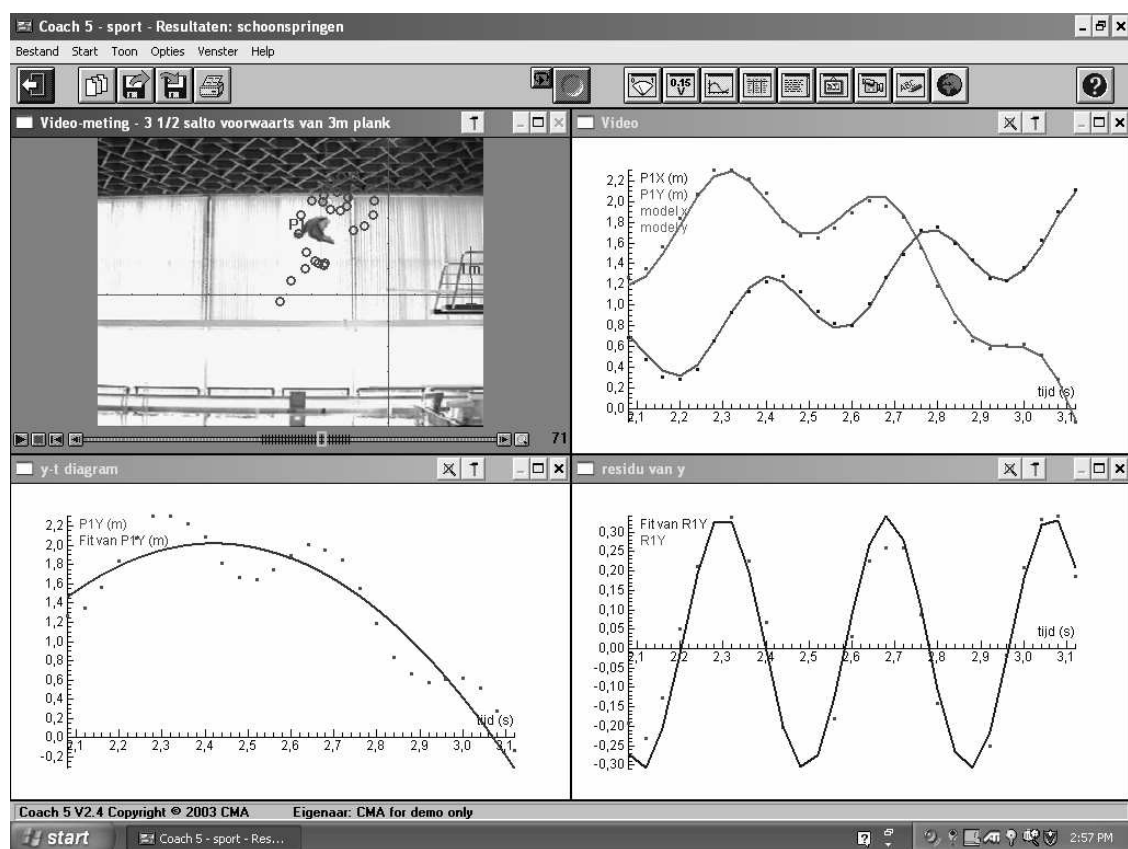


## Een andere draai aan een duik

*Op 15 maart vond de mastercourse 'Wis- en Natuurkunde in beweging' voor wvo-leraren plaats. Het hoofdthema was cycloïden en andere samengestelde krommen bij bewegingen in sport en spel. Videometing met Coach aan een zelf met een webcam of digitale camera opgenomen videoclip maakt dit een levendig en rijk onderwerp. De docenten hebben dit in het practicum tijdens de cursus zelf mogen ervaren door alle facetten van een bewegingsanalyse uit te voeren. We bespreken hier kort het voorbeeld van een schoonspringer.*



### Bewegingsanalyse met Coach

In bovenstaande schermafdruck van een videometing zie je linksboven de videoclip<sup>1</sup> waarin een schoonspringer een drieënehalve salto voorwaarts gehurkt maakt. De cirkels geven de opgemeten positie van het hoofd tijdens de vluchtfase van de duik aan. Een wiskundige beschrijving van de baan van het hoofd lijkt op het eerste gezicht erg lastig. De beweging van het hoofd is

<sup>1</sup> De video clip is afkomstig uit het afstudeerwerk van Lars-Patrick May aan de Johannes Gutenberg Universiteit in Mainz. Zie de website [www.physik.uni-mainz.de/Lehramt/ViMPS](http://www.physik.uni-mainz.de/Lehramt/ViMPS)

tijdens de salto een samenstelling van een parabool (de beweging van het zwaartepunt onder gravitatie) en een sinusoïde (de rotatie van het lichaam). Maar we kennen de positie van het zwaartepunt of draaiingsas niet! Toch zie je in het diagram rechtsboven dat we er in geslaagd zijn krommen volgens dit model te vinden die in het x-t en y-t diagram goed bij de data passen. Hoe gaat dat in zijn werk?

### **Herhaalde functiefit**

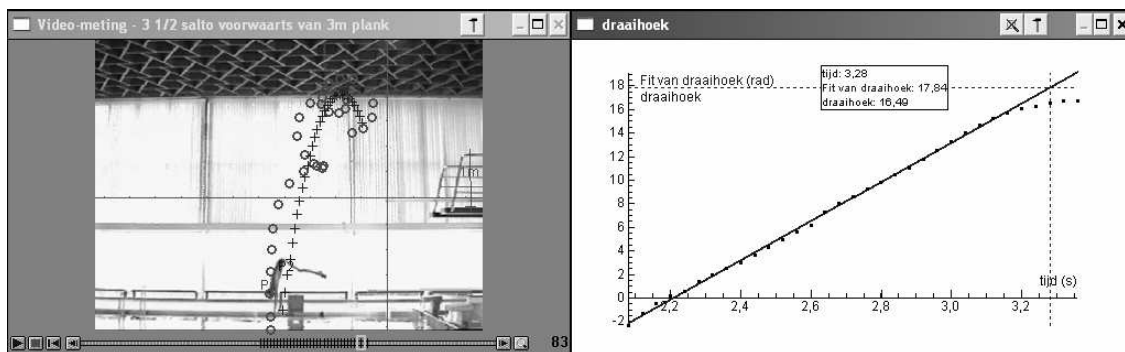
Wat we nu gaan doen lijkt op hocus-pocus, maar het werkt in praktijk heel aardig en is op veel samengestelde bewegingen toepasbaar. Linksonder in de schermafdruck zie je het y-t diagram van de data en daarin een functiefit met een kwadratische functie getekend. Dit is op te vatten als de trend in de verticale beweging van het hoofd. Bekijk nu de residuen, d.w.z. de verschillen tussen de opgemeten waarden en de functiefit-waarden. De residuen zijn in het diagram rechtsonder te zien, samen met een sinusfunctie als best bijpassende fit. Tel de twee gevonden functiefits bij elkaar op en je hebt een mooi model voor de verticale positie van het hoofd: kijk maar in het y-t diagram rechtsboven in de schermafdruck. De analyse van de horizontale positie van het hoofd tijdens de salto kun je op soortgelijke wijze doen: begin met een lineaire fit i.p.v. een kwadratische fit en herhaal functiefit op het residu.

Deze aanpak levert zowel een schatting van de paraboolbaan van het zwaartepunt op (neem de trends in x- en y-positie van het hoofd), als een schatting voor de rotatie op (bekijk de residuen). De door ons gevonden formule voor de verticale positie van het zwaartepunt is  $y_{\text{zwaartepunt}} = -4,8t^2 + 23,1t - 25,9$ . Dit impliceert dat we als benadering voor de valversnelling een waarde van  $9,6 \text{ m/s}^2$  gevonden hebben. Dit is een beetje minder dan de gravitatieconstante van  $9,8 \text{ m/s}^2$ , maar dit kan veroorzaakt zijn doordat we luchtweerstand verwaarloosd hebben. Misschien past het ook wel helemaal binnen de foutenmarges van de meting.

### **Is de hoeksnelheid constant tijdens de vlucht?**

In onderstaande schermafdruck hebben we de salto en de fase vlak voor het te water gaan, wanneer de schoonspringer zich strekt, opgemeten. De kruisjes links op de videoclip geven de paraboolbaan van de door ons geschatte draaiingsas aan. Rechts is het diagram te zien van de gemeten draaihoek uitgezet tegen de tijd (de draaihoek krijg je als het residu in poolcoördinaten opschrijft en de hoek zo kiest dat het een continue functie van tijd is). Tijdens de salto, wanneer de schoonspringer gehurkt ronddraait, zie je in het

diagram dat de draaihoek lineair toeneemt. Met andere woorden de hoeksnelheid van de schoonspringer is dan constant, nl.  $\omega = 16,6 \text{ rad/s}$ . Door de hurkpositie is zijn massamiddelpunt zo dicht mogelijk bij de draaiingsas. In deze houding is het traagheidsmoment  $I$  volgens vakliteratuur ongeveer gelijk aan  $4 \text{ kg m}^2$ . We vinden uit onze videometing dus een impulsmoment  $M = I \omega$  met een waarde rond  $66,5 \text{ kg m}^2/\text{s}$ . Wanneer de schoonspringer uit zijn gehurkte positie strekt om netjes verticaal het water in te plonsen neemt de draaihoek langzamer toe. Dit betekent dat de hoeksnelheid afneemt. Dit volgt ook uit de wet van behoud van hoekimpuls. Bij het strekken van het lichaam neemt het traagheidsmoment toe omdat het zwaartepunt verder weg van de draaiingsas komt<sup>2</sup>. Dus moet de hoeksnelheid wel afnemen, wil de hoekimpuls constant blijven.

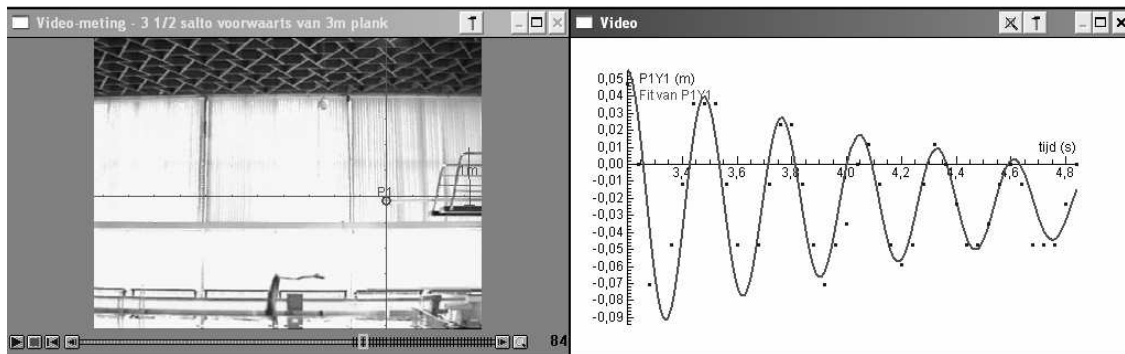


### Wat valt er nog meer te ontdekken?

Je kunt je natuurlijk afvragen op welk moment de schoonspringer zijn hoekimpuls krijgt. Het antwoord is dat hij dit deze 'meeneemt' bij de afsprong van de duikplank. De lichaamshouding tijdens de afsprong verradt of het een salto voorover of achterover wordt. Ook is de voorbereidingsfase, wanneer de schoonspringer naar het einde van de duikplank springt, de moeite van het bestuderen waard. Let dan ook op de beweging van de armen: is het alleen maar om esthetische redenen dat de schoonspringer zijn armen omhoog en weer omlaag brengt of zit daar meer achter?

Iets anders dat je aan de gegeven videoclip kunt onderzoeken is de trilling van de duikplank na de afsprong. Onderstaande schermafbeelding laat zien dat de verticale positie van het uiteinde van de duikplank, wanneer deze niet meer van zijn ligger af komt, aardig beschreven wordt door een gedempte trilling.

<sup>2</sup> De verhouding  $I$  (gestrekt) :  $I$  (gehurkt) is ongeveer 3,5:1



Kortom, aan een enkele videoclip kunnen leerlingen en docenten m.b.v. videometing een heleboel interessante zaken uitzoeken waar wis- en natuurkunde bij komt kijken.

### Sferbeelden van de mastercouse

We eindigen met twee foto's met leraren in actie tijdens het practicum: zij bestuderen een slingerende pen en een grote jojo.



En daarna was er tijd voor 'après sport'.

### Geraadpleegde literatuur

D.J. Miller. Springboard and Platform Diving. In: V. Zatsiorsky (red.), *Biomechanics in Sport*, pp. 326-348. Blackwell Science, 2000.

C. Frohlich. Do springboard divers violate angular momentum conservation? *American Journal of Physics* **47**, 583-593, 1979.