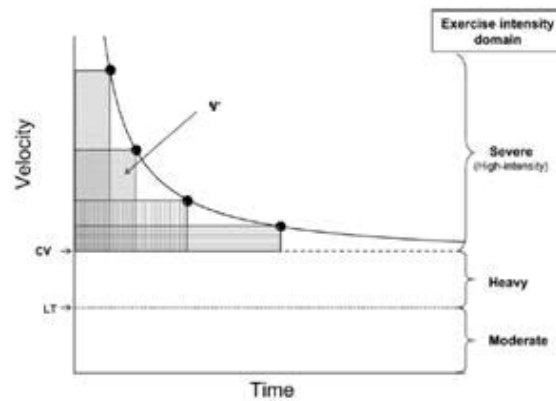
Beroepsrol: Onderzoeker

PROBLEEMSTELLING

Sir Isaac Newton zei ooit "Als ik verder heb gezien dan anderen, komt dat doordat ik op de schouders van reuzen stond." Om er voor te zorgen dat de topsporters verder kunnen gaan(kijken) dan ooit te voren zullen ze beter inzicht moeten krijgen in wat ze doen. Zullen ze op de schouders van de wetenschappelijke waarheden moeten gaan staan. Er zal een betere manier moeten komen van feedback. In andere sporten dan het schaatsen is dit veel gebruikelijker. Zo heeft iedere wielrenner te allen tijde de beschikking over de snelheid, veel hebben de beschikking over hun hartslag en cadans en serieuzere renners hebben zelf de beschikking over het geleverde vermogen. Dan staat een schaatscoach wel voor dwerg met zijn rondebord iedere ronden.

In samenwerking met de TU Delft en de faculteit Bewegingswetenschappen aan de VU is er een schaatsproject opgericht. Aan dit project zijn een aantal partners verbonden welke een bijdrage leveren aan het verbeteren van de Real-time feedback voor een betere schaatsprestatie. De partners zijn InnoSportLab Thialf, Thialf IJstadion, KNSB, Inmotio, OSports.

Het doel van dit schaatsproject is om real-time feedback te geven aan een schaatser en op die manier de prestatie te optimaliseren. Hierin zou het ideaal zijn om te kunnen zien hoe hard (snelheid of vermogen) de schaatser moet rijden om de optimale prestatie neer te zetten. In het wielrennen wordt op dit moment veel onderzoek gedaan naar critical power(CP)¹. CP van een spier of spiergroep werd in 1965 door Mondod and Scherrer³ gedefinieerd als "the maximum rate (of work) that it can keep up for a very long time without fatigue". In het schaatsen is het bepalen van CP nog niet mogelijk zoals in het fietsen. In het wielrennen wordt het vermogen gemeten worden door bijvoorbeeld een SRM-systeem (Schoberer Rad Messtechnik) welke het geleverde moment op de crank meet. Schaatsen is een buitengewoon gecompliceerde beweging waardoor het meten van krachten die een schaatser levert niet eenvoudig te meten zijn. Wel is een optie om een afgeleide van CP te bestuderen namelijk critical velocity (CV). Allereerst moet bepaald worden of het mogelijk is om CV te bepalen bij schaatsers.



Figuur 1 Aangepast naar M. Jones (2009) een schematische weergave van vermogen ten opzichte van de tijd tot uitputting. Hierin is V' uitgezet als het snelheid die word geleverd boven CV. Anders gezegd de snelheid die leidt tot uitputting.

Critical Velocity (CV)

CV is de maximale snelheid die vol gehouden kan worden zonder uitputting. Deze snelheid is in andere sporten al eerder bestudeerd. Wakayoshi et al.⁷ en Brickley et al.⁶ verkregen al eerder stabiele lactaat waardes op Critical Stroke Velocity (CSV) in het zwemmen. CSV is, zoals de naam suggereert, de optimale slagsnelheid die theoretisch oneindig vol gehouden kan worden zonder uitputting.⁵ Deze stabiele lactaat waardes ($\approx 3-4 \text{ mmol.l}^{-1}$) werden gevonden tijdens blokken van 400 meter zwemmen. Na iedere 400 meter had de proefpersoon 30 seconden rust om de bloedmonsters te kunnen afnemen. Deze rustpauzes kunnen er echter aan hebben bijgedragen dat de proefpersonen een relatief gelijke effectiviteit gehouden hebben.

$$\text{time to exhaustion} = CV * e^{1/V'} \quad (1)$$

De tijd die een proefpersoon een bepaalde snelheid kan volhouden is te zien in Figuur 1. De tijd tot uitputting kan uit de grafiek gedefinieerd worden volgens vergelijking 1. Dit betekende dat de grafiek een asymptoot heeft. Met deze asymptoot wordt bedoeld er op deze snelheid de uitputting oneindig is. Ook is te zien dat de snelheid die gegenereerd word boven CV tot een bepaalde tijd tot uitputting lijdt. In bijlage 2 is een voorbeeld te zien van de auteurs eigen CV. Dit is er onnauwkeurig en grof gedaan om een indicatie te geven van de werking van CV.

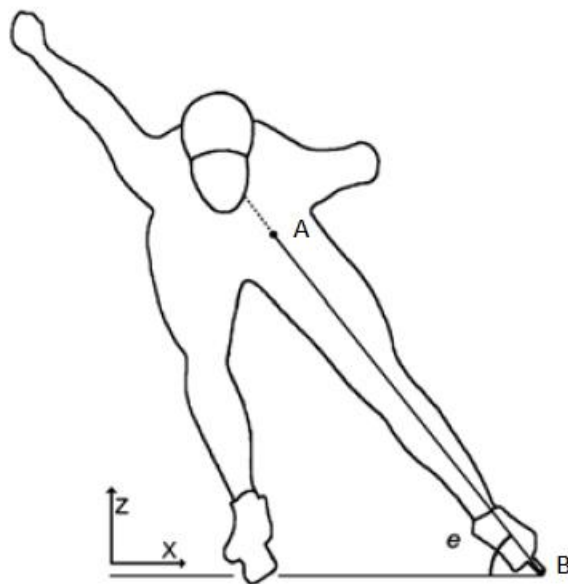
Onderzoek

Een promovendus van de faculteit Bewegingswetenschappen van de VU (Roy Mulder) doet onderzoek naar het bepalen van CV bij schaatsen. Om CV te bepalen zijn 4 verschillende metingen nodig. CV gaat bepaald worden door het rijden van tijdritten. Tijdens de wedstrijden zullen de proefpersonen zo hard mogelijk rijden om op basis van de verkregen data CV te bepalen. Het rijden van tijdritten is voor een schaatser een bekende wedstrijdvorm. CV zal berekend worden op basis van de gemiddelde snelheid in 4 verschillende tijdritten van 1000, 1500, 3000 en 5000 meter. CV wordt bepaald door

middel van de gemiddelde snelheid van de 200m na de start tot het einde van de race. Deze snelheden zijn te zien in Figuur 1 als $CV + W'$. Een tijd tot uitputting is de tijd die de rijders de gemiddelde snelheid rijden.

In dit project zal onderzocht worden of het bepalen van CV in schaatsers mogelijk is. In dit deelproject zal er worden onderzocht of de VO_2 van een schaatser een steady state houdt tijdens het rijden op CV. CV is een afgeleiden van CP echter kan het vermogen ook verloren gaan in bijvoorbeeld verminderde effectiviteit, luchtdruk of een botte schaats. Om te bepalen of CV valide is zal er worden gekeken of het VO_2 een steady state houdt. Om na te gaan of de schaatser bij een mindere steady state zijn energie verliest in zijn techniek wordt de effectiviteit gemeten.

De effectiviteit zal gemeten worden door het bepalen van hoek e en het bepalen van het aantal slagen op het rechte stuk. De slagfrequentie zou namelijk de vergrote hoek in e kunnen compenseren doordat de effectiviteit per slag minder wordt en het aantal slagen meer wordt.



Figuur 2 Aangepast van Noordhof et al. (2013) hoek e in het frontale vlak van een schaatser.

Figuur 2⁴ laat de afzethoek, hoek e , zien in het frontale vlak. In eerder onderzoek⁴ is hoek e in iedere ronde uit 1 schaatsslag bepaald. Hierbij werd de hoek bepaald die de schaats maakt 2 frames (50Hz) voor dat de klapschaats opende. Om de hoek in het frontale vlak te bepalen stond de camera loodrecht op de rij richting. Punt A werd bepaald op het midden van het afzet been ter hoogte van de heup. En punt B was de punt van de schaats van het afzet been. De resultaten van deze studie lieten zien dat er een significante relatie lijkt te zijn tussen Δe en Δv .⁴ Hierin is Δv het gemiddelde verschil in snelheid (vertraging) van iedere ronde bij een wedstrijd over 5000 meter.

Dit maakt dan ook 2 vraagstellingen: Kan een schaatser die op CV rijdt een steady state houden in de VO_2 waardes?

Is de technische effectiviteit een betrouwbare maat om te bepalen of schaatser op CV een steady state kunnen houden?

Hypothese:

De CV is alleen een valide maat, een steady state in de VO_2 , wanneer de schaatser in staat is de effectiviteit gelijk te houden. De effectiviteit, de verhouding energie verbruik en technische parameters, gemeten door middel van afzethoek en slagfrequentie zal een betrouwbare maat zijn of de schaatser op zijn CV een steady state heeft.

METHODE

Er wordt door minimaal 10 proefpersonen geschaatst. De proefpersonen schaatsen ieder 4 afstanden die in het langebaan schaatsen gebruikelijk zijn, de rijders rijden alleen, zoals bij wielrennen een tijddrit wordt gereden. De afstanden zijn 1000, 1500, 3000 en 5000 meter, de rijders hebben tijdens alle metingen een mylaps-transponder om de enkel ten behoeve van het verzamelen van data. In tabel 1 is opgenomen hoe de metingen worden uitgevoerd.

Datum	Inhoud	Meetinstrumenten
11 maart 2014	2 afstanden rijden tbv CV bepalen	Mylaps transponder + videobeelden
12 maart 2014	2 nieuwe afstanden tbv CV bepalen	Mylaps transponder + videobeelden
13-16 maart	Bepalen van CV van alle rijders	
17 maart 2014	12 ronden op CV rijden ter validatie van CV	Mylaps transponder + videobeelden + oxycon
18 maart 2014	12 ronden op CV+5% rijden ter validatie van CV	Mylaps transponder + videobeelden + oxycon

Tabel 1 Overzicht van metingen om CV te bepalen en te valideren.

Door Roy Mulder is er een meetprotocol (bijlage) opgesteld om CV te valideren bij schaatsen. Als toevoeging op het meetprotocol worden er camera's geplaatst recht voor het rechte stuk om e te bepalen.

De uitkomstparameters uit dit onderzoek zijn VO_2 , hoek e en slagfrequentie.

Dataanalyse **VO_2**

Met behulp van een nog te ontwikkelen algoritme zal de data worden geanalyseerd. Hieruit moet naar voren komen of de VO_2 in een steady state verkeerd. Daarbij wordt de afwijking van het gemiddelde bepaald. Op basis van deze afwijking en de in de literatuur gevonden standaard zal een conclusie moeten worden getrokken of de schaatser met een steady state heeft gereden.

Techniek

De technische efficiëntie zal worden bepaald aan de hand van de videobeelden. Hiervoor zal met behulp van Kinovia de hoek e en de slagfrequentie worden bepaald. Tussen validiteit van CV en de technische efficiëntie (e en slagfrequentie) moet met behulp van SPSS bepaald worden of er een significante relatie is.

Aan de hand van alle verzamelde informatie zal naar voren komen dat het schaatsen op de CV alleen mogelijk is als de techniek van de schaatser dit toelaat.

VOORLOPIGE LITERATUURLIJST

1. Jones AM, Vanhatalo A, Burnley M, Morton RH, Poole DC. Critical Power: Implications for Determination of $V_{[O_2]_{max}}$ and Exercise Tolerance. [Miscellaneous Article]. Med Sci Sports Exerc Oct 2010. 2010;42(10):1876–1890. doi:10.1249/MSS.0b013e3181d9cf7f.
2. Billat, V., Binsse, V., Petit, B., & Koralsztejn, J. J. (1998). High level runners are able to maintain a VO_2 steady-state below VO_{2max} in an all-out run over their critical velocity. Archives of physiology and biochemistry, 106(1), 38-45.
3. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. Ergonomics. 1965;8:329-38.
4. Noordhof, D. A., Foster, C., Hoozemans, M. J., & De Koning, J. J. (2013). Changes in speed skating velocity in relation to push-off effectiveness. International Journal of Sports Physiology & Performance, 8(2).
5. Dekerle, J., Sidney, M., Hespel, J. M., & Pelayo, P. (2002). Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. International Journal of Sports Medicine, 23(02), 93-98.
6. Brickley G, Carter H, Dekerle J, Clark S (2004). Physiological responses to exercise at critical swimming velocity. In: 9th Annual Congress of the European College of Sport Science. Clermont-Ferrand.
7. Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Harada, T., Moritani, T., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1993). Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state?. European journal of applied physiology and occupational physiology, 66(1), 90-95.

Planning

Belangrijke data:

- 11 & 12 maart Wedstrijd onderdeel van de meting
- 17 & 18 maart CV test onderdeel van de meting

Deze metingen zijn zo gepland omdat Thialf 31 maart dicht gaat en er daarna geen ijs meer ligt. Na deze metingen moet de data worden geanalyseerd en de resultaten worden geïnterpreteerd. Deze worden nu berekend door middel van de timestamp data die uit mylaps software komt.

RISICOANALYSE

Voor de metingen op 17 & 18 maart zijn er al pilot metingen gedaan op de inline skateband op de VU. Verder worden er ook nog pilotmetingen gedaan voor 24 & 25 maart. Deze pilotmetingen zijn bedoeld om voor alle betrokken personen duidelijk te krijgen wat van hun wordt verwacht tijdens de meting. Dit alles om er voor zorgen dat alle proefpersonen binnen de tijd gemeten worden.

BIJLAGE (DOOR ROY MULDER)

DEELNEMERS

Er wordt gepoogd ten minste 10-15 schaatsers van tenminste regionaal niveau te rekruteren voor het onderzoek. Alle deelnemers zullen worden geïnformeerd over het doel van het onderzoek en de eventuele risico's. Er zal een anamnese worden afgenomen en een toestemmingsverklaringsformulier worden ondertekend. Indien de deelnemers minderjarig zijn, zal aan de ouders toestemming worden gevraagd voor deelname aan het onderzoek.

WEDSTRIJDEN

Om CV te bepalen zal elke proefpersoon eerst 4 verschillende individuele tijdritten rijden in 2 dagen. De 4 individuele tijdritten met een afstand van 1000, 1500, 3000, en 5000 meter zullen worden verreden als officiële wedstrijd van de KNSB (Koninklijke Nederlandse Schaatsenrijders Bond). Tijdens deze wedstrijden zal de proefpersoon een enkelband (MYLAPS sports timing) en een hesje (Inmotio) dragen voor het registreren van de snelheid van de schaatser. Aan de hand van de wedstrijdresultaten zal voor iedere proefpersoon CV worden bepaald.

CV TEST

Om te testen of CV bepaald aan de hand van de 4 wedstrijdresultaten valide is, worden er 2 constante snelheid testen uitgevoerd op, en net boven CV.¹ Tijdens deze testen wordt, net als tijdens de wedstrijdtesten, snelheid gemeten door een enkelband en een hesje. Om te bepalen of proefpersonen in steady state zijn, zal een ademgasanalyse (Cosmed K4) worden uitgevoerd.

SAMENVATTEND

Doel: Het bepalen van CV in schaatsers

Aantal proefpersonen: 10-15 schaatsers van regionaal niveau

Aantal testen: 6, waarvan 4 wedstrijden en 2 constante snelheid test.

Gemeten parameters: schaatssnelheid en respiratoire parameters.

LITERATUUR

1. Poole DC, Ward SA, Gardner E, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*. 1988;31(9):1265–1279. doi:10.1080/00140138808966766.

BIJLAGE 2

```

close all
clear all
tijden = [1000, seconden(1,25,94),0,;
          1500, seconden(2,14,33),0,;
          3000, seconden(4,46,71),0,;
          5000, seconden(8,07,39),0,];
for i = 1:4
    tijden(i,3) = tijden(i,1) / tijden(i,2);
    tijden(i,4) = (1/tijden(i,1));
end

%dit zijn loops om het CV te schatten
somverschil = [10000,10,0.01];
for a = 1:500
    atry = a/100 + 10;
    for b = -300:-1
        btry = b/100;
        for i = 1:4
            verschil = ((atry + btry*tijden(i,4))-(tijden(i,3)))^2
            if verschil<somverschil(1)
                somverschil(1) = verschil;
                somverschil(2) = atry;
                somverschil(3) = btry;
            end
        end
    end
end
end

geschatteCV = [somverschil(2);somverschil(2);somverschil(2);somverschil(2)]:%2.600
plot((tijden(:,2)),tijden(:,3));
hold on
plot((tijden(:,2)),geschatteCV,'g');
%er zitten een paar grote fouten in allereerst moeten de berekening gedaan worden met
%kkw. En niet op basis van een schat loop. ook heb ik veelste weinig data om een goede snelheid te bepalen.
%het is echter een indicatie

```

