

# Het gebruik van Inertial **M**easurement **U**nits in de sport. Jo de Ruiter Bewegingswetenschapper Vrije Universiteit



## Thema

Het thema van deze WND-conferentie is (opnieuw) *Het lichaam doorgelicht* – over medische beeldvorming, waarbij diverse vormen van beeldvorming aan de orde komen.

### HET LICHAAM DOORGELICHT



Het thema van deze WND-conferentie is *Het lichaam doorgelicht* – over medische beeldvorming met Cherenkov-straling, lasers en MRI, en over natuurkundige aspecten van monitoring van patiënten, hersenschorsimplantaten voor blinden, aerosolen en ventilatie. En meer vakdidactisch: over leerlingdenkbeelden bij medische beeldvorming en natuurkunde voor blinde, slechtziende en kleurenblinde leerlingen.

Docenten hebben een grote rol gespeeld bij de (studie) keuzes die ik heb gemaakt.

Docenten hebben dus een belangrijke rol gespeeld bij de keuzes die ik gemaakt heb.

Constatering: ik sta voor een zaal met docenten.

Mijn doel: Jullie ervan te overtuigen dat **Bewegingswetenschappen een heel leuke en interessante studie is.**

Zeker ook voor leerlingen met aanleg voor de wat abstractere schoolvakken.

Overzicht voor komende 40 minuten:

Ik ga jullie aan de hand van wat voorbeelden uit de sport laten zien hoe we sensoren kunnen inzetten om sporters (met een lichaam) te monitoren.

Ik beperk me daarbij tot de zogenaamde IMUs: **Inertial Measurement Units**

Daarbij gaat het om **kennisontwikkeling** en **praktische toepasbaarheid** (o.a. mijn hobby als atletiekcoach)

In **deel 1** ligt de focus op feedback over **uitvoering van bewegingen** en via het fysiologische verschijnsel van 'vermoeidheid' gaat het in **deel 2** kort over het monitoren van **trainingsbelasting bij spelsporters** .

**Dus vergeet het thema van vandaag**, mijn doel is jullie ervan te overtuigen dat **Bewegingswetenschappen een heel leuke en interessante studie is.**

Wie weet wie dit is?



Trainers en coaches moeten vaak nog overtuigd worden van de toegevoegde waarde van het gebruik van (bewegings)sensoren.

Kijk even aandachtig naar de volgende video opname van een 60m horde race. Let daarbij vooral op de atlete \* die in de baan met de rode pijl loopt.

\* Drie maal raden wie dat is



Wat ging er goed en wat kan er beter?

Bijvoorbeeld: hoe goed was de uitvoering van de passage van de eerste horde ?



Vanuit technisch oogpunt gezien: welke race was er beter (en dus sneller)?

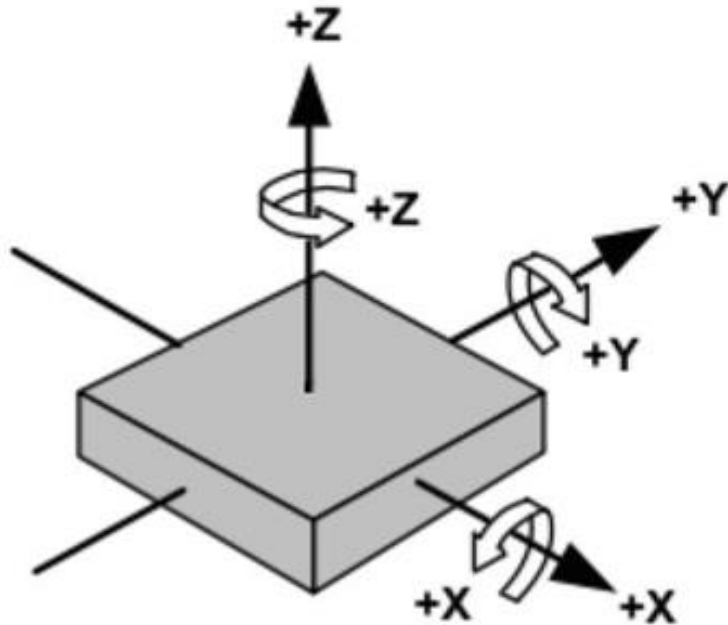
Ook coaches met verstand van hordelopen kunnen eigenlijk alleen maar gokken.

Nadelen van video opnames

- ze geven slechts een beperkt beeld
- je hebt eigenlijk een hele serie camera's nodig
- allerlei obstakels/juryleden/atleten in beeld
- het omzetten van de beelden in bruikbare getallen kost enorm veel tijd



35x25x10mm  
11 gram



Inertial measurement units IMUs: 3D 'sensoren'

-hoeksnelheden:  $\pm 2000$  graden/s

-lineaire versnellingen:  $\pm 16$  g

-magnetisch veld

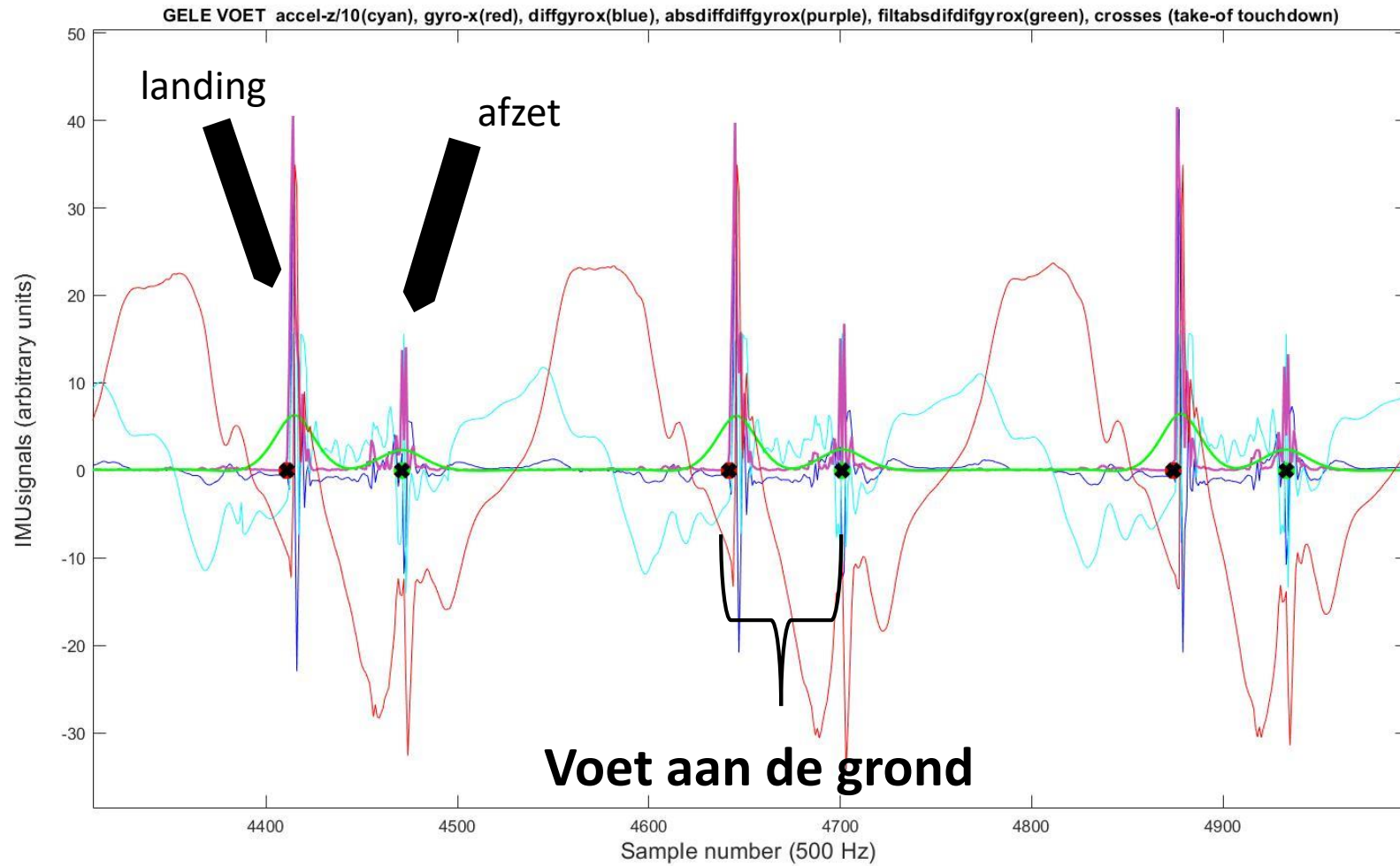
Met lithium batterijtje en SD kaart in een behuizing

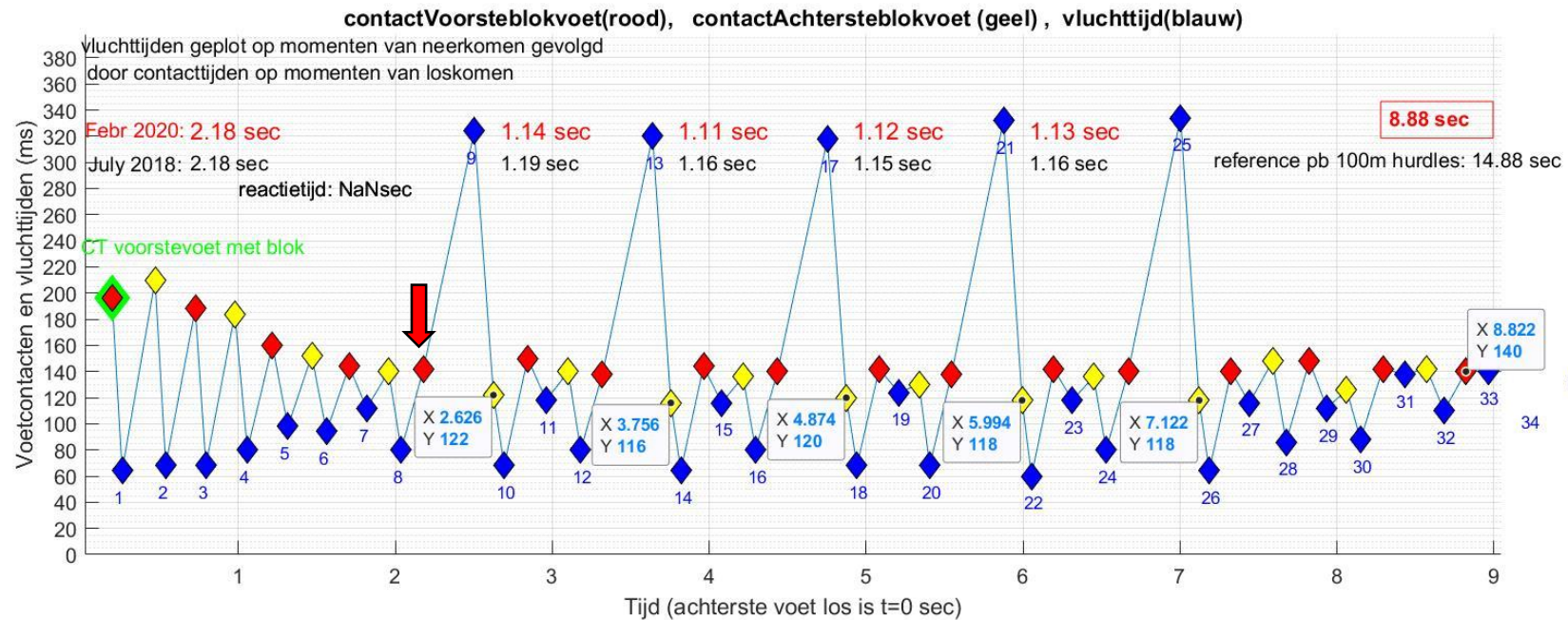
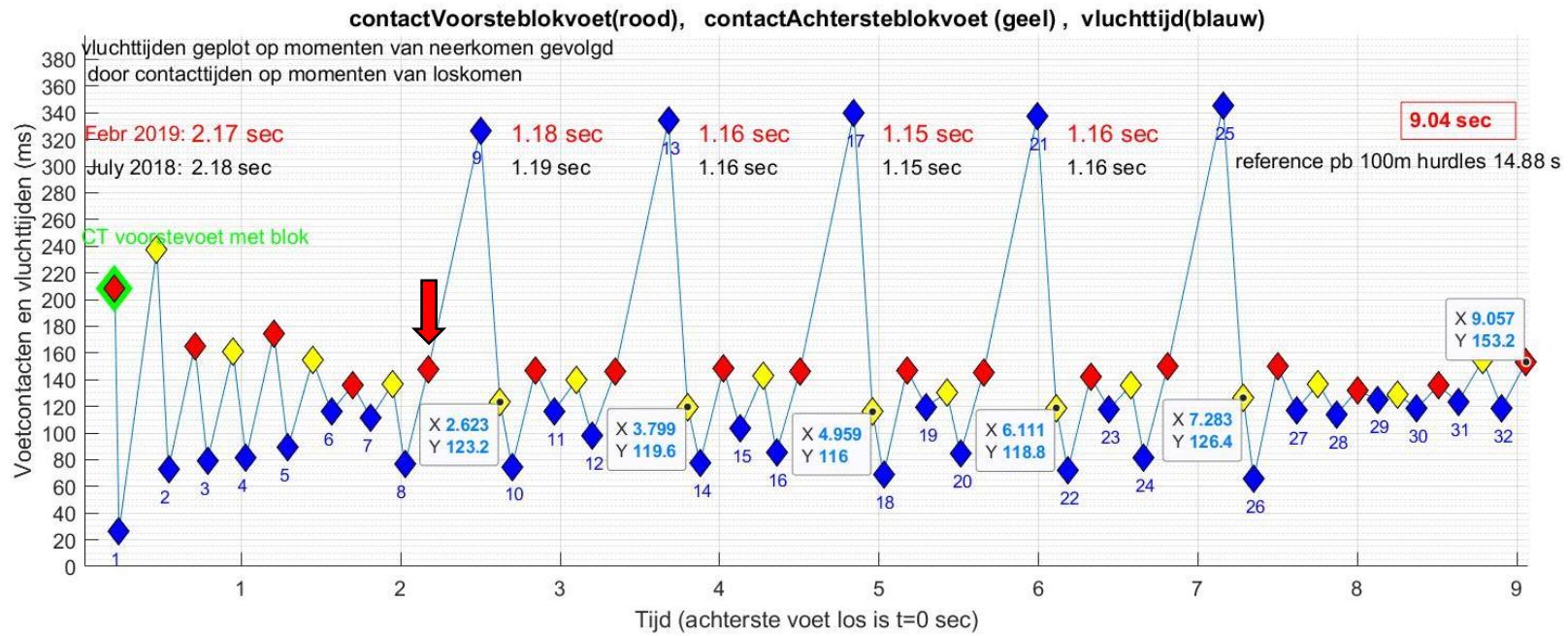
USB aansluiting om de signalen eraf te halen

Sample frequentie: 500 Hz (10-1000Hz)

Als de sensor in rust is (of met constante snelheid beweegt) geeft de verdeling van de zwaartekracht versnelling ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) in de 3 assen de oriëntatie van de sensor t.o.v. de verticaal

Tijdstippen van landing en afzet worden nauwkeuriger gemeten en zijn veel sneller beschikbaar dan met video





Doordat je met de sensoren stappen kan detecteren wordt het ook mogelijk om op grote schaal data te verzamelen en in te zetten voor onderzoek.

Dit is een voorbeeld uit het onderzoek van Ben van Oeveren, die een paar jaar geleden bij ons is gepromoveerd en nu bij het bekendste bedrijf werkt als het gaat om bewegingsregistratie met IMUs.

Aanleiding voor het onderzoek was o.a. het advies dat hardlopen met een pasfrequentie van 180 passen per minuut optimaal zou zijn.

Dit is op het eerste oog al een vreemd advies omdat mensen verschillen in beenlengte en de pasfrequentie waarschijnlijk ook afhankelijk is van de loopsnelheid.

Hoe lopen recreatieve lopers in Nederland eigenlijk? Hierbij is gebruik gemaakt van Garmin sporthorloges die o.a. ook een IMU sensor hebben waarmee passen worden geregistreerd

**256 deelnemers** ( 85.5% man en 14.5% vrouw)  $44.1 \pm 9.8$  jaar;  $181.4 \pm 8.4$  cm;  $75.3 \pm 10.6$  kg; (gem  $\pm$  SD)

deelden hun trainings-data (Garmin): loopsnelheid, hartslag en pasfrequentie

$55 \pm 47$  loopsessies per deelnemer

**$63 \pm 49$  uren loopdata per deelnemer**

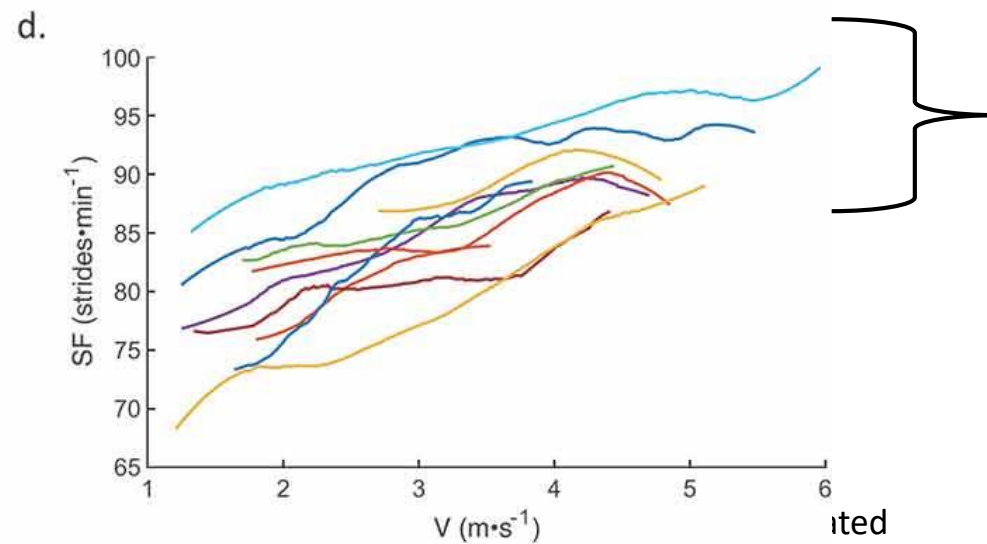
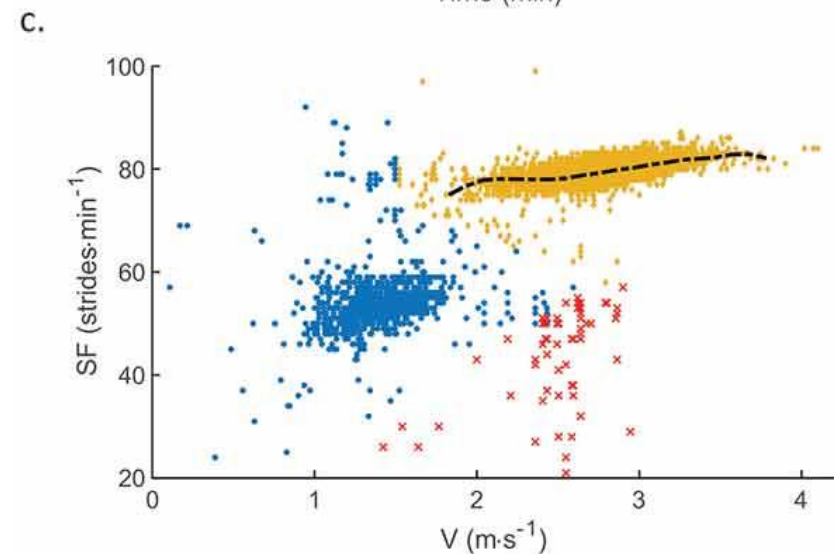
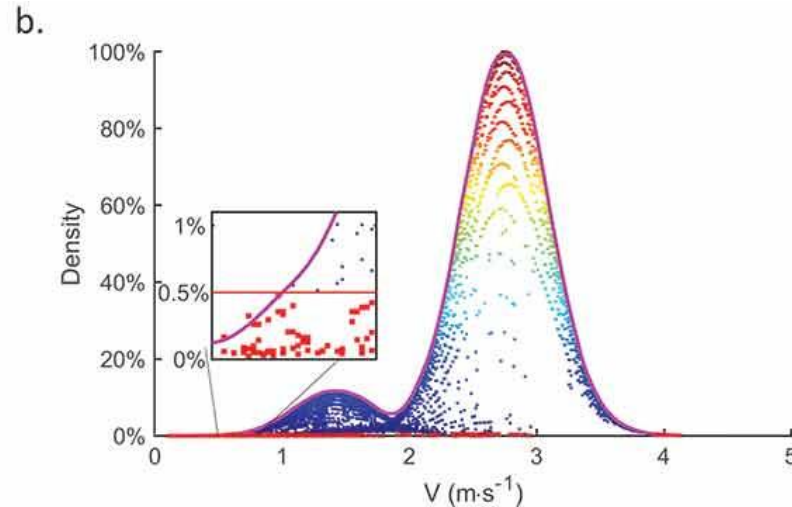
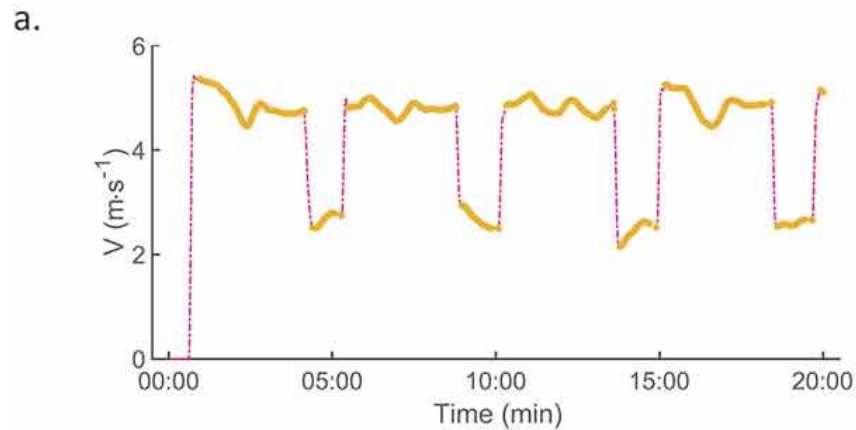
Dit is een voorbeeld van de toenemende rol die **signaalanalyse en data science** hebben ook binnen het bewegingswetenschappelijke onderzoek.

Inter-individual differences in stride frequencies during running obtained from wearable data

[Journal of Sports Sciences](#) Volume 37, 2019 - Issue 17

[B.T. Van Oeveren](#) , [C.J. De Ruiter](#) , [M.J.M. Hoozemans](#) , [P.J. Beek](#) & [J.H. Van Dieën](#)

<https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1614137>



to different activities (yellow: running, blue: walking, red cross: outliers) Secondly, a non-parametric fit was calculated on the observations classified as running. **d) Illustrates the diversity of 10 of the individual V-SF relationships. Non-parametric fits such as these were further analysed using a regression analysis**

Op groepsniveau was er een significante regressie coëfficiënt voor snelheid (V) in de voorspelling van pasfrequentie( PF) ( $R^2_{adj} = 0.419$ ):

$$\text{PF (passen/min)} = 150.0 + 6.0 V \text{ (in m/s)}$$

Dus gemiddeld genomen neemt de pasfrequentie met 6 passen per minuut toe als de snelheid toeneemt met 1 m/s (in de range van 1.6-4.6 m/s)

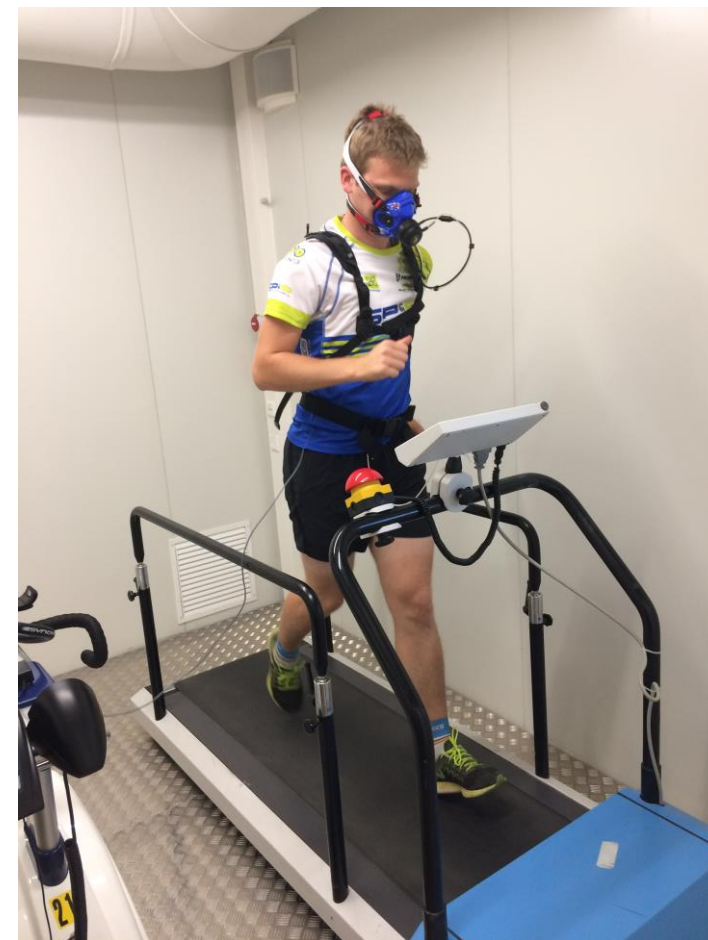
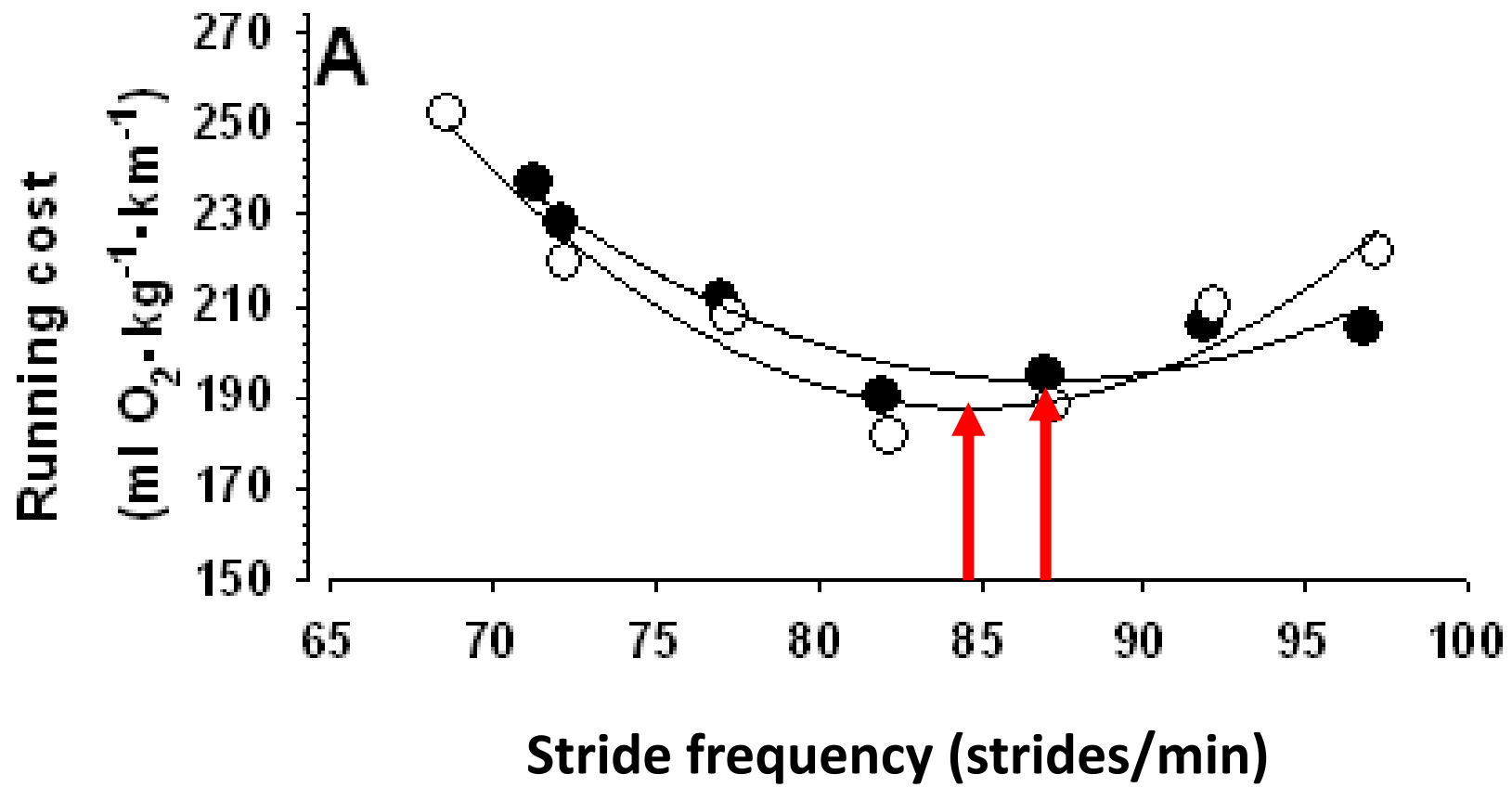
Includeren van de onderstaande factoren in het regressiemodel verhoogde de verklaarde variantie aanzienlijk ( $R^2_{adj} = 0.986$ ):

- kortere en lichtere lopers hebben een hogere PF
- oudere lopers hebben een hogere PF
- lopers die vaker en langduriger liepen hadden een hogere PF
- loopervaring was niet gerelateerd aan PF
- in deze studie geen relatie tussen PF en blessures (vragenlijst)

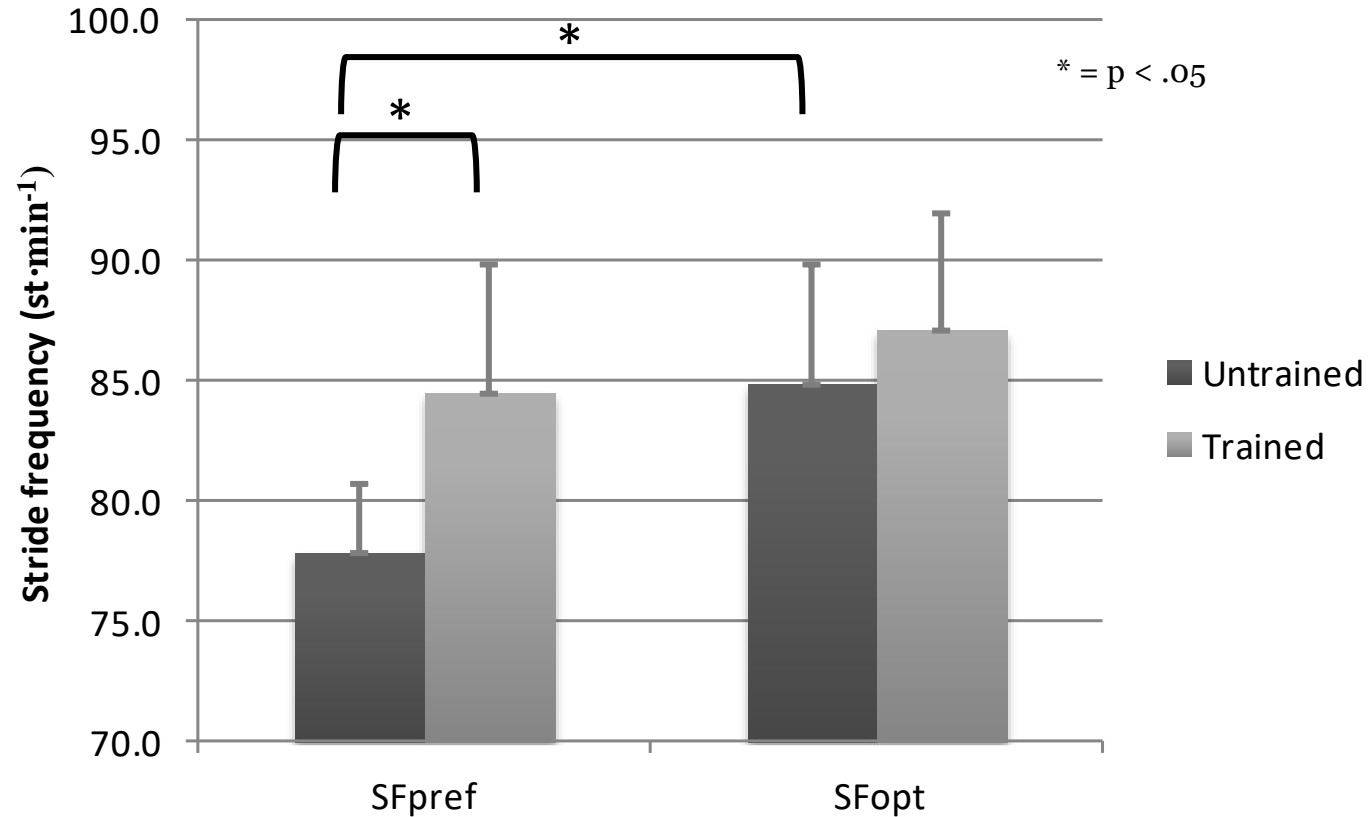
**Conclusie: De door hardlopers gekozen pasfrequentie verschilt behoorlijk tussen lopers en neemt toe met de loopsnelheid.**

**Wat is nu 'optimaal' ?**

**Vast niet 180 passen/min voor iedereen op elke snelheid**



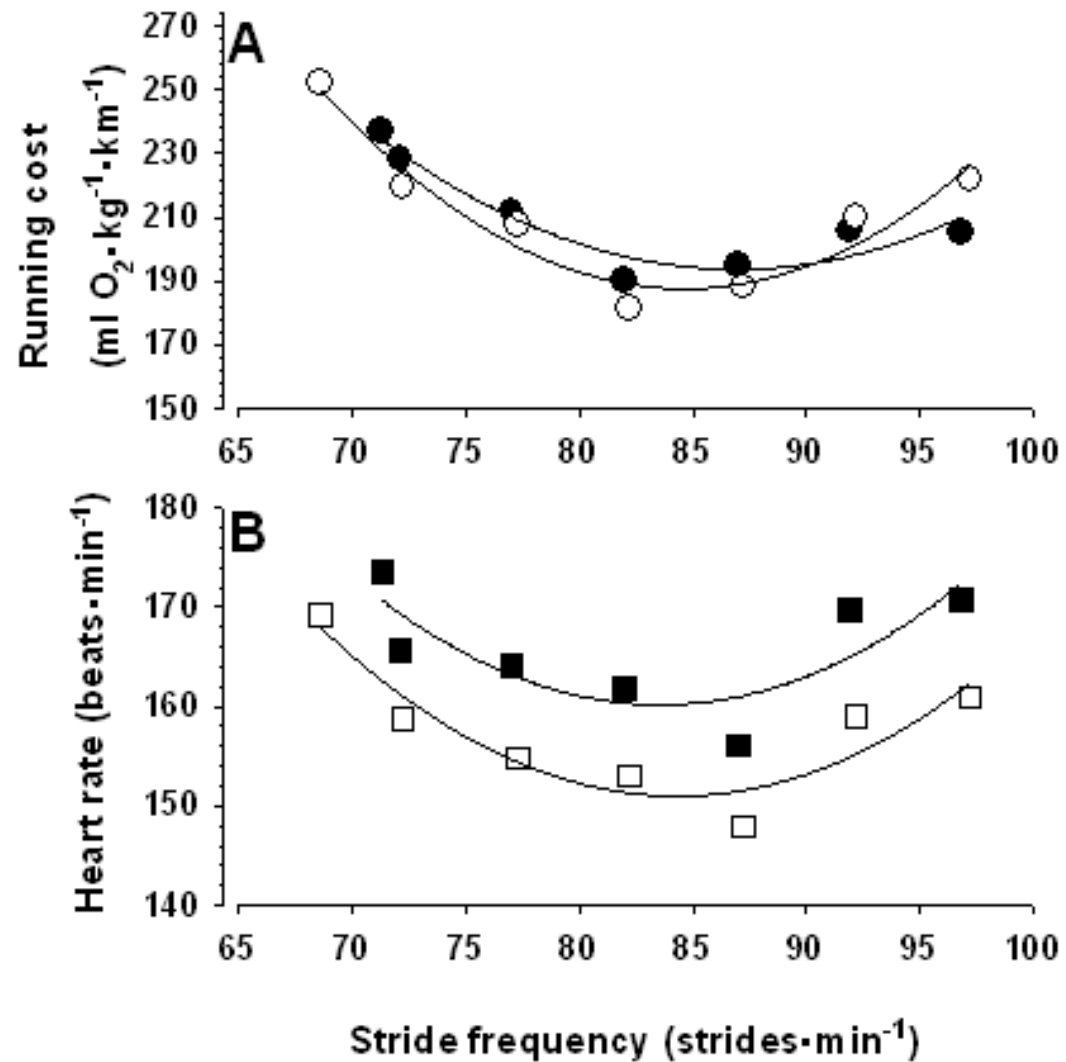
beginnende lopers kiezen een pasfrequentie die in elk geval uit energetisch oogpunt te laag is



Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners.

[Eur J Sport Sci](#). 2014;14(3):251-8. doi: 10.1080/17461391.2013.783627.

[de Ruiter CJ](#)<sup>1</sup>, [Verdijk PW](#), [Werker W](#), [Zuidema MJ](#), [de Haan A](#).

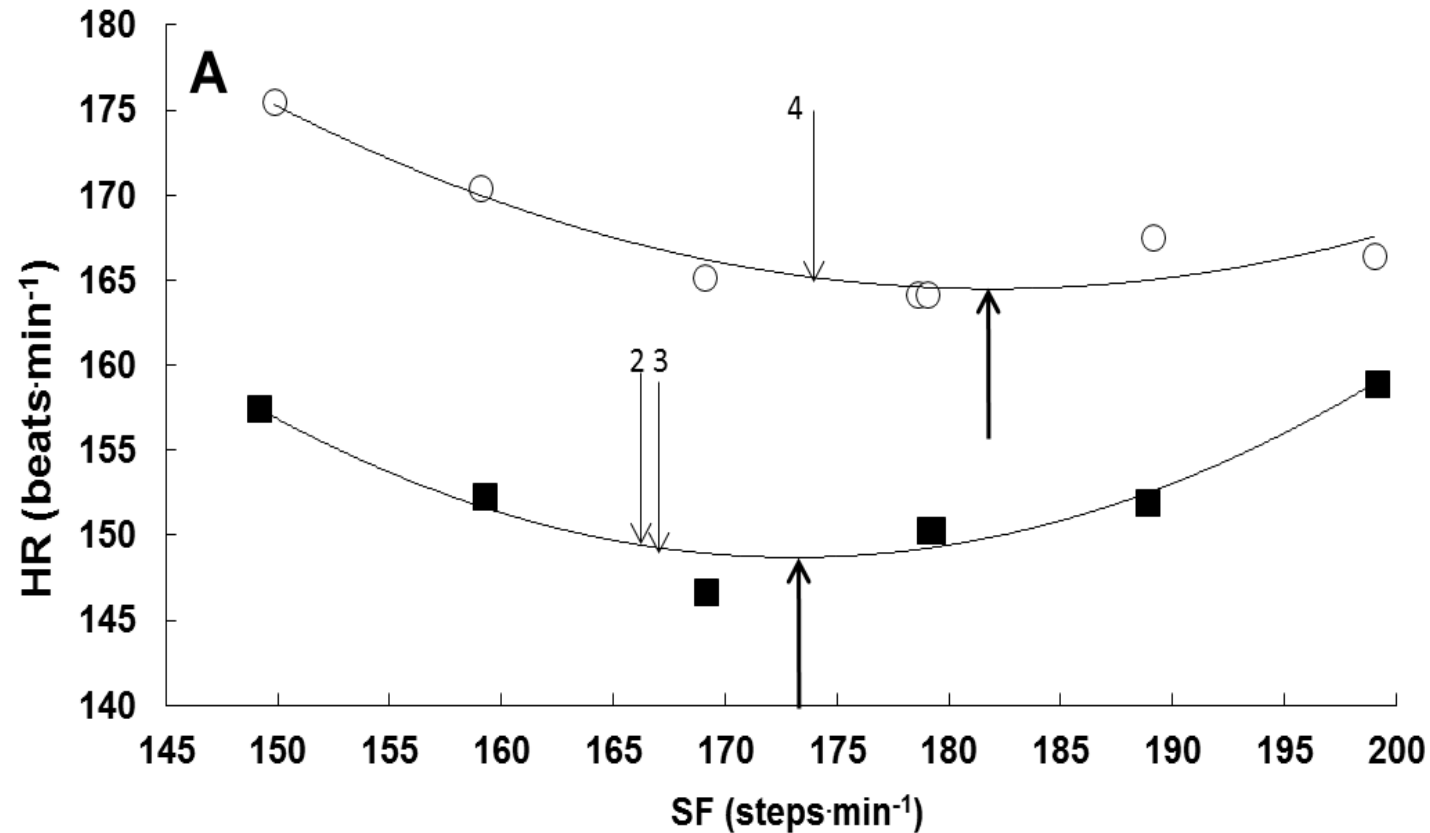


Het energetisch optimum (minimum) kan ook bepaald worden zonder dat zuurstofopname apparatuur nodig is

Dit is gunstig voor metingen tijdens het echte hardlopen (op de openbare weg, niet op een loopband)

Figure 3

**Figure 2** Typical example (participant 13) of HR as a function of SF (**A**) during runs at **3.65 m·s<sup>-1</sup>** (black squares;  $r^2=0.93$ ) and **4.14 m·s<sup>-1</sup>** (open circles;  $r^2=0.91$ ). Upward arrows denote Optimal SF and numbered downward arrows denote Preferred SF in sessions 2, 3 and 4.

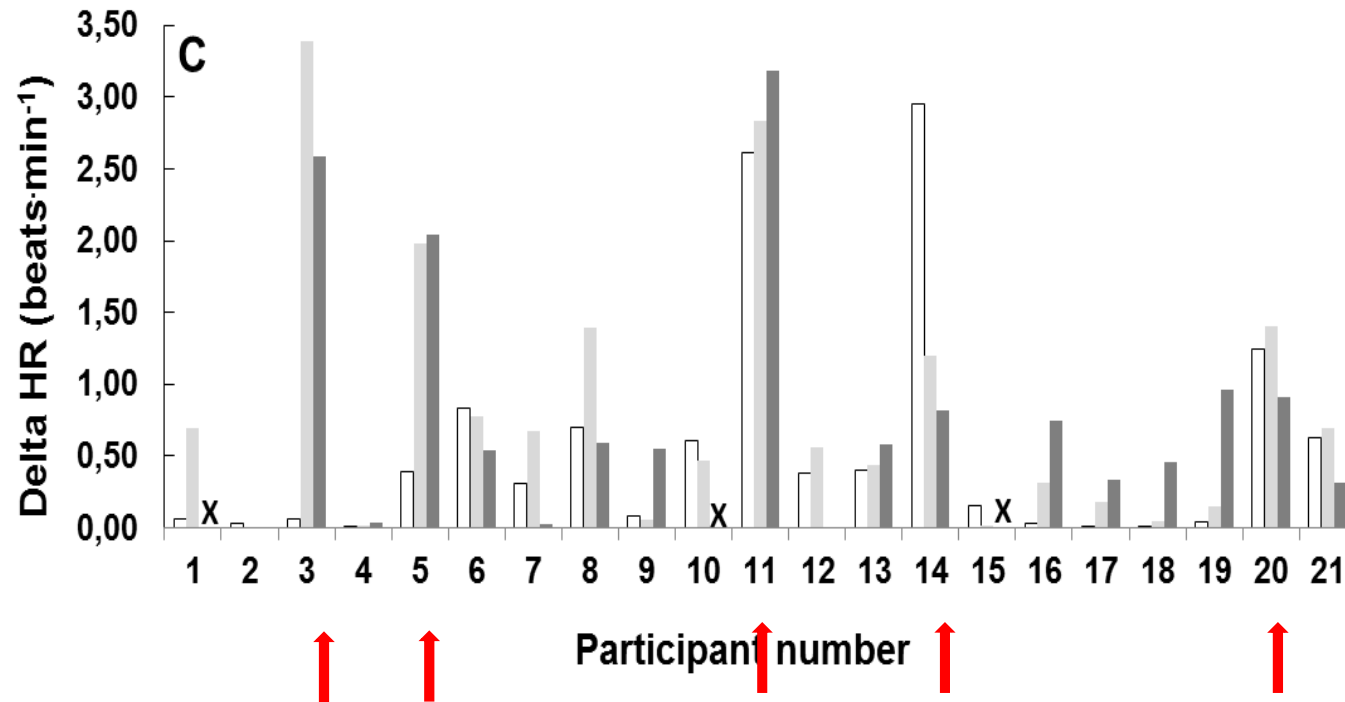


[Individual optimal step frequency during outdoor running.](#)

de Ruiter CJ, van Daal S, van Dieën JH.

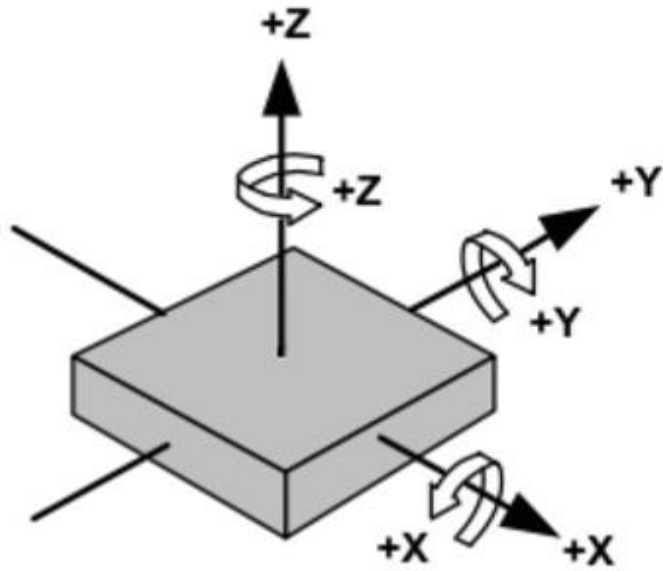
Eur J Sport Sci. 2020 Mar;20(2):182-190. doi: 10.1080/17461391.2019.1626911

Sommige ervaren lopers zouden nog energie kunnen besparen



## Conclusies:

1. IMU sensors kunnen gebruikt worden voor betrouwbare registratie van de pasfrequentie tijdens hardlopen.
2. De pasfrequentie is snelheidsafhankelijk en verschilt per individu (afhankelijk van leeftijd , gewicht en beenlengte).
3. Tijdens hardlopen hanteren de meeste hardlopers een pasfrequentie waarbij ze het minste energie gebruiken.
4. Dit energetische optimum is ook weer snelheids- en persoonsafhankelijk.
5. De feedback die van sporthorloges en fitness apps wordt gegeven moet individueel zijn. Algemene aanbevelingen zoals, 'loop met 180 passen (90 schreden) per minuut' , zijn zinloos.
6. Iedereen met een sporthorloge kan zijn pasfrequentie variëren tijdens het hardlopen op een constante snelheid (met b.v. een fietser als 'pacer') om zo zijn optimale pasfrequentie (laagste hartslag) vast te stellen.
7. Vooral beginnende lopers, maar ook sommige ervaren lopers, lopen op een te lage pasfrequentie. Er zijn sterke aanwijzingen dat lagere pasfrequenties het risico op een blessure vergroot ('de klappen die moeten worden opgevangen door spieren en gewrichten tijdens het landen zijn groter')



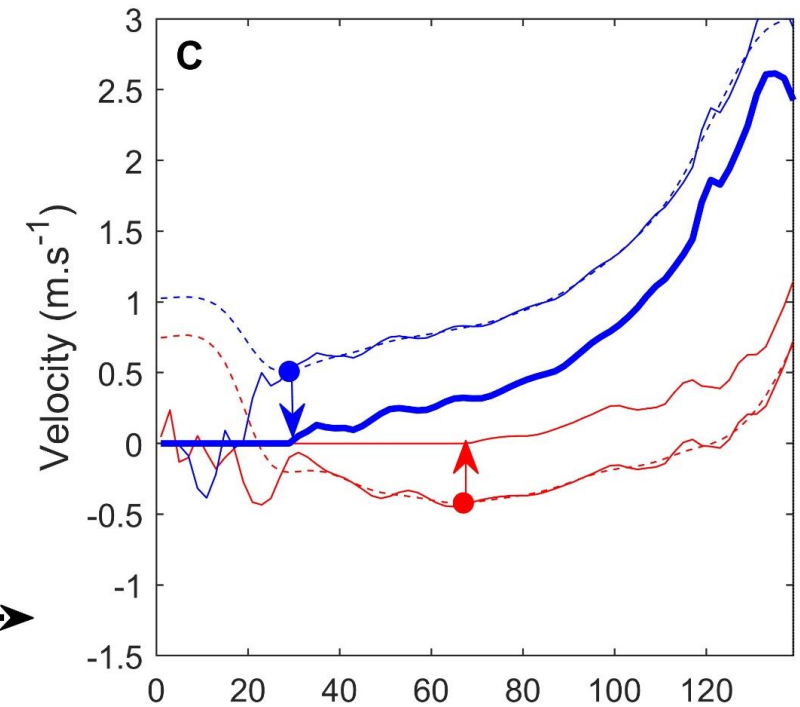
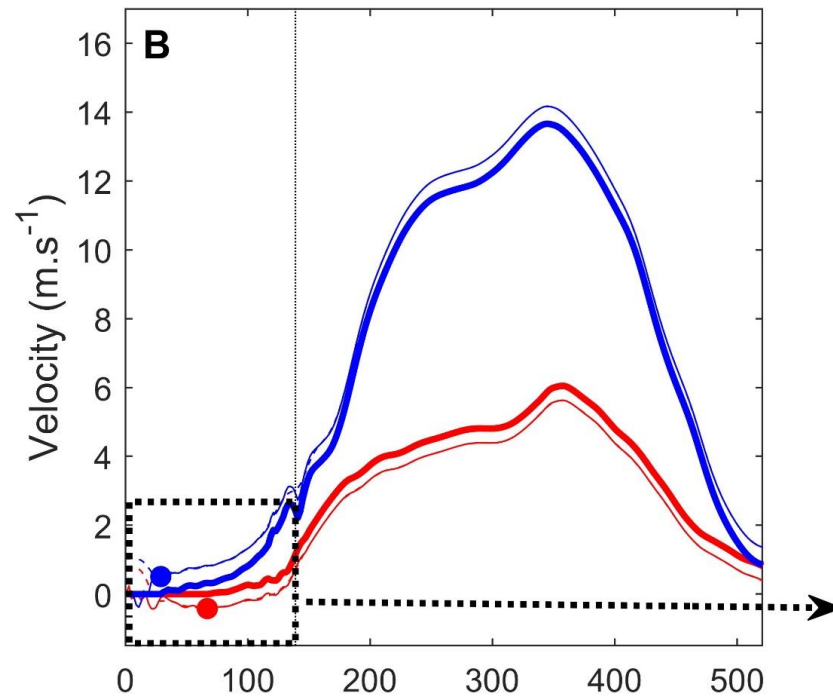
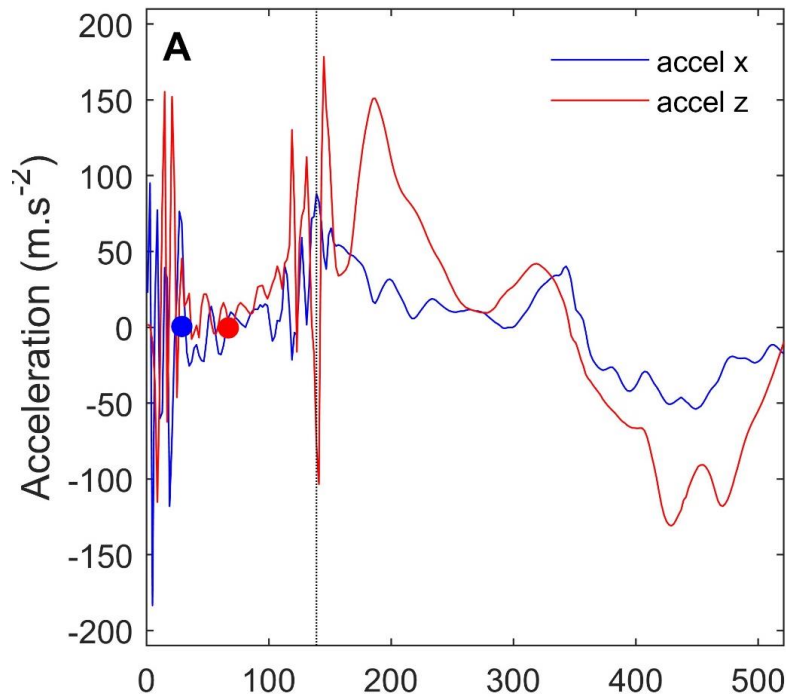
Als de sensor in rust is (of met constante snelheid beweegt) geeft de verdeling van de zwaartekracht versnelling ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) in de 3 assen de oriëntatie van de sensor t.o.v. de verticaal.

Tijdens bewegingen kunnen door middel van 'sensorfusion' de veranderingen in oriëntatie van de sensor worden berekend.

Integreren van gemeten versnellingen in het horizontale vlak geven snelheid en verplaatsing van bijvoorbeeld de voet tijdens een schrede.

Als je dat per schrede doet dan blijven fouten door zogenaamde integratiedrift beperkt: integratie per schrede, de voet staat even stil tijdens grondcontact

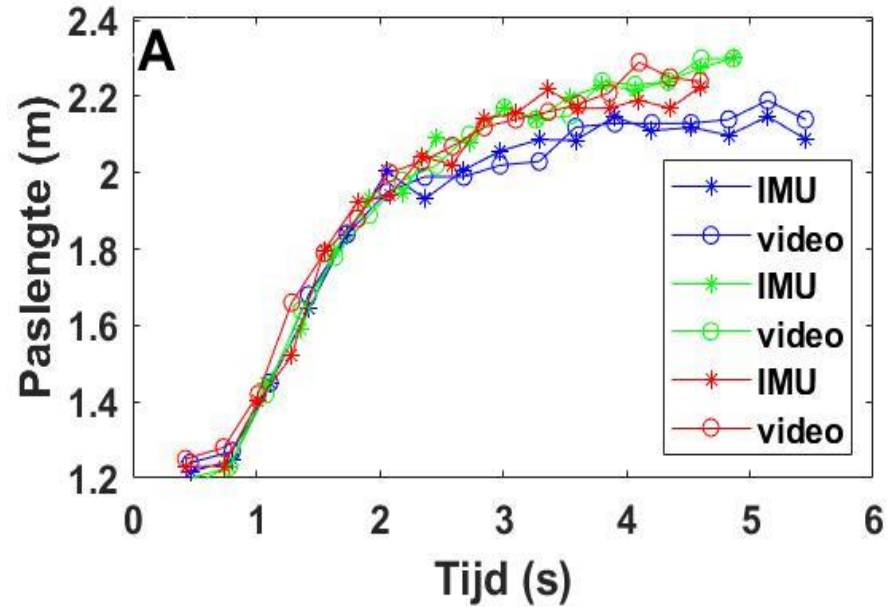
# Vooral tijdens explosieve bewegingen is integreren een uitdaging door artefacten tijdens de landing



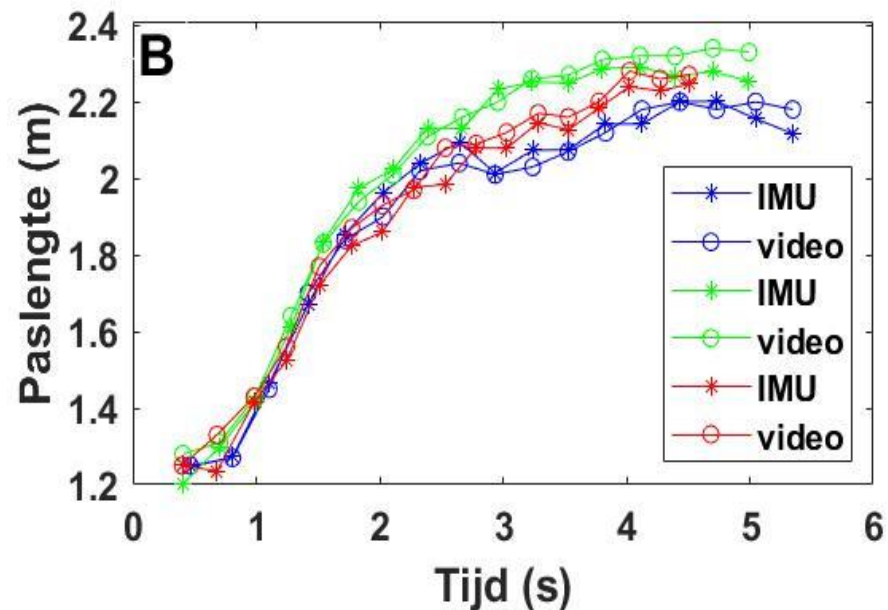
de Ruiter CJ, Wilmes E, van Ardenne PS, Houtkamp N, Prince RA, Wooldrik M, van Dieën JH. Stride Lengths during Maximal Linear Sprint Acceleration Obtained with Foot-Mounted Inertial Measurement Units. *Sensors (Basel)*. 2022 Jan 4;22(1):376. doi: 10.3390/s22010376. PMID: 35009915; PMCID: PMC8749851.



# Voorbeelden van 1 sprinter

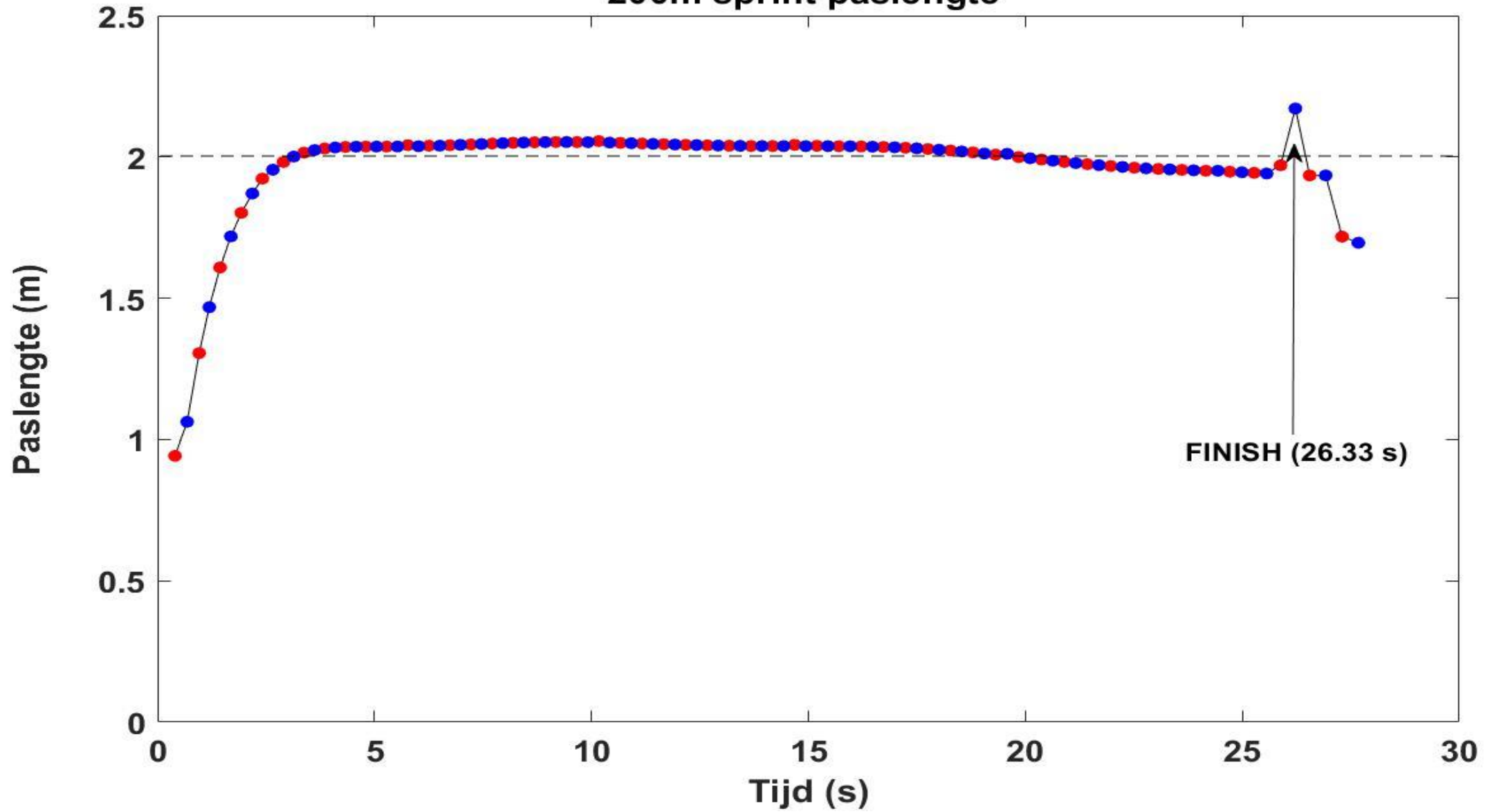


Serie 1: 3x 30 m sprint op  $\pm 60\%$  (blauw),  $\pm 80\%$  (groen) en 100% (rood) maximale inspanning

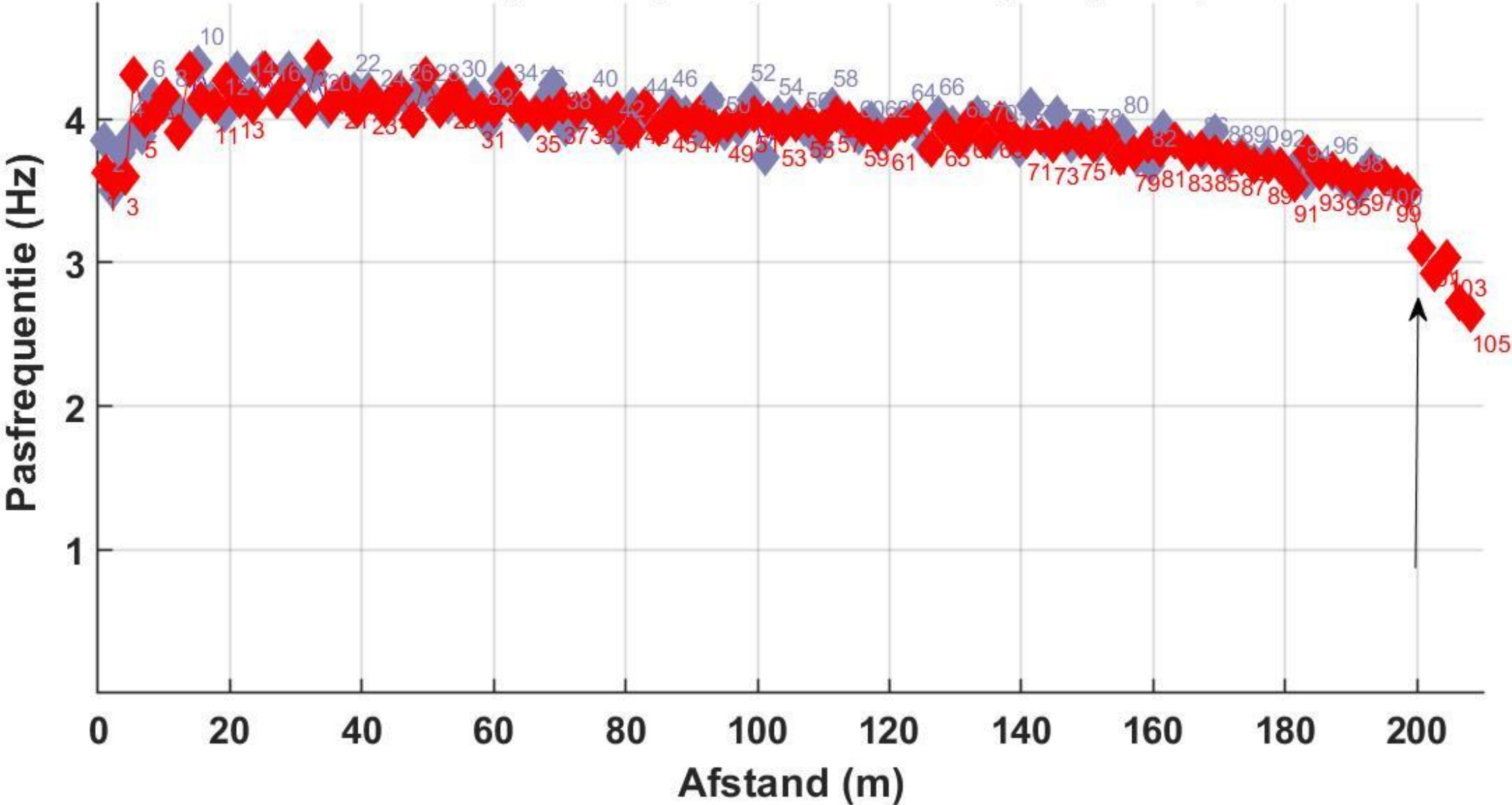


Serie 2: 3x 30 m sprint op  $\pm 60\%$  (blauw),  $\pm 80\%$  (groen) en 100% (rood) maximale inspanning

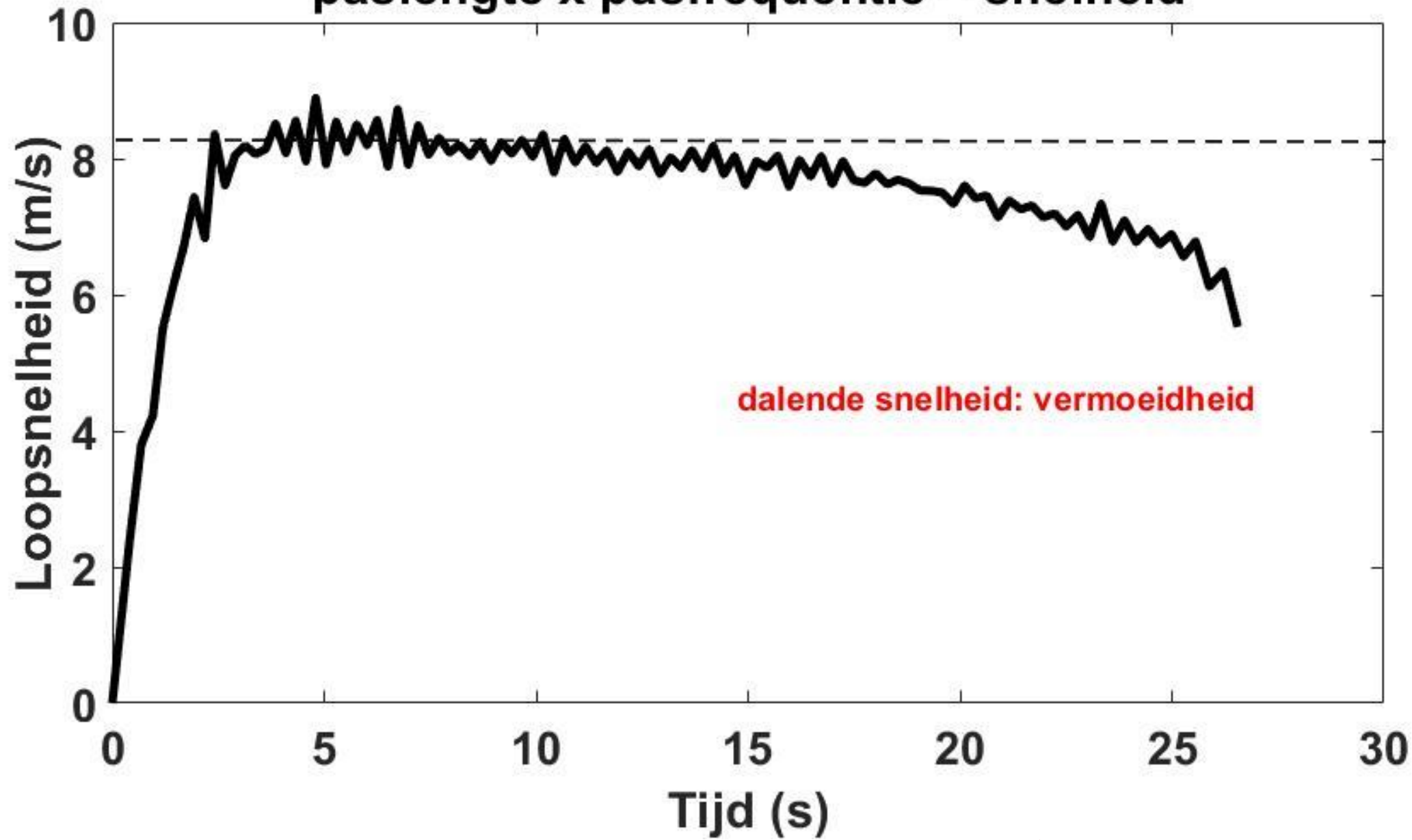
# 200m sprint paslengte

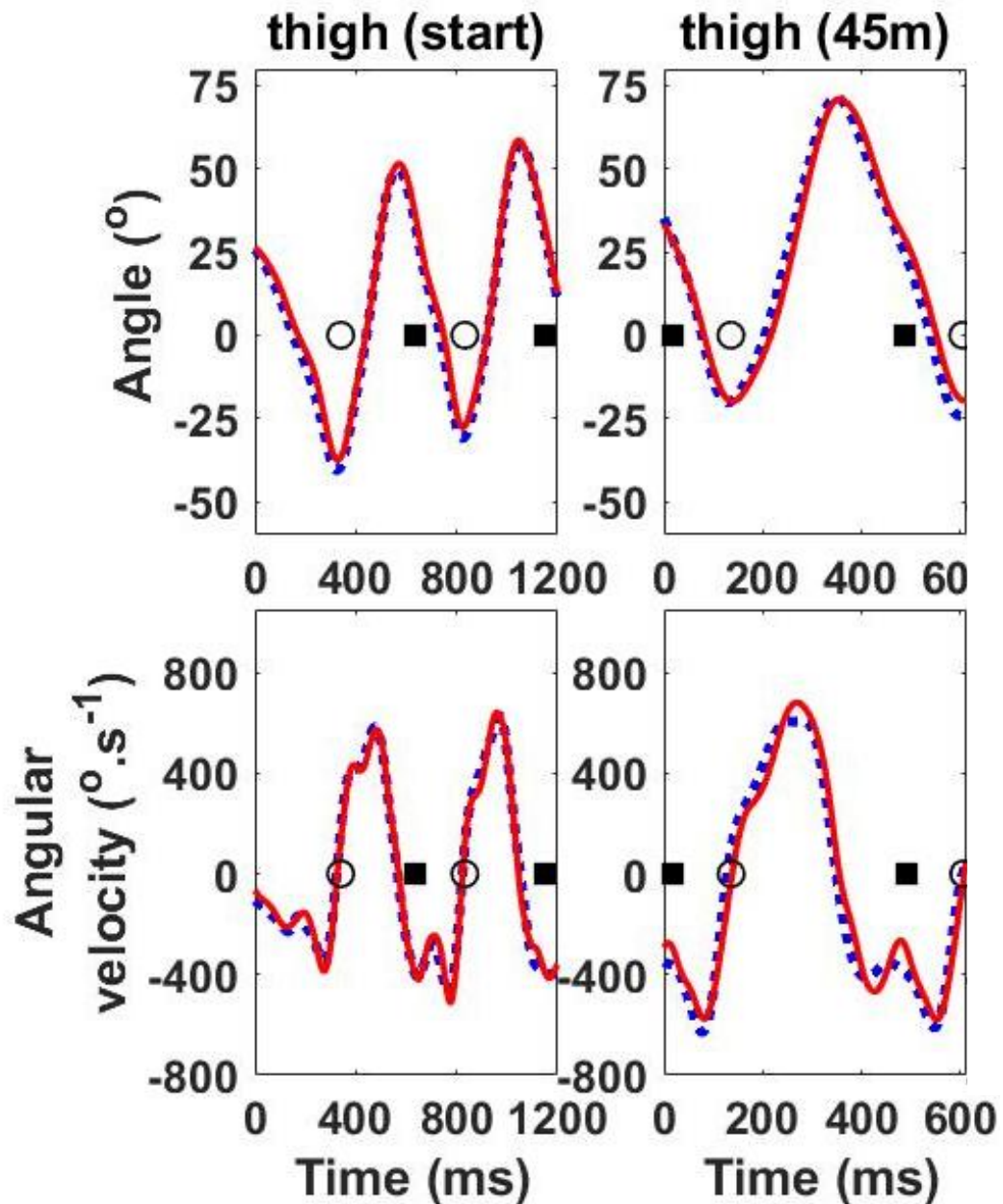


# Pasfrequentie (rood) t.o.v. 200m p.r. (paars)



paslengte x pasfrequentie = snelheid



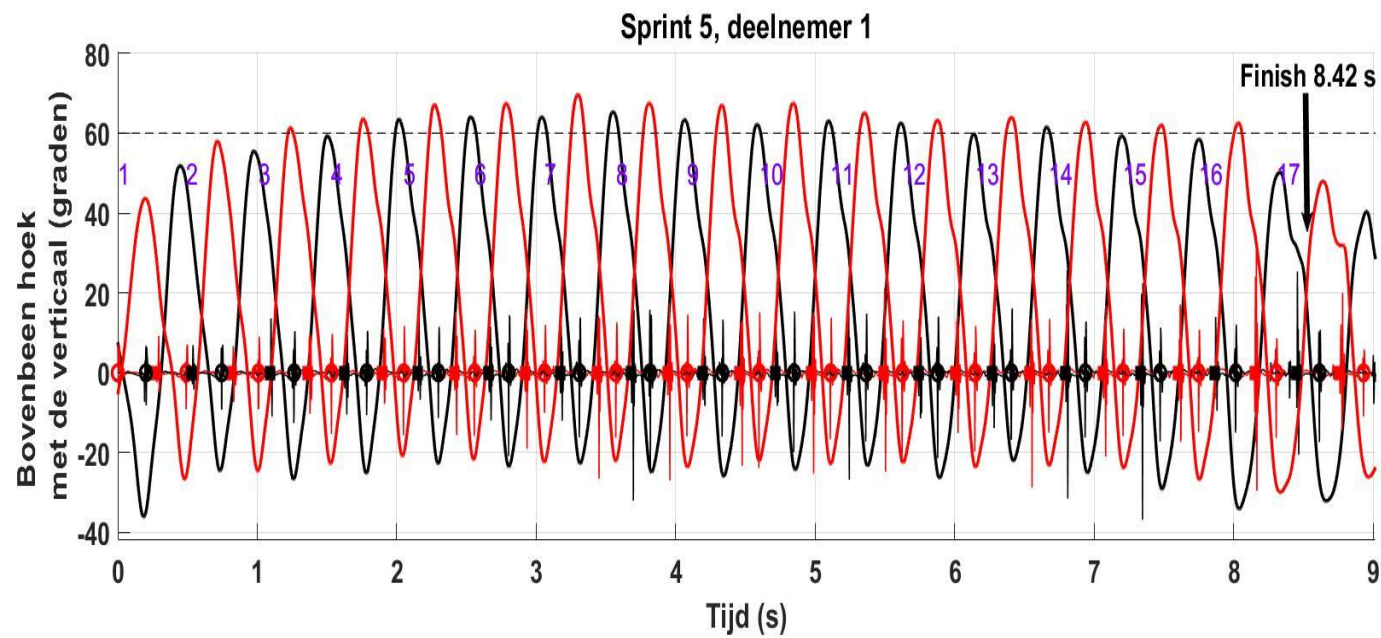
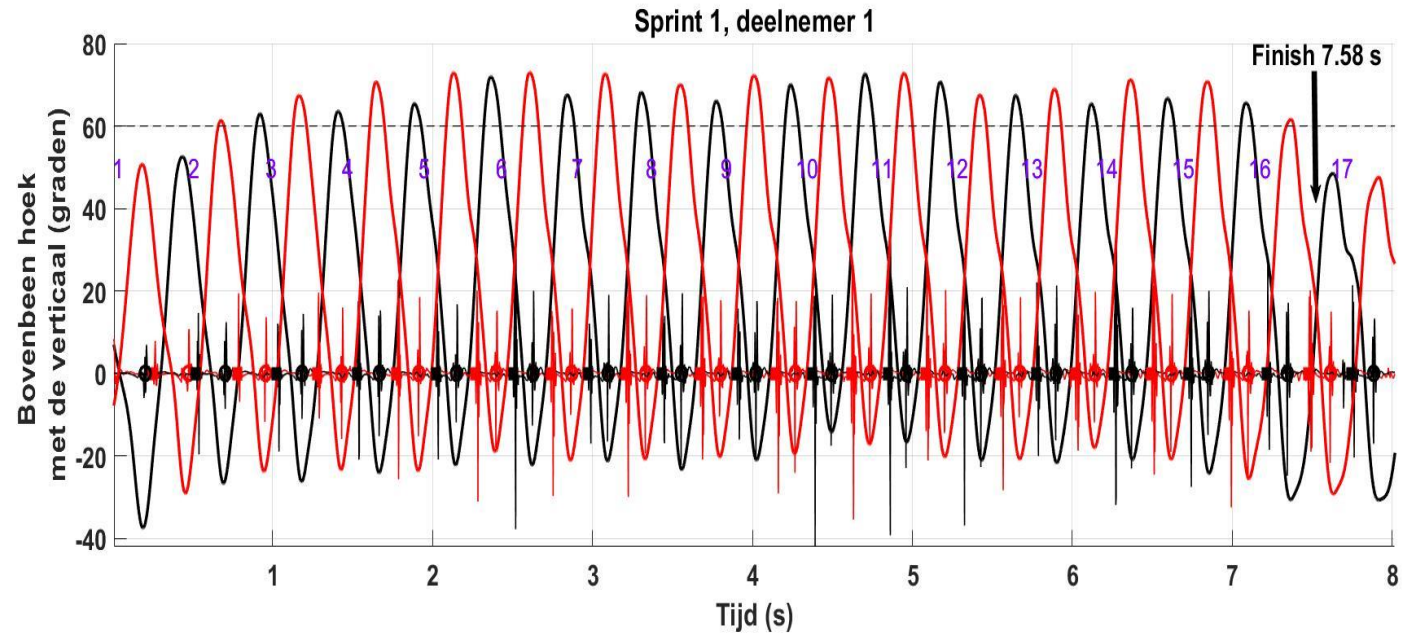


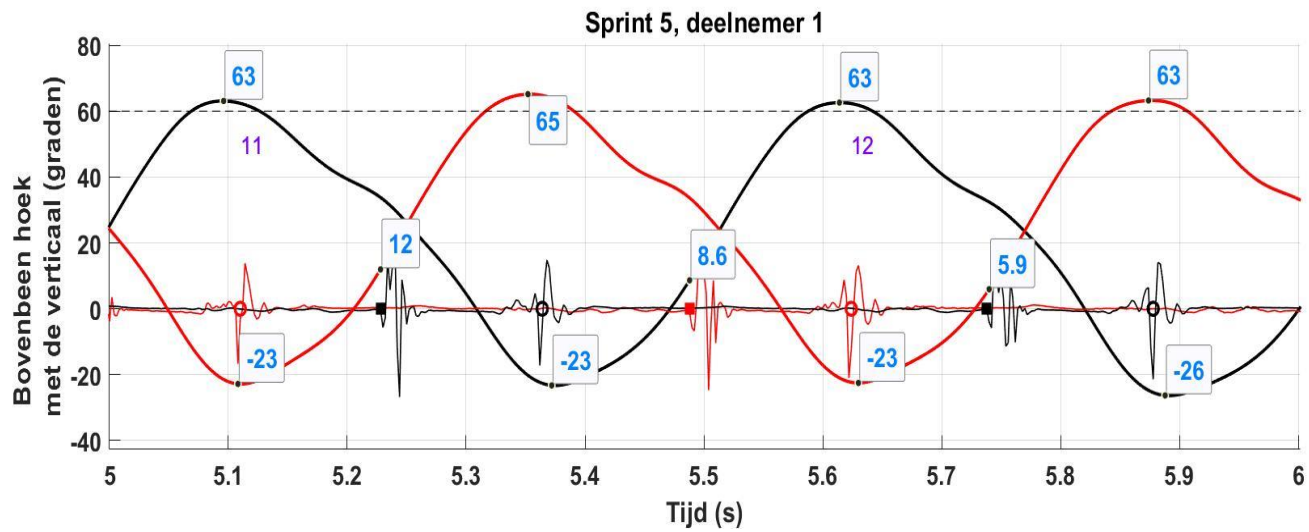
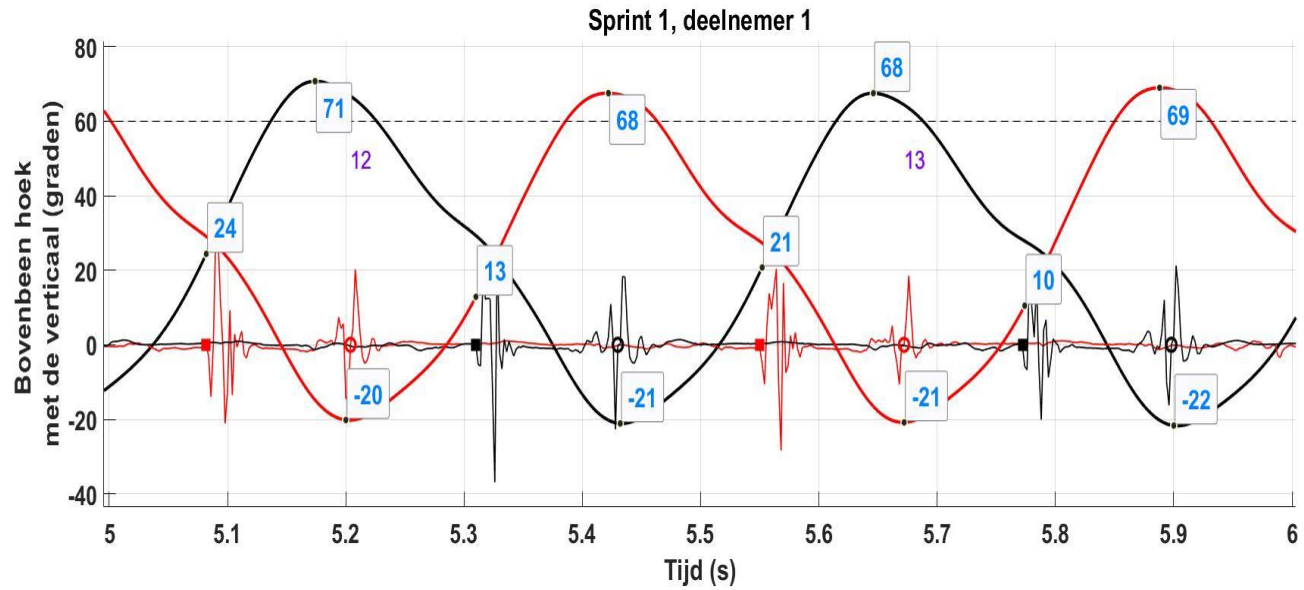
We kunnen dus monitoren:

1. paslengte x frequentie = snelheid

2. Oriëntatie van lichaamssegmenten tijdens sprinten

de Ruiter CJ, Wilmes E, Brouwers SAJ, Jagers EC, van Dieën JH. Concurrent validity of an easy-to-use inertial measurement unit-system to evaluate sagittal plane segment kinematics during overground sprinting at different speeds. Sports Biomech. 2022 Mar 30:1-14. doi: 10.1080/14763141.2022.2056076. Epub ahead of print. PMID: 35353032.





## **Conclusie m.b.t. vermoeidheid:**

-Met IMUs kunnen subtiele veranderingen in coördinatie ten gevolge van vermoeidheid tijdens herhaalde, maximaal snelle bewegingen, goed worden gemeten.

## **Deel 2** (10 slides)

**In spelsporten zoals hockey en voetbal komen veel blessures voor.**

**Een aanzienlijk deel van de spierblessures treedt op rond de heupen (liezen en bovenbenen).**

**Hamstringblessures (achterkant bovenbeen) in het voetbal treden significant vaker op aan het eind van de eerste helft en aan het eind van de tweede helft.**

**Mogelijk heeft dit dus te maken met vermoeidheid en bijvoorbeeld een verstoorde coördinatie tijdens het sprinten.**

# Hoe ontwikkelt zich vermoeidheid van de hamstring-spiereen tijdens een voetbalwedstrijd?

**Leidt dit tot veranderingen in coördinatie tijdens het sprinten? (die mogelijk ten grondslag kunnen liggen aan blessures)**

Wilmes E, DE Ruitter CJ, Bastiaansen BJC, Goedhart EA, Brink MS, VAN DER Helm FCT, Savelsbergh GJP. Associations between Hamstring Fatigue and Sprint Kinematics during a Simulated Football (Soccer) Match. Med Sci Sports Exerc. 2021 Dec 1;53(12):2586-2595. doi: 10.1249/MSS.0000000000002753. PMID: 34265817; PMCID: PMC8594518.

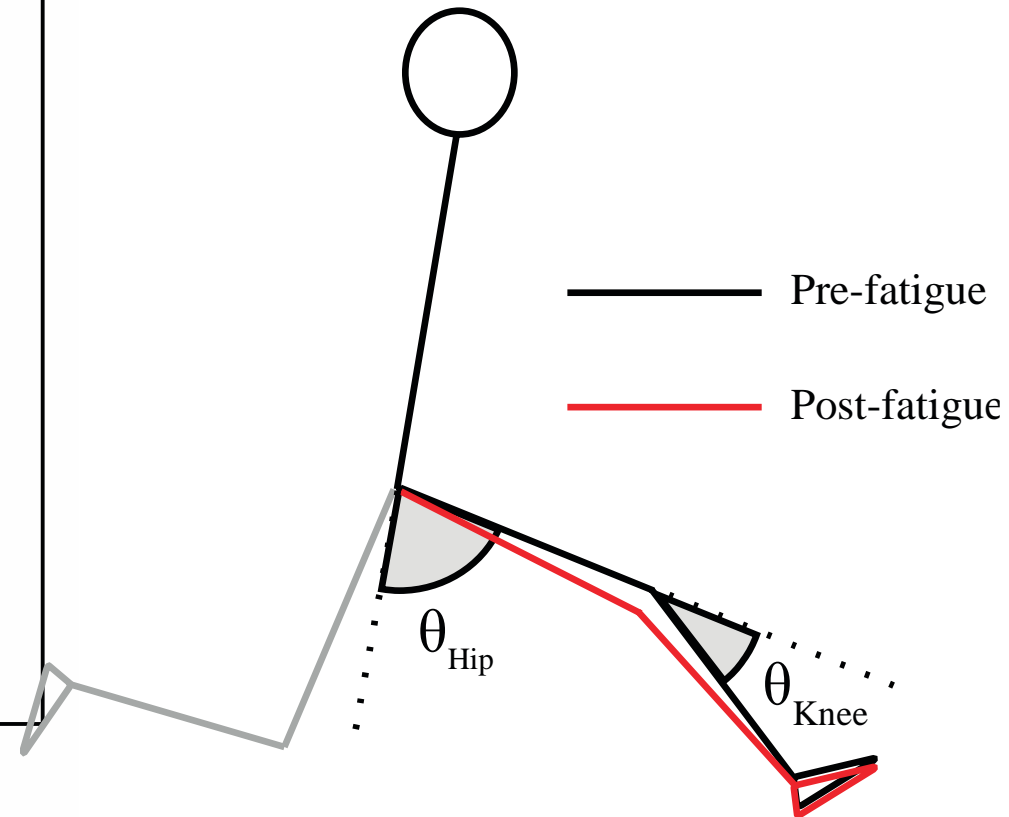
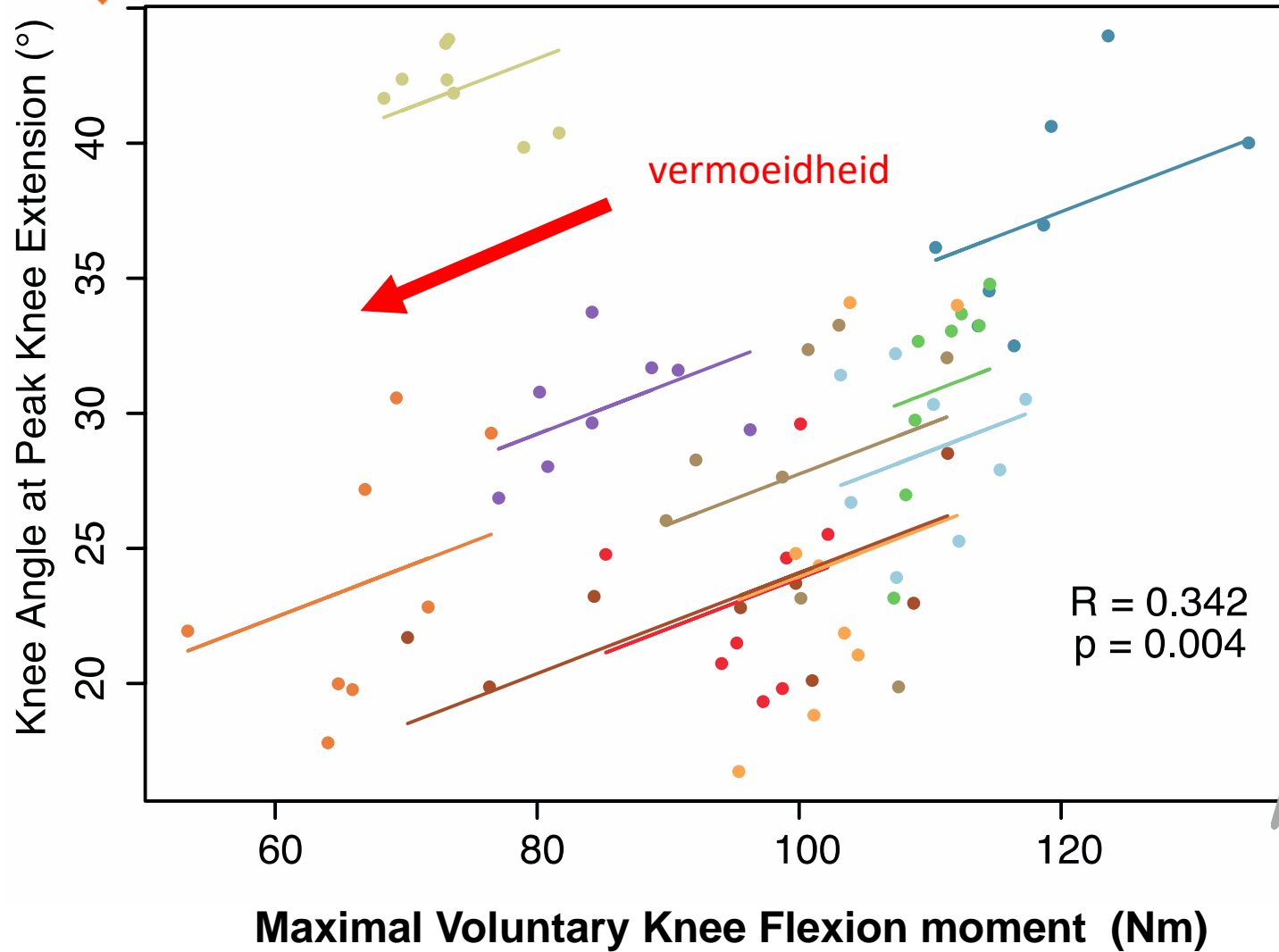


# Hamstring kracht & explosiviteit

[13] Wilmes et al. (2021)



# Hamstring Kracht & Sprint Techniek



Er is in de sportpraktijk behoefte aan belastingsmaten

Nauwgezet de coördinatieve veranderingen van alle spelers monitoren is een uitdaging

-LPM en global navigation satellite systems (GNSS) meten afgelegde afstand in verschillende snelheid zones

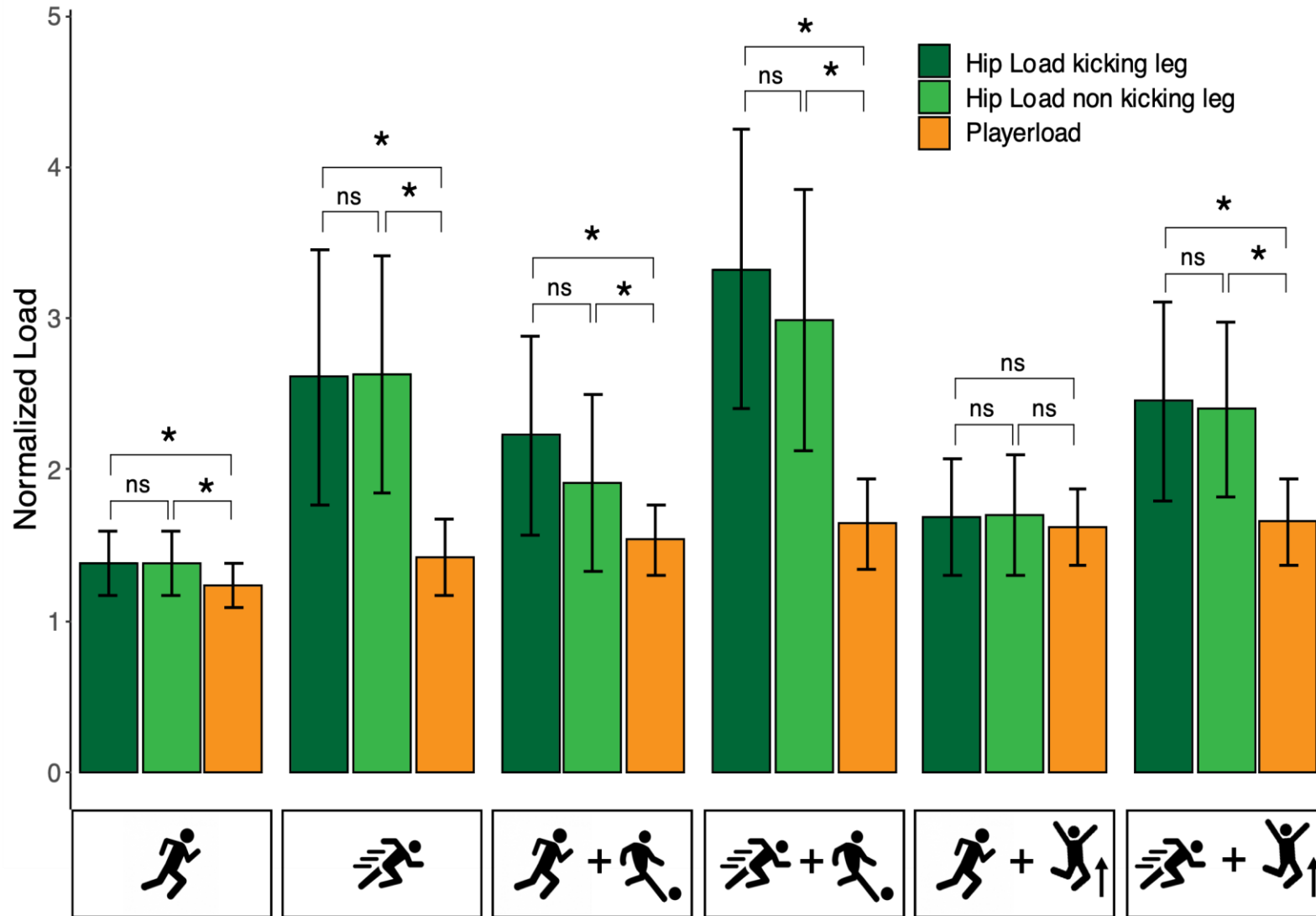
-Player Load zou meer de biomechanische belasting waaraan de sporters onderhevig zijn moeten meten

$$\begin{aligned} & \textit{Playerload} \\ &= \frac{\sqrt{(a_{x,t} - a_{x,t-1})^2 + (a_{y,t} - a_{y,t-1})^2 + (a_{z,t} - a_{z,t-1})^2}}{100} \end{aligned}$$

Echter dit wordt hoog op de rug gemeten, en niet direct rond de gewrichten die het zwaarst worden belast  
Zoals de heupen

$$\begin{aligned} \omega_{hip} &= \omega_{lower\ back} - \omega_{thigh} \\ \textit{Hip Load} &= \frac{|\alpha_{hip}|^2}{10^8} \end{aligned}$$

Hipload is een veel gevoeliger belastingsmaat dan de traditionele Playerload



This work is part of the research programme “Citius Altius Sanius” with project number P16-28 project 6, which is (partly) financed by the Dutch Research Council (NWO). The authors would like to thankfully acknowledge the Royal Netherlands Football Association (KNVB) for facilitating the research program by giving access to their research facilities.



Steijlen, A., Burgers, B., Wilmes, E., Bastemeijer, J., Bastiaansen, B., French, P., . . . Jansen, K. (2021). Smart sensor tights: Movement tracking of the lower limbs in football. *Wearable Technologies*, 2, E17.  
 doi:10.1017/wtc.2021.16

De verwachting is dat 'slimme broeken' kunnen bijdragen aan het verbeteren van het inzicht in de trainingsbelasting van sporters en het reduceren van het blessurerisico.

Met dank aan:

**Peter Verdijk** en **Frans den Boer** (technische ondersteuning)

**Ben van Oeveren** (PhD project hardloop onderzoek)

**Erik Wilmes** (PhD project belasting bij voetbal en hockey)

En tientallen studenten, wier namen jullie terug zagen in de verwijzingen naar de wetenschappelijke artikelen

**En tot slot: de conclusie?** (3 x raden)

# Bewegingswetenschappen (Vrije Universiteit Amsterdam) is een leuke studie!

Verander je wereld, studeer Bewegingswetenschappen



Fietsen met een dwarslaesie? De BerkelBike maakt het mogelijk.

Lees verder →