

# Wis- en natuurkunde van het lopen

*Auteurs:*

*André Heck (AMSTEL Instituut, Universiteit van Amsterdam)*

*André Holleman (Bonhoeffer college, “leraar in onderzoek” bij AMSTEL Instituut)*

*Geschikt als praktische opdracht in 4 of 5 VWO B bij leerlingen zonder Coach ervaring. Begrote totale studielast is 8 uur.*

© 2002 AMSTEL Instituut. Verder gebruik alleen toegestaan met bronvermelding.

## **Vooraf**

Bij deze praktische opdracht ga je werken met het programma Coach. Je kent dit programma waarschijnlijk al vanuit de natuurkundeles en misschien van biologie.

Coach is een programma dat oorspronkelijk ontwikkeld is voor de natuurwetenschappen. Met behulp van dit programma kun je gemakkelijk allerlei meetgegevens met behulp van meetinstrumenten en de computer verzamelen. Coach zet de gegevens om in *grafieken* en *tabellen* en geeft mogelijkheden om ze te analyseren met behulp van allerlei formules.

Coach bevat de mogelijkheid tot *videometen*. Je neemt zelf een videofilmje op, of beschikt over een bestaande videoclip, en gebruikt die om allerlei zaken te onderzoeken. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de baan, snelheid en versnelling van een geworpen basketbal, de achtbaan op een kermis, het botsen van twee auto's en zo meer.

Je gaat deze mogelijkheid gebruiken voor het meten aan *loopbewegingen*. Je gebruikt hierbij bestaande videoclips van lopen, joggen, snelwandelen en rennen. Eventueel zou je bij een uitgebreidere praktische opdracht zelf met een *webcam* filmpjes kunnen opnemen, bijvoorbeeld om je eigen loopbeweging of die van een medeleerling te bestuderen. Kortom, je speelt dan de rol van bewegingswetenschapper.

Het programma Coach werkt met *projecten*. Elk project kan verschillende (deel)*activiteiten* bevatten. Deze opdracht betreft het project *Lopen*. Dit project bevat vijf activiteiten plus enkele praktische opdrachten die (later) naar keuze uitgevoerd kunnen worden.

## **Motivering van bewegingsonderzoek**

Mensen lopen bijna allemaal op dezelfde manier: het is een *periodieke beweging* waarin je de ene stap na de andere zet in een zekere richting. Tijdens het lopen beweegt het zwaartepunt van je lichaam op en neer en maak je een zwaai-beweging met beide armen. Toch kun je een bekende vaak op afstand al herkennen aan zijn of haar manier van lopen. De loopbeweging heeft kennelijk ook persoonsgebonden kenmerken. In de *misdaadbestrijding* biedt dit mogelijkheden om aan de hand van beelden die met een bewakingscamera opgenomen zijn weggrennende dieven of relschoppers, waarvan het gezicht niet te herkennen is, te identificeren. *Loopherkenning* zou een goede aanvulling kunnen zijn op andere identificatiemethoden zoals vingerafdruk en iriscopie.

Onderzoekers in de *biomechanica* proberen meetbare en karakteristieke eigenschappen van het lopen te vinden die kenmerkend zijn voor bepaalde manieren van lopen, bijvoorbeeld rustig wandelen, stevig doorstappen, rennen, enzovoort. Het gaat hierbij zowel om kenmerken die voor iedereen gelden, als om kenmerken voor individuele verschillen.

Een van de zaken die daarbij aan de orde komt is hoe je de bewegingen van de ledematen met goniometrische, dus periodieke functies goed kunt beschrijven. Nu is natuurlijk zo dat niet iedere periodieke kromme eenvoudig met één sinusgrafiek te beschrijven is, maar bij loopbewegingen of onderdelen hiervan blijkt dat vaak wel redelijk mogelijk. De loopherkenning van personen is gebaseerd op het wiskundige model van krommen die opgebouwd zijn uit verschillende sinusgrafieken. Het analyseren van periodieke bewegingen

met behulp allerlei sinusgrafieken is een veel gebruikte wiskundige techniek, bekend als *Fourier-analyse*. Deze Fourier-analyse ligt ten grondslag aan de zogeheten *loopsignatuur*.

Een heel andere motivatie voor bewegingsonderzoek komt uit de hoek van de *tekenfilm-industrie*. Aan lichaamshouding en bewegingen van een persoon kun je vaak zijn of haar gemoedstoestand aflezen. Een opgewekt persoon loopt anders dan iemand die in een depressieve gemoedstoestand verkeert. Ook deze emotionele kant van het lopen kan experimenteel in wiskundige termen beschreven worden. Makers van tekenfilms en science fiction films hebben hier belang bij: zij willen vaak geen robotachtige figuren in de film hebben, maar wezens die emotie tonen. De wiskunde van het lopen helpt ze een handje.

*Bewegingswetenschappers* ondersteunen met hun analyses ook *topsporters*. Door lichaamsbewegingen en de krachten die hiermee gepaard gaan te meten en te analyseren kunnen zij sporters adviezen geven teneinde de sportprestaties te verbeteren. Zo kan een kleine verbetering aan de techniek van een hordeloper kan al het verschil betekenen tussen kampioenschap en verlies.

Tenslotte zijn er nog talloze *medische redenen* voor bewegingsonderzoek: om problemen in het menselijk bewegingsapparaat adequaat te kunnen verhelpen moeten lichaamsbewegingen eerst goed in kaart gebracht worden. Het ontwerpen of aanmeten van geschikte hulpstukken voor mensen met loopstoornissen, denk bijvoorbeeld aan prothesen, krukken of speciaal schoeisel, vereist een goed inzicht in de loopbeweging. Wiskunde helpt om objectieve maatstaven in handen te krijgen.

## Het lesmateriaal

De benodigde uitleg en de opdrachten komen straks bijna allemaal op het scherm. We hebben ze ook op papier gezet, zodat je zelf kunt kiezen wat je het prettigst vindt. De computer-aanwijzingen zijn in de eerste activiteiten zo gedetailleerd opgeschreven dat ze de indruk kunnen wekken van een ‘knoppencursus’. Dit is gedaan om je snel en zelfstandig met videometen via Coach kennis te kunnen laten maken. De wis- en natuurkunde zit vooral in de toepassing. Overigens, na dit project heb je zoveel over Coach geleerd dat je in de toekomst zonder veel problemen andere projecten hiermee zou kunnen doen.

## Verslag

Bij deze praktische opdracht hoort het maken van een bondig verslag met een tekstverwerker over de laatste drie Coach activiteiten. Daarin horen de antwoorden bij opdrachten die om een antwoord vragen, soms een kort antwoord, soms een wat langer, maar in ieder geval een duidelijk antwoord. Ook willen wij graag weten welke onderdelen je gemakkelijk en welke je moeilijk vond.

Als je een activiteit heb afgesloten dan vraagt Coach “Resultaat of wijziging bewaren?”: klik dan “ja”. Zo krijg je ook nog een digitaal onderdeel van je verslag!

*Vanuit Coach kun je tabellen, grafieken en teksten kopiëren en plakken naar een Word document. Het is daarom aan te bevelen om, samen met Coach ook Word aan te zetten. Je kunt dan alvast grafieken, tabellen en wat al niet meer naar Word kopiëren. Wat je ervan gebruikt zie je later wel.*

Verder verwachten wij nog een overzicht van de tijd die je aan de verschillende onderdelen hebt besteed (logboek).

## Inhoudsopgave

Vidometing van het lopen .....	3
Wiskundige analyse van het lopen .....	5
Armbeweging bij lopen .....	8
Zwaaibeen bij langzaam lopen .....	13
Beenbeweging in een hele periode bij langzaam lopen .....	15
Extra praktische opdrachten over lopen .....	18

# Project Lopen

Dit project bestaat uit vijf activiteiten:

1. Videometing van het lopen.
2. Wiskundige analyse van het lopen.
3. Armbeweging bij lopen.
4. Zwaaibeen bij langzaam lopen.
5. Beenbeweging in een hele periode bij langzaam lopen.

Onderwerp van het project is onderzoek van wiskundige kenmerken van arm- en beenbewegingen tijdens het lopen. In de eerste drie activiteiten maak je vooral kennis met de mogelijkheden van Coach om aan de hand van videoclips bij wandelen en slenteren wiskundige kenmerken van loopbewegingen op te sporen. Ook gebruik je eenvoudige modellen om de meetgegevens in een theoretisch kader te bekijken. In de latere activiteiten ga je meer zelfstandig onderzoek aan de beenbeweging doen. Er zijn in dit project ook enkele keuzeopdrachten voor de liefhebber opgenomen.

## *Activiteit 1: videometing van het lopen*

In deze activiteit maak je kennis met een aantal mogelijkheden van Coach. Een deel van het werk daarbij is al gedaan, zoals je zult zien. Bij latere activiteiten moet je het geleerde zelf gaan toepassen.

Start Coach, (log in als student; een wachtwoord hoeft niet) en kies het project *Lopen*. Klik op de knop 'Kies een activiteit' en kies *1. Videometing van het lopen*.



### *Inleiding*

Je ziet een menubalk en vier vensters:

*linksboven:* een videometing aan een uitvergroete en scherper gestelde videoclip.

*rechtsboven:* een scherm met de originele videoclip.

*linksonder:* een leeg venster.

*rechtsonder:* een tekstvenster.

Rechtsboven zie je een kort filmpje van mijnheer Holleman die langs een gebouw loopt. Deze videoclip is buiten met een webcam, verbonden aan een laptop, gemaakt. Elke seconde zijn er 25 beeldjes geschoten. Speel het filmpje af om een indruk te krijgen van de loopbeweging.

Het filmpje is met behulp van videosoftware uitvergroet en scherper gemaakt om gemakkelijker op de computer metingen te kunnen doen. In het video-meetvenster linksboven zie je een assenstelsel, een lichtblauwe schaal aanduiding met 1 meter erbij, en meetpunten (door middel van rode en lila bolletjes) op de rechterschouder en de rechterhand. Een van de meetpunten op de hand staat overigens verkeerd.

De videoclip bestaat uit 32 beelden, die weergegeven worden als streepjes in de beeldenbalk onder in het linker videovenster.

Deze activiteit is bedoeld als een eerste kennismaking met de mogelijkheden van Coach om op videoclips metingen te doen. Neem resultaten van je werk alleen op in het verslag als daar een goede reden voor is. We zullen vooral aandacht schenken aan

- het in grafiekvorm weergeven van gemeten grootheden;
- de directe koppeling tussen grafiek en videoclip.

Deze inleiding staat in een tekstvenster. Behalve een inleiding zijn er ook andere teksten met opdrachten. Om deze opdrachten te zien linksklik je op de gele knop 'Kies tekst' in de knoppenbalk. Kies '2. Koppeling van tabellen en grafieken met een videometing'. De muiswijzer verandert. Ga naar een leeg venster en klik daarin. Zo kun je ook de vervolgteksten in beeld krijgen. Deze tekstvensters heb je eigenlijk niet nodig, want de teksten staan ook op papier. Kies maar wat je het gemakkelijkst vindt.

### ***Koppeling van tabellen en grafieken met een videometing***

1. Coach verwerkt de meetpunten automatisch tot een tabel en een diagram (=grafiek). Om de tabel te zien klik je op de knop 'Kies tabel'. Kies de tabel getiteld 'Holleman loopt' en klik in het venster rechtsboven (het aanwezige filmvenster gebruiken we toch niet meer).

Als je rechtsklikt in het tabelvenster krijg je een menu. Kies 'Toon als diagram'. Omdat we de inleiding niet meer nodig hebben klik je in dat tekstvenster.

2. In het diagram zie je vier grafieken. Wat is de betekenis van P1X, P1Y, P2X en P2Y?. Hoe komt het dat de ene rode grafiek nagenoeg horizontaal is en de andere steeds stijgt? In de twee stijgende grafieken ligt de rode grafiek afwisselend boven en onder de lila grafiek. Geef hiervoor de verklaring.

3. Rechtsklik in het diagram (of klik op de 'hamerknop', tweede van links boven in het diagramvenster). Kies 'Lees uit' en klik ergens op de tijd-as. Merk op: in het videomeet-venster verschijnt het beeldje bij de gekozen tijd, in het tabelvenster wordt de bijpassende rij geselecteerd en in een kader rechtsboven in het diagramvenster worden de coördinaten van de gekozen grootheden zichtbaar. Dit kader kun je overigens verslepen naar elke plek in het diagramvenster, bijvoorbeeld naar een plek waar het geen grafieken aan het zicht onttrekt.

Versleep de cursor in het diagramvenster en merk op dat het getoonde beeldje in de videoclip en de geselecteerde rij in de tabel mee veranderen. Door op het toetsenbord op de pijltjes naar links ← en rechts → te drukken (terwijl het video- of diagramvenster de focus heeft) kun je stap voor stap door de filmbeelden en bijpassende punten op grafiek heen gaan. Zo kun je gemakkelijk interessante punten van de grafieken en beeldjes in de videoclip met elkaar in verband brengen.

4. Versleep de cursor in het diagramvenster totdat je bij de misplaatste meting van de positie van de rechterhand aanbelandt. Je kunt nu het verkeerde bolletje met de muis verslepen naar een betere plaats.

Doe dat en bekijk het resultaat in diagram en tabel.

Je zou op deze manier meer meetpunten kunnen verplaatsen. (Dat kan overigens op meer manieren, zoals je nog zult zien of zelf ontdekken.)

Rechtsklik in het diagramvenster en Stop uitlezen.

### ***Meten op de videoclip***

1. In de activiteit zijn we overigens vroegtijdig gestopt met meten: op de laatste vier beeldjes zijn posities van schouder en hand niet meer gemeten. Dit moet je zelf nog afmaken.

Start de meting door op de groene 'Start' knop in de knoppenbalk te drukken. De videoclip springt vanzelf naar het eerst niet opgemeten beeldje. Beweeg de cursor over het videovenster naar het

midden van de sticker op de rechterschouder en klik op dit punt. Beweeg vervolgens de cursor naar het midden van het papiertje dat mijnheer Holleman in zijn hand houdt en klik op dit punt. Je hebt nu de twee posities opgemeten en de videoclip springt vanzelf over naar het volgende op te meten beeldje. Herhaal dit tot je klaar bent (de 'Start' knop verspringt van rood naar groen).

### ***Inzoomen op grafieken***

1. In het diagramvenster zijn de x- en y-coördinaten van de schouder en de rechterhand tijdens het lopen uitgezet tegen de tijd. Tijdstip  $t=0$  is gekozen op het eerste beeldje van de videoclip. Rechtsklik in het diagram. Kies 'Automatisch herschalen'. De grafieken passen nu precies in het assenstelsel. Je ziet ook een rood kruis door het vergrootglas op het linkse knopje rechtsboven in het diagramvenster. We noemen dit het 'herschaaiknopje'.
2. Een tweede manier om in te zoomen is door (links)verslepen van de muis: een rechthoekig inzoomgebied verschijnt. Zoom een paar keer in op de grafiek van de verticale positie van de schouder. Door op het herschaaiknopje in het diagramvenster te klikken kom je weer terug bij de vorige afmeting.

Verlaat de activiteit.

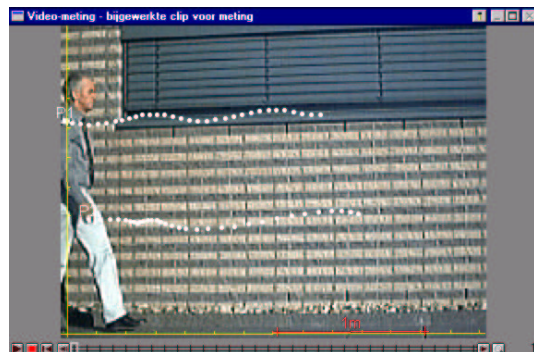
Antwoord “ja” op de vraag “Activiteit bewaren?”

### ***Activiteit 2: wiskundige analyse van het lopen***

In deze activiteit maak je kennis met nog meer mogelijkheden van Coach. Het centrale thema is het bepalen van een geschikte kromme bij meetgegevens.

Start zonodig Coach en kies de activiteit

2. *Wiskundige analyse van het lopen.*



#### ***Inleiding***

In het filmpje loopt mijnheer Holleman langs een gebouw. Je ziet een assenstelsel, een lichtblauwe schaal aanduiding met 1 meter erbij, en meetpunten (door middel van rode en lila bolletjes) op de rechterschouder en de rechterhand.

De videoclip bestaat uit 32 beelden, die weergegeven worden als streepjes in de beeldenbalk onder in het videovenster.

Voor het gemak zijn de grafieken van de coördinaten van schouder- en handpositie al klaar gezet.

In deze en volgende activiteiten zul je zien dat de loopbeweging goed met goniometrische functies beschreven kan worden. We concentreren ons hier vooral op de bewegingen van de rechterschouder en de rechterhand.

#### ***Enkele observaties over lopen***

1. Door goed naar de videoclip en de bijpassende grafieken te kijken kun je al heel wat te weten komen over lopen. Enkele vragen n.a.v. de videoclip:  
Welke periodieke beweging maken je benen bij lopen en welke fasen kun je hierin onderscheiden?

Wat kun je zeggen over de coördinatie tussen arm- en beenbeweging?  
Wat is het verband tussen schouderhoogte en fase in de beenbeweging?

Hoeveel meter per seconde loopt mijnheer Holleman op dit filmpje?  
Wat is jouw schatting van de tijdsduur van een hele periode in de loopbeweging? Bereken hieruit de stapfrequentie, d.w.z. het aantal stappen per minuut. (leg ook uit wat je onder een stap verstaat)

2. Je kunt in het video-meetvenster ook gemakkelijk afstanden en hoeken opmeten. Klik met de rechter muisknop in het videovenster of klik met de linker muisknop op de hamerknop in dit kwadrant. Kies 'Meetlat'. Sleep de uiteinden van de meetlat zodat ze liggen op de punten waartussen je de afstand wilt weten. Meet op deze manier de stapgrootte.
3. Uit de gemeten stapgrootte en stapfrequentie kun je de gemiddelde snelheid berekenen. Hoeveel meter per seconde loopt mijnheer Holleman in het filmpje? Klopt dit met je eerder gevonden antwoord? Wat is deze snelheid uitgedrukt in kilometer per uur?

### ***Oefenen met nieuwe diagrammen maken***

1. Rechtsklik in het diagramvenster. Kies 'Wijzig/maak diagram'. In het dialoogvenster zie je onder andere de naam van het venster, de mogelijkheid om een raster (rooster) aan te brengen, acht kolommen om te kiezen en onderaan de mogelijkheid om de grafiek bijvoorbeeld een ander kleurtje te geven. Klik op C1. De 'Klok' is verbonden met de tijd op de videofilm. Bekijk C2, C3, C4 en C5. Je herkent vast de coördinaten van de meetpunten. Maak de verticale coördinaten van de gemeten posities onzichtbaar.
2. Klik op de gele knop 'Kies diagram' in de knoppenbalk. I.p.v. een bestaand diagram te kiezen, maak je nu een nieuw diagram, alleen voor de positie van de rechterhand: druk op 'Nieuw diagram' en geef dit diagram een zinvolle naam (bijvoorbeeld 'hand'). Kies als eerste kolom de verbinding 'Klok' en als tweede resp. derde kolom de x- en y-coördinaat van de rechterhand. Klik op OK en kies het nieuw gemaakte diagram: je hebt nu twee grafieken in een diagram. Zoek zelf uit hoe je de verticale positie van de hand uit kunt zetten tegen de horizontale positie. Wat betekent deze grafiek?
3. Experimenteer in het nieuw gemaakte diagram met de mogelijkheden om de meetpunten op diverse manieren en in verschillende kleuren weer te geven.

### ***Bepalen van een geschikte kromme bij meetgegevens***

1. Zet de horizontale positie van de rechterschouder in een grafiek uit tegen de tijd. Gebruik hiervoor een nieuw diagramvenster. Teken alleen de meetpunten en verbindt ze niet met rechte lijnstukjes. Rechtsklik in het diagram (of klik op de 'hamerknop', tweede van links boven in het diagramvenster). Kies 'Analyse' en daarvan 'Functiefit' (to fit = passen). Bij 'Functietype' zie je dat  $f(x)=a \cdot x+b$  getekend is. De waarden van  $a(=1,38)$  en  $b(=-9E-3)$  van de getekende rechte lijn staan ernaast. Klik op 'Auto-fit'. De rechte lijn die het beste past bij de meetpunten wordt berekend. In dit geval verandert alleen de waarde van  $b$ . Als je nu OK aanklikt, dan wordt de rechte lijn aan het diagramvenster toegevoegd. Kies je 'Stop', dan blijft het diagramvenster zoals het was.

Schrijf de formule van de rechte lijn op en klik OK. Wat is de betekenis van de richtingscoëfficiënt van deze lijn?

2. Zet de verticale positie van de rechterschouder uit tegen de tijd. Zet alleen de meetpunten uit en verbindt ze onderling niet met rechte lijnstukjes. Zoom in zodat de grafiek zo groot mogelijk in beeld is. Je ziet een op- en neergaande grafiek. Het is geen sinusgrafiek want de trend van de grafiek is schuin omhoog. Wat kan hiervoor een reden zijn? (Hint: meet in het videofilmpje met de 'meetlat' het hoogteverschil tussen raam en grond op aan de linker- en rechterkant van het raam).

3. We gaan de verticale positie van de schouder zo goed mogelijk met een formule beschrijven.

Eerst maar eens de trend vaststellen: maak een functiefit van de meetgegevens met een rechte lijn. Voeg deze rechte lijn toe aan het diagram.

Zet de grafiek van het verschil tussen de gemeten y-positie en de benadering met een rechte lijn uit met behulp van een tweede verticale as. Dit kun je in een diagramvenster als volgt bewerken:

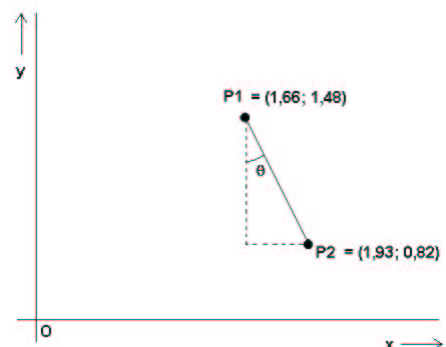
- rechtsklik in het diagramvenster en kies de menuoptie 'wijzig/maak diagram'.
- kies een lege kolom en verander de verbinding in 'formule'.
- Kies 'y-as rechts'
- Klik in het vak achter 'Formule:'
- Klik op de 'Wizard-knop' (de knop met de goochelhoed als icoon)
- Klik op bekende grootheden en wiskundige operaties om de geschikte formule te maken.
- Vul de naam van de grootheid en (optioneel) de eenheid in.
- Klik op OK en herschaal de grafiek door herhaald te klikken op het herschaalknopje totdat je de verschilgrafiek goed in beeld hebt.

Als alles goed is gegaan heb je een verzameling van punten die redelijk op een sinusgrafiek lijken te liggen. Bepaal met functiefit de best bijpassende sinusoïde. De som van deze sinusoïde en de eerder gevonden rechte lijn beschrijft de meetgegevens tamelijk goed. Ga dit na door Coach de grafiek van deze som te laten tekenen.

4. Als je de positie van schouder en hand op een bepaald tijdstip kent, kun je de hoek die de gestrekte arm op dat moment maakt met de denkbeeldige verticale as door de schouder uitrekenen. Eerst maar eens een voorbeeld uitrekenen: in het diagram kun je uitlezen dat op tijdstip  $t=1,2s$ , de positie van de schouder (P1) gelijk is aan  $(1,66; 1,48)$  en de positie van de rechterhand (P2) gelijk is aan  $(1,93; 0,82)$ . Posities zijn gemeten in meters t.o.v. het assenstelsel.

Gebruik nevenstaand schetsje om de aangegeven hoek  $\theta$  uit te rekenen.

Hint: reken eerst de tangens van de hoek uit en bepaal vervolgens met de grafische rekenmachine welke hoek in radialen hier bij past. Controleer je antwoord door in de videoclip op het juiste beeldje de armhoek op te meten met de elektronische gradenboog (maximaliseer eventueel het videovenster om beter de gradenboog te kunnen aflezen).



5. Laten we nu het algemene geval proberen: we noteren de posities van P1



resp. P2 als  $(x_1, y_1)$  en  $(x_2, y_2)$ . Ga na dat de volgende formule toepasbaar is:

$$\tan(\theta) = \frac{x_2 - x_1}{y_1 - y_2}$$

Anders gezegd: de hoek reken je uit met de formule

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x_2 - x_1}{y_1 - y_2}\right).$$

In de Coach activiteit is een diagram, met de naam 'armhoek', die deze formule gebruikt (met arctan als synoniem van  $\tan^{-1}$ ). Maak dit diagram zichtbaar. Meet met de elektronische gradenboog van het video-meetvenster de armhoek in het eerste videobeeldje op en controleer je antwoord in de grafiek van de armhoek.

Verlaat de activiteit.

Antwoord "ja" op de vraag "Resultaten of wijzigingen bewaren?"

### **Activiteit 3: armbeweging bij lopen**

In deze activiteit analyseer je de zwaaibeweging die armen bij lopen maken. Je meet met behulp van Coach de hoek die het lijnstuk van rechterschouder naar rechterhand maakt met de denkbeeldige horizontale lijn vanuit de schouder en daaruit leid je de armhoek, door ons gedefinieerd als de hoek van de arm met de denkbeeldige verticale as door de schouder, als functie van de tijd af.



In dit voorbeeld leer je hoe je metingen in de module videometen van Coach kunt uitvoeren. De instructies zijn zeer gedetailleerd en helpen je door het voorbeeld heen.

Start zonodig Coach en kies de activiteit 3. *Armbeweging bij lopen*.

#### **Openen van een film**

1. Klik met de rechter muisknop in het kwadrant 'Video-meting' en kies 'Haal Video op'. Selecteer de film 'lopen'.

#### **Afspelen van de film**

2. De film, die buiten met een webcam en een laptop is opgenomen, toont iemand die loopt langs een gebouw. Speel de videoclip af door op de afspeelknop te drukken onder de film, links naast de beeldenbalk.
3. De streepjes in de beeldenbalk corresponderen met de afzonderlijke beeldjes waaruit de videoclip bestaat. Het zijn er hier 42. Door op het toetsenbord op de pijltjes naar links ← en rechts → te drukken kun je stap voor stap door de beelden heen gaan. Doe dit en merk op dat er bij het 22<sup>e</sup> beeldje iets aan de hand is: het is identiek aan het vorige beeldje. Hier is bij het opnemen van de film kennelijk een beeldje gemist ("frame dropped"). Bij het meten op de video moet je hier straks rekening mee houden.

#### **IJking van de film**

Voordat je de meting kunt uitvoeren moeten de afstanden in de videoclip geijkt worden. Soms is in het eerste beeldje door de makers een



indicatie van lengte aangebracht. In deze clip moet je het doen met het gegeven dat de vierkante stoeptegels 50 cm breed zijn.

1. Rechtsklik in het videokwadrant; kies 'Coördinaat-instellingen'.
  - Schaal: omdat de verticale en horizontale schaal gelijk zijn kies je 'Dezelfde schaal in alle richtingen'.
  - Oorsprong: omdat we de armbeweging vanuit de schouder willen bestuderen kies je voor oorsprong 'Eerst-geklikte punt in elk beeldje'.
  - Tijddijking: De videoclip is opgenomen met een snelheid van 30 beeldjes per seconde. Deze informatie legt het verband tussen framenummer en de tijd in seconden vast zodra je het tijdstip  $t=0$  gekozen hebt. Laat deze keuze staan op 't=0 bij eerste beeldje' en klik OK.
2. Nu kan de instelling van de schaal gestart worden. Leg de 'rode' schaallijn precies over twee stoeptegels heen op de denkbeeldige horizontale lijn waarlangs de voeten van de loper gaan (waarom eigenlijk?). Noteer de schaallengte van 100 cm in het venster "Instellingen voor schalen". De ijking is nu uitgevoerd.

### **Optionele meetinstellingen**

*Selectie van aantal meetpunten en hun weergave*

1. Rechtsklik in het videokwadrant en selecteer 'Videopunten'.
2. We willen 1 punt, het midden van de hand, per beeldje meten. Dus bevestig door op OK te klikken.
3. Ga naar 'Markering & Kleuren' en kies de gewenste kleur en de markering voor de meetpunten (een blauw bolletje werkt prima).

*Selectie van beelden*

Je legt vast welke beeldjes je precies voor de meting wilt gebruiken. Er zijn vier mogelijkheden om beeldjes te selecteren

1. Rechtsklik in het videovenster en kies 'Selecteer beeldjes'.
2. Als je alle meetpunten wilt verzamelen, kies dan 'Gebruik alle beeldjes'. Dit is de default keuze van Coach. Maar zoals je al geconstateerd hebt is beeldje 22 ongeschikt voor videometing. Ook is een automatische keuze van gelijkmatig verdeelde beeldjes minder geschikt want je kunt vooraf snel nagaan dat vanaf het 37<sup>e</sup> beeldje de rechterhand buiten beeld is.
3. In dit voorbeeld willen we gelijkmatig meetpunten verzamelen van beeldje 1 t/m 36, met overslaan van frame 22. Bijvoorbeeld kunnen we beeldjes 1 t/m 36 kiezen met tussenliggende stappen van 2. Anders gezegd, we kiezen voor beeldje 1, 3, 5, ..., 33, 35. Kies daartoe 'Met Formule' en vul in de formule  $1-36\$/2$ . Deze formule kun je dus lezen als 'beeldje 1 t/m 36 met stappen van 2. Alle geselecteerde beeldjes zijn op de beeldenbalk zwart gemarkeerd. In grijs staan de niet-geselecteerde frames.

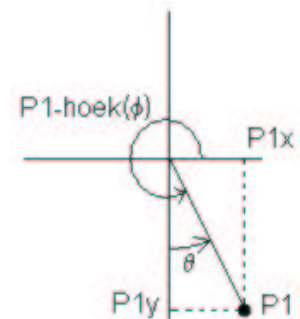
Overigens kun je na de keuze van beeldjes om in te meten met de Insert-toets alsnog frames toevoegen. Met de Delete-toets kun je geselecteerde beeldjes alsnog weghalen.

## **Metten**

1. Start de meting door op de groene 'Start' knop te klikken. De kleur van deze knop verandert in rood ten teken dat je op ieder moment kunt stoppen met meten.
2. Beweeg de cursor over het videovenster en klik op de rechter-schouder. Realiseer je dat de coördinaat-instellingen zo gekozen zijn dat dit de oorsprong van het assenstelsel voor dit beeldje in de clip wordt.
3. Klik vervolgens op de rechterhand.
4. Hierna verspringt de video naar het volgende beeldje om in te meten. Herhaal stap 2 en 3.
5. Als je voortijdig mocht besluiten dat je voldoende punten hebt of als je nog iets aan de instellingen wilt veranderen, druk dan op de rode 'Stop' knop. Maar voor het beste resultaat van de analyse van de armbeweging kun je maar beter alle geselecteerde beeldjes opmeten. Aan het einde van de meting verandert de kleur van de 'Start' knop uit zichzelf van rood naar groen.
6. Als je de vastgelegde meetpunten in het videovenster wilt blijven zien, kies dan 'Spoor' onder de hamerknop van het venster of door rechtsklikken in het videovenster.

## **Weergave van de metingen**

1. Rechtsklik in het videovenster en kies 'Toon als Diagram' om een grafiek van de gemeten punten af te beelden. De cursor krijgt de vorm van een klein grafiekje. Klik in het kwadrant waar je de grafiek wilt hebben.
2. In het diagram dat verschijnt zijn P1X (x-positie) en P1Y (y-positie) tegen de tijd uitgezet. Herinner je dat we eigenlijk de armhoek, d.w.z. de hoek die de arm met de denkbeeldige verticale lijn door de schouder maakt, als functie van de tijd willen kennen. Gelukkig meet Coach meer dan alleen de positie van een meetpunt bij videometing. Ook worden de afstand van het meetpunt tot de oorsprong O van het assenstelsel en de P1-hoek  $\phi$  (spreek uit fie) van de lijn OP1 met de horizontale as vastgelegd. Zie de figuur hiernaast. De armhoek is hierin met  $\theta$  (spreek uit tèteta) aangeduid. Wijzig het diagram: zet 'P1-hoek' tegen 'tijd' uit. Je kunt desgewenst ook de naam 'P1-hoek' vervangen door 'phi'. Merk op dat de hoek in graden wordt gemeten. Dit is een door de auteur van de activiteit ingestelde activiteitoptie. Kijk maar onder de menuoptie 'activiteit-opties'. De goniometrische functies houden met deze keuze van eenheid rekening: bijvoorbeeld  $\sin(90)=1$ .



3. Bepaal de armhoek  $\theta$  als formule in 'P1-hoek', voeg de grafiek van de armhoek aan het diagram toe en maak 'P1-hoek' onzichtbaar.

## **Corrigeren van metingen**

Als je niet tevreden bent over bepaalde meetwaarden, kun je terug gaan naar een beeldje en de meting corrigeren. Om een en ander zo goed mogelijk te kunnen zien kun je het videobeeld vergroten.

1. Klik in het videovenster om het te activeren en druk daarna nog een keer op de  $\uparrow$  toets. De videoclip wordt in het venster zo groot mogelijk neergezet. Is dit nog niet groot genoeg, maak dan het videovenster maximaal door op de 'maximize'-knop in het venster te klikken.
2. Via de pijltjestoetsen  $\leftarrow$  en  $\rightarrow$  kun je de gewenste beeldjes voor correctie kiezen.
3. Corrigeer de meting door in het videobeeld het meetpunt naar een betere plaats te slepen. Het assenstelsel kun je niet zo maar verschuiven: mocht dit misplaatst zijn, doorloop dan de volgende stappen:
  - verwijder de meting door op de Delete-toets te drukken
  - voeg hetzelfde beeldje weer als extra frame voor meting toe met behulp van de Insert-toets.
  - Start een nieuwe meting via de groene 'Start' knop.
4. Als je klaar bent is het een goed idee om het videovenster in de oorspronkelijke kwadrantgrootte te zetten.

### ***Toevoegen van extra meetpunten***

Het is ook mogelijk extra meetpunten toe te voegen wanneer niet alle beeldjes gebruikt zijn.

1. Kies een beeldje op de beeldenbalk met een grijze aanduiding en druk op de Insert-toets. Het geselecteerde beeldje komt weer zwart op de beeldenbalk.
2. Druk op de groene 'Start' knop om voor bijgeplaatste beeldjes te meten. De meetresultaten worden op de juiste plaats in tabel en grafiek ingevoegd.
3. Om een beeldje in de meting niet mee te laten doen kun je het selecteren op de beeldenbalk en dan op Delete drukken. Probeer dit uit.

### ***Wiskundige analyse van de armbeweging***

Analyseer de armbeweging. In wiskundige termen: welke functie heeft een grafiek die goed bij de gemeten grafiek van de armhoek past.

1. In het diagram lijkt de grafiek van de meetpunten de vorm te hebben van een sinusoïde. Klik met de rechter muisknop in het diagramvenster of klik met de linker muisknop op de hamerknop in dit venster. Kies 'Analyse' > 'Functiefit' en probeer de best bijpassende sinusoïde te vinden, d.w.z. een functie van de vorm

$$\text{hoek}(t) = a \sin(bt + c) + d .$$

2. Hoe groot is in de grafiek één hele periode? Bereken de periode volgens de functiefit? Meet aan de hand van de voetbeweging de periode van de loopbeweging. Stemmen deze resultaten goed overeen? Dit zou wel moeten.
3. De armdraaiing is het hoekverschil tussen arm zo ver mogelijk vooruit en zo ver mogelijk achteruit. Hoe groot is de draaiing volgens de grafiek en volgens de functiefit?

4. In welke fase van de loopbeweging is de persoon in de videoclip wanneer zijn arm zover mogelijk naar voren gericht is. Hoe zit dat met de arm zover mogelijk naar achteren?
5. Wat is de evenwichtsstand van de arm bij de loper en in welke loopfase wordt deze bereikt? Wat is de amplitude van de armbeweging?
6. In de natuurkundeles wordt de harmonische trilling van een slinger behandeld. De slinger is een zwaar gewicht dat aan een licht touw hangt en heen en weer schommelt. Voor de periode van een slinger van lengte  $l$ , d.w.z. de tijd nodig voor één keer heen en weer slingeren, geldt de volgende formule



$$\text{periode} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

waarbij  $g$  de gravitatieconstante ( $g=9,8\text{m/s}^2$ ) is.

De armbeweging om zijn evenwichtsstand heeft veel weg van de uitwijking van een slinger. Meet de lengte van de arm inclusief de hand op en bereken de periode volgens bovenstaande formule. Is dit in overeenstemming met de periode van de armbeweging zoals je in onderdeel 2 bepaald hebt? Zo nee, kun je een reden bedenken waarom deze formule in dit geval niet toepasbaar is.

7. In wetenschappelijk onderzoek wordt de armbeweging soms gemodelleerd als een door een externe kracht periodiek aangedreven harmonische trilling waarvoor de volgende formule voor de 'natuurlijke periode' bestaat

$$\text{periode} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{2mgd}},$$

waarbij  $I$  het traagheidsmoment van de arm inclusief de hand is,  $m$  de massa van de arm voorstelt,  $g$  de gravitatieconstante is, en  $d$  de afstand van het zwaartepunt van de arm tot het draaipunt, d.w.z. de schouder, is. Je kunt deze formule gebruiken, ook als je niet weet wat het traagheidsmoment precies is. Op basis van metingen bij mensen is vastgesteld dat het zwaartepunt zich op plusminus 53% van de totale armlengte (inclusief hand) van de schouder bevindt. Het gewicht van de arm is bij mannen ongeveer 5% van het totale gewicht. Het traagheidsmoment  $I$  van de arm met de schouder als draaipunt kun je berekenen met de volgende formule

$$I = mk^2,$$

waarbij  $k$  de traagheidsstraal van de arm t.o.v. de schouder, gelijk aan plusminus 64,5% van de armlengte (inclusief de hand), is. Bereken de natuurlijke periode voor de arm volgens dit model en vergelijk het antwoord met de eerder gemeten periode van de armbeweging.

8. Over één ding zijn natuurkundigen het eens: de formule voor de periode van de armbeweging bij wandelen kan geschreven worden als

$$\text{periode} = 2\pi \sqrt{\frac{cl}{g}},$$

waarbij  $l$  de armlengte (inclusief hand),  $g$  de gravitatieconstante is en  $c$  een constante is die van de lichaamsbouw van de loper afhangt. Bepaal de constante  $c$  in het geval van de loper in de videoclip. Vergelijk dit met het getal dat je volgens het model van het vorige onderdeel zou vinden.

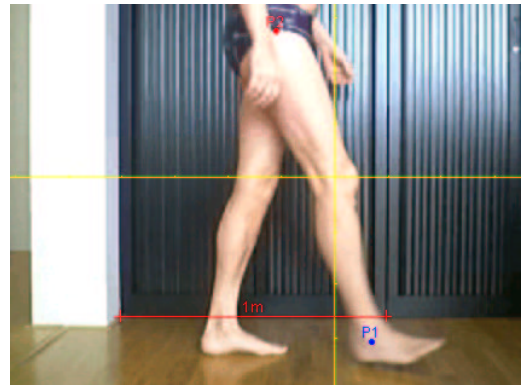
9. In het eerste onderdeel heb je de grafiek van de armhoek benaderd met een sinusoïde. Bepaal de verschilgrafiek van de gemeten grafiek en deze sinusoïde. Ga na hoe goed deze verschilgrafiek weer als een sinusoïde beschreven kan worden. Als dat zo is dan kun je de gemeten grafiek prima als de som van twee sinusoiden beschrijven. Dit zou betekenen dat het model van een periodiek aangedreven slingering toepasbaar is. Teken de somgrafiek om met eigen ogen te zien hoe goed de beschrijving van de armbeweging wordt.

Verlaat de activiteit.

Antwoord “ja” op de vraag “Resultaten of wijzigingen bewaren?”

#### **Activiteit 4: zwaaibeen bij langzaam lopen**

Lopen is een periodieke beweging: je zet de ene stap na de andere in een zekere regelmaat. Een van de zaken die aan de orde komen is hoe je deze bewegingen met goniometrische functies kunt beschrijven. In deze activiteit concentreer je je op de beenbeweging: je meet de hoeken die bovenbeen en onderbeen t.o.v. het assenstelsel met het kniegewricht als oorsprong maken. Je probeert hierin wiskundige verbanden experimenteel op te sporen. Je onderscheidt hierbij de zwaaibeweging van een been en de hele periode van lopen, inclusief het gebruik van het been als standbeen. Deze activiteit gaat alleen over de zwaai fase.



Start zonodig Coach en kies de activiteit 4. Zwaaibeen bij langzaam lopen.

#### **Inleiding**

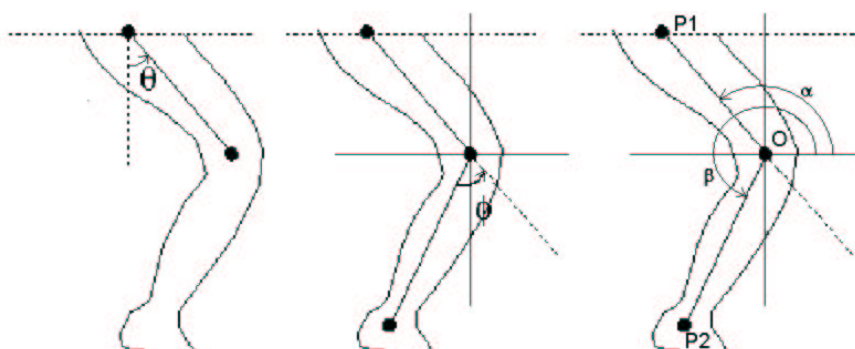
Op het video-meetvenster zie je een kort filmpje van iemand die langzaam in een studeerkamer langs twee bureaustellen loopt. De breedte van één kast is 1 meter. Houd bij de ijking van de meting rekening met het perspectief: leg de meetlat van 1 meter neer op de denkbeeldige horizontale lijn die de plaatsen verbindt waar de rechtersoet neergezet wordt (aanwijzing: gebruik de parketstroken om een goede schatting te maken). Deze video is met een webcam opgenomen met een beeldsnelheid van 30 beeldjes per seconde.

In deze activiteit zul je zien dat de bewegingen van de onderste ledematen goed met goniometrische functies te beschrijven zijn. Concentreer je op de bewegingen van het rechter onder- en bovenbeen van de loper.

1. Speel het filmpje af om een eerste indruk te krijgen van de loopbeweging.

#### **Metten van hoeken tijdens zwaai fase**

De heuphoek ( $\theta$ ) en de kniehoek ( $\phi$ ) worden gedefinieerd als in onder-



staande figuur.

De kniehoek is dus 0 graden als het been gestrekt is. De hoeken  $\alpha$  en  $\beta$  kun je gemakkelijk in het videovenster opmeten als functie van tijd door in elk beeldje van de videoclip de rechterknie als oorsprong van het assenstelsel te nemen en de positie van heup en voet (en daarmee automatisch ook de hoeken  $\alpha$  en  $\beta$ ) te meten.

1. Bewijs de volgende formules voor de hoek van heup en knie uitgedrukt in de hoeken  $\alpha$  en  $\beta$ :  $\theta = \alpha - 90$  en  $\phi = \alpha - \beta + 180$ .
2. Kies in het videovenster het tijdsinterval waarin het rechterbeen alleen een volledige zwaafase doorloopt, d.w.z. van de afzet van de rechtervoet tot het neerkomen van de rechterhiel. Meet voor het gekozen tijdsinterval de hoeken  $\alpha$  en  $\beta$  op en zet de grafieken van  $\beta$ , heup- en kniehoek uit tegen de tijd in aparte diagramvensters.

### **Wiskundige analyse van het zwaaibeen**

1. Ga na dat de hoek  $\beta$  en de kniehoek goed beschreven kunnen worden door een sinusoïde. Ga bij de hoek  $\beta$  na of de afwijking van de gemeten hoek en de functiefit opnieuw goed met een sinusgrafiek benaderd kan worden.
2. In de benadering van de hoek  $\beta$ , wat is de gemeten periode van deze loopfase? Net als bij de armbeweging kun je deze periode vergelijken met een theoretische periode voor een door een externe kracht periodiek aangedreven harmonische trilling. De formule is nu

$$\text{periode} = 2\pi \sqrt{\frac{k^2}{2gd}}$$

waarbij  $k$  de traagheidsstraal van het onderbeen (inclusief voet) is t.o.v de knie,  $g$  de gravitatieconstante is, en  $d$  de afstand van het zwaartepunt van het onderbeen tot het draaipunt is. Uit metingen bij mensen volgt dat  $k$  gelijk is aan 73,5% van de onderbeenlengte en dat  $d$  gelijk is aan 60,6% van de onderbeenlengte. Bereken met deze formule de natuurlijke periode van het onderbeen en vergelijk het antwoord met de gemeten periode.

3. Ga na dat de heuphoek  $\theta$  tijdens de zwaafase redelijk goed benaderd kan worden met de som van een parabool en een sinusoïde. Voor wie zich afvraagt waarom we geen som van twee sinusoïden nemen: kijk maar eens wat er gebeurt als je de heuphoek zo goed mogelijk met een sinusgrafiek probeert te benaderen.
4. Veronderstel dat het onderbeen en bovenbeen dezelfde lengte hebben, oftewel  $OP_1 = OP_2$  in bovenstaande schets. Je kunt dan de hoek die het lijnstuk  $P_1P_2$  maakt met een denkbeeldige verticale lijn uitrekenen. Laten we dit de beenhoek noemen. Bewijs de volgende formule:

$$\text{beenhoek} = (\alpha + \beta) / 2 - 180.$$

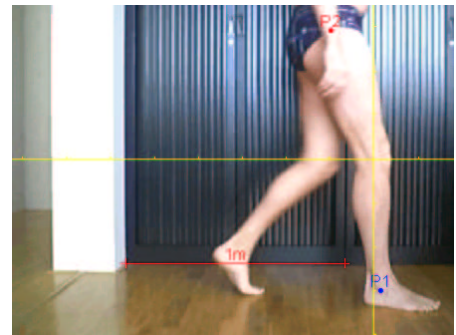
5. Teken de grafiek van de beenhoek als functie van tijd. Ga na dat deze kromme weer heel goed met een sinusgrafiek is te benaderen.

Verlaat de activiteit.

Antwoord "ja" op de vraag "Resultaten of wijzigingen bewaren?"

## Activiteit 5: beenbeweging in een hele periode bij langzaam lopen

Deze activiteit is een vervolg op de vorige opdracht waarin je de hoeken die het bovenbeen en onderbeen t.o.v. het assenstelsel met het kniegewricht als oorsprong maken hebt opgemeten voor de zwaafase en waarin je wiskundige verbanden tussen hoeken van ledematen experimenteel hebt ontdekt. In deze activiteit gaat het niet alleen meer over de zwaafase, maar over de hele periode van de loopbeweging, inclusief de fase waarin een been als standbeen fungeert.



Start zonodig Coach en kies de activiteit

### 5. Loopbeweging in een hele periode bij langzaam lopen.

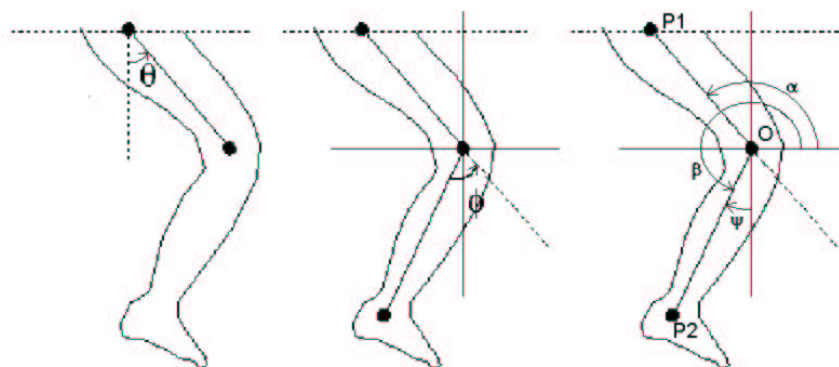
#### Inleiding

Op het video-meetvenster zie je hetzelfde filmpje als in de vorige activiteit: een kort filmpje van iemand die langzaam in een studeerkamer langs twee bureaustellen loopt. De breedte van één kast is 1 meter. Bij de ijking van de meting is rekening gehouden met het perspectief. Deze video is met een webcam opgenomen met een beeldsnelheid van 30 beeldjes per seconde.

In deze activiteit onderzoek je of de bewegingen van de onderste ledematen goed met goniometrische functies te beschrijven zijn. Concentreer je op de bewegingen van het rechter onder- en bovenbeen van de loper.

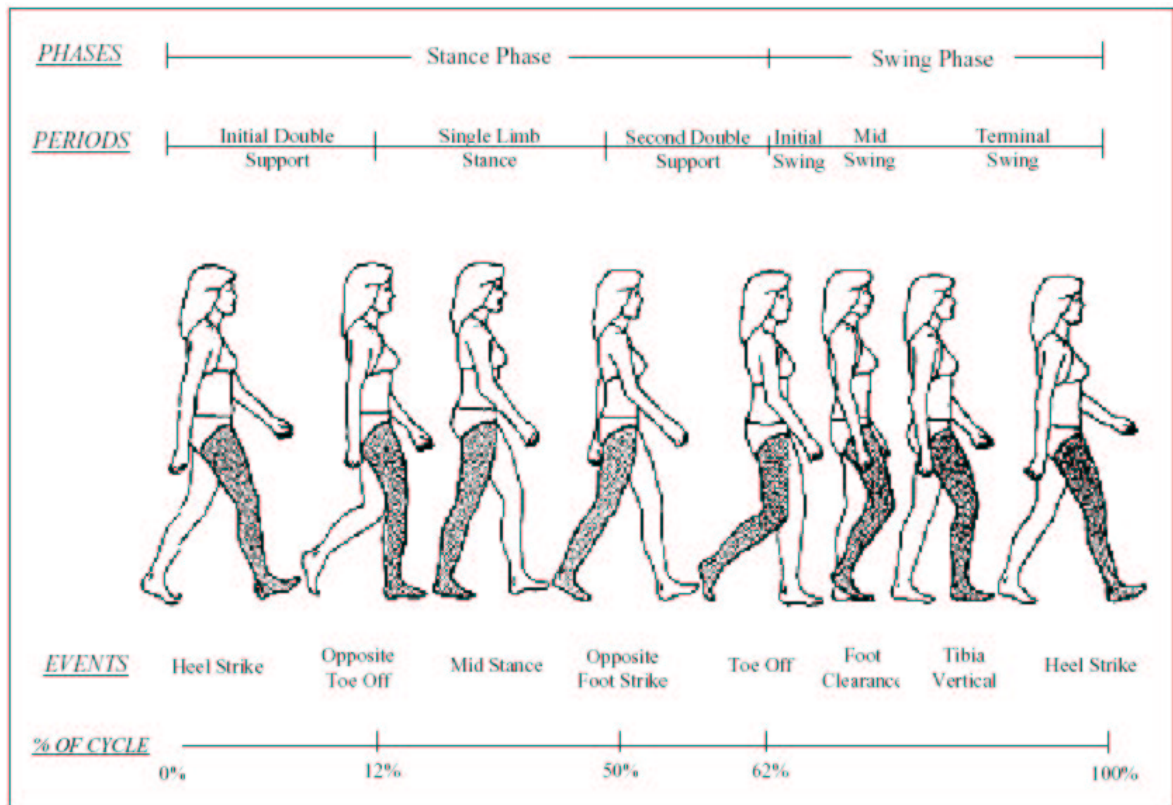
#### Metingen van hoeken

We spreken weer af dat de heuphoek ( $\theta$ ) en de kniehoek ( $\phi$ ) worden gedefinieerd als in onderstaande figuur. De hoeken  $\alpha$  (P1-hoek) en  $\beta$  (P2-hoek) zijn in het videovenster opmeten als functie van tijd door in elk beeldje van de videoclip de rechterknie als oorsprong van het assenstelsel te nemen. We hebben het tijdsinterval gekozen van het moment waarop de rechtersoet plat op de grond staat en het onderbeen loodrecht hierop staat tot het volgende moment waarop dit gebeurt of later. Het rechterbeen doorloopt dan minstens een hele periode. De meting is dusdanig geïkt dat het tijdstip  $t=0$  samenvalt met het begin van het door ons gekozen tijdsinterval. De grafieken van de gemeten hoeken zijn in het diagramvenster uitgezet tegen de tijd. De hoek van het onderbeen ( $\psi$ ) definiëren we als  $\psi = 270 - \beta$ .





1. Zet de grafieken van onderbeenhoek, de heuphoek en de tegengestelde waarde van de kniehoek uit tegen de tijd in aparte diagramvensters (de reden dat we de grafieken van de onderbeenhoek en van -kniehoek nemen is omdat we onze resultaten later gemakkelijk met literatuurgegevens willen kunnen vergelijken).
2. In onderstaande figuur worden de verschillende fasen van een loopbeweging en hun tijdsduur getoond. Deze figuur is overgenomen uit Rose & Gamble, "Human Walking", Williams and Wilkins, 1994.



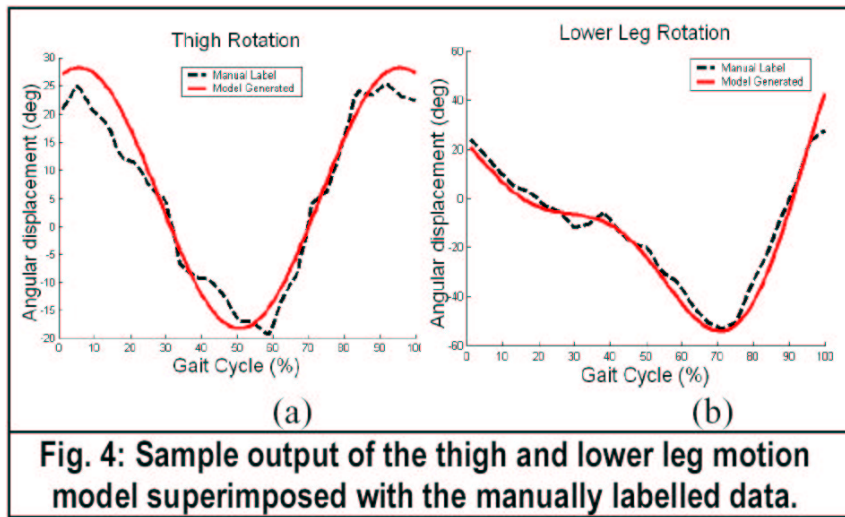
**Typical normal walk cycle illustrating the events of gait (Rose and Gamble, 1994)**

Gebruik de videoclip en je grafieken om te meten hoe de fasen en hun tijdsduur voor de loopbeweging in het filmpje zijn. Zaken om te noteren zijn de tijdsduur van een hele periode, de tijdsduur waarop beide benen aan de grond zijn, en wat je nog meer interessant en nuttig vindt om te meten.

3. Meet de staplengte en de lengte van het rechterbeen op in de videoclip. Wat is de verhouding tussen paslengte en beenlengte van de loper? Als je het in het vorige onderdeel nog niet gedaan hebt, meet dan ook de tijdsduur van een hele periode. Bereken uit de meetgegevens de gemiddelde snelheid van de loper.

### **Wiskundige analyse van de beenbeweging**

1. Vergelijk de door jou gemeten grafieken van de heup en het onderbeen ( $\psi$ ) met de volgende resultaten uit Yam et al, Gait Recognition By Walking and Running: A Model-Based Approach. ACVV 2002: the 5<sup>th</sup> Asian Conference on Computer Vision, Melbourne, Australia.



**Fig. 4: Sample output of the thigh and lower leg motion model superimposed with the manually labelled data.**

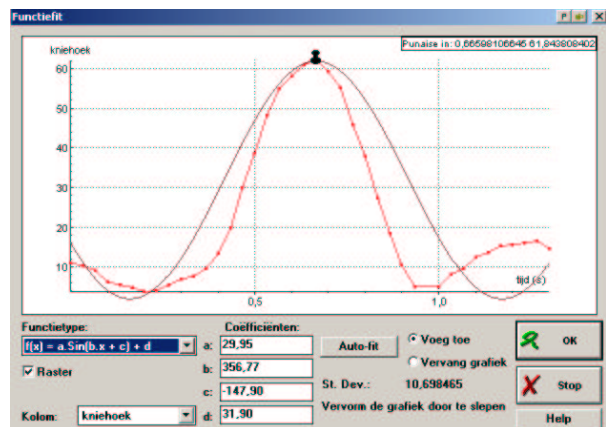
Welke overeenkomsten en verschillen merk je op?

2. Het model dat de wetenschappers in bovengenoemd artikel hanteren is hetzelfde model dat je al eerder hebt toegepast: een som van twee sinusoiden. Pas dit model toe op de door jou gemeten heuphoek en onderbeenhoek.

*Nuttige tips voor functiefit*

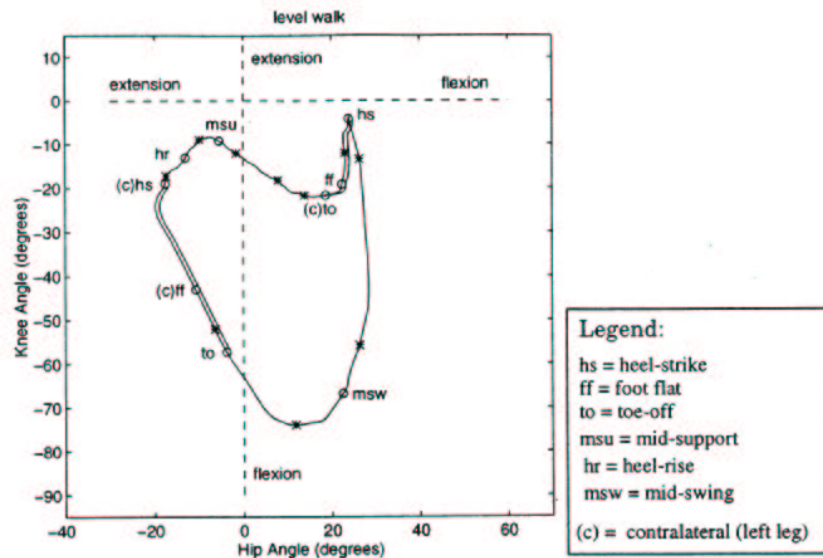
Als je bij functiefit de formule van een sinusoiden kiest, dan zal het in deze opdracht kunnen gebeuren dat je bij 'Auto-fit' niet vanzelf een geschikte kromme vindt. De reden is dat Coach vanuit de huidige getekende sinusoiden numeriek aan de slag gaat en naar een andere dan de bedoelde benadering toegaat. Dit is geen fout in de software, maar een gevolg van de gebruikte wiskundige methode. De enige remedie hiertegen is zelf handmatig een geschikte startkromme te maken.

nevenstaande schermafdruk toont een handmatige functiefit in actie. De formule is een sinusoiden; de gemeten kniehoek is tegen de tijd uitgezet. Eerst is de oorspronkelijke sinusgrafiek verschoven zodanig dat het maximum samenvalt met de grafiek van de kniehoek. Met linksklikken is de punaise vastgepind. Door een ander punt van de sinusgrafiek met de muis te verslepen kun je een andere sinusoiden met hetzelfde maximum maken. Zodra je de sinusgrafiek redelijk in de buurt van de grafiek van de kniehoek hebt kun je op 'Auto-fit' klikken om Coach aan het werk te zetten om een geschikte sinusoiden te vinden. Zodra Coach met 'Auto-fit' stopt betekent dit nog niet automatisch dat de best bijpassende kromme gevonden is. Coach vindt alleen dat het benaderingsproces een geschikt resultaat heeft opgeleverd. Een maat voor de afwijking met de grafiek van de meetgegevens is de standaarddeviatie (St. Dev.). Als je nog een keer op 'Auto-fit' klikt kan het gebeuren dat het benaderingsproces doorgaat naar een nog betere kromme, d.w.z. naar een kromme met een kleinere standaarddeviatie.



3. Een andere veelgebruikte grafische presentatie in studies van loopbewegingen is het zogenaamde heup-knie cyclogram. Hierin wordt de heuphoek uitgezet tegen de kniehoek tijdens een hele periode

van lopen. Wiskundig gezien niets meer dan een parameterkromme. Construeer het volgende cyclogram: zet de tegengestelde waarde van de kniehoek uit tegen de heuphoek. Vergelijk jouw grafiek met het volgende diagram (dat is overgenomen uit A. Goswami, A new gait parametrization technique by means of cyclogram moments: Application to human slope walking. Gait & Posture, 8 (1998), pp. 15-36).



Stemt je zelfgemaakte cyclogram hier goed mee overeen? Ook de karakteristieke momenten tijdens de loopbeweging, die in bovenstaande figuur in de legende genoemd worden?

4. In welke fasen van het lopen is de rechterknie nagenoeg gestrekt? Met welke punten in het heup-knie cyclogram corresponderen deze momenten?
5. Behalve in de zwaafase is er nog een moment waarop de rechterknie gebogen is. Wanneer is dit? Met welke stuk in het heup-knie cyclogram correspondeert dit? Welke natuurkundige reden kun je voor dit buigen van de knie kunnen bedenken.
6. Bij het lopen draai je ook steeds je heup langs de verticale as van je lichaam heen en weer. Welke reden kun hiervoor bedenken?

### ***Extra praktische opdrachten over lopen***

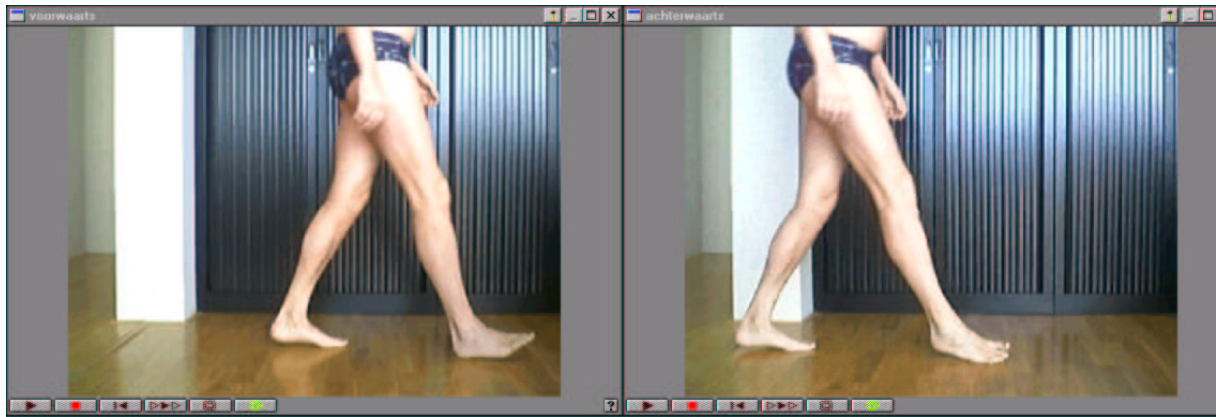
In het project Lopen staan nog meer activiteiten klaar. Het gaat om gerelateerde praktische opdrachten die je later zou kunnen uitvoeren.

#### ***Activiteit A: vooruit en achteruit lopen***

Hieronder staan twee filmpjes waarin dezelfde persoon langzaam vooruit en langzaam achteruit loopt. De onderzoeksvraag luidt: welke verschillen en overeenkomsten zijn er tussen deze loopbewegingen?

In het video-meeetvenster hebben we een filmpje neergezet waarin het achterwaarts lopen omgekeerd afgespeeld wordt.





### **Activiteit B: joggen**

In deze activiteit staat een filmpje van dezelfde persoon die in activiteit 3 loopt. Maar nu is hij aan het joggen. Onderzoek deze loopbeweging.

Welke staplengte en periode heeft deze beweging?

Een andere vraag die je jezelf kunt stellen is of het wiskundig model van een som van twee sinusoïden weer toepasbaar is voor de hoeken van het onder- en bovenbeen.



### **Activiteit C: sprinten**

In het filmpje sprinten Haile Gebrselassie uit Ethiopie en Paul Tergat uit Kenia tijdens de olympische spelen van Sidney 2000 om de titel op de 10,000 meter. Net als vier jaar daarvoor in Atlanta wint de ethiopier. Gebruik dit filmpje om de sprintbeweging te onderzoeken. Enkele zaken om te onderzoeken zijn:

- hoekbewegingen van onder- en bovenbeen tijdens de spurt.
- stapfrequentie en staplengte van de lopers tijdens de spurt.
- facetten in het sprinten die bijdragen aan de winst van Gebrselassie?



### **Activiteit D: snelwandelen**

In deze activiteit zijn de volgende vijf videoclips over 20 km snelwandelen tijdens de Olympische Spelen van Sidney 2000:

1. de laatste meters van de olympisch kampioen, Wang Liping (China);
2. de aankomst van de nummer twee, Kjersti Tysse-Plätzer (Noorwegen);
3. de aankomst van de bronzen medaille winnares, Maria Vasco (Spanje);
4. Jane Saville (Australië), die bij het bereiken van het stadion nog aan kop loopt;
5. De diskwalificatie van Jane Saville in de stadiontunnel.



In het video-meetvenster is de aankomst van de gouden medaille winnares geplaatst. Op dit filmpje kun je de loopbeweging redelijk goed van de zijkant bestuderen. Op het vierde filmpje met Jane Saville op kop heb je een frontaal aanzicht, waarmee je een completer beeld van de speciale looptechniek krijgt.

Onderzoek aan de hand van de videoclips de bewegingen van een snelwandelaar. Welke spelregels gelden voor snelwandelen en welke invloed hebben deze regels op de looptechniek? Zoek op internet gegevens over snelwandelen op die relevant zijn voor de beschrijving van deze loopbeweging. Aanwijzing: in de Engelse taal heet snelwandelen "race walking" en ook wel "road walking".

### ***Activiteit E: zelf videoclips van loopbewegingen maken en analyseren***

Uiteraard kun je zelf ook met een webcam aan de slag gaan en eigen loopbewegingen of die van medeleerlingen analyseren. Je kunt denken aan bewegingen zoals gewoon lopen, joggen, rennen en hinkelen, maar ook aan lopen met krukken, dansen, fitnessbewegingen of rare loopbewegingen. Je kunt onderzoeken of lopen met enkel- en polsgewichten verschil maakt met gewoon lopen en of lopen op schoenen met hoge hakken anders dan normaal is. Kortom, je bent hier vrij in de keuze van het onderwerp. Maak wel eerst een werkplan en bespreek dit met de docent.

### ***Activiteit F: onderzoek het verband tussen loopsnelheid en stapfrequentie***

In bewegingswetenschappelijke artikelen kun je lezen dat een persoon die op een loopband gedwongen wordt met een bepaalde snelheid  $v$  te lopen een typische stapfrequentie  $f$  en staplengte  $d = v/f$  kiest. Alom wordt geconstateerd dat mensen een welbekende verzameling van  $v$  en  $f$  combinaties gebruiken die we aan kunnen duiden met gewoon lopen. Empirisch onderzoek levert de relatie  $f = C v^b$  op, waarbij  $C$  een constante is en  $b = 0,58$  een goede fit oplevert voor gewoon lopen van mensen. Ga naar een fitnesscentrum en voer experimenten met lopen op een loopband uit om de  $v$ - $f$  krommen van jezelf en medeleerlingen te bepalen. Neem enkele loopbewegingen ook op met een digitale camera of webcam om ze later te analyseren.