

AFSTUDEERSCRIPTIE SKEELEREN

NADER ONDERZOCHT:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

Juni 2009

AFSTUDEERSCRIPTIE **SKEELEREN**

NADER ONDERZocht:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

1^e begeleider: T. Gerbrands

2^e begeleider: H. Faber

Juni 2009

VOORWOORD

Dit verslag is geschreven in het kader van het afstudeertraject van de opleiding Bewegingstechnologie.

Het verslag is met name bestemd voor de examencommissie, maar zeer zeker ook voor geïnteresseerden in de skeelersport die meer inzicht willen krijgen in de biomechanische principes bij het skeeleren, en dan met name over de verschillen en overeenkomsten tussen de klassieke techniek en double pushtechniek.

Tot slot willen wij nog enkele personen bedanken voor hun input en steun tijdens het afstudeertraject.

Allereerst gaat onze dank uit naar Tim Gerbrands, die een rustpunt voor ons vormde, waardoor we telkens duidelijk hebben kunnen analyseren waar we stonden en op welke manieren we verder konden gaan met het analyseren en modelleren. Tevens willen we hem bedanken voor de hulp bij de pilotmeting.

Ook gaat onze dank uit naar Herre Faber, die ons inzicht verschaft heeft in de afzetprincipes bij het schaatsen en skeeleren. Ook was zijn hulp bij het gebruik van Matlab als hulpmiddel om de data te analyseren een welkome bijdrage aan het project.

Den Haag, juni 2009

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	6
Symbolenlijst	7
1. Inleiding	8
2. Analyse	9
Ganganalyse	9
Houding	9
Gangcyclus	10
Biomechanische eigenschappen.....	10
Gangpatroon.....	11
Gangpatroon Klassiek	11
Contactfase.....	11
Bipedale rolfase	11
Unipedale rolfase.....	12
Afzetfase	12
Zwaai fase	13
Bijhaalfase	13
Rustfase	13
Plaatsingsfase	14
Gangcyclus	15
Gangpatroon double push.....	16
Contactfase.....	16
Mediale afzetfase	16
Rol-/trekfase.....	17
Gangcyclus	18
Grondpatronen videoanalyse.....	19
Positie lichaamsswaartepunt ten opzichte van de contactpunten	20
Klassieke techniek.....	20
Double push.....	22
Abducerende adducerende mogelijkheden tijdens de glijfases.....	23
Vergelijking klassiek en double push	24
Propulsiekrachten.....	26
X-component afzetkracht	28
Vermogen	29
Piekvermogen	30
X-component vermogen	30
Evaluatie en terugkoppeling.....	31
Afzetkracht	32
Vermogen	34
Theoretisch model.....	35
Wrijvingskrachten.....	39
Spiereigenschappen	41
Factoren voor spierkracht	41
Kracht-lengterelatie.....	42
Kracht-snelheidsrelatie.....	45
3. Pakket van voorwaarden	47
Voorwaarden	47

4.	Modelmatige simulaties	48
	Model 1: Krachtrichting bij versnellen vanuit stilstand	48
	Model 2: Verplaatsing bij versnellen vanuit stilstand	50
	Model 3: Toevoeging van gelijkblijvende snelheidsvector	51
5.	Evaluatie	52
	Toe-off voor afzet	52
	Wrijvingskrachten	52
	Afzetkracht	53
	Resultaat	54
6.	Discussie	55
	Videoanalyse	55
	Model 1	55
	Model 2	56
	Model 3	56
	Theoretisch model	56
7.	Conclusie	57
	Literatuur	58
	Bijlagen	59
	Bijlage I: Skeeleren op een lopende band	59
	Bijlage II: Beschrijving GUI	61

SAMENVATTING

Dit verslag beschrijft een onderzoek naar de verschillen van een steeds meer voorkomende techniek in de skeelersport, de double push. Omdat er weinig wetenschappelijke literatuur geschreven is over de double pushtechniek, wordt de techniek vergeleken met de klassieke skeelertechniek. Voor een beter inzicht in de technieken wordt een modelstudie gedaan naar de mechanische basisprincipes van het skeeleren.

Dit onderzoek heeft als doel het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke techniek en double pushtechniek. Met behulp van Matlab 7.6 zijn drie modellen vervaardigd, de input voor de modellen komt uit de ganganalyse van de double push en klassieke techniek.

Uit de analyse naar de geleverde afzetkrachten en vermogens bij de double push en klassieke techniek bleek dat beide technieken ongeveer eenzelfde vermogen leveren. De double pushtechniek verdeelt de kracht echter over twee opeenvolgende afzetten waardoor de piekbelasting lager is. De klassieke techniek bleek echter een grotere krachtcomponent te hebben die ten goede komt aan de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt. De methodes die zijn toegepast voor het berekenen van de grootte van de krachten en vermogen vragen echter om een validatie.

Om de mogelijke strektijden en afzetkrachten te bepalen voor het model is gekeken naar de spierfysiologie. Aan de hand van kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties zijn functies opgesteld voor de strekkracht.

De modelleringsfase heeft tot verschillende resultaten geleid.

Het eerste model beschrijft de krachtrichting bij het versnellen uit stilstand. Dit model berekent telkens de optimale afzethoek voor het verkrijgen van de meeste voorwaartse snelheid aan de hand van krachtvector analyse verkregen uit de mechanische basisprincipes. Uit het model bleek dat naarmate de snelheid toenam de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. Op een gegeven moment zal de afzetkracht geen snelheid meer toe kunnen voegen omdat de wrijvingskracht niet meer overwonnen kan worden.

Het tweede model beschrijft de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens het versnellen vanuit stilstand. Door de afzetkracht telkens voor een kleine tijdsinterval te bepalen, hier uit blijkt dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. De afwijking hiervan is zo groot dat dit model als incorrect beschouwt kan worden.

In het derde model, is met behulp van de verkregen afzetkracht (219 N) en snelheid (25 km/h) uit de afzetkracht analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Uit het onderzoek is gebleken dat de double push een voordeel heeft ten opzichte van de klassieke techniek. Over de precieze waarden zijn geen uitspraken te doen, hiervoor dient de methode voor het bepalen van de afzetkracht gevalideerd te worden. De modellen beschrijven de basisprincipes van het ontstaan van de baan van het lichaamszwaartepunt. Voor een verbetering van de voorspellende waarde van de modellen dienen de posities van het lichaamszwaartepunt en skatecontact meegenomen te worden.

SYMBOLENLIJST

Symbol	Betekenis	Eenheid
a	Indien gebruikt in de formule voor F_{Hill} : Hill-constante voor de isometrische kracht van een spier	N
	In alle andere gevallen: versnelling	m/s^2
A	Frontaal oppervlak	m^2
b	Hill-constante voor de maximale contractiesnelheid van een spier	m/s
c	Hill-constante voor het maximale vermogen dat door een spier geleverd kan worden	W
c_r	Rolweerstandcoëfficiënt, vormafhankelijk	-
c_w	Weerstandswaarde, vormafhankelijk	$\text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$
dx	Verskil in positie in x-richting	m
dy	Verskil in positie in y-richting	m
F	Kracht	N
F_{Hill}	Kracht, gedefinieerd volgens Hill	N
F_r	Reactiekracht ten gevolge van de afzetkracht	N
F_{res}	Resulterende kracht, kracht die overblijft na optellen van alle heersende krachten	N
F_w	(Totale) Wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{lucht}}$	Lucht wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{rol}}$	Rolwrijvingskracht	N
g	Zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
h	Heupbreedte	m
l	Spierlengte	m
m	Massa	kg
p	Dichtheid van het medium waardoor verplaatst wordt	
P	Vermogen	W
p_{lat}	Coëfficiënt die het percentage van het lichaamsgewicht men gebruikt bij het afzetten	-
r	Momentsarm	m
s	Beenlengte in het bovenaanzicht	m
s_x	Verplaatsing in x-richting	m
s_y	Verplaatsing in y-richting	m
T	Afzettijd, tijd waarin men afzetkracht levert	S
v	Snelheid	m/s
φ	Hoek	°
ω	Hoeksnelheid	°/s

1. INLEIDING

Toen Chad Hedrick in 1992 ten tonele kwam met de double push en veel wedstrijden ging winnen werd de double pushtechniek toegepast over de hele wereld. Tegenwoordig is er bijna geen wedstrijdrijder meer die zonder een vorm van double push rijdt. De double push wordt uitgevoerd in verschillende stijlen en iedereen heeft hier zijn of haar mening over.

Er is geen wetenschappelijke literatuur beschikbaar over waarom de double push nu de voorkeur heeft boven de klassieke techniek.

In dit onderzoek worden daarom bepaalde aspecten van de double push en klassieke techniek behandeld en vergeleken. Met behulp van modelmatige voorstellingen van het afzetmechanisme en ganganalyses zullen deze aspecten geanalyseerd worden.

Skeeleraars en trainers interpreteren de double pushtechniek allemaal anders en de meningen erover verschillen van persoon tot persoon. Er is echter geen duidelijkheid over wat het voordeel van de double push is ten opzichte van de klassieke techniek, en of er überhaupt wel een voordeel is.

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen tussen de klassieke en double pushtechniek.

Hiervoor kunnen de volgende deelvragen gesteld worden:

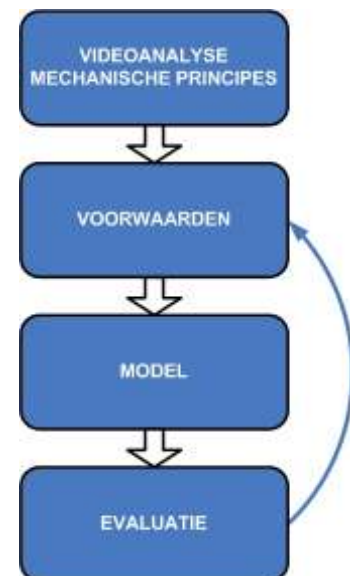
- Hoe ziet het gangpatroon eruit?
- Welke techniek heeft de voorkeur?
- Welke variabelen spelen een rol bij het uitvoeren van de beweging?
- Hoe wordt de voorwaartse snelheid gegenereerd?

In de analysefase zal allereerst in worden gegaan op enkele biomechanische principes die van toepassing zijn op de twee skeelertechnieken. Aan de hand van een videoanalyse zullen zowel de klassieke techniek als de double pushtechniek met elkaar vergeleken worden om vervolgens aan de hand van de verkregen data een uitspraak te doen over welke techniek kan leiden tot een verbetering van de prestatie. Ook zal gekeken worden naar enkele spierfysiologische aspecten. Met de verkregen gegevens zullen voorwaarden gesteld worden waar het model moet voldoen.

In de modelleringsfase wordt aan de hand van de gestelde voorwaarde enkele modellen vervaardigd die een voorspelling doen over hoe het grondpatroon er uit komt te zien bij een verandering van variabelen.

De modellen die vervaardigd zijn zullen aan de hand van het gangpatroon in de analyse worden getest.

Terugkoppeling naar de in de analyse opgedane kennis en de daaruit komende voorwaarden zal plaatsvinden tijdens de evaluatiefase.



2. ANALYSE

In deze analyse zal de praktische analyse naar het verschil in klassieke techniek en double pushtechniek bij het skeeleren besproken worden. Tevens zal het theoretische model besproken worden, dit model is in een latere fase gebruikt bij het simuleren van het afzetten bij skeeleren.

GANGANALYSE

Om duidelijkheid te scheppen over wat er in welke fases gebeurt zal in dit hoofdstuk het algemene gangpatroon van de klassieke en de double push worden beschreven.

HOUDING

De basishouding voor de klassieke techniek is samen te vatten in vijf punten [1], zie ook figuur 1:

- Voeten op schouderbreedte
- Voeten zo veel mogelijk naar voren gericht
- Kniehoek van ongeveer 100 graden
- Romphoek ten opzichte van horizontaal 30 tot 45 graden met licht gebolde wervelkolom
- Projectie van het lichaamszwaartepunt ligt ongeveer $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{2}$ voetlengte voor de dorsale zijde van de calcaneus

Voor de double pushtechniek gelden in principe dezelfde richtlijnen, alleen de kniehoek zal bij double push groter zijn (kniehoek van ongeveer 110 graden).



shouding [1]

GANGCYCLUS

Het skeeleren met de klassieke techniek heeft veel weg van de schaatstechniek zowel biomechanisch als fysiologisch [2].

Voor een beter beeld van de gangcyclus dienen eerst een paar biomechanische eigenschappen van het skaten begrepen te worden.

Biomechanische eigenschappen

De volgende tekst is verleend aan H.N. Oonk [3].

Bij skeeleren wordt niet afgezet tegen een stilstaande ondergrond. De skeeler rolt mee in de bewegingsrichting van de skeeleraar. Toch moet met de skeeler, die een minimale glijdende wrijving heeft, worden afgezet. De skeeler moet dus vooruit rollen terwijl tegelijkertijd een kracht op de skeeleraar moet werken die een component heeft in de rijrichting. Dit bereikt de skeeleraar door zijn afzetkracht haaks op de bewegingsrichting van de skeeler te richten. Deze kracht zal ongeveer door het lichaamszwaartepunt moeten gaan omdat er anders te veel compensatoire bewegingen van lichaamsdelen moeten optreden om toch in evenwicht te kunnen blijven. Waar de luchtweerstand en de rolweerstand overwonnen moeten worden en elke afzet wordt versneld, moet de propulsiekracht een component hebben in de rijrichting. De afzet moet dus zodanig gericht zijn dat de skeeler doorgaat met rollen terwijl er een voorwaartse component op de afzetskeeler werkt. Vandaar dat tijdens het afzetten de skeeler een hoek moet maken met de rijrichting, omdat er anders geen krachtcomponent in de rijrichting aanwezig is. Dit principe geeft de mogelijkheid dat met skeeleren een hogere snelheid bereikt kan worden dan bijvoorbeeld met hardlopen. Bij hardlopen loopt het afzetpunt niet mee met het zwaartepunt en zal de snelheid voorwaarts nooit groter worden dan de snelheid waarmee het art. coxae geretroflecteerd kan worden. Door het meelopen van de afzetskeeler hoeft er telkens maar een kleine component in voorwaartse richting geleverd te worden om op snelheid te blijven. Om het meelopen van de afzetskeeler en de toegevoegd voorwaartse component te realiseren, dient er ook een component in zijwaartse richting te zijn. De sinusvormige baan die het zwaartepunt daardoor beschrijft is typerend voor het skaten. De hoek waar onder afgezet dient te worden is afhankelijk van de snelheid, dit principe wordt verder beschreven bij het theoretische model (vanaf pagina 35).

Voorwaarden:

- **De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht**
- **De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt**
- **De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting**

GANGPATROON

Tijdens het skeeleren bevinden de voeten zich afwisselend op de ondergrond (contactfase) en los van de ondergrond (zwaai fase). De fases zijn elk weer onder te verdelen in verschillende kortere fases. Er is een complete afzetcyclus is beschreven vanaf het moment dat skatecontact plaats vindt van het rechterbeen.

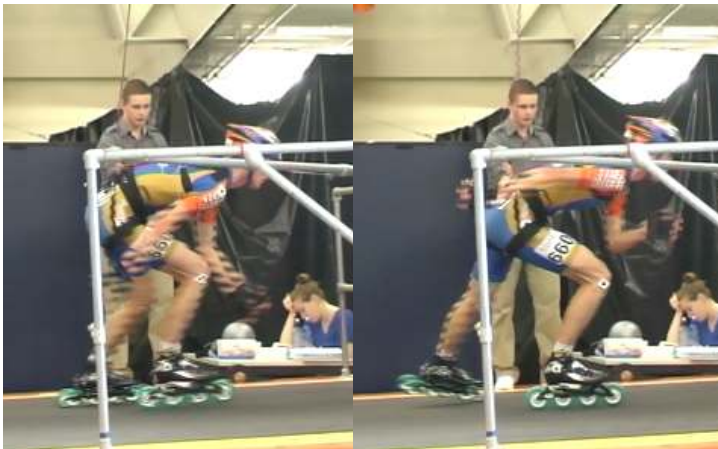
Gangpatroon Klassiek

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is onder te verdelen in drie verschillende fases.

Bipedale rolfase

Deze fase (figuur 2) is gedefinieerd als het moment dat de rechter skate wordt neergezet en met alle vier of vijf wielen (afhankelijk van het type skeeler) de grond raakt (skatecontact) tot het moment van toe-off van het linkerbeen. In sommige gevallen treedt er eerst een hielcontact op, dit is niet altijd het geval. Daarom wordt volledig contact beschouwd als het eerste contact. Tijdens deze fase vindt voornamelijk een abductie en retroflexie in het art. coxae plaats en een extensie in het art. genus en bovenste spronggewricht plaats. In deze fase wordt het zwaartepunt boven het nieuwe standbeen geplaatst.



Figuur 2. Bipedale rolfase

Links: skatecontact rechts

Rechts: toe-off links

Unipedale rolfase

De unipedale fase (figuur 3) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het linker afzetbeen tot het moment dat het contactpunt van het rechterbeen lateraal van het zwaartepunt komt te liggen. Tijdens deze fase vindt er voornamelijk een lichte abductie plaats in het art. coxae.



Figuur 3. Sagittaal en dorsaal aanzicht unipedale rolfase

Afzetfase

De afzetfase (figuur 4) begint bij het eindigen van de unipedale rolfase van het rechterbeen en eindigt bij toe-off van het rechter afzetbeen. Gedurende deze fase vindt er ten opzichte van de romp voornamelijk een retroflexie, abductie plaats in het art. coxae plus een extensie in het art. genus en een plantairflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 4. Dorsaal en sagittaal aanzicht afzetfase

Zwaaifase

De zwaaifase is de fase dat het been geen contact maakt met de ondergrond, deze fase is onder te verdelen in drie fases.

Bijhaalfase

De bijhaalfase (figuur 5) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechterbeen tot rustmoment van het rechterbeen (het moment dat het been stil hangt ten opzichte van de romp). Tijdens deze fase vindt voornamelijk een adductie en anteflexie plaats in het art. coxae en een flexie in het art. genus en een dorsaalflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 5. Bijhaalfase

Links: toe-off rechts

Rechts: rustmoment rechts

Rustfase

De rustfase (figuur 6) is gedefinieerd als het einde van de bijhaalfase tot het moment dat door de anteflexie in het art. coxae de rechter knie dorsaal en mediaal van de linkerart. genus komt. De rustfase is niet altijd aanwezig. Dit is afhankelijk van het slagritme, hoe hoger het ritme des te korter de rustfase. De rustfase kenmerkt zich door een afhangend been ten opzichte van het art. coxae en een flexie in het art. genus. Gedurende deze fase vindt er geen verplaatsing van plaats van het rechterbeen ten opzichte van de romp.



Figuur 6. Dorsaal en sagittaal aanzicht rustfase

Plaatsingsfase

De plaatsingsfase (figuur 7) is gedefinieerd als het einde van de rustfase tot skatecontact. Tijdens deze fase wordt het been voornamelijk met behulp van een anteflexie in het art. coxae naar ventraal gebracht tevens vindt er een flexie plaats in het art. genus.



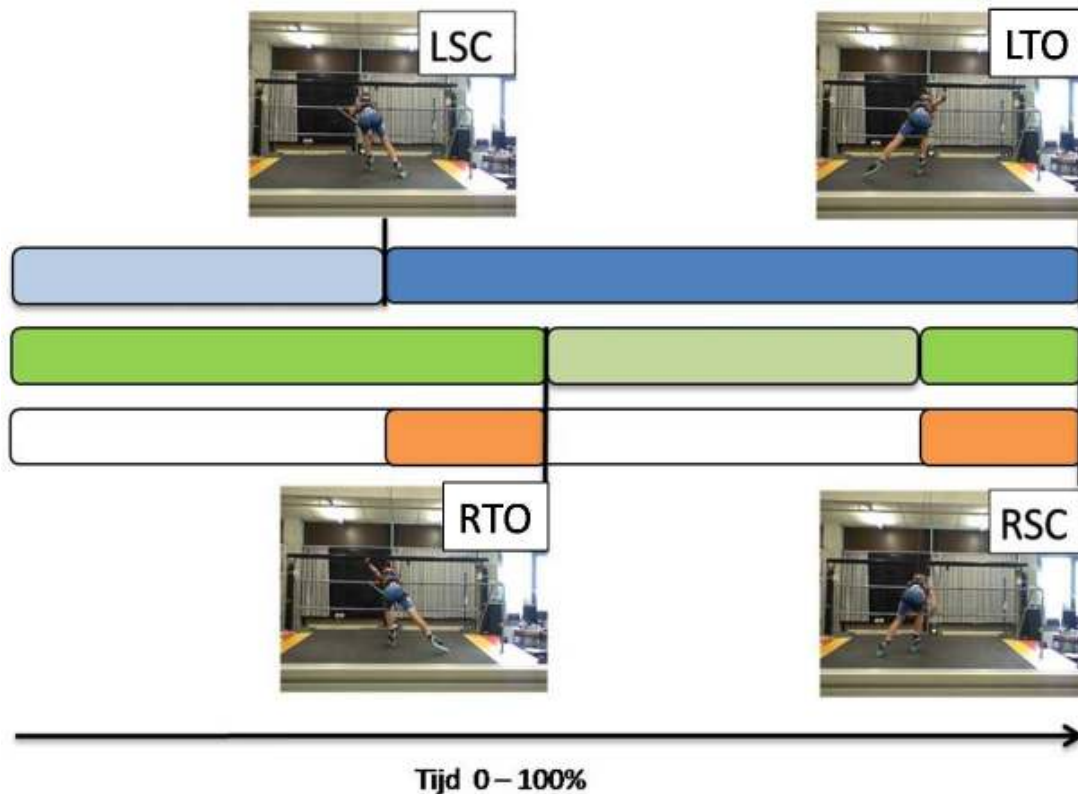
Figuur 7. Bijhaalfase

Links: rustfase rechts

Rechts: skatecontact rechts

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaafase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden. Het dient opgemerkt te worden dat het skeeleren op een lopende band voor de proefpersoon niet geheel te vergelijken is met skeeleren op asfalt. Dit heeft vermoedelijk te maken met de positie van het lichaamszwaartepunt ten opzichte van het steunvlak en het moeten aanpassen van de afzetkracht aan de snelheid en hellingshoek, in plaats van dat de snelheid zich aanpast aan de afzetkracht. Het gevolg hiervan zullen kleine verschillen zijn in afzettijden en rustfases [zie bijlage I].



	Grondcontact linker skate	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate	LTO	Linker toe-off
	Bipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Unipedale fase	RTO	Rechter toe-off
	Zwaafase links		
	Zwaafase rechts		

Figuur 8. Gangcyclus klassiek techniek

Gangpatroon double push

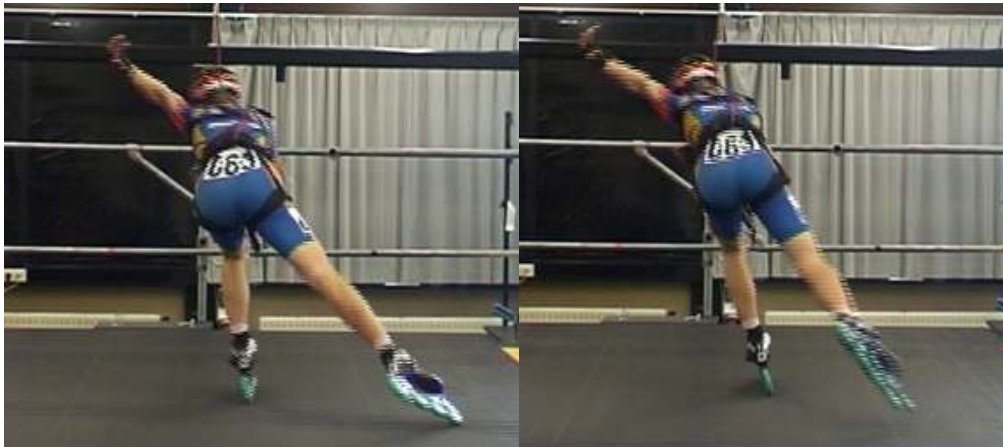
De gangcyclus van de double push heeft veel weg van de klassieke techniek, op een paar essentiële verschillen na. Bij de beschrijving van de gangcyclus zal daarom ingehaakt worden op het beschreven gangpatroon van de klassieke techniek.

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is bij de double push onder te verdelen in vier verschillende fases.

Mediale afzetfase

De mediale afzet (figuur 9) volgt de bipedale rolfase op. De mediale afzetfase is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechter afzetbeen tot het moment dat er een richtingsverandering van mediaal naar lateraal plaatsvindt van het linker afzetbeen (mediale eindstand). Gedurende deze fase vindt er voornamelijk adductie in het art. coxae plaats en een overhelling van de romp naar de laterale zijde van het mediale afzetbeen. Ook is er een lichte extensie in het linker art. genus.



Figuur 9. Mediale afzetfase

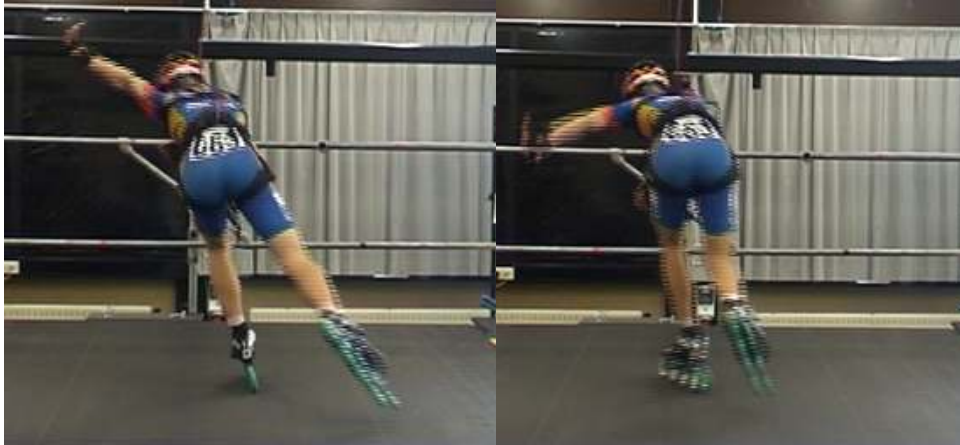
Links: toe-off rechter afzetbeen

Rechts: Verplaatsing linkerbeen naar mediaal

Rol-/trekfase

De rolfase (figuur 10) is gedefinieerd als het moment van mediale eindstand tot het moment dat het contactpunt van het linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt komt te liggen.

De rolfase bij de double push is te zien als een herstelfase waarin het linker afzetbeen weer het standbeen wordt zonder contact met de grond te verliezen. De rolfase wordt weer opgevolgd door de laterale afzetfase.



Figuur 10. Rol-/trekfase

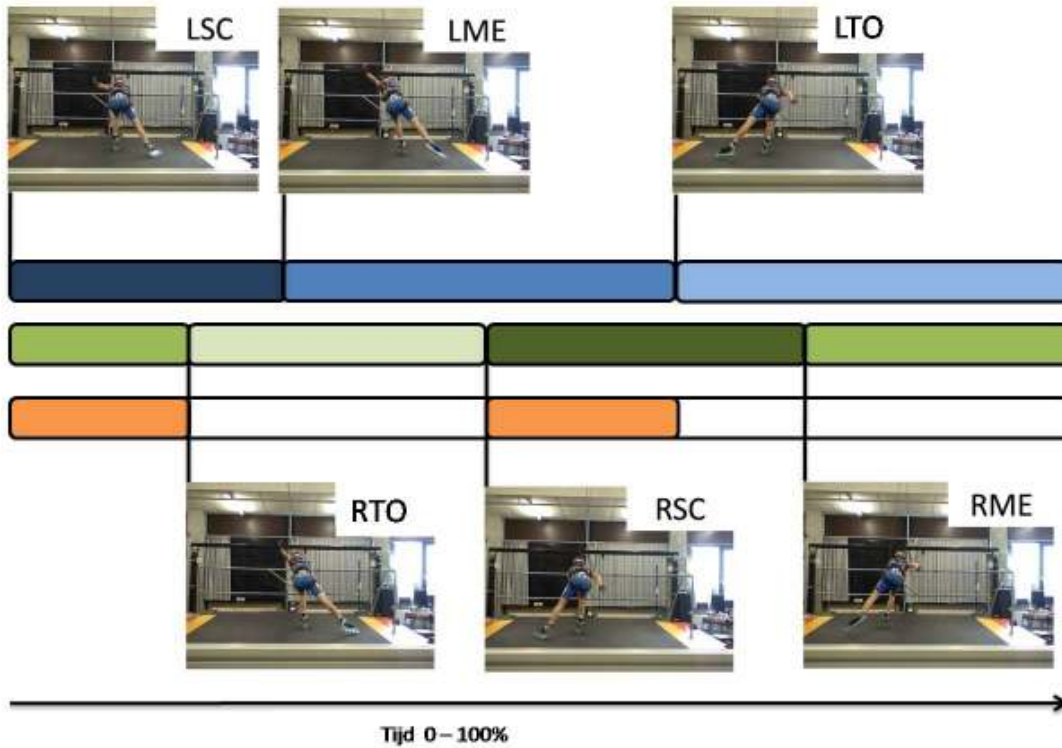
Links: mediale eindstand linkerbeen

Rechts: contactpunt linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt

De glij-/trekfase en de mediale afzetfase zijn de enige verschillen van het gangpatroon van de double push ten opzichte van het klassieke gangpatroon.

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden.



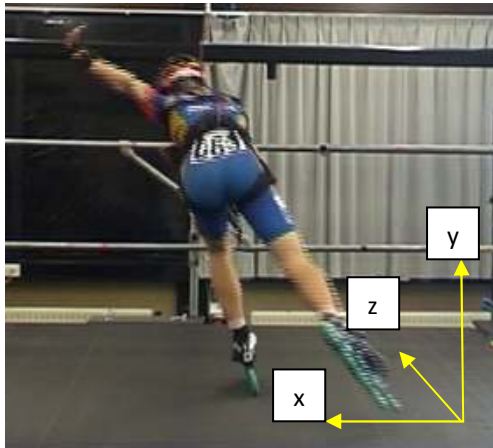
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in laterale richting	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in laterale richting	LME	Linker mediale eindstand
	Bipedale fase	LTO	Linker toe-off
	Unipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Zwaai fase links	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase rechts	RME	Rechter mediale eindstand
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in mediale richting		
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in mediale richting		

Figuur 11. Gangcyclus double push

GRONDPATRONEN VIDEOANALYSE

Voor het verkrijgen van de gegevens van de afzetlengtes (afstand die de skate aflegt) en -tijden om in latere fase het model te testen, is een pilotmeting gedaan. Een landelijk B-rijder die tot in zekere mate de double push beheerst is getest.

De meting is uitgevoerd op de lopende band van de Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit Bewegingswetenschappen. Een camera is dorsaal van de proefpersoon geplaatst, de andere sagittaal. De data uit de videoanalyse is verwerkt met behulp van een GUI (Graphical User Interface) in Matlab. Een beschrijving van deze verwerking vindt u in bijlage II.



Figuur 12. Assenstelsel zoals gebruikt in de GUI

In deze GUI is het mogelijk alle gewrichten en de contactpunten van de skeelers aan te klikken. Vervolgens berekent de GUI de positie van het lichaamszwaartepunt op de x-as. Omdat de snelheid van de loopband bekend is, is het mogelijk de aangeklikte punten weg te zetten over een afstand in de z-as. Deze waarden worden weggeschreven in de volgende matrix (figuur 13):

Y beeld 3	X beeld 3
Y beeld 2	X beeld 2
Y beeld 1	X beeld 1

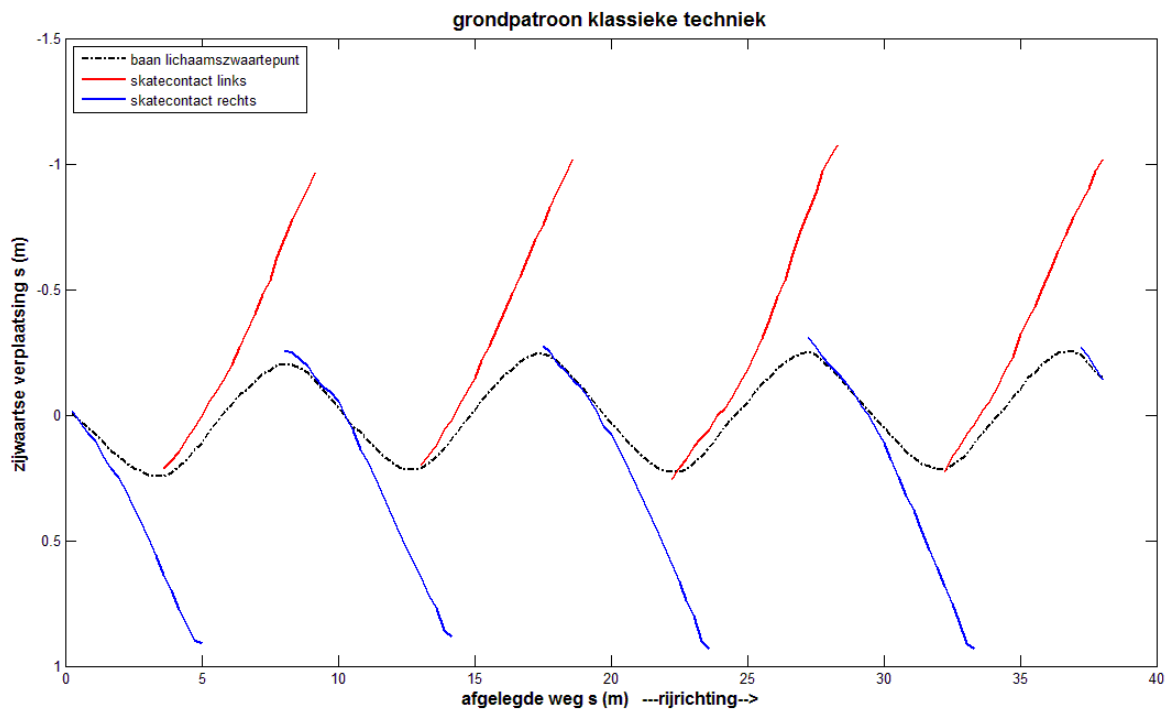
Figuur 13. Matrix voor wegschrijven data

Door de z-richting tegenover de x-richting te plotten ontstaat er een projectie van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten op de grond. De sinusvormige curve die het lichaamszwaartepunt beschrijft is geplaatst op een centerline op de x-as bij 0 met behulp van een correctiefactor (gemiddelde waarde van x). Dit betekent dat aan één kant de verplaatsing negatief is en aan de andere zijde positief. Met behulp van dit grondpatroon zijn een aantal gegevens bepaald:

- Positie lichaamszwaartepunt ten opzichte van de contactpunten
- Afzetlengtes en -tijden
- Snelheden en versnellingen van het lichaamszwaartepunt en contactpunten gedurende de cyclus
- Slagfrequentie

POSITIE LICHAAMSZWAARTEPUNT TEN OPZICHTE VAN DE CONTACTPUNTEN

Klassieke techniek



Figuur 14. Grondpatroon klassieke techniek

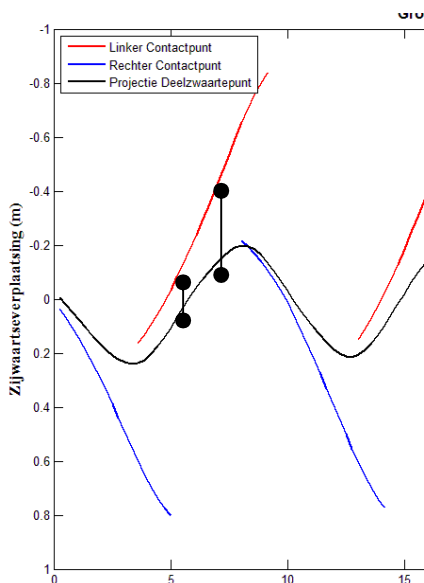
Rood: contacten linker skate

Zwart: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

In figuur 14 en 15 is de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en het skatecontact, geprojecteerd op de ondergrond, weergegeven. In het patroon is te zien dat het skatecontact altijd plaats vindt in de buurt van het zwaartepunt.

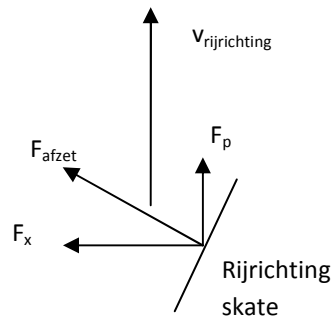


Figuur 15. Zijwaartse verplaatsing skate bij klassieke techniek

Zwarte lijn tussen bollen: afstand tussen skate en projectie lichaamszwaartepunt

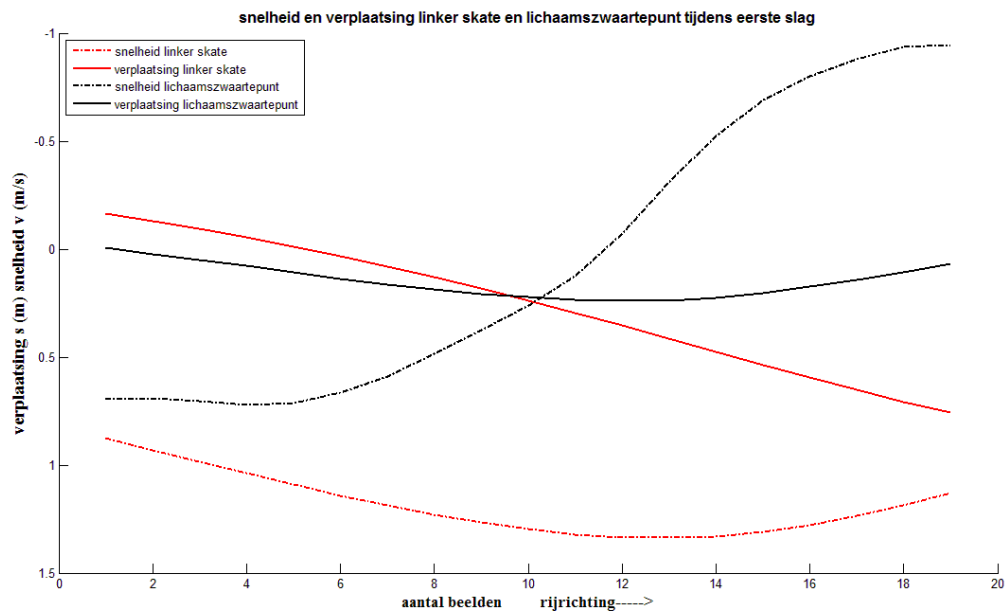
Een andere opmerkelijke constatering is dat de zijwaartse verplaatsing van de skate vrijwel na skatecontact groter is dan die van het lichaamszwaartepunt. Naarmate de voorwaartse verplaatsing toeneemt wordt het verschil in verplaatsing in zijwaartse richting steeds groter ten opzichte van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt, waarvoor de volgende verklaring is:

Met een extensie in het art. coxae en art. genus is het mogelijk om het lichaamszwaartepunt te verplaatsen ten opzichte van het contactpunt. Dit aspect kan alleen maar plaatsvinden na het moment van toe-off. Voor die afzet is het noodzakelijk dat de skate onder een hoek staat ten opzichte van de rijrichting (zie pagina 35 en 36). Hierdoor behoudt de skate zijn rijrichting en verandert de richting van het lichaamszwaartepunt.



Figuur 16. Richting afzetkracht
Rechts: assenstelsel

De verandering van verplaatsingssnelheid van het lichaamszwaartepunt vindt pas plaats op het moment dat de toe-off nadert (figuur 17).



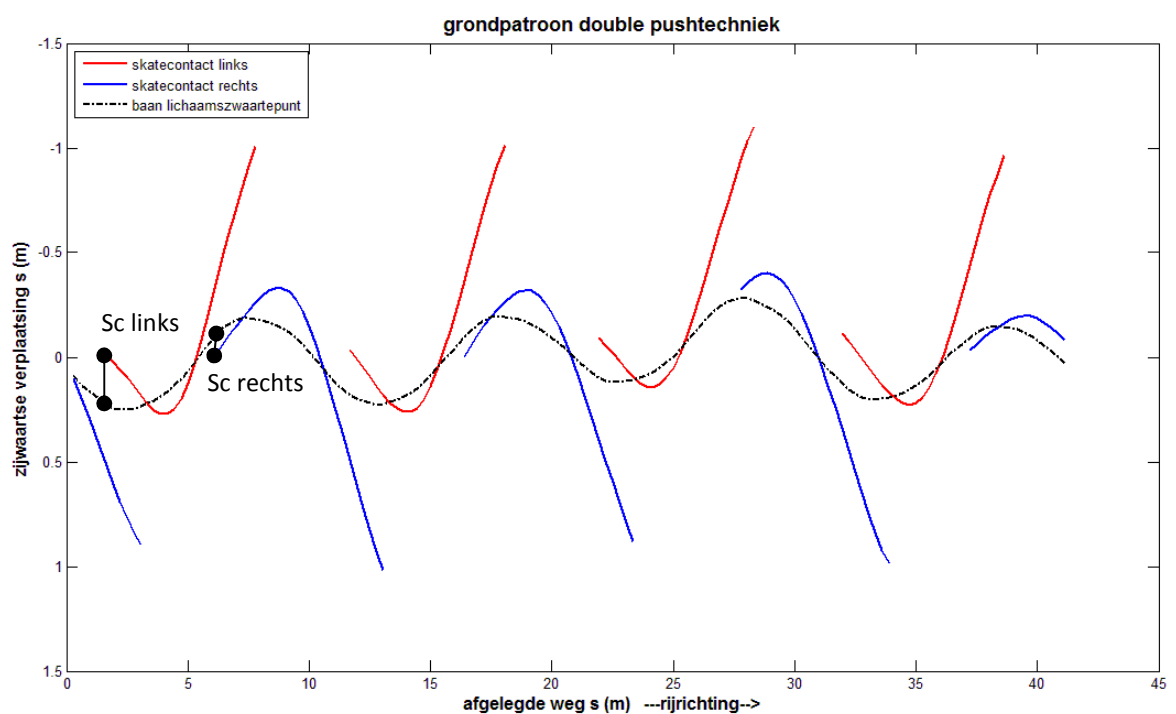
Figuur 17. Snelheid en verplaatsing linker skate en lichaamszwaartepunt
Rood, streep en punt: snelheid linker skate
Rood: verplaatsing linker skate
Zwart, streep en punt: snelheid lichaamszwaartepunt
Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

In de hiervoor behandelde aspecten is alleen uitgegaan van de extensiemogelijkheden in de heup en knie, en is er geen rekening gehouden met de abducerende kracht van de m. gluteus medius. Op pagina 23 en 24 zal hier verder op in worden gegaan.

Voorwaarde:

- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt.
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven.

Double push



Figuur 18. Grondpatroon double pushtechniek

Rood: contacten linker skate

Zwart, streep en punt: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

Het gangpatroon van de double push van deze proefpersoon is niet helemaal symmetrisch. Het linker skatecontact (zie Sc links in figuur 18) vindt verder van het zwaartepunt plaats dan het rechter (Sc rechts in figuur 18). Het gevolg is dat bij het rechterbeen de mediale afzetfase plaatsvindt op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt maximaal is. Bij het linkerbeen vindt de mediale afzetfase pas begint op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt weer afneemt. Dit geldt voor de gehele cyclus. Het linker standbeen legt in totaal dus meer afstand af in de bipedale rolfase.

Naar aanleiding van deze waarneming is tijdens een clinic een gesprek geweest met Scott Arlidge (drievoudig wereldkampioen skeelers). Aan de hand van dit gesprek worden hieronder de beweringen van Scott Arlidge op een rij gezet.

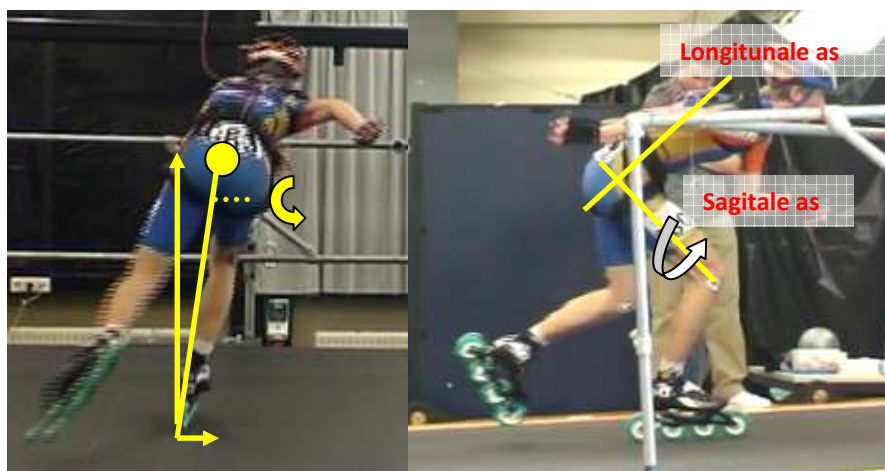
Hij beweert dat sterke skeelers eerder kiezen voor een plaatsing van skatecontact meer lateraal van het lichaamszwaartepunt, om de benen iets meer rust te geven door een glijfase in te voegen, maar vervolgens wel een grotere mediale uitslag te maken. Mensen met minder kracht zoals hij kiezen voor een plaatsing rond het zwaartepunt maar ook voor een constante afzet en druk op de skeelers. Dus eigenlijk kiezen deze mensen voor een hoge frequentie in plaats van lengte in de slagen. Een nadeel wordt ondervonden bij lange rechte stukken bij hoge snelheden, want het vermogen per afzet is minder. Wil je met een klein vermogen per afzet meer vermogen gaan leveren dan dien je de frequentie nog meer te verhogen of de slag te verlengen. Mensen met een lange slag kunnen met een kleinere frequentieverhoging procentueel meer vermogen leveren en zijn dus in het voordeel bij hogere snelheden. Bij veel versnellingen en vertragingen is het omgekeerde het geval. Het is te vergelijken met een lichter verzet tijdens het fietsen.

ABDUCERENDE ADDUCERENDE MOGELIJKHEDEN TIJDENS DE GLIJFASES

In voorgaande paragrafen werd de abductie en adductie niet meegenomen in de afzetmogelijkheden. In deze paragraaf zal bekeken worden wat voor een bijdrage de abductie eventueel kan leveren.

Wanneer vanuit de anatomische houding er abductie in de heup plaatsvindt, dan gebeurt dit om de sagittale as in het frontale vlak. Het abducerende moment (109 N/m) dat de gluteusspieren en de m. tensor fasciae latae isokinetisch kunnen leveren verschilt dan niet zoveel ten opzichte van de extenderende moment (120 N/m) van de heup [4]. In dit geval zal er geen twijfel over bestaan dat een abductie wel degelijk positief bij kan dragen aan het leveren van een kracht voor de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Echter, de positie waarin het abducerend moment het belangrijkst is, is het moment waar het contactpunt in de buurt van het zwaartepunt ligt. In het sagittale vlak is op dat moment sprake van een flinke anteflexie ten opzichte van de anatomische stand.



Figuur 19. Adductiemogelijkheid in het heupgewricht

Links: dorsaal aanzicht, rechterbeen is licht geadduceerd

Rechts: assenstelsel voor bewegingsmogelijkheden in het heupgewricht

Wil de skater op dit moment de skate naar lateraal duwen, dan zou dit moeten gebeuren met een combinatie van exorotatie en extensie in het heupgewricht. Het exoroterende moment is veel kleiner dan het extenderende moment (concentrisch isometrische kracht), 53 N/m tegenover 130 N/m gemiddeld [4].

Geconcludeerd kan worden dat de mogelijke bijdrage van ab- en adductie te betwijfelen is. Om de werkelijke bijdrage verder te onderzoeken zou een systeem dat het moment en de kracht op de skate meet volstaan, een EMG-meting tijdens het skeeleren zou ook een weergave geven van de spieractiviteit.

Voorwaarde:

- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekketen van het art. coxae en art. genus

VERGELIJKING KLASSIEK EN DOUBLE PUSH

In voorgaande paragrafen zijn de klassieke techniek en double pushtechniek onafhankelijk van elkaar behandeld. In deze paragraaf zal gekeken worden welke techniek de voorkeur heeft. Alle uitspraken die worden gedaan in de komende paragrafen zijn uitspraken van waarden in het frontale vlak.

Bij skeeleren gaat het er om je lichaam over een bepaalde afstand te verplaatsen in een zo kort mogelijke tijd. Er zijn vier gegevens die er wat over zeggen:

$$v = \frac{s}{t}$$
$$F = m \cdot a$$

$$W = F \cdot s$$

$$P = F \cdot v$$

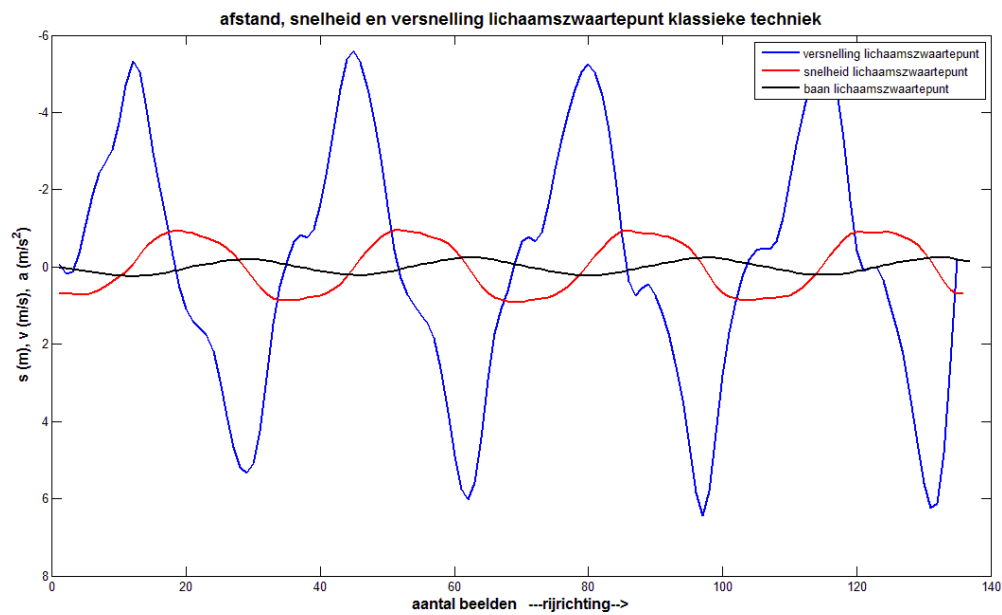
De vergelijking tussen de twee technieken zal gedaan worden aan de hand van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de tijd waarin deze verplaatsing tot stand komt. Er is gekozen voor deze zijwaartse snelheid omdat de voorwaartse snelheid constant is (bij zowel double push als klassieke techniek). Indirect betekent dit dat hoe groter de zijwaartse snelheid is, hoe ongunstiger afgezet wordt, omdat er mogelijk meer vermogen in voorwaartse richting geleverd had kunnen worden.

De pilotmeting levert data op in de vorm van afstand en tijd van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten, ook de voorwaartse snelheid is bekend. Dit geeft de mogelijkheid de snelheid en versnelling van het lichaamszwaartepunt in zijwaartse richting te bepalen door het differentiëren van de afstand naar de snelheid en versnelling.

$$v = \dot{s} = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \dot{v} = \frac{dv}{dt}$$

Wanneer deze differentiaties weergegeven worden in grafieken vormt zich het onderstaande beeld (figuren 20 en 21):

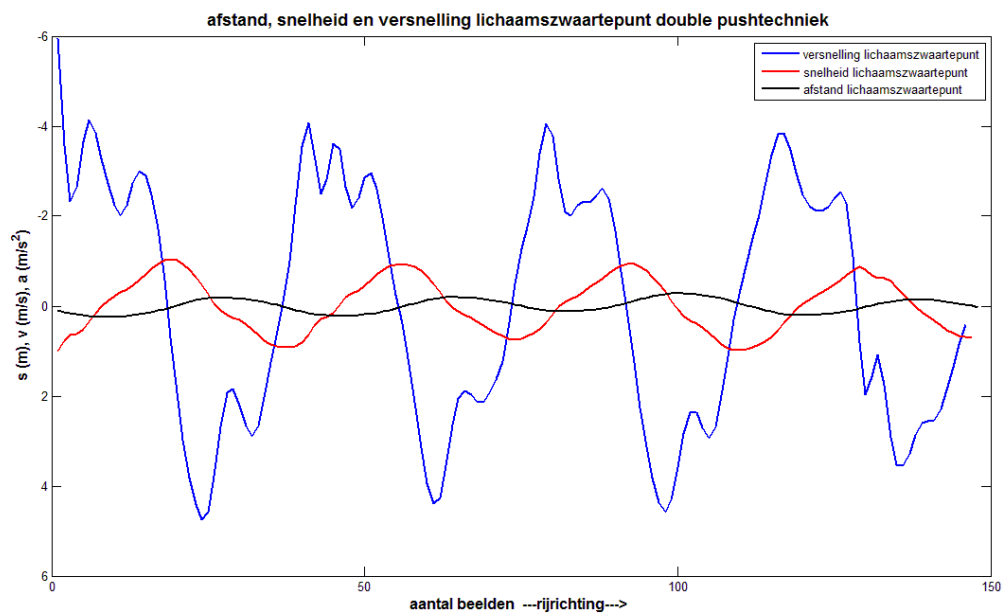


Figuur 20. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij klassieke techniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt



Figuur 21. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij double pushtechniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

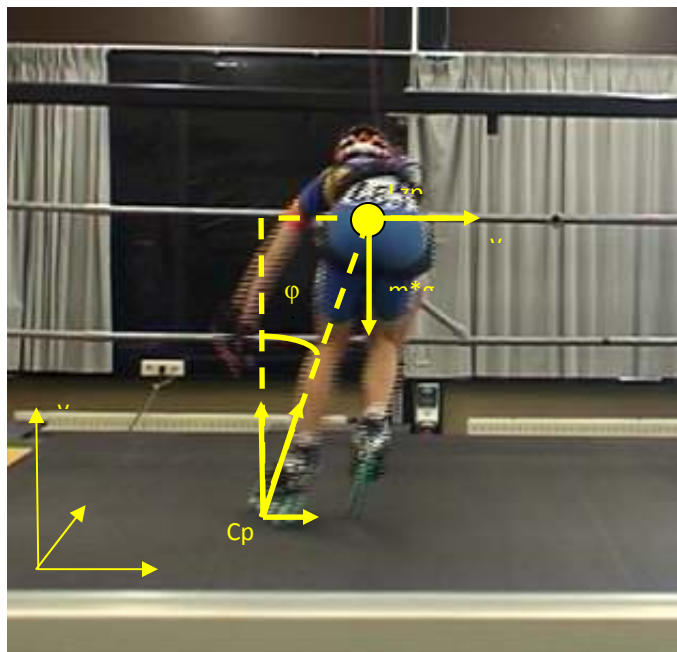
Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt

Wat gelijk opvalt is dat de double push een lagere piekversnelling heeft in vergelijking met de klassieke techniek, maar dat deze enigszins fluctueert. Er is dus een effect waar te nemen ten gevolge van de double push. In de volgende paragrafen zal gekeken worden hoe groot dit effect is en of het een nadeel of voordeel oplevert.

Propulsiekrachten

Voor het bepalen van de bijdrage van de mediale afzet op de voorwaartse snelheid dienen de vectoren van de afzetkrachten bekend te zijn.

De videobeelden lenen zich voor het bepalen van deze afzetkracht wanneer we de beweging beschrijven ten opzichte van een met de skeeler meebewegend assenstelsel (figuur 22). Ten opzichte van dit van dit assenstelsel is de afzet vergelijkbaar met een sprong in zijwaartse richting. Waarbij het lichaamszwaartepunt in x en y-richting wordt versneld. Wanneer er aangenomen wordt dat het zwaartepunt op een constante hoogte boven de grond blijft en de skeeleraar als een puntmassa wordt opgevat, is het mogelijk de afzetkracht te bepalen als functie van de hoek die het lichaamszwaartepunt maakt met verticaal (figuur 22).



Figuur 22. Bepaling propulsiekrachten

$$F_z = m \cdot g$$

$$F_a = \frac{F_z}{\cos(\varphi)}$$

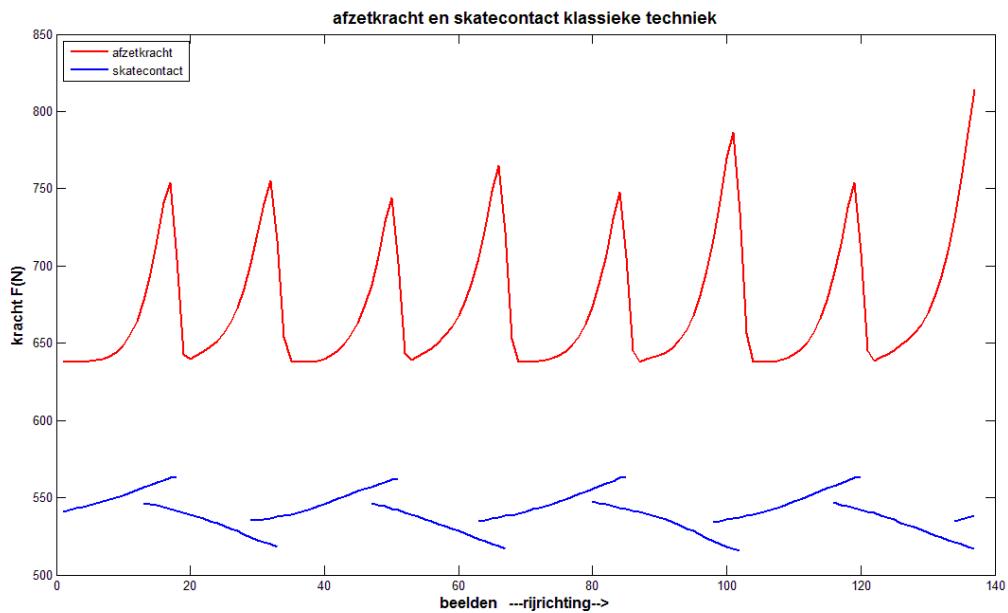
$$\varphi = \arctan\left(\frac{s_y}{s_x}\right)$$

$$s_y = LZP_y - C_{p,y}$$

$$s_x = LZP_x - C_{p,x}$$

Voor het bepalen van de afzetkracht is gebruik gemaakt van de dataset die verkregen is bij de projectie van het lichaamszwaartepunt op de ondergrond. Bij de benadering van de afzetkracht is het contactpunt van de rechter skeeler gedefinieerd als toe-off linkerbeen tot toe-off rechterbeen, en omgekeerd voor de linker skeeler. In de figuren 23 en 24 is het verloop van de afzetkracht te zien. Ter illustratie zijn onder het verloop

van de afzetkracht de afzetten van de linker en rechter skeeler geplot, deze houden geen verband met de verticale as, maar dienen slechts als illustratie hoe het krachtsverloop bij de afzet is.

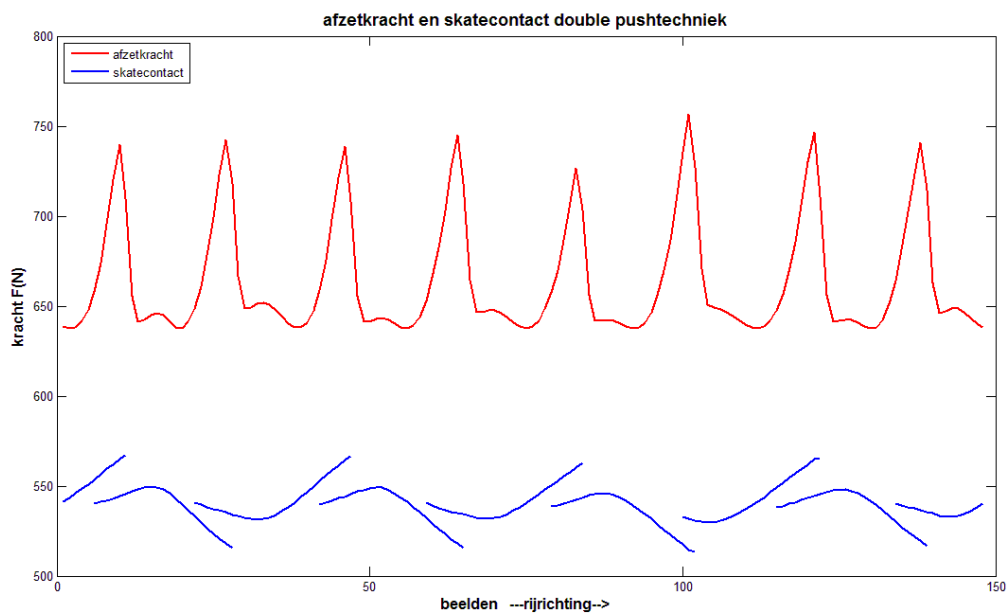


Figuur 23. Afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

Gemiddelde kracht: 674 N



Figuur 24. Afzetkracht bij de double pushtechniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

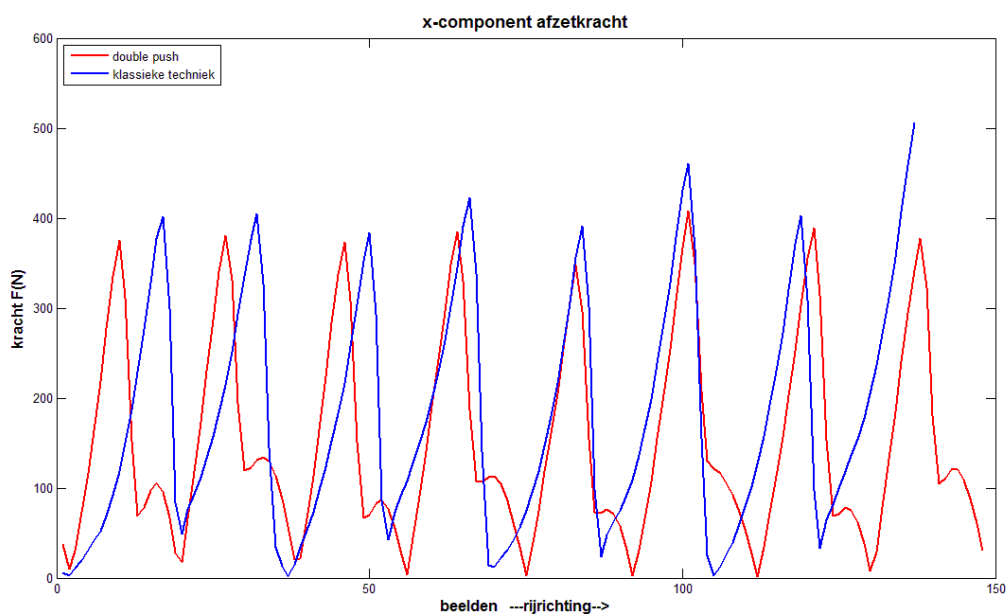
Gemiddelde kracht: 664 N

Uit onderzoek naar afzetkrachten tijdens het skeeleren[5] blijkt dat afzetkrachten van 120-150% van het lichaamsgewicht maal de zwaartekrachtversnelling plaats vinden, uitgaande van een fase van toe-off tot toe-off van het andere been. Dit lijkt dus een goede manier om de afzetkrachten tijdens het skeeleren te benaderen. Als we kijken naar de data, dan valt het op dat de verschillen tussen de geleverde piek- en gemiddelde krachten minimaal is. Wel kan er geconstateerd worden dat bij de double push zowel de piek- als bij de gemiddelde kracht lagere waarden heeft.

X-component afzetkracht

Om te kijken hoe groot de kracht is die bijdraagt aan het versnellen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting is gebruik gemaakt van de stelling van pythagoras:

$$F_x = \sqrt{F_{afzet}^2 - F_z^2}$$



Figuur 25. F_x bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double pushtechniek

Blauw: klassieke techniek

Gemiddelde double push: 151 N

Gemiddelde klassiek: 180 N

Wanneer we kijken naar de x-component van de afzetkracht blijkt dat er bij de klassieke techniek gemiddeld 4% meer kracht van de totale afzet gestopt wordt in het verplaatsen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting dan bij de double push. Dit betekent dat de hoek ϕ met verticaal bij de klassieke techniek groter is. Dit was van te voren te verwachten, aangezien het lichaamsswaartepunt bij de klassieke techniek 10 cm lager ligt dan bij de double push. Een andere verklaring is dat de toe-off verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt. Uit de data blijkt dat bij de klassieke techniek vergeleken met de double push de toe-off maximaal 15 cm verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt.

Hieruit is op te maken dat de afstand van het art. coxae tot de voet bij toe-off bij beide technieken ongeveer even groot moet zijn. Het is dus aannemelijk dat bij beide technieken ongeveer dezelfde hoeken in knie- en heupgewricht te zien zijn. Beelden van de video ondersteunen dit, bij beide toe-offs was de kniehoek ongeveer 160 graden. Dit gegeven wordt ondersteund door Houdijk et al [6].

Een ander gegeven dat opvalt is de mediale afzet van de double push waar we zien dat er piekkrachten van ongeveer 650 N zijn. De bijdrage aan de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in x-richting ligt ongeveer tussen de 70 en 100 Newton.

Geconcludeerd kan worden dat de piekkrachten bij de klassieke techniek hoger zijn dan die bij de double pushtechniek. De klassieke techniek richt de afzetkracht echter wel gunstiger (er wordt een groter aandeel van de afzetkracht gebruikt voor het verplaatsen in voorwaartse richting).

Ook valt te concluderen dat de mediale afzet een extra kracht uitoefent op de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Voorwaarde:

- **In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting.**

Vermogen

Voor het bepalen van de techniek met de meeste efficiëntie zal er gekeken worden naar het vermogen dat bij de technieken per slag geleverd wordt bij eenzelfde uitwendige prestatie (verplaatsing in voorwaartse richting).

Voor het bepalen van het vermogen dienen de afzetkracht en snelheid bekend te zijn, de snelheid is een bekende na het differentiëren van de afgelegde weg, de afzetkracht is bepaald in de vorige paragraaf. Met deze gegevens kan het vermogen momentaan berekend worden. In figuur 22 (pagina 26) staat het assenstelsel voor deze berekeningen weergegeven.

$$P_{tot,double\ push} = F_{prop,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

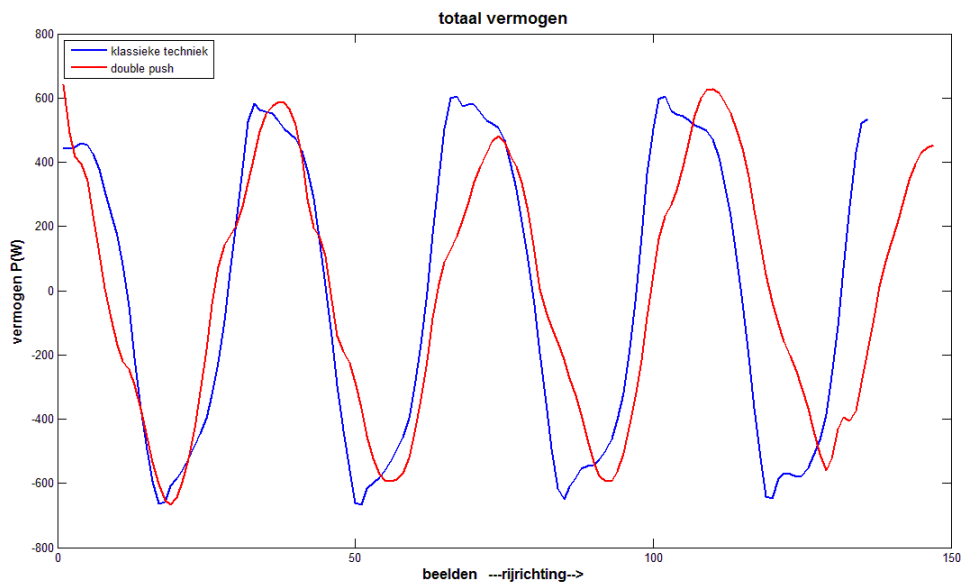
$$P_{nuttig,double\ push} = F_{x,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{tot,klassiek} = F_{prop,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{nuttig,klassiek} = F_{x,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

Waar de snelheid van de lichaamszwaartepunten elkaar niet ver ontlopen en de gemiddelde kracht van de klassieke techniek een fractie hoger is dan bij de double push, is de verwachting dat het vermogen van de klassieke techniek hoger is dan die van de double push omdat zowel de gemiddelde kracht als de snelheid bij de klassieke techniek hoger zijn, wat ook een hoger vermogen oplevert.

Piekvermogen



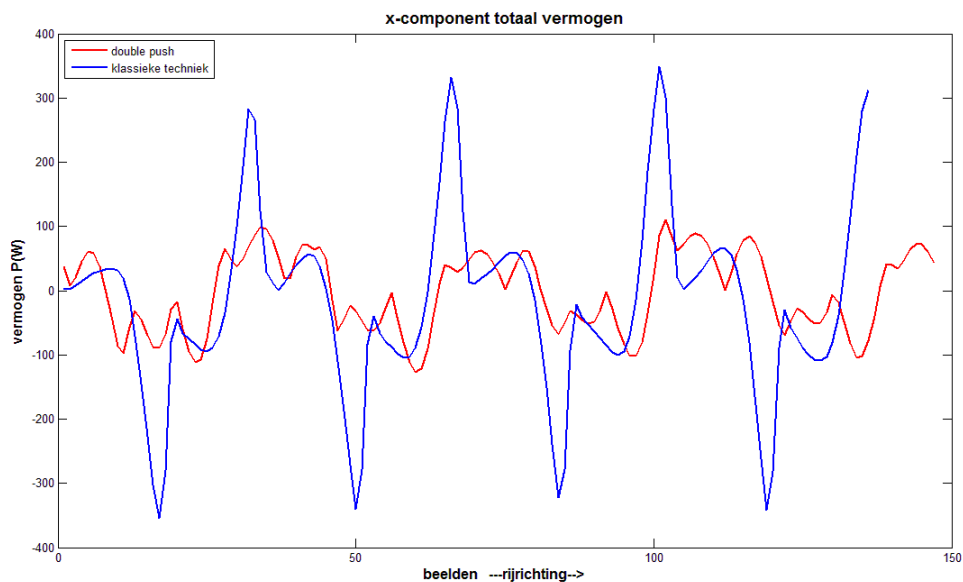
Figuur 26. Totaal vermogen bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double push

Blauw: klassiek

Uit figuur 26 blijkt dat de geleverde piekvermogens elkaar niet veel ontlopen. Het gemiddelde vermogen over de acht slagen van de double push (344 Watt) is echter 78 Watt lager dan van de klassieke techniek (422 Watt)

X-component vermogen



Figuur 27. X-component van het geleverde vermogen voor beide technieken

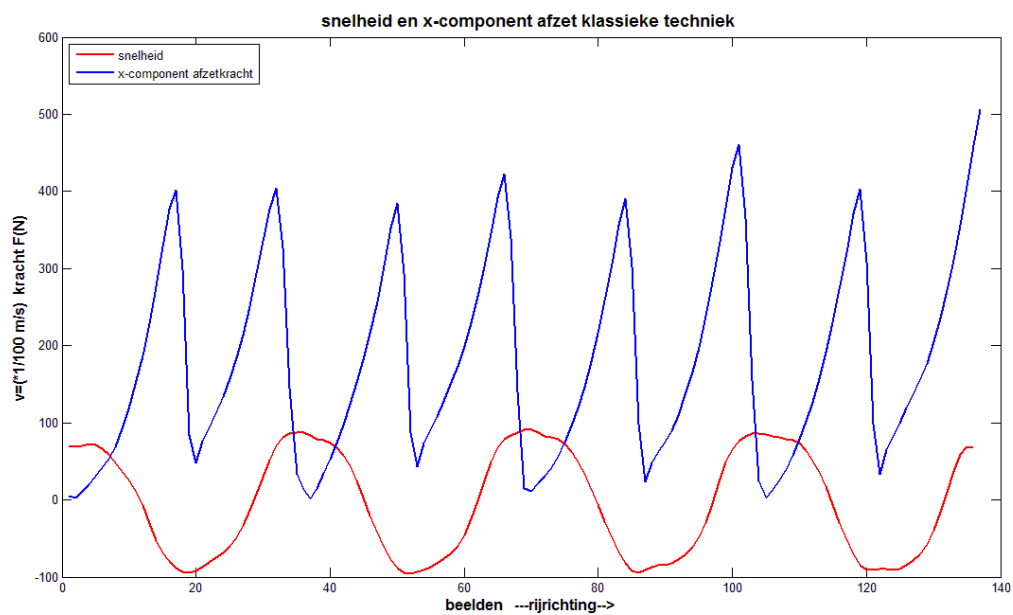
Rood: double push

Blauw: klassiek

Wanneer we kijken naar de x-component van het vermogen (figuur 27) valt gelijk op dat het piekvermogen dat bij de klassieke techniek geleverd wordt vele malen hoger is. Dit komt wel overeen met de verwachting, maar een verschil van 200 Watt in piekvermogen is een groter verschil dan verwacht werd aan de hand van de snelheid en propulsiekracht.

Evaluatie en terugkoppeling

Om een verklaring voor het hogere piekvermogen bij de klassieke techniek is te vinden wordt een grafiek geplot van de x-component (figuur 28) van de afzetkracht samen met de snelheid van de klassieke techniek.



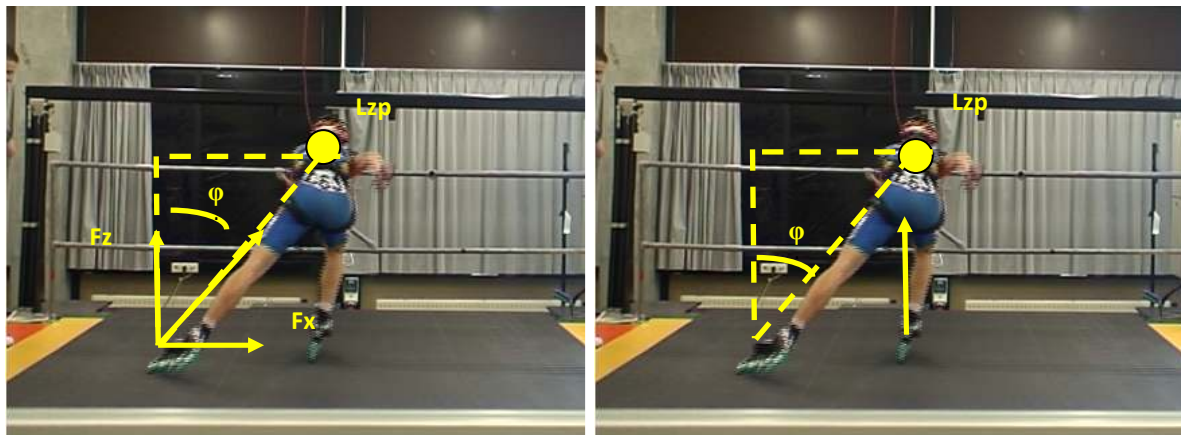
Figuur 28. Snelheid lichaamszwaartepunt en x-component afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: x-component afzetkracht

Hier valt op dat de piekkracht het grootst is op het moment van de pieksnelheid, dit verklaart waarom het piekvermogen bij de klassieke techniek zo hoog is. Waar de snelheid zonder aannames is bepaald, is het vermogen betrouwbaar. Voor de kracht zijn twee aannames gedaan, het is dus mogelijk dat hier een probleem in schuilt. De verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting is niet waarschijnlijk omdat het lichaamszwaartepunt weinig verplaatsing in verticale richting ondervindt bij de klassieke techniek.

De aanname van de afzet geldend van toe-off tot toe-off ligt meer voor de hand als verkeerde aanname. De bipedale fase verdwijnt bij deze benadering en de complete zwaartekracht wordt door het afzetbeen gedragen. De maximale kracht wordt bij deze benadering bereikt vlak voor toe-off (figuur 29).



Figuur 29. Toe-off en projectie lichaamszwaartepunt

In werkelijkheid is op het moment van skatecontact het lichaamszwaartepunt grotendeels boven het dit nieuwe contactpunt komt te liggen(fig). Het gevolg hiervan is dat de zwaartekracht verdeeld wordt over de twee contactpunten, een groot deel van het lichaamszwaartepunt ligt boven het been dat skatecontact maakt. De zwaartekracht werkt dus voor het grootste deel op het been wat het dichtst bij de projectie van het lichaamszwaartepunt ligt, waardoor de afzetkracht van het afzetbeen sterk afneemt.

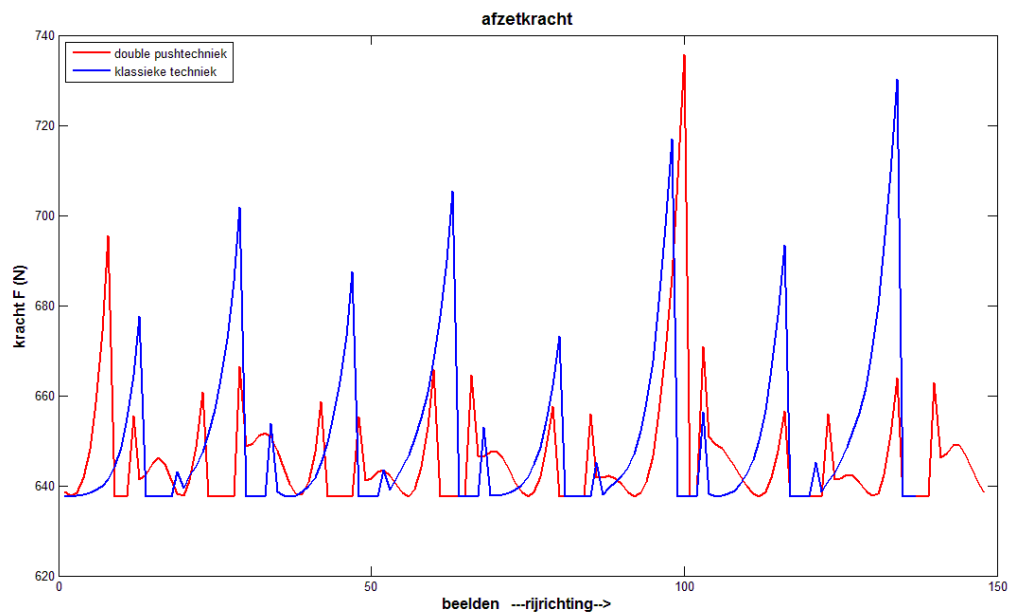
De gebruikte methode neemt dat niet mee in de berekening, waardoor ϕ ook groter wordt naar mate de afzet langer wordt.

Daarom is ervoor gekozen om alleen de afzetkrachten te bepalen tijdens de unipedale fases en in bipedale fase de afzetkracht gelijk te stellen aan $m \cdot g$, waarbij alle krachten worden als positief beschouwd.

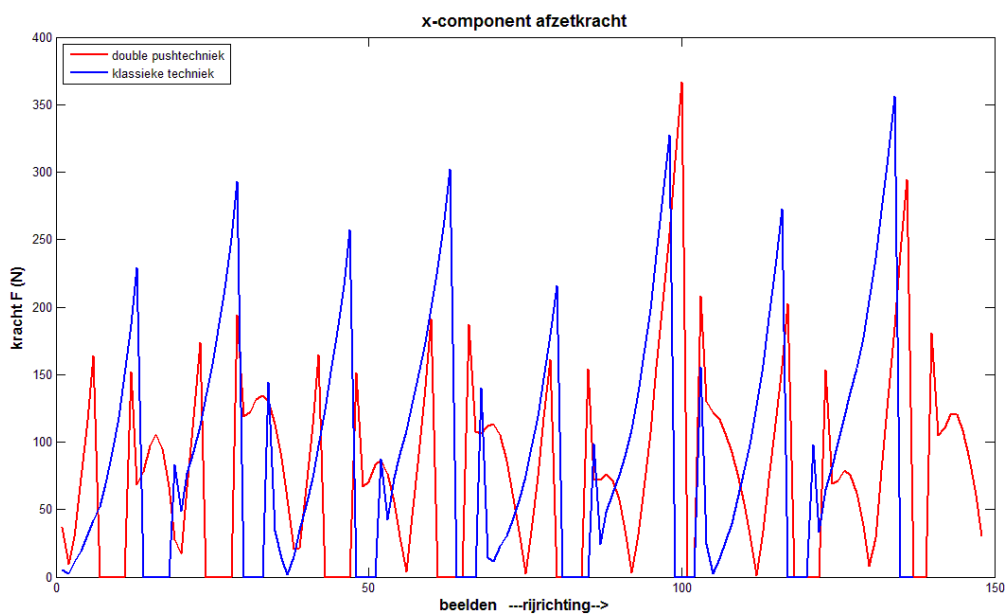
Afzetkracht

Wanneer we de verbeterde methode toepassen, valt gelijk op dat de propulsiekracht veel kleiner is geworden. De piek van 670 N betekent een afzet van 105% van het lichaamsgewicht. Dit is minder dan in de literatuur[5] beschreven staat. Een verklaring zou kunnen zijn dat de kracht die geleverd moet te worden om het in positie blijven op de lopende band zeer laag is.

Een andere verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat in het begin van de contactfase het lichaamsgewicht nog niet volledig op de skate wordt gezet, met tot gevolg een toename van de afzetkracht. In onderzoek naar de afzetkrachten tijdens het schaatsen vonden De Koning et al [7] dat bij een snelheid van 32,4 km/h pas na 20% van de contactfase het volledige lichaamsgewicht op het standbeen wordt geplaatst. Er kan gekeken of het percentage van het lichaamsgewicht in Newton bij de afzetkracht en het vermogen nog beter benaderd kan worden door de 20% in de berekening mee te nemen, hier kwamen echter geen noemenswaardige verschillen uit.



Figuur 30. Afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechniek, gemiddelde = 643 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 647 N

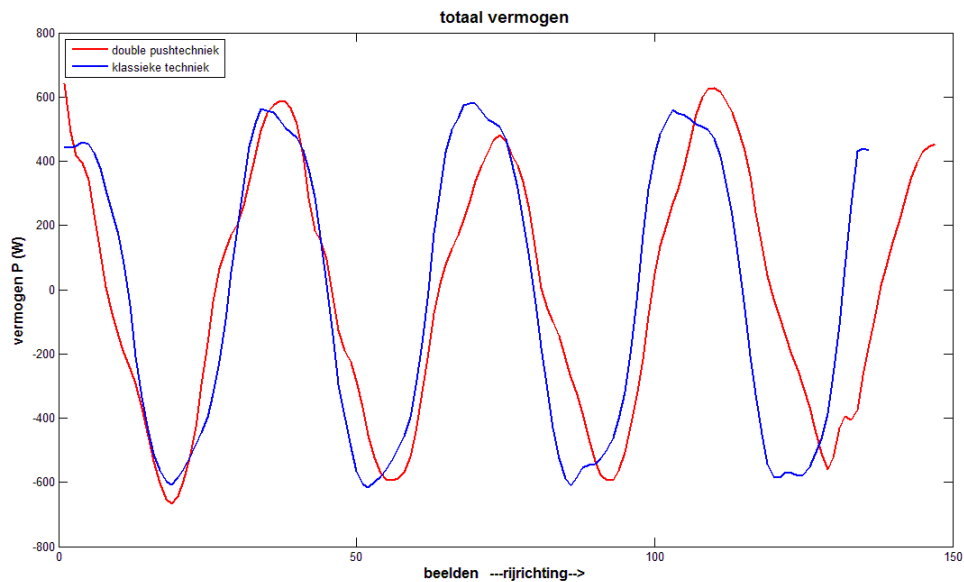


Figuur 31. x-component afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechniek, gemiddelde = 58 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 76 N

In fig. is te zien dat de gemiddelde geleverde afzetkracht van de double push en klassieke techniek even groot is. Bij de double push wordt de kracht echter verdeeld over twee pieken gedurende de afzet. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de piekbelasting bij de double push lager is, maar dat er gemiddeld wel even veel kracht wordt geleverd als bij de klassieke techniek.

Vermogen

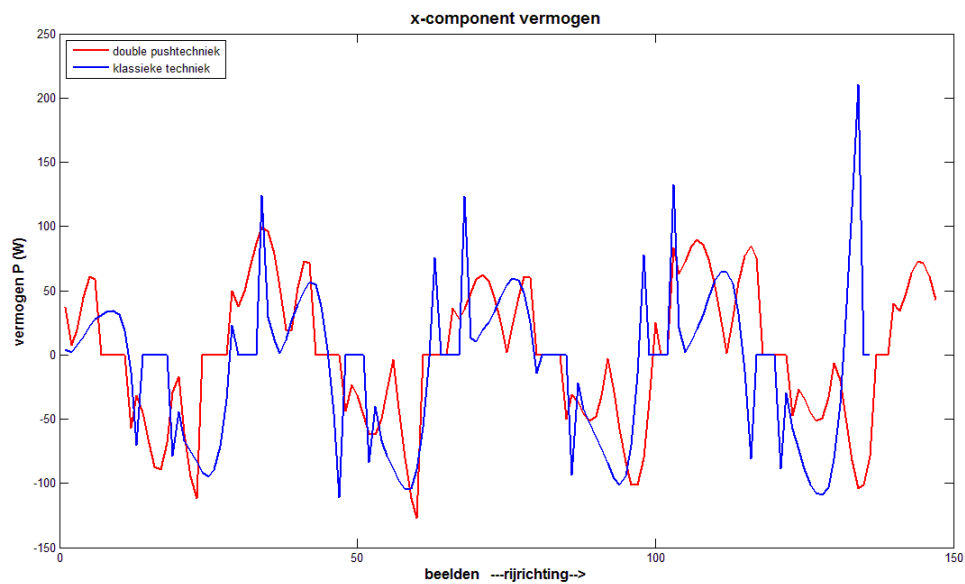
Wanneer het vermogen bepaald wordt met de vernieuwde methode komen de volgende resultaten naar voren:



Figuur 32. Totaal geleverd vermogen

Rood: double push

Blauw: klassiek



Figuur 33. geleverd vermogen in x-richting

Rood: double push

Blauw: klassiek

De verschillen zijn niet heel groot, de double push levert gemiddeld 55 Watt minder vermogen om eenzelfde voorwaartse snelheid te bereiken.

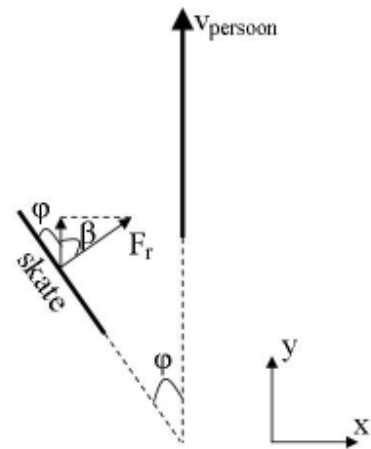
Geconcludeerd kan worden dat de double push een lagere vermogen levert om eenzelfde snelheid te bereiken. Een ander groot voordeel is dat de totale afzetkracht bij de double push ongeveer gelijk is aan die van de klassieke techniek, maar hierbij wordt de kracht wel verdeeld over twee benen waardoor de piekbelasting per been lager wordt.

THEORETISCH MODEL

Zowel interne als externe factoren hebben invloed op de totstandkoming van een skeelerbeweging. Deze factoren worden in onderstaande beschrijving besproken.

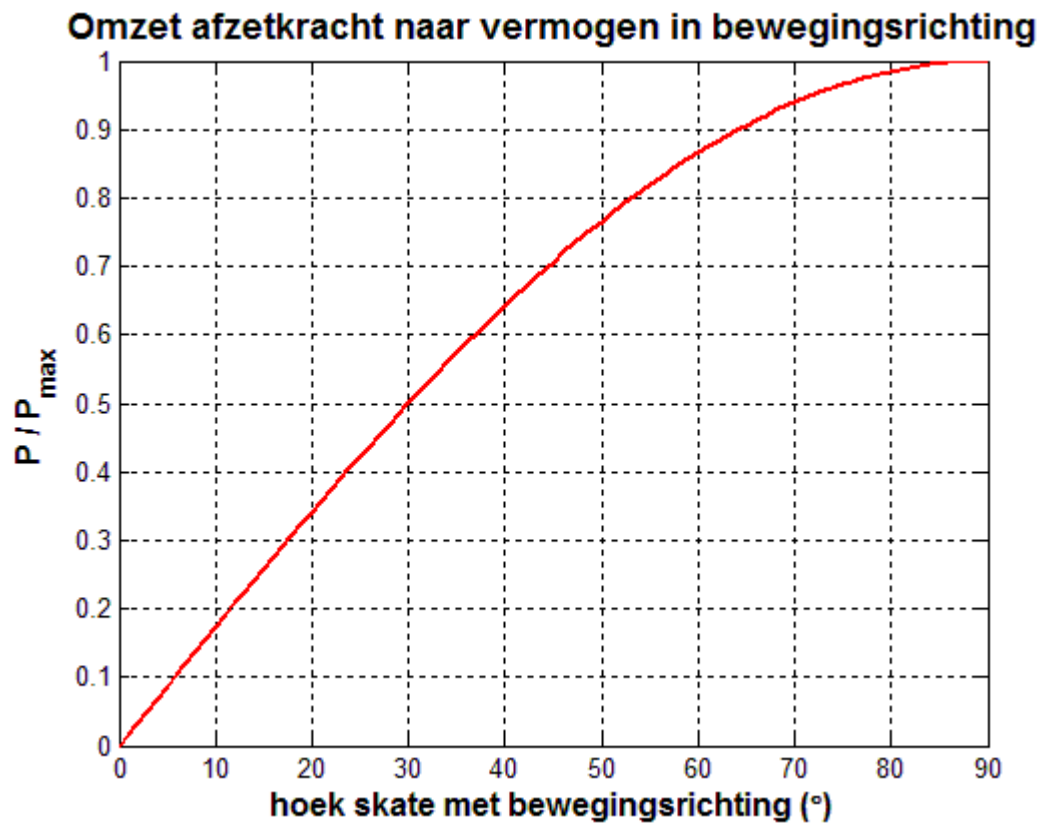
Zoals is geconcludeerd uit de resultaten van de pilotmeting, zet een skeeleraar tijdens de afzet de skate onder een hoek met de gewenste bewegingsrichting. Het model in figuur 34 geeft dit principe weer.

De hoek tussen de skate en de gewenste bewegingsrichting is in principe vrij te kiezen. Echter, als er een analyse gemaakt wordt van de hoeveelheid vermogen die geleverd wordt in de bewegingsrichting van de persoon, dan kan er geconcludeerd worden dat het geleverde vermogen in de gewenste bewegingsrichting een verband heeft met de afzethoek. Dit verband staat weergegeven in de onderstaande vergelijking en figuur 35.



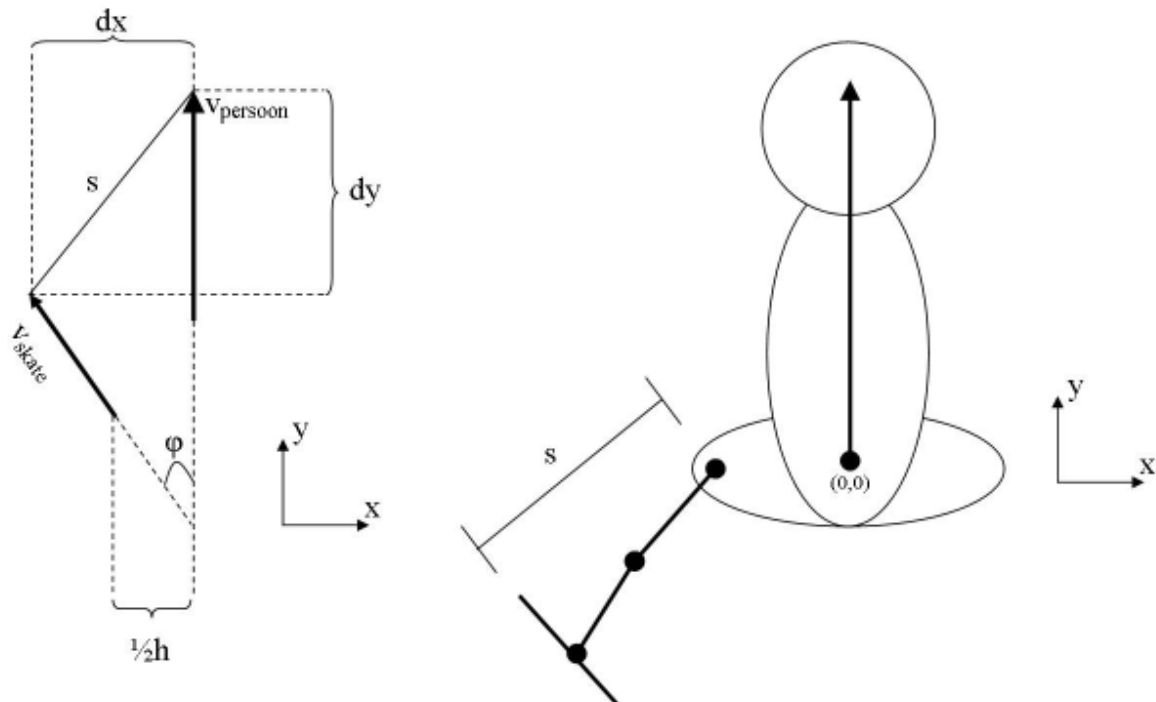
Figuur 34. Model snelheid persoon en plaatsing skate

$$P_y = F_{ry} \cdot v_y = F_r \cdot \cos(\beta) \cdot v_y = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) \cdot v_y$$



Figuur 35. Relatief vermogen in de bewegingsrichting als variabele van de plaatsing van de skate

Het is duidelijk te zien dat het vermogen in y-richting groter wordt naarmate de hoek van de skate met de bewegingsrichting (φ) toeneemt. De limiet voor de hoek is $0 \leq \varphi \leq 90$, omdat voor overschrijding van beide limieten geldt dat de richting van de reactiekracht omgekeerd is van de gewenste richting (in praktijk is een dergelijke krachtrichting te vergelijken met de richting van de reactiekracht bij double push).



Figuur 36. Model beenafstand in bovenaanzicht

Links: wegllopen van de skate ten gevolge van verschil in richting van verplaatsing van skate en persoon

Rechts: Beenlengte in bovenaanzicht

$\frac{1}{2} h$ = halve heupbreedte

Er is echter een beperking in de hoek die gemaakt kan worden, wat wordt geïllustreerd in het volgende model (zie ook figuur 36).

De skate waarmee afgezet wordt, heeft net als het lichaam een snelheid. Omdat de skate niet in dezelfde richting als de bewegingsrichting van het lichaam beweegt, heeft deze in x- en y-richting een andere snelheid. Ten gevolge van dit gegeven zal de skate van het lichaam af bewegen. In deze positie zit uiteraard een beperking, namelijk de lengte van het been in bovenaanzicht, zoals weergegeven in figuur 36 met het symbool s . Hierbij wordt er uitgegaan van een beenlengte bij een kniehoek van 160° (gemeten aan de dorsale zijde van het been).

De beenlengte s in bovenaanzicht kan als volgt bepaald worden:

$$dx = \frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t$$

$$dy = v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t$$

$$s = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t\right)^2 + \left(v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t\right)^2}$$



Figuur 37. Relatieve verplaatsing skate ten opzichte van het lichaam

Naarmate de hoek van de skate ten opzichte van de bewegingsrichting toeneemt, is de verplaatsing van de skate bij een bepaalde snelheid groter per tijdseenheid (de afzettijd). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de snelheid of de afzettijd (of een combinatie van beiden) beperkend is voor de hoek φ .

WRIJVINGSKRACHTEN

Ten gevolge van onder andere luchtwerijving en rolwerijving is het niet mogelijk om te skeeleren met een zuiver constante snelheid. Daarom zal telkens tijdens de rolfase de snelheid van de persoon afnemen, waarna de persoon in de daarop volgende afzetfase weer snelheid moet toevoegen om het verlies aan snelheid weer goed te maken.

Tijdens het skeeleren spelen de volgende formules een rol:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2$$

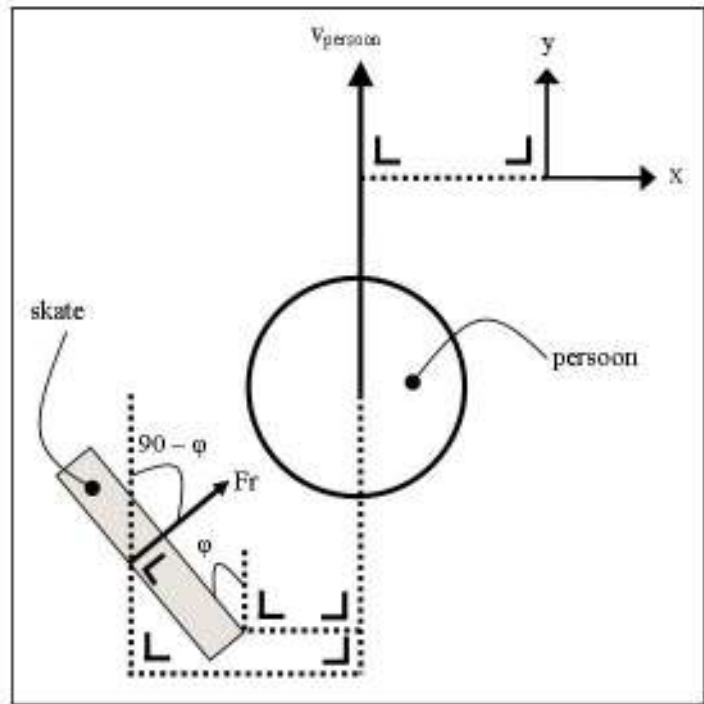
$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$$

$$F_{res} = F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = m \cdot a$$

$$\rightarrow a = \frac{F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}}{m}$$

$$v_i = v_{i-a} + a \cdot t$$



Figuur 38. Model richting afzetkracht in een inertiaal assenstelsel

Indien geldt dat $F_{res} = 0$ dan is de versnelling 0, wat betekent dat de persoon met constante snelheid voortbeweegt (of stilstaat indien de voorgaande snelheid 0 was).

De versnelling a kan alleen gebruikt worden bij constante versnellingen. Hier zal rekening mee gehouden moeten worden bij het vervaardigen van de modellen door de afzetfase in kleine stukjes op te delen.

Voorwaarde:

- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes

De richting en grootte van de krachtcomponenten heeft invloed op de tweede wet van Newton ($F_{res} = m \cdot a$). Zo kan de invloed van de wrijvingskrachten in x-richting verwaarloosd worden, waardoor de tweede wet van Newton omgeschreven zal moeten worden:

$$F_{res,x} = F_r \cdot \sin(90 - \varphi) = F_r \cdot \cos(\varphi)$$

$$F_{res,y} = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol} = F_r \cdot \sin(\varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = \sqrt{(F_{res,x})^2 + (F_{res,y})^2}$$

Het assenstelsel voor deze formules staat weergegeven in figuur 38, het is een assenstelsel dat meebeweegt met de bewegingsrichting van de persoon (waarbij de y-as evenwijdig is aan de bewegingsrichting).

Zoals eerder al gesteld is, kan er niet geskeeld worden met een constante snelheid indien er rekening gehouden wordt met wrijvingskrachten. Wel is het mogelijk om aan het eind van iedere afzet eenzelfde snelheid te hebben en dit aan te nemen als constante snelheid. De afzetfase wordt dan gebruikt om de vertraging ten gevolge van de lucht- en rolwrijving van de rolfase weer teniet te doen.

Uiteraard heersen er ook tijdens de afzetfase wrijvingskrachten, zodat tijdens de afzetfase niet alleen de wrijvingskrachten van de rolfase, maar ook die van de afzetfase overwonnen moeten worden. Onderstaand schema geeft dit proces weer, in dit schema is geen rekening gehouden met krachtrichtingen.

Rolfase	Afzetfase
$F_{w,lucht} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{constant})^2$ $F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$ $a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{-1 \cdot (F_{w,lucht} + F_{w,rol})}{m}$ $v_i = v_{i-1} + a \cdot t = v_{constant} + a \cdot t$	$a_1 = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_{constant} - v_i}{t}$ $F_{afzet} = m \cdot a_1 + F_{w,lucht} + F_{w,rol}$ $= m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r$ $a_2 = \frac{F_{afzet}}{m} = \frac{m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r}{m}$ $= a_1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2}{m} + g \cdot c_r$ $v_{constant} = v_i + a_2 \cdot t$
● $v_{constant} = x \text{ m/s}$	● $v_i < v_{constant}$
	● $v_{constant} = x \text{ m/s}$

Voorwaarde:

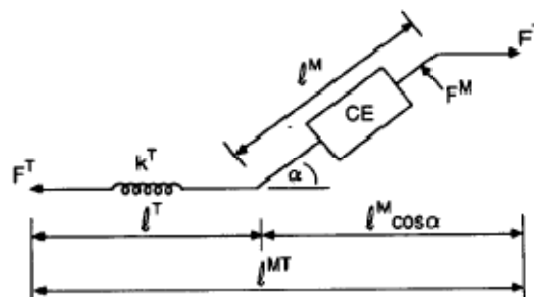
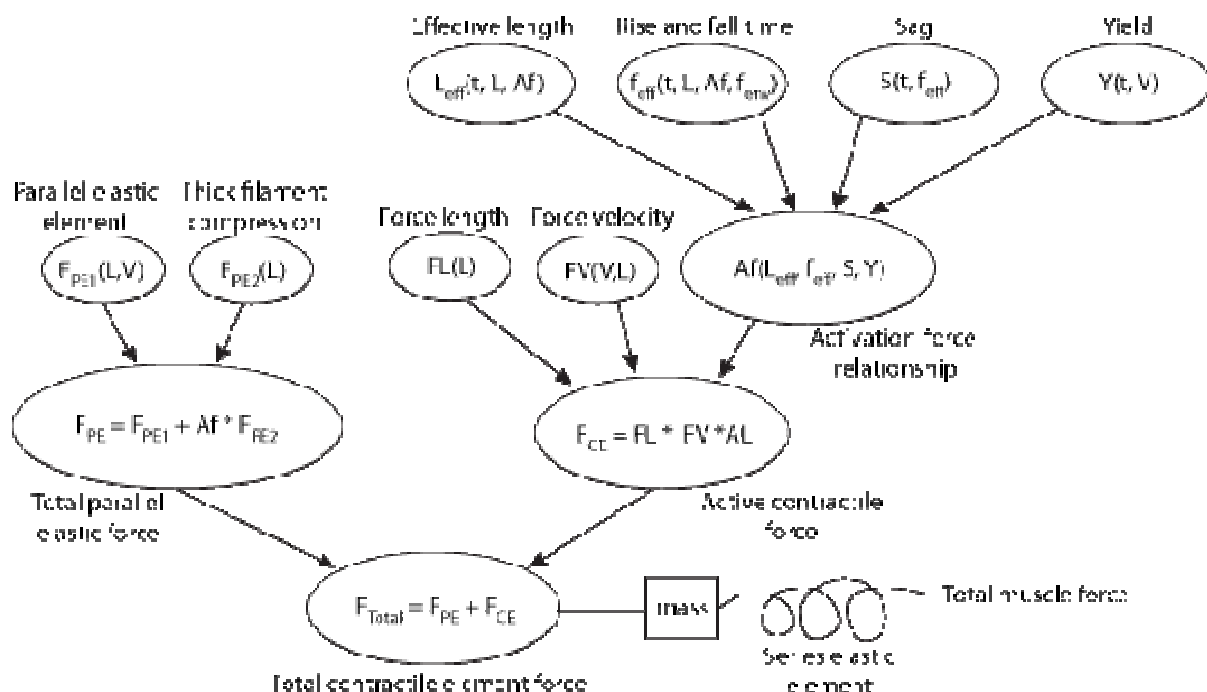
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving

SPIEREIGENSCHAPPEN

Als we kijken naar een beweging in het algemeen, kunnen we stellen dat er hoekverandering plaatsvindt in bepaalde gewrichten (meestal ten gevolge van geleverde spierkracht). In de onderstaande bespreking worden de factoren voor spierkracht besproken.

Factoren voor spierkracht

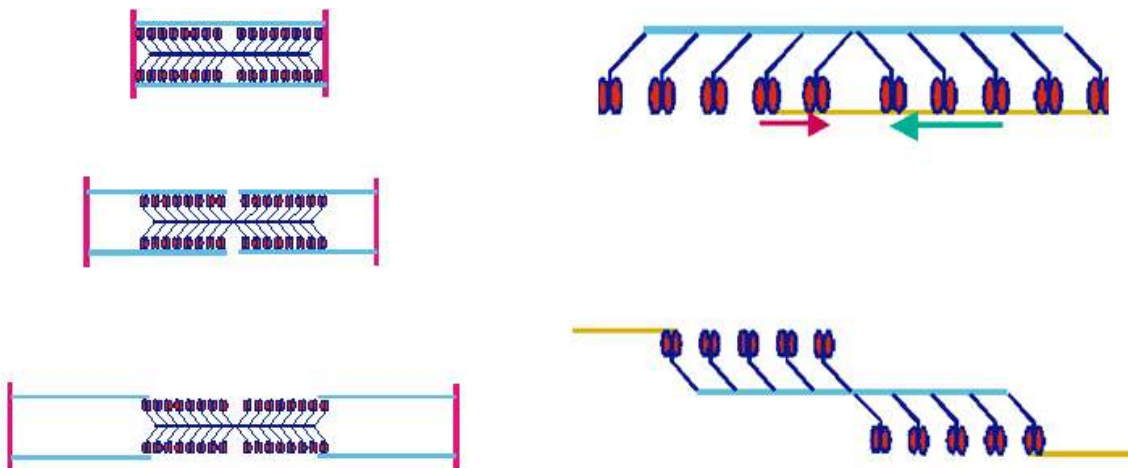
Zoals in het overzicht in onderstaande figuur 39 te zien is, is de spierkracht van vele factoren afhankelijk. Niet alle factoren kunnen in het model verwerkt worden, omdat een totaal model van de spierkracht een groot project op zich is. Het model van Cheng et al [8] dat alle onderstaande factoren of eigenschappen samenvoegt tot de totale spierkracht, is een model met een grote hoeveelheid variabelen. Echter, op veel eigenschappen kan geen invloed uitgeoefend worden, daarom zal er alleen gekeken worden naar de belanghebbende eigenschappen. Deze eigenschappen worden op de volgende bladzijden besproken.



reesmodel

Kracht-lengterelatie

Bij het veroorzaken van een hoekverandering zal een spier meestal verkorten (antagonistische spieren zullen logischerwijs excentrisch gecontraheerd worden). Vanuit de literatuur weten we dat de lengte die een spier heeft van invloed is op de kracht die deze kan leveren. Is een spier op een langere of kortere lengte dan zijn rustlengte, dan is de mogelijke krachtslevering lager [10]. Deze eigenschap is gebaseerd op de het feit dat de kracht die een spier kan leveren afhankelijk is van het aantal beschikbare myosinekopjes dat contact maakt met de actine in een sarcomeer (zie figuur 41). In de figuur is rechtsboven een verkorte sarcomeer weergegeven. De myosinekopjes bevinden zich in de zogeheten antiparallelle regio, de actine maakt niet alleen contact met de myosinekopjes die ervoor zorgen dat de actine naar binnen getrokken wordt (wat een verkorting van de sarcomeer, en dus van de spier, tot gevolg heeft). Er zijn ook myosinekopjes die met de actine ernaast contact moeten maken, maar dat in deze positie niet doen. Zij maken contact met dezelfde actine waar de andere myosinekopjes aan trekken die voor verkorting van de sarcomeer zorgen. Hierdoor wordt er in twee tegengestelde aan de actine getrokken, waardoor de actie van de myosinekopjes elkaar (deels) opheft, wat resulteert in verminderde (of geen) verkorting van de sarcomeer. Dit heeft tot gevolg dat de spierkracht in deze posities lager is.



Figuur 41. Schematische weergave sarcomeren in verschillende posities

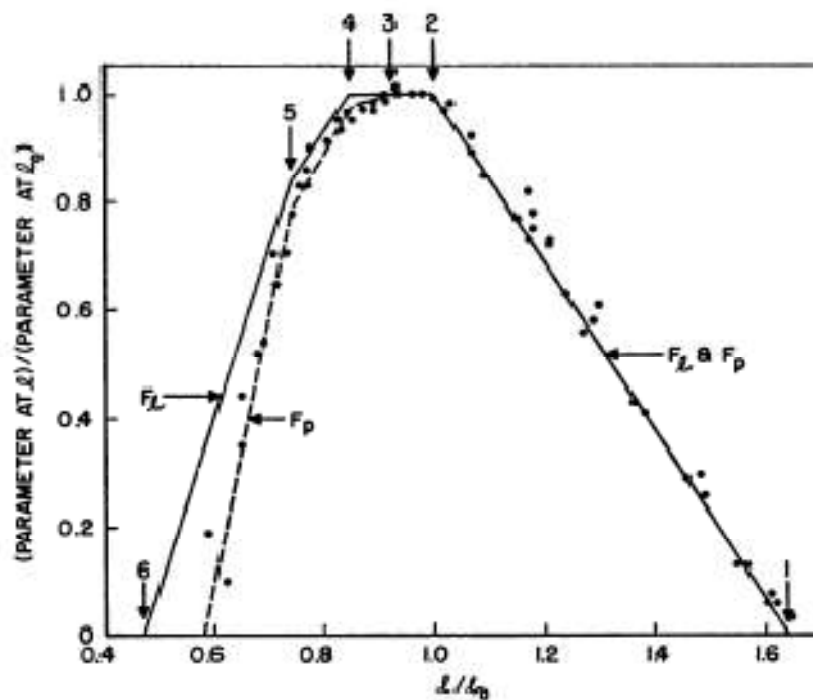
Linksboven, rechtsboven: sarcomeer in verkorte positie

Links, midden: sarcomeer in rustpositie

Linksonder, rechtsonder: sarcomeer in verlengde positie

Bornhorst en Minardi hebben deze kracht-lengterelatie beschreven met behulp van een grafiek met daarin een aantal kenmerkende punten waartussen lineaire functies het verband van het ene punt met het andere leggen (zie figuur 42). Andere bronnen als Gordon et al [11] en Askew & Marsh [12] geven eenzelfde verloop en verhouding van lengtes.

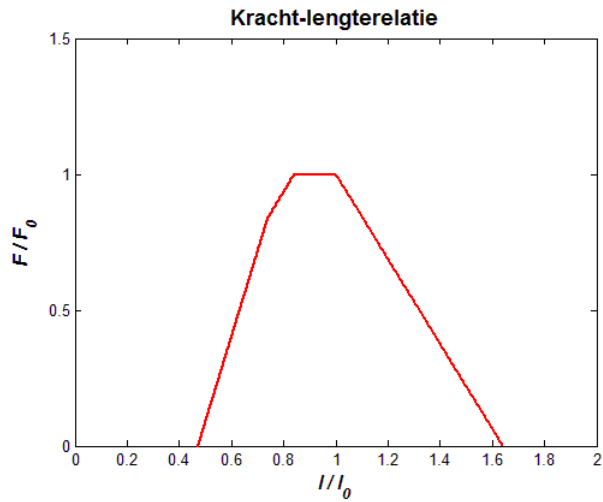
De kracht-lengterelatie zoals Bornhorst & Minardi deze schetst, kan worden benaderd met lineaire functies die vervolgens omgeschreven kunnen worden naar één vijfdegraads vergelijking. De vergelijkingen en plots op de volgende pagina geven dit proces weer. Hiermee kan dan in de Matlab-modellen met één formule de kracht-lengterelatie van een spier ingegeven worden. Deze relatie is van belang omdat er gedurende de afzet een hoekverandering in onder andere het kniegewricht plaatsvindt, waardoor de lengte van de kniestrekkers verandert, en daarmee ook de kracht die geleverd kan worden.



Figuur 42. Kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Lineaire functies:

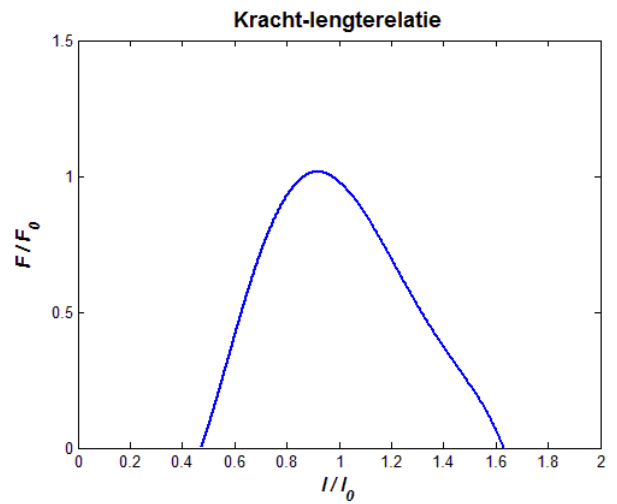
$$F = \begin{cases} 0.472 < l \leq 0.74 & \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot l - \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot 0.472 \\ 0.74 < l \leq 0.84 & \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot l - \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot 0.74 + 0.84 \\ 0.84 < l \leq 1 & 1 \\ 1 < l \leq 1.64 & \frac{-1}{0.64} \cdot l + \frac{1}{0.64} + 1 \end{cases}$$



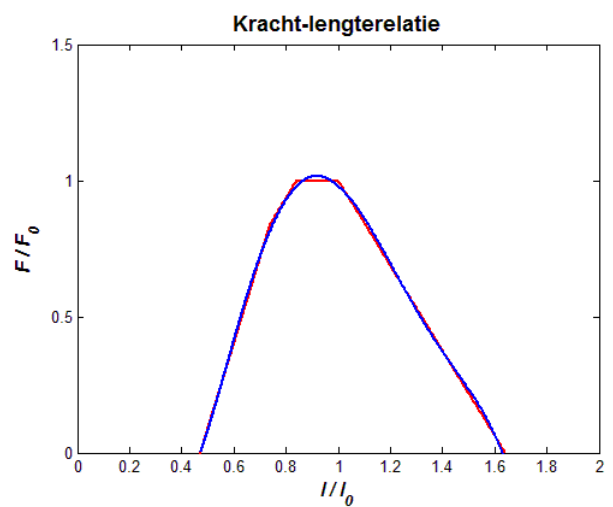
Figuur 43. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Vijfdegraads vergelijking:

$$\begin{aligned} p1 &= -10.537 \\ p2 &= 57.038 \\ p3 &= -116.22 \\ p4 &= 107.42 \\ p5 &= -42.478 \\ p6 &= 5.7582 \\ F &= p1 \cdot l^5 + p2 \cdot l^4 + p3 \cdot l^3 + p4 \cdot l^2 + p5 \cdot l + p6 \end{aligned}$$



Figuur 45. Gesimuleerde kracht-lengterelatie met de vijfdegraads vergelijking



Figuur 44. Kracht-lengterelatie van Bornhorst en Minardi en volgens vijfdegraads vergelijking over elkaar gelegd

Als er vervolgens gekeken wordt in welk gebied van de kracht-lengtecurve er kracht wordt geleverd, komen we op de volgende relatieve spierlengtes (spierlengte ten opzichte van de rustlengte) [14,15]:

$$\varphi_0 = 100$$

$$\varphi_1 = 160$$

$$r = 0.043$$

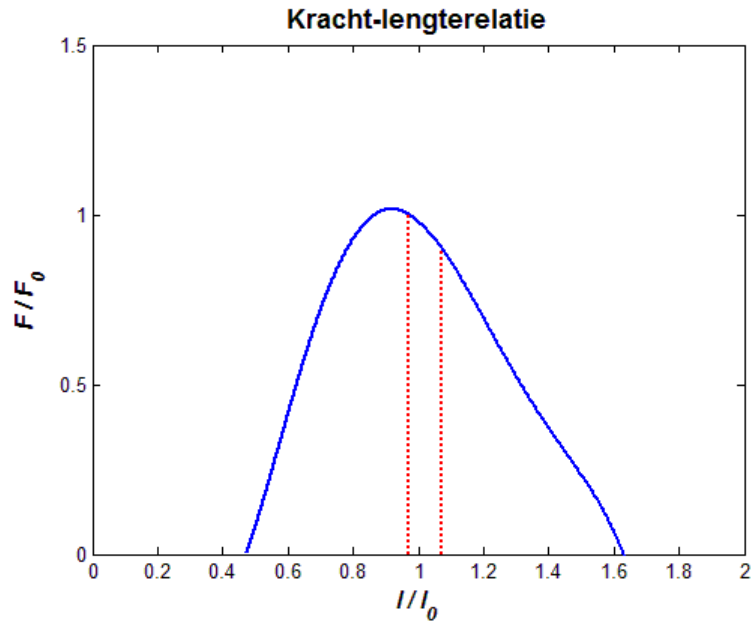
$$l_{min} = 0.344$$

$$l_{rust} = 0.432$$

$$l_0 = \frac{\varphi_0 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 0.97$$

$$l_1 = \frac{\varphi_1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 1.07$$

In figuur 46 staan deze grenzen met rode stippellijn aangegeven.



Figuur 46. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens de vijfdegraads vergelijking met zone van spierlengte weergegeven

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn

Kracht-snelheidsrelatie

Omdat er een hoekverandering plaatsvindt bij het afzetten, hebben de betrokken elementen een hoeksnelheid. Deze hoeksnelheid heeft invloed op de contractiesnelheid van spieren, waardoor we met nog een andere spiereigenschap te maken krijgen: de relatie tussen de contractiesnelheid en de leverbare kracht. Hill heeft deze relatie beschreven en hiervoor een formule opgesteld waarin enkele spiereigenschappen een rol spelen. De Hill-curve wordt voorgeschreven door de volgende formule (zie ook figuur 47) [13]:

$$F_{Hill} = \frac{c}{v + b} - a$$

Hierin zijn a, b en c zogenaamde Hill-constanten die de spiereigenschappen weergeven en is v de contractiesnelheid in lengtes per seconde (l/s) of meters per seconde (m/s). Deze drie constanten verschillen per spier of spiergroep. Voor het model is gekozen voor de volgende waarden van de constanten [13]:

$$a = F_{iso} = 1013 \text{ N}$$

$$b = v_{max} = 0.435 \text{ m/s}$$

$$c = P_{max} = 881.31 \text{ W}$$

Om de contractiesnelheid beter te kunnen interpreteren, wordt deze omgerekend naar hoeksnelheid in graden per seconde (°/s). Dit gaat volgens de volgende berekening:

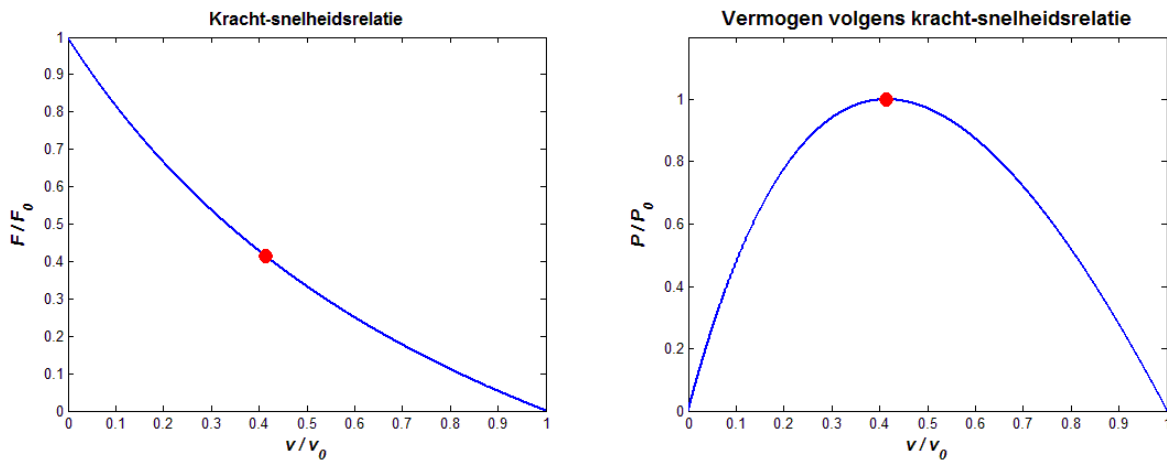
$$\omega = \frac{v}{r} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Willen we de hoeksnelheid in de formule voor de Hill-curve plaatsen, dan dienen we de formule voor hoeksnelheid om te schrijven als formule voor contractiesnelheid als functie van de hoeksnelheid:

$$v(\omega) = \frac{\omega \cdot r \cdot \pi}{180}$$

Van de vergelijking van Hill kan ook het optimum bepaald worden. Dit optimum kan gevonden worden door het vermogen volgens Hill uit te rekenen, en in die functie de top te bepalen. Voor de gevonden contractiesnelheid levert de spier het meest optimaal zijn kracht.

$$P_{Hill} = F_{Hill} \cdot v$$



Figuur 47. Kracht-snelheidsrelatie volgens Hill

Links: relatieve kracht tegen de relatieve contractiesnelheid volgens Hill

Rechts: relatief vermogen volgens Hill

rode stip: optimum

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

3. PAKKET VAN VOORWAARDEN

In de onderstaande opsomming worden de voorwaarden genoemd die in de modelmatige simulaties verwerkt dienen te worden.

VOORWAARDEN

- De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht
- De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt
- De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting
- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven
- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekken van het art. coxae en art. genus
- In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting
- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving
- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn
- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

4. MODELMATIGE SIMULATIES

In deze fase zal er aan de hand van de opgedane kennis en de opgestelde theoretische modellen een aantal Matlab-modellen vervaardigd worden, waarmee een aantal voorspellingen gedaan kan worden.

MODEL 1: KRACHTRICHTING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

Om aan te tonen dat men niet telkens zijn of haar skate hetzelfde zal plaatsen bij verschillende snelheden, wordt er in dit eerste model gesimuleerd dat er vanuit stilstand gestart wordt en de snelheid steeds opgevoerd wordt. Door telkens dezelfde afzettijd op te leggen, wordt er puur naar het effect gekeken van de snelheid op de hoek waaronder de skate geplaatst kan worden om zoveel mogelijk afzet te leveren zonder dat de skate te ver wegloopt bij het lichaam (zoals besproken is bij het theoretische model op pagina 37 en 38).

De regels die gelden in het model zijn:

$$\varphi_0 = \frac{90}{2} = 45$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g$$

$$F_{w,i} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{tot,i-1})^2$$

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + (-1)^2 \cdot \frac{F_r \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + \frac{F_r \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{tot,i} = \sqrt{(v_{i,x})^2 + (v_{i,y})^2}$$

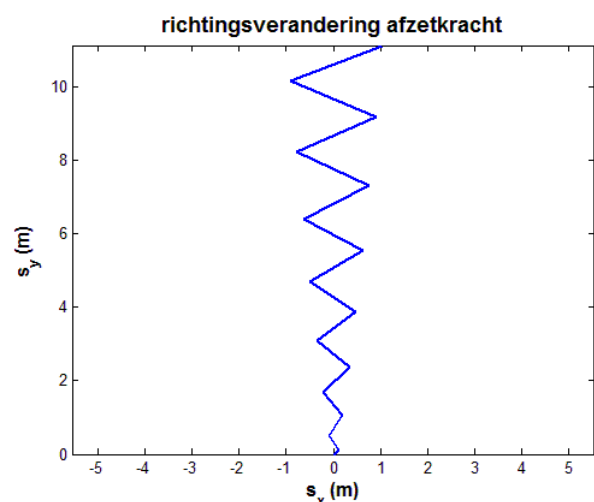
$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{tot,i} \cdot \sin(\varphi_i) \cdot t\right)^2 + \left(v_{tot,i} \cdot t - v_{tot,i} \cdot \cos(\varphi_i) \cdot t\right)^2} \rightarrow \varphi_i$$

Er wordt gestart onder een ideale afzethoek (90 graden), gedeeld door 2. Deze deling wordt gedaan omdat in de berekening voor de beenlengte s er vanuit wordt gegaan dat het lichaam zich in de gewenste richting (zuiver rechtdoor) beweegt, terwijl deze oscillerend om de gewenste bewegingsrichting zal bewegen (zoals te zien is in de formules voor $v_{x,i}$ en $v_{y,i}$). Het is goed denkbaar dat men daarom bij de start van het skeeleren ook schuin op de gewenste verplaatsingsrichting vertrekt, wat ook in de praktijk wordt waargenomen.

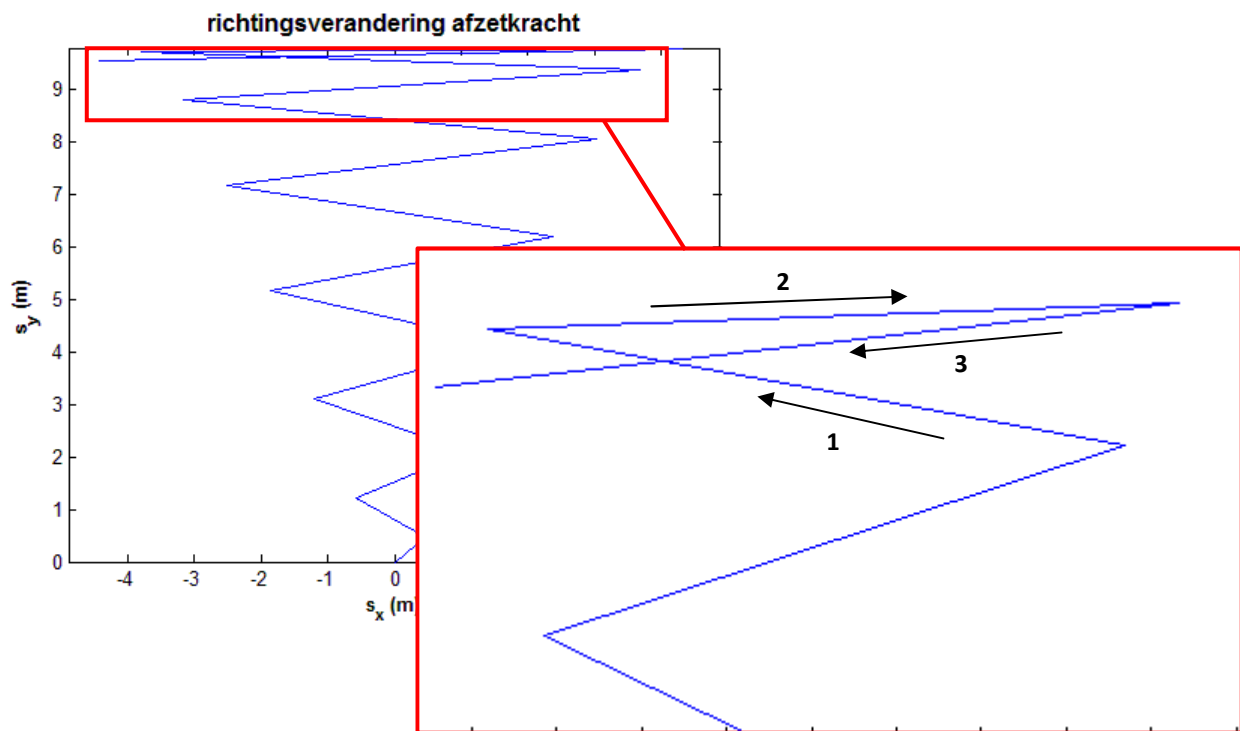
Nevenstaande figuur geeft de verplaatsing weer, waarbij er geen rekening is gehouden met de invloed van de snelheidsvector op de huidige snelheid (hier wordt later op teruggekomen). Dit model is slechts bedoeld om te illustreren hoe het mogelijke verloop van de richting van de afzetkracht is.



Figuur 48. Weergave van de richtingsverandering bij een toenemende snelheid

Het is duidelijk te zien dat wanneer de snelheid hoger is (te zien aan een grotere verplaatsing in zowel x- als y-richting), de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. De hoek van de reactiekracht ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting is namelijk $90 - \varphi$, waardoor de x-component van de reactiekracht steeds groter wordt, wat resulteert in een grotere zijwaartse verplaatsing.

Er komt een moment dat er een snelheid bereikt is, waarbij de wrijvingskracht groter is dan geleverde afzetkracht, waardoor men dus afgeremd wordt. In dit model is dat te zien als een afname van de verplaatsing, zoals in onderstaande figuur weergegeven wordt.



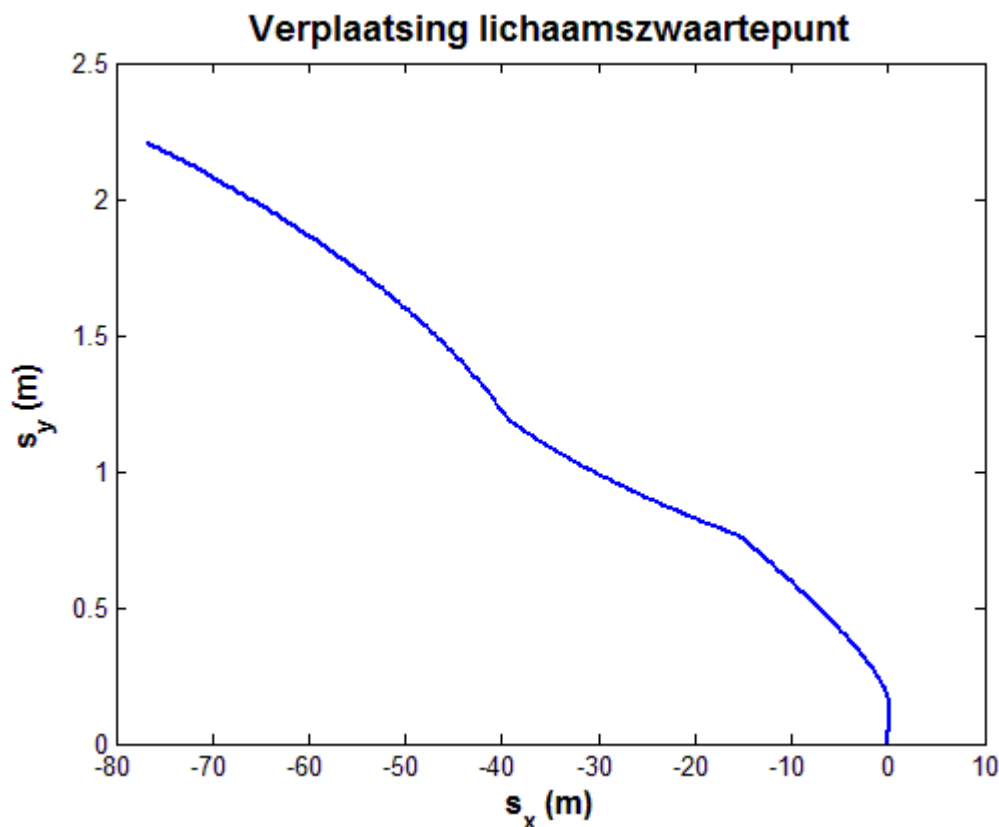
Figuur 49. Weergave van het gevolg van een luchtweerstand die groter is dan de afzetkracht in voorwaartse richting

MODEL 2: VERPLAATSING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

In het voorgaande model werd er telkens eenzelfde afzetkracht geleverd, in een krachtrichting die bepaald werd aan de hand van een formule die de krachtrichting optimaliseert bij een input van de afzettijd en de snelheid van de persoon.

In dit tweede model wordt elke afzet in honderd kleine stapjes opgedeeld, rekening houdend met de invloed van de vector van de reactiekracht op de huidige snelheidsvector. Hierdoor zal de snelheidsvector per honderdste deel van de afzettijd van richting veranderen ten gevolge van een andere richting van de reactiekracht (ten opzichte van de bewegingsrichting van de persoon). De afzetkracht wordt bepaald aan de hand van een optimalisatie naar optimaal vermogen volgens Hill, zoals besproken is bij de kracht-snelheidsrelatie van spieren in de analyse. Vervolgens wordt deze kracht vermenigvuldigd met de factor volgens de kracht-lengterelatie.

Dit proces wordt weergegeven in figuur 50. In de onderstaande figuur is het effect van vectorberekening te zien. Het blijkt dus dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. Opvallend is de enorme verplaatsing in x-richting ten opzichte van de verplaatsing in y-richting. Dit is mogelijk te verklaren aan de hand van de data die het model als output levert.



Figuur 50. Verplaatsing van het lichaamszwaartepunt volgens model 2
assen zijn niet 1:1 geschaald

MODEL 3: TOEVOEGING VAN GELIJKBLIJVENDE SNELHEIDSVECTOR

Bij het versnellen was te zien dat de persoon naar links of rechts ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting verplaatste en deze gewenste bewegingsrichting niet meer kruiste. Bij skeeleren met constante snelheid zou ditzelfde patroon niet verwacht worden, omdat er telkens met een zelfde krachtvector een verandering van de snelheidsvector plaatsvindt. De eerste vraag die opkomt is: "Hoe ziet het grondpatroon van een skeeleraar eruit als er telkens eenzelfde krachtsvector, en dus eenzelfde snelheidsvector, wordt toegevoegd?".

Een dergelijke situatie kan aan de hand van de verkregen gegevens uit de videoanalyse gesimuleerd worden:

- $F_{rx} = 219 \text{ N}$
- $v_y = 25 \text{ km/h} = \frac{25}{3.6} = 6.9 \text{ m/s}$

Hierbij wordt, net als in bij de pilotmeting, de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant gehouden.

Het model werkt volgens de volgende regels:

$$F_{rx} = 219$$

$$v_{y,0} = \frac{25}{3.6}$$

$$v_{toegevoegd,x} = \frac{F_{rx}}{m} \cdot t$$

$$v_{toegevoegd,y} = F_{ry} - F_{w,tot} = 0$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + v_{y,i-1} - v_{y,i-2} + v_{toegevoegd,y}$$

afzet naar rechts:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} + v_{toegevoegd,x}$$

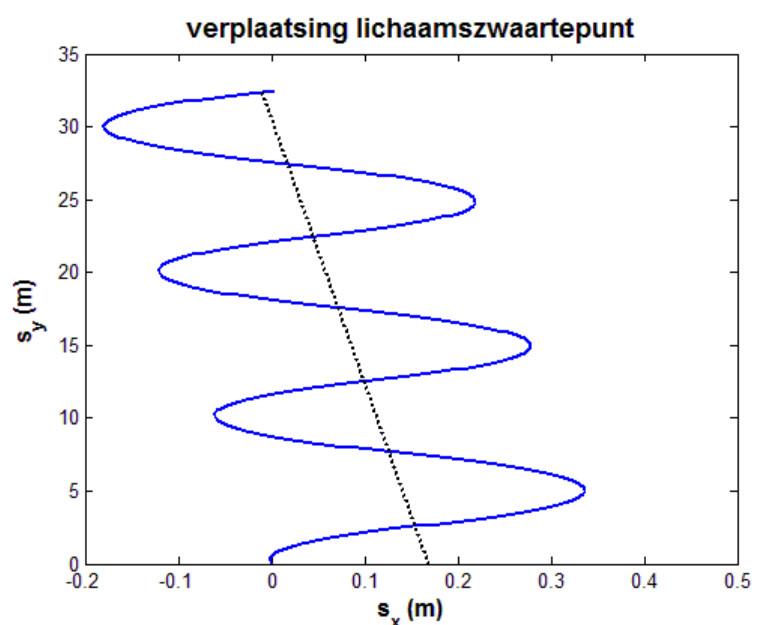
afzet naar links:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} - v_{toegevoegd,x}$$

$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

Het resultaat van het simuleren volgens bovenstaande regels is te zien in de nevenstaande plot.



Figuur 51. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3
 Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt
 Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting
 assen zijn niet 1:1 geschaald

5. EVALUATIE

Tijdens deze evaluatie zal de output van de modellen getoetst worden aan het pakket van voorwaarden. Dit zal puntsgewijs gebeuren.

TOE-OFF VOOR AFZET

Voordat een afzet met het ene been plaatsvindt moet er een toe-off van het andere been plaatsvinden

Deze voorwaarde voor het kunnen simuleren van afzetten die op elkaar volgen, en niet tegelijkertijd optreden, is in alle drie de modellen verwerkt.

WRIJVINGSKRACHTEN

In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:

- Luchtwrijving
- Rolwrijving

In het eerste model is de luchtwrijving opgenomen, de rolwrijving niet. Als we kijken wat de invloed van het ontbreken van de rolwrijving is, komen we op de volgende berekeningen:

$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r = 75.7 \cdot 9.81 \cdot 0.0077 = 5.7 \text{ N}$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g = 0.35 \cdot 75.7 \cdot 9.81 = 259.9 \text{ N}$$

Het moge duidelijk zijn dat de rolwrijvingscoëfficiënt en het percentage van het lichaamsgewicht de invloeden zijn die voor dit verschil in kracht zorgen omdat in beide formules de massa en zwaartekrachtsversnelling gelijk zijn.

De invloed van de rolwrijving op de kracht die geleverd zou worden is:

$$\frac{c_r}{p_{lat}} \cdot 100\% = \frac{0.0077}{0.35} \cdot 100\% = 2.2\%$$

Dit is een zeer laag percentage, waardoor we kunnen aannemen dat het beeld wat het model schetst niet erg vertekend is.

In het tweede model is totaal geen wrijvingskracht opgenomen. Voor model 1 zagen we al dat de rolwrijving verwaarloosbaar klein is, maar of dit voor de luchtwrijving ook opgaat is de vraag. Als we kijken naar de eindsnelheid van de simulatie (na vier afzetten), dan kan er gesteld worden dat er de volgende luchtwrijvingskracht zal heersen:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.293 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot (6.9)^2 = 19.7 \text{ N}$$

Als dit vergeleken wordt met de afzetkracht die op dat moment geleverd wordt, komen we op de volgende invloed:

$$\frac{F_{w,lucht}}{F_r} \cdot 100\% = \frac{19.7}{515.16} \cdot 100\% = 3.8\%$$

De invloed van de luchtwrijving op de geleverde afzetkracht blijkt niet groot te zijn.

In het derde model wordt er indirect rekening gehouden met de wrijvingskrachten. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant blijft. Dit kan alleen als er totaal geen wrijving optreedt, of als de reactiekracht in de gewenste bewegingsrichting even groot is als de wrijvingskrachten, de resultante kracht is dan namelijk gelijk aan 0.

AFZETKRACHT

In model 1 is de afzetkracht gedefinieerd als het lichaamsgewicht (vermenigvuldigd met de zwaartekrachtsversnelling) maal een percentage. Dit percentage kan gevarieerd worden. Zo is uit de literatuur bekend dat het percentage van het lichaamsgewicht (in Newton) dat men kan leveren bij een afzet tot 150% kan oplopen.

Hierin is dus geen afzetkracht opgenomen in de vorm van een Hill-curve of volgens de krachten die gevonden zijn in de analyse.

Voor het tweede model is de kracht volgens Hill als eerste uitgangspunt genomen. Vervolgens wordt deze kracht gerelateerd aan de kracht-lengterelatie van een spier. De geleverde spierkracht komt maximaal op 467 N, wat nog geen 100% van het lichaamsgewicht in Newton is (757 N) [5].

In het derde model wordt gebruik gemaakt van de afzetkracht in x-richting, die uit de analyse naar voren is gekomen, om de zijwaartse verplaatsing te simuleren.

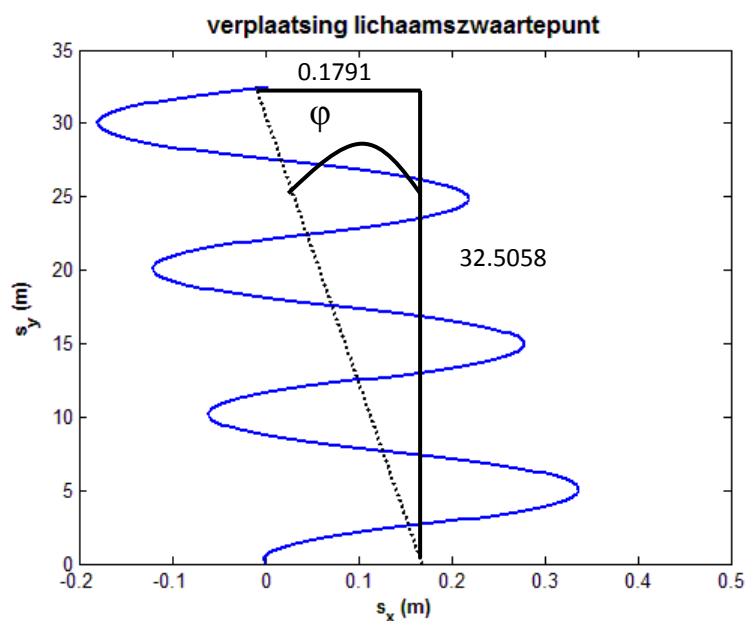
RESULTAAT

In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven

Alleen voor het derde model kan gesteld worden dat het uitwendige resultaat (de verplaatsing van de persoon) te vergelijken is met wat uit de analyse naar voren is gekomen.

Net als in het gangpatroon uit de analyse, verplaatst het lichaamszwaartepunt zich in een sinusvorm in de gewenste bewegingsrichting. De zijwaartse verplaatsing is van piek tot piek nagenoeg gelijk. Als we kijken naar de positie van de pieken ten opzichte van de x-as, dan zien we wel een verschil. Waar het grondpatroon van de pilotmeting om de breedte-as oscilleert, is dat bij het gesimuleerde grondpatroon niet zo. Daar oscilleert het lichaamszwaartepunt om een lijn die schuin naar linksboven loopt, zoals weergegeven is in figuur 52. De schuinite is berekend volgens onderstaande methode:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) = \arctan\left(\frac{0.1791}{32.5058}\right) = 0.3^\circ$$



Figuur 52. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

Verticale zwarte lijn: verplaatsing in y-richting

Horizontale zwarte lijn: gemiddelde verplaatsing in x-richting

φ : hoek gemiddelde bewegingsrichting met verticaal

assen zijn niet 1:1 geschaald

6. DISCUSSIE

In deze discussie zullen er puntsgewijs onderwerpen besproken die de resultaten van de pilotmeting of de modellen beïnvloed hebben.

VIDEOANALYSE

Bij het skeeleren op de loopband is sprake van twee variabelen die opgelegd kunnen worden, de hellingshoek en de snelheid. Tijdens de pilotmeting mocht de proefpersoon deze variabelen zelf bepalen. Het is te verwachten dat de proefpersoon hier gaat kiezen voor een combinatie waar hij zich comfortabel bij voelt. Waar tijdens het rijden op de weg de propulsiekracht bepalend is voor de snelheid hoeft dit tijdens de meting niet zo te zijn. Het kan voorkomen dat er een propulsiekracht wordt opgelegd met een niet bijpassende snelheid. Het gevolg hiervan dat de hoek van de skate met de rijrichting niet hoeft overeen te komen met de hoek die gehaald wordt tijdens het rijden op asfalt met een bijpassende snelheid.

De verwerking van de pilotmeting van de double push en klassieke techniek is uitgevoerd bij één snelheid en hellingshoek. Waar het te verwachten is dat de efficiëntie van beide technieken afhankelijk is van de snelheid, valt niet te zeggen dat de double push in alle situaties een bijdrage kan leveren aan de voorwaartse snelheid. Wanneer het onderzoek bij meerder snelheden, hoeken en proefpersonen wordt verricht wordt de betrouwbaarheid van de uitspraken groter.

Hetzelfde geldt voor het aantal slagen dat zijn genomen, tijdens het verwerken is een cyclus van acht slagen uitgekozen. Voor een hogere betrouwbaarheid is het aan te bevelen een langere cyclus te bekijken.

De double push laat zich in vele vormen zien tijdens wedstrijden. Tijdens dit onderzoek is niet op zoek gegaan naar een optimum bij deze techniek. Ook is er niet op zoek gegaan naar een variabele die iets zegt over wat nu een “goede” double push is.

Bij het bepalen van de afzetkracht is gebleken dat er niet met zekerheid te zeggen is wat voor krachten er nu werkelijk worden geleverd tijdens de afzet, en dan met name rond de bipedale fase. De vorm van de krachten kwam wel overeen met gemeten afzetkrachten in de literatuur, echter of op deze manier een realistische waarde is gemeten kan niet worden gezegd.

Ook is bij het bepalen van de afzetkracht de hoogte van het zwaartepunt vastgelegd. De verplaatsing in absolute waarde is nog niet hoog te noemen, echter is de verplaatsing in verticale richting bij de double push wel groter dan die bij de klassieke techniek.

MODEL 1

Zoals bij de evaluatie al besproken is, is er geen gebruik gemaakt van de afzetkracht die verkregen is uit de videoanalyse of vanuit de vergelijking van Hill. Echter, het model dient vooral ter illustratie van het verloop van de afzetricting, waarbij het van belang is dat er een snelheid gegenereerd wordt. Aangezien de afzetkracht in het model gevarieerd kan worden (door het percentage van het lichaamsgewicht in Newton dat geleverd wordt te verhogen), is deze beperking geen groot punt van discussie.

MODEL 2

Bij het tweede model valt het op dat de verplaatsing in zowel x- als y-richting onjuist is. De waarden wijken zo veel af van de werkelijkheid, dat dit model als onjuist beschouwd kan worden.

Een grote beperking in het model is de aanname van krachtslevering met slechts de kniesticrkkers, waarbij in de verkorting van deze spiergroep geen rekening gehouden is met de bewegingen die plaatsvinden in het heupgewricht (wat een effect heeft op de bi-articulaire m. rectus femoris).

MODEL 3

Het enige punt van discussie van het derde model is dat de gemiddelde afgelegde weg (de stippellijn in figuur 52) niet overeenkomt met de gewenste bewegingsrichting die een verticale lijn voorstelt. De schuinite van de gemiddelde afgelegde weg is echter zeer klein.

THEORETISCH MODEL

Het theoretisch model kent een aantal beperkingen. Zo wordt er geen rekening gehouden met het stuurgedrag van de skeeler ten opzichte van de skeeleraar, er wordt verondersteld dat de skeeler onder een hoek weglcOPT bij het lichaam, terwijl in werkelijkheid deze weglcOPT beperkt wordt door de skeeler steeds meer evenwijdig aan de bewegingsrichting te plaatsen (zoals naar voren gekomen is uit de videoanalyse).

7. CONCLUSIE

Het verslag beschrijft twee fases, namelijk een vergelijking van de double push en klassieke techniek aan de hand van videoanalyse en een modelleringsfase. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke en double pushtechniek.

Uit de vergelijking tussen de klassieke en double pushtechniek is gebleken dat de mediale afzet in de double push een extra kracht levert die bijdraagt aan de propulsiekracht. Deze kracht wordt gegenereerd door de afzet naar mediaal. Het totaal geleverd vermogen van de double push en klassieke techniek zijn echter ongeveer gelijk. Het voordeel van de double push schuilt dus in het verlagen van de piekbelasting. De krachtcomponent van de afzetkracht voor de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt bij de laterale afzet bleek bij de klassieke groter te wezen dan de double push het gevolg is een breder gangpatroon bij de klassieke techniek. Dit terwijl er bij de double pushtechniek toch meer meters worden afgelegd door de skeelers.

Voor het bepalen van de kwantitatieve afzetkrachten en vermogens, dient de methode voor het verkrijgen de afzetkracht gevalideerd te worden en eventueel aangepast te worden. Dit is mogelijk door met een voetzool krachtmeter te meten tijdens het skeeleren. Een aspect wat hiervan belang kan zijn is de ab- en adductiemogelijkheid van het art. coxae tijdens de bipedale fase.

Uit de modelstudie bleek dat de richting van de skate steeds evenwijdiger aan de gewenste bewegingsrichting wordt geplaatst naarmate de snelheid in voorwaartse richting toeneemt. De skate komt echter nooit evenwijdig te staan omdat op een gegeven moment de wrijvingskrachten gelijk zijn aan voorwaartse kracht component.

In het tweede model is gepoogd de kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties te bepalen, dit heeft echter niet geleid tot een realistisch gangpatroon.

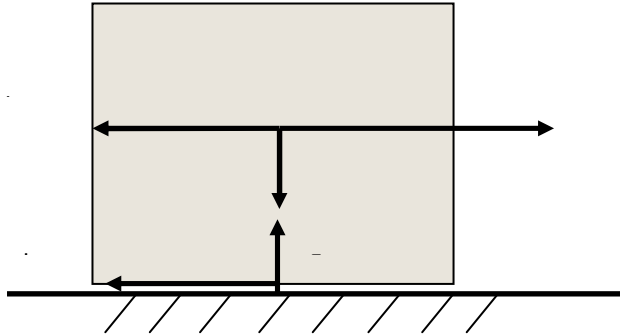
In het derde model is met behulp van de verkregen afzetkracht in x-richting (219 N) en de snelheid in gewenste bewegingsrichting (25 km/h) uit de analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Voor het verkrijgen van een beter model dient er rekening gehouden te worden met de baan van de skate en het lichaamszwaartepunt. De afzetkracht dient door het lichaamszwaartepunt te lopen. Omdat de verandering van de positie van het skate contact en het lichaamszwaartepunt constant varieert is dit een belangrijk aspect is voor het verkrijgen van de snelheid. Wanneer hier de posities en standen van het been ook nog in meegenomen worden, zal de kracht-lengterelatie en kracht-snelheidsrelatie een grotere voorspellende waarde hebben voor de prestaties.

- [1] Publow B. Speed on skates: a complete technique, training and racing guide for in-line and ice skaters. Human Kinetics; 1999
- [2] De Boer RW, Vos E, Hutter W, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice, *European Journal of Applied Physiology* 56 (1987) 562-569
- [3] Oonk HN. Biostatica. Den Haag: Henric Graaff van IJssel; 2004
- [4] Claiborne TL, Timmons MK, Pincivero DM. Test-retest reliability of cardinal plane isokinetic hip torque and EMG, *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2008)
- [5] Hoos O, Hottenrott K, Sommer H. Push-off force in in-line speed skating: magnitude, local distribution under the foot and point of application, *Biomechanics and Sports* 1103 (2001)
- [6] Houdijk H, De Koning JJ, De Groot G, Bobbert MF, Van Ingen Schenau GJ. Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates, *Medicine & Science in Sports & Exercise* (1999) 636-641
- [7] De Koning JJ, De Boer RW, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Push-off force in speed skating, *International Journal of Sport Biomechanics* 3 (1987) 103-109
- [8] Cheng EJ, Brown IE, Loeb GE. Virtual muscle: a computational approach to understanding the effects of muscle properties on motor control, *Journal of Neuroscience Methods* (2000) 117-130
- [9] Hoy MG, Zajac FE, Gordon ME. A musculoskeletal model of the human lower extremity: the effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee and ankle, *Journal of Biomechanics* 23 (1990) 157-169
- [10] Bornhorst WJ, Minardi JE. A phenomenological theory of muscular contraction, *Biophysical Journal* 10 (1970) 155-171
- [11] Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscles, *Journal of Physiology* (1966) 184:170-192
- [12] Askew GN, Marsh RL. Optimal shortening velocity (v/v_{max}) of skeletal muscle during cyclical contractions: length-force effects and velocity-force dependent activation and deactivation, *The Journal of Experimental Biology* 201 (1998) 1527-1540
- [13] Thaller S, Wagner H. The relation between Hill's equation and individual muscle properties, *Journal of Theoretical Biology* 231 (2004) 319-332
- [14] Borg F, Herrala M. The force-velocity relation studied with a pneumatic leg-extension/curl device, Jyväskylä University, 2002
- [15] McLean SG, Van den Bogert AJ. Development and validation of a 3-D model to predict knee joint loading during dynamic movement, *Journal of Biomedical Engineering* 125 (2003) 864-874

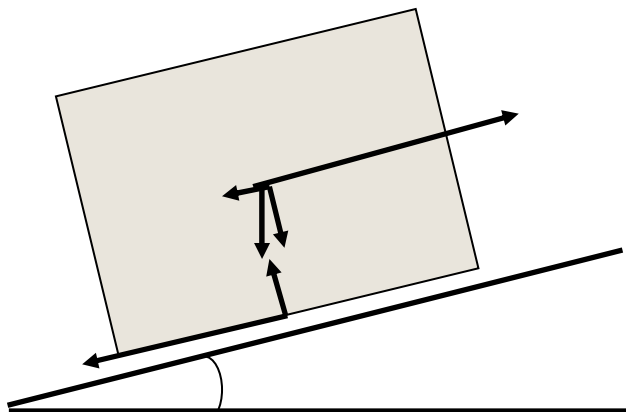
BIJLAGE I: SKEELEREN OP EEN LOPENDE BAND

De pilotmeting is uitgevoerd op een loopband, waar de proefpersoon toch het idee had dat het anders skeeleren is dan tijdens het skeeleren. In dit hoofdstuk zal kort in worden gegaan op het rijden op de lopende band in vergelijking met de weg. Ter vereenvoudiging wordt de skeeleraar opgevat als een blok.



$$F_x = F_{prop} - F_{rol} - F_{luchtw} = 0$$

$$F_y = F_n - F_z = 0$$



$$F_{zl} = \sqrt{F_{zx}^2 + F_{zy}^2}$$

$$F_{xl} = F_{prop} - F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = 0$$

$$F_{yl} = F_n - m * g * \cos(\text{hoek}) = 0$$

Wanneer geldt dat:

$$F_{prop} = -F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = -F_{rol} - F_{luchtw} ,$$

is het rijden tegen een helling op de lopende band mechanisch hetzelfde als rijden op het vlakke waar een luchtweerstand overwonnen dient te worden.

De band heeft echter wel twee variabelen: de snelheid en de hoek zorgen samen voor F_{prop} . Op de weg wordt er een F_{prop} geleverd en daar past de snelheid zich op aan. Lever je minder kracht dan ga je minder hard. Wanneer de lopende band een bepaalde propulsiekracht vraagt maar deze wordt niet geleverd kan dit

resulteren in een verplaatsing op de band, wat de proefpersoon vervolgens weer corrigeert. Het gevolg is dat de proefpersoon telkens zijn eigen propulsiekracht evalueert. In andere woorden bij de lopende band blijven de hoek en snelheid gelijk en dient de persoon zijn F_{prop} er op aan te passen. Hierdoor kan het gebeuren dat de lopende band wordt ingesteld op een hoek die een propulsiekracht vraagt die voor het gevoel van de skeeleraar niet bij de snelheid hoort die de band op dat moment draait. Dit kan onwennig voelen, immers een skeeleraar is er aan gewend dat de snelheid aangepast wordt aan zijn propulsiekracht.

Een ander verschil is dat wanneer de hoek van de lopende band met horizontaal steeds groter wordt, de projectie van het lichaamszwaartepunt meer in de richting van het achterste wiel komt te liggen. Dit geldt alleen wanneer de skater zijn heup-, knie- en enkelhoek niet verandert.

Het lichaamszwaartepunt wordt bij contactfase door ongeveer het midden van de voet geprojecteerd [1]. Bij een voetlengte van 26 cm bij de proefpersoon betekent dus dat een verplaatsing van de projectie van 13 cm een projectie achter het bovenste spronggewricht als gevolg heeft, waardoor de coördinatie van de afzet compleet anders is. Uit de videoanalyse bleek dat het lichaamszwaartepunt zich 1,1 meter boven de grond bevindt.

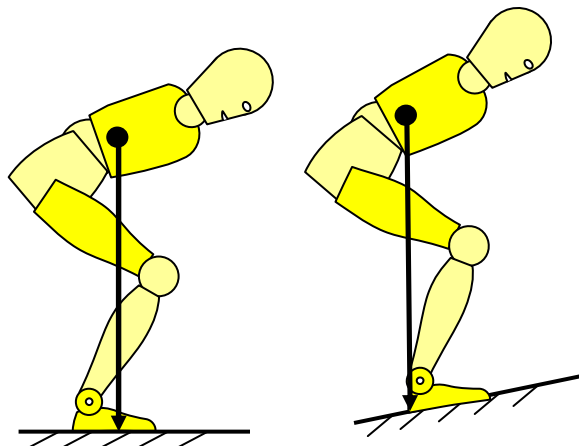
$$projectie = \tan(hoek) * hoogte_{zwp}$$

Dit betekent dat bij een hoek van 6,7 graden de projectie van het lichaamszwaartepunt door de dorsale zijde van de calcaneus gaat.

De hoek van de band is tijdens de videoanalyse ingesteld op 2,5 graden. Dit betekent dat de zwaartepunt projectie 4,8 cm verder naar achter ligt dan bij het skeeleren op de weg. Dit is een aanzienlijke afwijking op de lengte van de voet.

Het bovenste sprong gewricht ligt ongeveer 8 cm naar dorsaal ten opzichte van de projectie van lichaamszwaartepunt op een horizontale ondergrond. Dit betekent dat de momentsarm rond het bovenste spronggewricht in deze situatie 42,5% van normaal is.

Er zal dus zeker een verandering in hoek moeten optreden, dit is zonder problemen te realiseren. Echter, hierdoor veranderen de momentsarmen wel enigszins waardoor de coördinatie een fractie anders is.

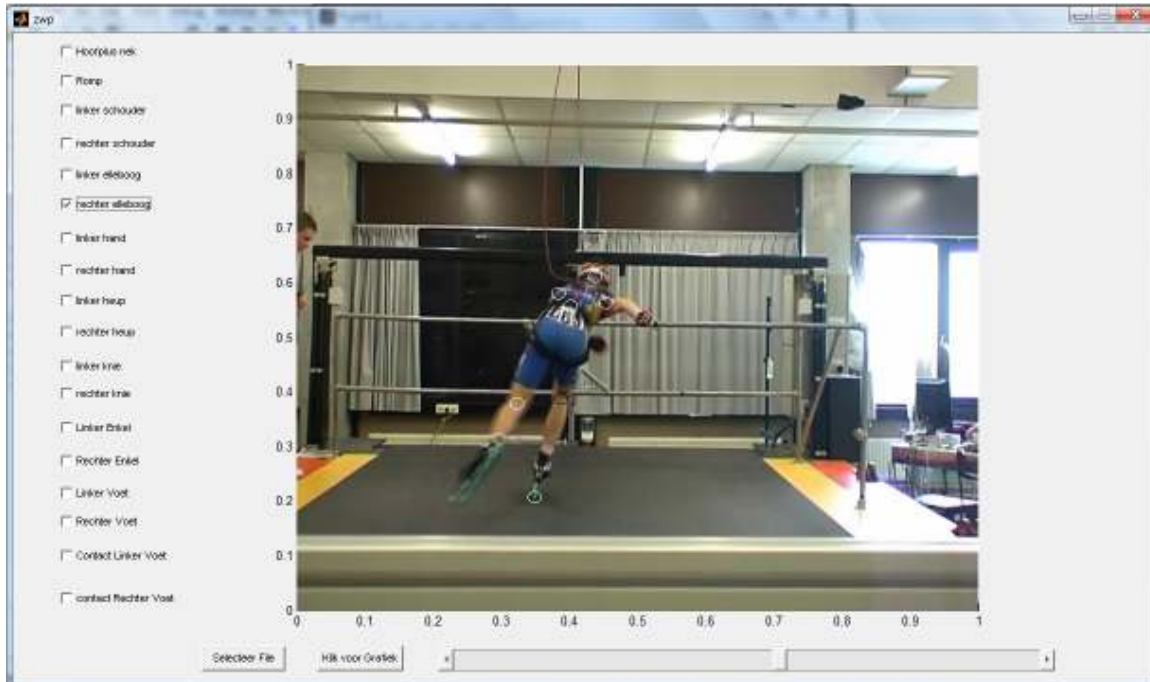


Geconcludeerd kan worden dat de propulsiekrachten en snelheden op de lopende band wel overeen kunnen komen met het skeeleren op de weg. Echter, er wordt wel een andere coördinatie gevraagd en de proefpersoon moet zijn afzetkracht aanpassen op de lopende band en niet andersom.

BIJLAGE II: BESCHRIJVING GUI

Met behulp van Matlab is een programma geschreven, dat de baan van het lichaamszwaartepunt en de voetcontacten op de grond projecteert aan de hand van een video van dorsaal aanzicht van een persoon die zich met een bekende snelheid in voorwaartse richting verplaatst.

Met het programma kan een .avi file ingelezen worden die overeenkomt met de codec op computer. Vervolgens kan naar een vrij te kiezen begin beeld kiezen, door de checkboxen aan te vinken en vervolgens de bijbehorende positie in op het beeld aan te klikken (figuur 53).



Figuur 53. Screenshot GUI

De data wordt weggeschreven naar een bestand en ieder volgend punt dat aangeklikt wordt wanneer de checkbox geselecteerd is wordt in het zelfde bestand onder het vorige coördinaat gezet. Hierdoor ontstaat een matrix van een x- en y-positie van alle punten. Dit geldt voor alle 18 checkboxen.

$$\begin{bmatrix} xcoördinaat & ycoördinaat \\ punt1 & punt1 \\ punt2 & punt2 \end{bmatrix}$$

Door de frequentie van de videobeelden in te voeren is de tijd tussen de beelden te bepalen. Wanneer de snelheid constant en bekend is, is het mogelijk de afstand tussen de punten berekenen.

Voor de bepaling van de kwantitatieve afstand afgelegd in de zijwaartse richting dient een afstand in het beeld bekend te zijn. Met behulp van de volgende vergelijking wordt door middel van ijking de grote van een pixel bepaald.

$$\frac{\text{bekende } s}{\text{aantal pixels}} = \text{factor}$$

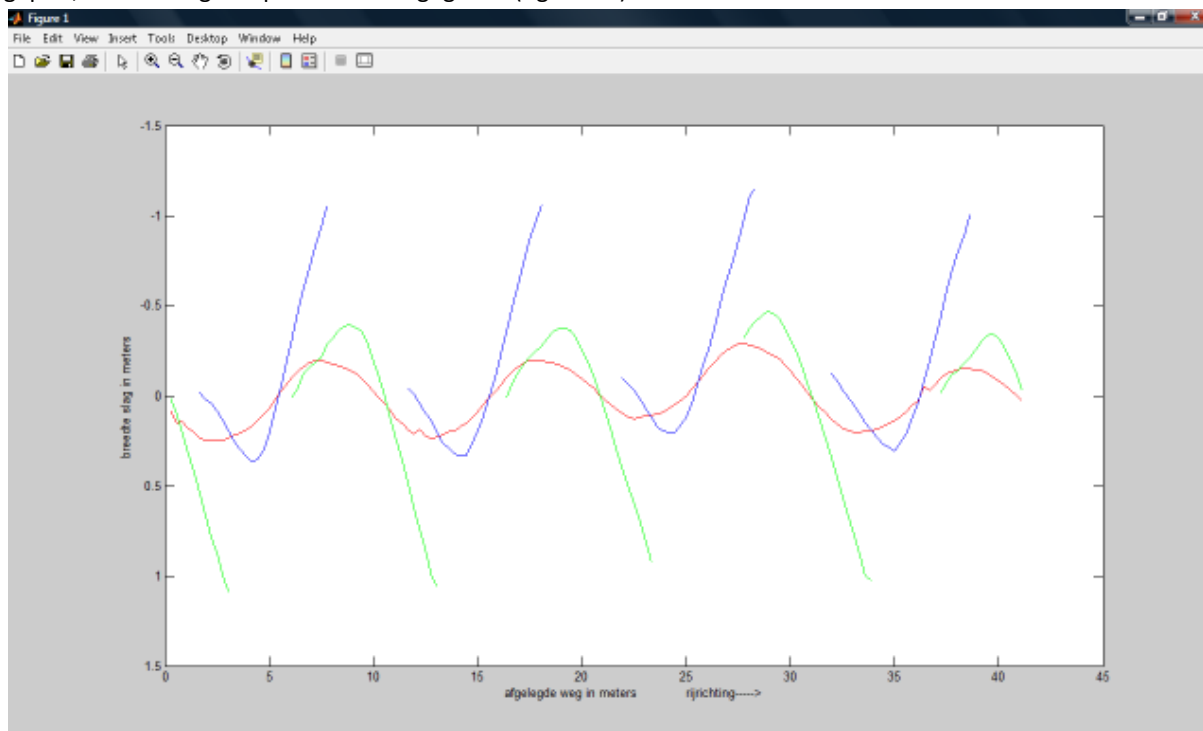
Door de data te vermenigvuldigen met deze factor worden de coördinaten omgezet in meters.

Het lichaamszwaartepunt wordt bepaald met de coördinaten van alle ledematen en de massa's van de ledematen verkregen uit de reader van Bert Broeren: Antropometrie.

$$\frac{\sum massa_{i+n} * coördinaat_{i+n} + \dots}{totale\ massa} = coördinaat\ lichaamszwaartepunt$$

Het programma doet dit voor alle rijen, in de matrix ontstaat een zelfde soort matrix met de posities van het zwaartepunt.

Wanneer de momenten dat de skate contact maakt met de grond wordt ook aangeklikt en naar een matrix geschreven worden. Als de matrices van de contactpunten en het zwaartepunt samen in een grafiek worden geplot, wordt het grondpatroon weer gegeven (figuur 54).



Figuur 54. Grondpatroon lichaamszwaartepunt en contacten skates

Met behulp van deze verkregen data zijn vervolgens meer gegevens te bepalen.

AFSTUDEERSCRIPTIE **SKEELEREN**

NADER ONDERZOCHT:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

Juni 2009

AFSTUDEERSCRIPTIE **SKEELEREN**

NADER ONDERZocht:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

1^e begeleider: T. Gerbrands

2^e begeleider: H. Faber

Juni 2009

VOORWOORD

Dit verslag is geschreven in het kader van het afstudeertraject van de opleiding Bewegingstechnologie.

Het verslag is met name bestemd voor de examencommissie, maar zeer zeker ook voor geïnteresseerden in de skeelersport die meer inzicht willen krijgen in de biomechanische principes bij het skeeleren, en dan met name over de verschillen en overeenkomsten tussen de klassieke techniek en double pushtechniek.

Tot slot willen wij nog enkele personen bedanken voor hun input en steun tijdens het afstudeertraject.

Allereerst gaat onze dank uit naar Tim Gerbrands, die een rustpunt voor ons vormde, waardoor we telkens duidelijk hebben kunnen analyseren waar we stonden en op welke manieren we verder konden gaan met het analyseren en modelleren. Tevens willen we hem bedanken voor de hulp bij de pilotmeting.

Ook gaat onze dank uit naar Herre Faber, die ons inzicht verschaft heeft in de afzetprincipes bij het schaatsen en skeeleren. Ook was zijn hulp bij het gebruik van Matlab als hulpmiddel om de data te analyseren een welkome bijdrage aan het project.

Den Haag, juni 2009

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	6
Symbolenlijst	7
1. Inleiding	8
2. Analyse	9
Ganganalyse	9
Houding	9
Gangcyclus	10
Biomechanische eigenschappen.....	10
Gangpatroon.....	11
Gangpatroon Klassiek	11
Contactfase.....	11
Bipedale rolfase	11
Unipedale rolfase.....	12
Afzetfase	12
Zwaai fase	13
Bijhaalfase	13
Rustfase	13
Plaatsingsfase	14
Gangcyclus	15
Gangpatroon double push.....	16
Contactfase.....	16
Mediale afzetfase	16
Rol-/trekfase	17
Gangcyclus	18
Grondpatronen videoanalyse.....	19
Positie lichaamsswaartepunt ten opzichte van de contactpunten	20
Klassieke techniek.....	20
Double push.....	22
Abducerende adducerende mogelijkheden tijdens de glijfases.....	23
Vergelijking klassiek en double push	24
Propulsiekrachten.....	26
X-component afzetkracht	28
Vermogen	29
Piekvermogen	30
X-component vermogen	30
Evaluatie en terugkoppeling	31
Afzetkracht	32
Vermogen	34
Theoretisch model.....	35
Wrijvingskrachten.....	39
Spiereigenschappen	41
Factoren voor spierkracht	41
Kracht-lengterelatie.....	42
Kracht-snelheidsrelatie.....	45
3. Pakket van voorwaarden	47
Voorwaarden	47

4.	Modelmatige simulaties	48
	Model 1: Krachtrichting bij versnellen vanuit stilstand	48
	Model 2: Verplaatsing bij versnellen vanuit stilstand	50
	Model 3: Toevoeging van gelijkblijvende snelheidsvector	51
5.	Evaluatie	52
	Toe-off voor afzet	52
	Wrijvingskrachten	52
	Afzetkracht	53
	Resultaat	54
6.	Discussie	55
	Videoanalyse	55
	Model 1	55
	Model 2	56
	Model 3	56
	Theoretisch model	56
7.	Conclusie	57
	Literatuur	58
	Bijlagen	59
	Bijlage I: Skeeleren op een lopende band	59
	Bijlage II: Beschrijving GUI	61

SAMENVATTING

Dit verslag beschrijft een onderzoek naar de verschillen van een steeds meer voorkomende techniek in de skeelersport, de double push. Omdat er weinig wetenschappelijke literatuur geschreven is over de double pushtechniek, wordt de techniek vergeleken met de klassieke skeelertechniek. Voor een beter inzicht in de technieken wordt een modelstudie gedaan naar de mechanische basisprincipes van het skeeleren.

Dit onderzoek heeft als doel het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke techniek en double pushtechniek. Met behulp van Matlab 7.6 zijn drie modellen vervaardigd, de input voor de modellen komt uit de ganganalyse van de double push en klassieke techniek.

Uit de analyse naar de geleverde afzetkrachten en vermogens bij de double push en klassieke techniek bleek dat beide technieken ongeveer eenzelfde vermogen leveren. De double pushtechniek verdeelt de kracht echter over twee opeenvolgende afzetten waardoor de piekbelasting lager is. De klassieke techniek bleek echter een grotere krachtcomponent te hebben die ten goede komt aan de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt. De methodes die zijn toegepast voor het berekenen van de grootte van de krachten en vermogen vragen echter om een validatie.

Om de mogelijke strektijden en afzetkrachten te bepalen voor het model is gekeken naar de spierfysiologie. Aan de hand van kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties zijn functies opgesteld voor de strekkracht.

De modelleringsfase heeft tot verschillende resultaten geleid.

Het eerste model beschrijft de krachtrichting bij het versnellen uit stilstand. Dit model berekent telkens de optimale afzethoek voor het verkrijgen van de meeste voorwaartse snelheid aan de hand van krachtvector analyse verkregen uit de mechanische basisprincipes. Uit het model bleek dat naarmate de snelheid toenam de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. Op een gegeven moment zal de afzetkracht geen snelheid meer toe kunnen voegen omdat de wrijvingskracht niet meer overwonnen kan worden.

Het tweede model beschrijft de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens het versnellen vanuit stilstand. Door de afzetkracht telkens voor een kleine tijdsinterval te bepalen, hier uit blijkt dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. De afwijking hiervan is zo groot dat dit model als incorrect beschouwt kan worden.

In het derde model, is met behulp van de verkregen afzetkracht (219 N) en snelheid (25 km/h) uit de afzetkracht analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Uit het onderzoek is gebleken dat de double push een voordeel heeft ten opzichte van de klassieke techniek. Over de precieze waarden zijn geen uitspraken te doen, hiervoor dient de methode voor het bepalen van de afzetkracht gevalideerd te worden. De modellen beschrijven de basisprincipes van het ontstaan van de baan van het lichaamszwaartepunt. Voor een verbetering van de voorspellende waarde van de modellen dienen de posities van het lichaamszwaartepunt en skatecontact meegenomen te worden.

SYMBOLENLIJST

Symbol	Betekenis	Eenheid
a	Indien gebruikt in de formule voor F_{Hill} : Hill-constante voor de isometrische kracht van een spier	N
	In alle andere gevallen: versnelling	m/s^2
A	Frontaal oppervlak	m^2
b	Hill-constante voor de maximale contractiesnelheid van een spier	m/s
c	Hill-constante voor het maximale vermogen dat door een spier geleverd kan worden	W
c_r	Rolweerstandcoëfficiënt, vormafhankelijk	-
c_w	Weerstandswaarde, vormafhankelijk	$\text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$
dx	Vershil in positie in x-richting	m
dy	Vershil in positie in y-richting	m
F	Kracht	N
F_{Hill}	Kracht, gedefinieerd volgens Hill	N
F_r	Reactiekracht ten gevolge van de afzetkracht	N
F_{res}	Resulterende kracht, kracht die overblijft na optellen van alle heersende krachten	N
F_w	(Totale) Wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{lucht}}$	Lucht wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{rol}}$	Rolwrijvingskracht	N
g	Zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
h	Heupbreedte	m
l	Spierlengte	m
m	Massa	kg
p	Dichtheid van het medium waardoor verplaatst wordt	
P	Vermogen	W
p_{lat}	Coëfficiënt die het percentage van het lichaamsgewicht men gebruikt bij het afzetten	-
r	Momentsarm	m
s	Beenlengte in het bovenaanzicht	m
s_x	Verplaatsing in x-richting	m
s_y	Verplaatsing in y-richting	m
T	Afzettijd, tijd waarin men afzetkracht levert	S
v	Snelheid	m/s
φ	Hoek	°
ω	Hoeksnelheid	°/s

1. INLEIDING

Toen Chad Hedrick in 1992 ten tonele kwam met de double push en veel wedstrijden ging winnen werd de double pushtechniek toegepast over de hele wereld. Tegenwoordig is er bijna geen wedstrijdrijder meer die zonder een vorm van double push rijdt. De double push wordt uitgevoerd in verschillende stijlen en iedereen heeft hier zijn of haar mening over.

Er is geen wetenschappelijke literatuur beschikbaar over waarom de double push nu de voorkeur heeft boven de klassieke techniek.

In dit onderzoek worden daarom bepaalde aspecten van de double push en klassieke techniek behandeld en vergeleken. Met behulp van modelmatige voorstellingen van het afzetmechanisme en ganganalyses zullen deze aspecten geanalyseerd worden.

Skeeleraars en trainers interpreteren de double pushtechniek allemaal anders en de meningen erover verschillen van persoon tot persoon. Er is echter geen duidelijkheid over wat het voordeel van de double push is ten opzichte van de klassieke techniek, en of er überhaupt wel een voordeel is.

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen tussen de klassieke en double pushtechniek.

Hiervoor kunnen de volgende deelvragen gesteld worden:

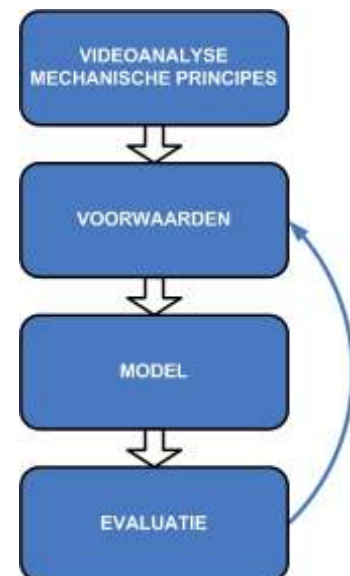
- Hoe ziet het gangpatroon eruit?
- Welke techniek heeft de voorkeur?
- Welke variabelen spelen een rol bij het uitvoeren van de beweging?
- Hoe wordt de voorwaartse snelheid gegenereerd?

In de analysefase zal allereerst in worden gegaan op enkele biomechanische principes die van toepassing zijn op de twee skeelertechnieken. Aan de hand van een videoanalyse zullen zowel de klassieke techniek als de double pushtechniek met elkaar vergeleken worden om vervolgens aan de hand van de verkregen data een uitspraak te doen over welke techniek kan leiden tot een verbetering van de prestatie. Ook zal gekeken worden naar enkele spierfysiologische aspecten. Met de verkregen gegevens zullen voorwaarden gesteld worden waar het model moet voldoen.

In de modelleringsfase wordt aan de hand van de gestelde voorwaarde enkele modellen vervaardigd die een voorspelling doen over hoe het grondpatroon er uit komt te zien bij een verandering van variabelen.

De modellen die vervaardigd zijn zullen aan de hand van het gangpatroon in de analyse worden getest.

Terugkoppeling naar de in de analyse opgedane kennis en de daaruit komende voorwaarden zal plaatsvinden tijdens de evaluatiefase.



2. ANALYSE

In deze analyse zal de praktische analyse naar het verschil in klassieke techniek en double pushtechniek bij het skeeleren besproken worden. Tevens zal het theoretische model besproken worden, dit model is in een latere fase gebruikt bij het simuleren van het afzetten bij skeeleren.

GANGANALYSE

Om duidelijkheid te scheppen over wat er in welke fases gebeurt zal in dit hoofdstuk het algemene gangpatroon van de klassieke en de double push worden beschreven.

HOUDING

De basishouding voor de klassieke techniek is samen te vatten in vijf punten [1], zie ook figuur 1:

- Voeten op schouderbreedte
- Voeten zo veel mogelijk naar voren gericht
- Kniehoek van ongeveer 100 graden
- Romphoek ten opzichte van horizontaal 30 tot 45 graden met licht gebolde wervelkolom
- Projectie van het lichaamszwaartepunt ligt ongeveer $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{2}$ voetlengte voor de dorsale zijde van de calcaneus

Voor de double pushtechniek gelden in principe dezelfde richtlijnen, alleen de kniehoek zal bij double push groter zijn (kniehoek van ongeveer 110 graden).



shouding [1]

GANGCYCLUS

Het skeeleren met de klassieke techniek heeft veel weg van de schaatstechniek zowel biomechanisch als fysiologisch [2].

Voor een beter beeld van de gangcyclus dienen eerst een paar biomechanische eigenschappen van het skaten begrepen te worden.

Biomechanische eigenschappen

De volgende tekst is verleend aan H.N. Oonk [3].

Bij skeeleren wordt niet afgezet tegen een stilstaande ondergrond. De skeeler rolt mee in de bewegingsrichting van de skeeleraar. Toch moet met de skeeler, die een minimale glijdende wrijving heeft, worden afgezet. De skeeler moet dus vooruit rollen terwijl tegelijkertijd een kracht op de skeeleraar moet werken die een component heeft in de rijrichting. Dit bereikt de skeeleraar door zijn afzetkracht haaks op de bewegingsrichting van de skeeler te richten. Deze kracht zal ongeveer door het lichaamszwaartepunt moeten gaan omdat er anders te veel compensatoire bewegingen van lichaamsdelen moeten optreden om toch in evenwicht te kunnen blijven. Waar de luchtweerstand en de rolweerstand overwonnen moeten worden en elke afzet wordt versneld, moet de propulsiekracht een component hebben in de rijrichting. De afzet moet dus zodanig gericht zijn dat de skeeler doorgaat met rollen terwijl er een voorwaartse component op de afzetskeeler werkt. Vandaar dat tijdens het afzetten de skeeler een hoek moet maken met de rijrichting, omdat er anders geen krachtcomponent in de rijrichting aanwezig is. Dit principe geeft de mogelijkheid dat met skeeleren een hogere snelheid bereikt kan worden dan bijvoorbeeld met hardlopen. Bij hardlopen loopt het afzetpunt niet mee met het zwaartepunt en zal de snelheid voorwaarts nooit groter worden dan de snelheid waarmee het art. coxae geretroflecteerd kan worden. Door het meelopen van de afzetskeeler hoeft er telkens maar een kleine component in voorwaartse richting geleverd te worden om op snelheid te blijven. Om het meelopen van de afzetskeeler en de toegevoegd voorwaartse component te realiseren, dient er ook een component in zijwaartse richting te zijn. De sinusvormige baan die het zwaartepunt daardoor beschrijft is typerend voor het skaten. De hoek waar onder afgezet dient te worden is afhankelijk van de snelheid, dit principe wordt verder beschreven bij het theoretische model (vanaf pagina 35).

Voorwaarden:

- De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht
- De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt
- De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting

GANGPATROON

Tijdens het skeeleren bevinden de voeten zich afwisselend op de ondergrond (contactfase) en los van de ondergrond (zwaai fase). De fases zijn elk weer onder te verdelen in verschillende kortere fases. Er is een complete afzetcyclus is beschreven vanaf het moment dat skatecontact plaats vindt van het rechterbeen.

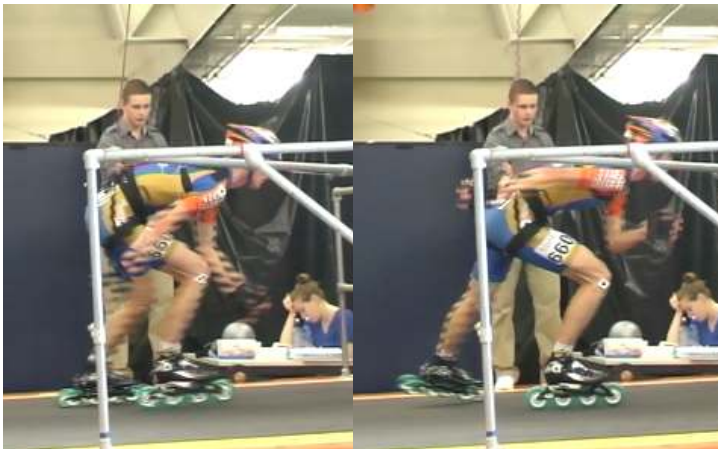
Gangpatroon Klassiek

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is onder te verdelen in drie verschillende fases.

Bipedale rolfase

Deze fase (figuur 2) is gedefinieerd als het moment dat de rechter skate wordt neergezet en met alle vier of vijf wielen (afhankelijk van het type skeeler) de grond raakt (skatecontact) tot het moment van toe-off van het linkerbeen. In sommige gevallen treedt er eerst een hielcontact op, dit is niet altijd het geval. Daarom wordt volledig contact beschouwd als het eerste contact. Tijdens deze fase vindt voornamelijk een abductie en retroflexie in het art. coxae plaats en een extensie in het art. genus en bovenste spronggewricht plaats. In deze fase wordt het zwaartepunt boven het nieuwe standbeen geplaatst.



Figuur 2. Bipedale rolfase

Links: skatecontact rechts

Rechts: toe-off links

Unipedale rolfase

De unipedale fase (figuur 3) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het linker afzetbeen tot het moment dat het contactpunt van het rechterbeen lateraal van het zwaartepunt komt te liggen. Tijdens deze fase vindt er voornamelijk een lichte abductie plaats in het art. coxae.



Figuur 3. Sagittaal en dorsaal aanzicht unipedale rolfase

Afzetfase

De afzetfase (figuur 4) begint bij het eindigen van de unipedale rolfase van het rechterbeen en eindigt bij toe-off van het rechter afzetbeen. Gedurende deze fase vindt er ten opzichte van de romp voornamelijk een retroflexie, abductie plaats in het art. coxae plus een extensie in het art. genus en een plantairflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 4. Dorsaal en sagittaal aanzicht afzetfase

Zwaaifase

De zwaaifase is de fase dat het been geen contact maakt met de ondergrond, deze fase is onder te verdelen in drie fases.

Bijhaalfase

De bijhaalfase (figuur 5) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechterbeen tot rustmoment van het rechterbeen (het moment dat het been stil hangt ten opzichte van de romp). Tijdens deze fase vindt voornamelijk een adductie en anteflexie plaats in het art. coxae en een flexie in het art. genus en een dorsaalflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 5. Bijhaalfase

Links: toe-off rechts

Rechts: rustmoment rechts

Rustfase

De rustfase (figuur 6) is gedefinieerd als het einde van de bijhaalfase tot het moment dat door de anteflexie in het art. coxae de rechter knie dorsaal en mediaal van de linkerart. genus komt. De rustfase is niet altijd aanwezig. Dit is afhankelijk van het slagritme, hoe hoger het ritme des te korter de rustfase. De rustfase kenmerkt zich door een afhangend been ten opzichte van het art. coxae en een flexie in het art. genus. Gedurende deze fase vindt er geen verplaatsing van plaats van het rechterbeen ten opzichte van de romp.



Figuur 6. Dorsaal en sagittaal aanzicht rustfase

Plaatsingsfase

De plaatsingsfase (figuur 7) is gedefinieerd als het einde van de rustfase tot skatecontact. Tijdens deze fase wordt het been voornamelijk met behulp van een anteflexie in het art. coxae naar ventraal gebracht tevens vindt er een flexie plaats in het art. genus.



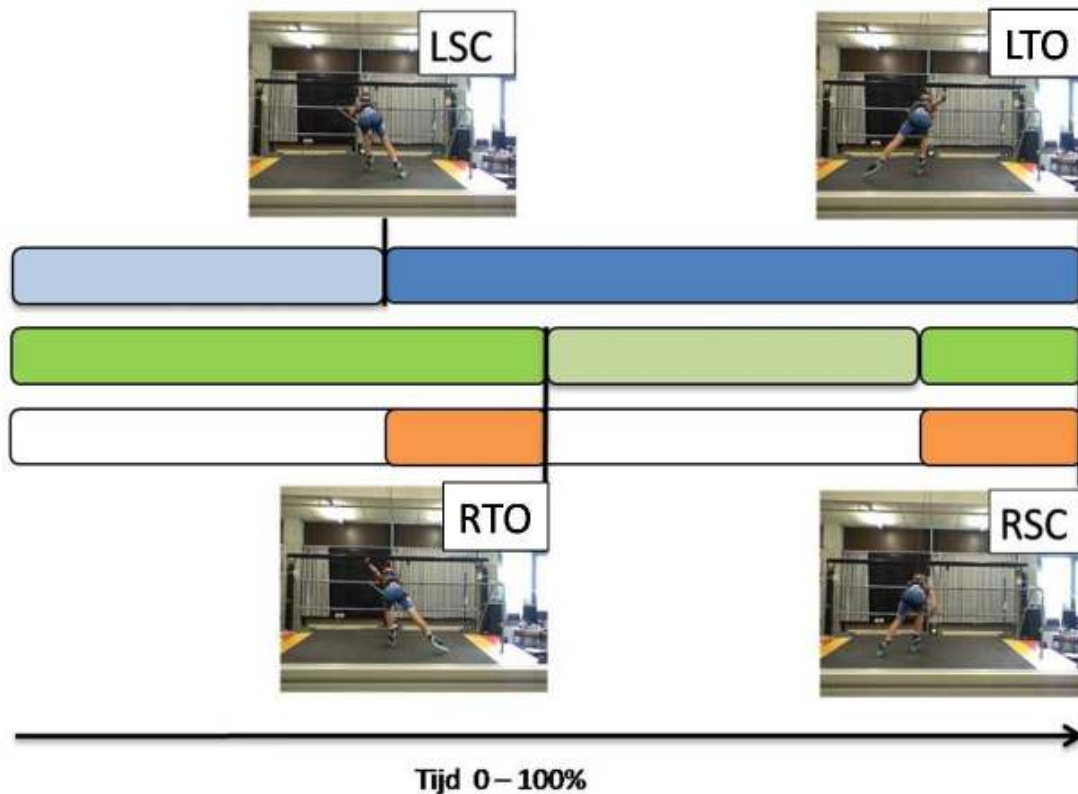
Figuur 7. Bijhaalfase

Links: rustfase rechts

Rechts: skatecontact rechts

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaafase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden. Het dient opgemerkt te worden dat het skeeleren op een lopende band voor de proefpersoon niet geheel te vergelijken is met skeeleren op asfalt. Dit heeft vermoedelijk te maken met de positie van het lichaamszwaartepunt ten opzichte van het steunvlak en het moeten aanpassen van de afzetkracht aan de snelheid en hellingshoek, in plaats van dat de snelheid zich aanpast aan de afzetkracht. Het gevolg hiervan zullen kleine verschillen zijn in afzettijden en rustfases [zie bijlage I].



	Grondcontact linker skate	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate	LTO	Linker toe-off
	Bipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Unipedale fase	RTO	Rechter toe-off
	Zwaafase links		
	Zwaafase rechts		

Figuur 8. Gangcyclus klassiek techniek

Gangpatroon double push

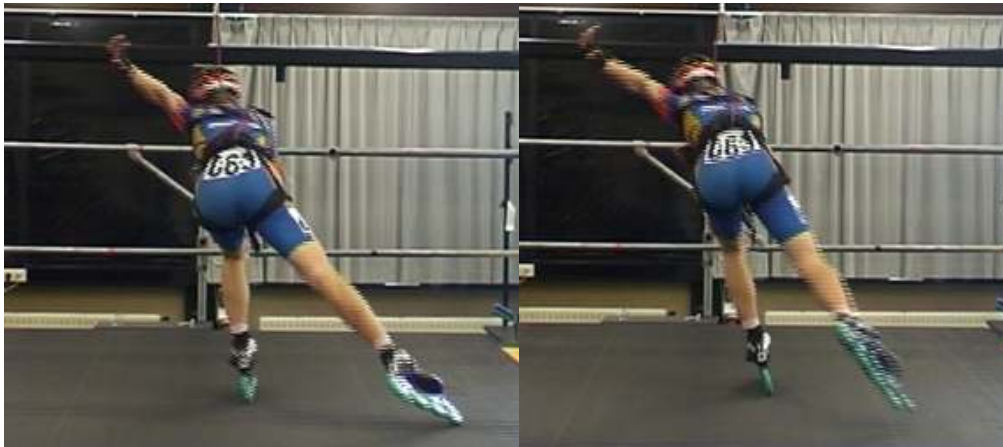
De gangcyclus van de double push heeft veel weg van de klassieke techniek, op een paar essentiële verschillen na. Bij de beschrijving van de gangcyclus zal daarom ingehaakt worden op het beschreven gangpatroon van de klassieke techniek.

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is bij de double push onder te verdelen in vier verschillende fases.

Mediale afzetfase

De mediale afzet (figuur 9) volgt de bipedale rolfase op. De mediale afzetfase is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechter afzetbeen tot het moment dat er een richtingsverandering van mediaal naar lateraal plaatsvindt van het linker afzetbeen (mediale eindstand). Gedurende deze fase vindt er voornamelijk adductie in het art. coxae plaats en een overhelling van de romp naar de laterale zijde van het mediale afzetbeen. Ook is er een lichte extensie in het linker art. genus.



Figuur 9. Mediale afzetfase

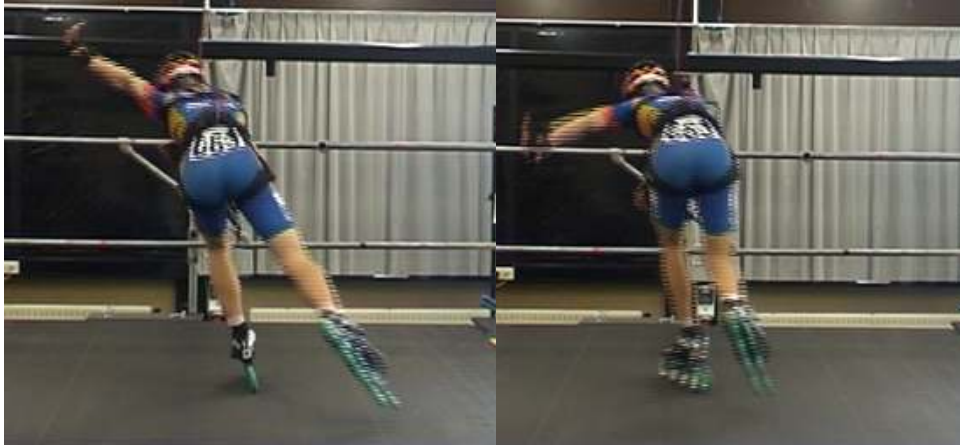
Links: toe-off rechter afzetbeen

Rechts: Verplaatsing linkerbeen naar mediaal

Rol-/trekfase

De rolfase (figuur 10) is gedefinieerd als het moment van mediale eindstand tot het moment dat het contactpunt van het linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt komt te liggen.

De rolfase bij de double push is te zien als een herstelfase waarin het linker afzetbeen weer het standbeen wordt zonder contact met de grond te verliezen. De rolfase wordt weer opgevolgd door de laterale afzetfase.



Figuur 10. Rol-/trekfase

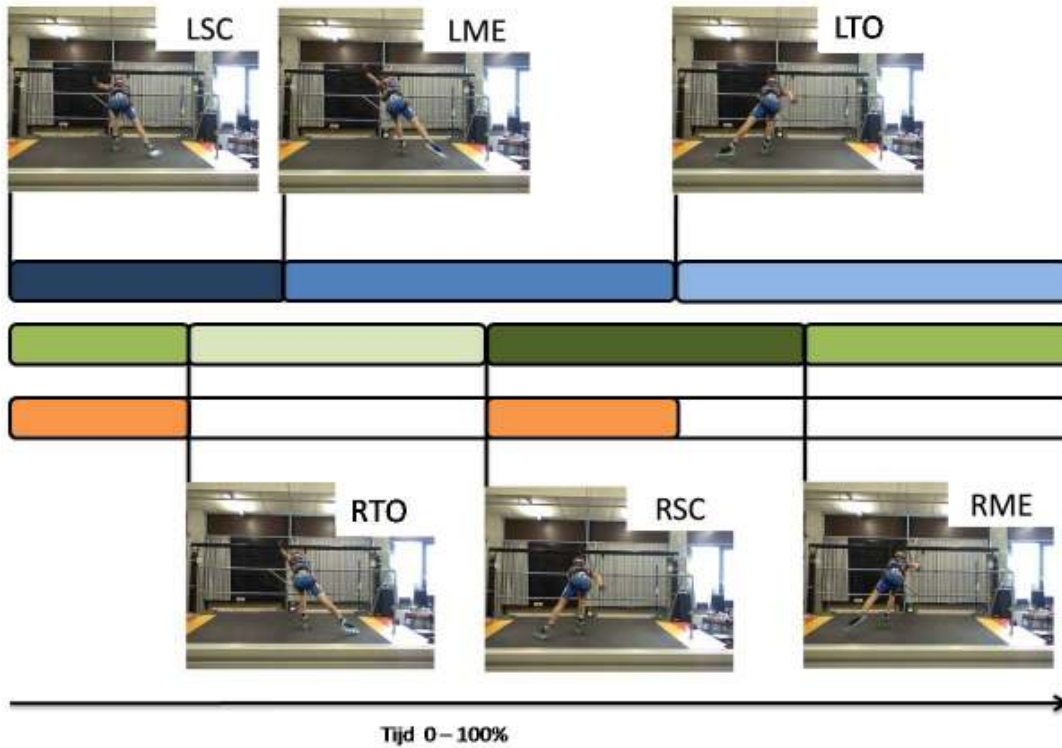
Links: mediale eindstand linkerbeen

Rechts: contactpunt linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt

De glij-/trekfase en de mediale afzetfase zijn de enige verschillen van het gangpatroon van de double push ten opzichte van het klassieke gangpatroon.

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden.



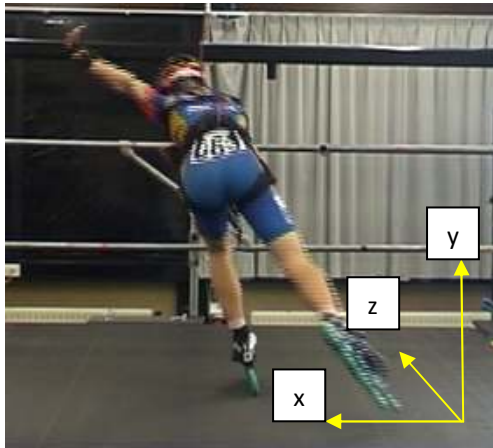
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in laterale richting	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in laterale richting	LME	Linker mediale eindstand
	Bipedale fase	LTO	Linker toe-off
	Unipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Zwaai fase links	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase rechts	RME	Rechter mediale eindstand
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in mediale richting		
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in mediale richting		

Figuur 11. Gangcyclus double push

GRONDPATRONEN VIDEOANALYSE

Voor het verkrijgen van de gegevens van de afzetlengtes (afstand die de skate aflegt) en -tijden om in latere fase het model te testen, is een pilotmeting gedaan. Een landelijk B-rijder die tot in zekere mate de double push beheerst is getest.

De meting is uitgevoerd op de lopende band van de Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit Bewegingswetenschappen. Een camera is dorsaal van de proefpersoon geplaatst, de andere sagittaal. De data uit de videoanalyse is verwerkt met behulp van een GUI (Graphical User Interface) in Matlab. Een beschrijving van deze verwerking vindt u in bijlage II.



Figuur 12. Assenstelsel zoals gebruikt in de GUI

In deze GUI is het mogelijk alle gewrichten en de contactpunten van de skeelers aan te klikken. Vervolgens berekent de GUI de positie van het lichaamszwaartepunt op de x-as. Omdat de snelheid van de loopband bekend is, is het mogelijk de aangeklikte punten weg te zetten over een afstand in de z-as. Deze waarden worden weggeschreven in de volgende matrix (figuur 13):

Y beeld 3	X beeld 3
Y beeld 2	X beeld 2
Y beeld 1	X beeld 1

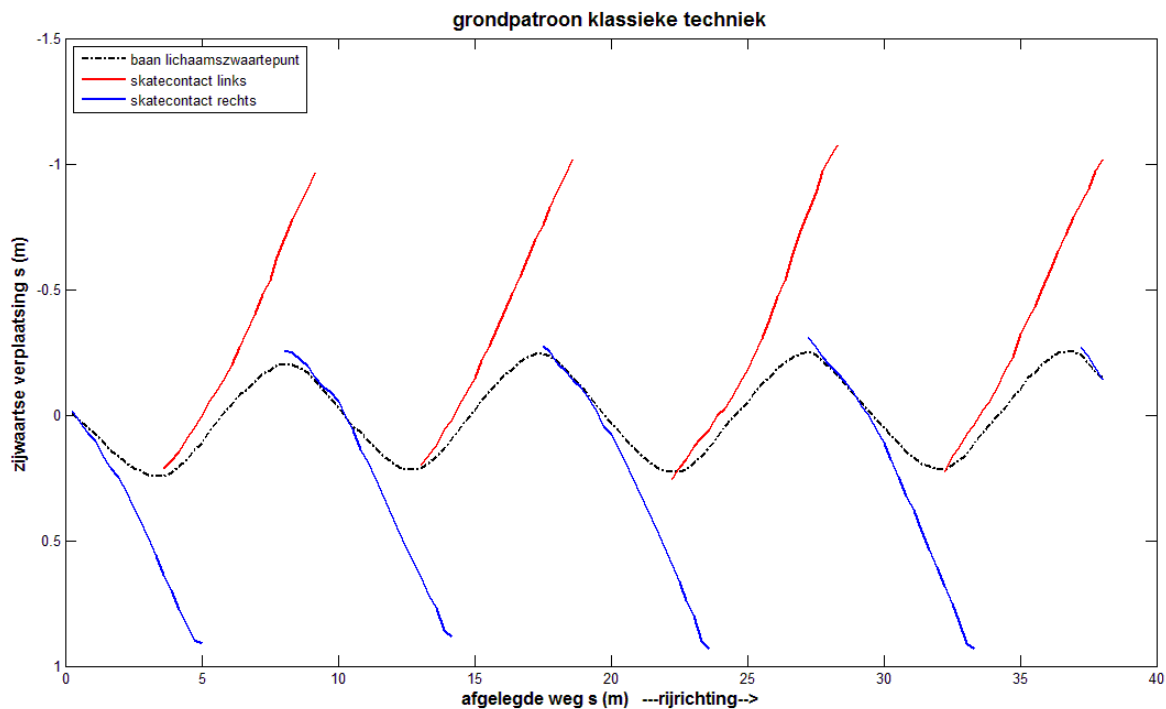
Figuur 13. Matrix voor wegschrijven data

Door de z-richting tegenover de x-richting te plotten ontstaat er een projectie van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten op de grond. De sinusvormige curve die het lichaamszwaartepunt beschrijft is geplaatst op een centerline op de x-as bij 0 met behulp van een correctiefactor (gemiddelde waarde van x). Dit betekent dat aan één kant de verplaatsing negatief is en aan de andere zijde positief. Met behulp van dit grondpatroon zijn een aantal gegevens bepaald:

- Positie lichaamszwaartepunt ten opzichte van de contactpunten
- Afzetlengtes en -tijden
- Snelheden en versnellingen van het lichaamszwaartepunt en contactpunten gedurende de cyclus
- Slagfrequentie

POSITIE LICHAAMSZWAARTEPUNT TEN OPZICHTE VAN DE CONTACTPUNTEN

Klassieke techniek



Figuur 14. Grondpatroon klassieke techniek

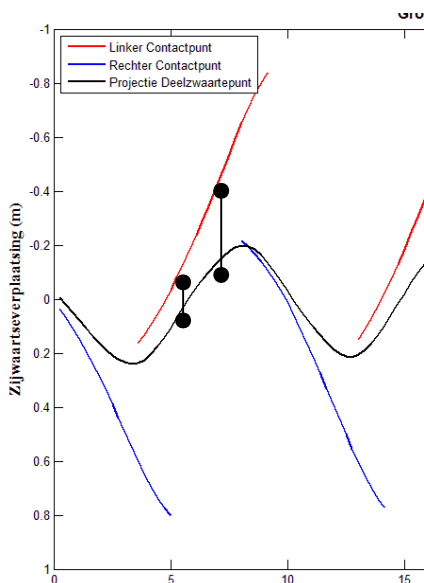
Rood: contacten linker skate

Zwart: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

In figuur 14 en 15 is de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en het skatecontact, geprojecteerd op de ondergrond, weergegeven. In het patroon is te zien dat het skatecontact altijd plaats vindt in de buurt van het zwaartepunt.

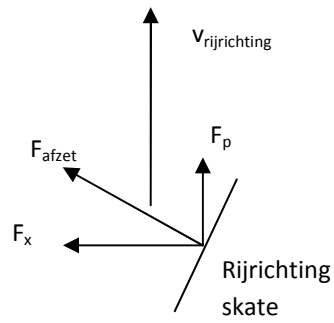


Figuur 15. Zijwaartse verplaatsing skate bij klassieke techniek

Zwarte lijn tussen bollen: afstand tussen skate en projectie lichaamszwaartepunt

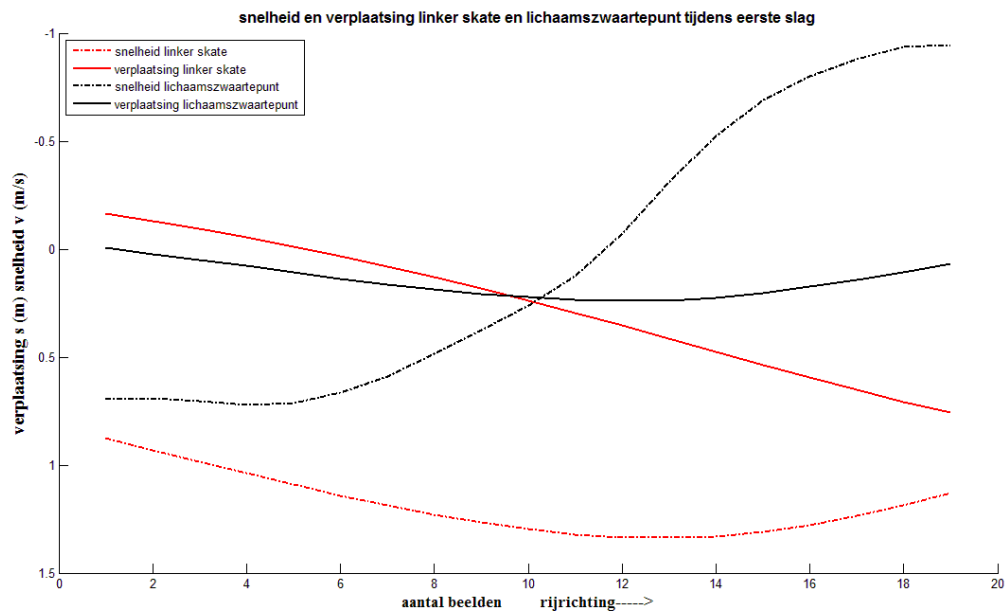
Een andere opmerkelijke constatering is dat de zijwaartse verplaatsing van de skate vrijwel na skatecontact groter is dan die van het lichaamszwaartepunt. Naarmate de voorwaartse verplaatsing toeneemt wordt het verschil in verplaatsing in zijwaartse richting steeds groter ten opzichte van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt, waarvoor de volgende verklaring is:

Met een extensie in het art. coxae en art. genus is het mogelijk om het lichaamszwaartepunt te verplaatsen ten opzichte van het contactpunt. Dit aspect kan alleen maar plaatsvinden na het moment van toe-off. Voor die afzet is het noodzakelijk dat de skate onder een hoek staat ten opzichte van de rijrichting (zie pagina 35 en 36). Hierdoor behoudt de skate zijn rijrichting en verandert de richting van het lichaamszwaartepunt.



Figuur 16. Richting afzetkracht
Rechts: assenstelsel

De verandering van verplaatsingssnelheid van het lichaamszwaartepunt vindt pas plaats op het moment dat de toe-off nadert (figuur 17).



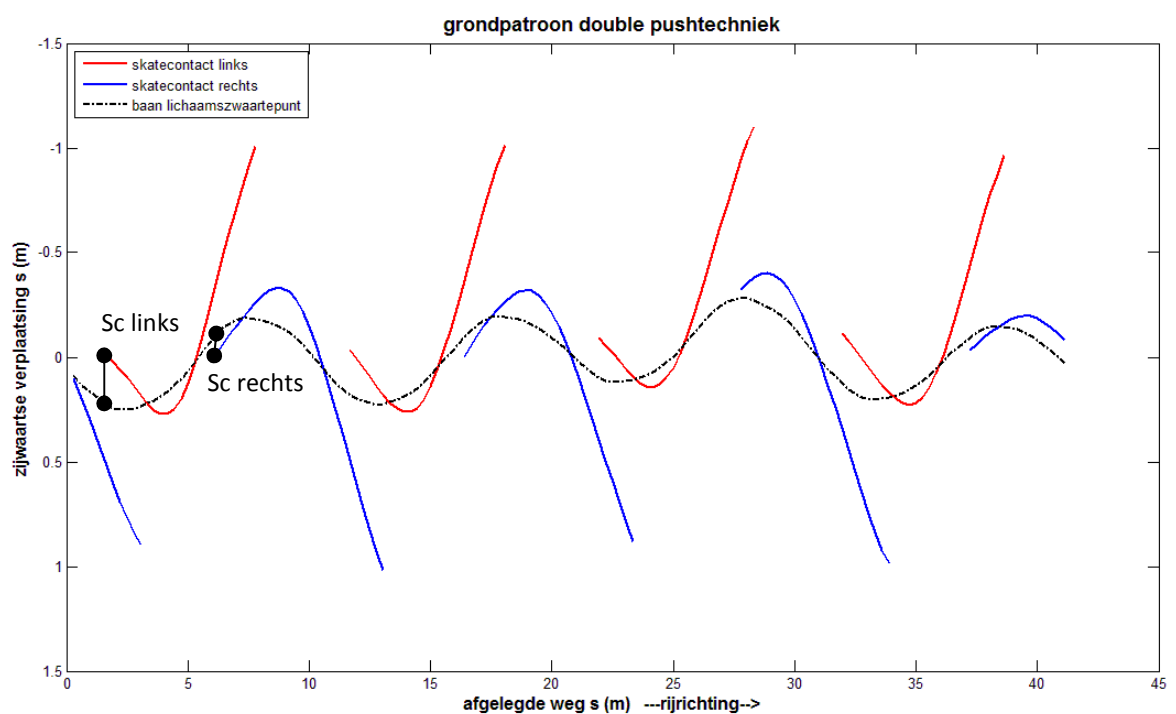
Figuur 17. Snelheid en verplaatsing linker skate en lichaamszwaartepunt
Rood, streep en punt: snelheid linker skate
Rood: verplaatsing linker skate
Zwart, streep en punt: snelheid lichaamszwaartepunt
Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

In de hiervoor behandelde aspecten is alleen uitgegaan van de extensiemogelijkheden in de heup en knie, en is er geen rekening gehouden met de abducerende kracht van de m. gluteus medius. Op pagina 23 en 24 zal hier verder op in worden gegaan.

Voorwaarde:

- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt.
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven.

Double push



Figuur 18. Grondpatroon double pushteknik

Rood: contacten linker skate

Zwart, streep en punt: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

Het gangpatroon van de double push van deze proefpersoon is niet helemaal symmetrisch. Het linker skatecontact (zie Sc links in figuur 18) vindt verder van het zwaartepunt plaats dan het rechter (Sc rechts in figuur 18). Het gevolg is dat bij het rechterbeen de mediale afzetfase plaatsvindt op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt maximaal is. Bij het linkerbeen vindt de mediale afzetfase pas begint op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt weer afneemt. Dit geldt voor de gehele cyclus. Het linker standbeen legt in totaal dus meer afstand af in de bipedale rolfase.

Naar aanleiding van deze waarneming is tijdens een clinic een gesprek geweest met Scott Arlidge (drievoudig wereldkampioen skeeleren). Aan de hand van dit gesprek worden hieronder de beweringen van Scott Arlidge op een rij gezet.

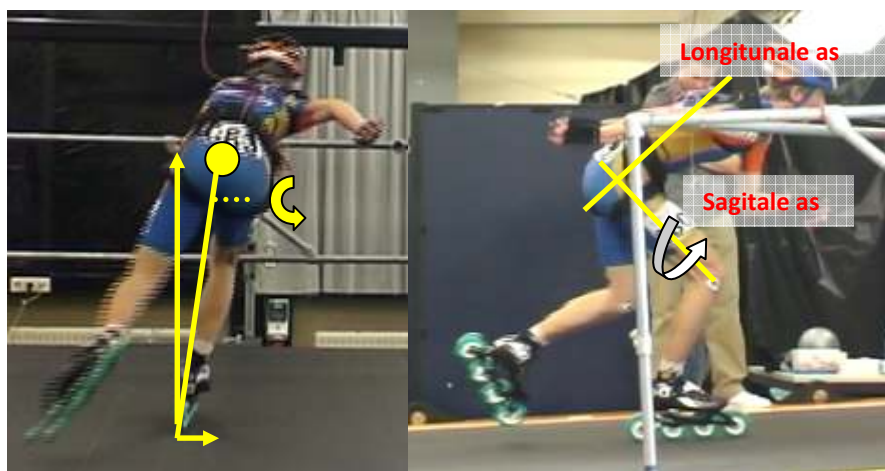
Hij beweert dat sterke skeelers eerder kiezen voor een plaatsing van skatecontact meer lateraal van het lichaamszwaartepunt, om de benen iets meer rust te geven door een glijfase in te voegen, maar vervolgens wel een grotere mediale uitslag te maken. Mensen met minder kracht zoals hij kiezen voor een plaatsing rond het zwaartepunt maar ook voor een constante afzet en druk op de skeelers. Dus eigenlijk kiezen deze mensen voor een hoge frequentie in plaats van lengte in de slagen. Een nadeel wordt ondervonden bij lange rechte stukken bij hoge snelheden, want het vermogen per afzet is minder. Wil je met een klein vermogen per afzet meer vermogen gaan leveren dan dien je de frequentie nog meer te verhogen of de slag te verlengen. Mensen met een lange slag kunnen met een kleinere frequentieverhoging procentueel meer vermogen leveren en zijn dus in het voordeel bij hogere snelheden. Bij veel versnellingen en vertragingen is het omgekeerde het geval. Het is te vergelijken met een lichter verzet tijdens het fietsen.

ABDUCERENDE ADDUCERENDE MOGELIJKHEDEN TIJDENS DE GLIJFASES

In voorgaande paragrafen werd de abductie en adductie niet meegenomen in de afzetmogelijkheden. In deze paragraaf zal bekeken worden wat voor een bijdrage de abductie eventueel kan leveren.

Wanneer vanuit de anatomische houding er abductie in de heup plaatsvindt, dan gebeurt dit om de sagittale as in het frontale vlak. Het abducerende moment (109 N/m) dat de gluteusspieren en de m. tensor fasciae latae isokinetisch kunnen leveren verschilt dan niet zoveel ten opzichte van de extenderende moment (120 N/m) van de heup [4]. In dit geval zal er geen twijfel over bestaan dat een abductie wel degelijk positief bij kan dragen aan het leveren van een kracht voor de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Echter, de positie waarin het abducerend moment het belangrijkste is, is het moment waar het contactpunt in de buurt van het zwaartepunt ligt. In het sagittale vlak is op dat moment sprake van een flinke anteflexie ten opzichte van de anatomische stand.



Figuur 19. Adductiemogelijkheid in het heupgewricht

Links: dorsaal aanzicht, rechterbeen is licht geadduceerd

Rechts: assenstelsel voor bewegingsmogelijkheden in het heupgewricht

Wil de skater op dit moment de skate naar lateraal duwen, dan zou dit moeten gebeuren met een combinatie van exorotatie en extensie in het heupgewricht. Het exoroterende moment is veel kleiner dan het extenderende moment (concentrisch isometrische kracht), 53 N/m tegenover 130 N/m gemiddeld [4].

Geconcludeerd kan worden dat de mogelijke bijdrage van ab- en adductie te betwijfelen is. Om de werkelijke bijdrage verder te onderzoeken zou een systeem dat het moment en de kracht op de skate meet volstaan, een EMG-meting tijdens het skeeleren zou ook een weergave geven van de spieractiviteit.

Voorwaarde:

- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekketen van het art. coxae en art. genus

VERGELIJKING KLASSIEK EN DOUBLE PUSH

In voorgaande paragrafen zijn de klassieke techniek en double pushtechniek onafhankelijk van elkaar behandeld. In deze paragraaf zal gekeken worden welke techniek de voorkeur heeft. Alle uitspraken die worden gedaan in de komende paragrafen zijn uitspraken van waarden in het frontale vlak.

Bij skeeleren gaat het er om je lichaam over een bepaalde afstand te verplaatsen in een zo kort mogelijke tijd. Er zijn vier gegevens die er wat over zeggen:

$$v = \frac{s}{t}$$
$$F = m \cdot a$$

$$W = F \cdot s$$

$$P = F \cdot v$$

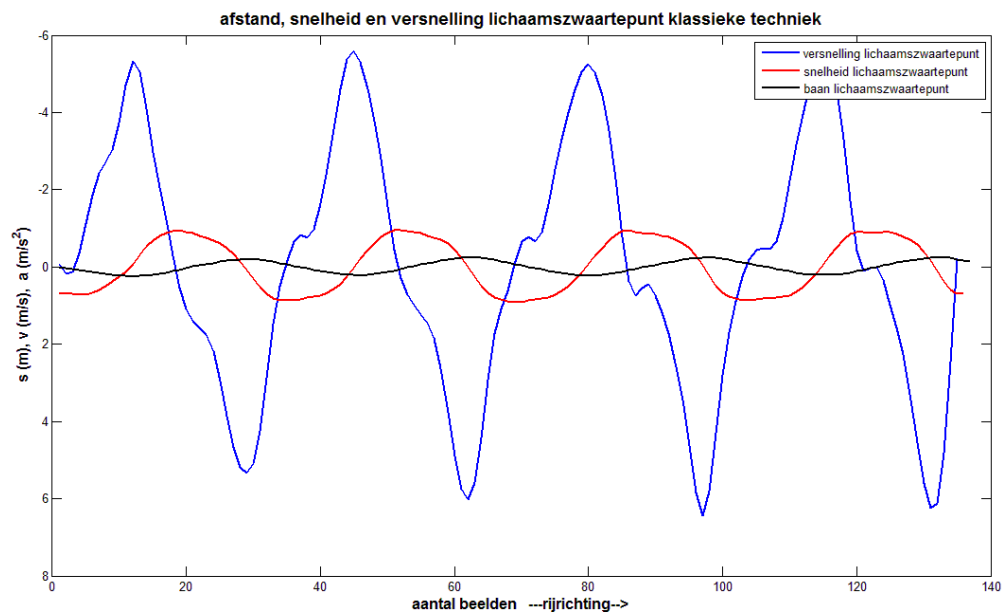
De vergelijking tussen de twee technieken zal gedaan worden aan de hand van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de tijd waarin deze verplaatsing tot stand komt. Er is gekozen voor deze zijwaartse snelheid omdat de voorwaartse snelheid constant is (bij zowel double push als klassieke techniek). Indirect betekent dit dat hoe groter de zijwaartse snelheid is, hoe ongunstiger afgezet wordt, omdat er mogelijk meer vermogen in voorwaartse richting geleverd had kunnen worden.

De pilotmeting levert data op in de vorm van afstand en tijd van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten, ook de voorwaartse snelheid is bekend. Dit geeft de mogelijkheid de snelheid en versnelling van het lichaamszwaartepunt in zijwaartse richting te bepalen door het differentiëren van de afstand naar de snelheid en versnelling.

$$v = \dot{s} = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \dot{v} = \frac{dv}{dt}$$

Wanneer deze differentiaties weergegeven worden in grafieken vormt zich het onderstaande beeld (figuren 20 en 21):

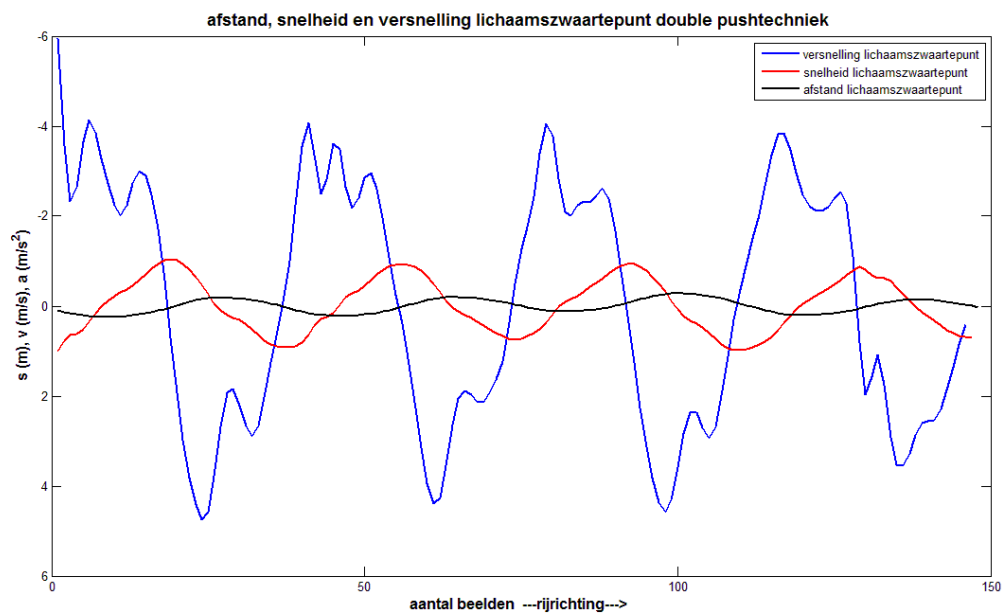


Figuur 20. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij klassieke techniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt



Figuur 21. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij double pushtechniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

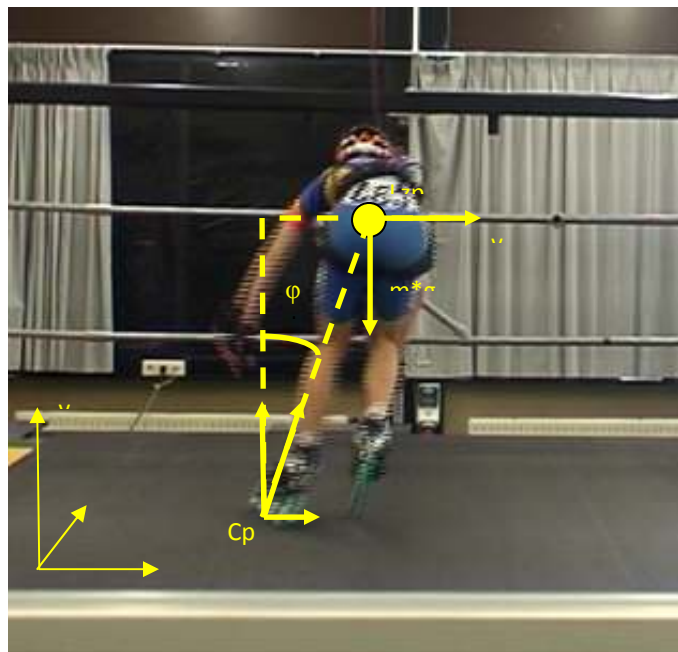
Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt

Wat gelijk opvalt is dat de double push een lagere piekversnelling heeft in vergelijking met de klassieke techniek, maar dat deze enigszins fluctueert. Er is dus een effect waar te nemen ten gevolge van de double push. In de volgende paragrafen zal gekeken worden hoe groot dit effect is en of het een nadeel of voordeel oplevert.

Propulsiekrachten

Voor het bepalen van de bijdrage van de mediale afzet op de voorwaartse snelheid dienen de vectoren van de afzetkrachten bekend te zijn.

De videobeelden lenen zich voor het bepalen van deze afzetkracht wanneer we de beweging beschrijven ten opzichte van een met de skeeler meebewegend assenstelsel (figuur 22). Ten opzichte van dit van dit assenstelsel is de afzet vergelijkbaar met een sprong in zijwaartse richting. Waarbij het lichaamszwaartepunt in x en y-richting wordt versneld. Wanneer er aangenomen wordt dat het zwaartepunt op een constante hoogte boven de grond blijft en de skeeleraar als een puntmassa wordt opgevat, is het mogelijk de afzetkracht te bepalen als functie van de hoek die het lichaamszwaartepunt maakt met verticaal (figuur 22).



Figuur 22. Bepaling propulsiekrachten

$$F_z = m \cdot g$$

$$F_a = \frac{F_z}{\cos(\varphi)}$$

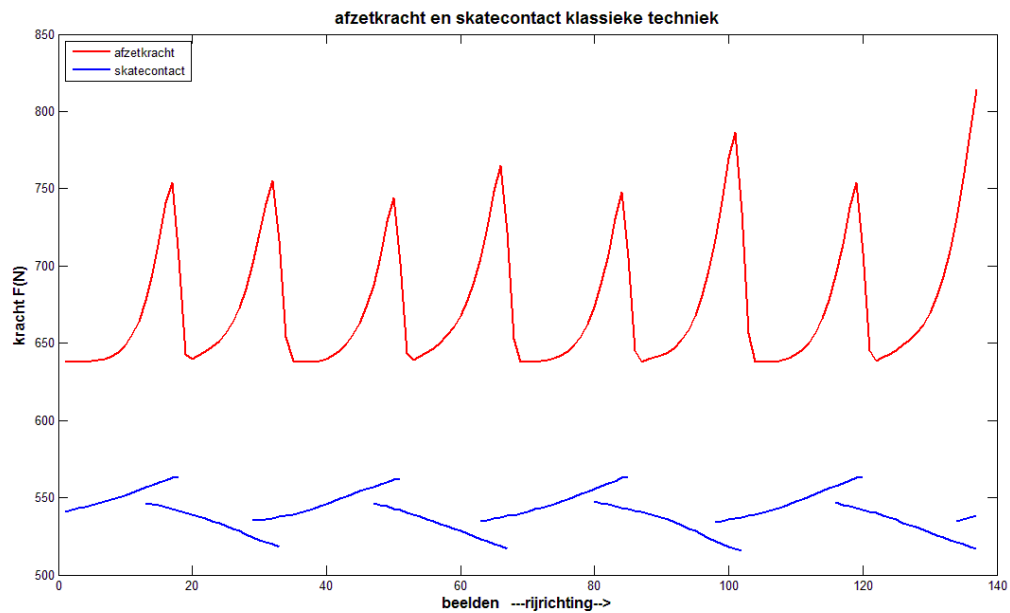
$$\varphi = \arctan\left(\frac{s_y}{s_x}\right)$$

$$s_y = LZP_y - C_{p,y}$$

$$s_x = LZP_x - C_{p,x}$$

Voor het bepalen van de afzetkracht is gebruik gemaakt van de dataset die verkregen is bij de projectie van het lichaamszwaartepunt op de ondergrond. Bij de benadering van de afzetkracht is het contactpunt van de rechter skeeler gedefinieerd als toe-off linkerbeen tot toe-off rechterbeen, en omgekeerd voor de linker skeeler. In de figuren 23 en 24 is het verloop van de afzetkracht te zien. Ter illustratie zijn onder het verloop

van de afzetkracht de afzetten van de linker en rechter skeeler geplot, deze houden geen verband met de verticale as, maar dienen slechts als illustratie hoe het krachtsverloop bij de afzet is.

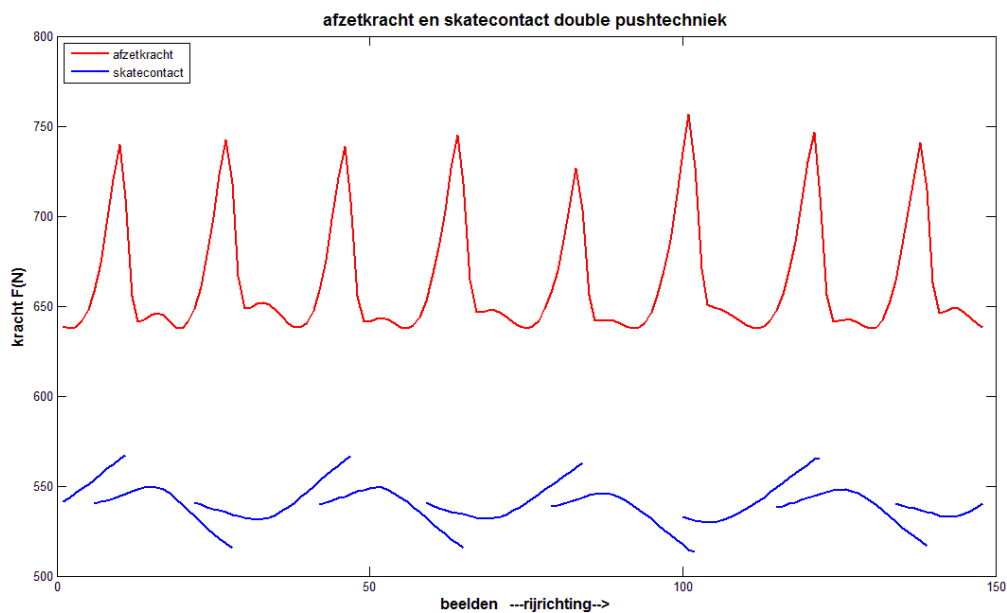


Figuur 23. Afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

Gemiddelde kracht: 674 N



Figuur 24. Afzetkracht bij de double pushtechniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

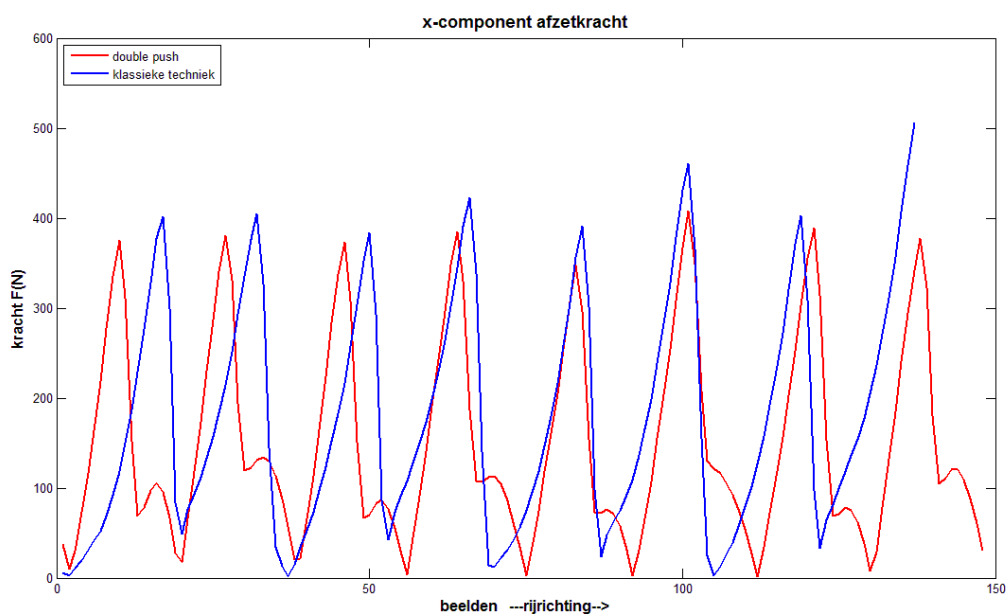
Gemiddelde kracht: 664 N

Uit onderzoek naar afzetkrachten tijdens het skeeleren[5] blijkt dat afzetkrachten van 120-150% van het lichaamsgewicht maal de zwaartekrachtversnelling plaats vinden, uitgaande van een fase van toe-off tot toe-off van het andere been. Dit lijkt dus een goede manier om de afzetkrachten tijdens het skeeleren te benaderen. Als we kijken naar de data, dan valt het op dat de verschillen tussen de geleverde piek- en gemiddelde krachten minimaal is. Wel kan er geconstateerd worden dat bij de double push zowel de piek- als bij de gemiddelde kracht lagere waarden heeft.

X-component afzetkracht

Om te kijken hoe groot de kracht is die bijdraagt aan het versnellen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting is gebruik gemaakt van de stelling van pythagoras:

$$F_x = \sqrt{F_{afzet}^2 - F_z^2}$$



Figuur 25. F_x bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double pushtechniek

Blauw: klassieke techniek

Gemiddelde double push: 151 N

Gemiddelde klassiek: 180 N

Wanneer we kijken naar de x-component van de afzetkracht blijkt dat er bij de klassieke techniek gemiddeld 4% meer kracht van de totale afzet gestopt wordt in het verplaatsen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting dan bij de double push. Dit betekent dat de hoek ϕ met verticaal bij de klassieke techniek groter is. Dit was van te voren te verwachten, aangezien het lichaamsswaartepunt bij de klassieke techniek 10 cm lager ligt dan bij de double push. Een andere verklaring is dat de toe-off verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt. Uit de data blijkt dat bij de klassieke techniek vergeleken met de double push de toe-off maximaal 15 cm verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt.

Hieruit is op te maken dat de afstand van het art. coxae tot de voet bij toe-off bij beide technieken ongeveer even groot moet zijn. Het is dus aannemelijk dat bij beide technieken ongeveer dezelfde hoeken in knie- en heupgewricht te zien zijn. Beelden van de video ondersteunen dit, bij beide toe-offs was de kniehoek ongeveer 160 graden. Dit gegeven wordt ondersteund door Houdijk et al [6].

Een ander gegeven dat opvalt is de mediale afzet van de double push waar we zien dat er piekkrachten van ongeveer 650 N zijn. De bijdrage aan de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in x-richting ligt ongeveer tussen de 70 en 100 Newton.

Geconcludeerd kan worden dat de piekkrachten bij de klassieke techniek hoger zijn dan die bij de double pushtechniek. De klassieke techniek richt de afzetkracht echter wel gunstiger (er wordt een groter aandeel van de afzetkracht gebruikt voor het verplaatsen in voorwaartse richting).

Ook valt te concluderen dat de mediale afzet een extra kracht uitoefent op de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Voorwaarde:

- **In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting.**

Vermogen

Voor het bepalen van de techniek met de meeste efficiëntie zal er gekeken worden naar het vermogen dat bij de technieken per slag geleverd wordt bij eenzelfde uitwendige prestatie (verplaatsing in voorwaartse richting).

Voor het bepalen van het vermogen dienen de afzetkracht en snelheid bekend te zijn, de snelheid is een bekende na het differentiëren van de afgelegde weg, de afzetkracht is bepaald in de vorige paragraaf. Met deze gegevens kan het vermogen momentaan berekend worden. In figuur 22 (pagina 26) staat het assenstelsel voor deze berekeningen weergegeven.

$$P_{tot,double\ push} = F_{prop,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

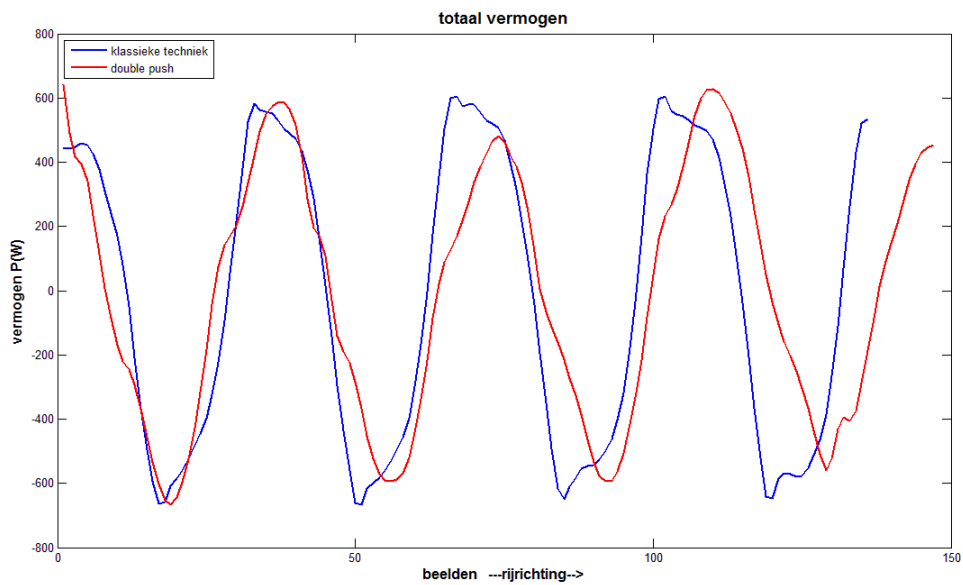
$$P_{nuttig,double\ push} = F_{x,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{tot,klassiek} = F_{prop,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{nuttig,klassiek} = F_{x,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

Waar de snelheid van de lichaamszwaartepunten elkaar niet ver ontlopen en de gemiddelde kracht van de klassieke techniek een fractie hoger is dan bij de double push, is de verwachting dat het vermogen van de klassieke techniek hoger is dan die van de double push omdat zowel de gemiddelde kracht als de snelheid bij de klassieke techniek hoger zijn, wat ook een hoger vermogen oplevert.

Piekvermogen



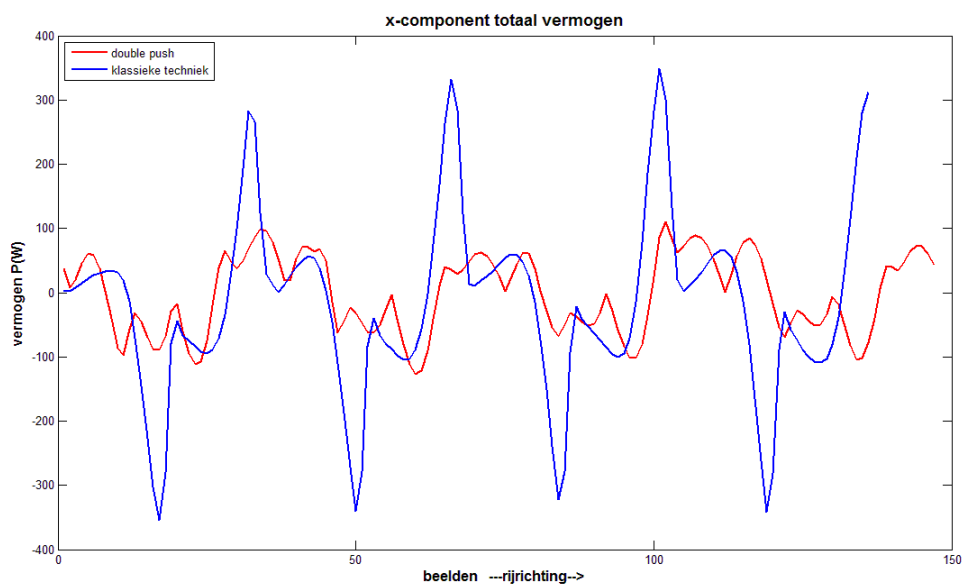
Figuur 26. Totaal vermogen bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double push

Blauw: klassiek

Uit figuur 26 blijkt dat de geleverde piekvermogens elkaar niet veel ontlopen. Het gemiddelde vermogen over de acht slagen van de double push (344 Watt) is echter 78 Watt lager dan van de klassieke techniek (422 Watt)

X-component vermogen



Figuur 27. X-component van het geleverde vermogen voor beide technieken

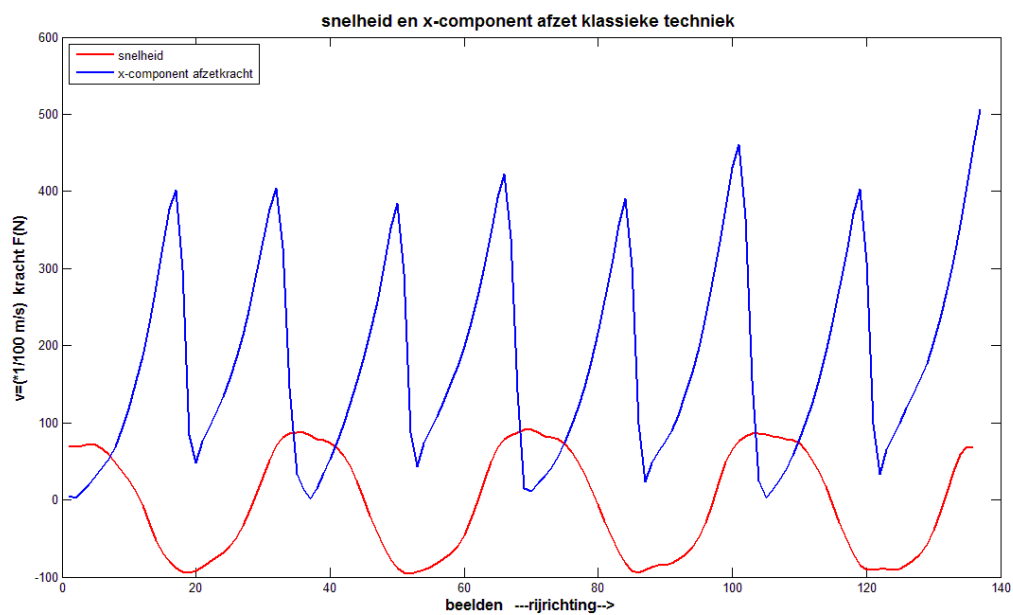
Rood: double push

Blauw: klassiek

Wanneer we kijken naar de x-component van het vermogen (figuur 27) valt gelijk op dat het piekvermogen dat bij de klassieke techniek geleverd wordt vele malen hoger is. Dit komt wel overeen met de verwachting, maar een verschil van 200 Watt in piekvermogen is een groter verschil dan verwacht werd aan de hand van de snelheid en propulsiekracht.

Evaluatie en terugkoppeling

Om een verklaring voor het hogere piekvermogen bij de klassieke techniek is te vinden wordt een grafiek geplot van de x-component (figuur 28) van de afzetkracht samen met de snelheid van de klassieke techniek.



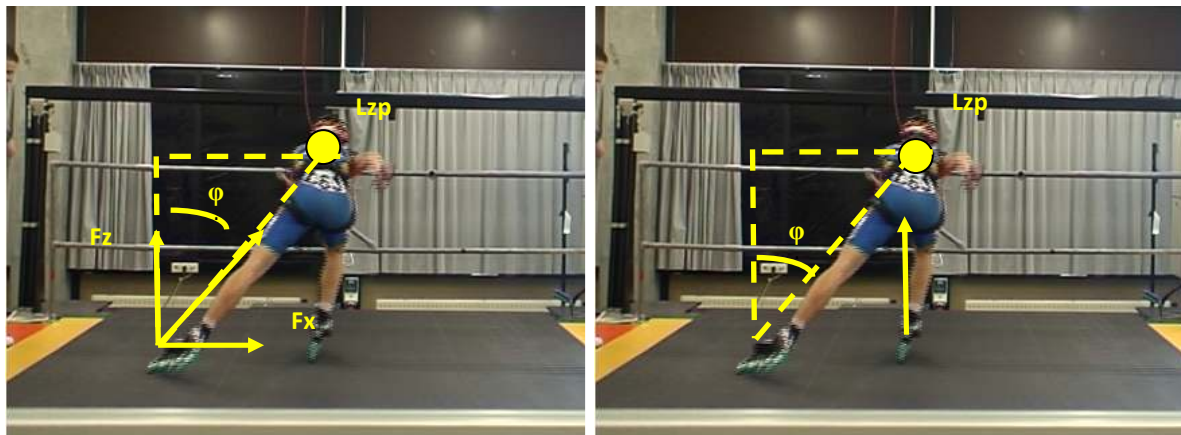
Figuur 28. Snelheid lichaamszwaartepunt en x-component afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: x-component afzetkracht

Hier valt op dat de piekkracht het grootst is op het moment van de pieksnelheid, dit verklaart waarom het piekvermogen bij de klassieke techniek zo hoog is. Waar de snelheid zonder aannames is bepaald, is het vermogen betrouwbaar. Voor de kracht zijn twee aannames gedaan, het is dus mogelijk dat hier een probleem in schuilt. De verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting is niet waarschijnlijk omdat het lichaamszwaartepunt weinig verplaatsing in verticale richting ondervindt bij de klassieke techniek.

De aanname van de afzet geldend van toe-off tot toe-off ligt meer voor de hand als verkeerde aanname. De bipedale fase verdwijnt bij deze benadering en de complete zwaartekracht wordt door het afzetbeen gedragen. De maximale kracht wordt bij deze benadering bereikt vlak voor toe-off (figuur 29).



Figuur 29. Toe-off en projectie lichaamszwaartepunt

In werkelijkheid is op het moment van skatecontact het lichaamszwaartepunt grotendeels boven het dit nieuwe contactpunt komt te liggen(fig). Het gevolg hiervan is dat de zwaartekracht verdeeld wordt over de twee contactpunten, een groot deel van het lichaamszwaartepunt ligt boven het been dat skatecontact maakt. De zwaartekracht werkt dus voor het grootste deel op het been wat het dichtst bij de projectie van het lichaamszwaartepunt ligt, waardoor de afzetkracht van het afzetbeen sterk afneemt.

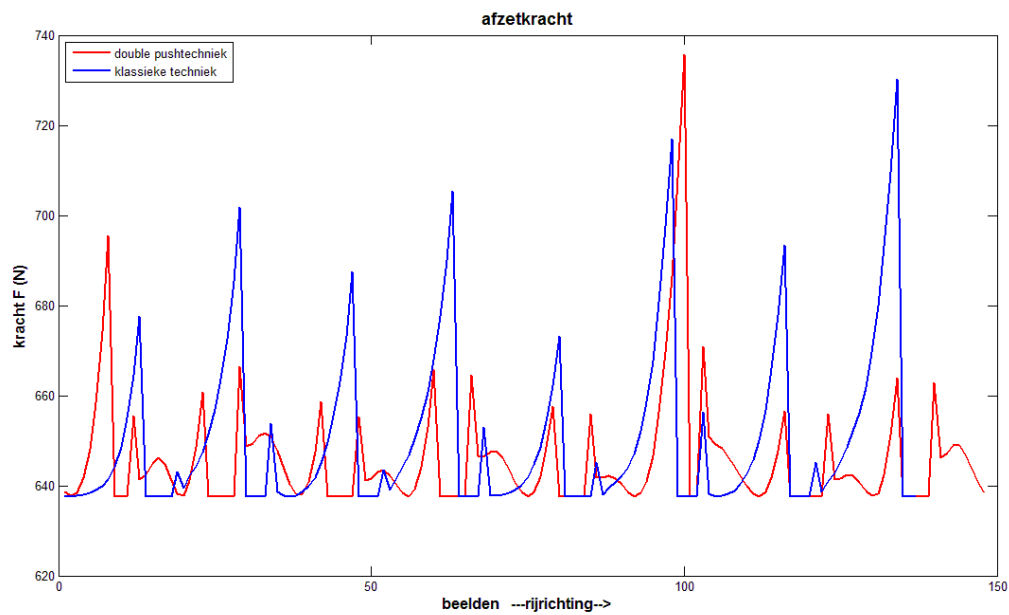
De gebruikte methode neemt dat niet mee in de berekening, waardoor ϕ ook groter wordt naar mate de afzet langer wordt.

Daarom is ervoor gekozen om alleen de afzetkrachten te bepalen tijdens de unipedale fases en in bipedale fase de afzetkracht gelijk te stellen aan $m \cdot g$, waarbij alle krachten worden als positief beschouwd.

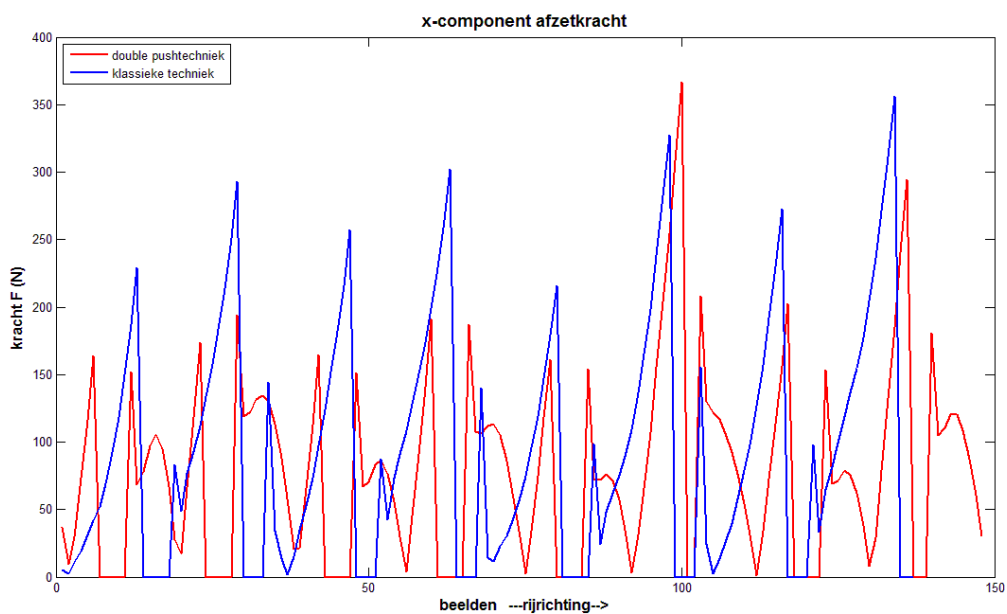
Afzetkracht

Wanneer we de verbeterde methode toepassen, valt gelijk op dat de propulsiekracht veel kleiner is geworden. De piek van 670 N betekent een afzet van 105% van het lichaamsgewicht. Dit is minder dan in de literatuur[5] beschreven staat. Een verklaring zou kunnen zijn dat de kracht die geleverd moet te worden om het in positie blijven op de lopende band zeer laag is.

Een andere verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat in het begin van de contactfase het lichaamsgewicht nog niet volledig op de skate wordt gezet, met tot gevolg een toename van de afzetkracht. In onderzoek naar de afzetkrachten tijdens het schaatsen vonden De Koning et al [7] dat bij een snelheid van 32,4 km/h pas na 20% van de contactfase het volledige lichaamsgewicht op het standbeen wordt geplaatst. Er kan gekeken of het percentage van het lichaamsgewicht in Newton bij de afzetkracht en het vermogen nog beter benaderd kan worden door de 20% in de berekening mee te nemen, hier kwamen echter geen noemenswaardige verschillen uit.



Figuur 30. Afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechniek, gemiddelde = 643 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 647 N

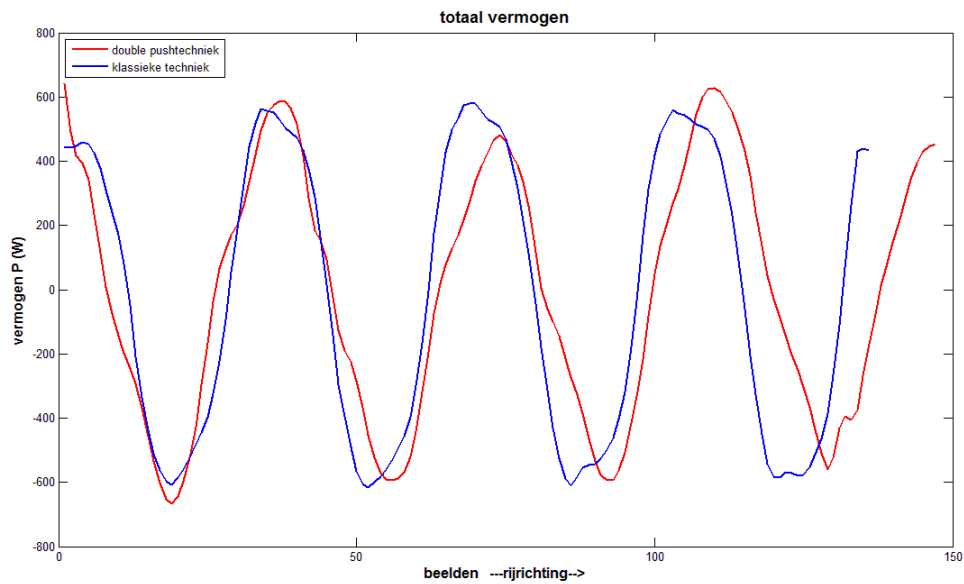


Figuur 31. x-component afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechniek, gemiddelde = 58 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 76 N

In fig. is te zien dat de gemiddelde geleverde afzetkracht van de double push en klassieke techniek even groot is. Bij de double push wordt de kracht echter verdeeld over twee pieken gedurende de afzet. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de piekbelasting bij de double push lager is, maar dat er gemiddeld wel even veel kracht wordt geleverd als bij de klassieke techniek.

Vermogen

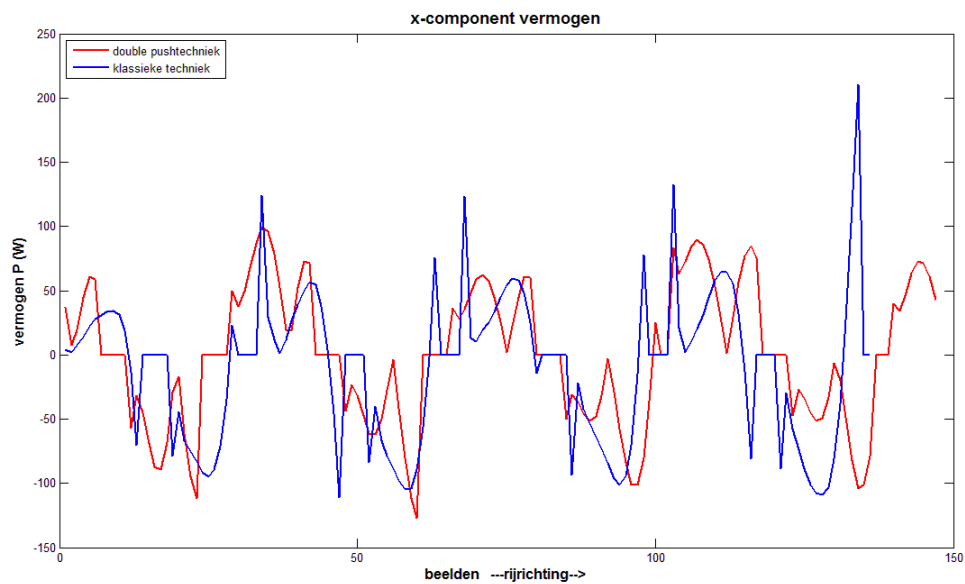
Wanneer het vermogen bepaald wordt met de vernieuwde methode komen de volgende resultaten naar voren:



Figuur 32. Totaal geleverd vermogen

Rood: double push

Blauw: klassiek



Figuur 33. geleverd vermogen in x-richting

Rood: double push

Blauw: klassiek

De verschillen zijn niet heel groot, de double push levert gemiddeld 55 Watt minder vermogen om eenzelfde voorwaartse snelheid te bereiken.

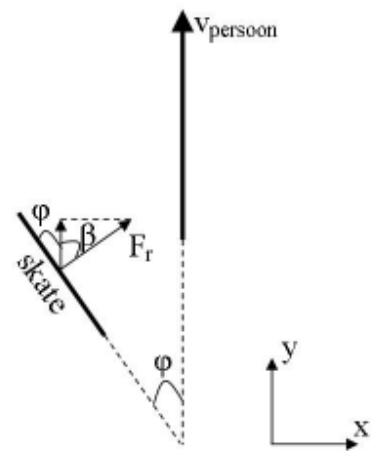
Geconcludeerd kan worden dat de double push een lagere vermogen levert om eenzelfde snelheid te bereiken. Een ander groot voordeel is dat de totale afzetkracht bij de double push ongeveer gelijk is aan die van de klassieke techniek, maar hierbij wordt de kracht wel verdeeld over twee benen waardoor de piekbelasting per been lager wordt.

THEORETISCH MODEL

Zowel interne als externe factoren hebben invloed op de totstandkoming van een skeelerbeweging. Deze factoren worden in onderstaande beschrijving besproken.

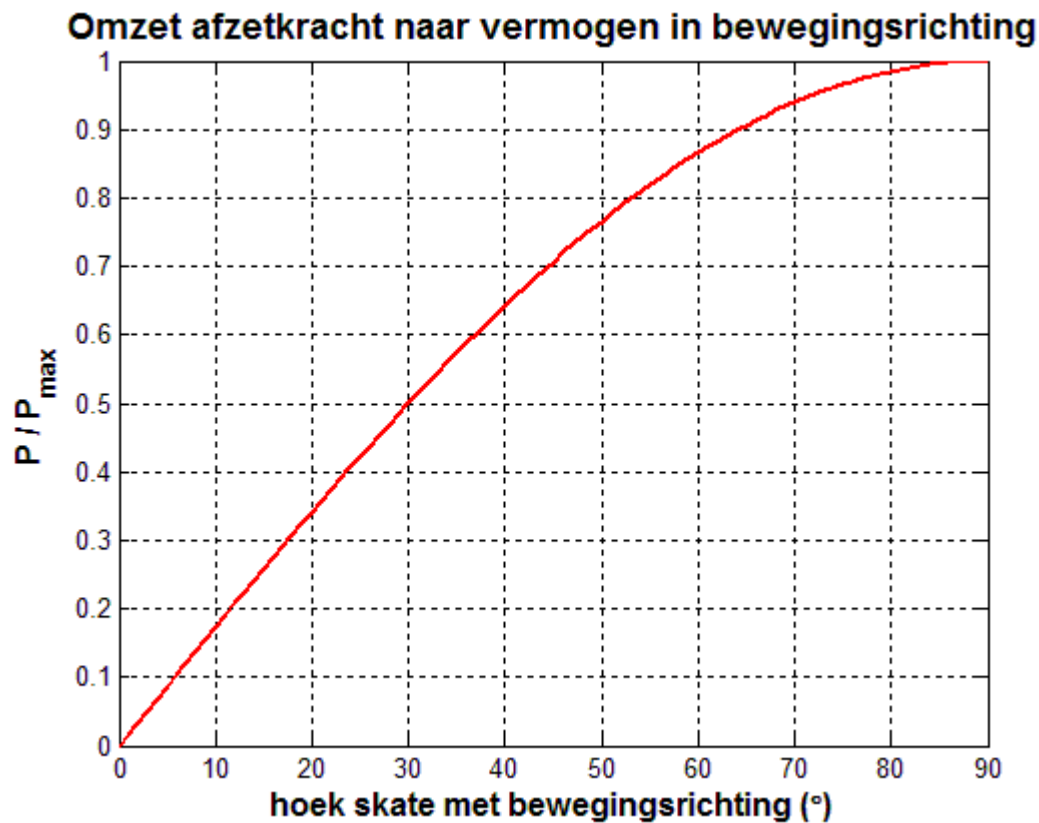
Zoals is geconcludeerd uit de resultaten van de pilotmeting, zet een skeeleraar tijdens de afzet de skate onder een hoek met de gewenste bewegingsrichting. Het model in figuur 34 geeft dit principe weer.

De hoek tussen de skate en de gewenste bewegingsrichting is in principe vrij te kiezen. Echter, als er een analyse gemaakt wordt van de hoeveelheid vermogen die geleverd wordt in de bewegingsrichting van de persoon, dan kan er geconcludeerd worden dat het geleverde vermogen in de gewenste bewegingsrichting een verband heeft met de afzethoek. Dit verband staat weergegeven in de onderstaande vergelijking en figuur 35.



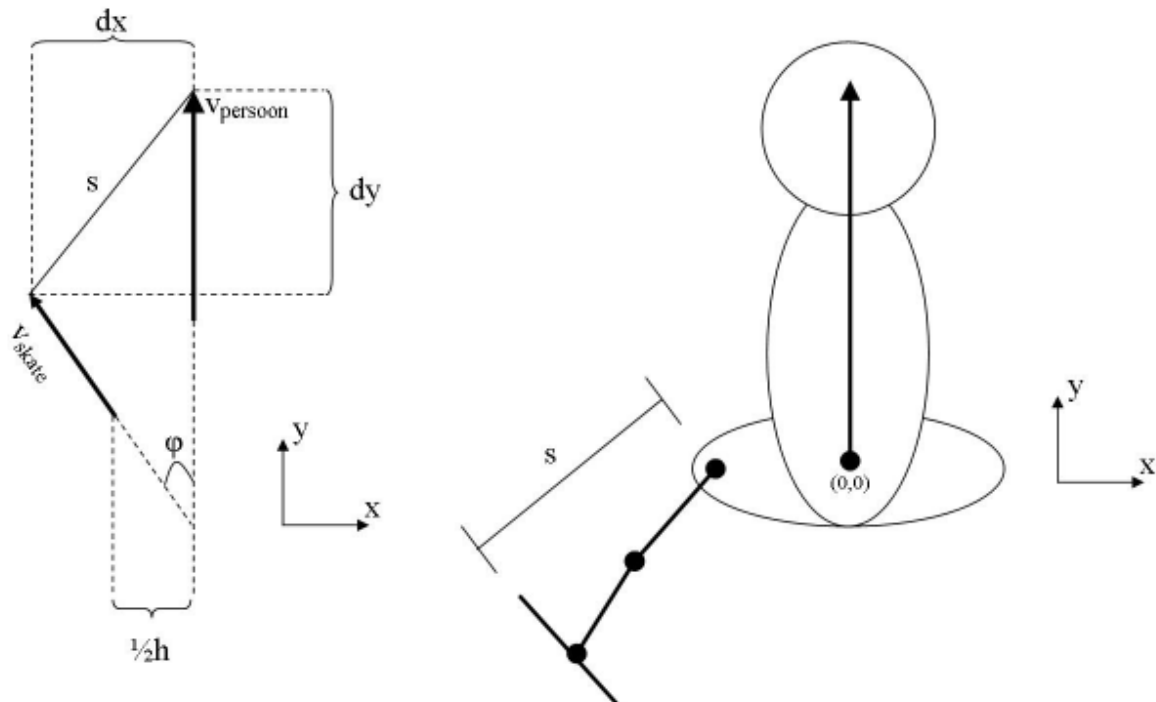
Figuur 34. Model snelheid persoon en plaatsing skate

$$P_y = F_{ry} \cdot v_y = F_r \cdot \cos(\beta) \cdot v_y = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) \cdot v_y$$



Figuur 35. Relatief vermogen in de bewegingsrichting als variabele van de plaatsing van de skate

Het is duidelijk te zien dat het vermogen in y-richting groter wordt naarmate de hoek van de skate met de bewegingsrichting (φ) toeneemt. De limiet voor de hoek is $0 \leq \varphi \leq 90$, omdat voor overschrijding van beide limieten geldt dat de richting van de reactiekracht omgekeerd is van de gewenste richting (in praktijk is een dergelijke krachtrichting te vergelijken met de richting van de reactiekracht bij double push).



Figuur 36. Model beenafstand in bovenaanzicht

Links: wegllopen van de skate ten gevolge van verschil in richting van verplaatsing van skate en persoon

Rechts: Beenlengte in bovenaanzicht

$\frac{1}{2} h$ = halve heupbreedte

Er is echter een beperking in de hoek die gemaakt kan worden, wat wordt geïllustreerd in het volgende model (zie ook figuur 36).

De skate waarmee afgezet wordt, heeft net als het lichaam een snelheid. Omdat de skate niet in dezelfde richting als de bewegingsrichting van het lichaam beweegt, heeft deze in x- en y-richting een andere snelheid. Ten gevolge van dit gegeven zal de skate van het lichaam af bewegen. In deze positie zit uiteraard een beperking, namelijk de lengte van het been in bovenaanzicht, zoals weergegeven in figuur 36 met het symbool s . Hierbij wordt er uitgegaan van een beenlengte bij een kniehoek van 160° (gemeten aan de dorsale zijde van het been).

De beenlengte s in bovenaanzicht kan als volgt bepaald worden:

$$dx = \frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t$$

$$dy = v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t$$

$$s = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t\right)^2 + \left(v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t\right)^2}$$



Figuur 37. Relatieve verplaatsing skate ten opzichte van het lichaam

Naarmate de hoek van de skate ten opzichte van de bewegingsrichting toeneemt, is de verplaatsing van de skate bij een bepaalde snelheid groter per tijdseenheid (de afzettijd). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de snelheid of de afzettijd (of een combinatie van beiden) beperkend is voor de hoek φ .

WRIJVINGSKRACHTEN

Ten gevolge van onder andere luchtwerijving en rolwrijving is het niet mogelijk om te skeeleren met een zuiver constante snelheid. Daarom zal telkens tijdens de rolfase de snelheid van de persoon afnemen, waarna de persoon in de daarop volgende afzetfase weer snelheid moet toevoegen om het verlies aan snelheid weer goed te maken.

Tijdens het skeeleren spelen de volgende formules een rol:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2$$

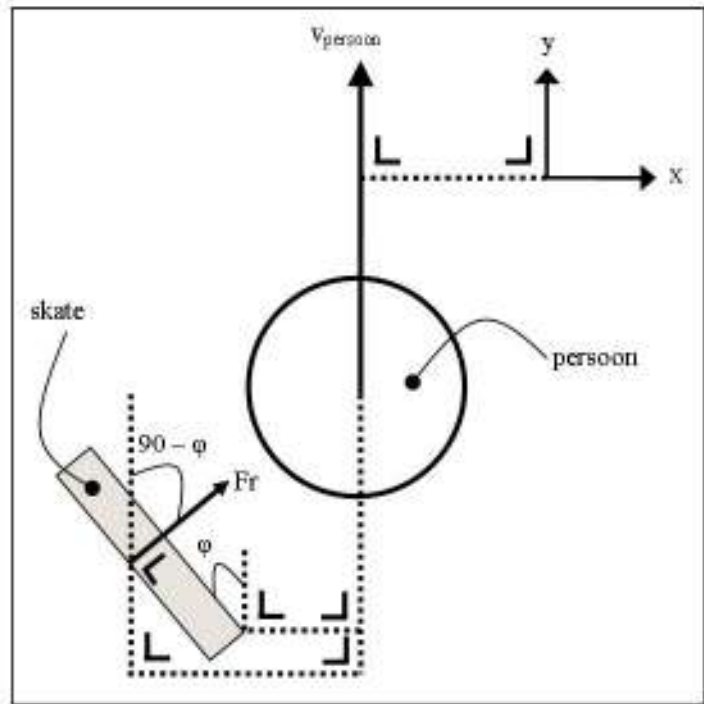
$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$$

$$F_{res} = F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = m \cdot a$$

$$\rightarrow a = \frac{F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}}{m}$$

$$v_i = v_{i-a} + a \cdot t$$



Figuur 38. Model richting afzetkracht in een inertiaal assenstelsel

Indien geldt dat $F_{res} = 0$ dan is de versnelling 0, wat betekent dat de persoon met constante snelheid voortbeweegt (of stilstaat indien de voorgaande snelheid 0 was).

De versnelling a kan alleen gebruikt worden bij constante versnellingen. Hier zal rekening mee gehouden moeten worden bij het vervaardigen van de modellen door de afzetfase in kleine stukjes op te delen.

Voorwaarde:

- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes

De richting en grootte van de krachtcomponenten heeft invloed op de tweede wet van Newton ($F_{res} = m \cdot a$). Zo kan de invloed van de wrijvingskrachten in x-richting verwaarloosd worden, waardoor de tweede wet van Newton omgeschreven zal moeten worden:

$$F_{res,x} = F_r \cdot \sin(90 - \varphi) = F_r \cdot \cos(\varphi)$$

$$F_{res,y} = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol} = F_r \cdot \sin(\varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = \sqrt{(F_{res,x})^2 + (F_{res,y})^2}$$

Het assenstelsel voor deze formules staat weergegeven in figuur 38, het is een assenstelsel dat meebeweegt met de bewegingsrichting van de persoon (waarbij de y-as evenwijdig is aan de bewegingsrichting).

Zoals eerder al gesteld is, kan er niet geskeeld worden met een constante snelheid indien er rekening gehouden wordt met wrijvingskrachten. Wel is het mogelijk om aan het eind van iedere afzet eenzelfde snelheid te hebben en dit aan te nemen als constante snelheid. De afzetfase wordt dan gebruikt om de vertraging ten gevolge van de lucht- en rolwrijving van de rolfase weer teniet te doen.

Uiteraard heersen er ook tijdens de afzetfase wrijvingskrachten, zodat tijdens de afzetfase niet alleen de wrijvingskrachten van de rolfase, maar ook die van de afzetfase overwonnen moeten worden. Onderstaand schema geeft dit proces weer, in dit schema is geen rekening gehouden met krachtrichtingen.

Rolfase	Afzetfase
$F_{w,lucht} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{constant})^2$ $F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$ $a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{-1 \cdot (F_{w,lucht} + F_{w,rol})}{m}$ $v_i = v_{i-1} + a \cdot t = v_{constant} + a \cdot t$	$a_1 = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_{constant} - v_i}{t}$ $F_{afzet} = m \cdot a_1 + F_{w,lucht} + F_{w,rol}$ $= m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r$ $a_2 = \frac{F_{afzet}}{m} = \frac{m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r}{m}$ $= a_1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2}{m} + g \cdot c_r$ $v_{constant} = v_i + a_2 \cdot t$
● $v_{constant} = x \text{ m/s}$	● $v_i < v_{constant}$
	● $v_{constant} = x \text{ m/s}$

Voorwaarde:

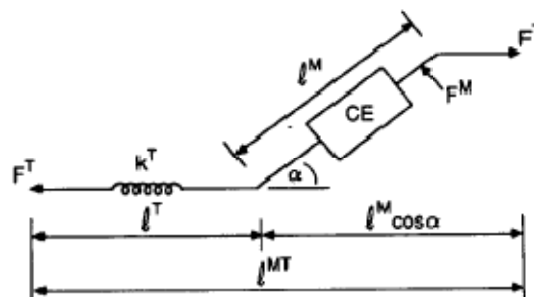
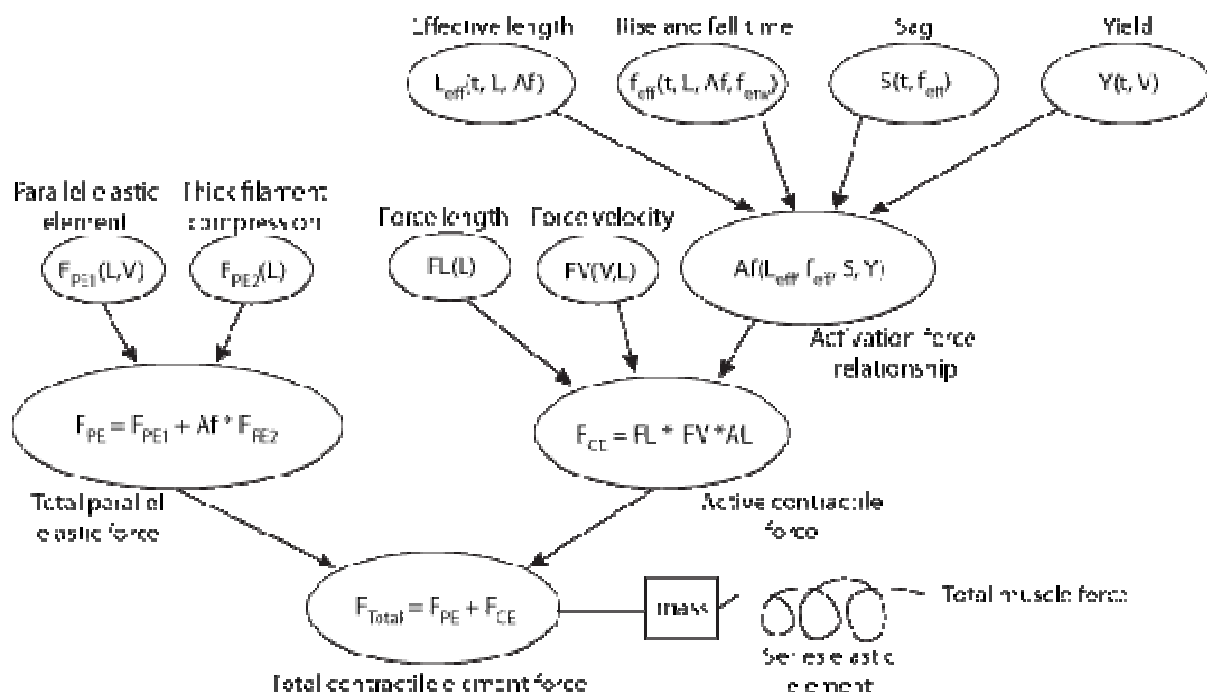
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving

SPIEREIGENSCHAPPEN

Als we kijken naar een beweging in het algemeen, kunnen we stellen dat er hoekverandering plaatsvindt in bepaalde gewrichten (meestal ten gevolge van geleverde spierkracht). In de onderstaande bespreking worden de factoren voor spierkracht besproken.

Factoren voor spierkracht

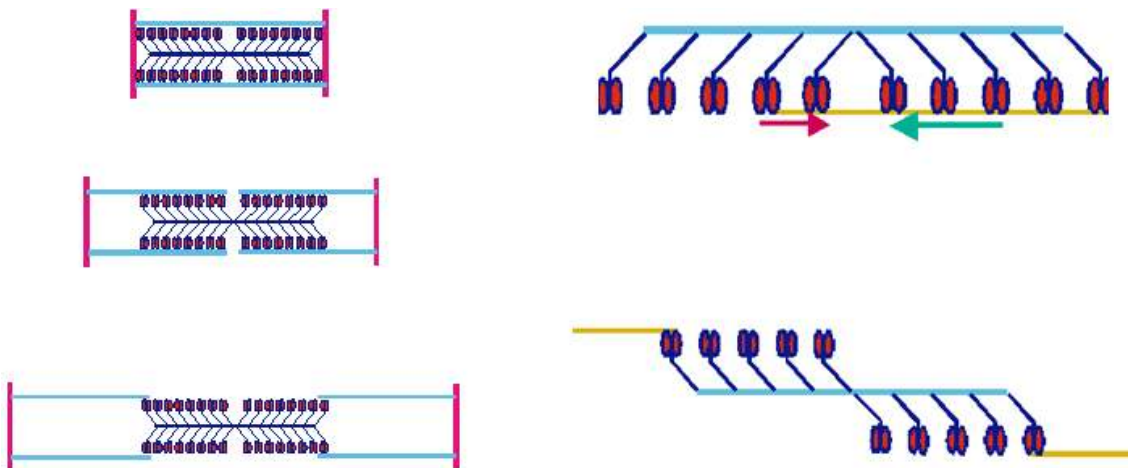
Zoals in het overzicht in onderstaande figuur 39 te zien is, is de spierkracht van vele factoren afhankelijk. Niet alle factoren kunnen in het model verwerkt worden, omdat een totaal model van de spierkracht een groot project op zich is. Het model van Cheng et al [8] dat alle onderstaande factoren of eigenschappen samenvoegt tot de totale spierkracht, is een model met een grote hoeveelheid variabelen. Echter, op veel eigenschappen kan geen invloed uitgeoefend worden, daarom zal er alleen gekeken worden naar de belanghebbende eigenschappen. Deze eigenschappen worden op de volgende bladzijden besproken.



reesmodel

Kracht-lengterelatie

Bij het veroorzaken van een hoekverandering zal een spier meestal verkorten (antagonistische spieren zullen logischerwijs excentrisch gecontraheerd worden). Vanuit de literatuur weten we dat de lengte die een spier heeft van invloed is op de kracht die deze kan leveren. Is een spier op een langere of kortere lengte dan zijn rustlengte, dan is de mogelijke krachtslevering lager [10]. Deze eigenschap is gebaseerd op de het feit dat de kracht die een spier kan leveren afhankelijk is van het aantal beschikbare myosinekopjes dat contact maakt met de actine in een sarcomeer (zie figuur 41). In de figuur is rechtsboven een verkorte sarcomeer weergegeven. De myosinekopjes bevinden zich in de zogeheten antiparallelle regio, de actine maakt niet alleen contact met de myosinekopjes die ervoor zorgen dat de actine naar binnen getrokken wordt (wat een verkorting van de sarcomeer, en dus van de spier, tot gevolg heeft). Er zijn ook myosinekopjes die met de actine ernaast contact moeten maken, maar dat in deze positie niet doen. Zij maken contact met dezelfde actine waar de andere myosinekopjes aan trekken die voor verkorting van de sarcomeer zorgen. Hierdoor wordt er in twee tegengestelde aan de actine getrokken, waardoor de actie van de myosinekopjes elkaar (deels) opheft, wat resulteert in verminderde (of geen) verkorting van de sarcomeer. Dit heeft tot gevolg dat de spierkracht in deze posities lager is.



Figuur 41. Schematische weergave sarcomeren in verschillende posities

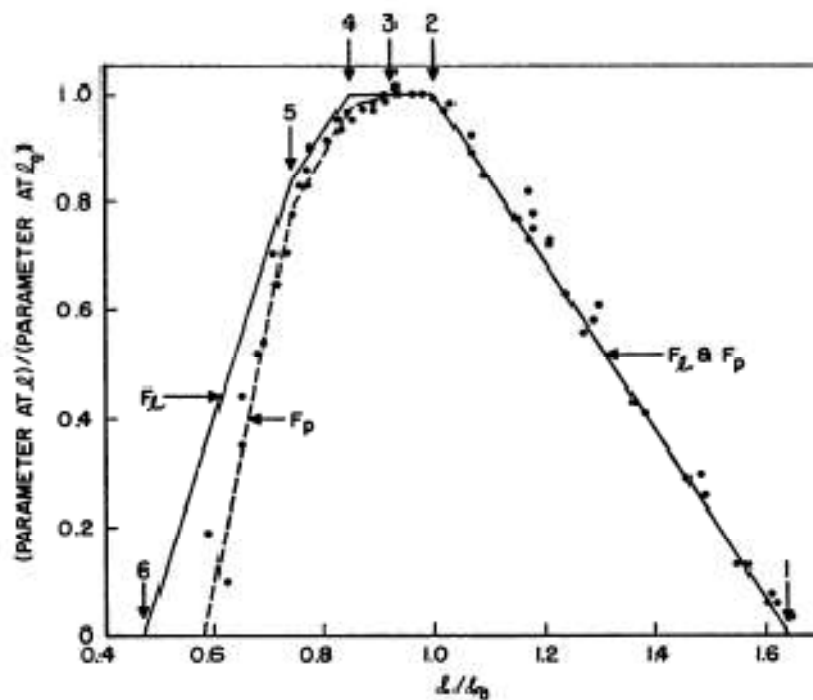
Linksboven, rechtsboven: sarcomeer in verkorte positie

Links, midden: sarcomeer in rustpositie

Linksonder, rechtsonder: sarcomeer in verlengde positie

Bornhorst en Minardi hebben deze kracht-lengterelatie beschreven met behulp van een grafiek met daarin een aantal kenmerkende punten waartussen lineaire functies het verband van het ene punt met het andere leggen (zie figuur 42). Andere bronnen als Gordon et al [11] en Askew & Marsh [12] geven eenzelfde verloop en verhouding van lengtes.

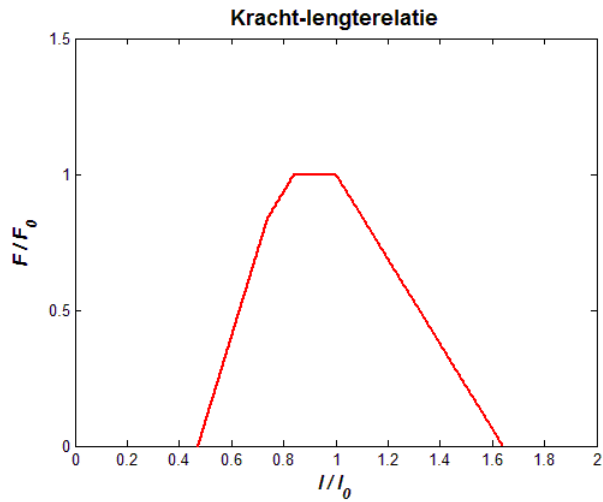
De kracht-lengterelatie zoals Bornhorst & Minardi deze schetst, kan worden benaderd met lineaire functies die vervolgens omgeschreven kunnen worden naar één vijfdegraads vergelijking. De vergelijkingen en plots op de volgende pagina geven dit proces weer. Hiermee kan dan in de Matlab-modellen met één formule de kracht-lengterelatie van een spier ingegeven worden. Deze relatie is van belang omdat er gedurende de afzet een hoekverandering in onder andere het kniegewricht plaatsvindt, waardoor de lengte van de kniestrekkers verandert, en daarmee ook de kracht die geleverd kan worden.



Figuur 42. Kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Lineaire functies:

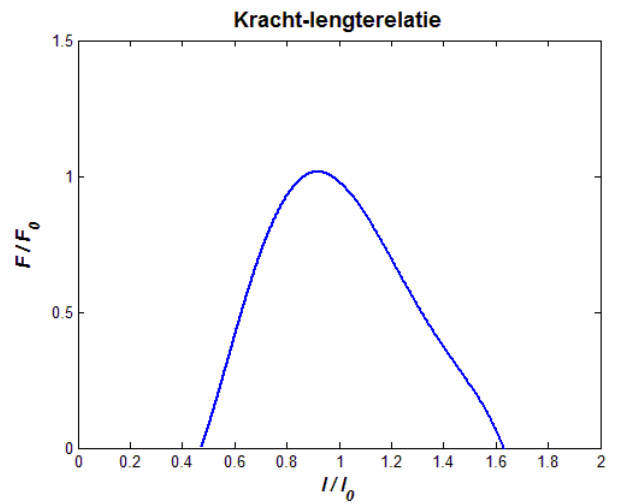
$$F = \begin{cases} 0.472 < l \leq 0.74 & \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot l - \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot 0.472 \\ 0.74 < l \leq 0.84 & \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot l - \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot 0.74 + 84 \\ 0.84 < l \leq 1 & 1 \\ 1 < l \leq 1.64 & \frac{-1}{0.64} \cdot l + \frac{1}{0.64} + 1 \end{cases}$$



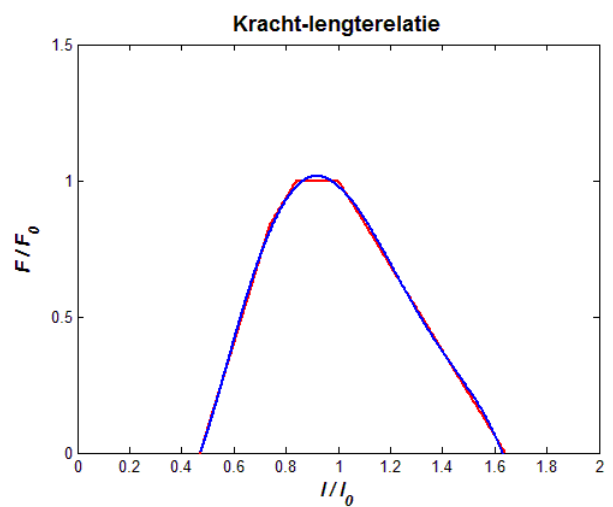
Figuur 43. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Vijfdegraads vergelijking:

$$\begin{aligned} p1 &= -10.537 \\ p2 &= 57.038 \\ p3 &= -116.22 \\ p4 &= 107.42 \\ p5 &= -42.478 \\ p6 &= 5.7582 \\ F &= p1 \cdot l^5 + p2 \cdot l^4 + p3 \cdot l^3 + p4 \cdot l^2 + p5 \cdot l + p6 \end{aligned}$$



Figuur 45. Gesimuleerde kracht-lengterelatie met de vijfdegraads vergelijking



Figuur 44. Kracht-lengterelatie van Bornhorst en Minardi en volgens vijfdegraads vergelijking over elkaar gelegd

Als er vervolgens gekeken wordt in welk gebied van de kracht-lengtecurve er kracht wordt geleverd, komen we op de volgende relatieve spierlengtes (spierlengte ten opzichte van de rustlengte) [14,15]:

$$\varphi_0 = 100$$

$$\varphi_1 = 160$$

$$r = 0.043$$

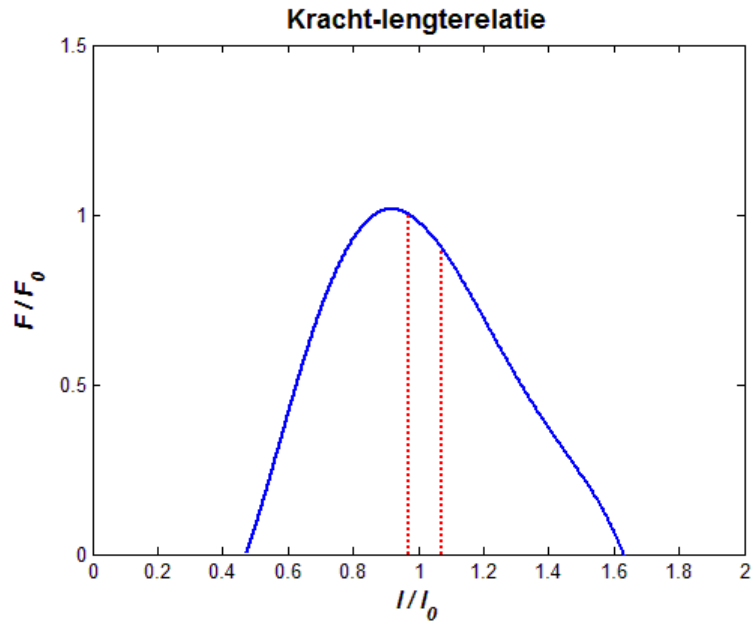
$$l_{min} = 0.344$$

$$l_{rust} = 0.432$$

$$l_0 = \frac{\varphi_0 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 0.97$$

$$l_1 = \frac{\varphi_1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 1.07$$

In figuur 46 staan deze grenzen met rode stippellijn aangegeven.



Figuur 46. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens de vijfdegraads vergelijking met zone van spierlengte weergegeven

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn

Kracht-snelheidsrelatie

Omdat er een hoekverandering plaatsvindt bij het afzetten, hebben de betrokken elementen een hoeksnelheid. Deze hoeksnelheid heeft invloed op de contractiesnelheid van spieren, waardoor we met nog een andere spiereigenschap te maken krijgen: de relatie tussen de contractiesnelheid en de leverbare kracht. Hill heeft deze relatie beschreven en hiervoor een formule opgesteld waarin enkele spiereigenschappen een rol spelen. De Hill-curve wordt voorgeschreven door de volgende formule (zie ook figuur 47) [13]:

$$F_{Hill} = \frac{c}{v + b} - a$$

Hierin zijn a, b en c zogenaamde Hill-constanten die de spiereigenschappen weergeven en is v de contractiesnelheid in lengtes per seconde (l/s) of meters per seconde (m/s). Deze drie constanten verschillen per spier of spiergroep. Voor het model is gekozen voor de volgende waarden van de constanten [13]:

$$a = F_{iso} = 1013 \text{ N}$$

$$b = v_{max} = 0.435 \text{ m/s}$$

$$c = P_{max} = 881.31 \text{ W}$$

Om de contractiesnelheid beter te kunnen interpreteren, wordt deze omgerekend naar hoeksnelheid in graden per seconde (°/s). Dit gaat volgens de volgende berekening:

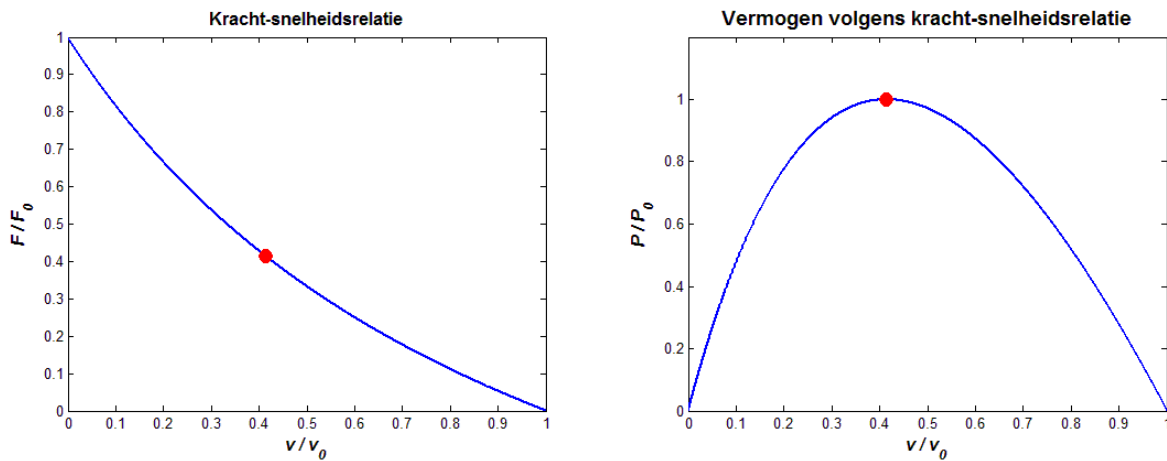
$$\omega = \frac{v}{r} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Willen we de hoeksnelheid in de formule voor de Hill-curve plaatsen, dan dienen we de formule voor hoeksnelheid om te schrijven als formule voor contractiesnelheid als functie van de hoeksnelheid:

$$v(\omega) = \frac{\omega \cdot r \cdot \pi}{180}$$

Van de vergelijking van Hill kan ook het optimum bepaald worden. Dit optimum kan gevonden worden door het vermogen volgens Hill uit te rekenen, en in die functie de top te bepalen. Voor de gevonden contractiesnelheid levert de spier het meest optimaal zijn kracht.

$$P_{Hill} = F_{Hill} \cdot v$$



Figuur 47. Kracht-snelheidsrelatie volgens Hill

Links: relatieve kracht tegen de relatieve contractiesnelheid volgens Hill

Rechts: relatief vermogen volgens Hill

rode stip: optimum

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

3. PAKKET VAN VOORWAARDEN

In de onderstaande opsomming worden de voorwaarden genoemd die in de modelmatige simulaties verwerkt dienen te worden.

VOORWAARDEN

- De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht
- De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt
- De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting
- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven
- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekken van het art. coxae en art. genus
- In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting
- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving
- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn
- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

4. MODELMATIGE SIMULATIES

In deze fase zal er aan de hand van de opgedane kennis en de opgestelde theoretische modellen een aantal Matlab-modellen vervaardigd worden, waarmee een aantal voorspellingen gedaan kan worden.

MODEL 1: KRACHTRICHTING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

Om aan te tonen dat men niet telkens zijn of haar skate hetzelfde zal plaatsen bij verschillende snelheden, wordt er in dit eerste model gesimuleerd dat er vanuit stilstand gestart wordt en de snelheid steeds opgevoerd wordt. Door telkens dezelfde afzettijd op te leggen, wordt er puur naar het effect gekeken van de snelheid op de hoek waaronder de skate geplaatst kan worden om zoveel mogelijk afzet te leveren zonder dat de skate te ver wegloopt bij het lichaam (zoals besproken is bij het theoretische model op pagina 37 en 38).

De regels die gelden in het model zijn:

$$\varphi_0 = \frac{90}{2} = 45$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g$$

$$F_{w,i} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{tot,i-1})^2$$

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + (-1)^i \cdot \frac{F_r \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + \frac{F_r \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{tot,i} = \sqrt{(v_{i,x})^2 + (v_{i,y})^2}$$

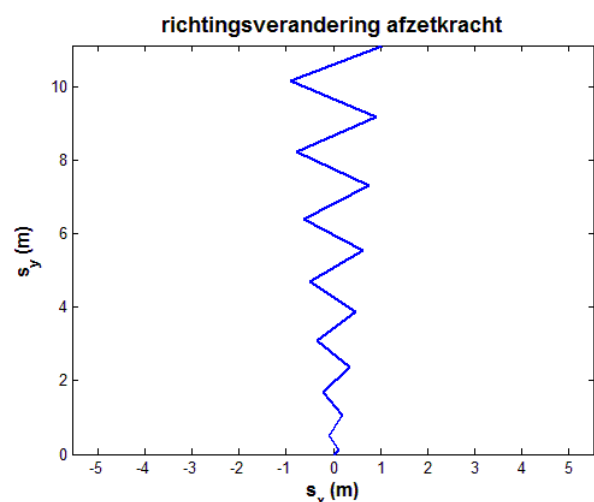
$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{tot,i} \cdot \sin(\varphi_i) \cdot t\right)^2 + \left(v_{tot,i} \cdot t - v_{tot,i} \cdot \cos(\varphi_i) \cdot t\right)^2} \rightarrow \varphi_i$$

Er wordt gestart onder een ideale afzethoek (90 graden), gedeeld door 2. Deze deling wordt gedaan omdat in de berekening voor de beenlengte s er vanuit wordt gegaan dat het lichaam zich in de gewenste richting (zuiver rechtdoor) beweegt, terwijl deze oscillerend om de gewenste bewegingsrichting zal bewegen (zoals te zien is in de formules voor $v_{x,i}$ en $v_{y,i}$). Het is goed denkbaar dat men daarom bij de start van het skeeleren ook schuin op de gewenste verplaatsingsrichting vertrekt, wat ook in de praktijk wordt waargenomen.

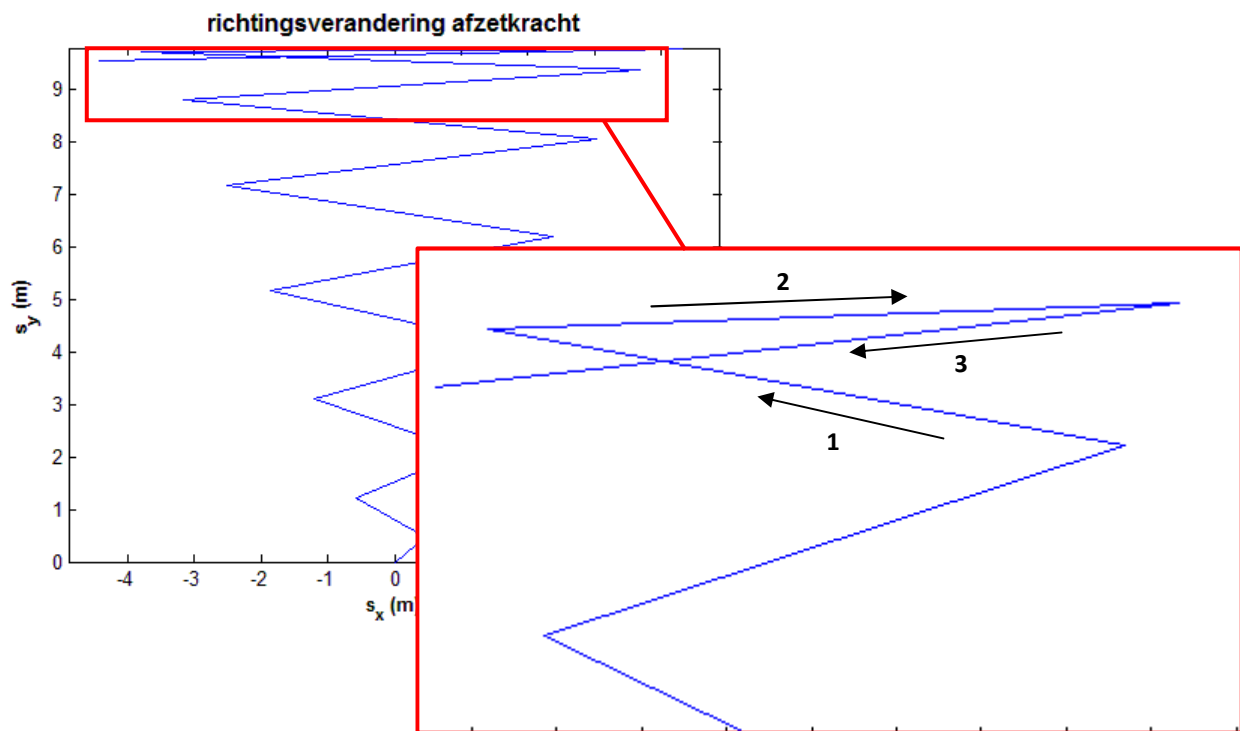
Nevenstaande figuur geeft de verplaatsing weer, waarbij er geen rekening is gehouden met de invloed van de snelheidsvector op de huidige snelheid (hier wordt later op teruggekomen). Dit model is slechts bedoeld om te illustreren hoe het mogelijke verloop van de richting van de afzetkracht is.



Figuur 48. Weergave van de richtingsverandering bij een toenemende snelheid

Het is duidelijk te zien dat wanneer de snelheid hoger is (te zien aan een grotere verplaatsing in zowel x- als y-richting), de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. De hoek van de reactiekracht ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting is namelijk $90 - \varphi$, waardoor de x-component van de reactiekracht steeds groter wordt, wat resulteert in een grotere zijwaartse verplaatsing.

Er komt een moment dat er een snelheid bereikt is, waarbij de wrijvingskracht groter is dan geleverde afzetkracht, waardoor men dus afgeremd wordt. In dit model is dat te zien als een afname van de verplaatsing, zoals in onderstaande figuur weergegeven wordt.



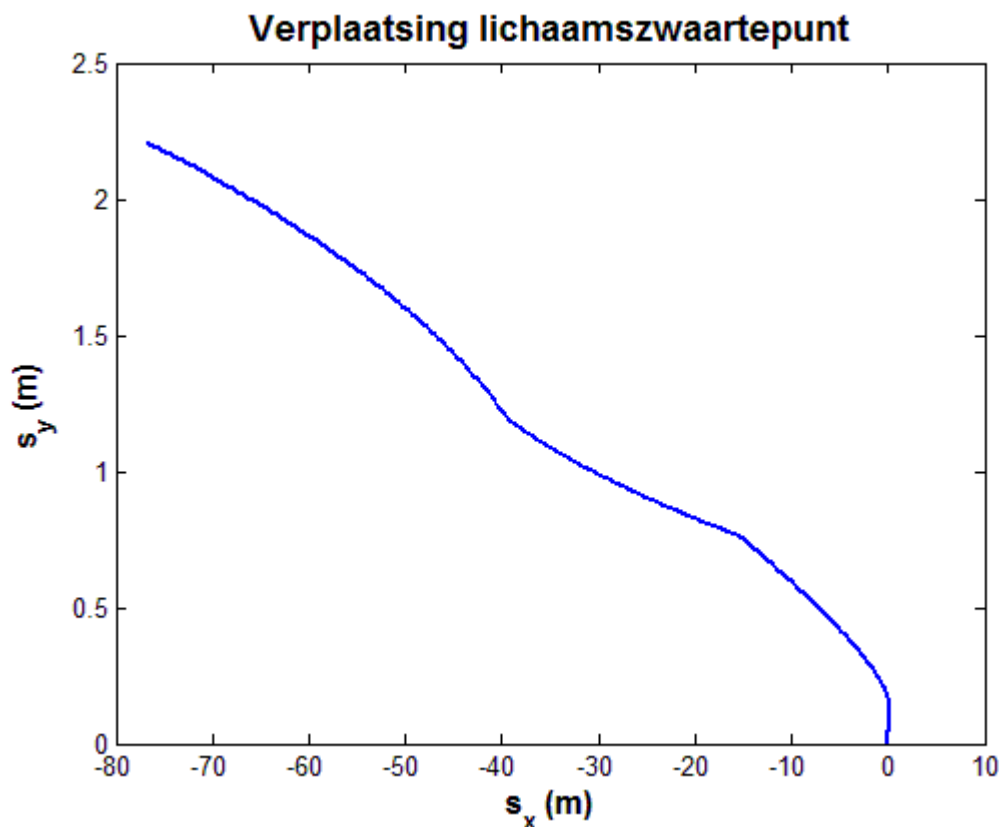
Figuur 49. Weergave van het gevolg van een luchtweerstand die groter is dan de afzetkracht in voorwaartse richting

MODEL 2: VERPLAATSING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

In het voorgaande model werd er telkens eenzelfde afzetkracht geleverd, in een krachtrichting die bepaald werd aan de hand van een formule die de krachtrichting optimaliseert bij een input van de afzettijd en de snelheid van de persoon.

In dit tweede model wordt elke afzet in honderd kleine stapjes opgedeeld, rekening houdend met de invloed van de vector van de reactiekracht op de huidige snelheidsvector. Hierdoor zal de snelheidsvector per honderdste deel van de afzettijd van richting veranderen ten gevolge van een andere richting van de reactiekracht (ten opzichte van de bewegingsrichting van de persoon). De afzetkracht wordt bepaald aan de hand van een optimalisatie naar optimaal vermogen volgens Hill, zoals besproken is bij de kracht-snelheidsrelatie van spieren in de analyse. Vervolgens wordt deze kracht vermenigvuldigd met de factor volgens de kracht-lengterelatie.

Dit proces wordt weergegeven in figuur 50. In de onderstaande figuur is het effect van vectorberekening te zien. Het blijkt dus dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. Opvallend is de enorme verplaatsing in x-richting ten opzichte van de verplaatsing in y-richting. Dit is mogelijk te verklaren aan de hand van de data die het model als output levert.



Figuur 50. Verplaatsing van het lichaamszwaartepunt volgens model 2
assen zijn niet 1:1 geschaald

MODEL 3: TOEVOEGING VAN GELIJKBLIJVENDE SNELHEIDSVECTOR

Bij het versnellen was te zien dat de persoon naar links of rechts ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting verplaatste en deze gewenste bewegingsrichting niet meer kruiste. Bij skeeleren met constante snelheid zou ditzelfde patroon niet verwacht worden, omdat er telkens met een zelfde krachtvector een verandering van de snelheidsvector plaatsvindt. De eerste vraag die opkomt is: "Hoe ziet het grondpatroon van een skeeleraar eruit als er telkens eenzelfde krachtsvector, en dus eenzelfde snelheidsvector, wordt toegevoegd?".

Een dergelijke situatie kan aan de hand van de verkregen gegevens uit de videoanalyse gesimuleerd worden:

- $F_{rx} = 219 \text{ N}$
- $v_y = 25 \text{ km/h} = \frac{25}{3.6} = 6.9 \text{ m/s}$

Hierbij wordt, net als in bij de pilotmeting, de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant gehouden.

Het model werkt volgens de volgende regels:

$$F_{rx} = 219$$

$$v_{y,0} = \frac{25}{3.6}$$

$$v_{toegevoegd,x} = \frac{F_{rx}}{m} \cdot t$$

$$v_{toegevoegd,y} = F_{ry} - F_{w,tot} = 0$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + v_{y,i-1} - v_{y,i-2} + v_{toegevoegd,y}$$

afzet naar rechts:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} + v_{toegevoegd,x}$$

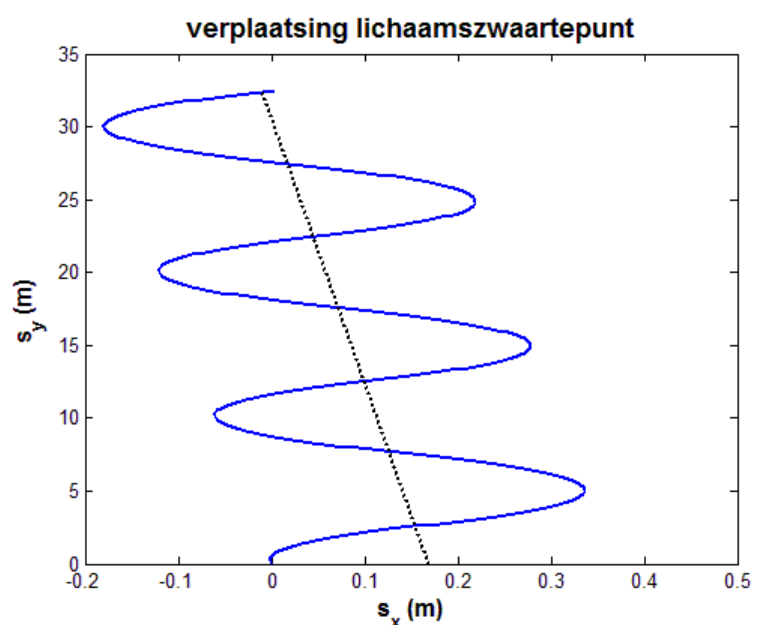
afzet naar links:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} - v_{toegevoegd,x}$$

$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

Het resultaat van het simuleren volgens bovenstaande regels is te zien in de nevenstaande plot.



Figuur 51. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

assen zijn niet 1:1 geschaald

5. EVALUATIE

Tijdens deze evaluatie zal de output van de modellen getoetst worden aan het pakket van voorwaarden. Dit zal puntsgewijs gebeuren.

TOE-OFF VOOR AFZET

Voordat een afzet met het ene been plaatsvindt moet er een toe-off van het andere been plaatsvinden

Deze voorwaarde voor het kunnen simuleren van afzetten die op elkaar volgen, en niet tegelijkertijd optreden, is in alle drie de modellen verwerkt.

WRIJVINGSKRACHTEN

In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:

- Luchtwrijving
- Rolwrijving

In het eerste model is de luchtwrijving opgenomen, de rolwrijving niet. Als we kijken wat de invloed van het ontbreken van de rolwrijving is, komen we op de volgende berekeningen:

$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r = 75.7 \cdot 9.81 \cdot 0.0077 = 5.7 \text{ N}$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g = 0.35 \cdot 75.7 \cdot 9.81 = 259.9 \text{ N}$$

Het moge duidelijk zijn dat de rolwrijvingscoëfficiënt en het percentage van het lichaamsgewicht de invloeden zijn die voor dit verschil in kracht zorgen omdat in beide formules de massa en zwaartekrachtsversnelling gelijk zijn.

De invloed van de rolwrijving op de kracht die geleverd zou worden is:

$$\frac{c_r}{p_{lat}} \cdot 100\% = \frac{0.0077}{0.35} \cdot 100\% = 2.2\%$$

Dit is een zeer laag percentage, waardoor we kunnen aannemen dat het beeld wat het model schetst niet erg vertekend is.

In het tweede model is totaal geen wrijvingskracht opgenomen. Voor model 1 zagen we al dat de rolwrijving verwaarloosbaar klein is, maar of dit voor de luchtwrijving ook opgaat is de vraag. Als we kijken naar de eindsnelheid van de simulatie (na vier afzetten), dan kan er gesteld worden dat er de volgende luchtwrijvingskracht zal heersen:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.293 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot (6.9)^2 = 19.7 \text{ N}$$

Als dit vergeleken wordt met de afzetkracht die op dat moment geleverd wordt, komen we op de volgende invloed:

$$\frac{F_{w,lucht}}{F_r} \cdot 100\% = \frac{19.7}{515.16} \cdot 100\% = 3.8\%$$

De invloed van de luchtwrijving op de geleverde afzetkracht blijkt niet groot te zijn.

In het derde model wordt er indirect rekening gehouden met de wrijvingskrachten. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant blijft. Dit kan alleen als er totaal geen wrijving optreedt, of als de reactiekracht in de gewenste bewegingsrichting even groot is als de wrijvingskrachten, de resultante kracht is dan namelijk gelijk aan 0.

AFZETKRACHT

In model 1 is de afzetkracht gedefinieerd als het lichaamsgewicht (vermenigvuldigd met de zwaartekrachtsversnelling) maal een percentage. Dit percentage kan gevarieerd worden. Zo is uit de literatuur bekend dat het percentage van het lichaamsgewicht (in Newton) dat men kan leveren bij een afzet tot 150% kan oplopen.

Hierin is dus geen afzetkracht opgenomen in de vorm van een Hill-curve of volgens de krachten die gevonden zijn in de analyse.

Voor het tweede model is de kracht volgens Hill als eerste uitgangspunt genomen. Vervolgens wordt deze kracht gerelateerd aan de kracht-lengterelatie van een spier. De geleverde spierkracht komt maximaal op 467 N, wat nog geen 100% van het lichaamsgewicht in Newton is (757 N) [5].

In het derde model wordt gebruik gemaakt van de afzetkracht in x-richting, die uit de analyse naar voren is gekomen, om de zijwaartse verplaatsing te simuleren.

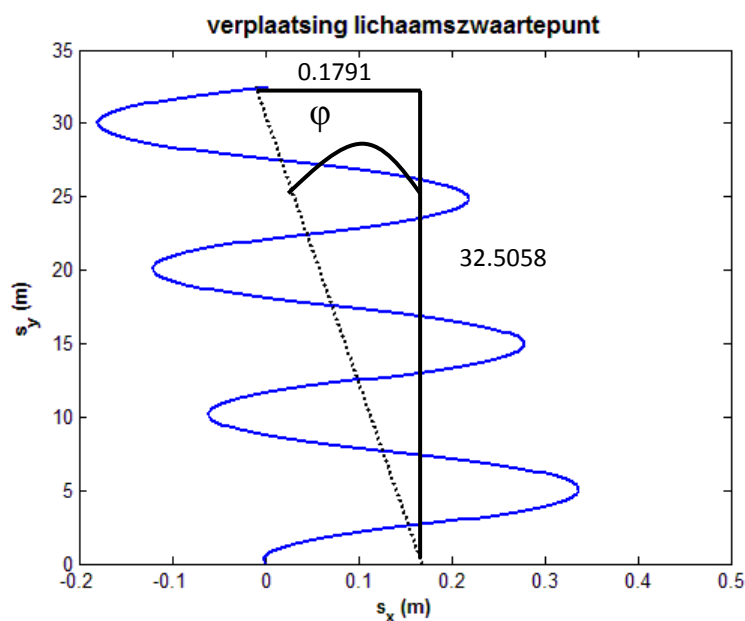
RESULTAAT

In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven

Alleen voor het derde model kan gesteld worden dat het uitwendige resultaat (de verplaatsing van de persoon) te vergelijken is met wat uit de analyse naar voren is gekomen.

Net als in het gangpatroon uit de analyse, verplaatst het lichaamszwaartepunt zich in een sinusvorm in de gewenste bewegingsrichting. De zijwaartse verplaatsing is van piek tot piek nagenoeg gelijk. Als we kijken naar de positie van de pieken ten opzichte van de x-as, dan zien we wel een verschil. Waar het grondpatroon van de pilotmeting om de breedte-as oscilleert, is dat bij het gesimuleerde grondpatroon niet zo. Daar oscilleert het lichaamszwaartepunt om een lijn die schuin naar linksboven loopt, zoals weergegeven is in figuur 52. De schuinite is berekend volgens onderstaande methode:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) = \arctan\left(\frac{0.1791}{32.5058}\right) = 0.3^\circ$$



Figuur 52. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

Verticale zwarte lijn: verplaatsing in y-richting

Horizontale zwarte lijn: gemiddelde verplaatsing in x-richting

φ : hoek gemiddelde bewegingsrichting met verticaal

assen zijn niet 1:1 geschaald

6. DISCUSSIE

In deze discussie zullen er puntsgewijs onderwerpen besproken die de resultaten van de pilotmeting of de modellen beïnvloed hebben.

VIDEOANALYSE

Bij het skeeleren op de loopband is sprake van twee variabelen die opgelegd kunnen worden, de hellingshoek en de snelheid. Tijdens de pilotmeting mocht de proefpersoon deze variabelen zelf bepalen. Het is te verwachten dat de proefpersoon hier gaat kiezen voor een combinatie waar hij zich comfortabel bij voelt. Waar tijdens het rijden op de weg de propulsiekracht bepalend is voor de snelheid hoeft dit tijdens de meting niet zo te zijn. Het kan voorkomen dat er een propulsiekracht wordt opgelegd met een niet bijpassende snelheid. Het gevolg hiervan dat de hoek van de skate met de rijrichting niet hoeft overeen te komen met de hoek die gehaald wordt tijdens het rijden op asfalt met een bijpassende snelheid.

De verwerking van de pilotmeting van de double push en klassieke techniek is uitgevoerd bij één snelheid en hellingshoek. Waar het te verwachten is dat de efficiëntie van beide technieken afhankelijk is van de snelheid, valt niet te zeggen dat de double push in alle situaties een bijdrage kan leveren aan de voorwaartse snelheid. Wanneer het onderzoek bij meerder snelheden, hoeken en proefpersonen wordt verricht wordt de betrouwbaarheid van de uitspraken groter.

Hetzelfde geldt voor het aantal slagen dat zijn genomen, tijdens het verwerken is een cyclus van acht slagen uitgekozen. Voor een hogere betrouwbaarheid is het aan te bevelen een langere cyclus te bekijken.

De double push laat zich in vele vormen zien tijdens wedstrijden. Tijdens dit onderzoek is niet op zoek gegaan naar een optimum bij deze techniek. Ook is er niet op zoek gegaan naar een variabele die iets zegt over wat nu een “goede” double push is.

Bij het bepalen van de afzetkracht is gebleken dat er niet met zekerheid te zeggen is wat voor krachten er nu werkelijk worden geleverd tijdens de afzet, en dan met name rond de bipedale fase. De vorm van de krachten kwam wel overeen met gemeten afzetkrachten in de literatuur, echter of op deze manier een realistische waarde is gemeten kan niet worden gezegd.

Ook is bij het bepalen van de afzetkracht de hoogte van het zwaartepunt vastgelegd. De verplaatsing in absolute waarde is nog niet hoog te noemen, echter is de verplaatsing in verticale richting bij de double push wel groter dan die bij de klassieke techniek.

MODEL 1

Zoals bij de evaluatie al besproken is, is er geen gebruik gemaakt van de afzetkracht die verkregen is uit de videoanalyse of vanuit de vergelijking van Hill. Echter, het model dient vooral ter illustratie van het verloop van de afzetricting, waarbij het van belang is dat er een snelheid gegenereerd wordt. Aangezien de afzetkracht in het model gevarieerd kan worden (door het percentage van het lichaamsgewicht in Newton dat geleverd wordt te verhogen), is deze beperking geen groot punt van discussie.

MODEL 2

Bij het tweede model valt het op dat de verplaatsing in zowel x- als y-richting onjuist is. De waarden wijken zo veel af van de werkelijkheid, dat dit model als onjuist beschouwd kan worden.

Een grote beperking in het model is de aanname van krachtslevering met slechts de kniestrekkers, waarbij in de verkorting van deze spiergroep geen rekening gehouden is met de bewegingen die plaatsvinden in het heupgewricht (wat een effect heeft op de bi-articulaire m. rectus femoris).

MODEL 3

Het enige punt van discussie van het derde model is dat de gemiddelde afgelegde weg (de stippellijn in figuur 52) niet overeenkomt met de gewenste bewegingsrichting die een verticale lijn voorstelt. De schuinte van de gemiddelde afgelegde weg is echter zeer klein.

THEORETISCH MODEL

Het theoretisch model kent een aantal beperkingen. Zo wordt er geen rekening gehouden met het stuurgedrag van de skeeler ten opzichte van de skeeleraar, er wordt verondersteld dat de skeeler onder een hoek wegloopt bij het lichaam, terwijl in werkelijkheid deze wegliep beperkt wordt door de skeeler steeds meer evenwijdig aan de bewegingsrichting te plaatsen (zoals naar voren gekomen is uit de videoanalyse).

7. CONCLUSIE

Het verslag beschrijft twee fases, namelijk een vergelijking van de double push en klassieke techniek aan de hand van videoanalyse en een modelleringsfase. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke en double pushtechniek.

Uit de vergelijking tussen de klassieke en double pushtechniek is gebleken dat de mediale afzet in de double push een extra kracht levert die bijdraagt aan de propulsiekracht. Deze kracht wordt gegenereerd door de afzet naar mediaal. Het totaal geleverd vermogen van de double push en klassieke techniek zijn echter ongeveer gelijk. Het voordeel van de double push schuilt dus in het verlagen van de piekbelasting. De krachtcomponent van de afzetkracht voor de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt bij de laterale afzet bleek bij de klassieke groter te wezen dan de double push het gevolg is een breder gangpatroon bij de klassieke techniek. Dit terwijl er bij de double pushtechniek toch meer meters worden afgelegd door de skeelers.

Voor het bepalen van de kwantitatieve afzetkrachten en vermogens, dient de methode voor het verkrijgen de afzetkracht gevalideerd te worden en eventueel aangepast te worden. Dit is mogelijk door met een voetzool krachtmeter te meten tijdens het skeeleren. Een aspect wat hiervan belang kan zijn is de ab- en adductiemogelijkheid van het art. coxae tijdens de bipedale fase.

Uit de modelstudie bleek dat de richting van de skate steeds evenwijdiger aan de gewenste bewegingsrichting wordt geplaatst naarmate de snelheid in voorwaartse richting toeneemt. De skate komt echter nooit evenwijdig te staan omdat op een gegeven moment de wrijvingskrachten gelijk zijn aan voorwaartse kracht component.

In het tweede model is gepoogd de kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties te bepalen, dit heeft echter niet geleid tot een realistisch gangpatroon.

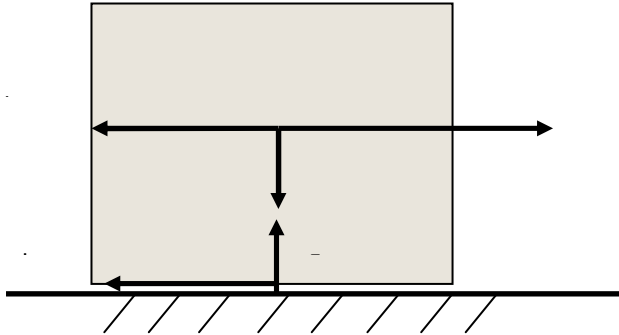
In het derde model is met behulp van de verkregen afzetkracht in x-richting (219 N) en de snelheid in gewenste bewegingsrichting (25 km/h) uit de analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Voor het verkrijgen van een beter model dient er rekening gehouden te worden met de baan van de skate en het lichaamszwaartepunt. De afzetkracht dient door het lichaamszwaartepunt te lopen. Omdat de verandering van de positie van het skate contact en het lichaamszwaartepunt constant varieert is dit een belangrijk aspect is voor het verkrijgen van de snelheid. Wanneer hier de posities en standen van het been ook nog in meegenomen worden, zal de kracht-lengterelatie en kracht-snelheidsrelatie een grotere voorspellende waarde hebben voor de prestaties.

- [1] Publow B. Speed on skates: a complete technique, training and racing guide for in-line and ice skaters. Human Kinetics; 1999
- [2] De Boer RW, Vos E, Hutter W, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice, *European Journal of Applied Physiology* 56 (1987) 562-569
- [3] Oonk HN. Biostatica. Den Haag: Henric Graaff van IJssel; 2004
- [4] Claiborne TL, Timmons MK, Pincivero DM. Test-retest reliability of cardinal plane isokinetic hip torque and EMG, *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2008)
- [5] Hoos O, Hottenrott K, Sommer H. Push-off force in in-line speed skating: magnitude, local distribution under the foot and point of application, *Biomechanics and Sports* 1103 (2001)
- [6] Houdijk H, De Koning JJ, De Groot G, Bobbert MF, Van Ingen Schenau GJ. Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates, *Medicine & Science in Sports & Exercise* (1999) 636-641
- [7] De Koning JJ, De Boer RW, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Push-off force in speed skating, *International Journal of Sport Biomechanics* 3 (1987) 103-109
- [8] Cheng EJ, Brown IE, Loeb GE. Virtual muscle: a computational approach to understanding the effects of muscle properties on motor control, *Journal of Neuroscience Methods* (2000) 117-130
- [9] Hoy MG, Zajac FE, Gordon ME. A musculoskeletal model of the human lower extremity: the effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee and ankle, *Journal of Biomechanics* 23 (1990) 157-169
- [10] Bornhorst WJ, Minardi JE. A phenomenological theory of muscular contraction, *Biophysical Journal* 10 (1970) 155-171
- [11] Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscles, *Journal of Physiology* (1966) 184:170-192
- [12] Askew GN, Marsh RL. Optimal shortening velocity (v/v_{max}) of skeletal muscle during cyclical contractions: length-force effects and velocity-force dependent activation and deactivation, *The Journal of Experimental Biology* 201 (1998) 1527-1540
- [13] Thaller S, Wagner H. The relation between Hill's equation and individual muscle properties, *Journal of Theoretical Biology* 231 (2004) 319-332
- [14] Borg F, Herrala M. The force-velocity relation studied with a pneumatic leg-extension/curl device, Jyväskylä University, 2002
- [15] McLean SG, Van den Bogert AJ. Development and validation of a 3-D model to predict knee joint loading during dynamic movement, *Journal of Biomedical Engineering* 125 (2003) 864-874

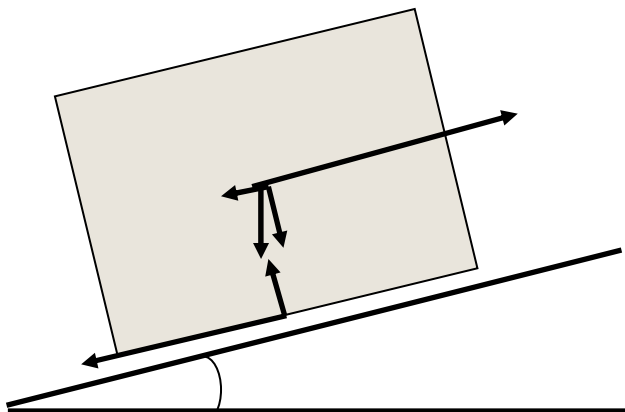
BIJLAGE I: SKEELEREN OP EEN LOPENDE BAND

De pilotmeting is uitgevoerd op een loopband, waar de proefpersoon toch het idee had dat het anders skeeleren is dan tijdens het skeeleren. In dit hoofdstuk zal kort in worden gegaan op het rijden op de lopende band in vergelijking met de weg. Ter vereenvoudiging wordt de skeeleraar opgevat als een blok.



$$F_x = F_{prop} - F_{rol} - F_{luchtw} = 0$$

$$F_y = F_n - F_z = 0$$



$$F_{zl} = \sqrt{F_{zx}^2 + F_{zy}^2}$$

$$F_{xl} = F_{prop} - F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = 0$$

$$F_{yl} = F_n - m * g * \cos(\text{hoek}) = 0$$

Wanneer geldt dat:

$$F_{prop} = -F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = -F_{rol} - F_{luchtw} ,$$

is het rijden tegen een helling op de lopende band mechanisch hetzelfde als rijden op het vlakke waar een luchtweerstand overwonnen dient te worden.

De band heeft echter wel twee variabelen: de snelheid en de hoek zorgen samen voor F_{prop} . Op de weg wordt er een F_{prop} geleverd en daar past de snelheid zich op aan. Lever je minder kracht dan ga je minder hard. Wanneer de lopende band een bepaalde propulsiekracht vraagt maar deze wordt niet geleverd kan dit

resulteren in een verplaatsing op de band, wat de proefpersoon vervolgens weer corrigeert. Het gevolg is dat de proefpersoon telkens zijn eigen propulsiekracht evalueert. In andere woorden bij de lopende band blijven de hoek en snelheid gelijk en dient de persoon zijn F_{prop} er op aan te passen. Hierdoor kan het gebeuren dat de lopende band wordt ingesteld op een hoek die een propulsiekracht vraagt die voor het gevoel van de skeeleraar niet bij de snelheid hoort die de band op dat moment draait. Dit kan onwennig voelen, immers een skeeleraar is er aan gewend dat de snelheid aangepast wordt aan zijn propulsiekracht.

Een ander verschil is dat wanneer de hoek van de lopende band met horizontaal steeds groter wordt, de projectie van het lichaamszwaartepunt meer in de richting van het achterste wiel komt te liggen. Dit geldt alleen wanneer de skater zijn heup-, knie- en enkelhoek niet verandert.

Het lichaamszwaartepunt wordt bij contactfase door ongeveer het midden van de voet geprojecteerd [1]. Bij een voetlengte van 26 cm bij de proefpersoon betekent dus dat een verplaatsing van de projectie van 13 cm een projectie achter het bovenste spronggewricht als gevolg heeft, waardoor de coördinatie van de afzet compleet anders is. Uit de videoanalyse bleek dat het lichaamszwaartepunt zich 1,1 meter boven de grond bevindt.

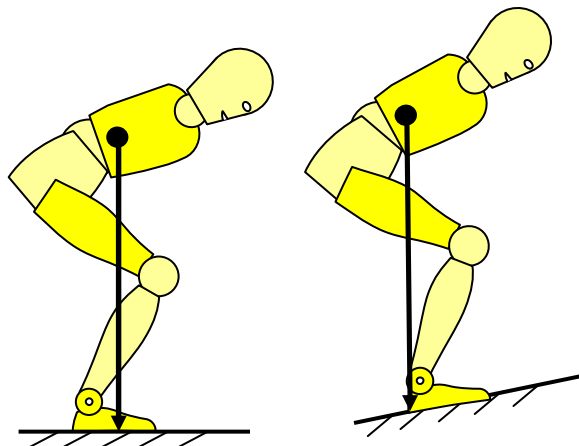
$$projectie = \tan(hoek) * hoogte_{zwp}$$

Dit betekent dat bij een hoek van 6,7 graden de projectie van het lichaamszwaartepunt door de dorsale zijde van de calcaneus gaat.

De hoek van de band is tijdens de videoanalyse ingesteld op 2,5 graden. Dit betekent dat de zwaartepunt projectie 4,8 cm verder naar achter ligt dan bij het skeeleren op de weg. Dit is een aanzienlijke afwijking op de lengte van de voet.

Het bovenste sprong gewricht ligt ongeveer 8 cm naar dorsaal ten opzichte van de projectie van lichaamszwaartepunt op een horizontale ondergrond. Dit betekent dat de momentsarm rond het bovenste spronggewricht in deze situatie 42,5% van normaal is.

Er zal dus zeker een verandering in hoek moeten optreden, dit is zonder problemen te realiseren. Echter, hierdoor veranderen de momentsarmen wel enigszins waardoor de coördinatie een fractie anders is.

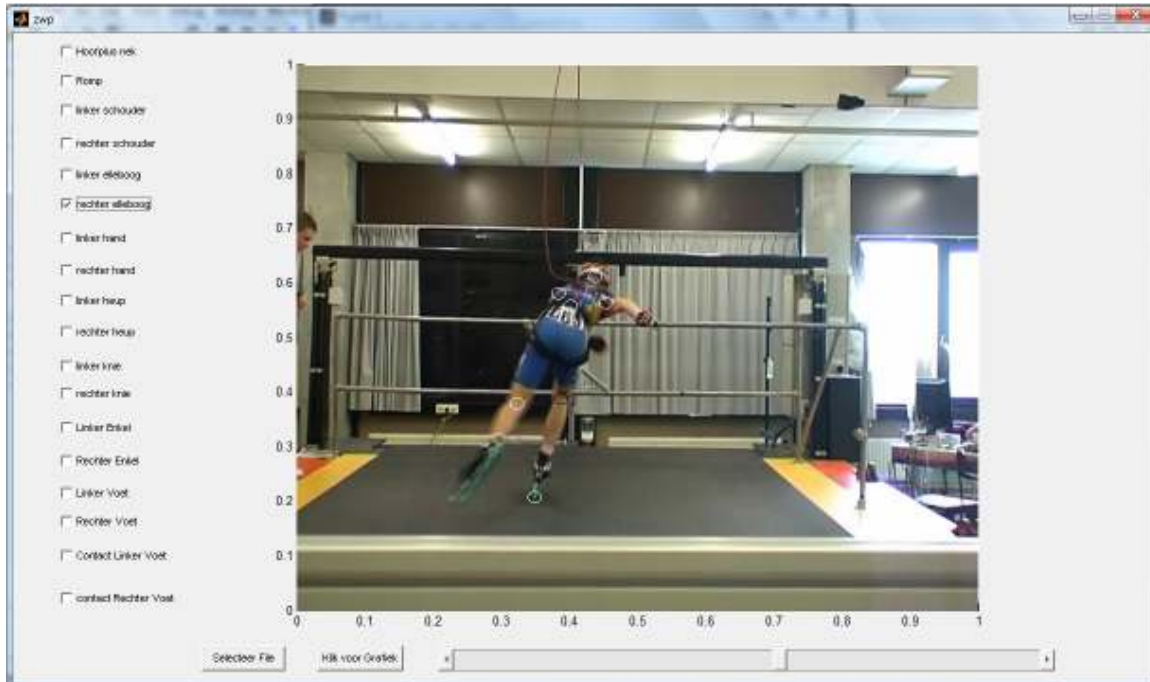


Geconcludeerd kan worden dat de propulsiekrachten en snelheden op de lopende band wel overeen kunnen komen met het skeeleren op de weg. Echter, er wordt wel een andere coördinatie gevraagd en de proefpersoon moet zijn afzetkracht aanpassen op de lopende band en niet andersom.

BIJLAGE II: BESCHRIJVING GUI

Met behulp van Matlab is een programma geschreven, dat de baan van het lichaamszwaartepunt en de voetcontacten op de grond projecteert aan de hand van een video van dorsaal aanzicht van een persoon die zich met een bekende snelheid in voorwaartse richting verplaatst.

Met het programma kan een .avi file ingelezen worden die overeenkomt met de codec op computer. Vervolgens kan naar een vrij te kiezen begin beeld kiezen, door de checkboxen aan te vinken en vervolgens de bijbehorende positie in op het beeld aan te klikken (figuur 53).



Figuur 53. Screenshot GUI

De data wordt weggeschreven naar een bestand en ieder volgend punt dat aangeklikt wordt wanneer de checkbox geselecteerd is wordt in het zelfde bestand onder het vorige coördinaat gezet. Hierdoor ontstaat een matrix van een x- en y-positie van alle punten. Dit geldt voor alle 18 checkboxen.

$$\begin{bmatrix} xcoördinaat & ycoördinaat \\ punt1 & punt1 \\ punt2 & punt2 \end{bmatrix}$$

Door de frequentie van de videobeelden in te voeren is de tijd tussen de beelden te bepalen. Wanneer de snelheid constant en bekend is, is het mogelijk de afstand tussen de punten berekenen.

Voor de bepaling van de kwantitatieve afstand afgelegd in de zijwaartse richting dient een afstand in het beeld bekend te zijn. Met behulp van de volgende vergelijking wordt door middel van ijking de grote van een pixel bepaald.

$$\frac{\text{bekende } s}{\text{aantal pixels}} = \text{factor}$$

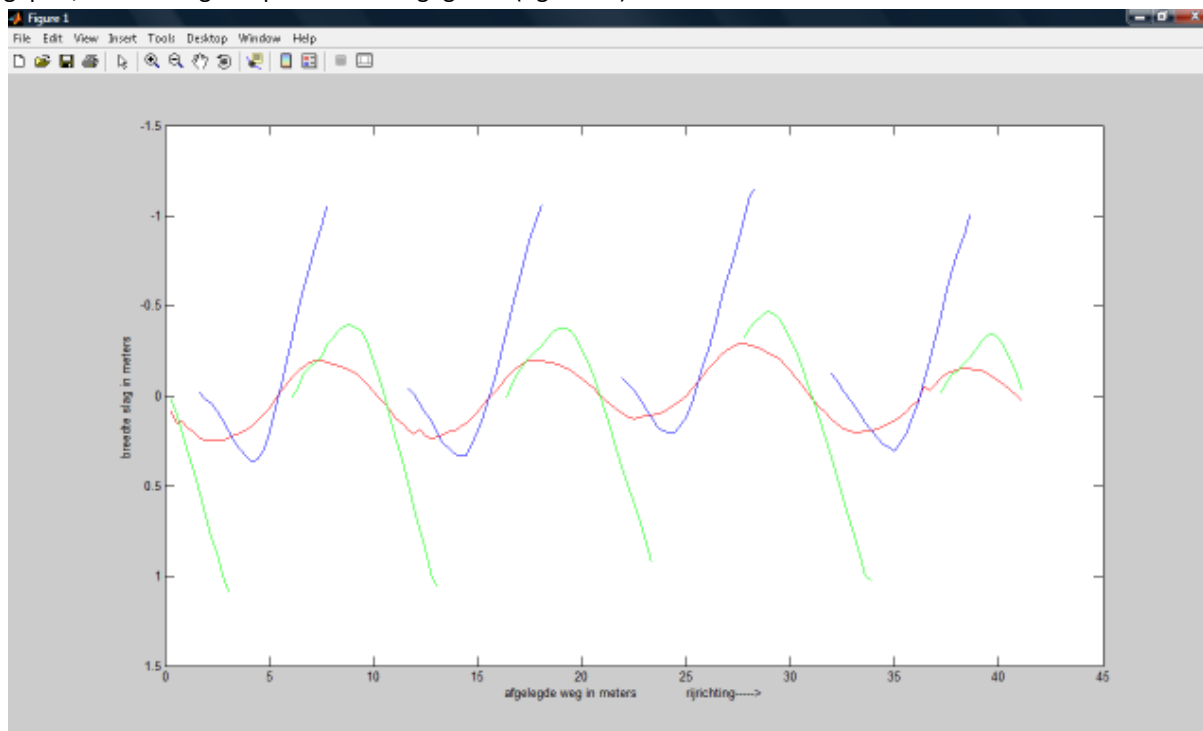
Door de data te vermenigvuldigen met deze factor worden de coördinaten omgezet in meters.

Het lichaamszwaartepunt wordt bepaald met de coördinaten van alle ledematen en de massa's van de ledematen verkregen uit de reader van Bert Broeren: Antropometrie.

$$\frac{\sum massa_{i+n} * coördinaat_{i+n} + \dots}{totale\ massa} = coördinaat\ lichaamszwaartepunt$$

Het programma doet dit voor alle rijen, in de matrix ontstaat een zelfde soort matrix met de posities van het zwaartepunt.

Wanneer de momenten dat de skate contact maakt met de grond wordt ook aangeklikt en naar een matrix geschreven worden. Als de matrices van de contactpunten en het zwaartepunt samen in een grafiek worden geplot, wordt het grondpatroon weer gegeven (figuur 54).



Figuur 54. Grondpatroon lichaamszwaartepunt en contacten skates

Met behulp van deze verkregen data zijn vervolgens meer gegevens te bepalen.

AFSTUDEERSCRIPTIE SKEELEREN

NADER ONDERZOCHT:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

Juni 2009

AFSTUDEERSCRIPTIE **SKEELEREN**

NADER ONDERZocht:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

1^e begeleider: T. Gerbrands

2^e begeleider: H. Faber

Juni 2009

VOORWOORD

Dit verslag is geschreven in het kader van het afstudeertraject van de opleiding Bewegingstechnologie.

Het verslag is met name bestemd voor de examencommissie, maar zeer zeker ook voor geïnteresseerden in de skeelersport die meer inzicht willen krijgen in de biomechanische principes bij het skeeleren, en dan met name over de verschillen en overeenkomsten tussen de klassieke techniek en double pushtechniek.

Tot slot willen wij nog enkele personen bedanken voor hun input en steun tijdens het afstudeertraject.

Allereerst gaat onze dank uit naar Tim Gerbrands, die een rustpunt voor ons vormde, waardoor we telkens duidelijk hebben kunnen analyseren waar we stonden en op welke manieren we verder konden gaan met het analyseren en modelleren. Tevens willen we hem bedanken voor de hulp bij de pilotmeting.

Ook gaat onze dank uit naar Herre Faber, die ons inzicht verschaft heeft in de afzetprincipes bij het schaatsen en skeeleren. Ook was zijn hulp bij het gebruik van Matlab als hulpmiddel om de data te analyseren een welkome bijdrage aan het project.

Den Haag, juni 2009

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	6
Symbolenlijst	7
1. Inleiding	8
2. Analyse	9
Ganganalyse	9
Houding	9
Gangcyclus	10
Biomechanische eigenschappen.....	10
Gangpatroon.....	11
Gangpatroon Klassiek	11
Contactfase.....	11
Bipedale rolfase	11
Unipedale rolfase.....	12
Afzetfase	12
Zwaai fase	13
Bijhaalfase	13
Rustfase	13
Plaatsingsfase	14
Gangcyclus	15
Gangpatroon double push.....	16
Contactfase.....	16
Mediale afzetfase	16
Rol-/trekfase.....	17
Gangcyclus	18
Grondpatronen videoanalyse.....	19
Positie lichaamsswaartepunt ten opzichte van de contactpunten	20
Klassieke techniek.....	20
Double push.....	22
Abducerende adducerende mogelijkheden tijdens de glijfases.....	23
Vergelijking klassiek en double push	24
Propulsiekrachten.....	26
X-component afzetkracht	28
Vermogen	29
Piekvermogen	30
X-component vermogen	30
Evaluatie en terugkoppeling.....	31
Afzetkracht	32
Vermogen	34
Theoretisch model.....	35
Wrijvingskrachten.....	39
Spiereigenschappen	41
Factoren voor spierkracht	41
Kracht-lengterelatie.....	42
Kracht-snelheidsrelatie.....	45
3. Pakket van voorwaarden	47
Voorwaarden	47

4.	Modelmatige simulaties	48
	Model 1: Krachtrichting bij versnellen vanuit stilstand	48
	Model 2: Verplaatsing bij versnellen vanuit stilstand	50
	Model 3: Toevoeging van gelijkblijvende snelheidsvector	51
5.	Evaluatie	52
	Toe-off voor afzet	52
	Wrijvingskrachten	52
	Afzetkracht	53
	Resultaat	54
6.	Discussie	55
	Videoanalyse	55
	Model 1	55
	Model 2	56
	Model 3	56
	Theoretisch model	56
7.	Conclusie	57
	Literatuur	58
	Bijlagen	59
	Bijlage I: Skeeleren op een lopende band	59
	Bijlage II: Beschrijving GUI	61

SAMENVATTING

Dit verslag beschrijft een onderzoek naar de verschillen van een steeds meer voorkomende techniek in de skeelersport, de double push. Omdat er weinig wetenschappelijke literatuur geschreven is over de double pushtechniek, wordt de techniek vergeleken met de klassieke skeelertechniek. Voor een beter inzicht in de technieken wordt een modelstudie gedaan naar de mechanische basisprincipes van het skeeleren.

Dit onderzoek heeft als doel het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke techniek en double pushtechniek. Met behulp van Matlab 7.6 zijn drie modellen vervaardigd, de input voor de modellen komt uit de ganganalyse van de double push en klassieke techniek.

Uit de analyse naar de geleverde afzetkrachten en vermogens bij de double push en klassieke techniek bleek dat beide technieken ongeveer eenzelfde vermogen leveren. De double pushtechniek verdeelt de kracht echter over twee opeenvolgende afzetten waardoor de piekbelasting lager is. De klassieke techniek bleek echter een grotere krachtcomponent te hebben die ten goede komt aan de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt. De methodes die zijn toegepast voor het berekenen van de grootte van de krachten en vermogen vragen echter om een validatie.

Om de mogelijke strektijden en afzetkrachten te bepalen voor het model is gekeken naar de spierfysiologie. Aan de hand van kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties zijn functies opgesteld voor de strekkracht.

De modelleringsfase heeft tot verschillende resultaten geleid.

Het eerste model beschrijft de krachtrichting bij het versnellen uit stilstand. Dit model berekent telkens de optimale afzethoek voor het verkrijgen van de meeste voorwaartse snelheid aan de hand van krachtvector analyse verkregen uit de mechanische basisprincipes. Uit het model bleek dat naarmate de snelheid toenam de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. Op een gegeven moment zal de afzetkracht geen snelheid meer toe kunnen voegen omdat de wrijvingskracht niet meer overwonnen kan worden.

Het tweede model beschrijft de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens het versnellen vanuit stilstand. Door de afzetkracht telkens voor een kleine tijdsinterval te bepalen, hier uit blijkt dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. De afwijking hiervan is zo groot dat dit model als incorrect beschouwt kan worden.

In het derde model, is met behulp van de verkregen afzetkracht (219 N) en snelheid (25 km/h) uit de afzetkracht analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Uit het onderzoek is gebleken dat de double push een voordeel heeft ten opzichte van de klassieke techniek. Over de precieze waarden zijn geen uitspraken te doen, hiervoor dient de methode voor het bepalen van de afzetkracht gevalideerd te worden. De modellen beschrijven de basisprincipes van het ontstaan van de baan van het lichaamszwaartepunt. Voor een verbetering van de voorspellende waarde van de modellen dienen de posities van het lichaamszwaartepunt en skatecontact meegenomen te worden.

SYMBOLENLIJST

Symbol	Betekenis	Eenheid
a	Indien gebruikt in de formule voor F_{Hill} : Hill-constante voor de isometrische kracht van een spier	N
	In alle andere gevallen: versnelling	m/s^2
A	Frontaal oppervlak	m^2
b	Hill-constante voor de maximale contractiesnelheid van een spier	m/s
c	Hill-constante voor het maximale vermogen dat door een spier geleverd kan worden	W
c_r	Rolweerstandcoëfficiënt, vormafhankelijk	-
c_w	Weerstandswaarde, vormafhankelijk	$\text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$
dx	Vershil in positie in x-richting	m
dy	Vershil in positie in y-richting	m
F	Kracht	N
F_{Hill}	Kracht, gedefinieerd volgens Hill	N
F_r	Reactiekracht ten gevolge van de afzetkracht	N
F_{res}	Resulterende kracht, kracht die overblijft na optellen van alle heersende krachten	N
F_w	(Totale) Wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{lucht}}$	Lucht wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{rol}}$	Rolwrijvingskracht	N
g	Zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
h	Heupbreedte	m
l	Spierlengte	m
m	Massa	kg
p	Dichtheid van het medium waardoor verplaatst wordt	
P	Vermogen	W
p_{lat}	Coëfficiënt die het percentage van het lichaamsgewicht men gebruikt bij het afzetten	-
r	Momentsarm	m
s	Beenlengte in het bovenaanzicht	m
s_x	Verplaatsing in x-richting	m
s_y	Verplaatsing in y-richting	m
T	Afzettijd, tijd waarin men afzetkracht levert	S
v	Snelheid	m/s
φ	Hoek	°
ω	Hoeksnelheid	°/s

1. INLEIDING

Toen Chad Hedrick in 1992 ten tonele kwam met de double push en veel wedstrijden ging winnen werd de double pushtechniek toegepast over de hele wereld. Tegenwoordig is er bijna geen wedstrijdrijder meer die zonder een vorm van double push rijdt. De double push wordt uitgevoerd in verschillende stijlen en iedereen heeft hier zijn of haar mening over.

Er is geen wetenschappelijke literatuur beschikbaar over waarom de double push nu de voorkeur heeft boven de klassieke techniek.

In dit onderzoek worden daarom bepaalde aspecten van de double push en klassieke techniek behandeld en vergeleken. Met behulp van modelmatige voorstellingen van het afzetmechanisme en ganganalyses zullen deze aspecten geanalyseerd worden.

Skeeleraars en trainers interpreteren de double pushtechniek allemaal anders en de meningen erover verschillen van persoon tot persoon. Er is echter geen duidelijkheid over wat het voordeel van de double push is ten opzichte van de klassieke techniek, en of er überhaupt wel een voordeel is.

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen tussen de klassieke en double pushtechniek.

Hiervoor kunnen de volgende deelvragen gesteld worden:

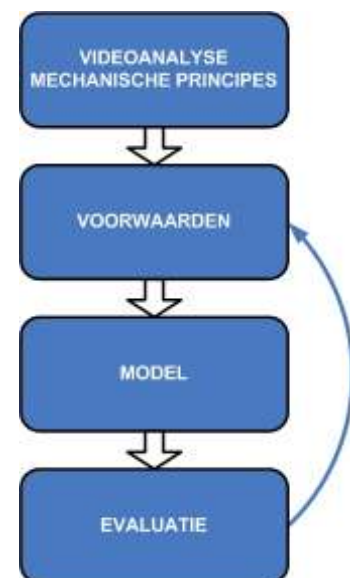
- Hoe ziet het gangpatroon eruit?
- Welke techniek heeft de voorkeur?
- Welke variabelen spelen een rol bij het uitvoeren van de beweging?
- Hoe wordt de voorwaartse snelheid gegenereerd?

In de analysefase zal allereerst in worden gegaan op enkele biomechanische principes die van toepassing zijn op de twee skeelertechnieken. Aan de hand van een videoanalyse zullen zowel de klassieke techniek als de double pushtechniek met elkaar vergeleken worden om vervolgens aan de hand van de verkregen data een uitspraak te doen over welke techniek kan leiden tot een verbetering van de prestatie. Ook zal gekeken worden naar enkele spierfysiologische aspecten. Met de verkregen gegevens zullen voorwaarden gesteld worden waar het model moet voldoen.

In de modelleringsfase wordt aan de hand van de gestelde voorwaarde enkele modellen vervaardigd die een voorspelling doen over hoe het grondpatroon er uit komt te zien bij een verandering van variabelen.

De modellen die vervaardigd zijn zullen aan de hand van het gangpatroon in de analyse worden getest.

Terugkoppeling naar de in de analyse opgedane kennis en de daaruit komende voorwaarden zal plaatsvinden tijdens de evaluatiefase.



2. ANALYSE

In deze analyse zal de praktische analyse naar het verschil in klassieke techniek en double pushtechniek bij het skeeleren besproken worden. Tevens zal het theoretische model besproken worden, dit model is in een latere fase gebruikt bij het simuleren van het afzetten bij skeeleren.

GANGANALYSE

Om duidelijkheid te scheppen over wat er in welke fases gebeurt zal in dit hoofdstuk het algemene gangpatroon van de klassieke en de double push worden beschreven.

HOUDING

De basishouding voor de klassieke techniek is samen te vatten in vijf punten [1], zie ook figuur 1:

- Voeten op schouderbreedte
- Voeten zo veel mogelijk naar voren gericht
- Kniehoek van ongeveer 100 graden
- Romphoek ten opzichte van horizontaal 30 tot 45 graden met licht gebolde wervelkolom
- Projectie van het lichaamszwaartepunt ligt ongeveer $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{2}$ voetlengte voor de dorsale zijde van de calcaneus

Voor de double pushtechniek gelden in principe dezelfde richtlijnen, alleen de kniehoek zal bij double push groter zijn (kniehoek van ongeveer 110 graden).



shouding [1]

GANGCYCLUS

Het skeeleren met de klassieke techniek heeft veel weg van de schaatstechniek zowel biomechanisch als fysiologisch [2].

Voor een beter beeld van de gangcyclus dienen eerst een paar biomechanische eigenschappen van het skaten begrepen te worden.

Biomechanische eigenschappen

De volgende tekst is verleend aan H.N. Oonk [3].

Bij skeeleren wordt niet afgezet tegen een stilstaande ondergrond. De skeeler rolt mee in de bewegingsrichting van de skeeleraar. Toch moet met de skeeler, die een minimale glijdende wrijving heeft, worden afgezet. De skeeler moet dus vooruit rollen terwijl tegelijkertijd een kracht op de skeeleraar moet werken die een component heeft in de rijrichting. Dit bereikt de skeeleraar door zijn afzetkracht haaks op de bewegingsrichting van de skeeler te richten. Deze kracht zal ongeveer door het lichaamszwaartepunt moeten gaan omdat er anders te veel compensatoire bewegingen van lichaamsdelen moeten optreden om toch in evenwicht te kunnen blijven. Waar de luchtweerstand en de rolweerstand overwonnen moeten worden en elke afzet wordt versneld, moet de propulsiekracht een component hebben in de rijrichting. De afzet moet dus zodanig gericht zijn dat de skeeler doorgaat met rollen terwijl er een voorwaartse component op de afzetskeeler werkt. Vandaar dat tijdens het afzetten de skeeler een hoek moet maken met de rijrichting, omdat er anders geen krachtcomponent in de rijrichting aanwezig is. Dit principe geeft de mogelijkheid dat met skeeleren een hogere snelheid bereikt kan worden dan bijvoorbeeld met hardlopen. Bij hardlopen loopt het afzetpunt niet mee met het zwaartepunt en zal de snelheid voorwaarts nooit groter worden dan de snelheid waarmee het art. coxae geretroflecteerd kan worden. Door het meelopen van de afzetskeeler hoeft er telkens maar een kleine component in voorwaartse richting geleverd te worden om op snelheid te blijven. Om het meelopen van de afzetskeeler en de toegevoegd voorwaartse component te realiseren, dient er ook een component in zijwaartse richting te zijn. De sinusvormige baan die het zwaartepunt daardoor beschrijft is typerend voor het skaten. De hoek waar onder afgezet dient te worden is afhankelijk van de snelheid, dit principe wordt verder beschreven bij het theoretische model (vanaf pagina 35).

Voorwaarden:

- **De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht**
- **De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt**
- **De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting**

GANGPATROON

Tijdens het skeeleren bevinden de voeten zich afwisselend op de ondergrond (contactfase) en los van de ondergrond (zwaai fase). De fases zijn elk weer onder te verdelen in verschillende kortere fases. Er is een complete afzetcyclus is beschreven vanaf het moment dat skatecontact plaats vindt van het rechterbeen.

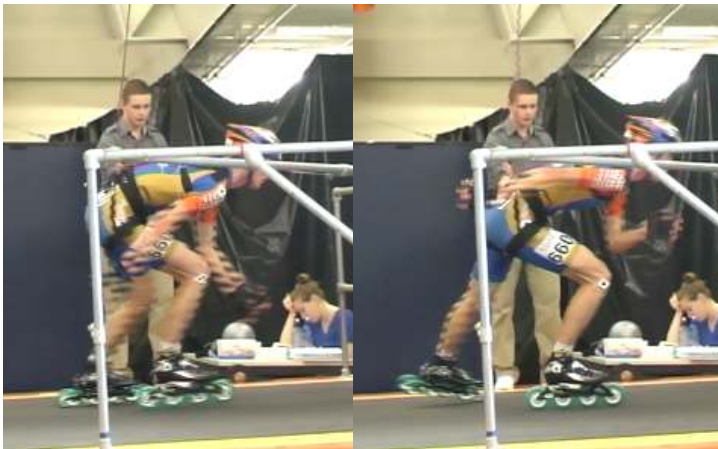
Gangpatroon Klassiek

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is onder te verdelen in drie verschillende fases.

Bipedale rolfase

Deze fase (figuur 2) is gedefinieerd als het moment dat de rechter skate wordt neergezet en met alle vier of vijf wielen (afhankelijk van het type skeeler) de grond raakt (skatecontact) tot het moment van toe-off van het linkerbeen. In sommige gevallen treedt er eerst een hielcontact op, dit is niet altijd het geval. Daarom wordt volledig contact beschouwd als het eerste contact. Tijdens deze fase vindt voornamelijk een abductie en retroflexie in het art. coxae plaats en een extensie in het art. genus en bovenste spronggewricht plaats. In deze fase wordt het zwaartepunt boven het nieuwe standbeen geplaatst.



Figuur 2. Bipedale rolfase

Links: skatecontact rechts

Rechts: toe-off links

Unipedale rolfase

De unipedale fase (figuur 3) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het linker afzetbeen tot het moment dat het contactpunt van het rechterbeen lateraal van het zwaartepunt komt te liggen. Tijdens deze fase vindt er voornamelijk een lichte abductie plaats in het art. coxae.



Figuur 3. Sagittaal en dorsaal aanzicht unipedale rolfase

Afzetfase

De afzetfase (figuur 4) begint bij het eindigen van de unipedale rolfase van het rechterbeen en eindigt bij toe-off van het rechter afzetbeen. Gedurende deze fase vindt er ten opzichte van de romp voornamelijk een retroflexie, abductie plaats in het art. coxae plus een extensie in het art. genus en een plantairflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 4. Dorsaal en sagittaal aanzicht afzetfase

Zwaaifase

De zwaaifase is de fase dat het been geen contact maakt met de ondergrond, deze fase is onder te verdelen in drie fases.

Bijhaalfase

De bijhaalfase (figuur 5) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechterbeen tot rustmoment van het rechterbeen (het moment dat het been stil hangt ten opzichte van de romp). Tijdens deze fase vindt voornamelijk een adductie en anteflexie plaats in het art. coxae en een flexie in het art. genus en een dorsaalflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 5. Bijhaalfase

Links: toe-off rechts

Rechts: rustmoment rechts

Rustfase

De rustfase (figuur 6) is gedefinieerd als het einde van de bijhaalfase tot het moment dat door de anteflexie in het art. coxae de rechter knie dorsaal en mediaal van de linkerart. genus komt. De rustfase is niet altijd aanwezig. Dit is afhankelijk van het slagritme, hoe hoger het ritme des te korter de rustfase. De rustfase kenmerkt zich door een afhangend been ten opzichte van het art. coxae en een flexie in het art. genus. Gedurende deze fase vindt er geen verplaatsing van plaats van het rechterbeen ten opzichte van de romp.



Figuur 6. Dorsaal en sagittaal aanzicht rustfase

Plaatsingsfase

De plaatsingsfase (figuur 7) is gedefinieerd als het einde van de rustfase tot skatecontact. Tijdens deze fase wordt het been voornamelijk met behulp van een anteflexie in het art. coxae naar ventraal gebracht tevens vindt er een flexie plaats in het art. genus.



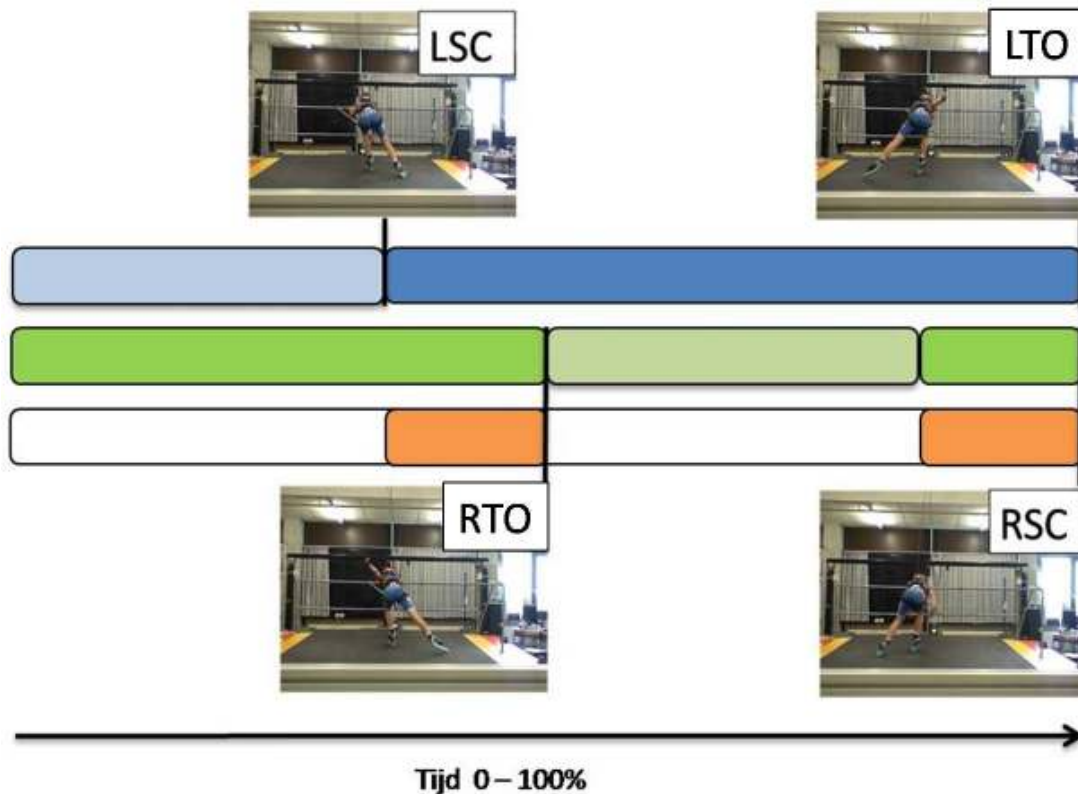
Figuur 7. Bijhaalfase

Links: rustfase rechts

Rechts: skatecontact rechts

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden. Het dient opgemerkt te worden dat het skeeleren op een lopende band voor de proefpersoon niet geheel te vergelijken is met skeeleren op asfalt. Dit heeft vermoedelijk te maken met de positie van het lichaamszwaartepunt ten opzichte van het steunvlak en het moeten aanpassen van de afzetkracht aan de snelheid en hellingshoek, in plaats van dat de snelheid zich aanpast aan de afzetkracht. Het gevolg hiervan zullen kleine verschillen zijn in afzettijden en rustfases [zie bijlage I].



	Grondcontact linker skate	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate	LTO	Linker toe-off
	Bipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Unipedale fase	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase links		
	Zwaai fase rechts		

Figuur 8. Gangcyclus klassiek techniek

Gangpatroon double push

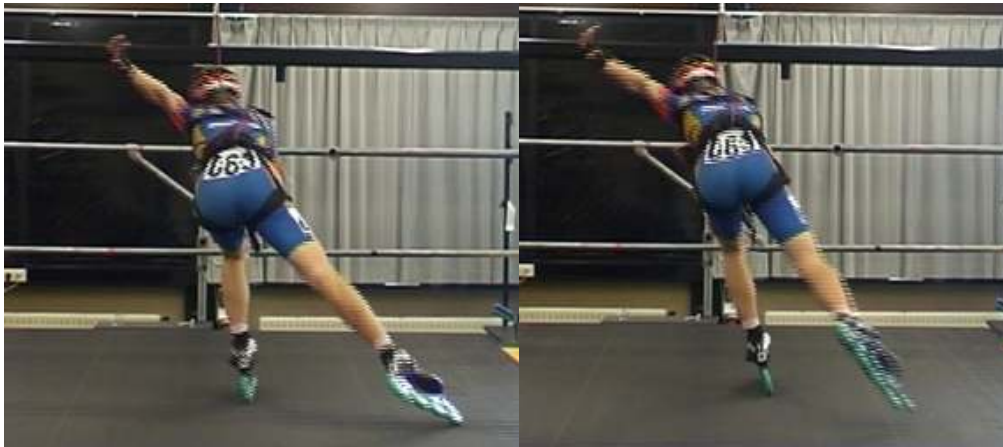
De gangcyclus van de double push heeft veel weg van de klassieke techniek, op een paar essentiële verschillen na. Bij de beschrijving van de gangcyclus zal daarom ingehaakt worden op het beschreven gangpatroon van de klassieke techniek.

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is bij de double push onder te verdelen in vier verschillende fases.

Mediale afzetfase

De mediale afzet (figuur 9) volgt de bipedale rolfase op. De mediale afzetfase is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechter afzetbeen tot het moment dat er een richtingsverandering van mediaal naar lateraal plaatsvindt van het linker afzetbeen (mediale eindstand). Gedurende deze fase vindt er voornamelijk adductie in het art. coxae plaats en een overhelling van de romp naar de laterale zijde van het mediale afzetbeen. Ook is er een lichte extensie in het linker art. genus.



Figuur 9. Mediale afzetfase

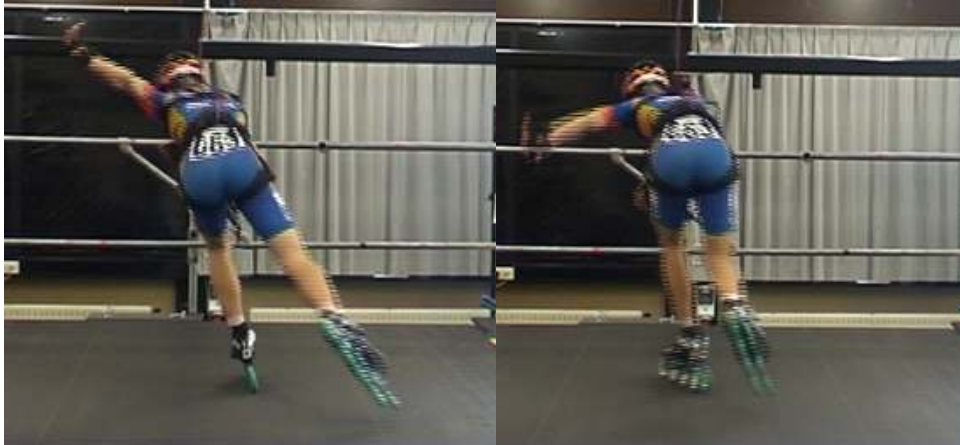
Links: toe-off rechter afzetbeen

Rechts: Verplaatsing linkerbeen naar mediaal

Rol-/trekfase

De rolfase (figuur 10) is gedefinieerd als het moment van mediale eindstand tot het moment dat het contactpunt van het linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt komt te liggen.

De rolfase bij de double push is te zien als een herstelfase waarin het linker afzetbeen weer het standbeen wordt zonder contact met de grond te verliezen. De rolfase wordt weer opgevolgd door de laterale afzetfase.



Figuur 10. Rol-/trekfase

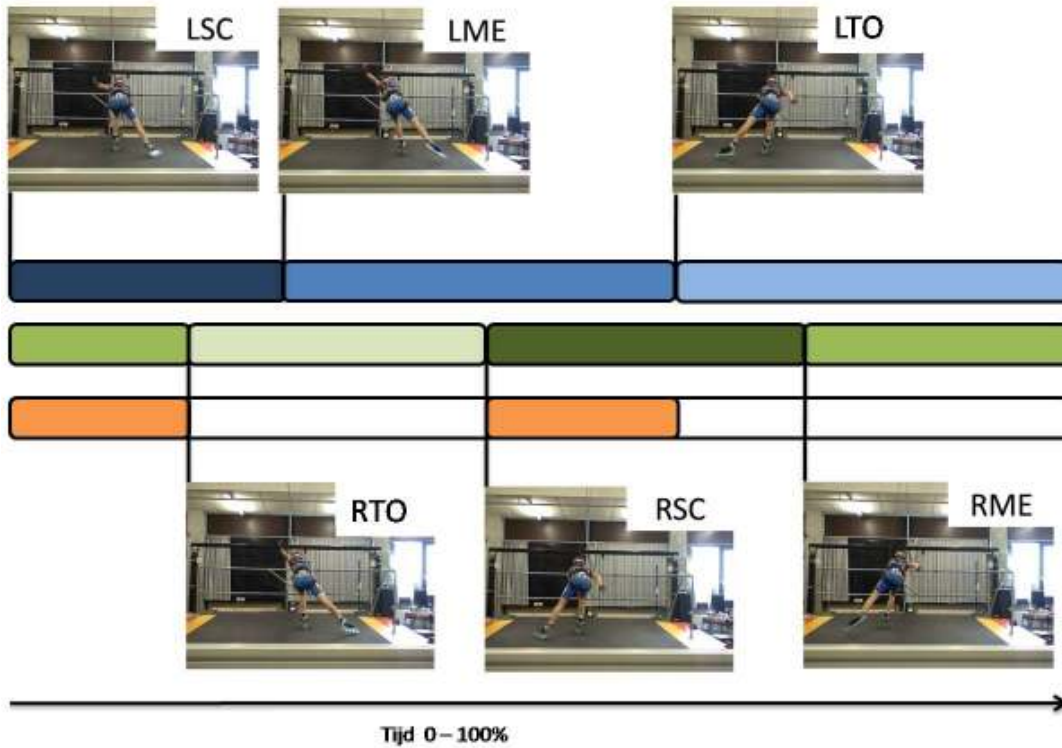
Links: mediale eindstand linkerbeen

Rechts: contactpunt linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt

De glij-/trekfase en de mediale afzetfase zijn de enige verschillen van het gangpatroon van de double push ten opzichte van het klassieke gangpatroon.

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden.



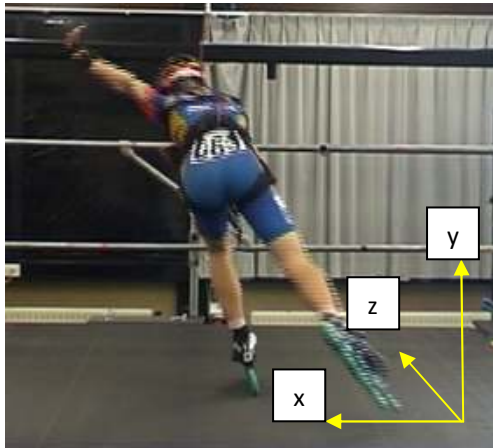
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in laterale richting	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in laterale richting	LME	Linker mediale eindstand
	Bipedale fase	LTO	Linker toe-off
	Unipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Zwaai fase links	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase rechts	RME	Rechter mediale eindstand
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in mediale richting		
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in mediale richting		

Figuur 11. Gangcyclus double push

GRONDPATRONEN VIDEOANALYSE

Voor het verkrijgen van de gegevens van de afzetlengtes (afstand die de skate aflegt) en -tijden om in latere fase het model te testen, is een pilotmeting gedaan. Een landelijk B-rijder die tot in zekere mate de double push beheerst is getest.

De meting is uitgevoerd op de lopende band van de Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit Bewegingswetenschappen. Een camera is dorsaal van de proefpersoon geplaatst, de andere sagittaal. De data uit de videoanalyse is verwerkt met behulp van een GUI (Graphical User Interface) in Matlab. Een beschrijving van deze verwerking vindt u in bijlage II.



Figuur 12. Assenstelsel zoals gebruikt in de GUI

In deze GUI is het mogelijk alle gewrichten en de contactpunten van de skeelers aan te klikken. Vervolgens berekent de GUI de positie van het lichaamszwaartepunt op de x-as. Omdat de snelheid van de loopband bekend is, is het mogelijk de aangeklikte punten weg te zetten over een afstand in de z-as. Deze waarden worden weggeschreven in de volgende matrix (figuur 13):

Y beeld 3	X beeld 3
Y beeld 2	X beeld 2
Y beeld 1	X beeld 1

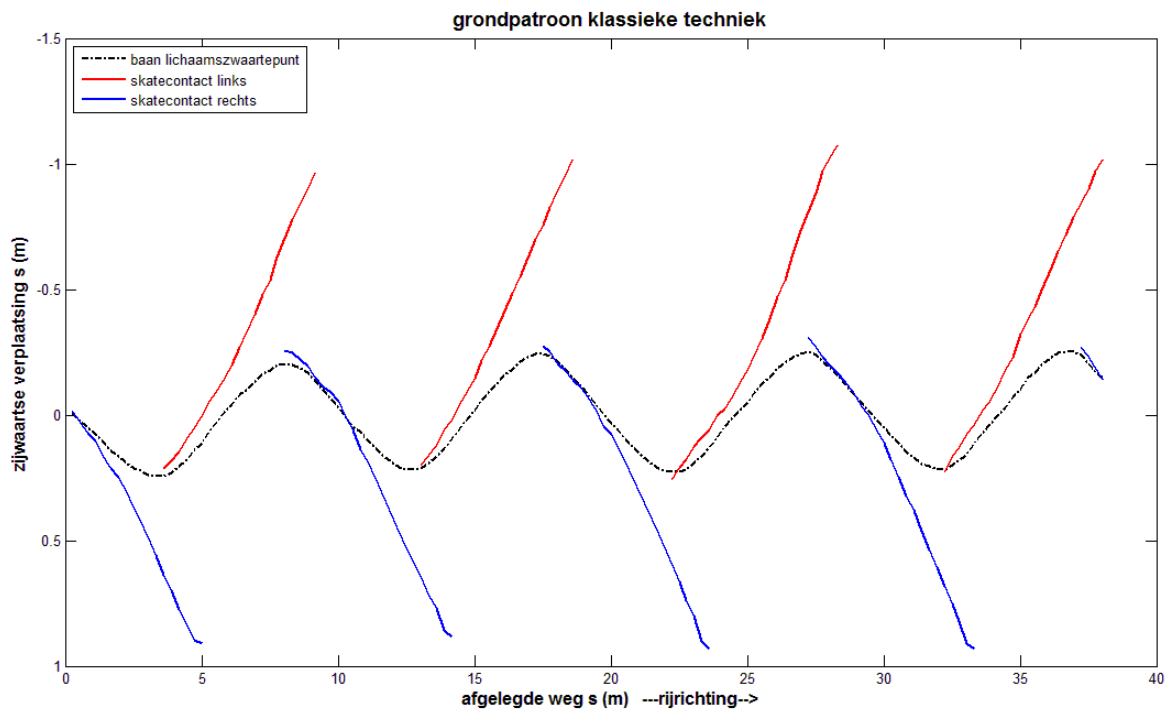
Figuur 13. Matrix voor wegschrijven data

Door de z-richting tegenover de x-richting te plotten ontstaat er een projectie van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten op de grond. De sinusvormige curve die het lichaamszwaartepunt beschrijft is geplaatst op een centerline op de x-as bij 0 met behulp van een correctiefactor (gemiddelde waarde van x). Dit betekent dat aan één kant de verplaatsing negatief is en aan de andere zijde positief. Met behulp van dit grondpatroon zijn een aantal gegevens bepaald:

- Positie lichaamszwaartepunt ten opzichte van de contactpunten
- Afzetlengtes en -tijden
- Snelheden en versnellingen van het lichaamszwaartepunt en contactpunten gedurende de cyclus
- Slagfrequentie

POSITIE LICHAAMSZWAARTEPUNT TEN OPZICHTE VAN DE CONTACTPUNTEN

Klassieke techniek



Figuur 14. Grondpatroon klassieke techniek

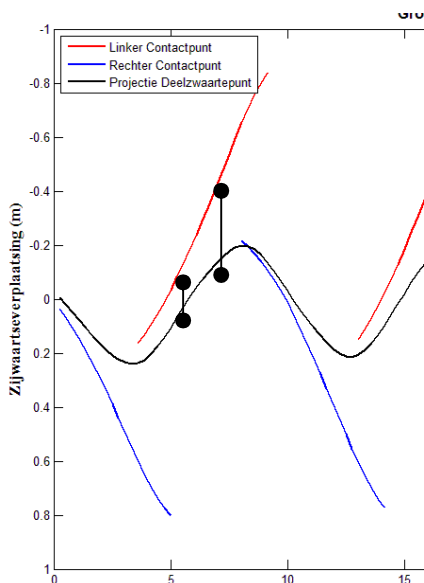
Rood: contacten linker skate

Zwart: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

In figuur 14 en 15 is de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en het skatecontact, geprojecteerd op de ondergrond, weergegeven. In het patroon is te zien dat het skatecontact altijd plaats vindt in de buurt van het zwaartepunt.

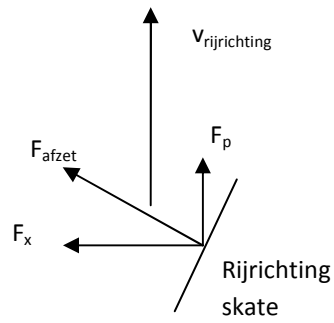


Figuur 15. Zijwaartse verplaatsing skate bij klassieke techniek

Zwarte lijn tussen bollen: afstand tussen skate en projectie lichaamszwaartepunt

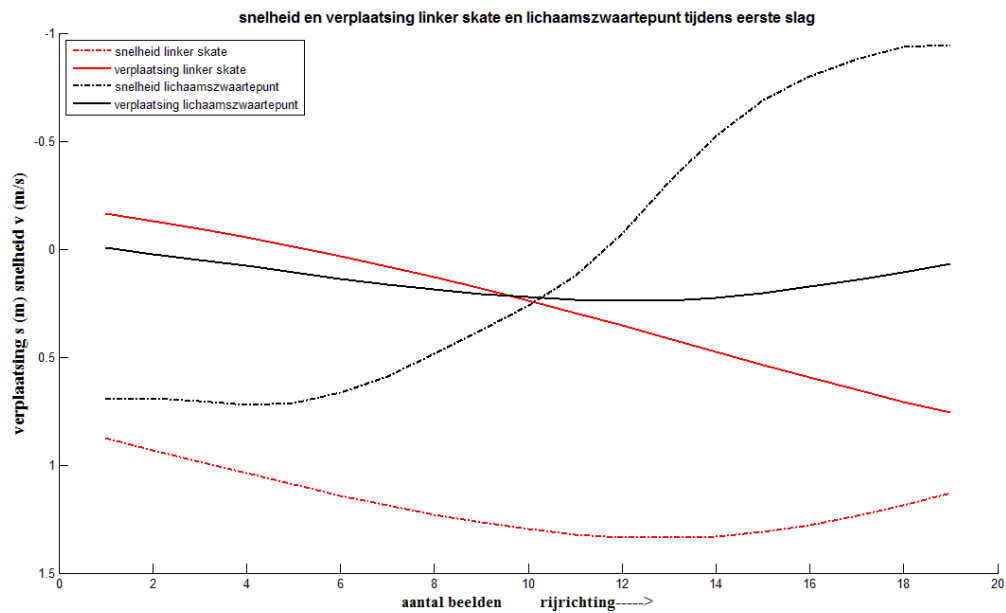
Een andere opmerkelijke constatering is dat de zijwaartse verplaatsing van de skate vrijwel na skatecontact groter is dan die van het lichaamszwaartepunt. Naarmate de voorwaartse verplaatsing toeneemt wordt het verschil in verplaatsing in zijwaartse richting steeds groter ten opzichte van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt, waarvoor de volgende verklaring is:

Met een extensie in het art. coxae en art. genus is het mogelijk om het lichaamszwaartepunt te verplaatsen ten opzichte van het contactpunt. Dit aspect kan alleen maar plaatsvinden na het moment van toe-off. Voor die afzet is het noodzakelijk dat de skate onder een hoek staat ten opzichte van de rijrichting (zie pagina 35 en 36). Hierdoor behoudt de skate zijn rijrichting en verandert de richting van het lichaamszwaartepunt.



Figuur 16. Richting afzetkracht
Rechts: assenstelsel

De verandering van verplaatsingssnelheid van het lichaamszwaartepunt vindt pas plaats op het moment dat de toe-off nadert (figuur 17).



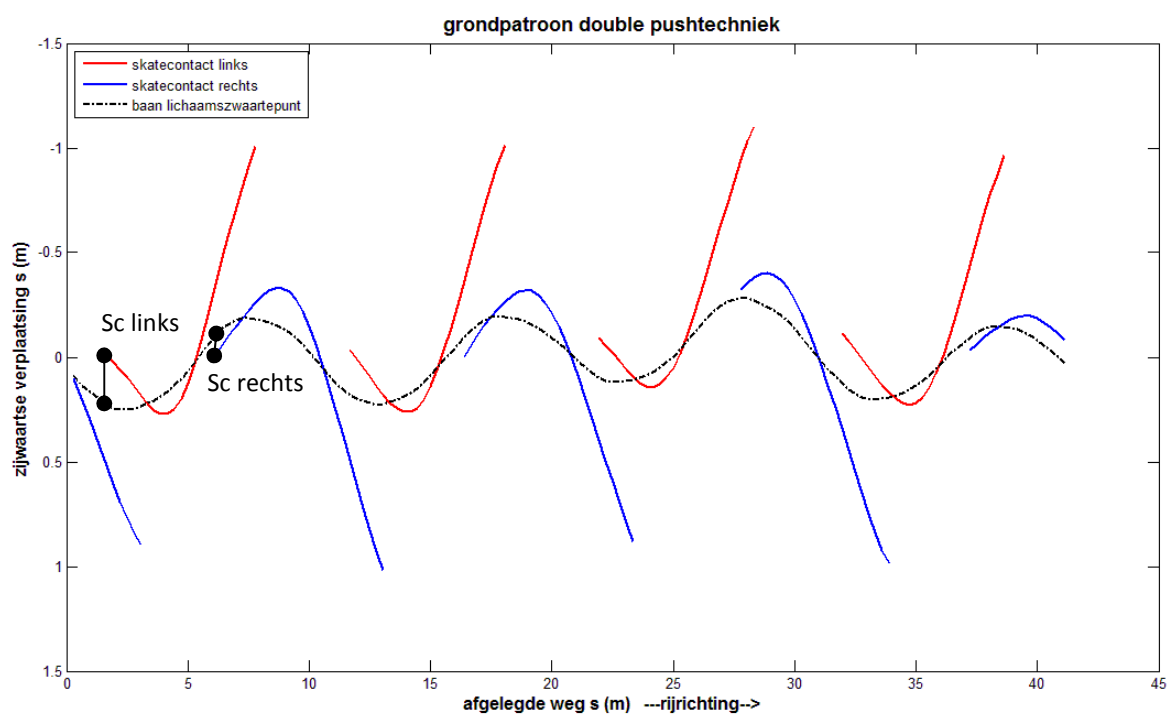
Figuur 17. Snelheid en verplaatsing linker skate en lichaamszwaartepunt
Rood, streep en punt: snelheid linker skate
Rood: verplaatsing linker skate
Zwart, streep en punt: snelheid lichaamszwaartepunt
Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

In de hiervoor behandelde aspecten is alleen uitgegaan van de extensiemogelijkheden in de heup en knie, en is er geen rekening gehouden met de abducerende kracht van de m. gluteus medius. Op pagina 23 en 24 zal hier verder op in worden gegaan.

Voorwaarde:

- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt.
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven.

Double push



Figuur 18. Grondpatroon double pushtechiek

Rood: contacten linker skate

Zwart, streep en punt: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

Het gangpatroon van de double push van deze proefpersoon is niet helemaal symmetrisch. Het linker skatecontact (zie Sc links in figuur 18) vindt verder van het zwaartepunt plaats dan het rechter (Sc rechts in figuur 18). Het gevolg is dat bij het rechterbeen de mediale afzetfase plaatsvindt op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt maximaal is. Bij het linkerbeen vindt de mediale afzetfase pas begint op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt weer afneemt. Dit geldt voor de gehele cyclus. Het linker standbeen legt in totaal dus meer afstand af in de bipedale rolfase.

Naar aanleiding van deze waarneming is tijdens een clinic een gesprek geweest met Scott Arlidge (drievoudig wereldkampioen skeelers). Aan de hand van dit gesprek worden hieronder de beweringen van Scott Arlidge op een rij gezet.

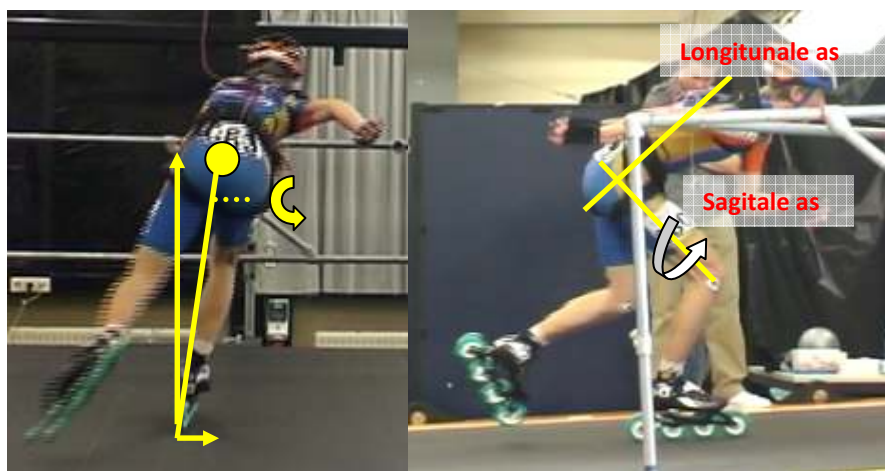
Hij beweert dat sterke skeelers eerder kiezen voor een plaatsing van skatecontact meer lateraal van het lichaamszwaartepunt, om de benen iets meer rust te geven door een glijfase in te voegen, maar vervolgens wel een grotere mediale uitslag te maken. Mensen met minder kracht zoals hij kiezen voor een plaatsing rond het zwaartepunt maar ook voor een constante afzet en druk op de skeelers. Dus eigenlijk kiezen deze mensen voor een hoge frequentie in plaats van lengte in de slagen. Een nadeel wordt ondervonden bij lange rechte stukken bij hoge snelheden, want het vermogen per afzet is minder. Wil je met een klein vermogen per afzet meer vermogen gaan leveren dan dien je de frequentie nog meer te verhogen of de slag te verlengen. Mensen met een lange slag kunnen met een kleinere frequentieverhoging procentueel meer vermogen leveren en zijn dus in het voordeel bij hogere snelheden. Bij veel versnellingen en vertragingen is het omgekeerde het geval. Het is te vergelijken met een lichter verzet tijdens het fietsen.

ABDUCERENDE ADDUCERENDE MOGELIJKHEDEN TIJDENS DE GLIJFASES

In voorgaande paragrafen werd de abductie en adductie niet meegenomen in de afzetmogelijkheden. In deze paragraaf zal bekeken worden wat voor een bijdrage de abductie eventueel kan leveren.

Wanneer vanuit de anatomische houding er abductie in de heup plaatsvindt, dan gebeurt dit om de sagittale as in het frontale vlak. Het abducerende moment (109 N/m) dat de gluteusspieren en de m. tensor fasciae latae isokinetisch kunnen leveren verschilt dan niet zoveel ten opzichte van de extenderende moment (120 N/m) van de heup [4]. In dit geval zal er geen twijfel over bestaan dat een abductie wel degelijk positief bij kan dragen aan het leveren van een kracht voor de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Echter, de positie waarin het abducerend moment het belangrijkst is, is het moment waar het contactpunt in de buurt van het zwaartepunt ligt. In het sagittale vlak is op dat moment sprake van een flinke anteflexie ten opzichte van de anatomische stand.



Figuur 19. Adductiemogelijkheid in het heupgewricht

Links: dorsaal aanzicht, rechterbeen is licht geadduceerd

Rechts: assenstelsel voor bewegingsmogelijkheden in het heupgewricht

Wil de skater op dit moment de skate naar lateraal duwen, dan zou dit moeten gebeuren met een combinatie van exorotatie en extensie in het heupgewricht. Het exoroterende moment is veel kleiner dan het extenderende moment (concentrisch isometrische kracht), 53 N/m tegenover 130 N/m gemiddeld [4].

Geconcludeerd kan worden dat de mogelijke bijdrage van ab- en adductie te betwijfelen is. Om de werkelijke bijdrage verder te onderzoeken zou een systeem dat het moment en de kracht op de skate meet volstaan, een EMG-meting tijdens het skeeleren zou ook een weergave geven van de spieractiviteit.

Voorwaarde:

- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekketen van het art. coxae en art. genus

VERGELIJKING KLASSIEK EN DOUBLE PUSH

In voorgaande paragrafen zijn de klassieke techniek en double pushtechniek onafhankelijk van elkaar behandeld. In deze paragraaf zal gekeken worden welke techniek de voorkeur heeft. Alle uitspraken die worden gedaan in de komende paragrafen zijn uitspraken van waarden in het frontale vlak.

Bij skeeleren gaat het er om je lichaam over een bepaalde afstand te verplaatsen in een zo kort mogelijke tijd. Er zijn vier gegevens die er wat over zeggen:

$$v = \frac{s}{t}$$
$$F = m \cdot a$$

$$W = F \cdot s$$

$$P = F \cdot v$$

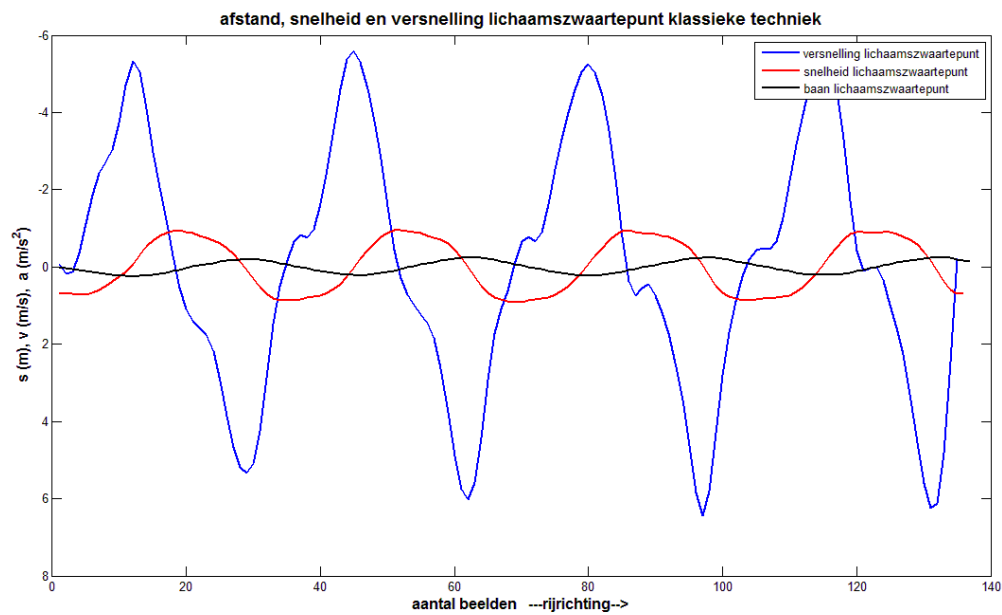
De vergelijking tussen de twee technieken zal gedaan worden aan de hand van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de tijd waarin deze verplaatsing tot stand komt. Er is gekozen voor deze zijwaartse snelheid omdat de voorwaartse snelheid constant is (bij zowel double push als klassieke techniek). Indirect betekent dit dat hoe groter de zijwaartse snelheid is, hoe ongunstiger afgezet wordt, omdat er mogelijk meer vermogen in voorwaartse richting geleverd had kunnen worden.

De pilotmeting levert data op in de vorm van afstand en tijd van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten, ook de voorwaartse snelheid is bekend. Dit geeft de mogelijkheid de snelheid en versnelling van het lichaamszwaartepunt in zijwaartse richting te bepalen door het differentiëren van de afstand naar de snelheid en versnelling.

$$v = \dot{s} = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \dot{v} = \frac{dv}{dt}$$

Wanneer deze differentiaties weergegeven worden in grafieken vormt zich het onderstaande beeld (figuren 20 en 21):

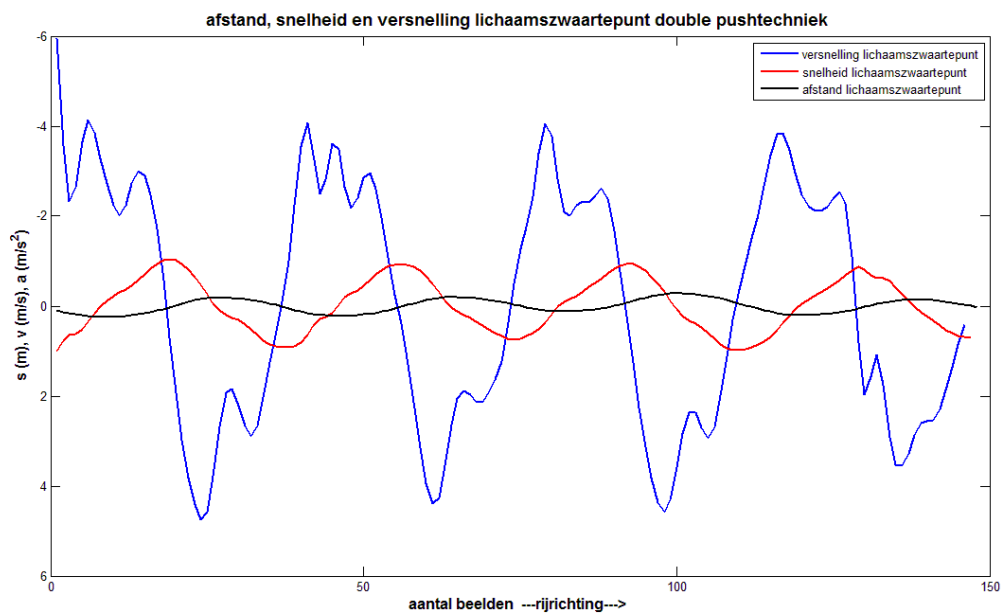


Figuur 20. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij klassieke techniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt



Figuur 21. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij double pushtechniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

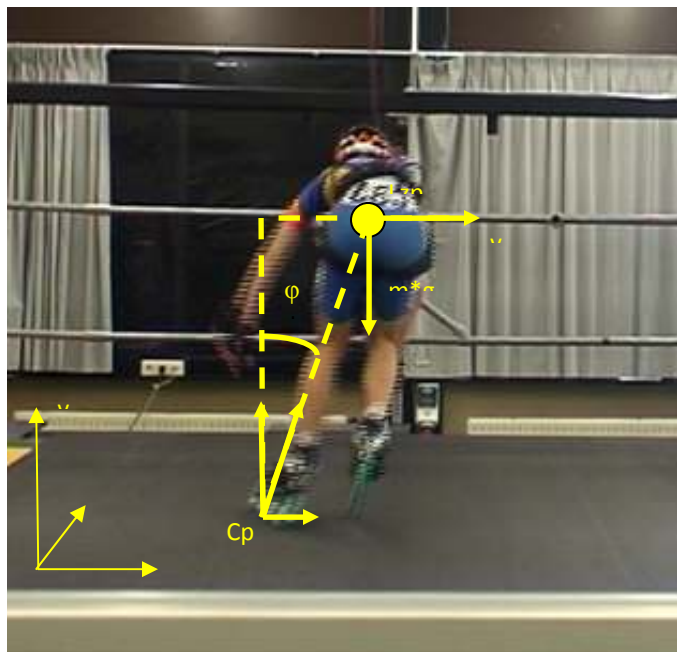
Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt

Wat gelijk opvalt is dat de double push een lagere piekversnelling heeft in vergelijking met de klassieke techniek, maar dat deze enigszins fluctueert. Er is dus een effect waar te nemen ten gevolge van de double push. In de volgende paragrafen zal gekeken worden hoe groot dit effect is en of het een nadeel of voordeel oplevert.

Propulsiekrachten

Voor het bepalen van de bijdrage van de mediale afzet op de voorwaartse snelheid dienen de vectoren van de afzetkrachten bekend te zijn.

De videobeelden lenen zich voor het bepalen van deze afzetkracht wanneer we de beweging beschrijven ten opzichte van een met de skeeler meebewegend assenstelsel (figuur 22). Ten opzichte van dit van dit assenstelsel is de afzet vergelijkbaar met een sprong in zijwaartse richting. Waarbij het lichaamszwaartepunt in x en y-richting wordt versneld. Wanneer er aangenomen wordt dat het zwaartepunt op een constante hoogte boven de grond blijft en de skeeleraar als een puntmassa wordt opgevat, is het mogelijk de afzetkracht te bepalen als functie van de hoek die het lichaamszwaartepunt maakt met verticaal (figuur 22).



Figuur 22. Bepaling propulsiekrachten

$$F_z = m \cdot g$$

$$F_a = \frac{F_z}{\cos(\varphi)}$$

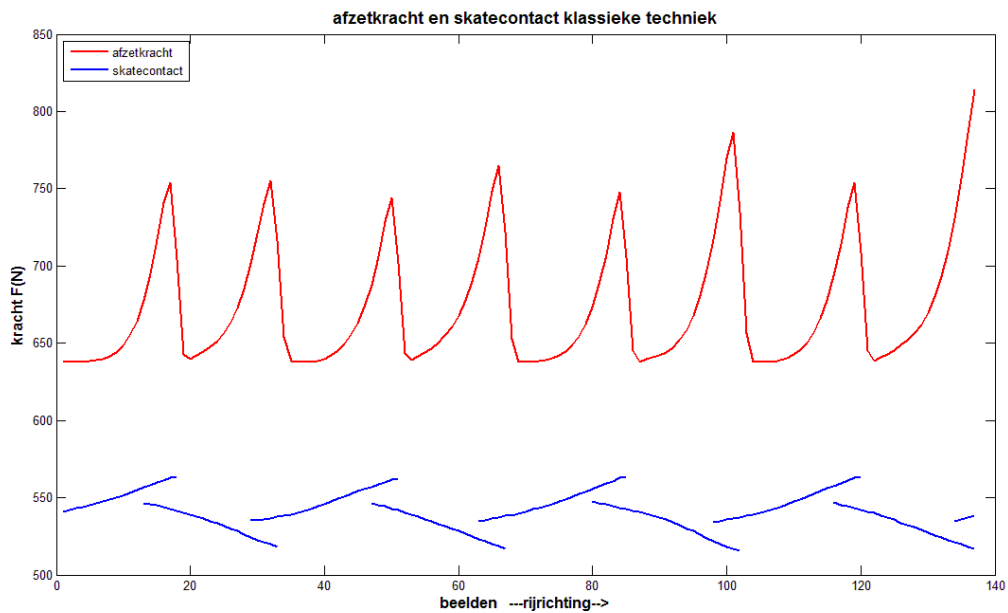
$$\varphi = \arctan\left(\frac{s_y}{s_x}\right)$$

$$s_y = LZP_y - C_{p,y}$$

$$s_x = LZP_x - C_{p,x}$$

Voor het bepalen van de afzetkracht is gebruik gemaakt van de dataset die verkregen is bij de projectie van het lichaamszwaartepunt op de ondergrond. Bij de benadering van de afzetkracht is het contactpunt van de rechter skeeler gedefinieerd als toe-off linkerbeen tot toe-off rechterbeen, en omgekeerd voor de linker skeeler. In de figuren 23 en 24 is het verloop van de afzetkracht te zien. Ter illustratie zijn onder het verloop

van de afzetkracht de afzetten van de linker en rechter skeeler geplot, deze houden geen verband met de verticale as, maar dienen slechts als illustratie hoe het krachtsverloop bij de afzet is.

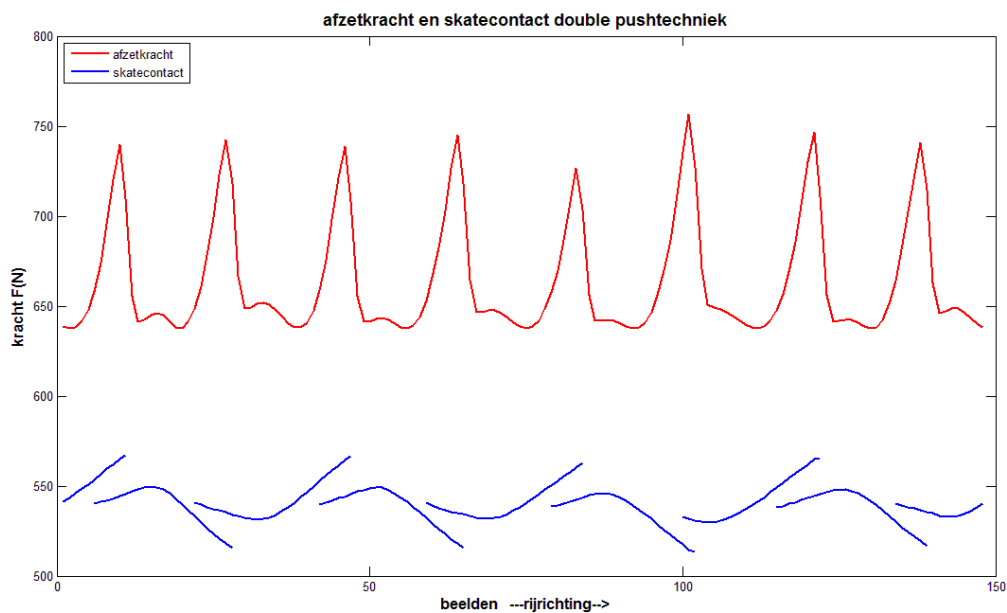


Figuur 23. Afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

Gemiddelde kracht: 674 N



Figuur 24. Afzetkracht bij de double pushtechniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

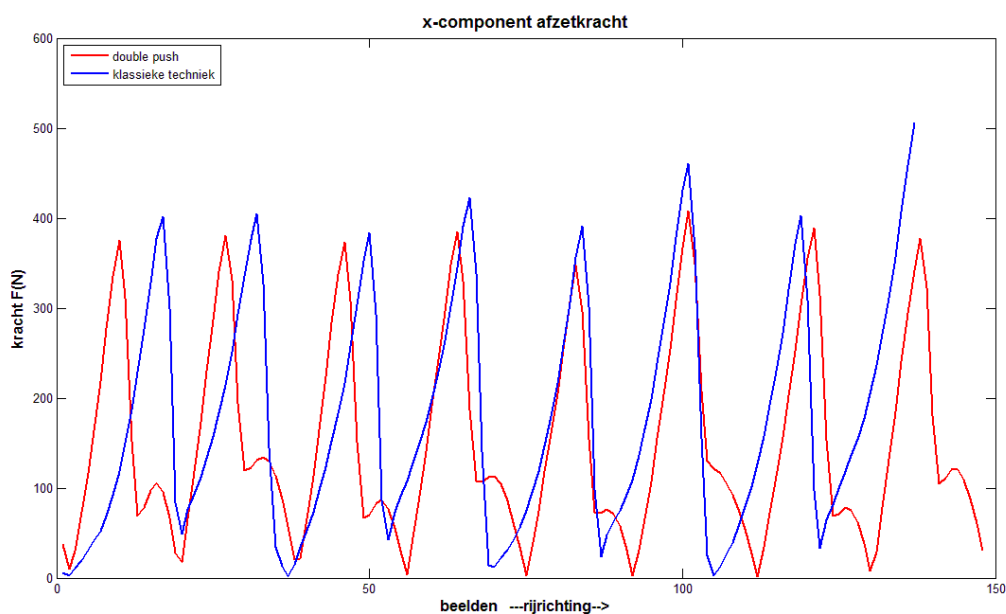
Gemiddelde kracht: 664 N

Uit onderzoek naar afzetkrachten tijdens het skeeleren[5] blijkt dat afzetkrachten van 120-150% van het lichaamsgewicht maal de zwaartekrachtversnelling plaats vinden, uitgaande van een fase van toe-off tot toe-off van het andere been. Dit lijkt dus een goede manier om de afzetkrachten tijdens het skeeleren te benaderen. Als we kijken naar de data, dan valt het op dat de verschillen tussen de geleverde piek- en gemiddelde krachten minimaal is. Wel kan er geconstateerd worden dat bij de double push zowel de piek- als bij de gemiddelde kracht lagere waarden heeft.

X-component afzetkracht

Om te kijken hoe groot de kracht is die bijdraagt aan het versnellen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting is gebruik gemaakt van de stelling van pythagoras:

$$F_x = \sqrt{F_{afzet}^2 - F_z^2}$$



Figuur 25. F_x bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double pushtechniek

Blauw: klassieke techniek

Gemiddelde double push: 151 N

Gemiddelde klassiek: 180 N

Wanneer we kijken naar de x-component van de afzetkracht blijkt dat er bij de klassieke techniek gemiddeld 4% meer kracht van de totale afzet gestopt wordt in het verplaatsen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting dan bij de double push. Dit betekent dat de hoek ϕ met verticaal bij de klassieke techniek groter is. Dit was van te voren te verwachten, aangezien het lichaamsswaartepunt bij de klassieke techniek 10 cm lager ligt dan bij de double push. Een andere verklaring is dat de toe-off verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt. Uit de data blijkt dat bij de klassieke techniek vergeleken met de double push de toe-off maximaal 15 cm verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt.

Hieruit is op te maken dat de afstand van het art. coxae tot de voet bij toe-off bij beide technieken ongeveer even groot moet zijn. Het is dus aannemelijk dat bij beide technieken ongeveer dezelfde hoeken in knie- en heupgewricht te zien zijn. Beelden van de video ondersteunen dit, bij beide toe-offs was de kniehoek ongeveer 160 graden. Dit gegeven wordt ondersteund door Houdijk et al [6].

Een ander gegeven dat opvalt is de mediale afzet van de double push waar we zien dat er piekkrachten van ongeveer 650 N zijn. De bijdrage aan de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in x-richting ligt ongeveer tussen de 70 en 100 Newton.

Geconcludeerd kan worden dat de piekkrachten bij de klassieke techniek hoger zijn dan die bij de double pushtechniek. De klassieke techniek richt de afzetkracht echter wel gunstiger (er wordt een groter aandeel van de afzetkracht gebruikt voor het verplaatsen in voorwaartse richting).

Ook valt te concluderen dat de mediale afzet een extra kracht uitoefent op de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Voorwaarde:

- In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting.

Vermogen

Voor het bepalen van de techniek met de meeste efficiëntie zal er gekeken worden naar het vermogen dat bij de technieken per slag geleverd wordt bij eenzelfde uitwendige prestatie (verplaatsing in voorwaartse richting).

Voor het bepalen van het vermogen dienen de afzetkracht en snelheid bekend te zijn, de snelheid is een bekende na het differentiëren van de afgelegde weg, de afzetkracht is bepaald in de vorige paragraaf. Met deze gegevens kan het vermogen momentaan berekend worden. In figuur 22 (pagina 26) staat het assenstelsel voor deze berekeningen weergegeven.

$$P_{tot,double\ push} = F_{prop,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

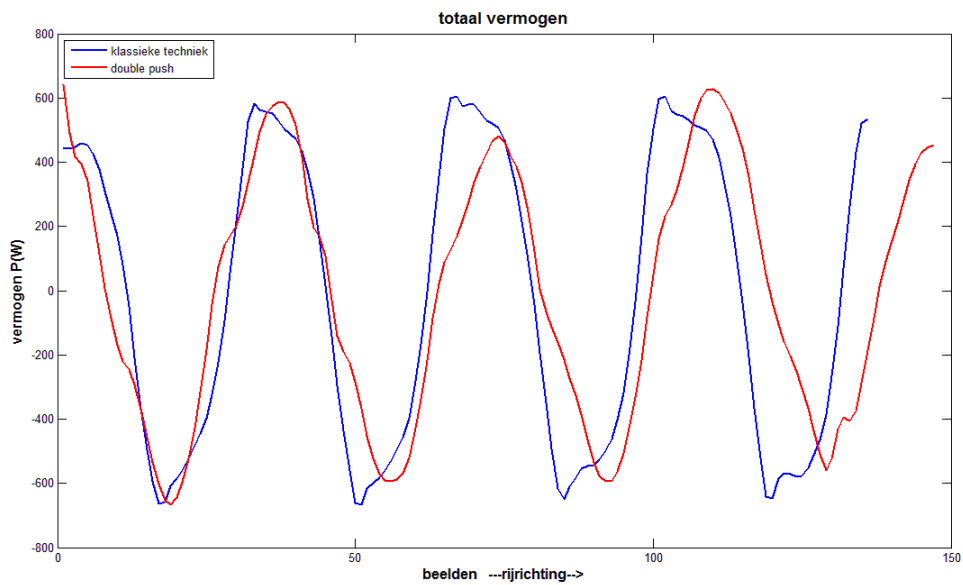
$$P_{nuttig,double\ push} = F_{x,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{tot,klassiek} = F_{prop,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{nuttig,klassiek} = F_{x,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

Waar de snelheid van de lichaamszwaartepunten elkaar niet ver ontlopen en de gemiddelde kracht van de klassieke techniek een fractie hoger is dan bij de double push, is de verwachting dat het vermogen van de klassieke techniek hoger is dan die van de double push omdat zowel de gemiddelde kracht als de snelheid bij de klassieke techniek hoger zijn, wat ook een hoger vermogen oplevert.

Piekvermogen



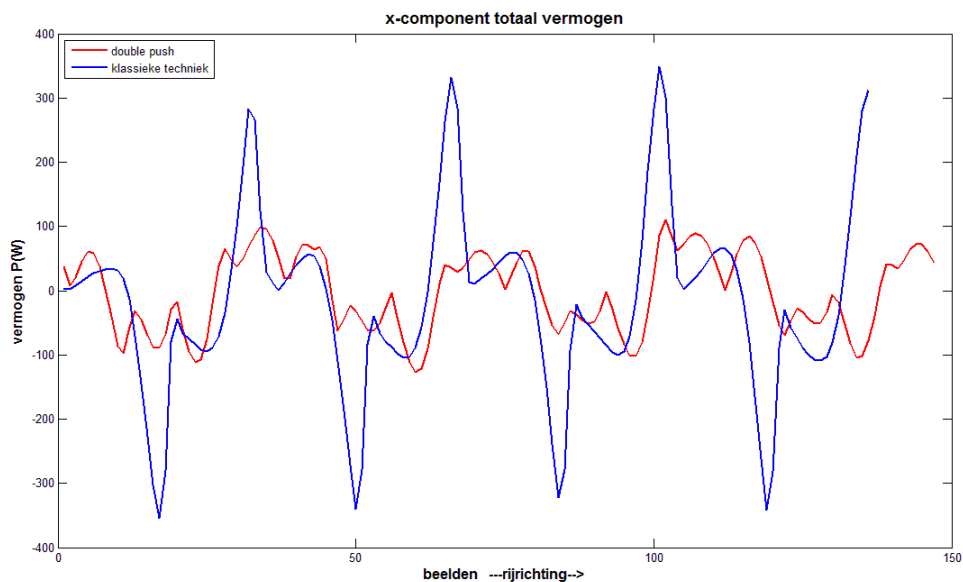
Figuur 26. Totaal vermogen bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double push

Blauw: klassiek

Uit figuur 26 blijkt dat de geleverde piekvermogens elkaar niet veel ontlopen. Het gemiddelde vermogen over de acht slagen van de double push (344 Watt) is echter 78 Watt lager dan van de klassieke techniek (422 Watt)

X-component vermogen



Figuur 27. X-component van het geleverde vermogen voor beide technieken

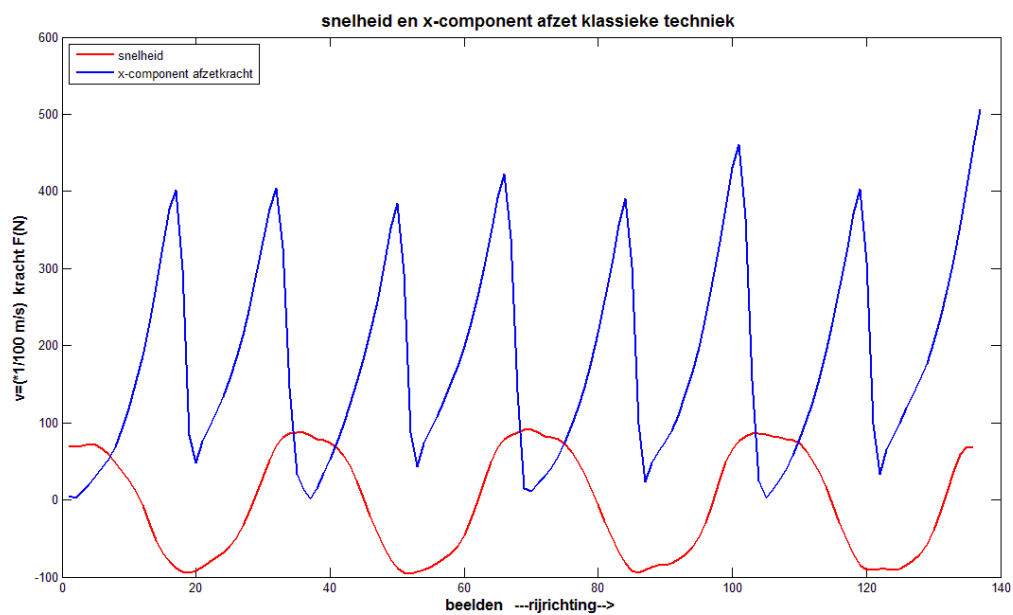
Rood: double push

Blauw: klassiek

Wanneer we kijken naar de x-component van het vermogen (figuur 27) valt gelijk op dat het piekvermogen dat bij de klassieke techniek geleverd wordt vele malen hoger is. Dit komt wel overeen met de verwachting, maar een verschil van 200 Watt in piekvermogen is een groter verschil dan verwacht werd aan de hand van de snelheid en propulsiekracht.

Evaluatie en terugkoppeling

Om een verklaring voor het hogere piekvermogen bij de klassieke techniek is te vinden wordt een grafiek geplot van de x-component (figuur 28) van de afzetkracht samen met de snelheid van de klassieke techniek.



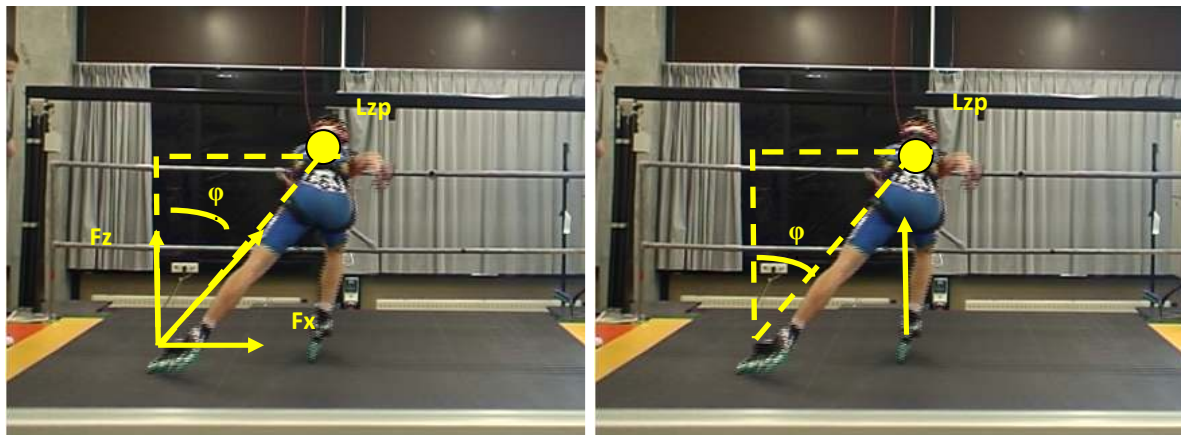
Figuur 28. Snelheid lichaamszwaartepunt en x-component afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: x-component afzetkracht

Hier valt op dat de piekkracht het grootst is op het moment van de pieksnelheid, dit verklaart waarom het piekvermogen bij de klassieke techniek zo hoog is. Waar de snelheid zonder aannames is bepaald, is het vermogen betrouwbaar. Voor de kracht zijn twee aannames gedaan, het is dus mogelijk dat hier een probleem in schuilt. De verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting is niet waarschijnlijk omdat het lichaamszwaartepunt weinig verplaatsing in verticale richting ondervindt bij de klassieke techniek.

De aanname van de afzet geldend van toe-off tot toe-off ligt meer voor de hand als verkeerde aanname. De bipedale fase verdwijnt bij deze benadering en de complete zwaartekracht wordt door het afzetbeen gedragen. De maximale kracht wordt bij deze benadering bereikt vlak voor toe-off (figuur 29).



Figuur 29. Toe-off en projectie lichaamszwaartepunt

In werkelijkheid is op het moment van skatecontact het lichaamszwaartepunt grotendeels boven het dit nieuwe contactpunt komt te liggen(fig). Het gevolg hiervan is dat de zwaartekracht verdeeld wordt over de twee contactpunten, een groot deel van het lichaamszwaartepunt ligt boven het been dat skatecontact maakt. De zwaartekracht werkt dus voor het grootste deel op het been wat het dichtst bij de projectie van het lichaamszwaartepunt ligt, waardoor de afzetkracht van het afzetbeen sterk afneemt.

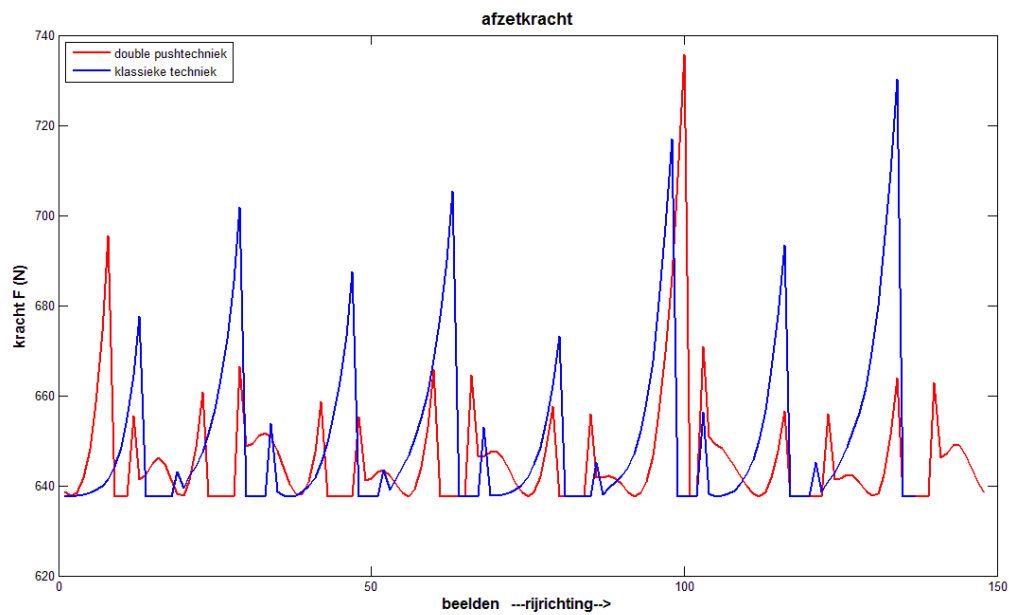
De gebruikte methode neemt dat niet mee in de berekening, waardoor ϕ ook groter wordt naar mate de afzet langer wordt.

Daarom is ervoor gekozen om alleen de afzetkrachten te bepalen tijdens de unipedale fases en in bipedale fase de afzetkracht gelijk te stellen aan $m \cdot g$, waarbij alle krachten worden als positief beschouwd.

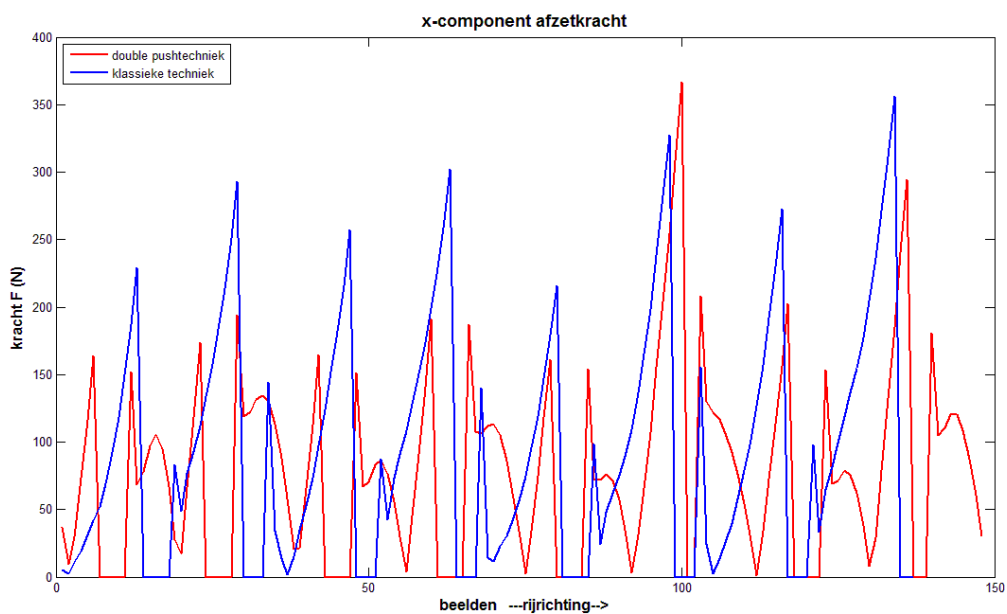
Afzetkracht

Wanneer we de verbeterde methode toepassen, valt gelijk op dat de propulsiekracht veel kleiner is geworden. De piek van 670 N betekent een afzet van 105% van het lichaamsgewicht. Dit is minder dan in de literatuur[5] beschreven staat. Een verklaring zou kunnen zijn dat de kracht die geleverd moet te worden om het in positie blijven op de lopende band zeer laag is.

Een andere verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat in het begin van de contactfase het lichaamsgewicht nog niet volledig op de skate wordt gezet, met tot gevolg een toename van de afzetkracht. In onderzoek naar de afzetkrachten tijdens het schaatsen vonden De Koning et al [7] dat bij een snelheid van 32,4 km/h pas na 20% van de contactfase het volledige lichaamsgewicht op het standbeen wordt geplaatst. Er kan gekeken of het percentage van het lichaamsgewicht in Newton bij de afzetkracht en het vermogen nog beter benaderd kan worden door de 20% in de berekening mee te nemen, hier kwamen echter geen noemenswaardige verschillen uit.



Figuur 30. Afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechnik, gemiddelde = 643 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 647 N

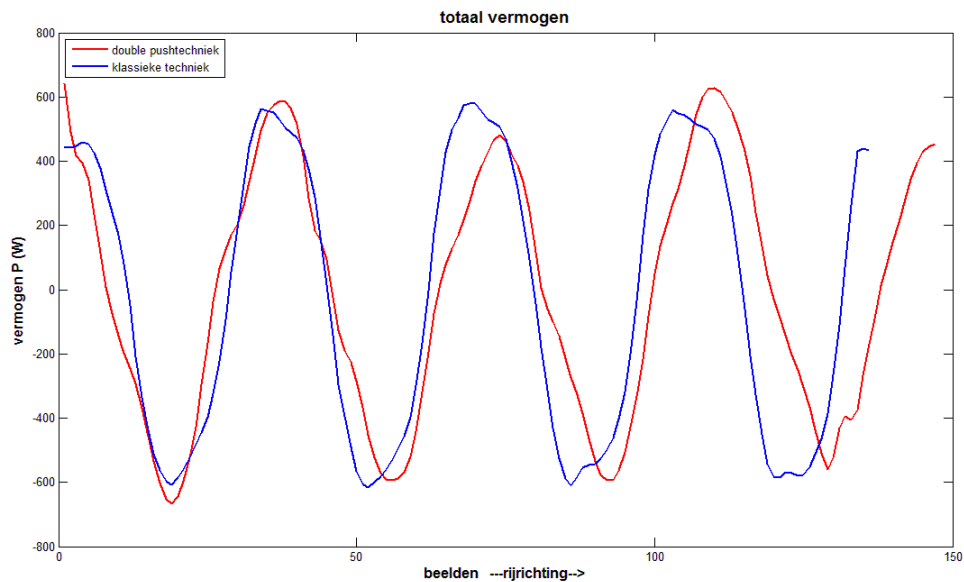


Figuur 31. x-component afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechnik, gemiddelde = 58 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 76 N

In fig. is te zien dat de gemiddelde geleverde afzetkracht van de double push en klassieke techniek even groot is. Bij de double push wordt de kracht echter verdeeld over twee pieken gedurende de afzet. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de piekbelasting bij de double push lager is, maar dat er gemiddeld wel even veel kracht wordt geleverd als bij de klassieke techniek.

Vermogen

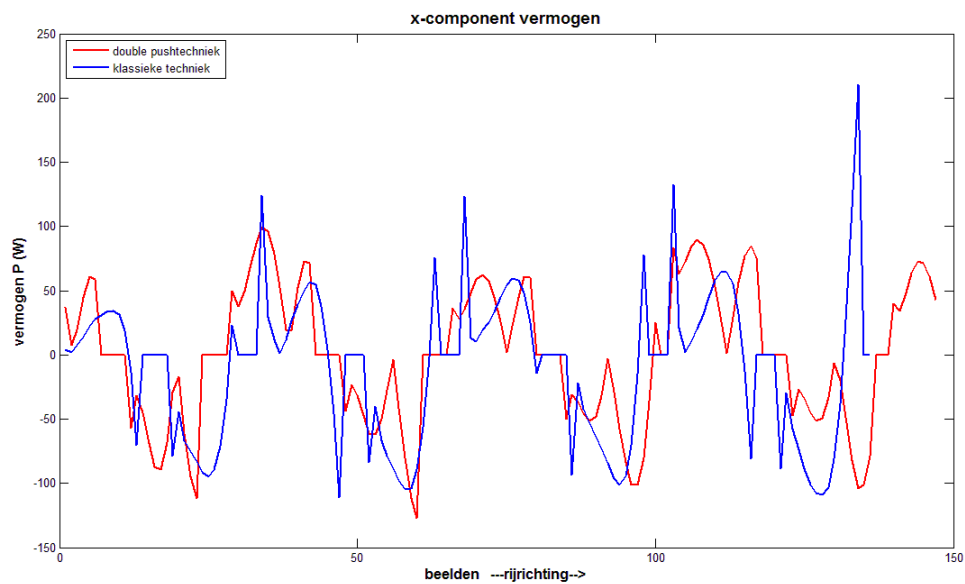
Wanneer het vermogen bepaald wordt met de vernieuwde methode komen de volgende resultaten naar voren:



Figuur 32. Totaal geleverd vermogen

Rood: double push

Blauw: klassiek



Figuur 33. geleverd vermogen in x-richting

Rood: double push

Blauw: klassiek

De verschillen zijn niet heel groot, de double push levert gemiddeld 55 Watt minder vermogen om eenzelfde voorwaartse snelheid te bereiken.

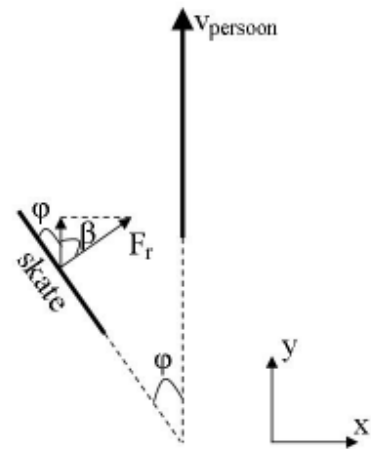
Geconcludeerd kan worden dat de double push een lagere vermogen levert om eenzelfde snelheid te bereiken. Een ander groot voordeel is dat de totale afzetkracht bij de double push ongeveer gelijk is aan die van de klassieke techniek, maar hierbij wordt de kracht wel verdeeld over twee benen waardoor de piekbelasting per been lager wordt.

THEORETISCH MODEL

Zowel interne als externe factoren hebben invloed op de totstandkoming van een skeelerbeweging. Deze factoren worden in onderstaande beschrijving besproken.

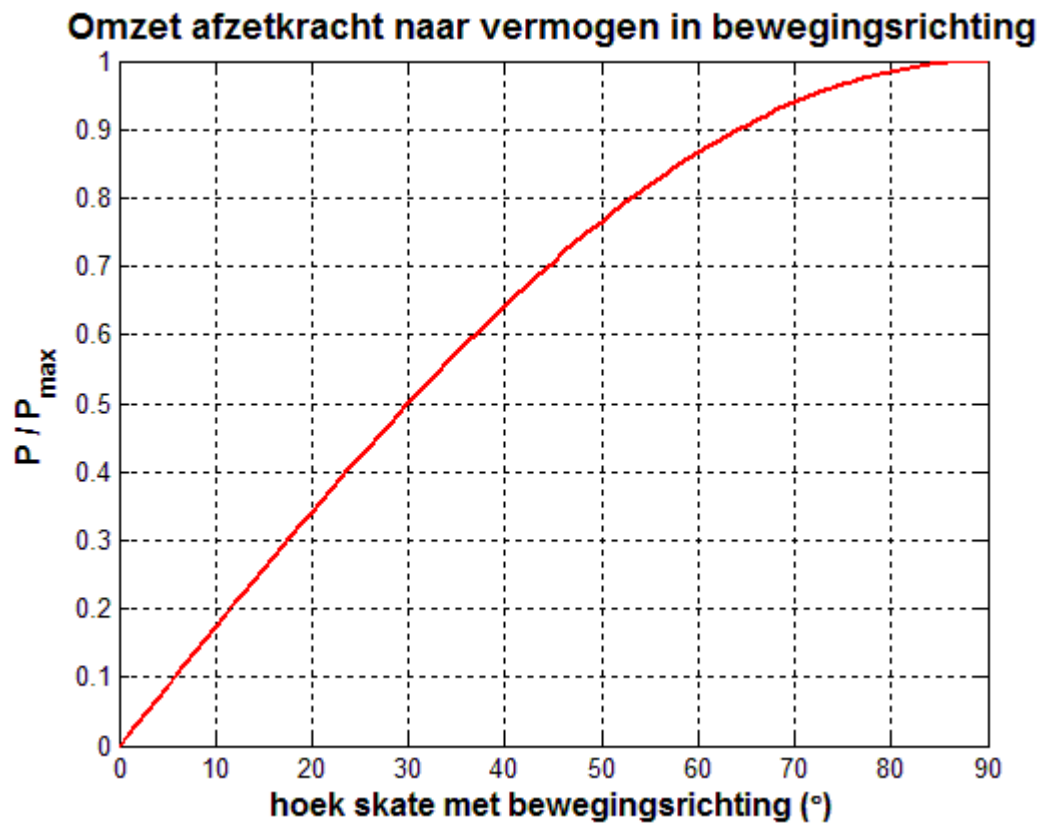
Zoals is geconcludeerd uit de resultaten van de pilotmeting, zet een skeeleraar tijdens de afzet de skate onder een hoek met de gewenste bewegingsrichting. Het model in figuur 34 geeft dit principe weer.

De hoek tussen de skate en de gewenste bewegingsrichting is in principe vrij te kiezen. Echter, als er een analyse gemaakt wordt van de hoeveelheid vermogen die geleverd wordt in de bewegingsrichting van de persoon, dan kan er geconcludeerd worden dat het geleverde vermogen in de gewenste bewegingsrichting een verband heeft met de afzethoek. Dit verband staat weergegeven in de onderstaande vergelijking en figuur 35.



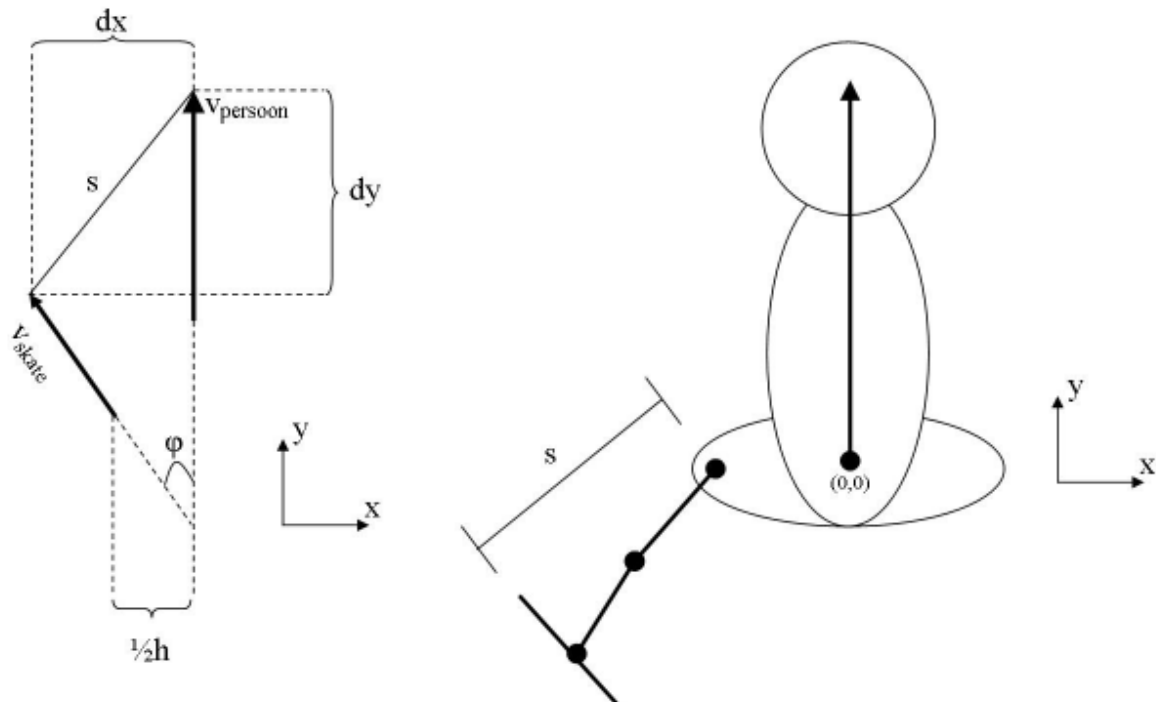
Figuur 34. Model snelheid persoon en plaatsing skate

$$P_y = F_{ry} \cdot v_y = F_r \cdot \cos(\beta) \cdot v_y = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) \cdot v_y$$



Figuur 35. Relatief vermogen in de bewegingsrichting als variabele van de plaatsing van de skate

Het is duidelijk te zien dat het vermogen in y-richting groter wordt naarmate de hoek van de skate met de bewegingsrichting (φ) toeneemt. De limiet voor de hoek is $0 \leq \varphi \leq 90$, omdat voor overschrijding van beide limieten geldt dat de richting van de reactiekracht omgekeerd is van de gewenste richting (in praktijk is een dergelijke krachtrichting te vergelijken met de richting van de reactiekracht bij double push).



Figuur 36. Model beenafstand in bovenaanzicht

Links: wegllopen van de skate ten gevolge van verschil in richting van verplaatsing van skate en persoon

Rechts: Beenlengte in bovenaanzicht

$\frac{1}{2} h$ = halve heupbreedte

Er is echter een beperking in de hoek die gemaakt kan worden, wat wordt geïllustreerd in het volgende model (zie ook figuur 36).

De skate waarmee afgezet wordt, heeft net als het lichaam een snelheid. Omdat de skate niet in dezelfde richting als de bewegingsrichting van het lichaam beweegt, heeft deze in x- en y-richting een andere snelheid. Ten gevolge van dit gegeven zal de skate van het lichaam af bewegen. In deze positie zit uiteraard een beperking, namelijk de lengte van het been in bovenaanzicht, zoals weergegeven in figuur 36 met het symbool s . Hierbij wordt er uitgegaan van een beenlengte bij een kniehoek van 160° (gemeten aan de dorsale zijde van het been).

De beenlengte s in bovenaanzicht kan als volgt bepaald worden:

$$dx = \frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t$$

$$dy = v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t$$

$$s = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t\right)^2 + \left(v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t\right)^2}$$



Figuur 37. Relatieve verplaatsing skate ten opzichte van het lichaam

Naarmate de hoek van de skate ten opzichte van de bewegingsrichting toeneemt, is de verplaatsing van de skate bij een bepaalde snelheid groter per tijdseenheid (de afzettijd). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de snelheid of de afzettijd (of een combinatie van beiden) beperkend is voor de hoek φ .

WRIJVINGSKRACHTEN

Ten gevolge van onder andere luchtwerijving en rolwerijving is het niet mogelijk om te skeeleren met een zuiver constante snelheid. Daarom zal telkens tijdens de rolfase de snelheid van de persoon afnemen, waarna de persoon in de daarop volgende afzetfase weer snelheid moet toevoegen om het verlies aan snelheid weer goed te maken.

Tijdens het skeeleren spelen de volgende formules een rol:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2$$

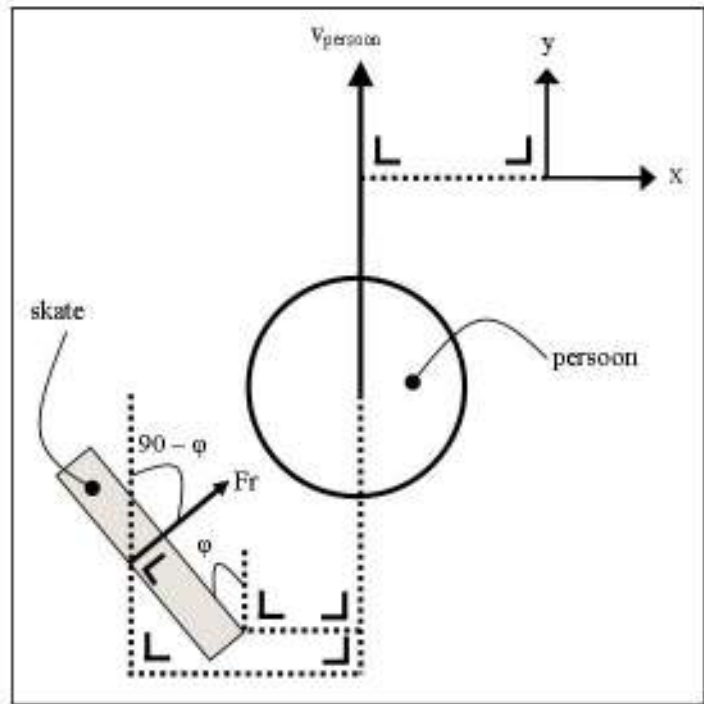
$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$$

$$F_{res} = F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = m \cdot a$$

$$\rightarrow a = \frac{F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}}{m}$$

$$v_i = v_{i-a} + a \cdot t$$



Figuur 38. Model richting afzetkracht in een inertiaal assenstelsel

Indien geldt dat $F_{res} = 0$ dan is de versnelling 0, wat betekent dat de persoon met constante snelheid voortbeweegt (of stilstaat indien de voorgaande snelheid 0 was).

De versnelling a kan alleen gebruikt worden bij constante versnellingen. Hier zal rekening mee gehouden moeten worden bij het vervaardigen van de modellen door de afzetfase in kleine stukjes op te delen.

Voorwaarde:

- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes

De richting en grootte van de krachtcomponenten heeft invloed op de tweede wet van Newton ($F_{res} = m \cdot a$). Zo kan de invloed van de wrijvingskrachten in x-richting verwaarloosd worden, waardoor de tweede wet van Newton omgeschreven zal moeten worden:

$$F_{res,x} = F_r \cdot \sin(90 - \varphi) = F_r \cdot \cos(\varphi)$$

$$F_{res,y} = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol} = F_r \cdot \sin(\varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = \sqrt{(F_{res,x})^2 + (F_{res,y})^2}$$

Het assenstelsel voor deze formules staat weergegeven in figuur 38, het is een assenstelsel dat meebeweegt met de bewegingsrichting van de persoon (waarbij de y-as evenwijdig is aan de bewegingsrichting).

Zoals eerder al gesteld is, kan er niet geskeeld worden met een constante snelheid indien er rekening gehouden wordt met wrijvingskrachten. Wel is het mogelijk om aan het eind van iedere afzet eenzelfde snelheid te hebben en dit aan te nemen als constante snelheid. De afzetfase wordt dan gebruikt om de vertraging ten gevolge van de lucht- en rolwrijving van de rolfase weer teniet te doen.

Uiteraard heersen er ook tijdens de afzetfase wrijvingskrachten, zodat tijdens de afzetfase niet alleen de wrijvingskrachten van de rolfase, maar ook die van de afzetfase overwonnen moeten worden. Onderstaand schema geeft dit proces weer, in dit schema is geen rekening gehouden met krachtrichtingen.

Rolfase	Afzetfase
$F_{w,lucht} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{constant})^2$ $F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$ $a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{-1 \cdot (F_{w,lucht} + F_{w,rol})}{m}$ $v_i = v_{i-1} + a \cdot t = v_{constant} + a \cdot t$	$a_1 = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_{constant} - v_i}{t}$ $F_{afzet} = m \cdot a_1 + F_{w,lucht} + F_{w,rol}$ $= m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r$ $a_2 = \frac{F_{afzet}}{m} = \frac{m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r}{m}$ $= a_1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2}{m} + g \cdot c_r$ $v_{constant} = v_i + a_2 \cdot t$
● $v_{constant} = x \text{ m/s}$	● $v_i < v_{constant}$
	● $v_{constant} = x \text{ m/s}$

Voorwaarde:

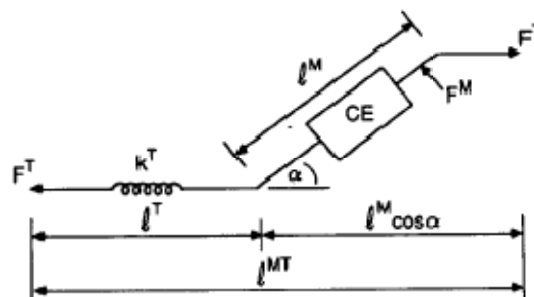
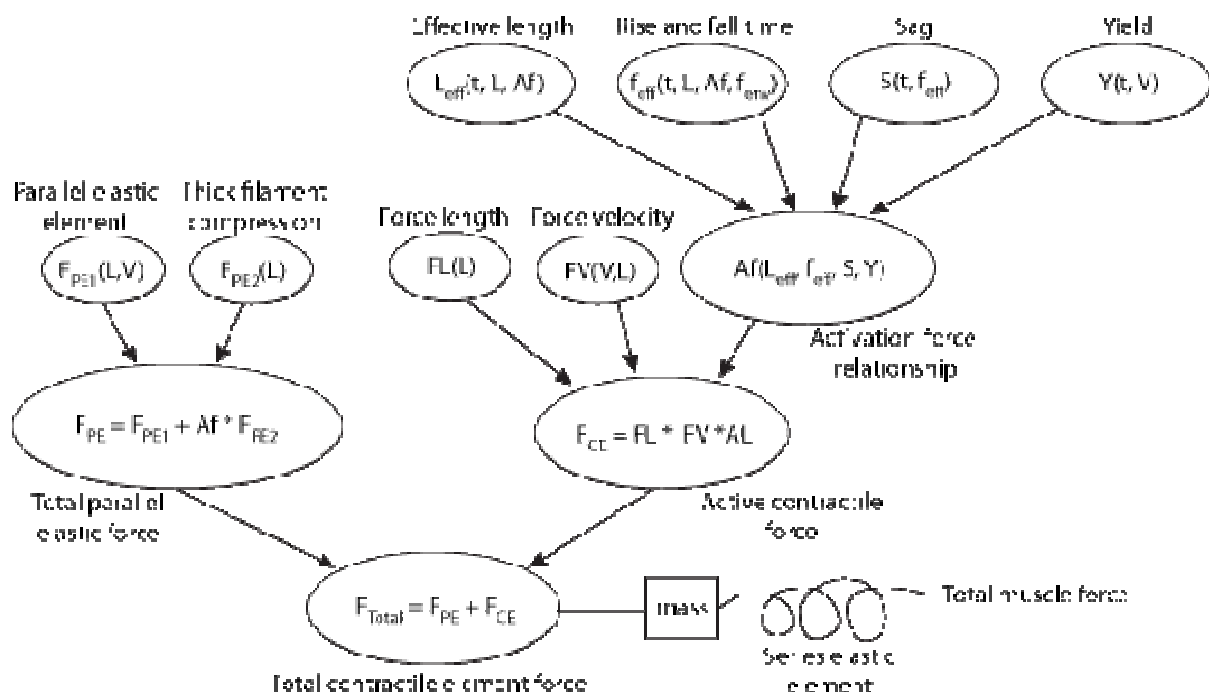
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Lucht wrijving
 - Rolwrijving

SPIEREIGENSCHAPPEN

Als we kijken naar een beweging in het algemeen, kunnen we stellen dat er hoekverandering plaatsvindt in bepaalde gewrichten (meestal ten gevolge van geleverde spierkracht). In de onderstaande bespreking worden de factoren voor spierkracht besproken.

Factoren voor spierkracht

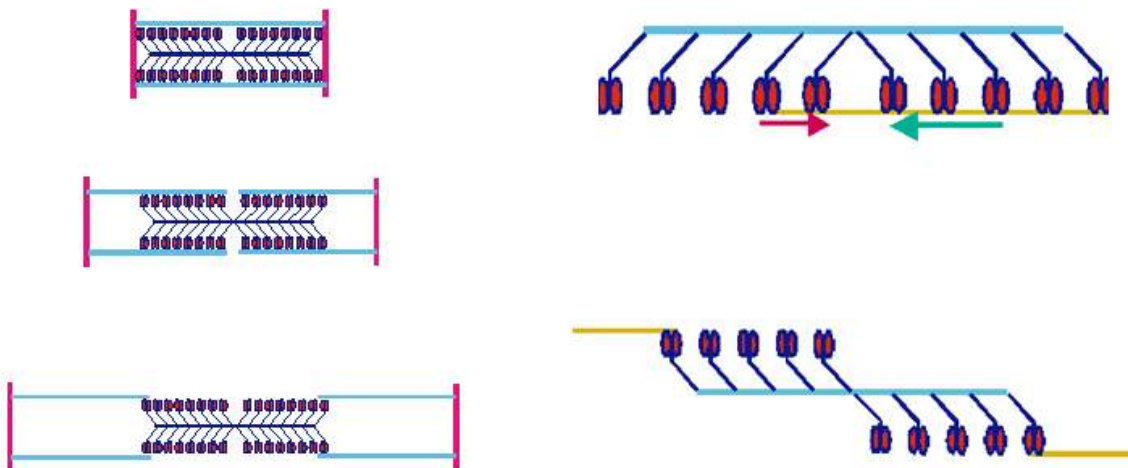
Zoals in het overzicht in onderstaande figuur 39 te zien is, is de spierkracht van vele factoren afhankelijk. Niet alle factoren kunnen in het model verwerkt worden, omdat een totaal model van de spierkracht een groot project op zich is. Het model van Cheng et al [8] dat alle onderstaande factoren of eigenschappen samenvoegt tot de totale spierkracht, is een model met een grote hoeveelheid variabelen. Echter, op veel eigenschappen kan geen invloed uitgeoefend worden, daarom zal er alleen gekeken worden naar de belanghebbende eigenschappen. Deze eigenschappen worden op de volgende bladzijden besproken.



reesmodel

Kracht-lengterelatie

Bij het veroorzaken van een hoekverandering zal een spier meestal verkorten (antagonistische spieren zullen logischerwijs excentrisch gecontraheerd worden). Vanuit de literatuur weten we dat de lengte die een spier heeft van invloed is op de kracht die deze kan leveren. Is een spier op een langere of kortere lengte dan zijn rustlengte, dan is de mogelijke krachtslevering lager [10]. Deze eigenschap is gebaseerd op de het feit dat de kracht die een spier kan leveren afhankelijk is van het aantal beschikbare myosinekopjes dat contact maakt met de actine in een sarcomeer (zie figuur 41). In de figuur is rechtsboven een verkorte sarcomeer weergegeven. De myosinekopjes bevinden zich in de zogeheten antiparallelle regio, de actine maakt niet alleen contact met de myosinekopjes die ervoor zorgen dat de actine naar binnen getrokken wordt (wat een verkorting van de sarcomeer, en dus van de spier, tot gevolg heeft). Er zijn ook myosinekopjes die met de actine ernaast contact moeten maken, maar dat in deze positie niet doen. Zij maken contact met dezelfde actine waar de andere myosinekopjes aan trekken die voor verkorting van de sarcomeer zorgen. Hierdoor wordt er in twee tegengestelde aan de actine getrokken, waardoor de actie van de myosinekopjes elkaar (deels) opheft, wat resulteert in verminderde (of geen) verkorting van de sarcomeer. Dit heeft tot gevolg dat de spierkracht in deze posities lager is.



Figuur 41. Schematische weergave sarcomeren in verschillende posities

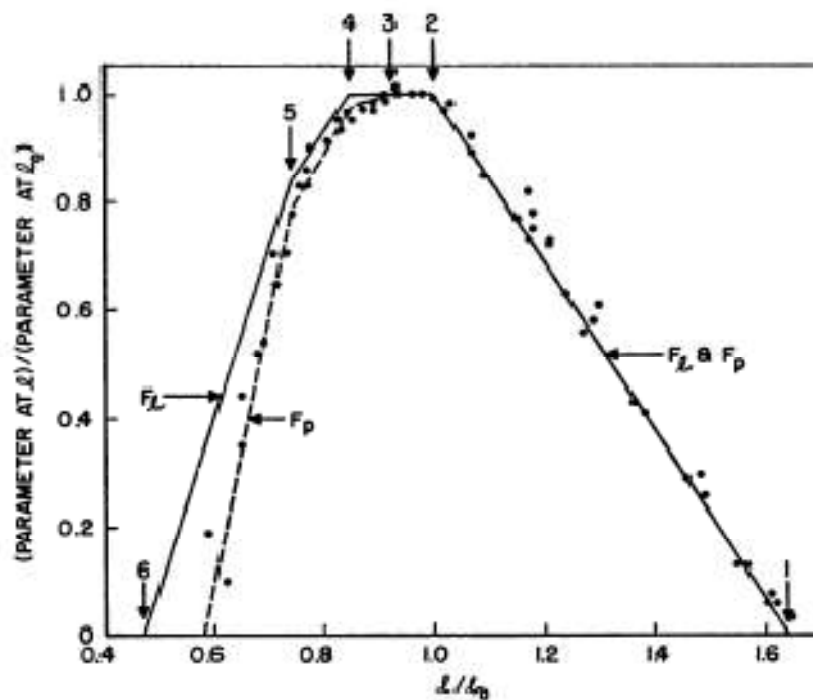
Linksboven, rechtsboven: sarcomeer in verkorte positie

Links, midden: sarcomeer in rustpositie

Linksonder, rechtsonder: sarcomeer in verlengde positie

Bornhorst en Minardi hebben deze kracht-lengterelatie beschreven met behulp van een grafiek met daarin een aantal kenmerkende punten waartussen lineaire functies het verband van het ene punt met het andere leggen (zie figuur 42). Andere bronnen als Gordon et al [11] en Askew & Marsh [12] geven eenzelfde verloop en verhouding van lengtes.

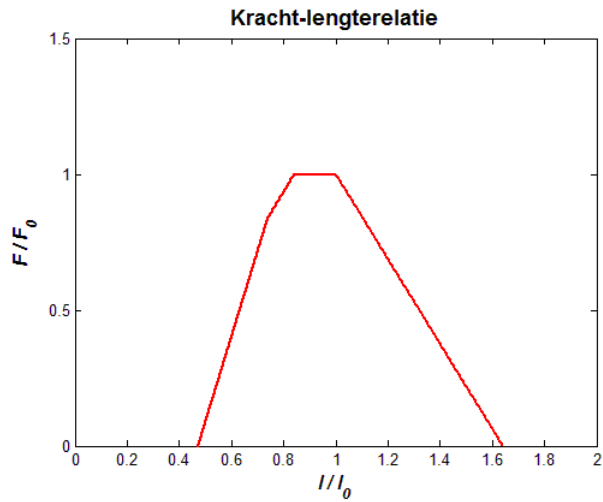
De kracht-lengterelatie zoals Bornhorst & Minardi deze schetst, kan worden benaderd met lineaire functies die vervolgens omgeschreven kunnen worden naar één vijfdegraads vergelijking. De vergelijkingen en plots op de volgende pagina geven dit proces weer. Hiermee kan dan in de Matlab-modellen met één formule de kracht-lengterelatie van een spier ingegeven worden. Deze relatie is van belang omdat er gedurende de afzet een hoekverandering in onder andere het kniegewricht plaatsvindt, waardoor de lengte van de kniestrekkers verandert, en daarmee ook de kracht die geleverd kan worden.



Figuur 42. Kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Lineaire functies:

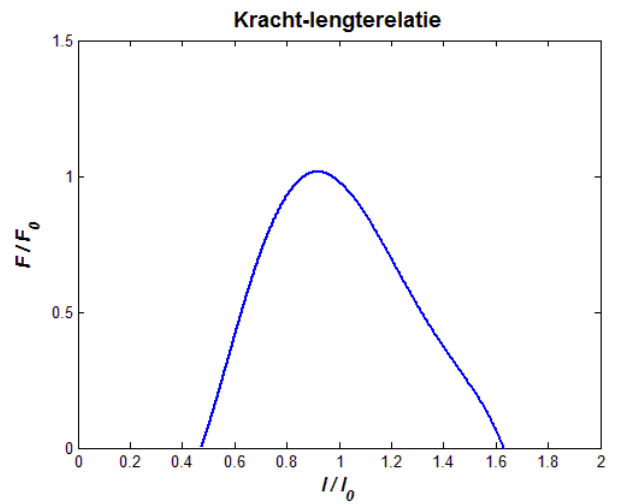
$$F = \begin{cases} 0.472 < l \leq 0.74 & \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot l - \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot 0.472 \\ 0.74 < l \leq 0.84 & \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot l - \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot 0.74 + 84 \\ 0.84 < l \leq 1 & 1 \\ 1 < l \leq 1.64 & \frac{-1}{0.64} \cdot l + \frac{1}{0.64} + 1 \end{cases}$$



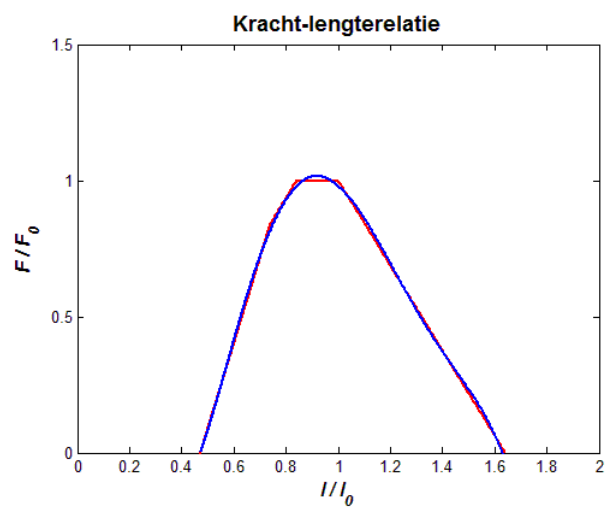
Figuur 43. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Vijfdegraads vergelijking:

$$\begin{aligned} p1 &= -10.537 \\ p2 &= 57.038 \\ p3 &= -116.22 \\ p4 &= 107.42 \\ p5 &= -42.478 \\ p6 &= 5.7582 \\ F &= p1 \cdot l^5 + p2 \cdot l^4 + p3 \cdot l^3 + p4 \cdot l^2 + p5 \cdot l + p6 \end{aligned}$$



Figuur 45. Gesimuleerde kracht-lengterelatie met de vijfdegraads vergelijking



Figuur 44. Kracht-lengterelatie van Bornhorst en Minardi en volgens vijfdegraads vergelijking over elkaar gelegd

Als er vervolgens gekeken wordt in welk gebied van de kracht-lengtecurve er kracht wordt geleverd, komen we op de volgende relatieve spierlengtes (spierlengte ten opzichte van de rustlengte) [14,15]:

$$\varphi_0 = 100$$

$$\varphi_1 = 160$$

$$r = 0.043$$

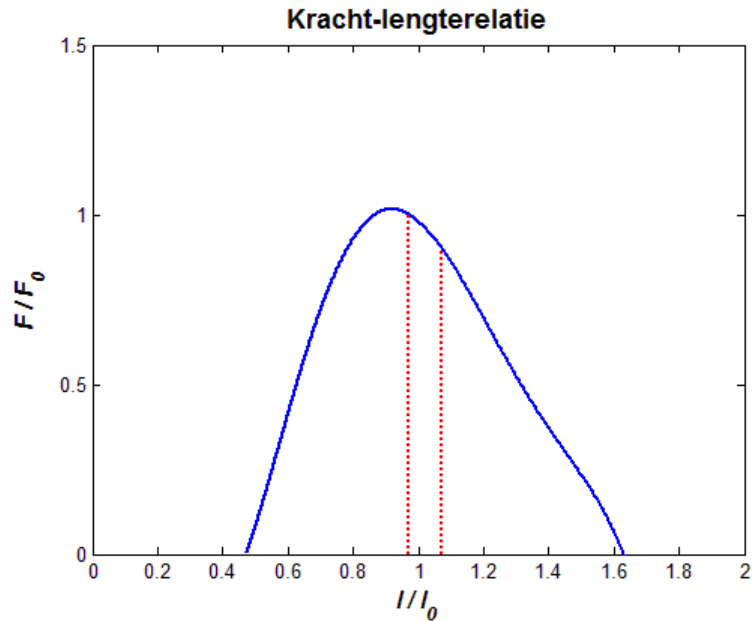
$$l_{min} = 0.344$$

$$l_{rust} = 0.432$$

$$l_0 = \frac{\varphi_0 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 0.97$$

$$l_1 = \frac{\varphi_1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 1.07$$

In figuur 46 staan deze grenzen met rode stippellijn aangegeven.



Figuur 46. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens de vijfdegraads vergelijking met zone van spierlengte weergegeven

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn

Kracht-snelheidsrelatie

Omdat er een hoekverandering plaatsvindt bij het afzetten, hebben de betrokken elementen een hoeksnelheid. Deze hoeksnelheid heeft invloed op de contractiesnelheid van spieren, waardoor we met nog een andere spiereigenschap te maken krijgen: de relatie tussen de contractiesnelheid en de leverbare kracht. Hill heeft deze relatie beschreven en hiervoor een formule opgesteld waarin enkele spiereigenschappen een rol spelen. De Hill-curve wordt voorgeschreven door de volgende formule (zie ook figuur 47) [13]:

$$F_{Hill} = \frac{c}{v + b} - a$$

Hierin zijn a, b en c zogenaamde Hill-constanten die de spiereigenschappen weergeven en is v de contractiesnelheid in lengtes per seconde (l/s) of meters per seconde (m/s). Deze drie constanten verschillen per spier of spiergroep. Voor het model is gekozen voor de volgende waarden van de constanten [13]:

$$a = F_{iso} = 1013 \text{ N}$$

$$b = v_{max} = 0.435 \text{ m/s}$$

$$c = P_{max} = 881.31 \text{ W}$$

Om de contractiesnelheid beter te kunnen interpreteren, wordt deze omgerekend naar hoeksnelheid in graden per seconde ($^{\circ}/s$). Dit gaat volgens de volgende berekening:

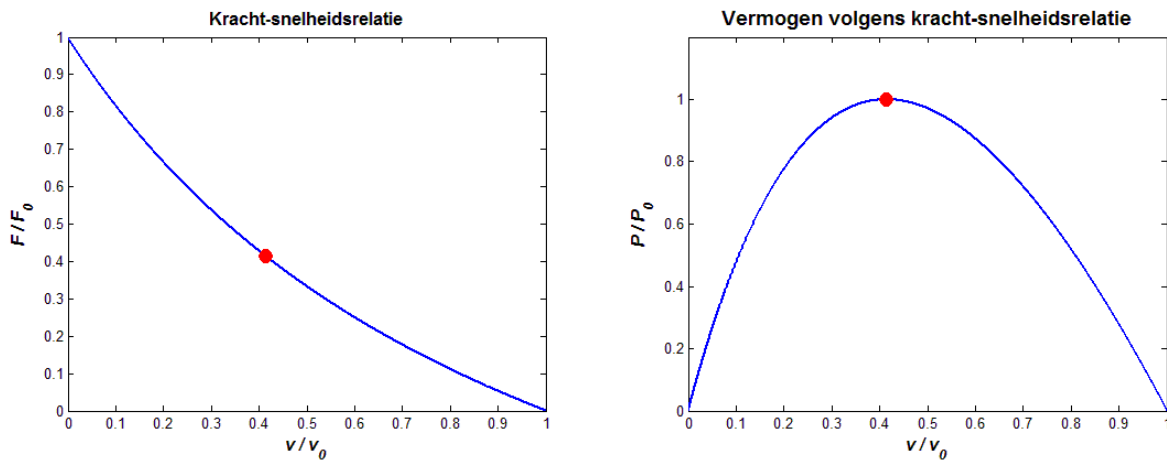
$$\omega = \frac{v}{r} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Willen we de hoeksnelheid in de formule voor de Hill-curve plaatsen, dan dienen we de formule voor hoeksnelheid om te schrijven als formule voor contractiesnelheid als functie van de hoeksnelheid:

$$v(\omega) = \frac{\omega \cdot r \cdot \pi}{180}$$

Van de vergelijking van Hill kan ook het optimum bepaald worden. Dit optimum kan gevonden worden door het vermogen volgens Hill uit te rekenen, en in die functie de top te bepalen. Voor de gevonden contractiesnelheid levert de spier het meest optimaal zijn kracht.

$$P_{Hill} = F_{Hill} \cdot v$$



Figuur 47. Kracht-snelheidsrelatie volgens Hill

Links: relatieve kracht tegen de relatieve contractiesnelheid volgens Hill

Rechts: relatief vermogen volgens Hill

rode stip: optimum

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

3. PAKKET VAN VOORWAARDEN

In de onderstaande opsomming worden de voorwaarden genoemd die in de modelmatige simulaties verwerkt dienen te worden.

VOORWAARDEN

- De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht
- De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt
- De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting
- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven
- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekken van het art. coxae en art. genus
- In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting
- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving
- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn
- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

4. MODELMATIGE SIMULATIES

In deze fase zal er aan de hand van de opgedane kennis en de opgestelde theoretische modellen een aantal Matlab-modellen vervaardigd worden, waarmee een aantal voorspellingen gedaan kan worden.

MODEL 1: KRACHTRICHTING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

Om aan te tonen dat men niet telkens zijn of haar skate hetzelfde zal plaatsen bij verschillende snelheden, wordt er in dit eerste model gesimuleerd dat er vanuit stilstand gestart wordt en de snelheid steeds opgevoerd wordt. Door telkens dezelfde afzettijd op te leggen, wordt er puur naar het effect gekeken van de snelheid op de hoek waaronder de skate geplaatst kan worden om zoveel mogelijk afzet te leveren zonder dat de skate te ver wegloopt bij het lichaam (zoals besproken is bij het theoretische model op pagina 37 en 38).

De regels die gelden in het model zijn:

$$\varphi_0 = \frac{90}{2} = 45$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g$$

$$F_{w,i} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{tot,i-1})^2$$

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + (-1)^2 \cdot \frac{F_r \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + \frac{F_r \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{tot,i} = \sqrt{(v_{i,x})^2 + (v_{i,y})^2}$$

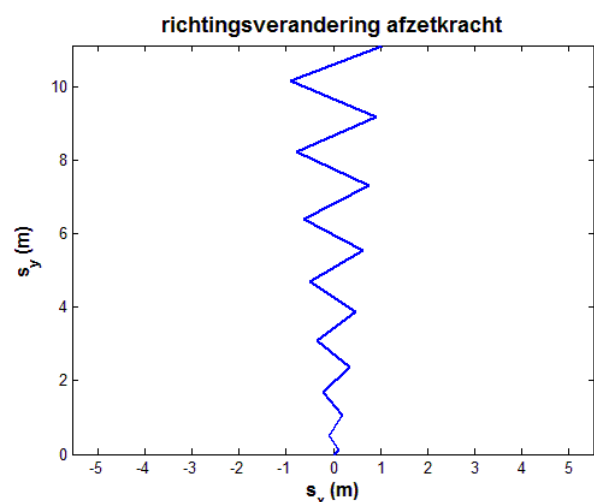
$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{tot,i} \cdot \sin(\varphi_i) \cdot t\right)^2 + \left(v_{tot,i} \cdot t - v_{tot,i} \cdot \cos(\varphi_i) \cdot t\right)^2} \rightarrow \varphi_i$$

Er wordt gestart onder een ideale afzethoek (90 graden), gedeeld door 2. Deze deling wordt gedaan omdat in de berekening voor de beenlengte s er vanuit wordt gegaan dat het lichaam zich in de gewenste richting (zuiver rechtdoor) beweegt, terwijl deze oscillerend om de gewenste bewegingsrichting zal bewegen (zoals te zien is in de formules voor $v_{x,i}$ en $v_{y,i}$). Het is goed denkbaar dat men daarom bij de start van het skeeleren ook schuin op de gewenste verplaatsingsrichting vertrekt, wat ook in de praktijk wordt waargenomen.

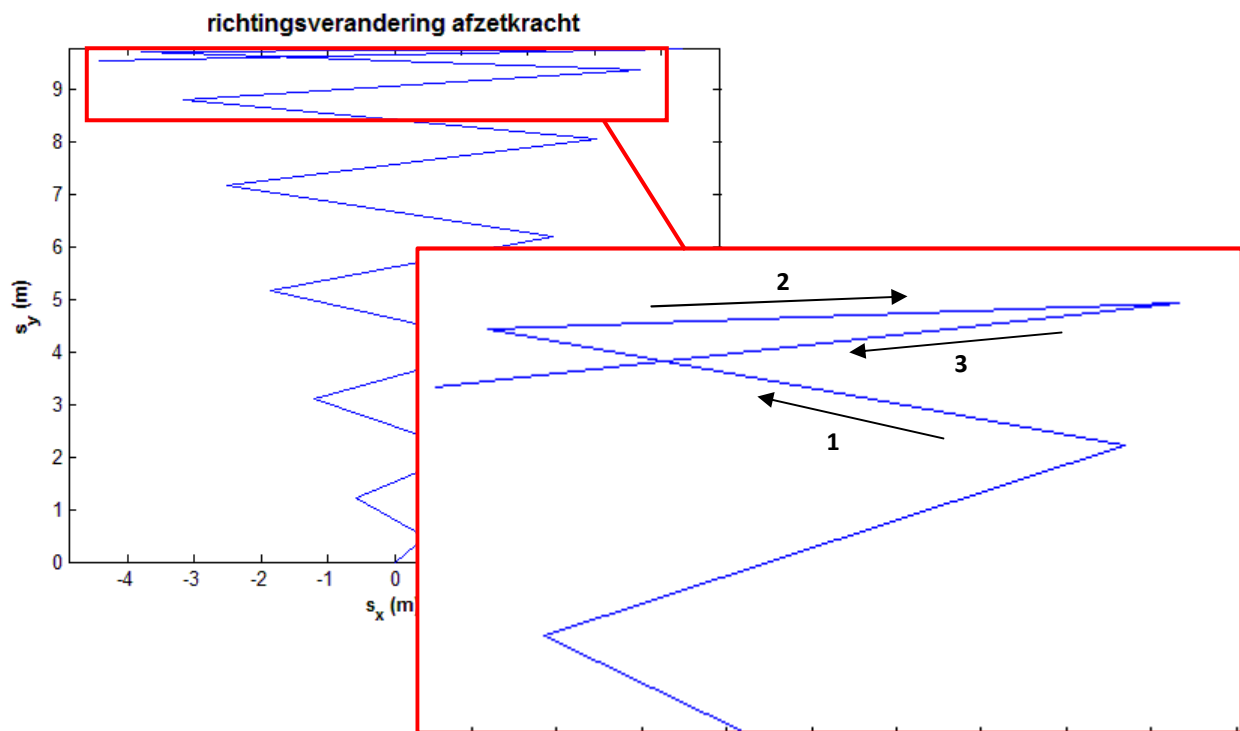
Nevenstaande figuur geeft de verplaatsing weer, waarbij er geen rekening is gehouden met de invloed van de snelheidsvector op de huidige snelheid (hier wordt later op teruggekomen). Dit model is slechts bedoeld om te illustreren hoe het mogelijke verloop van de richting van de afzetkracht is.



Figuur 48. Weergave van de richtingsverandering bij een toenemende snelheid

Het is duidelijk te zien dat wanneer de snelheid hoger is (te zien aan een grotere verplaatsing in zowel x- als y-richting), de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. De hoek van de reactiekracht ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting is namelijk $90 - \varphi$, waardoor de x-component van de reactiekracht steeds groter wordt, wat resulteert in een grotere zijwaartse verplaatsing.

Er komt een moment dat er een snelheid bereikt is, waarbij de wrijvingskracht groter is dan geleverde afzetkracht, waardoor men dus afgeremd wordt. In dit model is dat te zien als een afname van de verplaatsing, zoals in onderstaande figuur weergegeven wordt.



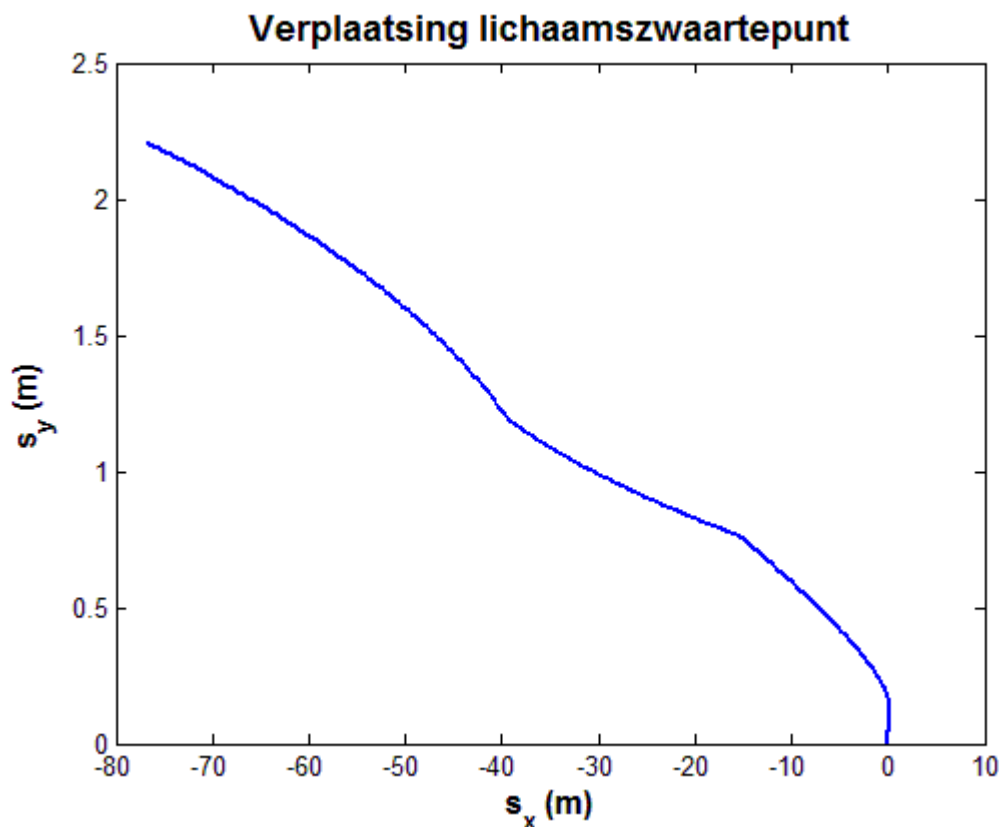
Figuur 49. Weergave van het gevolg van een luchtweerstand die groter is dan de afzetkracht in voorwaartse richting

MODEL 2: VERPLAATSING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

In het voorgaande model werd er telkens eenzelfde afzetkracht geleverd, in een krachtrichting die bepaald werd aan de hand van een formule die de krachtrichting optimaliseert bij een input van de afzettijd en de snelheid van de persoon.

In dit tweede model wordt elke afzet in honderd kleine stapjes opgedeeld, rekening houdend met de invloed van de vector van de reactiekracht op de huidige snelheidsvector. Hierdoor zal de snelheidsvector per honderdste deel van de afzettijd van richting veranderen ten gevolge van een andere richting van de reactiekracht (ten opzichte van de bewegingsrichting van de persoon). De afzetkracht wordt bepaald aan de hand van een optimalisatie naar optimaal vermogen volgens Hill, zoals besproken is bij de kracht-snelheidsrelatie van spieren in de analyse. Vervolgens wordt deze kracht vermenigvuldigd met de factor volgens de kracht-lengterelatie.

Dit proces wordt weergegeven in figuur 50. In de onderstaande figuur is het effect van vectorberekening te zien. Het blijkt dus dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. Opvallend is de enorme verplaatsing in x-richting ten opzichte van de verplaatsing in y-richting. Dit is mogelijk te verklaren aan de hand van de data die het model als output levert.



Figuur 50. Verplaatsing van het lichaamszwaartepunt volgens model 2
assen zijn niet 1:1 geschaald

MODEL 3: TOEVOEGING VAN GELIJKBLIJVENDE SNELHEIDSVECTOR

Bij het versnellen was te zien dat de persoon naar links of rechts ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting verplaatste en deze gewenste bewegingsrichting niet meer kruiste. Bij skeeleren met constante snelheid zou ditzelfde patroon niet verwacht worden, omdat er telkens met een zelfde krachtvector een verandering van de snelheidsvector plaatsvindt. De eerste vraag die opkomt is: "Hoe ziet het grondpatroon van een skeeleraar eruit als er telkens eenzelfde krachtsvector, en dus eenzelfde snelheidsvector, wordt toegevoegd?".

Een dergelijke situatie kan aan de hand van de verkregen gegevens uit de videoanalyse gesimuleerd worden:

- $F_{rx} = 219 \text{ N}$
- $v_y = 25 \text{ km/h} = \frac{25}{3.6} = 6.9 \text{ m/s}$

Hierbij wordt, net als in bij de pilotmeting, de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant gehouden.

Het model werkt volgens de volgende regels:

$$F_{rx} = 219$$

$$v_{y,0} = \frac{25}{3.6}$$

$$v_{toegevoegd,x} = \frac{F_{rx}}{m} \cdot t$$

$$v_{toegevoegd,y} = F_{ry} - F_{w,tot} = 0$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + v_{y,i-1} - v_{y,i-2} + v_{toegevoegd,y}$$

afzet naar rechts:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} + v_{toegevoegd,x}$$

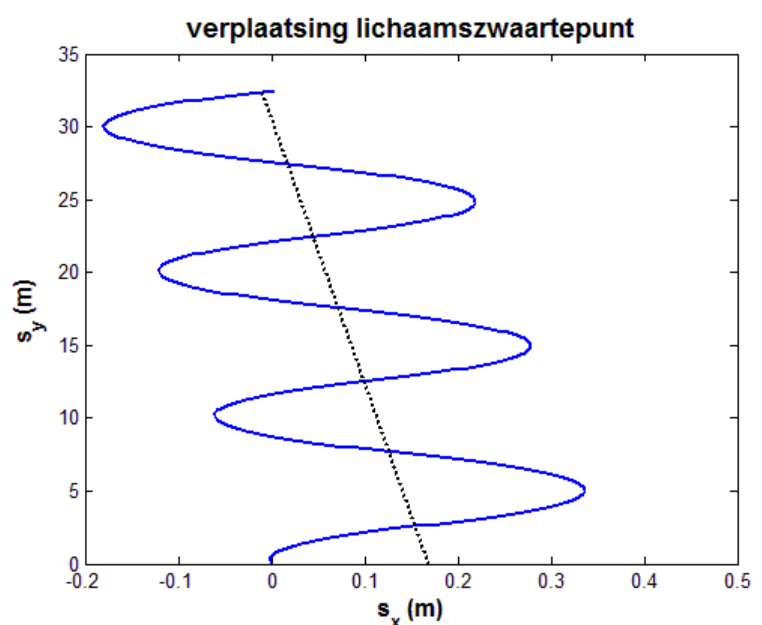
afzet naar links:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} - v_{toegevoegd,x}$$

$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

Het resultaat van het simuleren volgens bovenstaande regels is te zien in de nevenstaande plot.



Figuur 51. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

assen zijn niet 1:1 geschaald

5. EVALUATIE

Tijdens deze evaluatie zal de output van de modellen getoetst worden aan het pakket van voorwaarden. Dit zal puntsgewijs gebeuren.

TOE-OFF VOOR AFZET

Voordat een afzet met het ene been plaatsvindt moet er een toe-off van het andere been plaatsvinden

Deze voorwaarde voor het kunnen simuleren van afzetten die op elkaar volgen, en niet tegelijkertijd optreden, is in alle drie de modellen verwerkt.

WRIJVINGSKRACHTEN

In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:

- Luchtwrijving
- Rolwrijving

In het eerste model is de luchtwrijving opgenomen, de rolwrijving niet. Als we kijken wat de invloed van het ontbreken van de rolwrijving is, komen we op de volgende berekeningen:

$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r = 75.7 \cdot 9.81 \cdot 0.0077 = 5.7 \text{ N}$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g = 0.35 \cdot 75.7 \cdot 9.81 = 259.9 \text{ N}$$

Het moge duidelijk zijn dat de rolwrijvingscoëfficiënt en het percentage van het lichaamsgewicht de invloeden zijn die voor dit verschil in kracht zorgen omdat in beide formules de massa en zwaartekrachtsversnelling gelijk zijn.

De invloed van de rolwrijving op de kracht die geleverd zou worden is:

$$\frac{c_r}{p_{lat}} \cdot 100\% = \frac{0.0077}{0.35} \cdot 100\% = 2.2\%$$

Dit is een zeer laag percentage, waardoor we kunnen aannemen dat het beeld wat het model schetst niet erg vertekend is.

In het tweede model is totaal geen wrijvingskracht opgenomen. Voor model 1 zagen we al dat de rolwrijving verwaarloosbaar klein is, maar of dit voor de luchtwrijving ook opgaat is de vraag. Als we kijken naar de eindsnelheid van de simulatie (na vier afzetten), dan kan er gesteld worden dat er de volgende luchtwrijvingskracht zal heersen:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.293 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot (6.9)^2 = 19.7 \text{ N}$$

Als dit vergeleken wordt met de afzetkracht die op dat moment geleverd wordt, komen we op de volgende invloed:

$$\frac{F_{w,lucht}}{F_r} \cdot 100\% = \frac{19.7}{515.16} \cdot 100\% = 3.8\%$$

De invloed van de luchtwrijving op de geleverde afzetkracht blijkt niet groot te zijn.

In het derde model wordt er indirect rekening gehouden met de wrijvingskrachten. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant blijft. Dit kan alleen als er totaal geen wrijving optreedt, of als de reactiekracht in de gewenste bewegingsrichting even groot is als de wrijvingskrachten, de resultante kracht is dan namelijk gelijk aan 0.

AFZETKRACHT

In model 1 is de afzetkracht gedefinieerd als het lichaamsgewicht (vermenigvuldigd met de zwaartekrachtsversnelling) maal een percentage. Dit percentage kan gevarieerd worden. Zo is uit de literatuur bekend dat het percentage van het lichaamsgewicht (in Newton) dat men kan leveren bij een afzet tot 150% kan oplopen.

Hierin is dus geen afzetkracht opgenomen in de vorm van een Hill-curve of volgens de krachten die gevonden zijn in de analyse.

Voor het tweede model is de kracht volgens Hill als eerste uitgangspunt genomen. Vervolgens wordt deze kracht gerelateerd aan de kracht-lengterelatie van een spier. De geleverde spierkracht komt maximaal op 467 N, wat nog geen 100% van het lichaamsgewicht in Newton is (757 N) [5].

In het derde model wordt gebruik gemaakt van de afzetkracht in x-richting, die uit de analyse naar voren is gekomen, om de zijwaartse verplaatsing te simuleren.

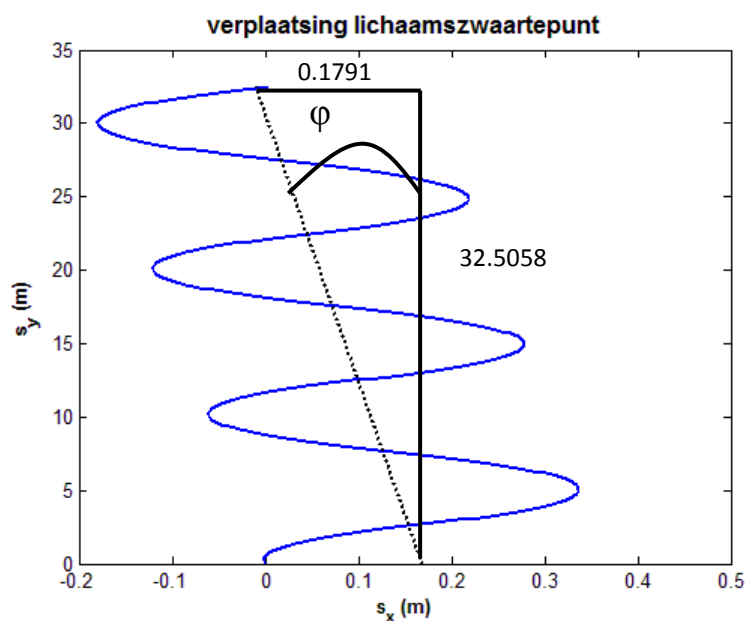
RESULTAAT

In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven

Alleen voor het derde model kan gesteld worden dat het uitwendige resultaat (de verplaatsing van de persoon) te vergelijken is met wat uit de analyse naar voren is gekomen.

Net als in het gangpatroon uit de analyse, verplaatst het lichaamszwaartepunt zich in een sinusvorm in de gewenste bewegingsrichting. De zijwaartse verplaatsing is van piek tot piek nagenoeg gelijk. Als we kijken naar de positie van de pieken ten opzichte van de x-as, dan zien we wel een verschil. Waar het grondpatroon van de pilotmeting om de breedte-as oscilleert, is dat bij het gesimuleerde grondpatroon niet zo. Daar oscilleert het lichaamszwaartepunt om een lijn die schuin naar linksboven loopt, zoals weergegeven is in figuur 52. De schuinite is berekend volgens onderstaande methode:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) = \arctan\left(\frac{0.1791}{32.5058}\right) = 0.3^\circ$$



Figuur 52. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

Verticale zwarte lijn: verplaatsing in y-richting

Horizontale zwarte lijn: gemiddelde verplaatsing in x-richting

φ : hoek gemiddelde bewegingsrichting met verticaal

assen zijn niet 1:1 geschaald

6. DISCUSSIE

In deze discussie zullen er puntsgewijs onderwerpen besproken die de resultaten van de pilotmeting of de modellen beïnvloed hebben.

VIDEOANALYSE

Bij het skeeleren op de loopband is sprake van twee variabelen die opgelegd kunnen worden, de hellingshoek en de snelheid. Tijdens de pilotmeting mocht de proefpersoon deze variabelen zelf bepalen. Het is te verwachten dat de proefpersoon hier gaat kiezen voor een combinatie waar hij zich comfortabel bij voelt. Waar tijdens het rijden op de weg de propulsiekracht bepalend is voor de snelheid hoeft dit tijdens de meting niet zo te zijn. Het kan voorkomen dat er een propulsiekracht wordt opgelegd met een niet bijpassende snelheid. Het gevolg hiervan dat de hoek van de skate met de rijrichting niet hoeft overeen te komen met de hoek die gehaald wordt tijdens het rijden op asfalt met een bijpassende snelheid.

De verwerking van de pilotmeting van de double push en klassieke techniek is uitgevoerd bij één snelheid en hellingshoek. Waar het te verwachten is dat de efficiëntie van beide technieken afhankelijk is van de snelheid, valt niet te zeggen dat de double push in alle situaties een bijdrage kan leveren aan de voorwaartse snelheid. Wanneer het onderzoek bij meerder snelheden, hoeken en proefpersonen wordt verricht wordt de betrouwbaarheid van de uitspraken groter.

Hetzelfde geldt voor het aantal slagen dat zijn genomen, tijdens het verwerken is een cyclus van acht slagen uitgekozen. Voor een hogere betrouwbaarheid is het aan te bevelen een langere cyclus te bekijken.

De double push laat zich in vele vormen zien tijdens wedstrijden. Tijdens dit onderzoek is niet op zoek gegaan naar een optimum bij deze techniek. Ook is er niet op zoek gegaan naar een variabele die iets zegt over wat nu een “goede” double push is.

Bij het bepalen van de afzetkracht is gebleken dat er niet met zekerheid te zeggen is wat voor krachten er nu werkelijk worden geleverd tijdens de afzet, en dan met name rond de bipedale fase. De vorm van de krachten kwam wel overeen met gemeten afzetkrachten in de literatuur, echter of op deze manier een realistische waarde is gemeten kan niet worden gezegd.

Ook is bij het bepalen van de afzetkracht de hoogte van het zwaartepunt vastgelegd. De verplaatsing in absolute waarde is nog niet hoog te noemen, echter is de verplaatsing in verticale richting bij de double push wel groter dan die bij de klassieke techniek.

MODEL 1

Zoals bij de evaluatie al besproken is, is er geen gebruik gemaakt van de afzetkracht die verkregen is uit de videoanalyse of vanuit de vergelijking van Hill. Echter, het model dient vooral ter illustratie van het verloop van de afzetricting, waarbij het van belang is dat er een snelheid gegenereerd wordt. Aangezien de afzetkracht in het model gevarieerd kan worden (door het percentage van het lichaamsgewicht in Newton dat geleverd wordt te verhogen), is deze beperking geen groot punt van discussie.

MODEL 2

Bij het tweede model valt het op dat de verplaatsing in zowel x- als y-richting onjuist is. De waarden wijken zo veel af van de werkelijkheid, dat dit model als onjuist beschouwd kan worden.

Een grote beperking in het model is de aanname van krachtslevering met slechts de kniestrekkers, waarbij in de verkorting van deze spiergroep geen rekening gehouden is met de bewegingen die plaatsvinden in het heupgewricht (wat een effect heeft op de bi-articulaire m. rectus femoris).

MODEL 3

Het enige punt van discussie van het derde model is dat de gemiddelde afgelegde weg (de stippellijn in figuur 52) niet overeenkomt met de gewenste bewegingsrichting die een verticale lijn voorstelt. De schuinte van de gemiddelde afgelegde weg is echter zeer klein.

THEORETISCH MODEL

Het theoretisch model kent een aantal beperkingen. Zo wordt er geen rekening gehouden met het stuurgedrag van de skeeler ten opzichte van de skeeleraar, er wordt verondersteld dat de skeeler onder een hoek wegloopt bij het lichaam, terwijl in werkelijkheid deze wegliep beperkt wordt door de skeeler steeds meer evenwijdig aan de bewegingsrichting te plaatsen (zoals naar voren gekomen is uit de videoanalyse).

7. CONCLUSIE

Het verslag beschrijft twee fases, namelijk een vergelijking van de double push en klassieke techniek aan de hand van videoanalyse en een modelleringsfase. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke en double pushtechniek.

Uit de vergelijking tussen de klassieke en double pushtechniek is gebleken dat de mediale afzet in de double push een extra kracht levert die bijdraagt aan de propulsiekracht. Deze kracht wordt gegenereerd door de afzet naar mediaal. Het totaal geleverd vermogen van de double push en klassieke techniek zijn echter ongeveer gelijk. Het voordeel van de double push schuilt dus in het verlagen van de piekbelasting. De krachtcomponent van de afzetkracht voor de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt bij de laterale afzet bleek bij de klassieke groter te wezen dan de double push het gevolg is een breder gangpatroon bij de klassieke techniek. Dit terwijl er bij de double pushtechniek toch meer meters worden afgelegd door de skeelers.

Voor het bepalen van de kwantitatieve afzetkrachten en vermogens, dient de methode voor het verkrijgen de afzetkracht gevalideerd te worden en eventueel aangepast te worden. Dit is mogelijk door met een voetzool krachtmeter te meten tijdens het skeeleren. Een aspect wat hiervan belang kan zijn is de ab- en adductiemogelijkheid van het art. coxae tijdens de bipedale fase.

Uit de modelstudie bleek dat de richting van de skate steeds evenwijdiger aan de gewenste bewegingsrichting wordt geplaatst naarmate de snelheid in voorwaartse richting toeneemt. De skate komt echter nooit evenwijdig te staan omdat op een gegeven moment de wrijvingskrachten gelijk zijn aan voorwaartse kracht component.

In het tweede model is gepoogd de kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties te bepalen, dit heeft echter niet geleid tot een realistisch gangpatroon.

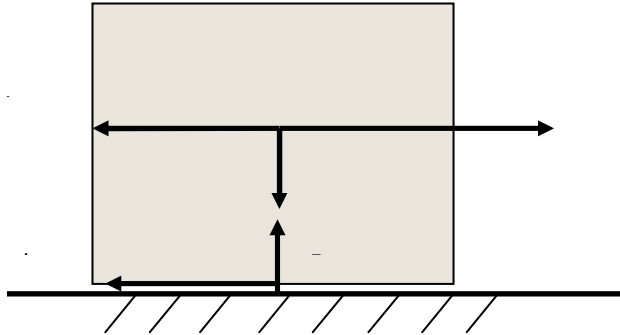
In het derde model is met behulp van de verkregen afzetkracht in x-richting (219 N) en de snelheid in gewenste bewegingsrichting (25 km/h) uit de analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Voor het verkrijgen van een beter model dient er rekening gehouden te worden met de baan van de skate en het lichaamszwaartepunt. De afzetkracht dient door het lichaamszwaartepunt te lopen. Omdat de verandering van de positie van het skate contact en het lichaamszwaartepunt constant varieert is dit een belangrijk aspect is voor het verkrijgen van de snelheid. Wanneer hier de posities en standen van het been ook nog in meegenomen worden, zal de kracht-lengterelatie en kracht-snelheidsrelatie een grotere voorspellende waarde hebben voor de prestaties.

- [1] Publow B. Speed on skates: a complete technique, training and racing guide for in-line and ice skaters. Human Kinetics; 1999
- [2] De Boer RW, Vos E, Hutter W, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice, *European Journal of Applied Physiology* 56 (1987) 562-569
- [3] Oonk HN. Biostatica. Den Haag: Henric Graaff van IJssel; 2004
- [4] Claiborne TL, Timmons MK, Pincivero DM. Test-retest reliability of cardinal plane isokinetic hip torque and EMG, *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2008)
- [5] Hoos O, Hottenrott K, Sommer H. Push-off force in in-line speed skating: magnitude, local distribution under the foot and point of application, *Biomechanics and Sports* 1103 (2001)
- [6] Houdijk H, De Koning JJ, De Groot G, Bobbert MF, Van Ingen Schenau GJ. Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates, *Medicine & Science in Sports & Exercise* (1999) 636-641
- [7] De Koning JJ, De Boer RW, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Push-off force in speed skating, *International Journal of Sport Biomechanics* 3 (1987) 103-109
- [8] Cheng EJ, Brown IE, Loeb GE. Virtual muscle: a computational approach to understanding the effects of muscle properties on motor control, *Journal of Neuroscience Methods* (2000) 117-130
- [9] Hoy MG, Zajac FE, Gordon ME. A musculoskeletal model of the human lower extremity: the effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee and ankle, *Journal of Biomechanics* 23 (1990) 157-169
- [10] Bornhorst WJ, Minardi JE. A phenomenological theory of muscular contraction, *Biophysical Journal* 10 (1970) 155-171
- [11] Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscles, *Journal of Physiology* (1966) 184:170-192
- [12] Askew GN, Marsh RL. Optimal shortening velocity (v/v_{max}) of skeletal muscle during cyclical contractions: length-force effects and velocity-force dependent activation and deactivation, *The Journal of Experimental Biology* 201 (1998) 1527-1540
- [13] Thaller S, Wagner H. The relation between Hill's equation and individual muscle properties, *Journal of Theoretical Biology* 231 (2004) 319-332
- [14] Borg F, Herrala M. The force-velocity relation studied with a pneumatic leg-extension/curl device, Jyväskylä University, 2002
- [15] McLean SG, Van den Bogert AJ. Development and validation of a 3-D model to predict knee joint loading during dynamic movement, *Journal of Biomedical Engineering* 125 (2003) 864-874

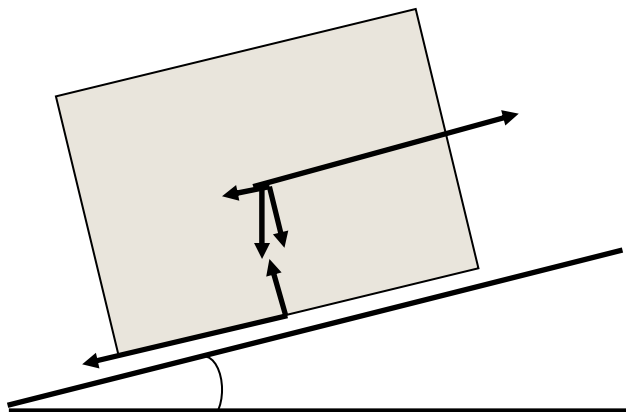
BIJLAGE I: SKEELEREN OP EEN LOPENDE BAND

De pilotmeting is uitgevoerd op een loopband, waar de proefpersoon toch het idee had dat het anders skeeleren is dan tijdens het skeeleren. In dit hoofdstuk zal kort in worden gegaan op het rijden op de lopende band in vergelijking met de weg. Ter vereenvoudiging wordt de skeeleraar opgevat als een blok.



$$F_x = F_{prop} - F_{rol} - F_{luchtw} = 0$$

$$F_y = F_n - F_z = 0$$



$$F_{zl} = \sqrt{F_{zx}^2 + F_{zy}^2}$$

$$F_{xl} = F_{prop} - F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = 0$$

$$F_{yl} = F_n - m * g * \cos(\text{hoek}) = 0$$

Wanneer geldt dat:

$$F_{prop} = -F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = -F_{rol} - F_{luchtw} ,$$

is het rijden tegen een helling op de lopende band mechanisch hetzelfde als rijden op het vlakke waar een luchtweerstand overwonnen dient te worden.

De band heeft echter wel twee variabelen: de snelheid en de hoek zorgen samen voor F_{prop} . Op de weg wordt er een F_{prop} geleverd en daar past de snelheid zich op aan. Lever je minder kracht dan ga je minder hard. Wanneer de lopende band een bepaalde propulsiekracht vraagt maar deze wordt niet geleverd kan dit

resulteren in een verplaatsing op de band, wat de proefpersoon vervolgens weer corrigeert. Het gevolg is dat de proefpersoon telkens zijn eigen propulsiekracht evalueert. In andere woorden bij de lopende band blijven de hoek en snelheid gelijk en dient de persoon zijn F_{prop} er op aan te passen. Hierdoor kan het gebeuren dat de lopende band wordt ingesteld op een hoek die een propulsiekracht vraagt die voor het gevoel van de skeeleraar niet bij de snelheid hoort die de band op dat moment draait. Dit kan onwennig voelen, immers een skeeleraar is er aan gewend dat de snelheid aangepast wordt aan zijn propulsiekracht.

Een ander verschil is dat wanneer de hoek van de lopende band met horizontaal steeds groter wordt, de projectie van het lichaamszwaartepunt meer in de richting van het achterste wiel komt te liggen. Dit geldt alleen wanneer de skater zijn heup-, knie- en enkelhoek niet verandert.

Het lichaamszwaartepunt wordt bij contactfase door ongeveer het midden van de voet geprojecteerd [1]. Bij een voetlengte van 26 cm bij de proefpersoon betekent dus dat een verplaatsing van de projectie van 13 cm een projectie achter het bovenste spronggewricht als gevolg heeft, waardoor de coördinatie van de afzet compleet anders is. Uit de videoanalyse bleek dat het lichaamszwaartepunt zich 1,1 meter boven de grond bevindt.

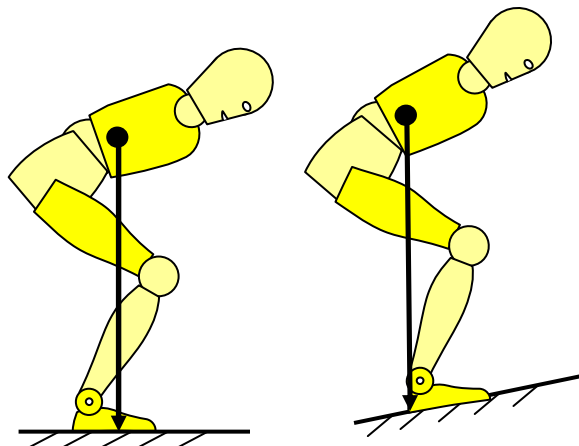
$$projectie = \tan(hoek) * hoogte_{zwp}$$

Dit betekent dat bij een hoek van 6,7 graden de projectie van het lichaamszwaartepunt door de dorsale zijde van de calcaneus gaat.

De hoek van de band is tijdens de videoanalyse ingesteld op 2,5 graden. Dit betekent dat de zwaartepunt projectie 4,8 cm verder naar achter ligt dan bij het skeeleren op de weg. Dit is een aanzienlijke afwijking op de lengte van de voet.

Het bovenste sprong gewricht ligt ongeveer 8 cm naar dorsaal ten opzichte van de projectie van lichaamszwaartepunt op een horizontale ondergrond. Dit betekent dat de momentsarm rond het bovenste spronggewricht in deze situatie 42,5% van normaal is.

Er zal dus zeker een verandering in hoek moeten optreden, dit is zonder problemen te realiseren. Echter, hierdoor veranderen de momentsarmen wel enigszins waardoor de coördinatie een fractie anders is.

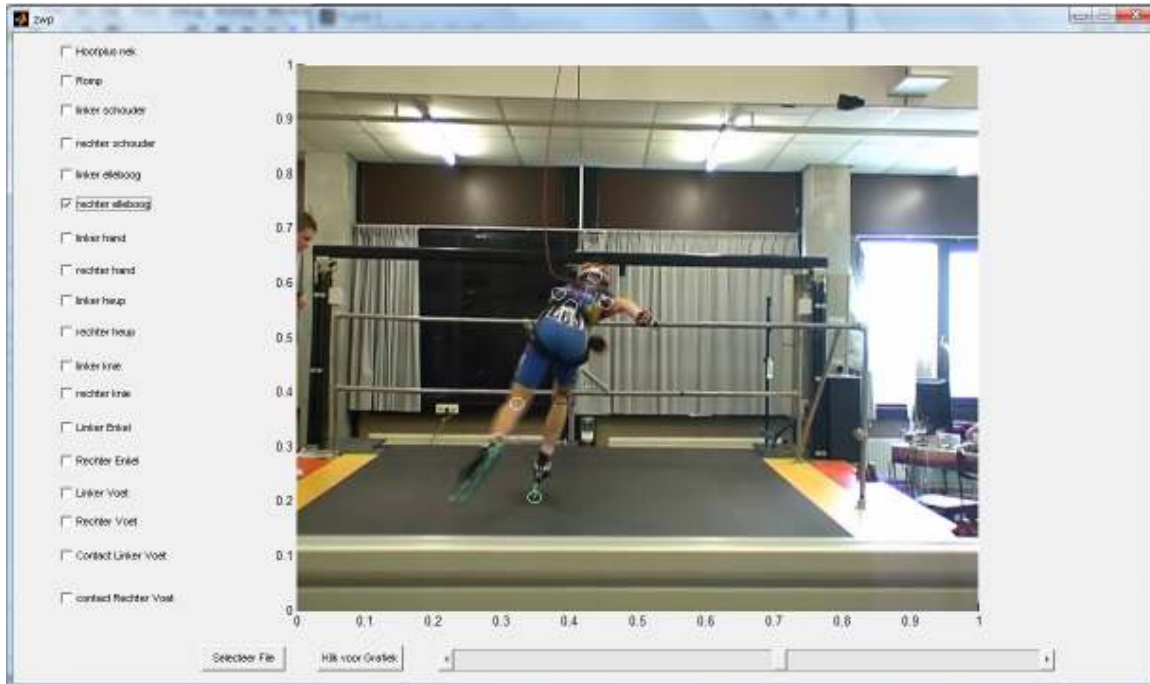


Geconcludeerd kan worden dat de propulsiekrachten en snelheden op de lopende band wel overeen kunnen komen met het skeeleren op de weg. Echter, er wordt wel een andere coördinatie gevraagd en de proefpersoon moet zijn afzetkracht aanpassen op de lopende band en niet andersom.

BIJLAGE II: BESCHRIJVING GUI

Met behulp van Matlab is een programma geschreven, dat de baan van het lichaamszwaartepunt en de voetcontacten op de grond projecteert aan de hand van een video van dorsaal aanzicht van een persoon die zich met een bekende snelheid in voorwaartse richting verplaatst.

Met het programma kan een .avi file ingelezen worden die overeenkomt met de codec op computer. Vervolgens kan naar een vrij te kiezen begin beeld kiezen, door de checkboxen aan te vinken en vervolgens de bijbehorende positie in op het beeld aan te klikken (figuur 53).



Figuur 53. Screenshot GUI

De data wordt weggeschreven naar een bestand en ieder volgend punt dat aangeklikt wordt wanneer de checkbox geselecteerd is wordt in het zelfde bestand onder het vorige coördinaat gezet. Hierdoor ontstaat een matrix van een x- en y-positie van alle punten. Dit geldt voor alle 18 checkboxen.

$$\begin{bmatrix} xcoördinaat & ycoördinaat \\ punt1 & punt1 \\ punt2 & punt2 \end{bmatrix}$$

Door de frequentie van de videobeelden in te voeren is de tijd tussen de beelden te bepalen. Wanneer de snelheid constant en bekend is, is het mogelijk de afstand tussen de punten berekenen.

Voor de bepaling van de kwantitatieve afstand afgelegd in de zijwaartse richting dient een afstand in het beeld bekend te zijn. Met behulp van de volgende vergelijking wordt door middel van ijking de grote van een pixel bepaald.

$$\frac{\text{bekende } s}{\text{aantal pixels}} = \text{factor}$$

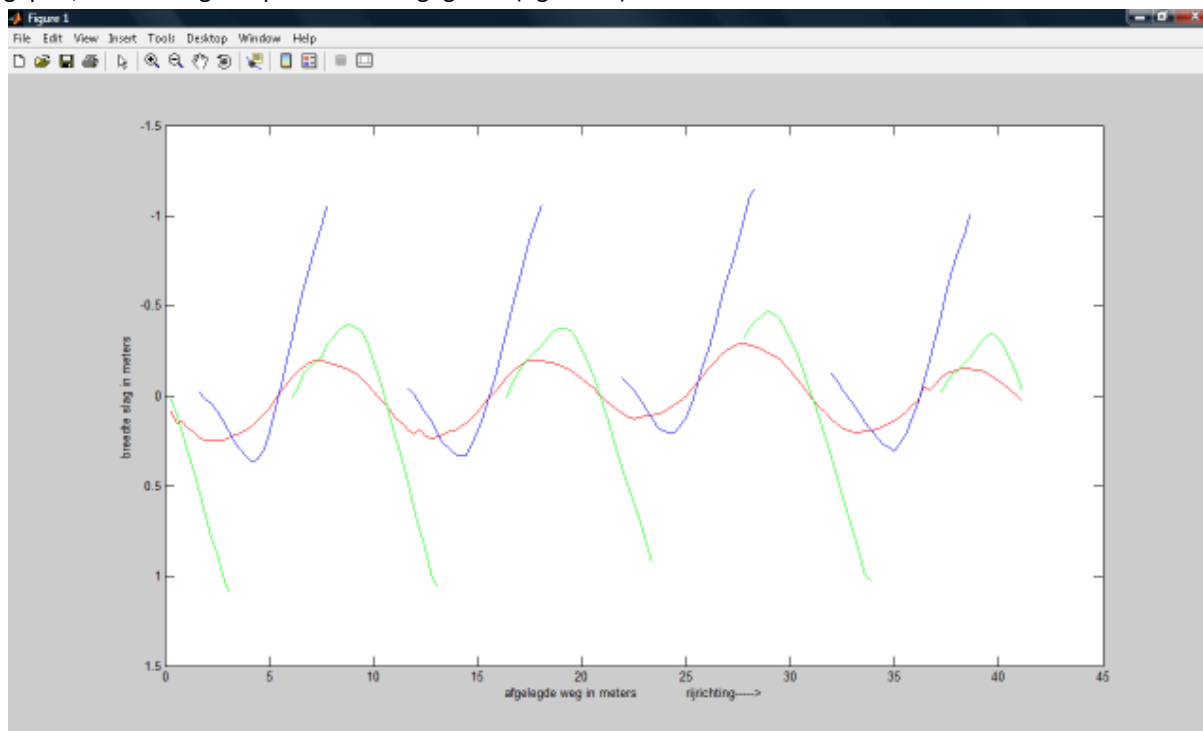
Door de data te vermenigvuldigen met deze factor worden de coördinaten omgezet in meters.

Het lichaamszwaartepunt wordt bepaald met de coördinaten van alle ledematen en de massa's van de ledematen verkregen uit de reader van Bert Broeren: Antropometrie.

$$\frac{\sum massa_{i+n} * coördinaat_{i+n} + \dots}{totale\ massa} = coördinaat\ lichaamszwaartepunt$$

Het programma doet dit voor alle rijen, in de matrix ontstaat een zelfde soort matrix met de posities van het zwaartepunt.

Wanneer de momenten dat de skate contact maakt met de grond wordt ook aangeklikt en naar een matrix geschreven worden. Als de matrices van de contactpunten en het zwaartepunt samen in een grafiek worden geplot, wordt het grondpatroon weer gegeven (figuur 54).



Figuur 54. Grondpatroon lichaamszwaartepunt en contacten skates

Met behulp van deze verkregen data zijn vervolgens meer gegevens te bepalen.

AFSTUDEERSCRIPTIE SKEELEREN

NADER ONDERZOECHT:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

Juni 2009

AFSTUDEERSCRIPTIE **SKEELEREN**

NADER ONDERZOECHT:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

1^e begeleider: T. Gerbrands

2^e begeleider: H. Faber

Juni 2009

VOORWOORD

Dit verslag is geschreven in het kader van het afstudeertraject van de opleiding Bewegingstechnologie.

Het verslag is met name bestemd voor de examencommissie, maar zeer zeker ook voor geïnteresseerden in de skeelersport die meer inzicht willen krijgen in de biomechanische principes bij het skeeleren, en dan met name over de verschillen en overeenkomsten tussen de klassieke techniek en double pushtechniek.

Tot slot willen wij nog enkele personen bedanken voor hun input en steun tijdens het afstudeertraject.

Allereerst gaat onze dank uit naar Tim Gerbrands, die een rustpunt voor ons vormde, waardoor we telkens duidelijk hebben kunnen analyseren waar we stonden en op welke manieren we verder konden gaan met het analyseren en modelleren. Tevens willen we hem bedanken voor de hulp bij de pilotmeting.

Ook gaat onze dank uit naar Herre Faber, die ons inzicht verschaft heeft in de afzetprincipes bij het schaatsen en skeeleren. Ook was zijn hulp bij het gebruik van Matlab als hulpmiddel om de data te analyseren een welkome bijdrage aan het project.

Den Haag, juni 2009

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	6
Symbolenlijst	7
1. Inleiding	8
2. Analyse	9
Ganganalyse	9
Houding	9
Gangcyclus	10
Biomechanische eigenschappen.....	10
Gangpatroon.....	11
Gangpatroon Klassiek	11
Contactfase.....	11
Bipedale rolfase	11
Unipedale rolfase.....	12
Afzetfase	12
Zwaai fase	13
Bijhaalfase	13
Rustfase	13
Plaatsingsfase	14
Gangcyclus	15
Gangpatroon double push.....	16
Contactfase.....	16
Mediale afzetfase	16
Rol-/trekfase	17
Gangcyclus	18
Grondpatronen videoanalyse.....	19
Positie lichaamsswaartepunt ten opzichte van de contactpunten	20
Klassieke techniek.....	20
Double push.....	22
Abducerende adducerende mogelijkheden tijdens de glijfases.....	23
Vergelijking klassiek en double push	24
Propulsiekrachten.....	26
X-component afzetkracht	28
Vermogen	29
Piekvermogen	30
X-component vermogen	30
Evaluatie en terugkoppeling	31
Afzetkracht	32
Vermogen	34
Theoretisch model.....	35
Wrijvingskrachten.....	39
Spiereigenschappen	41
Factoren voor spierkracht	41
Kracht-lengterelatie.....	42
Kracht-snelheidsrelatie.....	45
3. Pakket van voorwaarden	47
Voorwaarden	47

4.	Modelmatige simulaties	48
	Model 1: Krachtrichting bij versnellen vanuit stilstand	48
	Model 2: Verplaatsing bij versnellen vanuit stilstand	50
	Model 3: Toevoeging van gelijkblijvende snelheidsvector	51
5.	Evaluatie	52
	Toe-off voor afzet	52
	Wrijvingskrachten	52
	Afzetkracht	53
	Resultaat	54
6.	Discussie	55
	Videoanalyse	55
	Model 1	55
	Model 2	56
	Model 3	56
	Theoretisch model	56
7.	Conclusie	57
	Literatuur	58
	Bijlagen	59
	Bijlage I: Skeeleren op een lopende band	59
	Bijlage II: Beschrijving GUI	61

SAMENVATTING

Dit verslag beschrijft een onderzoek naar de verschillen van een steeds meer voorkomende techniek in de skeelersport, de double push. Omdat er weinig wetenschappelijke literatuur geschreven is over de double pushtechniek, wordt de techniek vergeleken met de klassieke skeelertechniek. Voor een beter inzicht in de technieken wordt een modelstudie gedaan naar de mechanische basisprincipes van het skeeleren.

Dit onderzoek heeft als doel het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke techniek en double pushtechniek. Met behulp van Matlab 7.6 zijn drie modellen vervaardigd, de input voor de modellen komt uit de ganganalyse van de double push en klassieke techniek.

Uit de analyse naar de geleverde afzetkrachten en vermogens bij de double push en klassieke techniek bleek dat beide technieken ongeveer eenzelfde vermogen leveren. De double pushtechniek verdeelt de kracht echter over twee opeenvolgende afzetten waardoor de piekbelasting lager is. De klassieke techniek bleek echter een grotere krachtcomponent te hebben die ten goede komt aan de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt. De methodes die zijn toegepast voor het berekenen van de grootte van de krachten en vermogen vragen echter om een validatie.

Om de mogelijke strektijden en afzetkrachten te bepalen voor het model is gekeken naar de spierfysiologie. Aan de hand van kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties zijn functies opgesteld voor de strekkracht.

De modelleringsfase heeft tot verschillende resultaten geleid.

Het eerste model beschrijft de krachtrichting bij het versnellen uit stilstand. Dit model berekent telkens de optimale afzethoek voor het verkrijgen van de meeste voorwaartse snelheid aan de hand van krachtvector analyse verkregen uit de mechanische basisprincipes. Uit het model bleek dat naarmate de snelheid toenam de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. Op een gegeven moment zal de afzetkracht geen snelheid meer toe kunnen voegen omdat de wrijvingskracht niet meer overwonnen kan worden.

Het tweede model beschrijft de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens het versnellen vanuit stilstand. Door de afzetkracht telkens voor een kleine tijdsinterval te bepalen, hier uit blijkt dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. De afwijking hiervan is zo groot dat dit model als incorrect beschouwt kan worden.

In het derde model, is met behulp van de verkregen afzetkracht (219 N) en snelheid (25 km/h) uit de afzetkracht analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Uit het onderzoek is gebleken dat de double push een voordeel heeft ten opzichte van de klassieke techniek. Over de precieze waarden zijn geen uitspraken te doen, hiervoor dient de methode voor het bepalen van de afzetkracht gevalideerd te worden. De modellen beschrijven de basisprincipes van het ontstaan van de baan van het lichaamszwaartepunt. Voor een verbetering van de voorspellende waarde van de modellen dienen de posities van het lichaamszwaartepunt en skatecontact meegenomen te worden.

SYMBOLENLIJST

Symbol	Betekenis	Eenheid
a	Indien gebruikt in de formule voor F_{Hill} : Hill-constante voor de isometrische kracht van een spier	N
	In alle andere gevallen: versnelling	m/s^2
A	Frontaal oppervlak	m^2
b	Hill-constante voor de maximale contractiesnelheid van een spier	m/s
c	Hill-constante voor het maximale vermogen dat door een spier geleverd kan worden	W
c_r	Rolweerstandcoëfficiënt, vormafhankelijk	-
c_w	Weerstandswaarde, vormafhankelijk	$\text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$
dx	Vershil in positie in x-richting	m
dy	Vershil in positie in y-richting	m
F	Kracht	N
F_{Hill}	Kracht, gedefinieerd volgens Hill	N
F_r	Reactiekracht ten gevolge van de afzetkracht	N
F_{res}	Resulterende kracht, kracht die overblijft na optellen van alle heersende krachten	N
F_w	(Totale) Wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{lucht}}$	Lucht wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{rol}}$	Rolwrijvingskracht	N
g	Zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
h	Heupbreedte	m
l	Spierlengte	m
m	Massa	kg
p	Dichtheid van het medium waardoor verplaatst wordt	
P	Vermogen	W
p_{lat}	Coëfficiënt die het percentage van het lichaamsgewicht men gebruikt bij het afzetten	-
r	Momentsarm	m
s	Beenlengte in het bovenaanzicht	m
s_x	Verplaatsing in x-richting	m
s_y	Verplaatsing in y-richting	m
T	Afzettijd, tijd waarin men afzetkracht levert	S
v	Snelheid	m/s
φ	Hoek	°
ω	Hoeksnelheid	°/s

1. INLEIDING

Toen Chad Hedrick in 1992 ten tonele kwam met de double push en veel wedstrijden ging winnen werd de double pushtechniek toegepast over de hele wereld. Tegenwoordig is er bijna geen wedstrijdrijder meer die zonder een vorm van double push rijdt. De double push wordt uitgevoerd in verschillende stijlen en iedereen heeft hier zijn of haar mening over.

Er is geen wetenschappelijke literatuur beschikbaar over waarom de double push nu de voorkeur heeft boven de klassieke techniek.

In dit onderzoek worden daarom bepaalde aspecten van de double push en klassieke techniek behandeld en vergeleken. Met behulp van modelmatige voorstellingen van het afzetmechanisme en ganganalyses zullen deze aspecten geanalyseerd worden.

Skeeleraars en trainers interpreteren de double pushtechniek allemaal anders en de meningen erover verschillen van persoon tot persoon. Er is echter geen duidelijkheid over wat het voordeel van de double push is ten opzichte van de klassieke techniek, en of er überhaupt wel een voordeel is.

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen tussen de klassieke en double pushtechniek.

Hiervoor kunnen de volgende deelvragen gesteld worden:

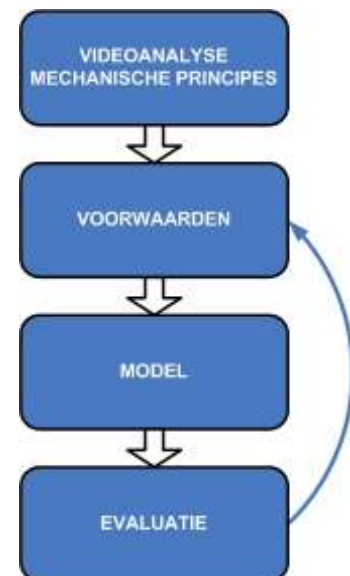
- Hoe ziet het gangpatroon eruit?
- Welke techniek heeft de voorkeur?
- Welke variabelen spelen een rol bij het uitvoeren van de beweging?
- Hoe wordt de voorwaartse snelheid gegenereerd?

In de analysefase zal allereerst in worden gegaan op enkele biomechanische principes die van toepassing zijn op de twee skeelertechnieken. Aan de hand van een videoanalyse zullen zowel de klassieke techniek als de double pushtechniek met elkaar vergeleken worden om vervolgens aan de hand van de verkregen data een uitspraak te doen over welke techniek kan leiden tot een verbetering van de prestatie. Ook zal gekeken worden naar enkele spierfysiologische aspecten. Met de verkregen gegevens zullen voorwaarden gesteld worden waar het model moet voldoen.

In de modelleringsfase wordt aan de hand van de gestelde voorwaarde enkele modellen vervaardigd die een voorspelling doen over hoe het grondpatroon er uit komt te zien bij een verandering van variabelen.

De modellen die vervaardigd zijn zullen aan de hand van het gangpatroon in de analyse worden getest.

Terugkoppeling naar de in de analyse opgedane kennis en de daaruit komende voorwaarden zal plaatsvinden tijdens de evaluatiefase.



2. ANALYSE

In deze analyse zal de praktische analyse naar het verschil in klassieke techniek en double pushtechniek bij het skeeleren besproken worden. Tevens zal het theoretische model besproken worden, dit model is in een latere fase gebruikt bij het simuleren van het afzetten bij skeeleren.

GANGANALYSE

Om duidelijkheid te scheppen over wat er in welke fases gebeurt zal in dit hoofdstuk het algemene gangpatroon van de klassieke en de double push worden beschreven.

HOUDING

De basishouding voor de klassieke techniek is samen te vatten in vijf punten [1], zie ook figuur 1:

- Voeten op schouderbreedte
- Voeten zo veel mogelijk naar voren gericht
- Kniehoek van ongeveer 100 graden
- Romphoek ten opzichte van horizontaal 30 tot 45 graden met licht gebolde wervelkolom
- Projectie van het lichaamszwaartepunt ligt ongeveer $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{2}$ voetlengte voor de dorsale zijde van de calcaneus

Voor de double pushtechniek gelden in principe dezelfde richtlijnen, alleen de kniehoek zal bij double push groter zijn (kniehoek van ongeveer 110 graden).



shouding [1]

GANGCYCLUS

Het skeeleren met de klassieke techniek heeft veel weg van de schaatstechniek zowel biomechanisch als fysiologisch [2].

Voor een beter beeld van de gangcyclus dienen eerst een paar biomechanische eigenschappen van het skaten begrepen te worden.

Biomechanische eigenschappen

De volgende tekst is verleend aan H.N. Oonk [3].

Bij skeeleren wordt niet afgezet tegen een stilstaande ondergrond. De skeeler rolt mee in de bewegingsrichting van de skeeleraar. Toch moet met de skeeler, die een minimale glijdende wrijving heeft, worden afgezet. De skeeler moet dus vooruit rollen terwijl tegelijkertijd een kracht op de skeeleraar moet werken die een component heeft in de rijrichting. Dit bereikt de skeeleraar door zijn afzetkracht haaks op de bewegingsrichting van de skeeler te richten. Deze kracht zal ongeveer door het lichaamszwaartepunt moeten gaan omdat er anders te veel compensatoire bewegingen van lichaamsdelen moeten optreden om toch in evenwicht te kunnen blijven. Waar de luchtweerstand en de rolweerstand overwonnen moeten worden en elke afzet wordt versneld, moet de propulsiekracht een component hebben in de rijrichting. De afzet moet dus zodanig gericht zijn dat de skeeler doorgaat met rollen terwijl er een voorwaartse component op de afzetskeeler werkt. Vandaar dat tijdens het afzetten de skeeler een hoek moet maken met de rijrichting, omdat er anders geen krachtcomponent in de rijrichting aanwezig is. Dit principe geeft de mogelijkheid dat met skeeleren een hogere snelheid bereikt kan worden dan bijvoorbeeld met hardlopen. Bij hardlopen loopt het afzetpunt niet mee met het zwaartepunt en zal de snelheid voorwaarts nooit groter worden dan de snelheid waarmee het art. coxae geretroflecteerd kan worden. Door het meelopen van de afzetskeeler hoeft er telkens maar een kleine component in voorwaartse richting geleverd te worden om op snelheid te blijven. Om het meelopen van de afzetskeeler en de toegevoegd voorwaartse component te realiseren, dient er ook een component in zijwaartse richting te zijn. De sinusvormige baan die het zwaartepunt daardoor beschrijft is typerend voor het skaten. De hoek waar onder afgezet dient te worden is afhankelijk van de snelheid, dit principe wordt verder beschreven bij het theoretische model (vanaf pagina 35).

Voorwaarden:

- **De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht**
- **De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt**
- **De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting**

GANGPATROON

Tijdens het skeeleren bevinden de voeten zich afwisselend op de ondergrond (contactfase) en los van de ondergrond (zwaafase). De fases zijn elk weer onder te verdelen in verschillende kortere fases. Er is een complete afzetcyclus is beschreven vanaf het moment dat skatecontact plaats vindt van het rechterbeen.

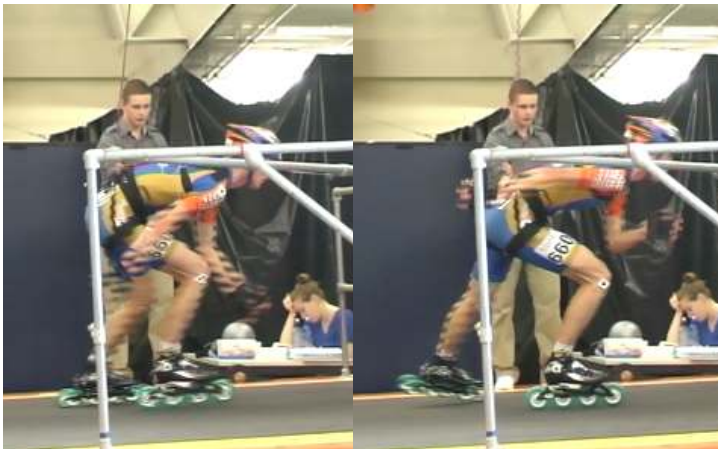
Gangpatroon Klassiek

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is onder te verdelen in drie verschillende fases.

Bipedale rolfase

Deze fase (figuur 2) is gedefinieerd als het moment dat de rechter skate wordt neergezet en met alle vier of vijf wielen (afhankelijk van het type skeeler) de grond raakt (skatecontact) tot het moment van toe-off van het linkerbeen. In sommige gevallen treedt er eerst een hielcontact op, dit is niet altijd het geval. Daarom wordt volledig contact beschouwd als het eerste contact. Tijdens deze fase vindt voornamelijk een abductie en retroflexie in het art. coxae plaats en een extensie in het art. genus en bovenste spronggewricht plaats. In deze fase wordt het zwaartepunt boven het nieuwe standbeen geplaatst.



Figuur 2. Bipedale rolfase

Links: skatecontact rechts

Rechts: toe-off links

Unipedale rolfase

De unipedale fase (figuur 3) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het linker afzetbeen tot het moment dat het contactpunt van het rechterbeen lateraal van het zwaartepunt komt te liggen. Tijdens deze fase vindt er voornamelijk een lichte abductie plaats in het art. coxae.



Figuur 3. Sagittaal en dorsaal aanzicht unipedale rolfase

Afzetfase

De afzetfase (figuur 4) begint bij het eindigen van de unipedale rolfase van het rechterbeen en eindigt bij toe-off van het rechter afzetbeen. Gedurende deze fase vindt er ten opzichte van de romp voornamelijk een retroflexie, abductie plaats in het art. coxae plus een extensie in het art. genus en een plantairflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 4. Dorsaal en sagittaal aanzicht afzetfase

Zwaaifase

De zwaaifase is de fase dat het been geen contact maakt met de ondergrond, deze fase is onder te verdelen in drie fases.

Bijhaalfase

De bijhaalfase (figuur 5) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechterbeen tot rustmoment van het rechterbeen (het moment dat het been stil hangt ten opzichte van de romp). Tijdens deze fase vindt voornamelijk een adductie en anteflexie plaats in het art. coxae en een flexie in het art. genus en een dorsaalflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 5. Bijhaalfase

Links: toe-off rechts

Rechts: rustmoment rechts

Rustfase

De rustfase (figuur 6) is gedefinieerd als het einde van de bijhaalfase tot het moment dat door de anteflexie in het art. coxae de rechter knie dorsaal en mediaal van de linkerart. genus komt. De rustfase is niet altijd aanwezig. Dit is afhankelijk van het slagritme, hoe hoger het ritme des te korter de rustfase. De rustfase kenmerkt zich door een afhangend been ten opzichte van het art. coxae en een flexie in het art. genus. Gedurende deze fase vindt er geen verplaatsing van plaats van het rechterbeen ten opzichte van de romp.



Figuur 6. Dorsaal en sagittaal aanzicht rustfase

Plaatsingsfase

De plaatsingsfase (figuur 7) is gedefinieerd als het einde van de rustfase tot skatecontact. Tijdens deze fase wordt het been voornamelijk met behulp van een anteflexie in het art. coxae naar ventraal gebracht tevens vindt er een flexie plaats in het art. genus.



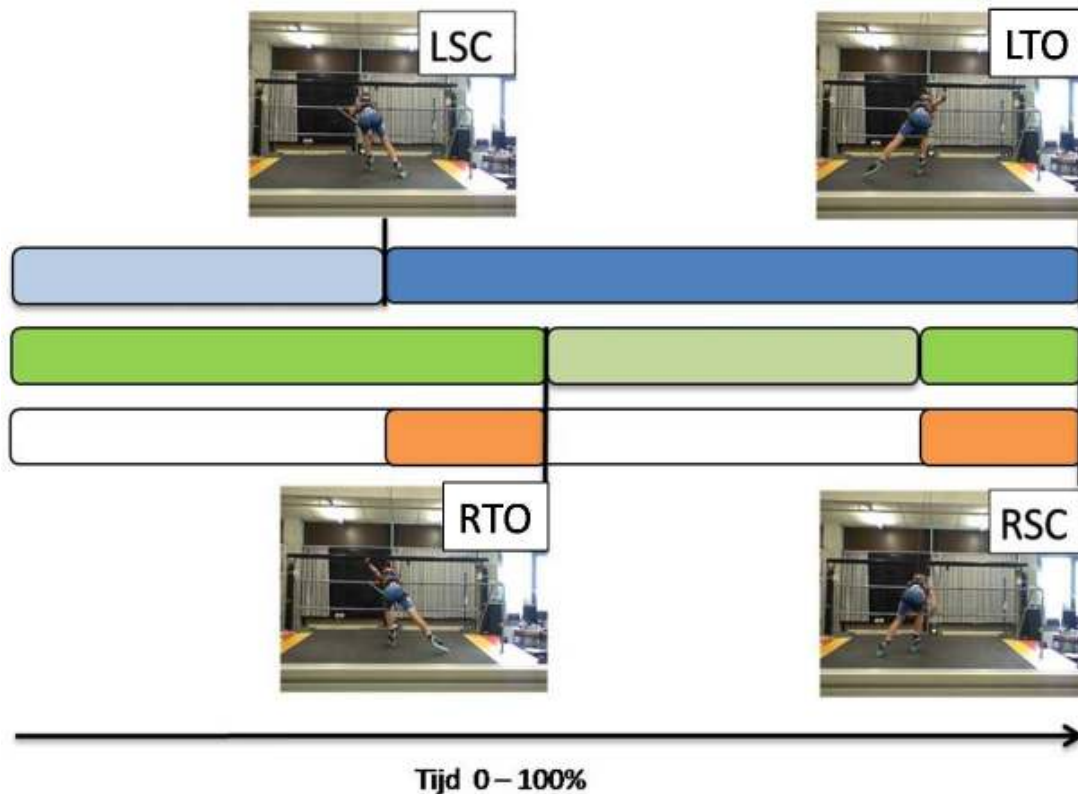
Figuur 7. Bijhaalfase

Links: rustfase rechts

Rechts: skatecontact rechts

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaafase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden. Het dient opgemerkt te worden dat het skeeleren op een lopende band voor de proefpersoon niet geheel te vergelijken is met skeeleren op asfalt. Dit heeft vermoedelijk te maken met de positie van het lichaamszwaartepunt ten opzichte van het steunvlak en het moeten aanpassen van de afzetkracht aan de snelheid en hellingshoek, in plaats van dat de snelheid zich aanpast aan de afzetkracht. Het gevolg hiervan zullen kleine verschillen zijn in afzettijden en rustfases [zie bijlage I].



	Grondcontact linker skate	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate	LTO	Linker toe-off
	Bipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Unipedale fase	RTO	Rechter toe-off
	Zwaafase links		
	Zwaafase rechts		

Figuur 8. Gangcyclus klassiek techniek

Gangpatroon double push

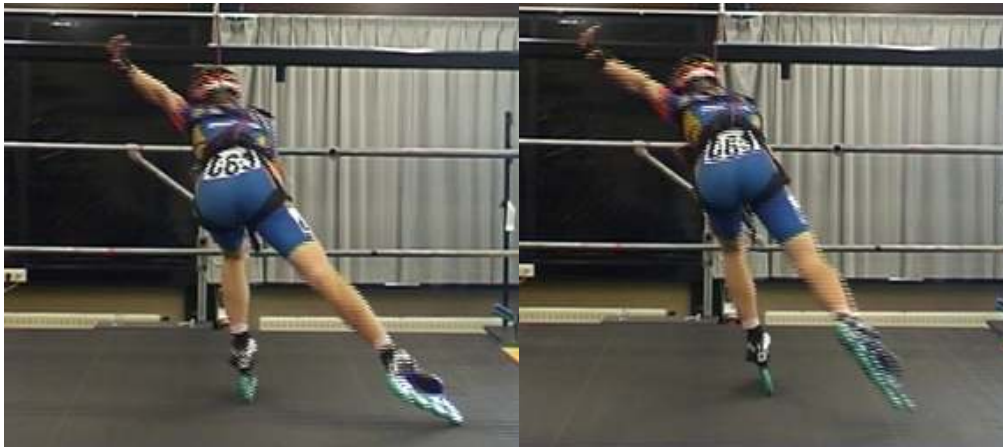
De gangcyclus van de double push heeft veel weg van de klassieke techniek, op een paar essentiële verschillen na. Bij de beschrijving van de gangcyclus zal daarom ingehaakt worden op het beschreven gangpatroon van de klassieke techniek.

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is bij de double push onder te verdelen in vier verschillende fases.

Mediale afzetfase

De mediale afzet (figuur 9) volgt de bipedale rolfase op. De mediale afzetfase is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechter afzetbeen tot het moment dat er een richtingsverandering van mediaal naar lateraal plaatsvindt van het linker afzetbeen (mediale eindstand). Gedurende deze fase vindt er voornamelijk adductie in het art. coxae plaats en een overhelling van de romp naar de laterale zijde van het mediale afzetbeen. Ook is er een lichte extensie in het linker art. genus.



Figuur 9. Mediale afzetfase

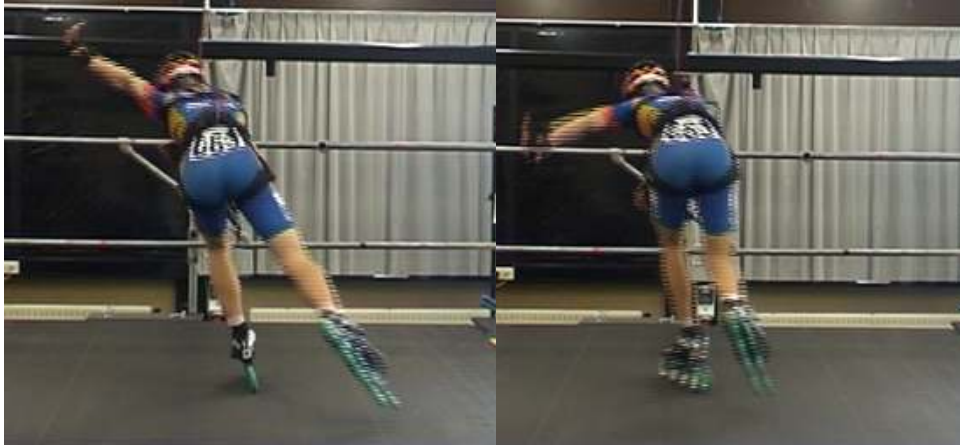
Links: toe-off rechter afzetbeen

Rechts: Verplaatsing linkerbeen naar mediaal

Rol-/trekfase

De rolfase (figuur 10) is gedefinieerd als het moment van mediale eindstand tot het moment dat het contactpunt van het linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt komt te liggen.

De rolfase bij de double push is te zien als een herstelfase waarin het linker afzetbeen weer het standbeen wordt zonder contact met de grond te verliezen. De rolfase wordt weer opgevolgd door de laterale afzetfase.



Figuur 10. Rol-/trekfase

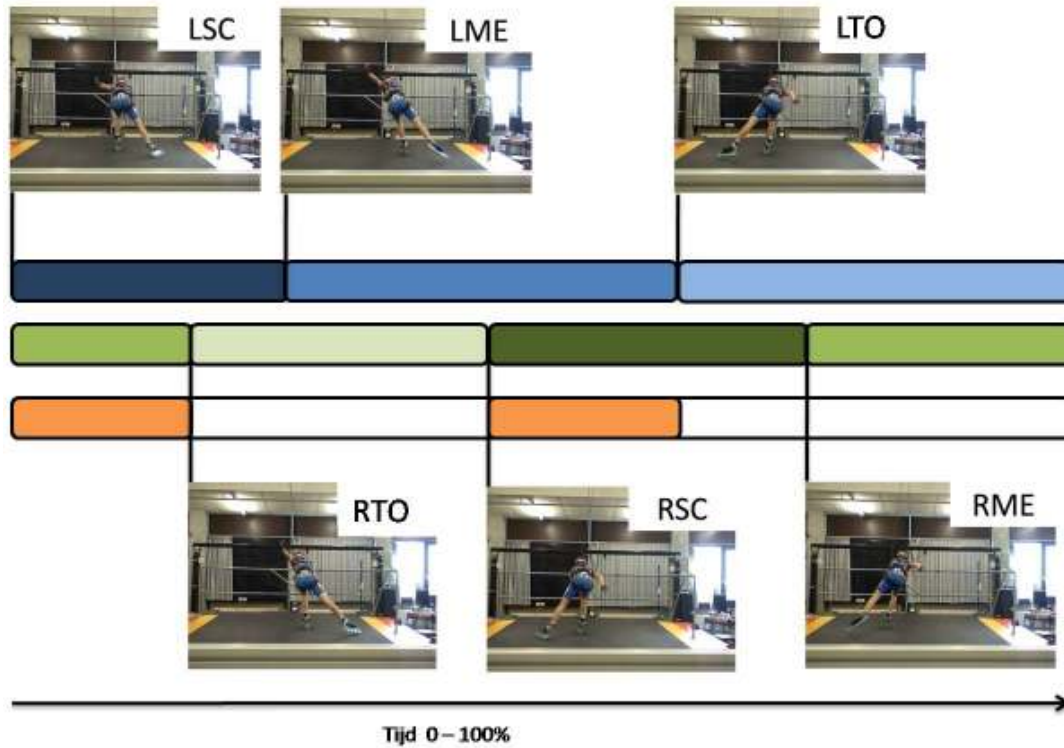
Links: mediale eindstand linkerbeen

Rechts: contactpunt linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt

De glij-/trekfase en de mediale afzetfase zijn de enige verschillen van het gangpatroon van de double push ten opzichte van het klassieke gangpatroon.

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden.



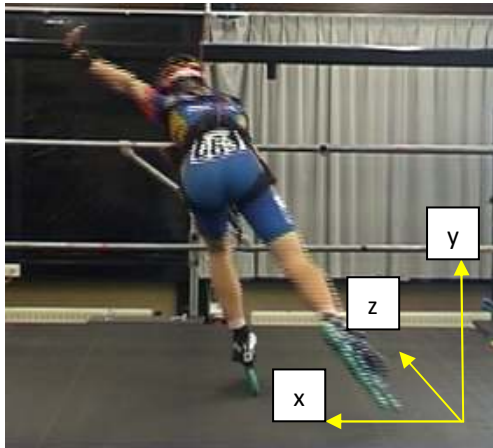
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in laterale richting	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in laterale richting	LME	Linker mediale eindstand
	Bipedale fase	LTO	Linker toe-off
	Unipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Zwaai fase links	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase rechts	RME	Rechter mediale eindstand
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in mediale richting		
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in mediale richting		

Figuur 11. Gangcyclus double push

GRONDPATRONEN VIDEOANALYSE

Voor het verkrijgen van de gegevens van de afzetlengtes (afstand die de skate aflegt) en -tijden om in latere fase het model te testen, is een pilotmeting gedaan. Een landelijk B-rijder die tot in zekere mate de double push beheerst is getest.

De meting is uitgevoerd op de lopende band van de Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit Bewegingswetenschappen. Een camera is dorsaal van de proefpersoon geplaatst, de andere sagittaal. De data uit de videoanalyse is verwerkt met behulp van een GUI (Graphical User Interface) in Matlab. Een beschrijving van deze verwerking vindt u in bijlage II.



Figuur 12. Assenstelsel zoals gebruikt in de GUI

In deze GUI is het mogelijk alle gewrichten en de contactpunten van de skeelers aan te klikken. Vervolgens berekent de GUI de positie van het lichaamszwaartepunt op de x-as. Omdat de snelheid van de loopband bekend is, is het mogelijk de aangeklikte punten weg te zetten over een afstand in de z-as. Deze waarden worden weggeschreven in de volgende matrix (figuur 13):

Y beeld 3	X beeld 3
Y beeld 2	X beeld 2
Y beeld 1	X beeld 1

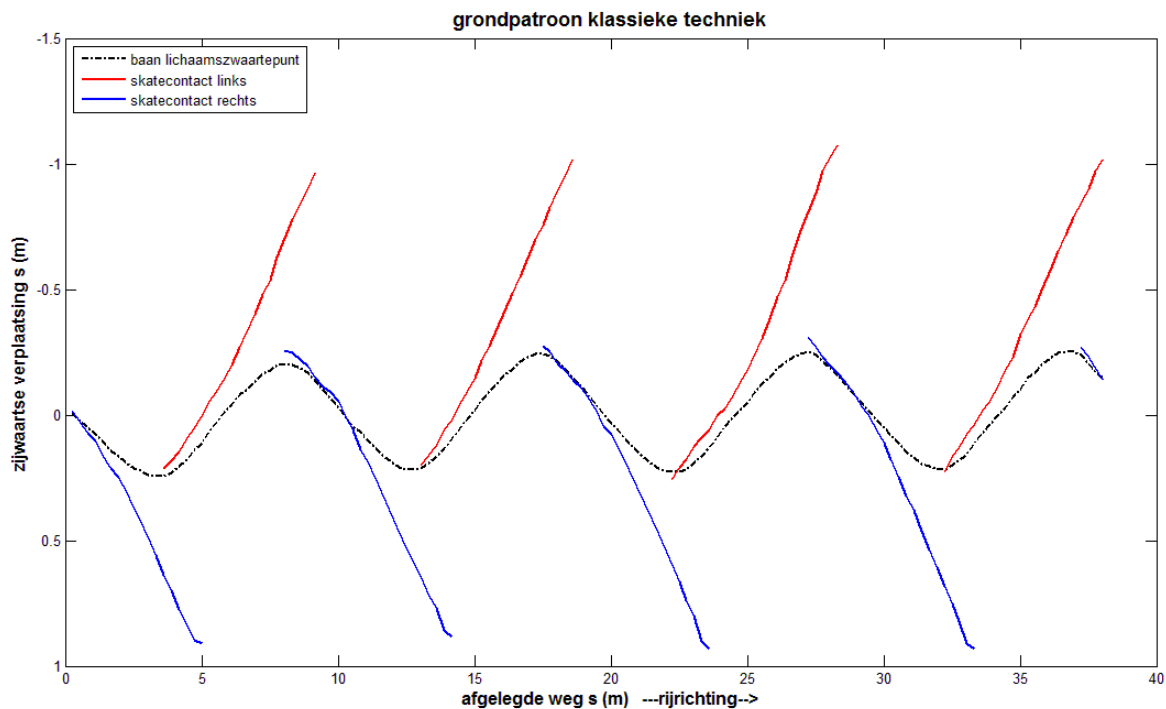
Figuur 13. Matrix voor wegschrijven data

Door de z-richting tegenover de x-richting te plotten ontstaat er een projectie van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten op de grond. De sinusvormige curve die het lichaamszwaartepunt beschrijft is geplaatst op een centerline op de x-as bij 0 met behulp van een correctiefactor (gemiddelde waarde van x). Dit betekent dat aan één kant de verplaatsing negatief is en aan de andere zijde positief. Met behulp van dit grondpatroon zijn een aantal gegevens bepaald:

- Positie lichaamszwaartepunt ten opzichte van de contactpunten
- Afzetlengtes en -tijden
- Snelheden en versnellingen van het lichaamszwaartepunt en contactpunten gedurende de cyclus
- Slagfrequentie

POSITIE LICHAAMSZWAARTEPUNT TEN OPZICHTE VAN DE CONTACTPUNTEN

Klassieke techniek



Figuur 14. Grondpatroon klassieke techniek

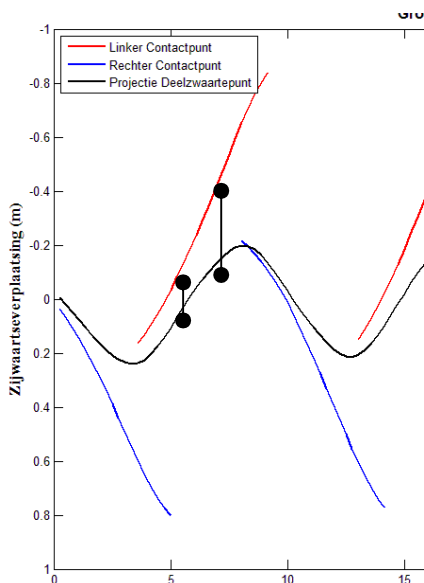
Rood: contacten linker skate

Zwart: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

In figuur 14 en 15 is de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en het skatecontact, geprojecteerd op de ondergrond, weergegeven. In het patroon is te zien dat het skatecontact altijd plaats vindt in de buurt van het zwaartepunt.

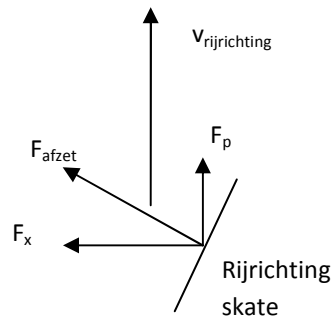


Figuur 15. Zijwaartse verplaatsing skate bij klassieke techniek

Zwarte lijn tussen bollen: afstand tussen skate en projectie lichaamszwaartepunt

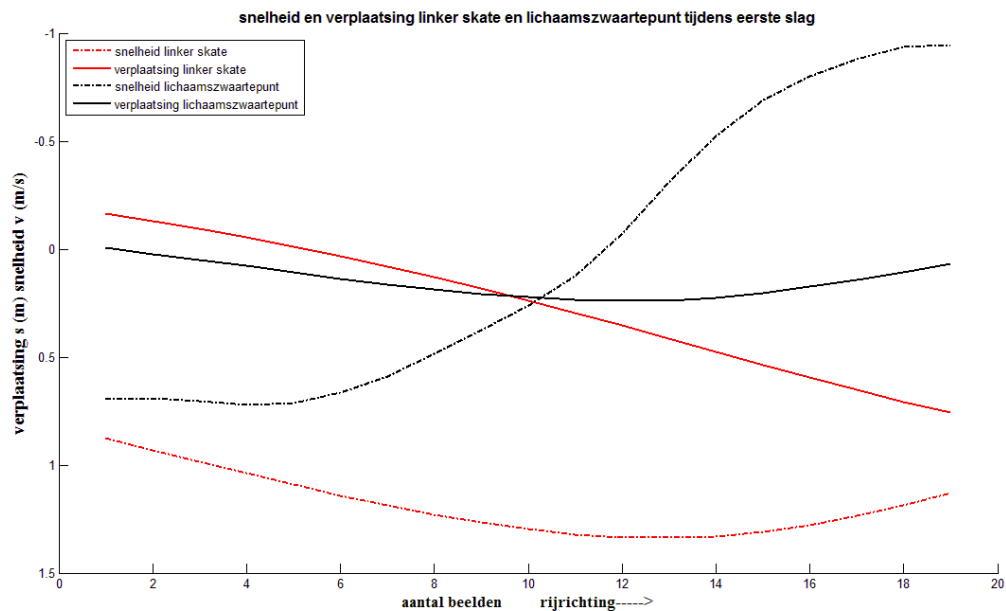
Een andere opmerkelijke constatering is dat de zijwaartse verplaatsing van de skate vrijwel na skatecontact groter is dan die van het lichaamszwaartepunt. Naarmate de voorwaartse verplaatsing toeneemt wordt het verschil in verplaatsing in zijwaartse richting steeds groter ten opzichte van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt, waarvoor de volgende verklaring is:

Met een extensie in het art. coxae en art. genus is het mogelijk om het lichaamszwaartepunt te verplaatsen ten opzichte van het contactpunt. Dit aspect kan alleen maar plaatsvinden na het moment van toe-off. Voor die afzet is het noodzakelijk dat de skate onder een hoek staat ten opzichte van de rijrichting (zie pagina 35 en 36). Hierdoor behoudt de skate zijn rijrichting en verandert de richting van het lichaamszwaartepunt.



Figuur 16. Richting afzetkracht
Rechts: assenstelsel

De verandering van verplaatsingssnelheid van het lichaamszwaartepunt vindt pas plaats op het moment dat de toe-off nadert (figuur 17).



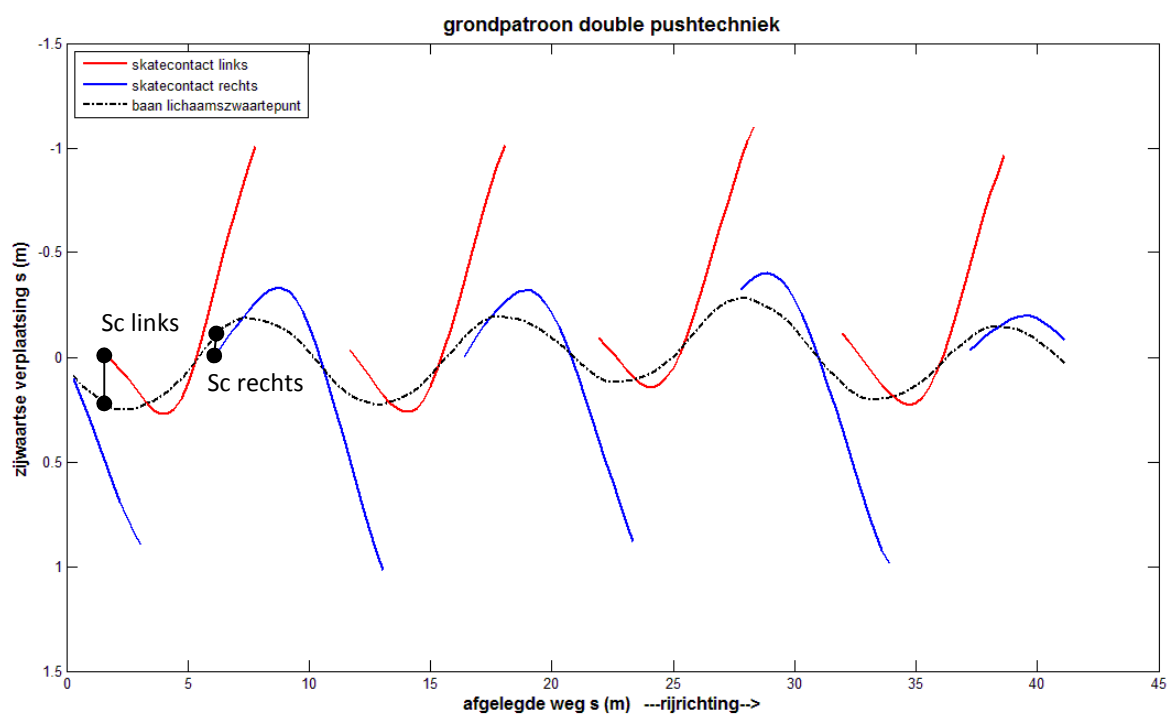
Figuur 17. Snelheid en verplaatsing linker skate en lichaamszwaartepunt
Rood, streep en punt: snelheid linker skate
Rood: verplaatsing linker skate
Zwart, streep en punt: snelheid lichaamszwaartepunt
Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

In de hiervoor behandelde aspecten is alleen uitgegaan van de extensiemogelijkheden in de heup en knie, en is er geen rekening gehouden met de abducerende kracht van de m. gluteus medius. Op pagina 23 en 24 zal hier verder op in worden gegaan.

Voorwaarde:

- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt.
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven.

Double push



Figuur 18. Grondpatroon double pushtechniek

Rood: contacten linker skate

Zwart, streep en punt: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

Het gangpatroon van de double push van deze proefpersoon is niet helemaal symmetrisch. Het linker skatecontact (zie Sc links in figuur 18) vindt verder van het zwaartepunt plaats dan het rechter (Sc rechts in figuur 18). Het gevolg is dat bij het rechterbeen de mediale afzetfase plaatsvindt op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt maximaal is. Bij het linkerbeen vindt de mediale afzetfase pas begint op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt weer afneemt. Dit geldt voor de gehele cyclus. Het linker standbeen legt in totaal dus meer afstand af in de bipedale rolfase.

Naar aanleiding van deze waarneming is tijdens een clinic een gesprek geweest met Scott Arlidge (drievoudig wereldkampioen skeelers). Aan de hand van dit gesprek worden hieronder de beweringen van Scott Arlidge op een rij gezet.

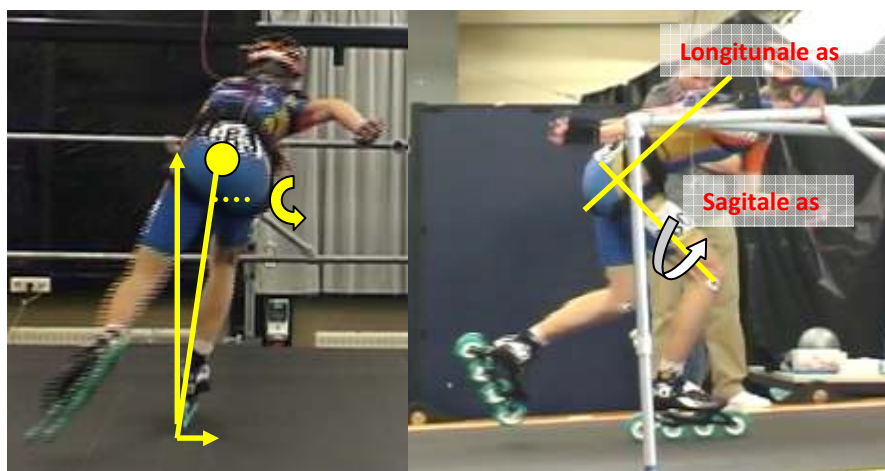
Hij beweert dat sterke skeelers eerder kiezen voor een plaatsing van skatecontact meer lateraal van het lichaamszwaartepunt, om de benen iets meer rust te geven door een glijfase in te voegen, maar vervolgens wel een grotere mediale uitslag te maken. Mensen met minder kracht zoals hij kiezen voor een plaatsing rond het zwaartepunt maar ook voor een constante afzet en druk op de skeelers. Dus eigenlijk kiezen deze mensen voor een hoge frequentie in plaats van lengte in de slagen. Een nadeel wordt ondervonden bij lange rechte stukken bij hoge snelheden, want het vermogen per afzet is minder. Wil je met een klein vermogen per afzet meer vermogen gaan leveren dan dien je de frequentie nog meer te verhogen of de slag te verlengen. Mensen met een lange slag kunnen met een kleinere frequentieverhoging procentueel meer vermogen leveren en zijn dus in het voordeel bij hogere snelheden. Bij veel versnellingen en vertragingen is het omgekeerde het geval. Het is te vergelijken met een lichter verzet tijdens het fietsen.

ABDUCERENDE ADDUCERENDE MOGELIJKHEDEN TIJDENS DE GLIJFASES

In voorgaande paragrafen werd de abductie en adductie niet meegenomen in de afzetmogelijkheden. In deze paragraaf zal bekeken worden wat voor een bijdrage de abductie eventueel kan leveren.

Wanneer vanuit de anatomische houding er abductie in de heup plaatsvindt, dan gebeurt dit om de sagittale as in het frontale vlak. Het abducerende moment (109 N/m) dat de gluteusspieren en de m. tensor fasciae latae isokinetisch kunnen leveren verschilt dan niet zoveel ten opzichte van de extenderende moment (120 N/m) van de heup [4]. In dit geval zal er geen twijfel over bestaan dat een abductie wel degelijk positief bij kan dragen aan het leveren van een kracht voor de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Echter, de positie waarin het abducerend moment het belangrijkst is, is het moment waar het contactpunt in de buurt van het zwaartepunt ligt. In het sagittale vlak is op dat moment sprake van een flinke anteflexie ten opzichte van de anatomische stand.



Figuur 19. Adductiemogelijkheid in het heupgewricht

Links: dorsaal aanzicht, rechterbeen is licht geadduceerd

Rechts: assenstelsel voor bewegingsmogelijkheden in het heupgewricht

Wil de skater op dit moment de skate naar lateraal duwen, dan zou dit moeten gebeuren met een combinatie van exorotatie en extensie in het heupgewricht. Het exoroterende moment is veel kleiner dan het extenderende moment (concentrisch isometrische kracht), 53 N/m tegenover 130 N/m gemiddeld [4].

Geconcludeerd kan worden dat de mogelijke bijdrage van ab- en adductie te betwijfelen is. Om de werkelijke bijdrage verder te onderzoeken zou een systeem dat het moment en de kracht op de skate meet volstaan, een EMG-meting tijdens het skeeleren zou ook een weergave geven van de spieractiviteit.

Voorwaarde:

- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekketen van het art. coxae en art. genus

VERGELIJKING KLASSIEK EN DOUBLE PUSH

In voorgaande paragrafen zijn de klassieke techniek en double pushtechniek onafhankelijk van elkaar behandeld. In deze paragraaf zal gekeken worden welke techniek de voorkeur heeft. Alle uitspraken die worden gedaan in de komende paragrafen zijn uitspraken van waarden in het frontale vlak.

Bij skeeleren gaat het er om je lichaam over een bepaalde afstand te verplaatsen in een zo kort mogelijke tijd. Er zijn vier gegevens die er wat over zeggen:

$$v = \frac{s}{t}$$
$$F = m \cdot a$$

$$W = F \cdot s$$

$$P = F \cdot v$$

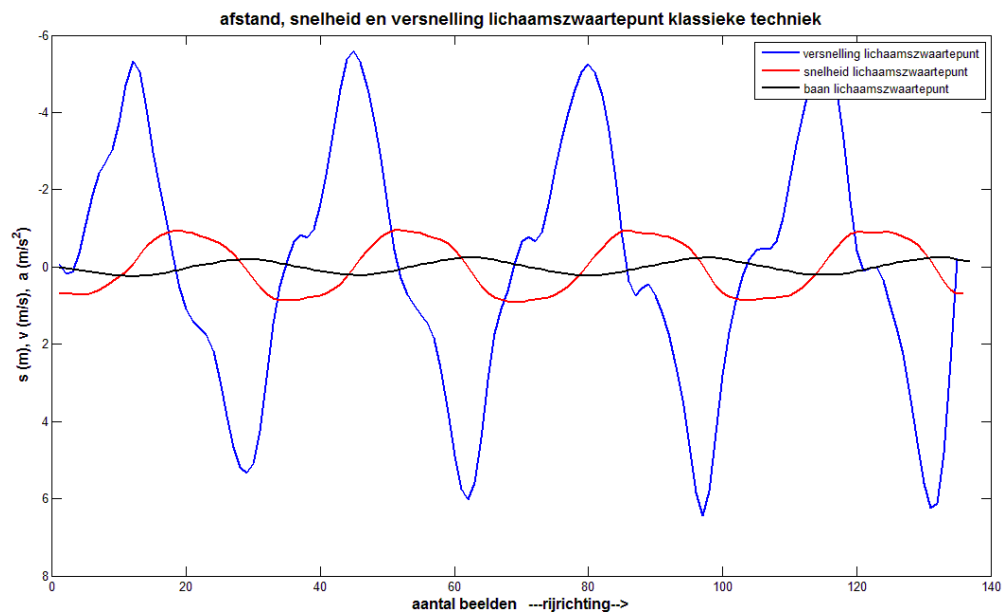
De vergelijking tussen de twee technieken zal gedaan worden aan de hand van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de tijd waarin deze verplaatsing tot stand komt. Er is gekozen voor deze zijwaartse snelheid omdat de voorwaartse snelheid constant is (bij zowel double push als klassieke techniek). Indirect betekent dit dat hoe groter de zijwaartse snelheid is, hoe ongunstiger afgezet wordt, omdat er mogelijk meer vermogen in voorwaartse richting geleverd had kunnen worden.

De pilotmeting levert data op in de vorm van afstand en tijd van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten, ook de voorwaartse snelheid is bekend. Dit geeft de mogelijkheid de snelheid en versnelling van het lichaamszwaartepunt in zijwaartse richting te bepalen door het differentiëren van de afstand naar de snelheid en versnelling.

$$v = \dot{s} = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \dot{v} = \frac{dv}{dt}$$

Wanneer deze differentiaties weergegeven worden in grafieken vormt zich het onderstaande beeld (figuren 20 en 21):

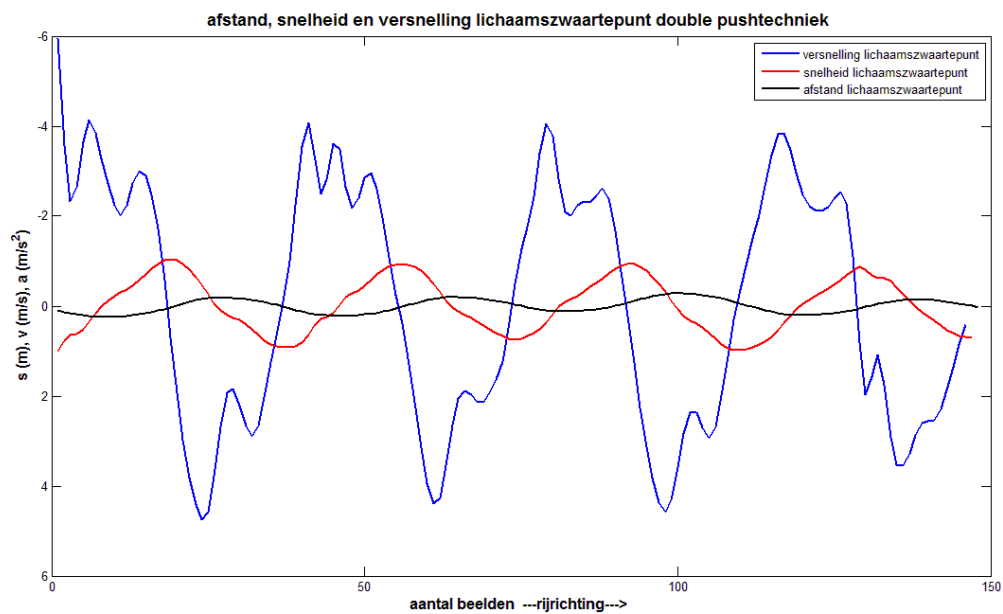


Figuur 20. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij klassieke techniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt



Figuur 21. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij double pushtechniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

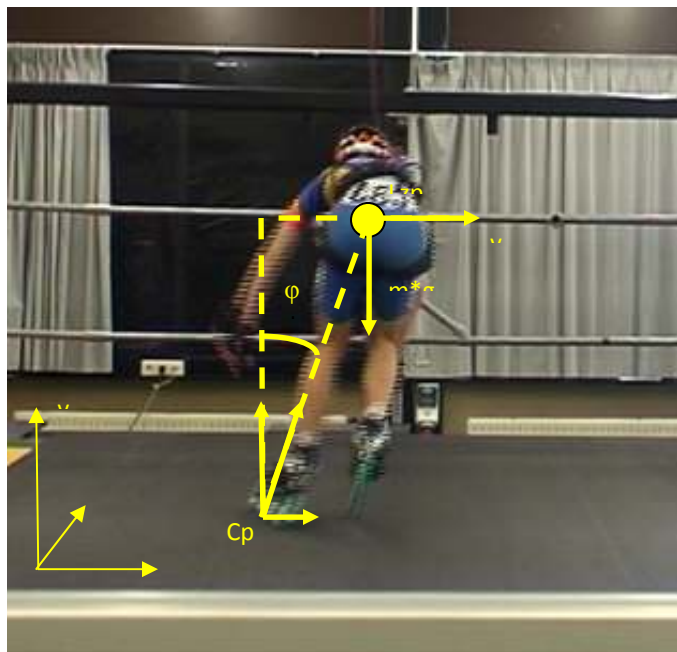
Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt

Wat gelijk opvalt is dat de double push een lagere piekversnelling heeft in vergelijking met de klassieke techniek, maar dat deze enigszins fluctueert. Er is dus een effect waar te nemen ten gevolge van de double push. In de volgende paragrafen zal gekeken worden hoe groot dit effect is en of het een nadeel of voordeel oplevert.

Propulsiekrachten

Voor het bepalen van de bijdrage van de mediale afzet op de voorwaartse snelheid dienen de vectoren van de afzetkrachten bekend te zijn.

De videobeelden lenen zich voor het bepalen van deze afzetkracht wanneer we de beweging beschrijven ten opzichte van een met de skeeler meebewegend assenstelsel (figuur 22). Ten opzichte van dit van dit assenstelsel is de afzet vergelijkbaar met een sprong in zijwaartse richting. Waarbij het lichaamszwaartepunt in x en y-richting wordt versneld. Wanneer er aangenomen wordt dat het zwaartepunt op een constante hoogte boven de grond blijft en de skeeleraar als een puntmassa wordt opgevat, is het mogelijk de afzetkracht te bepalen als functie van de hoek die het lichaamszwaartepunt maakt met verticaal (figuur 22).



Figuur 22. Bepaling propulsiekrachten

$$F_z = m \cdot g$$

$$F_a = \frac{F_z}{\cos(\varphi)}$$

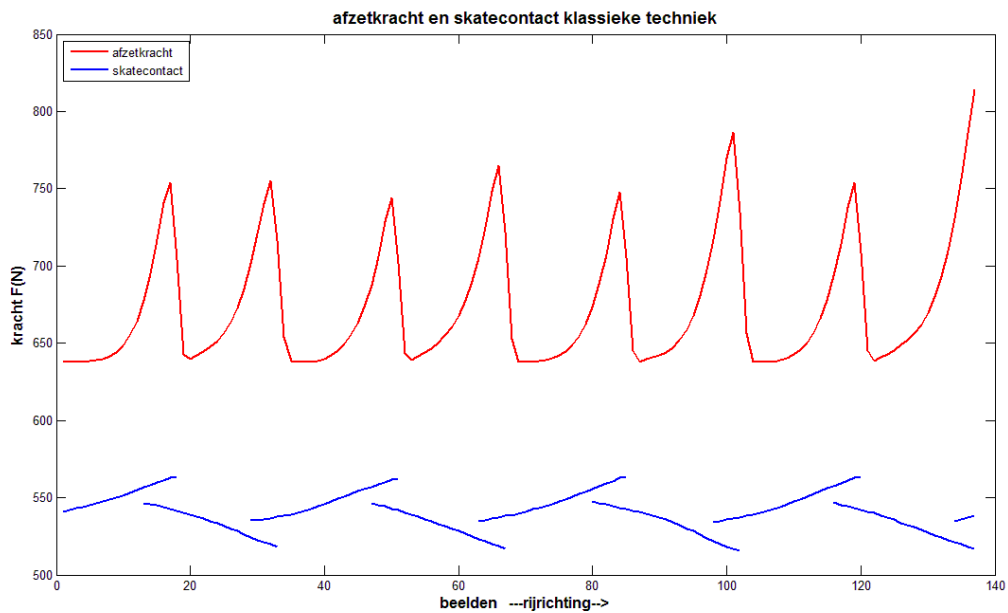
$$\varphi = \arctan\left(\frac{s_y}{s_x}\right)$$

$$s_y = LZP_y - C_{p,y}$$

$$s_x = LZP_x - C_{p,x}$$

Voor het bepalen van de afzetkracht is gebruik gemaakt van de dataset die verkregen is bij de projectie van het lichaamszwaartepunt op de ondergrond. Bij de benadering van de afzetkracht is het contactpunt van de rechter skeeler gedefinieerd als toe-off linkerbeen tot toe-off rechterbeen, en omgekeerd voor de linker skeeler. In de figuren 23 en 24 is het verloop van de afzetkracht te zien. Ter illustratie zijn onder het verloop

van de afzetkracht de afzetten van de linker en rechter skeeler geplot, deze houden geen verband met de verticale as, maar dienen slechts als illustratie hoe het krachtsverloop bij de afzet is.

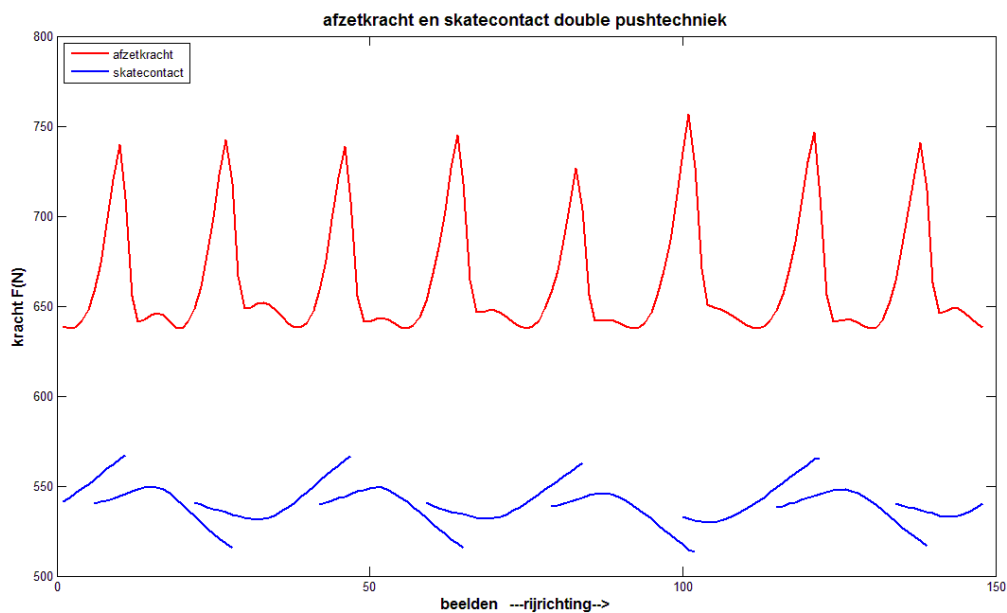


Figuur 23. Afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

Gemiddelde kracht: 674 N



Figuur 24. Afzetkracht bij de double pushtechniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

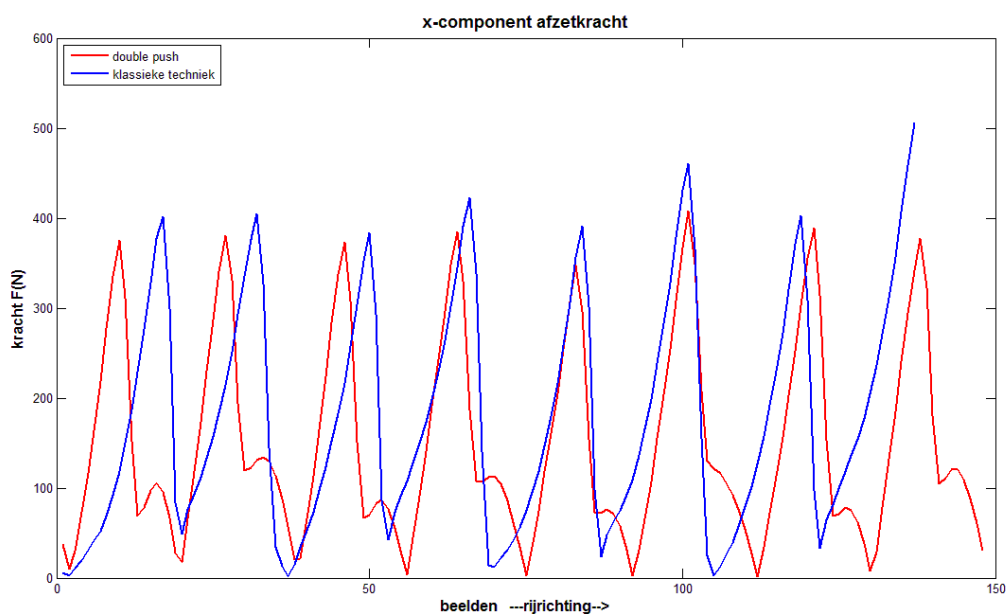
Gemiddelde kracht: 664 N

Uit onderzoek naar afzetkrachten tijdens het skeeleren[5] blijkt dat afzetkrachten van 120-150% van het lichaamsgewicht maal de zwaartekrachtversnelling plaats vinden, uitgaande van een fase van toe-off tot toe-off van het andere been. Dit lijkt dus een goede manier om de afzetkrachten tijdens het skeeleren te benaderen. Als we kijken naar de data, dan valt het op dat de verschillen tussen de geleverde piek- en gemiddelde krachten minimaal is. Wel kan er geconstateerd worden dat bij de double push zowel de piek- als bij de gemiddelde kracht lagere waarden heeft.

X-component afzetkracht

Om te kijken hoe groot de kracht is die bijdraagt aan het versnellen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting is gebruik gemaakt van de stelling van pythagoras:

$$F_x = \sqrt{F_{afzet}^2 - F_z^2}$$



Figuur 25. F_x bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double pushtechniek

Blauw: klassieke techniek

Gemiddelde double push: 151 N

Gemiddelde klassiek: 180 N

Wanneer we kijken naar de x-component van de afzetkracht blijkt dat er bij de klassieke techniek gemiddeld 4% meer kracht van de totale afzet gestopt wordt in het verplaatsen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting dan bij de double push. Dit betekent dat de hoek ϕ met verticaal bij de klassieke techniek groter is. Dit was van te voren te verwachten, aangezien het lichaamsswaartepunt bij de klassieke techniek 10 cm lager ligt dan bij de double push. Een andere verklaring is dat de toe-off verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt. Uit de data blijkt dat bij de klassieke techniek vergeleken met de double push de toe-off maximaal 15 cm verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt.

Hieruit is op te maken dat de afstand van het art. coxae tot de voet bij toe-off bij beide technieken ongeveer even groot moet zijn. Het is dus aannemelijk dat bij beide technieken ongeveer dezelfde hoeken in knie- en heupgewricht te zien zijn. Beelden van de video ondersteunen dit, bij beide toe-offs was de kniehoek ongeveer 160 graden. Dit gegeven wordt ondersteund door Houdijk et al [6].

Een ander gegeven dat opvalt is de mediale afzet van de double push waar we zien dat er piekkrachten van ongeveer 650 N zijn. De bijdrage aan de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in x-richting ligt ongeveer tussen de 70 en 100 Newton.

Geconcludeerd kan worden dat de piekkrachten bij de klassieke techniek hoger zijn dan die bij de double pushtechniek. De klassieke techniek richt de afzetkracht echter wel gunstiger (er wordt een groter aandeel van de afzetkracht gebruikt voor het verplaatsen in voorwaartse richting).

Ook valt te concluderen dat de mediale afzet een extra kracht uitoefent op de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Voorwaarde:

- **In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting.**

Vermogen

Voor het bepalen van de techniek met de meeste efficiëntie zal er gekeken worden naar het vermogen dat bij de technieken per slag geleverd wordt bij eenzelfde uitwendige prestatie (verplaatsing in voorwaartse richting).

Voor het bepalen van het vermogen dienen de afzetkracht en snelheid bekend te zijn, de snelheid is een bekende na het differentiëren van de afgelegde weg, de afzetkracht is bepaald in de vorige paragraaf. Met deze gegevens kan het vermogen momentaan berekend worden. In figuur 22 (pagina 26) staat het assenstelsel voor deze berekeningen weergegeven.

$$P_{tot,double\ push} = F_{prop,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

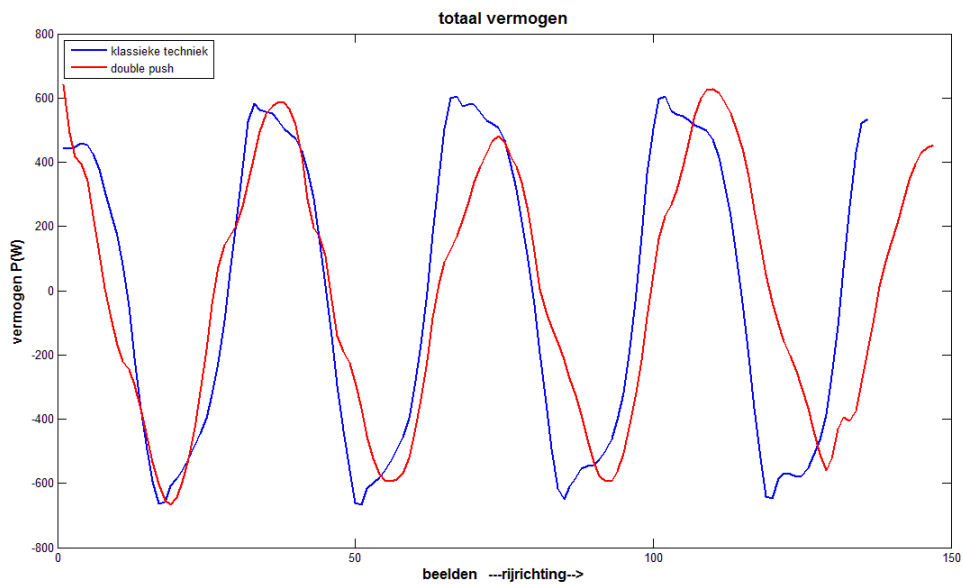
$$P_{nuttig,double\ push} = F_{x,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{tot,klassiek} = F_{prop,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{nuttig,klassiek} = F_{x,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

Waar de snelheid van de lichaamszwaartepunten elkaar niet ver ontlopen en de gemiddelde kracht van de klassieke techniek een fractie hoger is dan bij de double push, is de verwachting dat het vermogen van de klassieke techniek hoger is dan die van de double push omdat zowel de gemiddelde kracht als de snelheid bij de klassieke techniek hoger zijn, wat ook een hoger vermogen oplevert.

Piekvermogen



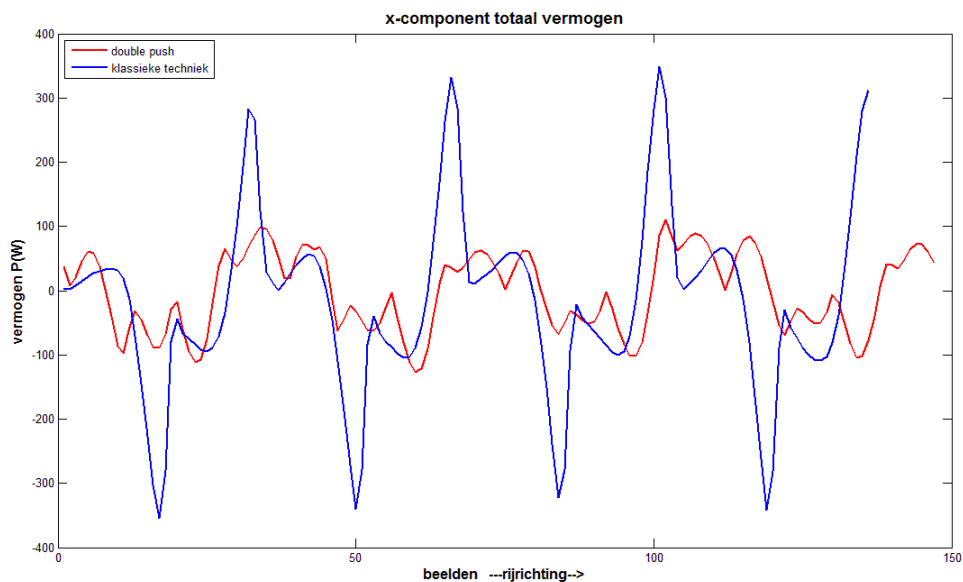
Figuur 26. Totaal vermogen bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double push

Blauw: klassiek

Uit figuur 26 blijkt dat de geleverde piekvermogens elkaar niet veel ontlopen. Het gemiddelde vermogen over de acht slagen van de double push (344 Watt) is echter 78 Watt lager dan van de klassieke techniek (422 Watt)

X-component vermogen



Figuur 27. X-component van het geleverde vermogen voor beide technieken

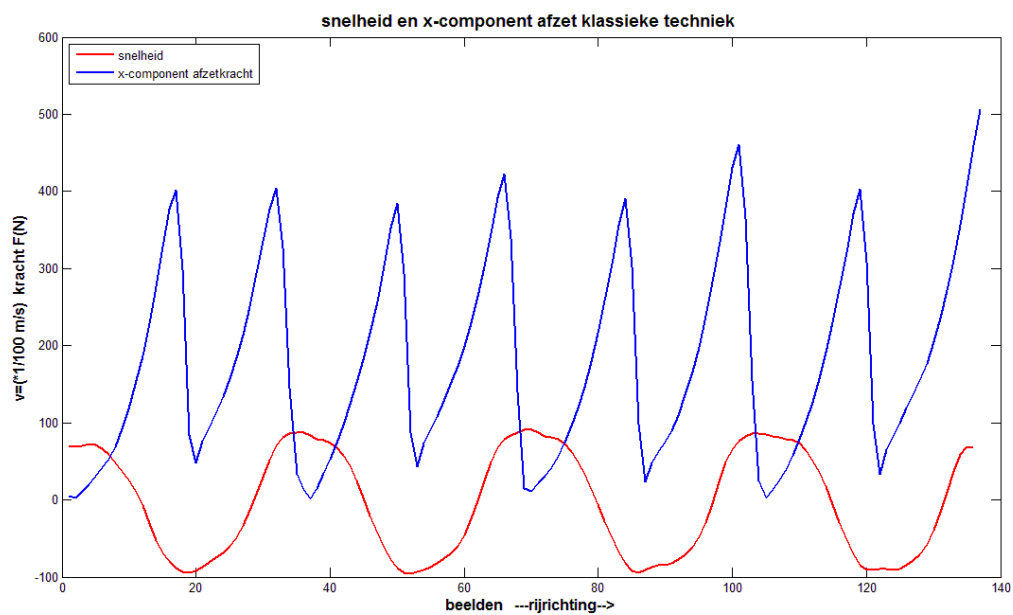
Rood: double push

Blauw: klassiek

Wanneer we kijken naar de x-component van het vermogen (figuur 27) valt gelijk op dat het piekvermogen dat bij de klassieke techniek geleverd wordt vele malen hoger is. Dit komt wel overeen met de verwachting, maar een verschil van 200 Watt in piekvermogen is een groter verschil dan verwacht werd aan de hand van de snelheid en propulsiekracht.

Evaluatie en terugkoppeling

Om een verklaring voor het hogere piekvermogen bij de klassieke techniek is te vinden wordt een grafiek geplot van de x-component (figuur 28) van de afzetkracht samen met de snelheid van de klassieke techniek.



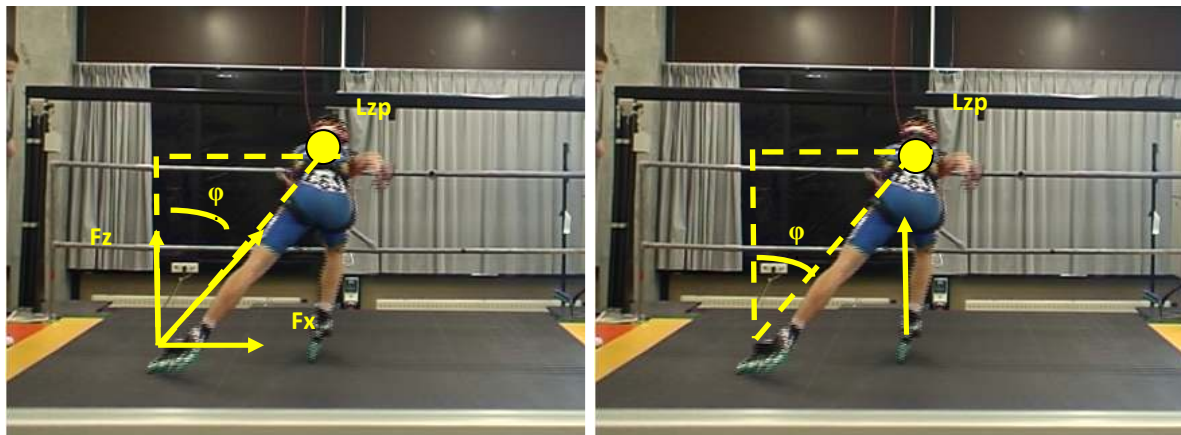
Figuur 28. Snelheid lichaamszwaartepunt en x-component afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: x-component afzetkracht

Hier valt op dat de piekkracht het grootst is op het moment van de pieksnelheid, dit verklaart waarom het piekvermogen bij de klassieke techniek zo hoog is. Waar de snelheid zonder aannames is bepaald, is het vermogen betrouwbaar. Voor de kracht zijn twee aannames gedaan, het is dus mogelijk dat hier een probleem in schuilt. De verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting is niet waarschijnlijk omdat het lichaamszwaartepunt weinig verplaatsing in verticale richting ondervindt bij de klassieke techniek.

De aanname van de afzet geldend van toe-off tot toe-off ligt meer voor de hand als verkeerde aanname. De bipedale fase verdwijnt bij deze benadering en de complete zwaartekracht wordt door het afzetbeen gedragen. De maximale kracht wordt bij deze benadering bereikt vlak voor toe-off (figuur 29).



Figuur 29. Toe-off en projectie lichaamszwaartepunt

In werkelijkheid is op het moment van skatecontact het lichaamszwaartepunt grotendeels boven het dit nieuwe contactpunt komt te liggen(fig). Het gevolg hiervan is dat de zwaartekracht verdeeld wordt over de twee contactpunten, een groot deel van het lichaamszwaartepunt ligt boven het been dat skatecontact maakt. De zwaartekracht werkt dus voor het grootste deel op het been wat het dichtst bij de projectie van het lichaamszwaartepunt ligt, waardoor de afzetkracht van het afzetbeen sterk afneemt.

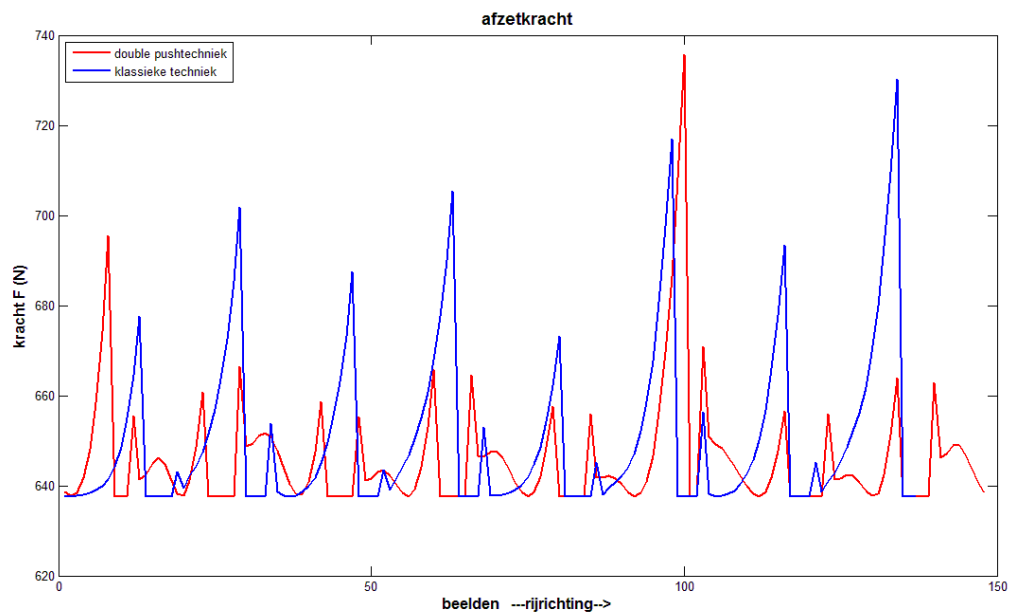
De gebruikte methode neemt dat niet mee in de berekening, waardoor ϕ ook groter wordt naar mate de afzet langer wordt.

Daarom is ervoor gekozen om alleen de afzetkrachten te bepalen tijdens de unipedale fases en in bipedale fase de afzetkracht gelijk te stellen aan $m \cdot g$, waarbij alle krachten worden als positief beschouwd.

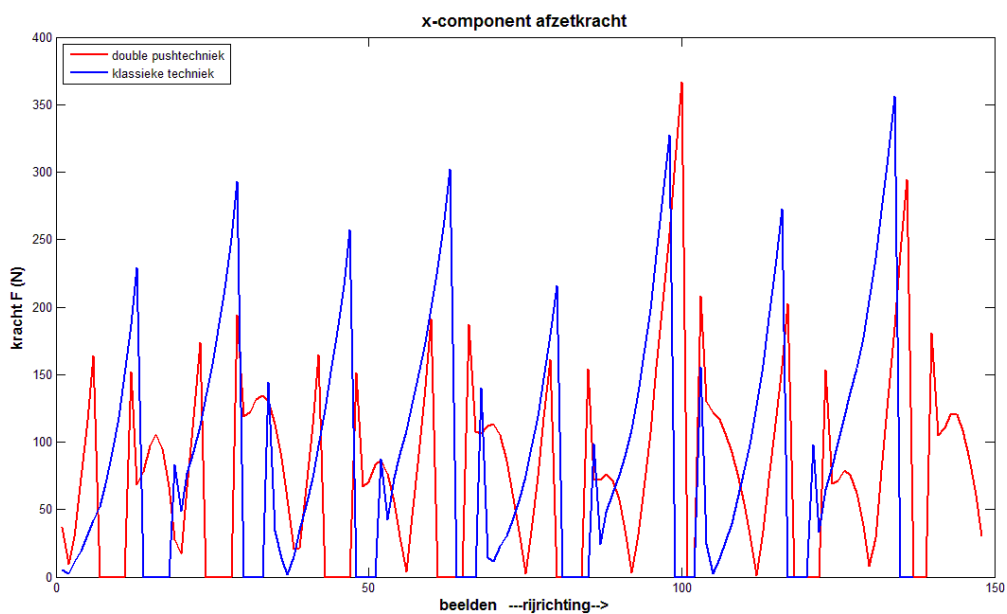
Afzetkracht

Wanneer we de verbeterde methode toepassen, valt gelijk op dat de propulsiekracht veel kleiner is geworden. De piek van 670 N betekent een afzet van 105% van het lichaamsgewicht. Dit is minder dan in de literatuur[5] beschreven staat. Een verklaring zou kunnen zijn dat de kracht die geleverd moet te worden om het in positie blijven op de lopende band zeer laag is.

Een andere verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat in het begin van de contactfase het lichaamsgewicht nog niet volledig op de skate wordt gezet, met tot gevolg een toename van de afzetkracht. In onderzoek naar de afzetkrachten tijdens het schaatsen vonden De Koning et al [7] dat bij een snelheid van 32,4 km/h pas na 20% van de contactfase het volledige lichaamsgewicht op het standbeen wordt geplaatst. Er kan gekeken of het percentage van het lichaamsgewicht in Newton bij de afzetkracht en het vermogen nog beter benaderd kan worden door de 20% in de berekening mee te nemen, hier kwamen echter geen noemenswaardige verschillen uit.



Figuur 30. Afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechnik, gemiddelde = 643 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 647 N

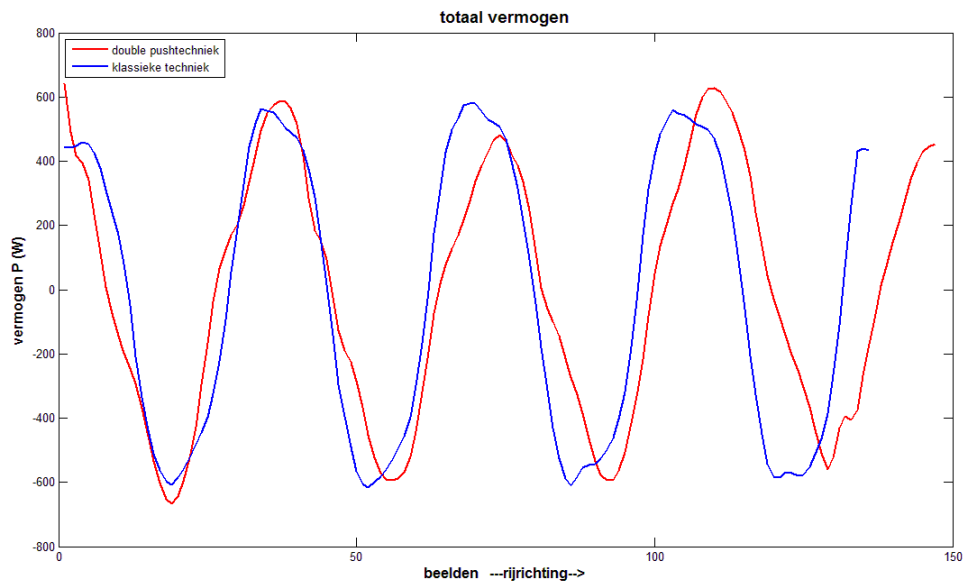


Figuur 31. x-component afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechnik, gemiddelde = 58 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 76 N

In fig. is te zien dat de gemiddelde geleverde afzetkracht van de double push en klassieke techniek even groot is. Bij de double push wordt de kracht echter verdeeld over twee pieken gedurende de afzet. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de piekbelasting bij de double push lager is, maar dat er gemiddeld wel even veel kracht wordt geleverd als bij de klassieke techniek.

Vermogen

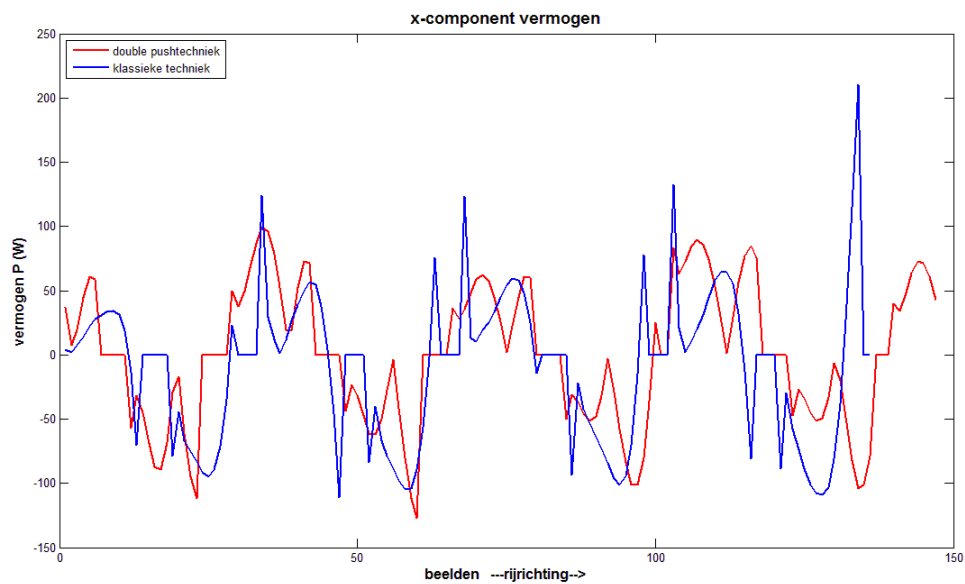
Wanneer het vermogen bepaald wordt met de vernieuwde methode komen de volgende resultaten naar voren:



Figuur 32. Totaal geleverd vermogen

Rood: double push

Blauw: klassiek



Figuur 33. geleverd vermogen in x-richting

Rood: double push

Blauw: klassiek

De verschillen zijn niet heel groot, de double push levert gemiddeld 55 Watt minder vermogen om eenzelfde voorwaartse snelheid te bereiken.

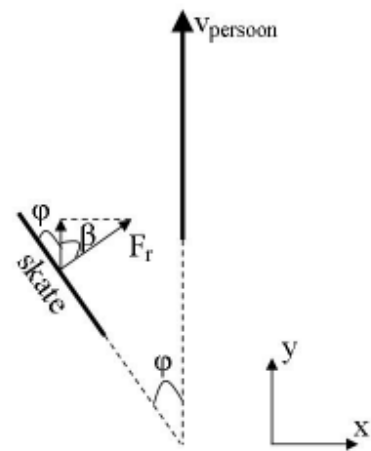
Geconcludeerd kan worden dat de double push een lagere vermogen levert om eenzelfde snelheid te bereiken. Een ander groot voordeel is dat de totale afzetkracht bij de double push ongeveer gelijk is aan die van de klassieke techniek, maar hierbij wordt de kracht wel verdeeld over twee benen waardoor de piekbelasting per been lager wordt.

THEORETISCH MODEL

Zowel interne als externe factoren hebben invloed op de totstandkoming van een skeelerbeweging. Deze factoren worden in onderstaande beschrijving besproken.

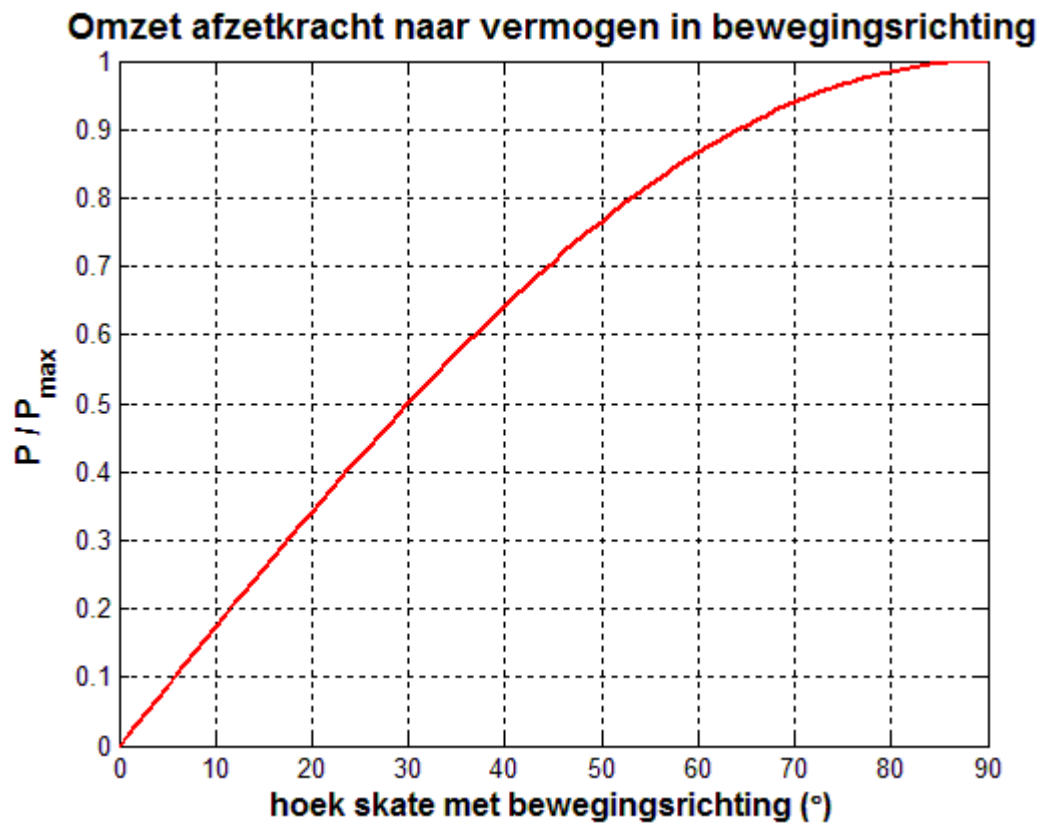
Zoals is geconcludeerd uit de resultaten van de pilotmeting, zet een skeeleraar tijdens de afzet de skate onder een hoek met de gewenste bewegingsrichting. Het model in figuur 34 geeft dit principe weer.

De hoek tussen de skate en de gewenste bewegingsrichting is in principe vrij te kiezen. Echter, als er een analyse gemaakt wordt van de hoeveelheid vermogen die geleverd wordt in de bewegingsrichting van de persoon, dan kan er geconcludeerd worden dat het geleverde vermogen in de gewenste bewegingsrichting een verband heeft met de afzethoek. Dit verband staat weergegeven in de onderstaande vergelijking en figuur 35.



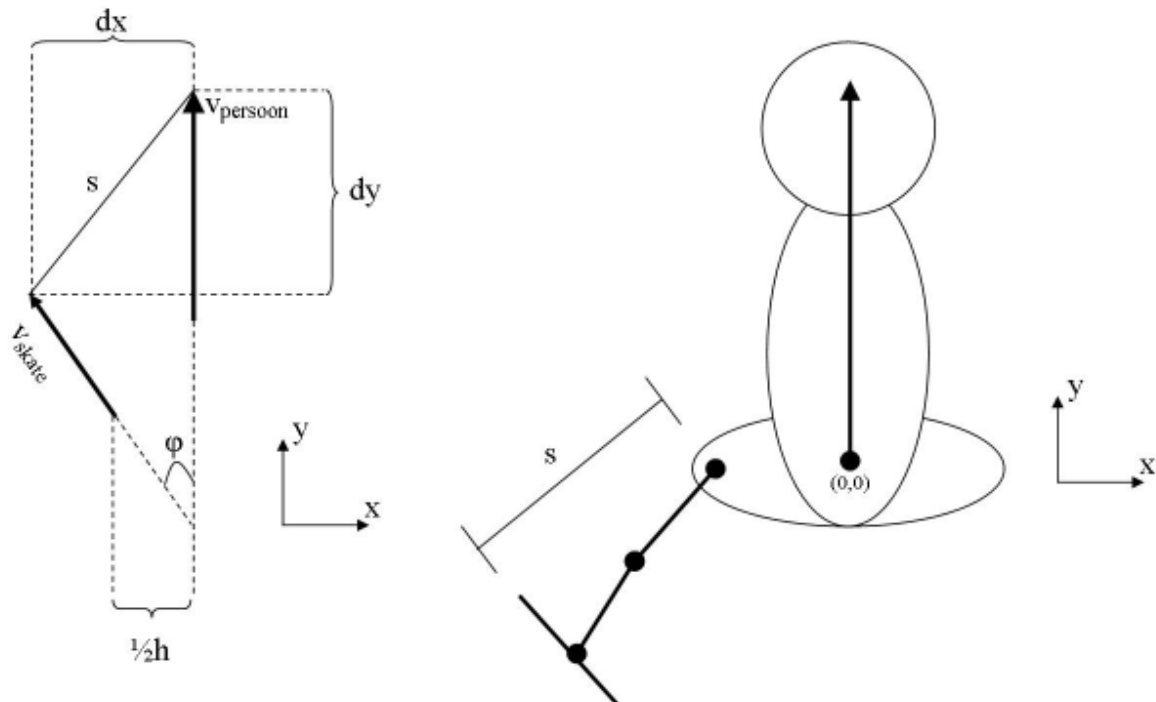
Figuur 34. Model snelheid persoon en plaatsing skate

$$P_y = F_{ry} \cdot v_y = F_r \cdot \cos(\beta) \cdot v_y = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) \cdot v_y$$



Figuur 35. Relatief vermogen in de bewegingsrichting als variabele van de plaatsing van de skate

Het is duidelijk te zien dat het vermogen in y-richting groter wordt naarmate de hoek van de skate met de bewegingsrichting (φ) toeneemt. De limiet voor de hoek is $0 \leq \varphi \leq 90$, omdat voor overschrijding van beide limieten geldt dat de richting van de reactiekracht omgekeerd is van de gewenste richting (in praktijk is een dergelijke krachtrichting te vergelijken met de richting van de reactiekracht bij double push).



Figuur 36. Model beenafstand in bovenaanzicht

Links: wegllopen van de skate ten gevolge van verschil in richting van verplaatsing van skate en persoon

Rechts: Beenlengte in bovenaanzicht

$\frac{1}{2} h$ = halve heupbreedte

Er is echter een beperking in de hoek die gemaakt kan worden, wat wordt geïllustreerd in het volgende model (zie ook figuur 36).

De skate waarmee afgezet wordt, heeft net als het lichaam een snelheid. Omdat de skate niet in dezelfde richting als de bewegingsrichting van het lichaam beweegt, heeft deze in x- en y-richting een andere snelheid. Ten gevolge van dit gegeven zal de skate van het lichaam af bewegen. In deze positie zit uiteraard een beperking, namelijk de lengte van het been in bovenaanzicht, zoals weergegeven in figuur 36 met het symbool s . Hierbij wordt er uitgegaan van een beenlengte bij een kniehoek van 160° (gemeten aan de dorsale zijde van het been).

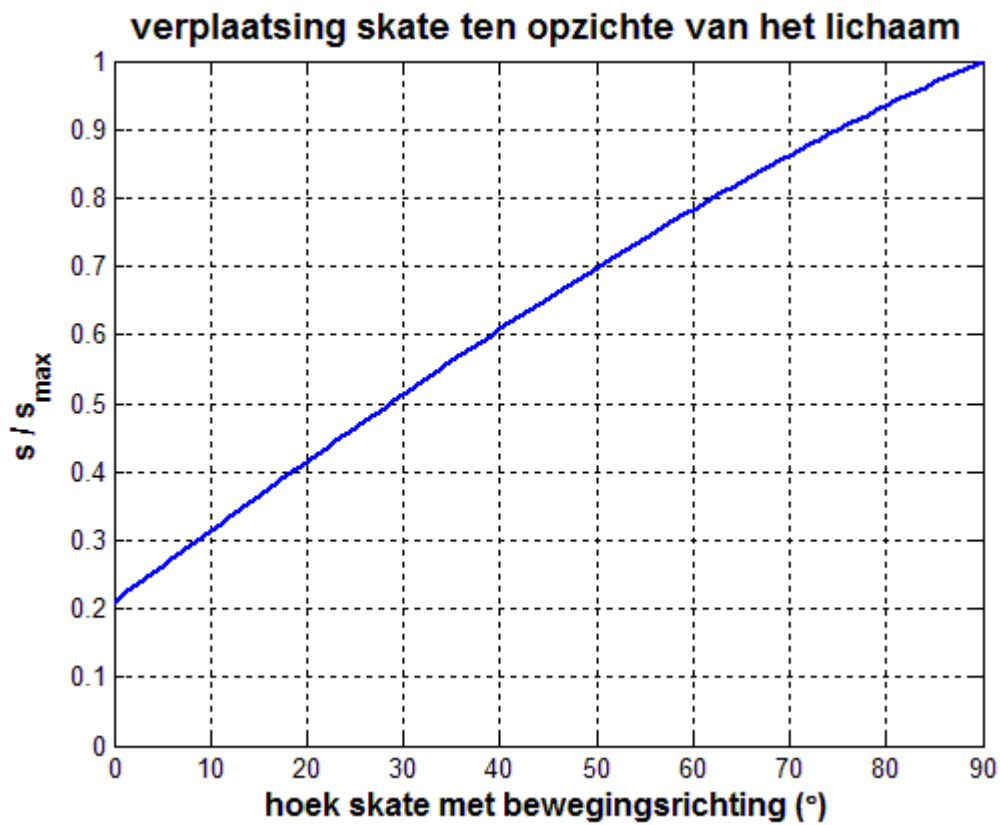
De beenlengte s in bovenaanzicht kan als volgt bepaald worden:

$$dx = \frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t$$

$$dy = v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t$$

$$s = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t\right)^2 + \left(v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t\right)^2}$$



Figuur 37. Relatieve verplaatsing skate ten opzichte van het lichaam

Naarmate de hoek van de skate ten opzichte van de bewegingsrichting toeneemt, is de verplaatsing van de skate bij een bepaalde snelheid groter per tijdseenheid (de afzettijd). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de snelheid of de afzettijd (of een combinatie van beiden) beperkend is voor de hoek φ .

WRIJVINGSKRACHTEN

Ten gevolge van onder andere luchtwerijving en rolwrijving is het niet mogelijk om te skeeleren met een zuiver constante snelheid. Daarom zal telkens tijdens de rolfase de snelheid van de persoon afnemen, waarna de persoon in de daarop volgende afzetfase weer snelheid moet toevoegen om het verlies aan snelheid weer goed te maken.

Tijdens het skeeleren spelen de volgende formules een rol:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2$$

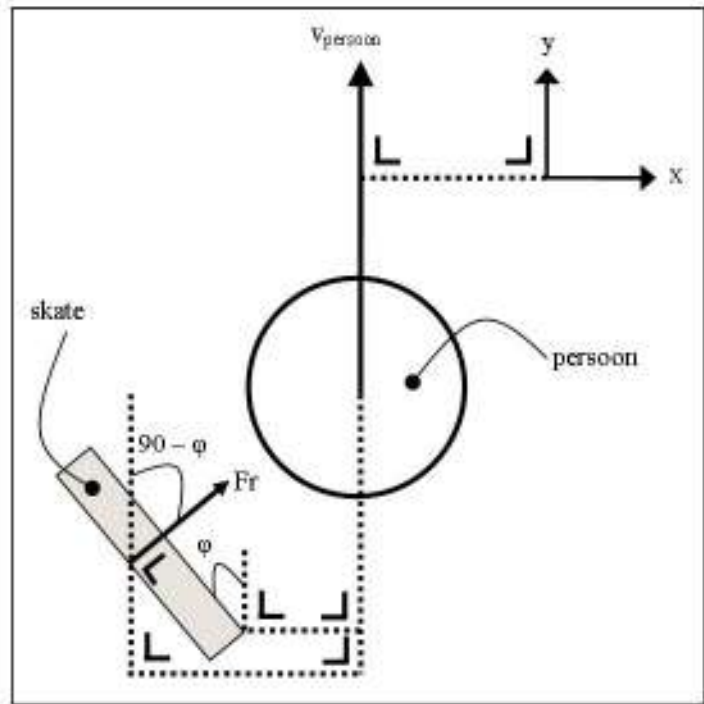
$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$$

$$F_{res} = F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = m \cdot a$$

$$\rightarrow a = \frac{F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}}{m}$$

$$v_i = v_{i-a} + a \cdot t$$



Figuur 38. Model richting afzetkracht in een inertiaal assenstelsel

Indien geldt dat $F_{res} = 0$ dan is de versnelling 0, wat betekent dat de persoon met constante snelheid voortbeweegt (of stilstaat indien de voorgaande snelheid 0 was).

De versnelling a kan alleen gebruikt worden bij constante versnellingen. Hier zal rekening mee gehouden moeten worden bij het vervaardigen van de modellen door de afzetfase in kleine stukjes op te delen.

Voorwaarde:

- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes

De richting en grootte van de krachtcomponenten heeft invloed op de tweede wet van Newton ($F_{res} = m \cdot a$). Zo kan de invloed van de wrijvingskrachten in x-richting verwaarloosd worden, waardoor de tweede wet van Newton omgeschreven zal moeten worden:

$$F_{res,x} = F_r \cdot \sin(90 - \varphi) = F_r \cdot \cos(\varphi)$$

$$F_{res,y} = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol} = F_r \cdot \sin(\varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = \sqrt{(F_{res,x})^2 + (F_{res,y})^2}$$

Het assenstelsel voor deze formules staat weergegeven in figuur 38, het is een assenstelsel dat meebeweegt met de bewegingsrichting van de persoon (waarbij de y-as evenwijdig is aan de bewegingsrichting).

Zoals eerder al gesteld is, kan er niet geskeelerd worden met een constante snelheid indien er rekening gehouden wordt met wrijvingskrachten. Wel is het mogelijk om aan het eind van iedere afzet eenzelfde snelheid te hebben en dit aan te nemen als constante snelheid. De afzetfase wordt dan gebruikt om de vertraging ten gevolge van de lucht- en rolwrijving van de rolfase weer teniet te doen.

Uiteraard heersen er ook tijdens de afzetfase wrijvingskrachten, zodat tijdens de afzetfase niet alleen de wrijvingskrachten van de rolfase, maar ook die van de afzetfase overwonnen moeten worden. Onderstaand schema geeft dit proces weer, in dit schema is geen rekening gehouden met krachtrichtingen.

Rolfase	Afzetfase
$F_{w,lucht} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{constant})^2$ $F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$ $a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{-1 \cdot (F_{w,lucht} + F_{w,rol})}{m}$ $v_i = v_{i-1} + a \cdot t = v_{constant} + a \cdot t$	$a_1 = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_{constant} - v_i}{t}$ $F_{afzet} = m \cdot a_1 + F_{w,lucht} + F_{w,rol}$ $= m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r$ $a_2 = \frac{F_{afzet}}{m} = \frac{m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r}{m}$ $= a_1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2}{m} + g \cdot c_r$ $v_{constant} = v_i + a_2 \cdot t$
● $v_{constant} = x \text{ m/s}$	● $v_i < v_{constant}$
	● $v_{constant} = x \text{ m/s}$

Voorwaarde:

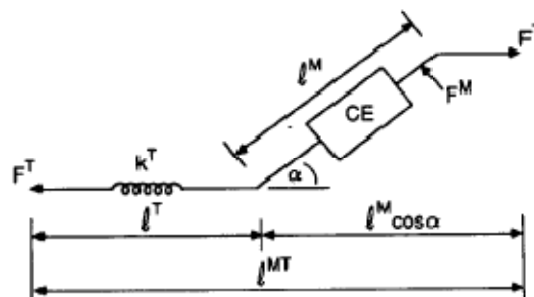
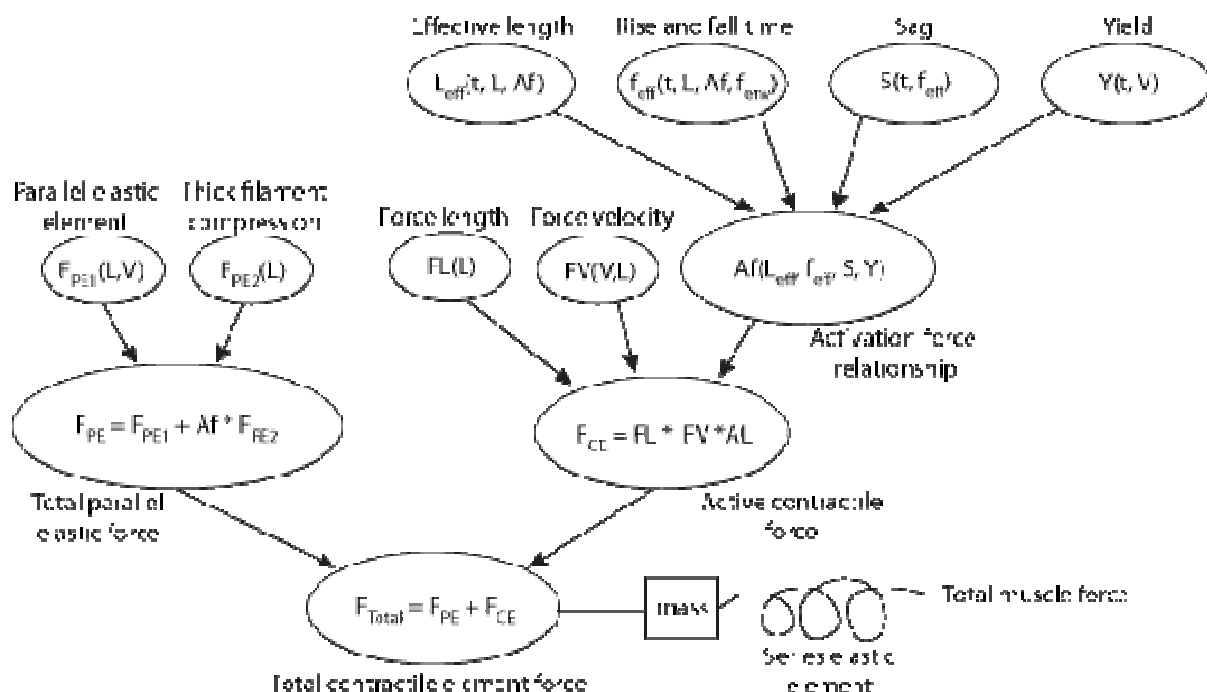
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving

SPIEREIGENSCHAPPEN

Als we kijken naar een beweging in het algemeen, kunnen we stellen dat er hoekverandering plaatsvindt in bepaalde gewrichten (meestal ten gevolge van geleverde spierkracht). In de onderstaande bespreking worden de factoren voor spierkracht besproken.

Factoren voor spierkracht

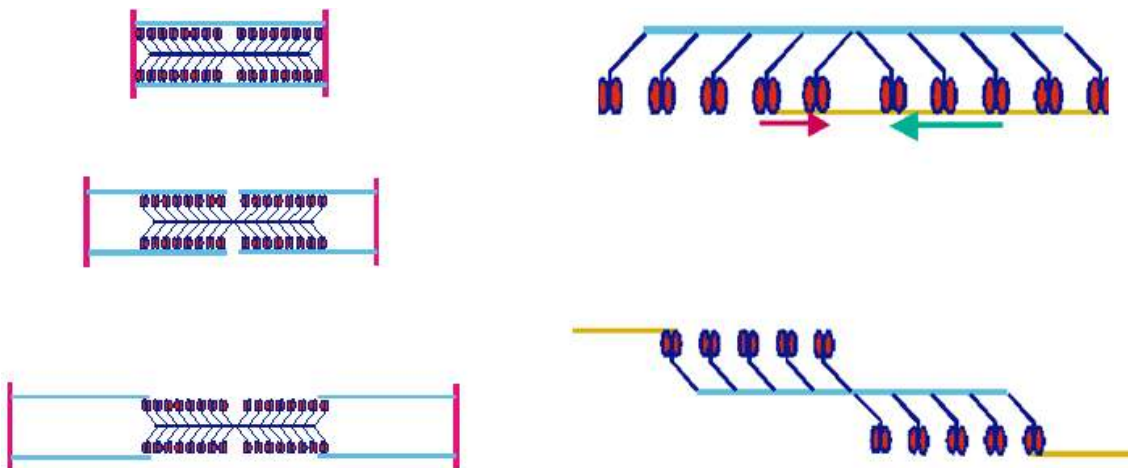
Zoals in het overzicht in onderstaande figuur 39 te zien is, is de spierkracht van vele factoren afhankelijk. Niet alle factoren kunnen in het model verwerkt worden, omdat een totaal model van de spierkracht een groot project op zich is. Het model van Cheng et al [8] dat alle onderstaande factoren of eigenschappen samenvoegt tot de totale spierkracht, is een model met een grote hoeveelheid variabelen. Echter, op veel eigenschappen kan geen invloed uitgeoefend worden, daarom zal er alleen gekeken worden naar de belanghebbende eigenschappen. Deze eigenschappen worden op de volgende bladzijden besproken.



reesmodel

Kracht-lengterelatie

Bij het veroorzaken van een hoekverandering zal een spier meestal verkorten (antagonistische spieren zullen logischerwijs excentrisch gecontraheerd worden). Vanuit de literatuur weten we dat de lengte die een spier heeft van invloed is op de kracht die deze kan leveren. Is een spier op een langere of kortere lengte dan zijn rustlengte, dan is de mogelijke krachtslevering lager [10]. Deze eigenschap is gebaseerd op de het feit dat de kracht die een spier kan leveren afhankelijk is van het aantal beschikbare myosinekopjes dat contact maakt met de actine in een sarcomeer (zie figuur 41). In de figuur is rechtsboven een verkorte sarcomeer weergegeven. De myosinekopjes bevinden zich in de zogeheten antiparallelle regio, de actine maakt niet alleen contact met de myosinekopjes die ervoor zorgen dat de actine naar binnen getrokken wordt (wat een verkorting van de sarcomeer, en dus van de spier, tot gevolg heeft). Er zijn ook myosinekopjes die met de actine ernaast contact moeten maken, maar dat in deze positie niet doen. Zij maken contact met dezelfde actine waar de andere myosinekopjes aan trekken die voor verkorting van de sarcomeer zorgen. Hierdoor wordt er in twee tegengestelde aan de actine getrokken, waardoor de actie van de myosinekopjes elkaar (deels) opheft, wat resulteert in verminderde (of geen) verkorting van de sarcomeer. Dit heeft tot gevolg dat de spierkracht in deze posities lager is.



Figuur 41. Schematische weergave sarcomeren in verschillende posities

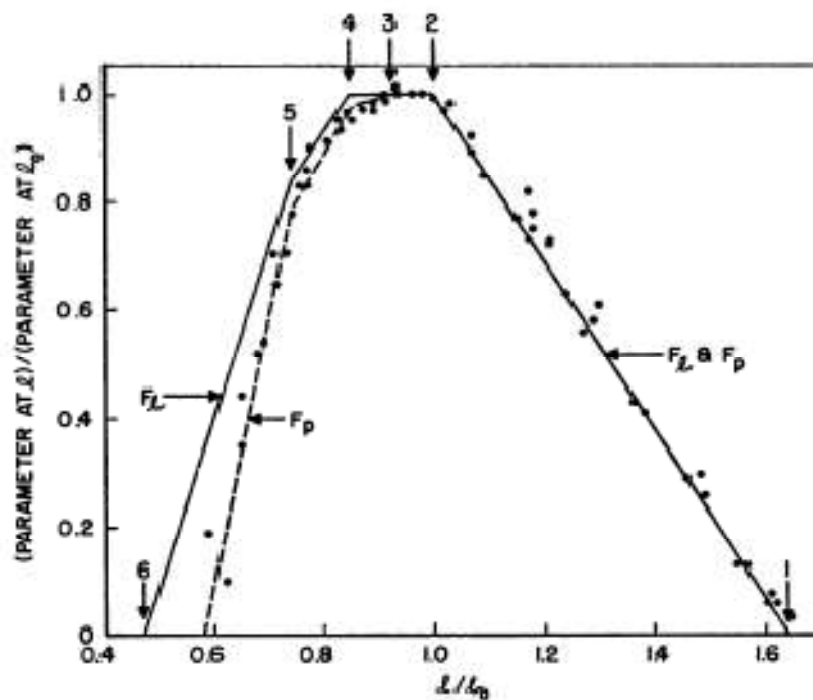
Linksboven, rechtsboven: sarcomeer in verkorte positie

Links, midden: sarcomeer in rustpositie

Linksonder, rechtsonder: sarcomeer in verlengde positie

Bornhorst en Minardi hebben deze kracht-lengterelatie beschreven met behulp van een grafiek met daarin een aantal kenmerkende punten waartussen lineaire functies het verband van het ene punt met het andere leggen (zie figuur 42). Andere bronnen als Gordon et al [11] en Askew & Marsh [12] geven eenzelfde verloop en verhouding van lengtes.

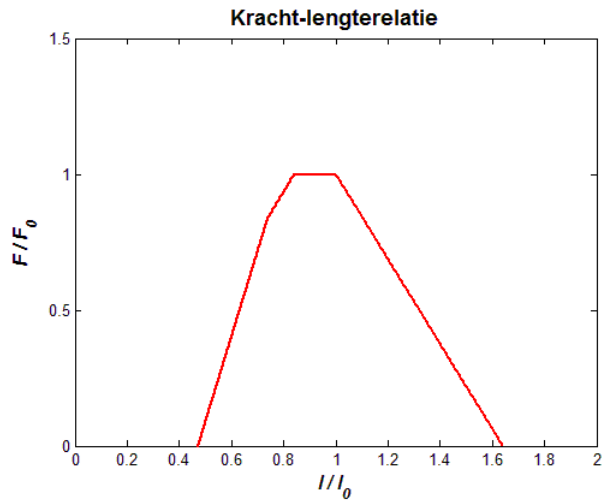
De kracht-lengterelatie zoals Bornhorst & Minardi deze schetst, kan worden benaderd met lineaire functies die vervolgens omgeschreven kunnen worden naar één vijfdegraads vergelijking. De vergelijkingen en plots op de volgende pagina geven dit proces weer. Hiermee kan dan in de Matlab-modellen met één formule de kracht-lengterelatie van een spier ingegeven worden. Deze relatie is van belang omdat er gedurende de afzet een hoekverandering in onder andere het kniegewricht plaatsvindt, waardoor de lengte van de kniestrekkers verandert, en daarmee ook de kracht die geleverd kan worden.



Figuur 42. Kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Lineaire functies:

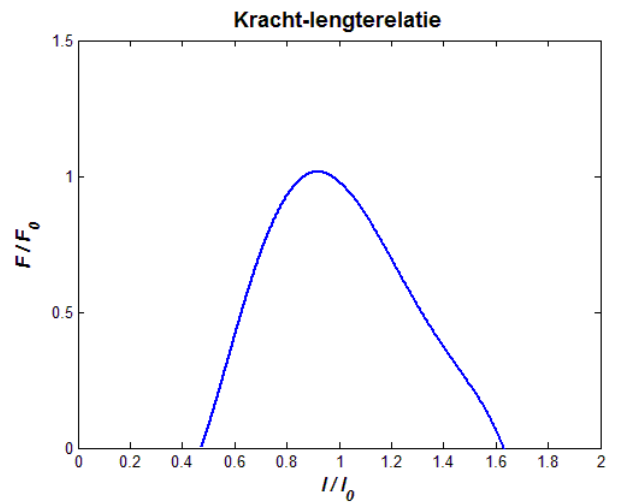
$$F = \begin{cases} 0.472 < l \leq 0.74 & \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot l - \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot 0.472 \\ 0.74 < l \leq 0.84 & \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot l - \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot 0.74 + 84 \\ 0.84 < l \leq 1 & 1 \\ 1 < l \leq 1.64 & \frac{-1}{0.64} \cdot l + \frac{1}{0.64} + 1 \end{cases}$$



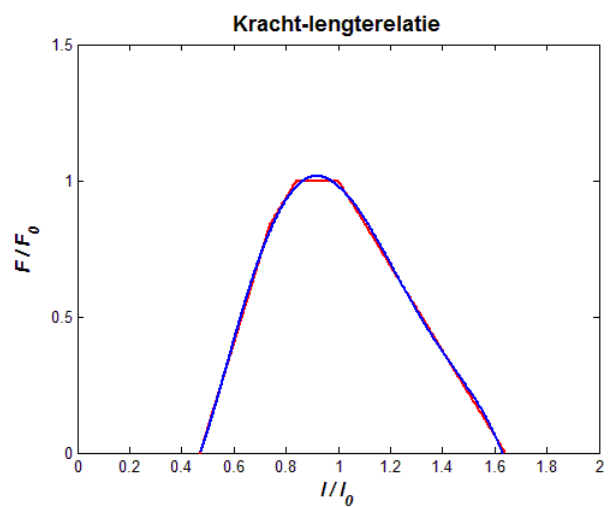
Figuur 43. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Vijfdegraads vergelijking:

$$\begin{aligned} p1 &= -10.537 \\ p2 &= 57.038 \\ p3 &= -116.22 \\ p4 &= 107.42 \\ p5 &= -42.478 \\ p6 &= 5.7582 \\ F &= p1 \cdot l^5 + p2 \cdot l^4 + p3 \cdot l^3 + p4 \cdot l^2 + p5 \cdot l + p6 \end{aligned}$$



Figuur 45. Gesimuleerde kracht-lengterelatie met de vijfdegraads vergelijking



Figuur 44. Kracht-lengterelatie van Bornhorst en Minardi en volgens vijfdegraads vergelijking over elkaar gelegd

Als er vervolgens gekeken wordt in welk gebied van de kracht-lengtecurve er kracht wordt geleverd, komen we op de volgende relatieve spierlengtes (spierlengte ten opzichte van de rustlengte) [14,15]:

$$\varphi_0 = 100$$

$$\varphi_1 = 160$$

$$r = 0.043$$

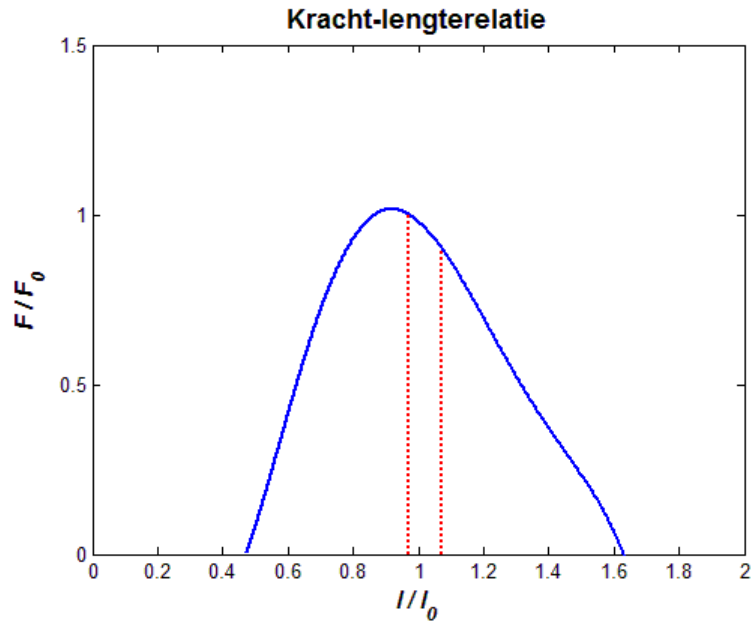
$$l_{min} = 0.344$$

$$l_{rust} = 0.432$$

$$l_0 = \frac{\varphi_0 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 0.97$$

$$l_1 = \frac{\varphi_1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 1.07$$

In figuur 46 staan deze grenzen met rode stippellijn aangegeven.



Figuur 46. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens de vijfdegraads vergelijking met zone van spierlengte weergegeven

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn

Kracht-snelheidsrelatie

Omdat er een hoekverandering plaatsvindt bij het afzetten, hebben de betrokken elementen een hoeksnelheid. Deze hoeksnelheid heeft invloed op de contractiesnelheid van spieren, waardoor we met nog een andere spiereigenschap te maken krijgen: de relatie tussen de contractiesnelheid en de leverbare kracht. Hill heeft deze relatie beschreven en hiervoor een formule opgesteld waarin enkele spiereigenschappen een rol spelen. De Hill-curve wordt voorgeschreven door de volgende formule (zie ook figuur 47) [13]:

$$F_{Hill} = \frac{c}{v + b} - a$$

Hierin zijn a, b en c zogenaamde Hill-constanten die de spiereigenschappen weergeven en is v de contractiesnelheid in lengtes per seconde (l/s) of meters per seconde (m/s). Deze drie constanten verschillen per spier of spiergroep. Voor het model is gekozen voor de volgende waarden van de constanten [13]:

$$a = F_{iso} = 1013 \text{ N}$$

$$b = v_{max} = 0.435 \text{ m/s}$$

$$c = P_{max} = 881.31 \text{ W}$$

Om de contractiesnelheid beter te kunnen interpreteren, wordt deze omgerekend naar hoeksnelheid in graden per seconde (°/s). Dit gaat volgens de volgende berekening:

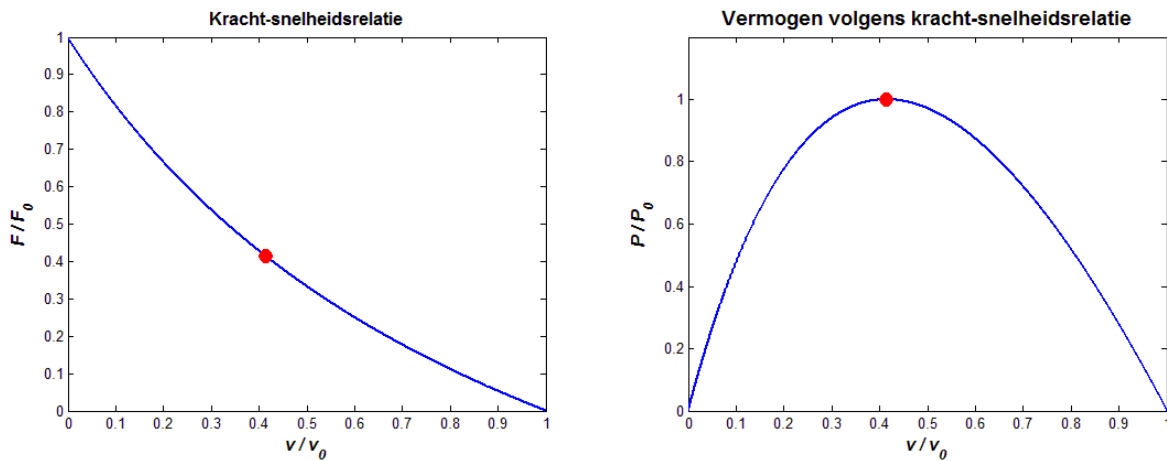
$$\omega = \frac{v}{r} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Willen we de hoeksnelheid in de formule voor de Hill-curve plaatsen, dan dienen we de formule voor hoeksnelheid om te schrijven als formule voor contractiesnelheid als functie van de hoeksnelheid:

$$v(\omega) = \frac{\omega \cdot r \cdot \pi}{180}$$

Van de vergelijking van Hill kan ook het optimum bepaald worden. Dit optimum kan gevonden worden door het vermogen volgens Hill uit te rekenen, en in die functie de top te bepalen. Voor de gevonden contractiesnelheid levert de spier het meest optimaal zijn kracht.

$$P_{Hill} = F_{Hill} \cdot v$$



Figuur 47. Kracht-snelheidsrelatie volgens Hill

Links: relatieve kracht tegen de relatieve contractiesnelheid volgens Hill

Rechts: relatief vermogen volgens Hill

rode stip: optimum

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

3. PAKKET VAN VOORWAARDEN

In de onderstaande opsomming worden de voorwaarden genoemd die in de modelmatige simulaties verwerkt dienen te worden.

VOORWAARDEN

- De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht
- De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt
- De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting
- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven
- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekken van het art. coxae en art. genus
- In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting
- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving
- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn
- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

4. MODELMATIGE SIMULATIES

In deze fase zal er aan de hand van de opgedane kennis en de opgestelde theoretische modellen een aantal Matlab-modellen vervaardigd worden, waarmee een aantal voorspellingen gedaan kan worden.

MODEL 1: KRACHTRICHTING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

Om aan te tonen dat men niet telkens zijn of haar skate hetzelfde zal plaatsen bij verschillende snelheden, wordt er in dit eerste model gesimuleerd dat er vanuit stilstand gestart wordt en de snelheid steeds opgevoerd wordt. Door telkens dezelfde afzettijd op te leggen, wordt er puur naar het effect gekeken van de snelheid op de hoek waaronder de skate geplaatst kan worden om zoveel mogelijk afzet te leveren zonder dat de skate te ver wegloopt bij het lichaam (zoals besproken is bij het theoretische model op pagina 37 en 38).

De regels die gelden in het model zijn:

$$\varphi_0 = \frac{90}{2} = 45$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g$$

$$F_{w,i} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{tot,i-1})^2$$

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + (-1)^2 \cdot \frac{F_r \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + \frac{F_r \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{tot,i} = \sqrt{(v_{i,x})^2 + (v_{i,y})^2}$$

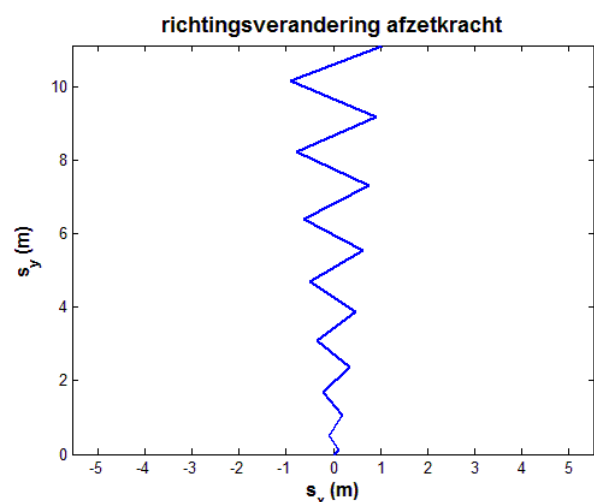
$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{tot,i} \cdot \sin(\varphi_i) \cdot t\right)^2 + \left(v_{tot,i} \cdot t - v_{tot,i} \cdot \cos(\varphi_i) \cdot t\right)^2} \rightarrow \varphi_i$$

Er wordt gestart onder een ideale afzethoek (90 graden), gedeeld door 2. Deze deling wordt gedaan omdat in de berekening voor de beenlengte s er vanuit wordt gegaan dat het lichaam zich in de gewenste richting (zuiver rechtdoor) beweegt, terwijl deze oscillerend om de gewenste bewegingsrichting zal bewegen (zoals te zien is in de formules voor $v_{x,i}$ en $v_{y,i}$). Het is goed denkbaar dat men daarom bij de start van het skeeleren ook schuin op de gewenste verplaatsingsrichting vertrekt, wat ook in de praktijk wordt waargenomen.

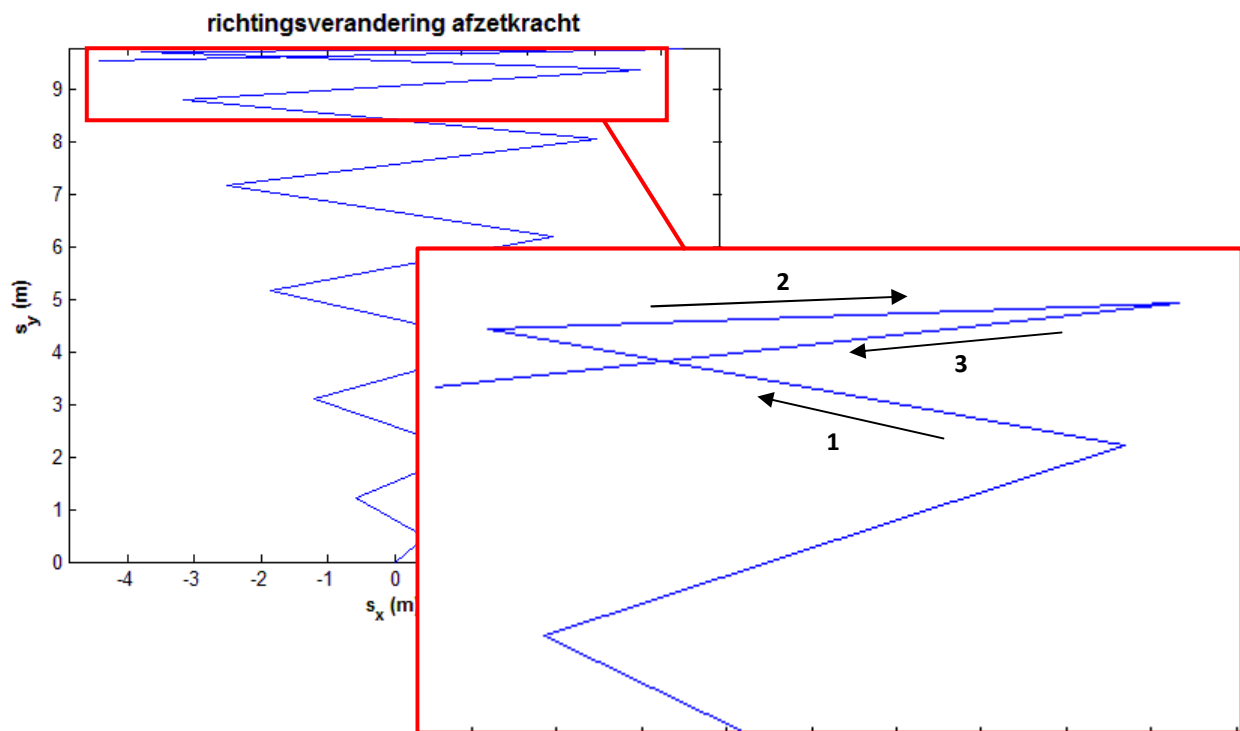
Nevenstaande figuur geeft de verplaatsing weer, waarbij er geen rekening is gehouden met de invloed van de snelheidsvector op de huidige snelheid (hier wordt later op teruggekomen). Dit model is slechts bedoeld om te illustreren hoe het mogelijke verloop van de richting van de afzetkracht is.



Figuur 48. Weergave van de richtingsverandering bij een toenemende snelheid

Het is duidelijk te zien dat wanneer de snelheid hoger is (te zien aan een grotere verplaatsing in zowel x- als y-richting), de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. De hoek van de reactiekracht ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting is namelijk $90 - \varphi$, waardoor de x-component van de reactiekracht steeds groter wordt, wat resulteert in een grotere zijwaartse verplaatsing.

Er komt een moment dat er een snelheid bereikt is, waarbij de wrijvingskracht groter is dan geleverde afzetkracht, waardoor men dus afgeremd wordt. In dit model is dat te zien als een afname van de verplaatsing, zoals in onderstaande figuur weergegeven wordt.



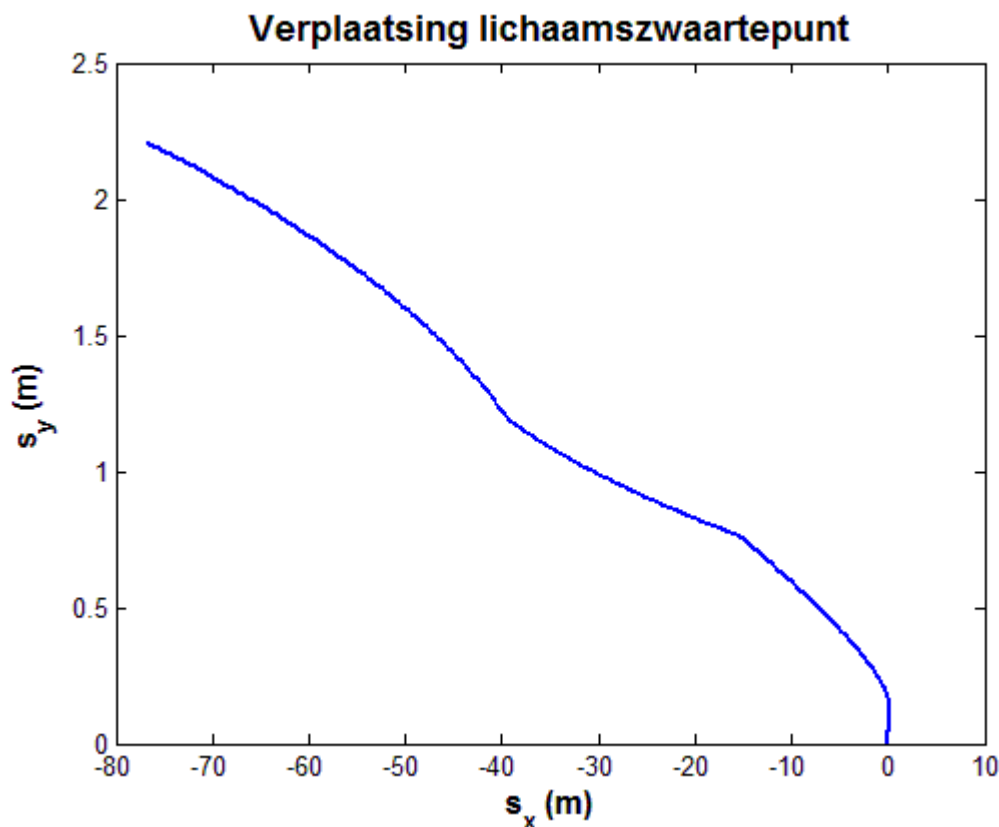
Figuur 49. Weergave van het gevolg van een luchtweerstand die groter is dan de afzetkracht in voorwaartse richting

MODEL 2: VERPLAATSING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

In het voorgaande model werd er telkens eenzelfde afzetkracht geleverd, in een krachtrichting die bepaald werd aan de hand van een formule die de krachtrichting optimaliseert bij een input van de afzettijd en de snelheid van de persoon.

In dit tweede model wordt elke afzet in honderd kleine stapjes opgedeeld, rekening houdend met de invloed van de vector van de reactiekracht op de huidige snelheidsvector. Hierdoor zal de snelheidsvector per honderdste deel van de afzettijd van richting veranderen ten gevolge van een andere richting van de reactiekracht (ten opzichte van de bewegingsrichting van de persoon). De afzetkracht wordt bepaald aan de hand van een optimalisatie naar optimaal vermogen volgens Hill, zoals besproken is bij de kracht-snelheidsrelatie van spieren in de analyse. Vervolgens wordt deze kracht vermenigvuldigd met de factor volgens de kracht-lengterelatie.

Dit proces wordt weergegeven in figuur 50. In de onderstaande figuur is het effect van vectorberekening te zien. Het blijkt dus dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. Opvallend is de enorme verplaatsing in x-richting ten opzichte van de verplaatsing in y-richting. Dit is mogelijk te verklaren aan de hand van de data die het model als output levert.



Figuur 50. Verplaatsing van het lichaamszwaartepunt volgens model 2
assen zijn niet 1:1 geschaald

MODEL 3: TOEVOEGING VAN GELIJKBLIJVENDE SNELHEIDSVECTOR

Bij het versnellen was te zien dat de persoon naar links of rechts ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting verplaatste en deze gewenste bewegingsrichting niet meer kruiste. Bij skeeleren met constante snelheid zou ditzelfde patroon niet verwacht worden, omdat er telkens met een zelfde krachtvector een verandering van de snelheidsvector plaatsvindt. De eerste vraag die opkomt is: "Hoe ziet het grondpatroon van een skeeleraar eruit als er telkens eenzelfde krachtsvector, en dus eenzelfde snelheidsvector, wordt toegevoegd?".

Een dergelijke situatie kan aan de hand van de verkregen gegevens uit de videoanalyse gesimuleerd worden:

- $F_{rx} = 219 \text{ N}$
- $v_y = 25 \text{ km/h} = \frac{25}{3.6} = 6.9 \text{ m/s}$

Hierbij wordt, net als in bij de pilotmeting, de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant gehouden.

Het model werkt volgens de volgende regels:

$$F_{rx} = 219$$

$$v_{y,0} = \frac{25}{3.6}$$

$$v_{toegevoegd,x} = \frac{F_{rx}}{m} \cdot t$$

$$v_{toegevoegd,y} = F_{ry} - F_{w,tot} = 0$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + v_{y,i-1} - v_{y,i-2} + v_{toegevoegd,y}$$

afzet naar rechts:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} + v_{toegevoegd,x}$$

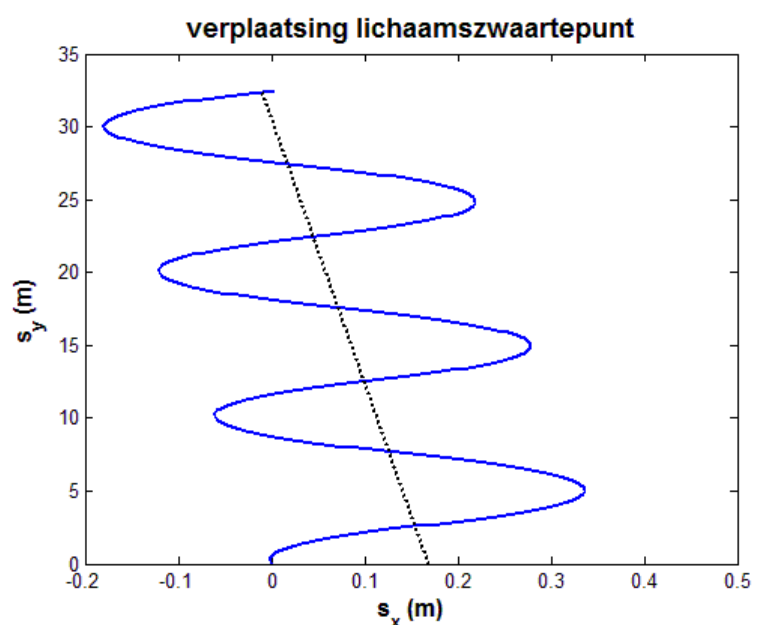
afzet naar links:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} - v_{toegevoegd,x}$$

$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

Het resultaat van het simuleren volgens bovenstaande regels is te zien in de nevenstaande plot.



Figuur 51. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

assen zijn niet 1:1 geschaald

5. EVALUATIE

Tijdens deze evaluatie zal de output van de modellen getoetst worden aan het pakket van voorwaarden. Dit zal puntsgewijs gebeuren.

TOE-OFF VOOR AFZET

Voordat een afzet met het ene been plaatsvindt moet er een toe-off van het andere been plaatsvinden

Deze voorwaarde voor het kunnen simuleren van afzetten die op elkaar volgen, en niet tegelijkertijd optreden, is in alle drie de modellen verwerkt.

WRIJVINGSKRACHTEN

In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:

- Luchtwrijving
- Rolwrijving

In het eerste model is de luchtwrijving opgenomen, de rolwrijving niet. Als we kijken wat de invloed van het ontbreken van de rolwrijving is, komen we op de volgende berekeningen:

$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r = 75.7 \cdot 9.81 \cdot 0.0077 = 5.7 \text{ N}$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g = 0.35 \cdot 75.7 \cdot 9.81 = 259.9 \text{ N}$$

Het moge duidelijk zijn dat de rolwrijvingscoëfficiënt en het percentage van het lichaamsgewicht de invloeden zijn die voor dit verschil in kracht zorgen omdat in beide formules de massa en zwaartekrachtsversnelling gelijk zijn.

De invloed van de rolwrijving op de kracht die geleverd zou worden is:

$$\frac{c_r}{p_{lat}} \cdot 100\% = \frac{0.0077}{0.35} \cdot 100\% = 2.2\%$$

Dit is een zeer laag percentage, waardoor we kunnen aannemen dat het beeld wat het model schetst niet erg vertekend is.

In het tweede model is totaal geen wrijvingskracht opgenomen. Voor model 1 zagen we al dat de rolwrijving verwaarloosbaar klein is, maar of dit voor de luchtwrijving ook opgaat is de vraag. Als we kijken naar de eindsnelheid van de simulatie (na vier afzetten), dan kan er gesteld worden dat er de volgende luchtwrijvingskracht zal heersen:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.293 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot (6.9)^2 = 19.7 \text{ N}$$

Als dit vergeleken wordt met de afzetkracht die op dat moment geleverd wordt, komen we op de volgende invloed:

$$\frac{F_{w,lucht}}{F_r} \cdot 100\% = \frac{19.7}{515.16} \cdot 100\% = 3.8\%$$

De invloed van de luchtwrijving op de geleverde afzetkracht blijkt niet groot te zijn.

In het derde model wordt er indirect rekening gehouden met de wrijvingskrachten. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant blijft. Dit kan alleen als er totaal geen wrijving optreedt, of als de reactiekracht in de gewenste bewegingsrichting even groot is als de wrijvingskrachten, de resultante kracht is dan namelijk gelijk aan 0.

AFZETKRACHT

In model 1 is de afzetkracht gedefinieerd als het lichaamsgewicht (vermenigvuldigd met de zwaartekrachtsversnelling) maal een percentage. Dit percentage kan gevarieerd worden. Zo is uit de literatuur bekend dat het percentage van het lichaamsgewicht (in Newton) dat men kan leveren bij een afzet tot 150% kan oplopen.

Hierin is dus geen afzetkracht opgenomen in de vorm van een Hill-curve of volgens de krachten die gevonden zijn in de analyse.

Voor het tweede model is de kracht volgens Hill als eerste uitgangspunt genomen. Vervolgens wordt deze kracht gerelateerd aan de kracht-lengterelatie van een spier. De geleverde spierkracht komt maximaal op 467 N, wat nog geen 100% van het lichaamsgewicht in Newton is (757 N) [5].

In het derde model wordt gebruik gemaakt van de afzetkracht in x-richting, die uit de analyse naar voren is gekomen, om de zijwaartse verplaatsing te simuleren.

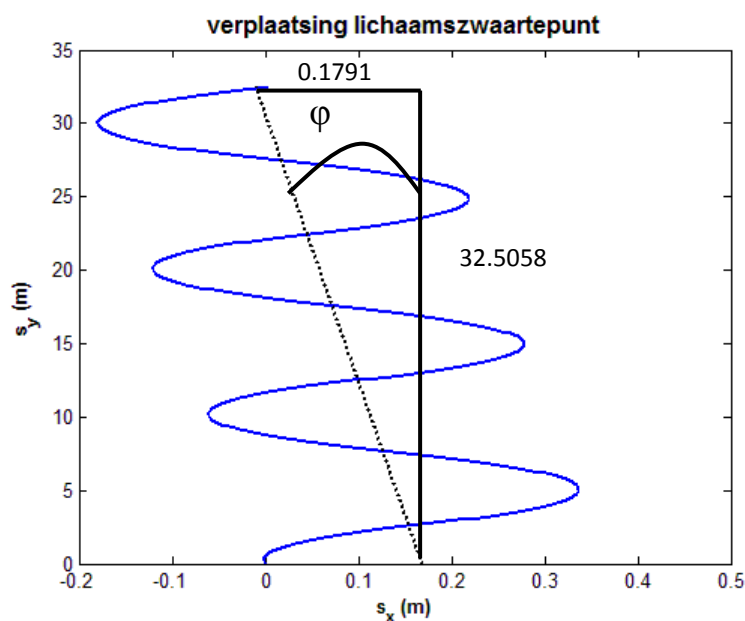
RESULTAAT

In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven

Alleen voor het derde model kan gesteld worden dat het uitwendige resultaat (de verplaatsing van de persoon) te vergelijken is met wat uit de analyse naar voren is gekomen.

Net als in het gangpatroon uit de analyse, verplaatst het lichaamszwaartepunt zich in een sinusvorm in de gewenste bewegingsrichting. De zijwaartse verplaatsing is van piek tot piek nagenoeg gelijk. Als we kijken naar de positie van de pieken ten opzichte van de x-as, dan zien we wel een verschil. Waar het grondpatroon van de pilotmeting om de breedte-as oscilleert, is dat bij het gesimuleerde grondpatroon niet zo. Daar oscilleert het lichaamszwaartepunt om een lijn die schuin naar linksboven loopt, zoals weergegeven is in figuur 52. De schuinite is berekend volgens onderstaande methode:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) = \arctan\left(\frac{0.1791}{32.5058}\right) = 0.3^\circ$$



Figuur 52. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

Verticale zwarte lijn: verplaatsing in y-richting

Horizontale zwarte lijn: gemiddelde verplaatsing in x-richting

φ : hoek gemiddelde bewegingsrichting met verticaal

assen zijn niet 1:1 geschaald

6. DISCUSSIE

In deze discussie zullen er puntsgewijs onderwerpen besproken die de resultaten van de pilotmeting of de modellen beïnvloed hebben.

VIDEOANALYSE

Bij het skeeleren op de loopband is sprake van twee variabelen die opgelegd kunnen worden, de hellingshoek en de snelheid. Tijdens de pilotmeting mocht de proefpersoon deze variabelen zelf bepalen. Het is te verwachten dat de proefpersoon hier gaat kiezen voor een combinatie waar hij zich comfortabel bij voelt. Waar tijdens het rijden op de weg de propulsiekracht bepalend is voor de snelheid hoeft dit tijdens de meting niet zo te zijn. Het kan voorkomen dat er een propulsiekracht wordt opgelegd met een niet bijpassende snelheid. Het gevolg hiervan dat de hoek van de skate met de rijrichting niet hoeft overeen te komen met de hoek die gehaald wordt tijdens het rijden op asfalt met een bijpassende snelheid.

De verwerking van de pilotmeting van de double push en klassieke techniek is uitgevoerd bij één snelheid en hellingshoek. Waar het te verwachten is dat de efficiëntie van beide technieken afhankelijk is van de snelheid, valt niet te zeggen dat de double push in alle situaties een bijdrage kan leveren aan de voorwaartse snelheid. Wanneer het onderzoek bij meerder snelheden, hoeken en proefpersonen wordt verricht wordt de betrouwbaarheid van de uitspraken groter.

Hetzelfde geldt voor het aantal slagen dat zijn genomen, tijdens het verwerken is een cyclus van acht slagen uitgekozen. Voor een hogere betrouwbaarheid is het aan te bevelen een langere cyclus te bekijken.

De double push laat zich in vele vormen zien tijdens wedstrijden. Tijdens dit onderzoek is niet op zoek gegaan naar een optimum bij deze techniek. Ook is er niet op zoek gegaan naar een variabele die iets zegt over wat nu een “goede” double push is.

Bij het bepalen van de afzetkracht is gebleken dat er niet met zekerheid te zeggen is wat voor krachten er nu werkelijk worden geleverd tijdens de afzet, en dan met name rond de bipedale fase. De vorm van de krachten kwam wel overeen met gemeten afzetkrachten in de literatuur, echter of op deze manier een realistische waarde is gemeten kan niet worden gezegd.

Ook is bij het bepalen van de afzetkracht de hoogte van het zwaartepunt vastgelegd. De verplaatsing in absolute waarde is nog niet hoog te noemen, echter is de verplaatsing in verticale richting bij de double push wel groter dan die bij de klassieke techniek.

MODEL 1

Zoals bij de evaluatie al besproken is, is er geen gebruik gemaakt van de afzetkracht die verkregen is uit de videoanalyse of vanuit de vergelijking van Hill. Echter, het model dient vooral ter illustratie van het verloop van de afzetricting, waarbij het van belang is dat er een snelheid gegenereerd wordt. Aangezien de afzetkracht in het model gevarieerd kan worden (door het percentage van het lichaamsgewicht in Newton dat geleverd wordt te verhogen), is deze beperking geen groot punt van discussie.

MODEL 2

Bij het tweede model valt het op dat de verplaatsing in zowel x- als y-richting onjuist is. De waarden wijken zo veel af van de werkelijkheid, dat dit model als onjuist beschouwd kan worden.

Een grote beperking in het model is de aanname van krachtslevering met slechts de kniestickeers, waarbij in de verkorting van deze spiergroep geen rekening gehouden is met de bewegingen die plaatsvinden in het heupgewricht (wat een effect heeft op de bi-articulaire m. rectus femoris).

MODEL 3

Het enige punt van discussie van het derde model is dat de gemiddelde afgelegde weg (de stippellijn in figuur 52) niet overeenkomt met de gewenste bewegingsrichting die een verticale lijn voorstelt. De schuimte van de gemiddelde afgelegde weg is echter zeer klein.

THEORETISCH MODEL

Het theoretisch model kent een aantal beperkingen. Zo wordt er geen rekening gehouden met het stuurgedrag van de skeeler ten opzichte van de skeeleraar, er wordt verondersteld dat de skeeler onder een hoek weglloopt bij het lichaam, terwijl in werkelijkheid deze weglloep beperkt wordt door de skeeler steeds meer evenwijdig aan de bewegingsrichting te plaatsen (zoals naar voren gekomen is uit de videoanalyse).

7. CONCLUSIE

Het verslag beschrijft twee fases, namelijk een vergelijking van de double push en klassieke techniek aan de hand van videoanalyse en een modelleringsfase. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke en double pushtechniek.

Uit de vergelijking tussen de klassieke en double pushtechniek is gebleken dat de mediale afzet in de double push een extra kracht levert die bijdraagt aan de propulsiekracht. Deze kracht wordt gegenereerd door de afzet naar mediaal. Het totaal geleverd vermogen van de double push en klassieke techniek zijn echter ongeveer gelijk. Het voordeel van de double push schuilt dus in het verlagen van de piekbelasting. De krachtcomponent van de afzetkracht voor de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt bij de laterale afzet bleek bij de klassieke groter te wezen dan de double push het gevolg is een breder gangpatroon bij de klassieke techniek. Dit terwijl er bij de double pushtechniek toch meer meters worden afgelegd door de skeelers.

Voor het bepalen van de kwantitatieve afzetkrachten en vermogens, dient de methode voor het verkrijgen de afzetkracht gevalideerd te worden en eventueel aangepast te worden. Dit is mogelijk door met een voetzool krachtmeter te meten tijdens het skeeleren. Een aspect wat hiervan belang kan zijn is de ab- en adductiemogelijkheid van het art. coxae tijdens de bipedale fase.

Uit de modelstudie bleek dat de richting van de skate steeds evenwijdiger aan de gewenste bewegingsrichting wordt geplaatst naarmate de snelheid in voorwaartse richting toeneemt. De skate komt echter nooit evenwijdig te staan omdat op een gegeven moment de wrijvingskrachten gelijk zijn aan voorwaartse kracht component.

In het tweede model is gepoogd de kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties te bepalen, dit heeft echter niet geleid tot een realistisch gangpatroon.

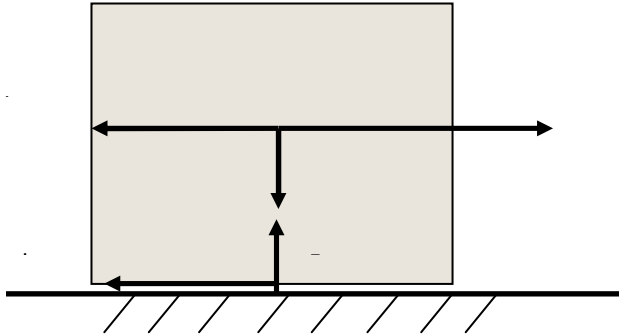
In het derde model is met behulp van de verkregen afzetkracht in x-richting (219 N) en de snelheid in gewenste bewegingsrichting (25 km/h) uit de analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Voor het verkrijgen van een beter model dient er rekening gehouden te worden met de baan van de skate en het lichaamszwaartepunt. De afzetkracht dient door het lichaamszwaartepunt te lopen. Omdat de verandering van de positie van het skate contact en het lichaamszwaartepunt constant varieert is dit een belangrijk aspect is voor het verkrijgen van de snelheid. Wanneer hier de posities en standen van het been ook nog in meegenomen worden, zal de kracht-lengterelatie en kracht-snelheidsrelatie een grotere voorspellende waarde hebben voor de prestaties.

- [1] Publow B. Speed on skates: a complete technique, training and racing guide for in-line and ice skaters. Human Kinetics; 1999
- [2] De Boer RW, Vos E, Hutter W, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice, *European Journal of Applied Physiology* 56 (1987) 562-569
- [3] Oonk HN. Biostatica. Den Haag: Henric Graaff van IJssel; 2004
- [4] Claiborne TL, Timmons MK, Pincivero DM. Test-retest reliability of cardinal plane isokinetic hip torque and EMG, *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2008)
- [5] Hoos O, Hottenrott K, Sommer H. Push-off force in in-line speed skating: magnitude, local distribution under the foot and point of application, *Biomechanics and Sports* 1103 (2001)
- [6] Houdijk H, De Koning JJ, De Groot G, Bobbert MF, Van Ingen Schenau GJ. Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates, *Medicine & Science in Sports & Exercise* (1999) 636-641
- [7] De Koning JJ, De Boer RW, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Push-off force in speed skating, *International Journal of Sport Biomechanics* 3 (1987) 103-109
- [8] Cheng EJ, Brown IE, Loeb GE. Virtual muscle: a computational approach to understanding the effects of muscle properties on motor control, *Journal of Neuroscience Methods* (2000) 117-130
- [9] Hoy MG, Zajac FE, Gordon ME. A musculoskeletal model of the human lower extremity: the effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee and ankle, *Journal of Biomechanics* 23 (1990) 157-169
- [10] Bornhorst WJ, Minardi JE. A phenomenological theory of muscular contraction, *Biophysical Journal* 10 (1970) 155-171
- [11] Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscles, *Journal of Physiology* (1966) 184:170-192
- [12] Askew GN, Marsh RL. Optimal shortening velocity (v/v_{max}) of skeletal muscle during cyclical contractions: length-force effects and velocity-force dependent activation and deactivation, *The Journal of Experimental Biology* 201 (1998) 1527-1540
- [13] Thaller S, Wagner H. The relation between Hill's equation and individual muscle properties, *Journal of Theoretical Biology* 231 (2004) 319-332
- [14] Borg F, Herrala M. The force-velocity relation studied with a pneumatic leg-extension/curl device, Jyväskylä University, 2002
- [15] McLean SG, Van den Bogert AJ. Development and validation of a 3-D model to predict knee joint loading during dynamic movement, *Journal of Biomedical Engineering* 125 (2003) 864-874

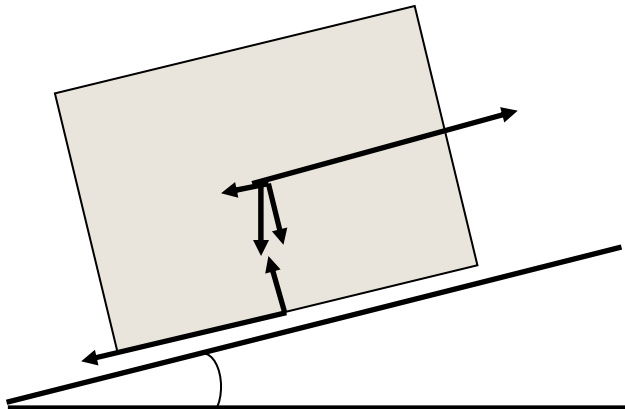
BIJLAGE I: SKEELEREN OP EEN LOPENDE BAND

De pilotmeting is uitgevoerd op een loopband, waar de proefpersoon toch het idee had dat het anders skeeleren is dan tijdens het skeeleren. In dit hoofdstuk zal kort in worden gegaan op het rijden op de lopende band in vergelijking met de weg. Ter vereenvoudiging wordt de skeeleraar opgevat als een blok.



$$F_x = F_{prop} - F_{rol} - F_{luchtw} = 0$$

$$F_y = F_n - F_z = 0$$



$$F_{zl} = \sqrt{F_{zx}^2 + F_{zy}^2}$$

$$F_{xl} = F_{prop} - F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = 0$$

$$F_{yl} = F_n - m * g * \cos(\text{hoek}) = 0$$

Wanneer geldt dat:

$$F_{prop} = -F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = -F_{rol} - F_{luchtw} ,$$

is het rijden tegen een helling op de lopende band mechanisch hetzelfde als rijden op het vlakke waar een luchtweerstand overwonnen dient te worden.

De band heeft echter wel twee variabelen: de snelheid en de hoek zorgen samen voor F_{prop} . Op de weg wordt er een F_{prop} geleverd en daar past de snelheid zich op aan. Lever je minder kracht dan ga je minder hard. Wanneer de lopende band een bepaalde propulsiekracht vraagt maar deze wordt niet geleverd kan dit

resulteren in een verplaatsing op de band, wat de proefpersoon vervolgens weer corrigeert. Het gevolg is dat de proefpersoon telkens zijn eigen propulsiekracht evalueert. In andere woorden bij de lopende band blijven de hoek en snelheid gelijk en dient de persoon zijn F_{prop} er op aan te passen. Hierdoor kan het gebeuren dat de lopende band wordt ingesteld op een hoek die een propulsiekracht vraagt die voor het gevoel van de skeeleraar niet bij de snelheid hoort die de band op dat moment draait. Dit kan onwennig voelen, immers een skeeleraar is er aan gewend dat de snelheid aangepast wordt aan zijn propulsiekracht.

Een ander verschil is dat wanneer de hoek van de lopende band met horizontaal steeds groter wordt, de projectie van het lichaamszwaartepunt meer in de richting van het achterste wiel komt te liggen. Dit geldt alleen wanneer de skater zijn heup-, knie- en enkelhoek niet verandert.

Het lichaamszwaartepunt wordt bij contactfase door ongeveer het midden van de voet geprojecteerd [1]. Bij een voetlengte van 26 cm bij de proefpersoon betekent dus dat een verplaatsing van de projectie van 13 cm een projectie achter het bovenste spronggewricht als gevolg heeft, waardoor de coördinatie van de afzet compleet anders is. Uit de videoanalyse bleek dat het lichaamszwaartepunt zich 1,1 meter boven de grond bevindt.

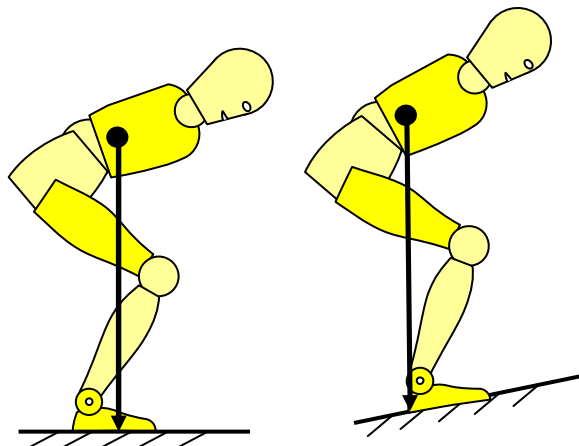
$$projectie = \tan(hoek) * hoogte_{zwp}$$

Dit betekent dat bij een hoek van 6,7 graden de projectie van het lichaamszwaartepunt door de dorsale zijde van de calcaneus gaat.

De hoek van de band is tijdens de videoanalyse ingesteld op 2,5 graden. Dit betekent dat de zwaartepunt projectie 4,8 cm verder naar achter ligt dan bij het skeeleren op de weg. Dit is een aanzienlijke afwijking op de lengte van de voet.

Het bovenste sprong gewricht ligt ongeveer 8 cm naar dorsaal ten opzichte van de projectie van lichaamszwaartepunt op een horizontale ondergrond. Dit betekent dat de momentsarm rond het bovenste spronggewricht in deze situatie 42,5% van normaal is.

Er zal dus zeker een verandering in hoek moeten optreden, dit is zonder problemen te realiseren. Echter, hierdoor veranderen de momentsarmen wel enigszins waardoor de coördinatie een fractie anders is.

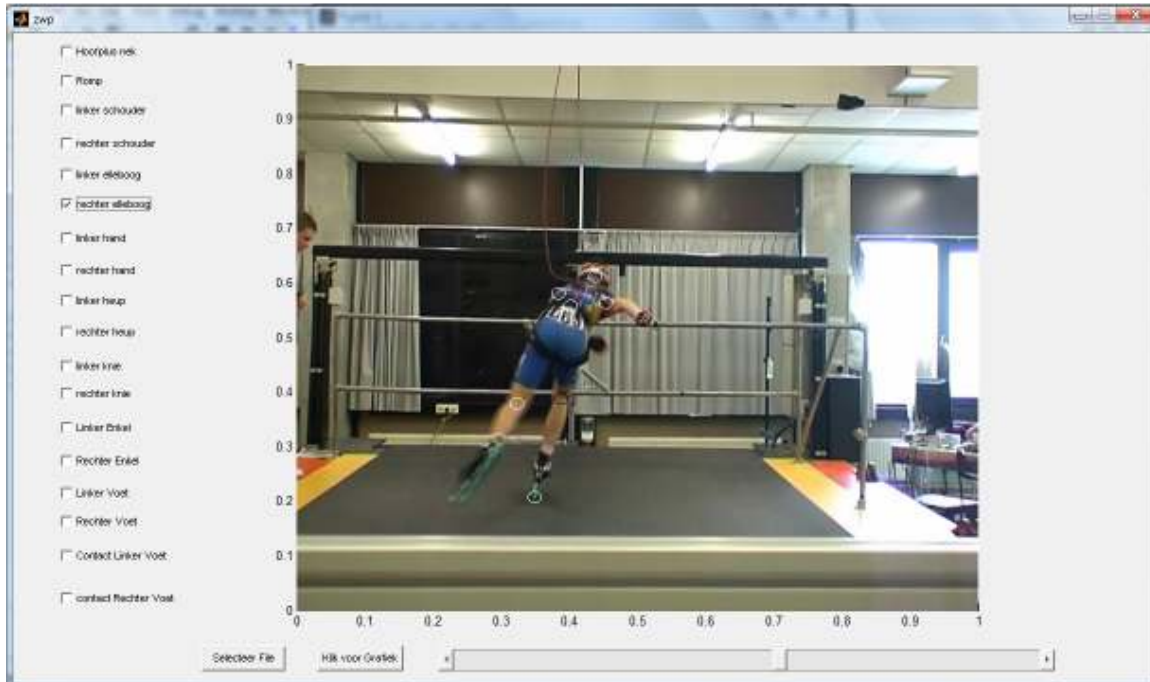


Geconcludeerd kan worden dat de propulsiekrachten en snelheden op de lopende band wel overeen kunnen komen met het skeeleren op de weg. Echter, er wordt wel een andere coördinatie gevraagd en de proefpersoon moet zijn afzetkracht aanpassen op de lopende band en niet andersom.

BIJLAGE II: BESCHRIJVING GUI

Met behulp van Matlab is een programma geschreven, dat de baan van het lichaamszwaartepunt en de voetcontacten op de grond projecteert aan de hand van een video van dorsaal aanzicht van een persoon die zich met een bekende snelheid in voorwaartse richting verplaatst.

Met het programma kan een .avi file ingelezen worden die overeenkomt met de codec op computer. Vervolgens kan naar een vrij te kiezen begin beeld kiezen, door de checkboxen aan te vinken en vervolgens de bijbehorende positie in op het beeld aan te klikken (figuur 53).



Figuur 53. Screenshot GUI

De data wordt weggeschreven naar een bestand en ieder volgend punt dat aangeklikt wordt wanneer de checkbox geselecteerd is wordt in het zelfde bestand onder het vorige coördinaat gezet. Hierdoor ontstaat een matrix van een x- en y-positie van alle punten. Dit geldt voor alle 18 checkboxen.

$$\begin{bmatrix} xcoördinaat & ycoördinaat \\ punt1 & punt1 \\ punt2 & punt2 \end{bmatrix}$$

Door de frequentie van de videobeelden in te voeren is de tijd tussen de beelden te bepalen. Wanneer de snelheid constant en bekend is, is het mogelijk de afstand tussen de punten berekenen.

Voor de bepaling van de kwantitatieve afstand afgelegd in de zijwaartse richting dient een afstand in het beeld bekend te zijn. Met behulp van de volgende vergelijking wordt door middel van ijking de grote van een pixel bepaald.

$$\frac{\text{bekende } s}{\text{aantal pixels}} = \text{factor}$$

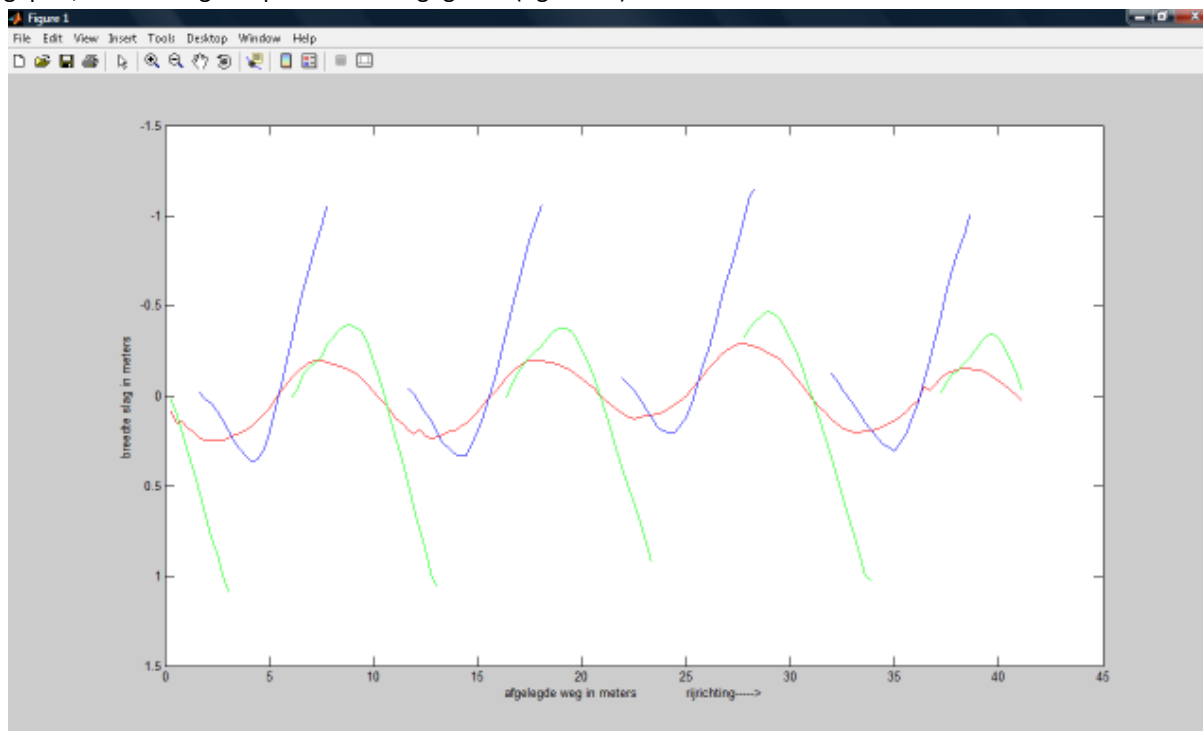
Door de data te vermenigvuldigen met deze factor worden de coördinaten omgezet in meters.

Het lichaamszwaartepunt wordt bepaald met de coördinaten van alle ledematen en de massa's van de ledematen verkregen uit de reader van Bert Broeren: Antropometrie.

$$\frac{\sum massa_{i+n} * coördinaat_{i+n} + \dots}{totale\ massa} = coördinaat\ lichaamszwaartepunt$$

Het programma doet dit voor alle rijen, in de matrix ontstaat een zelfde soort matrix met de posities van het zwaartepunt.

Wanneer de momenten dat de skate contact maakt met de grond wordt ook aangeklikt en naar een matrix geschreven worden. Als de matrices van de contactpunten en het zwaartepunt samen in een grafiek worden geplot, wordt het grondpatroon weer gegeven (figuur 54).



Figuur 54. Grondpatroon lichaamszwaartepunt en contacten skates

Met behulp van deze verkregen data zijn vervolgens meer gegevens te bepalen.

AFSTUDEERSCRIPTIE **SKEELEREN**

NADER ONDERZOECHT:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

Juni 2009

AFSTUDEERSCRIPTIE **SKEELEREN**

NADER ONDERZocht:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

1^e begeleider: T. Gerbrands

2^e begeleider: H. Faber

Juni 2009

VOORWOORD

Dit verslag is geschreven in het kader van het afstudeertraject van de opleiding Bewegingstechnologie.

Het verslag is met name bestemd voor de examencommissie, maar zeer zeker ook voor geïnteresseerden in de skeelersport die meer inzicht willen krijgen in de biomechanische principes bij het skeeleren, en dan met name over de verschillen en overeenkomsten tussen de klassieke techniek en double pushtechniek.

Tot slot willen wij nog enkele personen bedanken voor hun input en steun tijdens het afstudeertraject.

Allereerst gaat onze dank uit naar Tim Gerbrands, die een rustpunt voor ons vormde, waardoor we telkens duidelijk hebben kunnen analyseren waar we stonden en op welke manieren we verder konden gaan met het analyseren en modelleren. Tevens willen we hem bedanken voor de hulp bij de pilotmeting.

Ook gaat onze dank uit naar Herre Faber, die ons inzicht verschaft heeft in de afzetprincipes bij het schaatsen en skeeleren. Ook was zijn hulp bij het gebruik van Matlab als hulpmiddel om de data te analyseren een welkome bijdrage aan het project.

Den Haag, juni 2009

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	6
Symbolenlijst	7
1. Inleiding	8
2. Analyse	9
Ganganalyse	9
Houding	9
Gangcyclus	10
Biomechanische eigenschappen.....	10
Gangpatroon.....	11
Gangpatroon Klassiek	11
Contactfase.....	11
Bipedale rolfase	11
Unipedale rolfase.....	12
Afzetfase	12
Zwaai fase	13
Bijhaalfase	13
Rustfase	13
Plaatsingsfase	14
Gangcyclus	15
Gangpatroon double push.....	16
Contactfase.....	16
Mediale afzetfase	16
Rol-/trekfase	17
Gangcyclus	18
Grondpatronen videoanalyse	19
Positie lichaamsswaartepunt ten opzichte van de contactpunten	20
Klassieke techniek.....	20
Double push.....	22
Abducerende adducerende mogelijkheden tijdens de glijfases.....	23
Vergelijking klassiek en double push	24
Propulsiekrachten.....	26
X-component afzetkracht	28
Vermogen	29
Piekvermogen	30
X-component vermogen	30
Evaluatie en terugkoppeling	31
Afzetkracht	32
Vermogen	34
Theoretisch model.....	35
Wrijvingskrachten.....	39
Spiereigenschappen	41
Factoren voor spierkracht	41
Kracht-lengterelatie.....	42
Kracht-snelheidsrelatie.....	45
3. Pakket van voorwaarden	47
Voorwaarden	47

4.	Modelmatige simulaties	48
	Model 1: Krachtrichting bij versnellen vanuit stilstand	48
	Model 2: Verplaatsing bij versnellen vanuit stilstand	50
	Model 3: Toevoeging van gelijkblijvende snelheidsvector	51
5.	Evaluatie	52
	Toe-off voor afzet	52
	Wrijvingskrachten	52
	Afzetkracht	53
	Resultaat	54
6.	Discussie	55
	Videoanalyse	55
	Model 1	55
	Model 2	56
	Model 3	56
	Theoretisch model	56
7.	Conclusie	57
	Literatuur	58
	Bijlagen	59
	Bijlage I: Skeeleren op een lopende band	59
	Bijlage II: Beschrijving GUI	61

SAMENVATTING

Dit verslag beschrijft een onderzoek naar de verschillen van een steeds meer voorkomende techniek in de skeelersport, de double push. Omdat er weinig wetenschappelijke literatuur geschreven is over de double pushtechniek, wordt de techniek vergeleken met de klassieke skeelertechniek. Voor een beter inzicht in de technieken wordt een modelstudie gedaan naar de mechanische basisprincipes van het skeeleren.

Dit onderzoek heeft als doel het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke techniek en double pushtechniek. Met behulp van Matlab 7.6 zijn drie modellen vervaardigd, de input voor de modellen komt uit de ganganalyse van de double push en klassieke techniek.

Uit de analyse naar de geleverde afzetkrachten en vermogens bij de double push en klassieke techniek bleek dat beide technieken ongeveer eenzelfde vermogen leveren. De double pushtechniek verdeelt de kracht echter over twee opeenvolgende afzetten waardoor de piekbelasting lager is. De klassieke techniek bleek echter een grotere krachtcomponent te hebben die ten goede komt aan de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt. De methodes die zijn toegepast voor het berekenen van de grootte van de krachten en vermogen vragen echter om een validatie.

Om de mogelijke strektijden en afzetkrachten te bepalen voor het model is gekeken naar de spierfysiologie. Aan de hand van kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties zijn functies opgesteld voor de strekkracht.

De modelleringsfase heeft tot verschillende resultaten geleid.

Het eerste model beschrijft de krachtrichting bij het versnellen uit stilstand. Dit model berekent telkens de optimale afzethoek voor het verkrijgen van de meeste voorwaartse snelheid aan de hand van krachtvector analyse verkregen uit de mechanische basisprincipes. Uit het model bleek dat naarmate de snelheid toenam de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. Op een gegeven moment zal de afzetkracht geen snelheid meer toe kunnen voegen omdat de wrijvingskracht niet meer overwonnen kan worden.

Het tweede model beschrijft de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens het versnellen vanuit stilstand. Door de afzetkracht telkens voor een kleine tijdsinterval te bepalen, hier uit blijkt dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. De afwijking hiervan is zo groot dat dit model als incorrect beschouwt kan worden.

In het derde model, is met behulp van de verkregen afzetkracht (219 N) en snelheid (25 km/h) uit de afzetkracht analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Uit het onderzoek is gebleken dat de double push een voordeel heeft ten opzichte van de klassieke techniek. Over de precieze waarden zijn geen uitspraken te doen, hiervoor dient de methode voor het bepalen van de afzetkracht gevalideerd te worden. De modellen beschrijven de basisprincipes van het ontstaan van de baan van het lichaamszwaartepunt. Voor een verbetering van de voorspellende waarde van de modellen dienen de posities van het lichaamszwaartepunt en skatecontact meegenomen te worden.

SYMBOLENLIJST

Symbol	Betekenis	Eenheid
a	Indien gebruikt in de formule voor F_{Hill} : Hill-constante voor de isometrische kracht van een spier	N
	In alle andere gevallen: versnelling	m/s^2
A	Frontaal oppervlak	m^2
b	Hill-constante voor de maximale contractiesnelheid van een spier	m/s
c	Hill-constante voor het maximale vermogen dat door een spier geleverd kan worden	W
c_r	Rolweerstandcoëfficiënt, vormafhankelijk	-
c_w	Weerstandswaarde, vormafhankelijk	$\text{N}\cdot\text{s}^2\cdot\text{m}^{-4}$
dx	Verskil in positie in x-richting	m
dy	Verskil in positie in y-richting	m
F	Kracht	N
F_{Hill}	Kracht, gedefinieerd volgens Hill	N
F_r	Reactiekracht ten gevolge van de afzetkracht	N
F_{res}	Resulterende kracht, kracht die overblijft na optellen van alle heersende krachten	N
F_w	(Totale) Wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{lucht}}$	Lucht wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{rol}}$	Rolwrijvingskracht	N
g	Zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
h	Heupbreedte	m
l	Spierlengte	m
m	Massa	kg
p	Dichtheid van het medium waardoor verplaatst wordt	
P	Vermogen	W
p_{lat}	Coëfficiënt die het percentage van het lichaamsgewicht men gebruikt bij het afzetten	-
r	Momentsarm	m
s	Beenlengte in het bovenaanzicht	m
s_x	Verplaatsing in x-richting	m
s_y	Verplaatsing in y-richting	m
T	Afzettijd, tijd waarin men afzetkracht levert	S
v	Snelheid	m/s
φ	Hoek	°
ω	Hoeksnelheid	°/s

1. INLEIDING

Toen Chad Hedrick in 1992 ten tonele kwam met de double push en veel wedstrijden ging winnen werd de double pushtechniek toegepast over de hele wereld. Tegenwoordig is er bijna geen wedstrijdrijder meer die zonder een vorm van double push rijdt. De double push wordt uitgevoerd in verschillende stijlen en iedereen heeft hier zijn of haar mening over.

Er is geen wetenschappelijke literatuur beschikbaar over waarom de double push nu de voorkeur heeft boven de klassieke techniek.

In dit onderzoek worden daarom bepaalde aspecten van de double push en klassieke techniek behandeld en vergeleken. Met behulp van modelmatige voorstellingen van het afzetmechanisme en ganganalyses zullen deze aspecten geanalyseerd worden.

Skeeleraars en trainers interpreteren de double pushtechniek allemaal anders en de meningen erover verschillen van persoon tot persoon. Er is echter geen duidelijkheid over wat het voordeel van de double push is ten opzichte van de klassieke techniek, en of er überhaupt wel een voordeel is.

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen tussen de klassieke en double pushtechniek.

Hiervoor kunnen de volgende deelvragen gesteld worden:

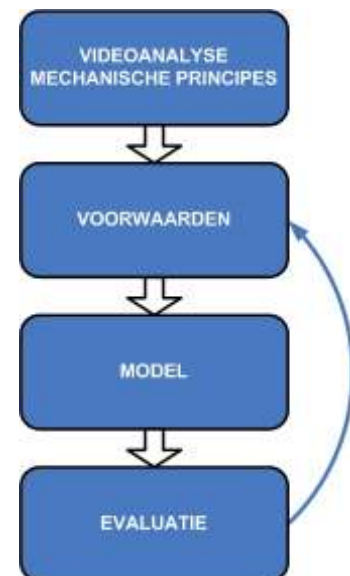
- Hoe ziet het gangpatroon eruit?
- Welke techniek heeft de voorkeur?
- Welke variabelen spelen een rol bij het uitvoeren van de beweging?
- Hoe wordt de voorwaartse snelheid gegenereerd?

In de analysefase zal allereerst in worden gegaan op enkele biomechanische principes die van toepassing zijn op de twee skeelertechnieken. Aan de hand van een videoanalyse zullen zowel de klassieke techniek als de double pushtechniek met elkaar vergeleken worden om vervolgens aan de hand van de verkregen data een uitspraak te doen over welke techniek kan leiden tot een verbetering van de prestatie. Ook zal gekeken worden naar enkele spierfysiologische aspecten. Met de verkregen gegevens zullen voorwaarden gesteld worden waar het model moet voldoen.

In de modelleringsfase wordt aan de hand van de gestelde voorwaarde enkele modellen vervaardigd die een voorspelling doen over hoe het grondpatroon er uit komt te zien bij een verandering van variabelen.

De modellen die vervaardigd zijn zullen aan de hand van het gangpatroon in de analyse worden getest.

Terugkoppeling naar de in de analyse opgedane kennis en de daaruit komende voorwaarden zal plaatsvinden tijdens de evaluatiefase.



2. ANALYSE

In deze analyse zal de praktische analyse naar het verschil in klassieke techniek en double pushtechniek bij het skeeleren besproken worden. Tevens zal het theoretische model besproken worden, dit model is in een latere fase gebruikt bij het simuleren van het afzetten bij skeeleren.

GANGANALYSE

Om duidelijkheid te scheppen over wat er in welke fases gebeurt zal in dit hoofdstuk het algemene gangpatroon van de klassieke en de double push worden beschreven.

HOUDING

De basishouding voor de klassieke techniek is samen te vatten in vijf punten [1], zie ook figuur 1:

- Voeten op schouderbreedte
- Voeten zo veel mogelijk naar voren gericht
- Kniehoek van ongeveer 100 graden
- Romphoek ten opzichte van horizontaal 30 tot 45 graden met licht gebolde wervelkolom
- Projectie van het lichaamszwaartepunt ligt ongeveer $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{2}$ voetlengte voor de dorsale zijde van de calcaneus

Voor de double pushtechniek gelden in principe dezelfde richtlijnen, alleen de kniehoek zal bij double push groter zijn (kniehoek van ongeveer 110 graden).



shouding [1]

GANGCYCLUS

Het skeeleren met de klassieke techniek heeft veel weg van de schaatstechniek zowel biomechanisch als fysiologisch [2].

Voor een beter beeld van de gangcyclus dienen eerst een paar biomechanische eigenschappen van het skaten begrepen te worden.

Biomechanische eigenschappen

De volgende tekst is verleend aan H.N. Oonk [3].

Bij skeeleren wordt niet afgezet tegen een stilstaande ondergrond. De skeeler rolt mee in de bewegingsrichting van de skeeleraar. Toch moet met de skeeler, die een minimale glijdende wrijving heeft, worden afgezet. De skeeler moet dus vooruit rollen terwijl tegelijkertijd een kracht op de skeeleraar moet werken die een component heeft in de rijrichting. Dit bereikt de skeeleraar door zijn afzetkracht haaks op de bewegingsrichting van de skeeler te richten. Deze kracht zal ongeveer door het lichaamszwaartepunt moeten gaan omdat er anders te veel compensatoire bewegingen van lichaamsdelen moeten optreden om toch in evenwicht te kunnen blijven. Waar de luchtweerstand en de rolweerstand overwonnen moeten worden en elke afzet wordt versneld, moet de propulsiekracht een component hebben in de rijrichting. De afzet moet dus zodanig gericht zijn dat de skeeler doorgaat met rollen terwijl er een voorwaartse component op de afzetskeeler werkt. Vandaar dat tijdens het afzetten de skeeler een hoek moet maken met de rijrichting, omdat er anders geen krachtcomponent in de rijrichting aanwezig is. Dit principe geeft de mogelijkheid dat met skeeleren een hogere snelheid bereikt kan worden dan bijvoorbeeld met hardlopen. Bij hardlopen loopt het afzetpunt niet mee met het zwaartepunt en zal de snelheid voorwaarts nooit groter worden dan de snelheid waarmee het art. coxae geretroflecteerd kan worden. Door het meelopen van de afzetskeeler hoeft er telkens maar een kleine component in voorwaartse richting geleverd te worden om op snelheid te blijven. Om het meelopen van de afzetskeeler en de toegevoegd voorwaartse component te realiseren, dient er ook een component in zijwaartse richting te zijn. De sinusvormige baan die het zwaartepunt daardoor beschrijft is typerend voor het skaten. De hoek waar onder afgezet dient te worden is afhankelijk van de snelheid, dit principe wordt verder beschreven bij het theoretische model (vanaf pagina 35).

Voorwaarden:

- De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht
- De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt
- De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting

GANGPATROON

Tijdens het skeeleren bevinden de voeten zich afwisselend op de ondergrond (contactfase) en los van de ondergrond (zwaafase). De fases zijn elk weer onder te verdelen in verschillende kortere fases. Er is een complete afzetcyclus is beschreven vanaf het moment dat skatecontact plaats vindt van het rechterbeen.

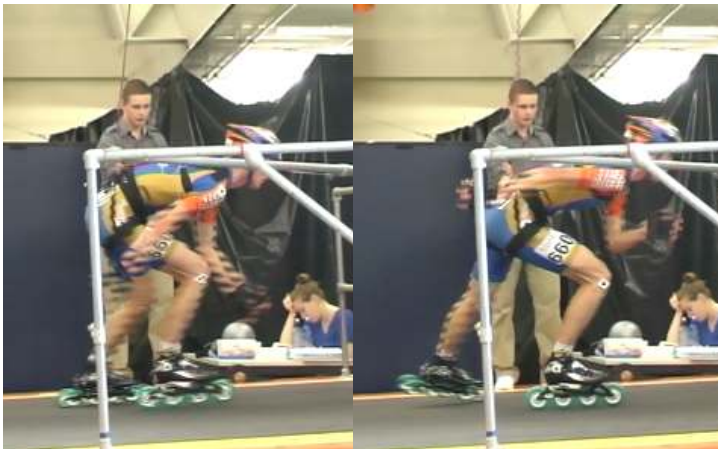
Gangpatroon Klassiek

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is onder te verdelen in drie verschillende fases.

Bipedale rolfase

Deze fase (figuur 2) is gedefinieerd als het moment dat de rechter skate wordt neergezet en met alle vier of vijf wielen (afhankelijk van het type skeeler) de grond raakt (skatecontact) tot het moment van toe-off van het linkerbeen. In sommige gevallen treedt er eerst een hielcontact op, dit is niet altijd het geval. Daarom wordt volledig contact beschouwd als het eerste contact. Tijdens deze fase vindt voornamelijk een abductie en retroflexie in het art. coxae plaats en een extensie in het art. genus en bovenste spronggewricht plaats. In deze fase wordt het zwaartepunt boven het nieuwe standbeen geplaatst.



Figuur 2. Bipedale rolfase

Links: skatecontact rechts

Rechts: toe-off links

Unipedale rolfase

De unipedale fase (figuur 3) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het linker afzetbeen tot het moment dat het contactpunt van het rechterbeen lateraal van het zwaartepunt komt te liggen. Tijdens deze fase vindt er voornamelijk een lichte abductie plaats in het art. coxae.



Figuur 3. Sagittaal en dorsaal aanzicht unipedale rolfase

Afzetfase

De afzetfase (figuur 4) begint bij het eindigen van de unipedale rolfase van het rechterbeen en eindigt bij toe-off van het rechter afzetbeen. Gedurende deze fase vindt er ten opzichte van de romp voornamelijk een retroflexie, abductie plaats in het art. coxae plus een extensie in het art. genus en een plantairflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 4. Dorsaal en sagittaal aanzicht afzetfase

Zwaafase

De zwaafase is de fase dat het been geen contact maakt met de ondergrond, deze fase is onder te verdelen in drie fases.

Bijhaalfase

De bijhaalfase (figuur 5) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechterbeen tot rustmoment van het rechterbeen (het moment dat het been stil hangt ten opzichte van de romp). Tijdens deze fase vindt voornamelijk een adductie en anteflexie plaats in het art. coxae en een flexie in het art. genus en een dorsaalflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 5. Bijhaalfase

Links: toe-off rechts

Rechts: rustmoment rechts

Rustfase

De rustfase (figuur 6) is gedefinieerd als het einde van de bijhaalfase tot het moment dat door de anteflexie in het art. coxae de rechter knie dorsaal en mediaal van de linkerart. genus komt. De rustfase is niet altijd aanwezig. Dit is afhankelijk van het slagritme, hoe hoger het ritme des te korter de rustfase. De rustfase kenmerkt zich door een afhangend been ten opzichte van het art. coxae en een flexie in het art. genus. Gedurende deze fase vindt er geen verplaatsing van plaats van het rechterbeen ten opzichte van de romp.



Figuur 6. Dorsaal en sagittaal aanzicht rustfase

Plaatsingsfase

De plaatsingsfase (figuur 7) is gedefinieerd als het einde van de rustfase tot skatecontact. Tijdens deze fase wordt het been voornamelijk met behulp van een anteflexie in het art. coxae naar ventraal gebracht tevens vindt er een flexie plaats in het art. genus.



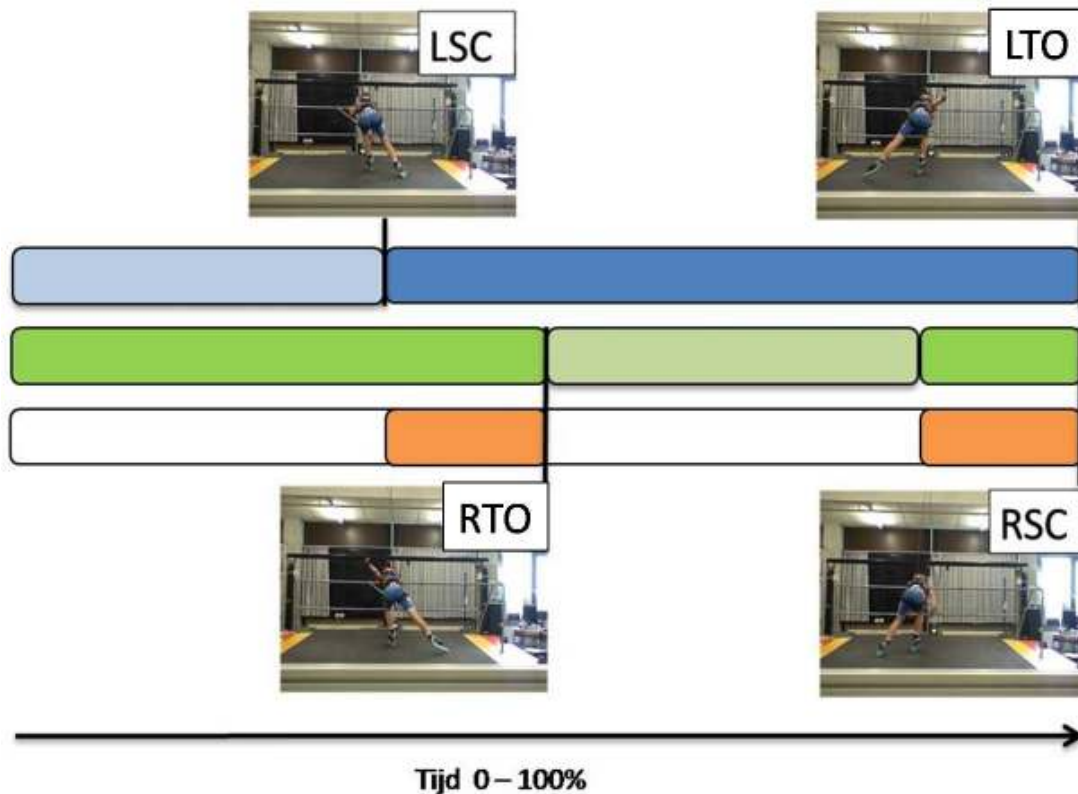
Figuur 7. Bijhaalfase

Links: rustfase rechts

Rechts: skatecontact rechts

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden. Het dient opgemerkt te worden dat het skeeleren op een lopende band voor de proefpersoon niet geheel te vergelijken is met skeeleren op asfalt. Dit heeft vermoedelijk te maken met de positie van het lichaamszwaartepunt ten opzichte van het steunvlak en het moeten aanpassen van de afzetkracht aan de snelheid en hellingshoek, in plaats van dat de snelheid zich aanpast aan de afzetkracht. Het gevolg hiervan zullen kleine verschillen zijn in afzettijden en rustfases [zie bijlage I].



	Grondcontact linker skate	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate	LTO	Linker toe-off
	Bipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Unipedale fase	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase links		
	Zwaai fase rechts		

Figuur 8. Gangcyclus klassiek techniek

Gangpatroon double push

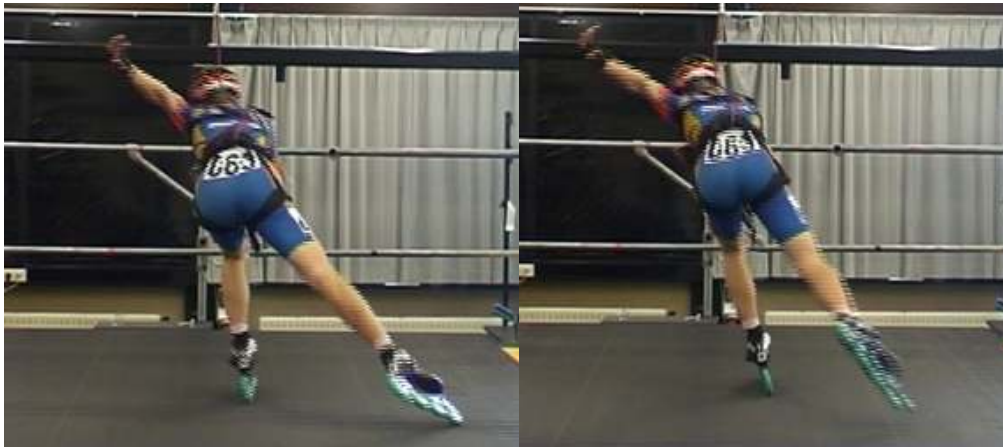
De gangcyclus van de double push heeft veel weg van de klassieke techniek, op een paar essentiële verschillen na. Bij de beschrijving van de gangcyclus zal daarom ingehaakt worden op het beschreven gangpatroon van de klassieke techniek.

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is bij de double push onder te verdelen in vier verschillende fases.

Mediale afzetfase

De mediale afzet (figuur 9) volgt de bipedale rolfase op. De mediale afzetfase is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechter afzetbeen tot het moment dat er een richtingsverandering van mediaal naar lateraal plaatsvindt van het linker afzetbeen (mediale eindstand). Gedurende deze fase vindt er voornamelijk adductie in het art. coxae plaats en een overhelling van de romp naar de laterale zijde van het mediale afzetbeen. Ook is er een lichte extensie in het linker art. genus.



Figuur 9. Mediale afzetfase

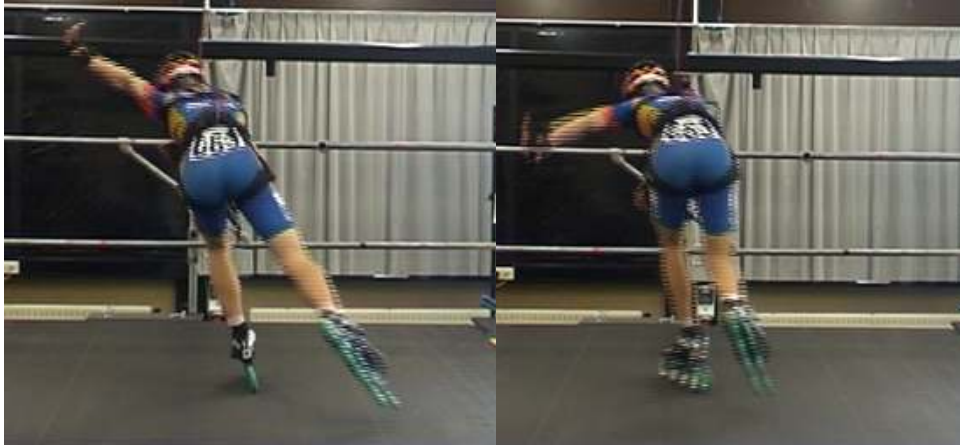
Links: toe-off rechter afzetbeen

Rechts: Verplaatsing linkerbeen naar mediaal

Rol-/trekfase

De rolfase (figuur 10) is gedefinieerd als het moment van mediale eindstand tot het moment dat het contactpunt van het linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt komt te liggen.

De rolfase bij de double push is te zien als een herstelfase waarin het linker afzetbeen weer het standbeen wordt zonder contact met de grond te verliezen. De rolfase wordt weer opgevolgd door de laterale afzetfase.



Figuur 10. Rol-/trekfase

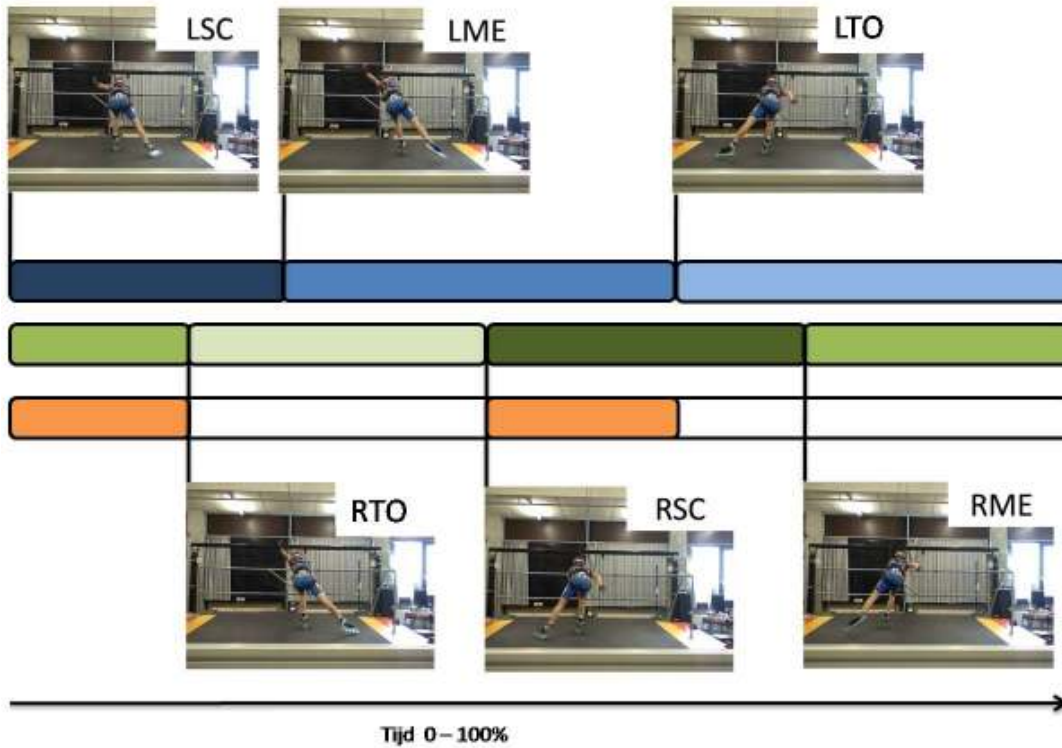
Links: mediale eindstand linkerbeen

Rechts: contactpunt linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt

De glij-/trekfase en de mediale afzetfase zijn de enige verschillen van het gangpatroon van de double push ten opzichte van het klassieke gangpatroon.

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden.



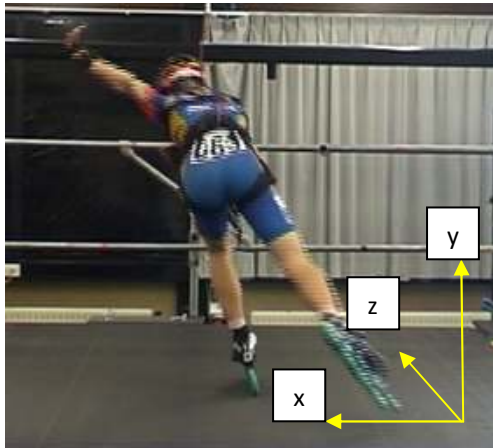
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in laterale richting	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in laterale richting	LME	Linker mediale eindstand
	Bipedale fase	LTO	Linker toe-off
	Unipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Zwaai fase links	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase rechts	RME	Rechter mediale eindstand
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in mediale richting		
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in mediale richting		

Figuur 11. Gangcyclus double push

GRONDPATRONEN VIDEOANALYSE

Voor het verkrijgen van de gegevens van de afzetlengtes (afstand die de skate aflegt) en -tijden om in latere fase het model te testen, is een pilotmeting gedaan. Een landelijk B-rijder die tot in zekere mate de double push beheerst is getest.

De meting is uitgevoerd op de lopende band van de Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit Bewegingswetenschappen. Een camera is dorsaal van de proefpersoon geplaatst, de andere sagittaal. De data uit de videoanalyse is verwerkt met behulp van een GUI (Graphical User Interface) in Matlab. Een beschrijving van deze verwerking vindt u in bijlage II.



Figuur 12. Assenstelsel zoals gebruikt in de GUI

In deze GUI is het mogelijk alle gewrichten en de contactpunten van de skeelers aan te klikken. Vervolgens berekent de GUI de positie van het lichaamszwaartepunt op de x-as. Omdat de snelheid van de loopband bekend is, is het mogelijk de aangeklikte punten weg te zetten over een afstand in de z-as. Deze waarden worden weggeschreven in de volgende matrix (figuur 13):

Y beeld 3	X beeld 3
Y beeld 2	X beeld 2
Y beeld 1	X beeld 1

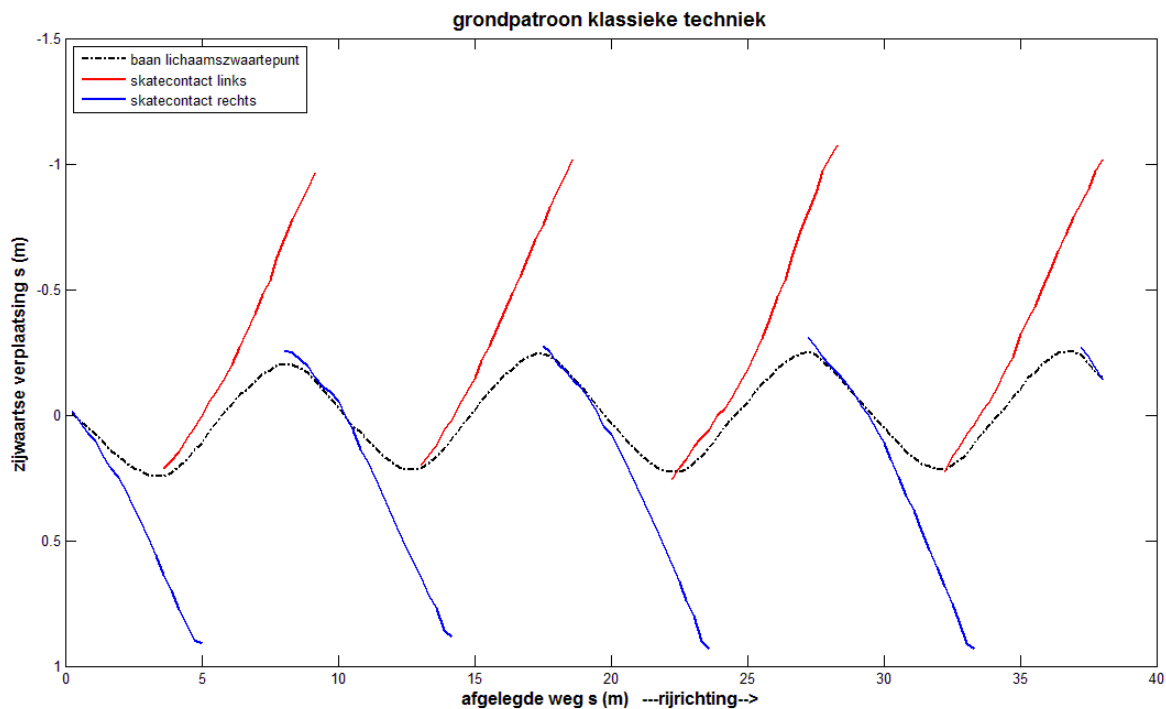
Figuur 13. Matrix voor wegschrijven data

Door de z-richting tegenover de x-richting te plotten ontstaat er een projectie van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten op de grond. De sinusvormige curve die het lichaamszwaartepunt beschrijft is geplaatst op een centerline op de x-as bij 0 met behulp van een correctiefactor (gemiddelde waarde van x). Dit betekent dat aan één kant de verplaatsing negatief is en aan de andere zijde positief. Met behulp van dit grondpatroon zijn een aantal gegevens bepaald:

- Positie lichaamszwaartepunt ten opzichte van de contactpunten
- Afzetlengtes en -tijden
- Snelheden en versnellingen van het lichaamszwaartepunt en contactpunten gedurende de cyclus
- Slagfrequentie

POSITIE LICHAAMSZWAARTEPUNT TEN OPZICHTE VAN DE CONTACTPUNTEN

Klassieke techniek



Figuur 14. Grondpatroon klassieke techniek

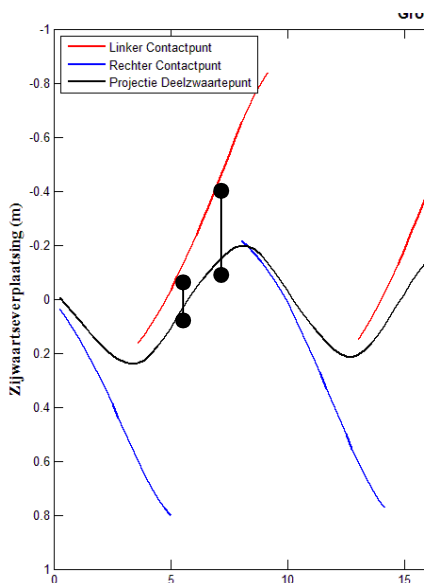
Rood: contacten linker skate

Zwart: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

In figuur 14 en 15 is de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en het skatecontact, geprojecteerd op de ondergrond, weergegeven. In het patroon is te zien dat het skatecontact altijd plaats vindt in de buurt van het zwaartepunt.

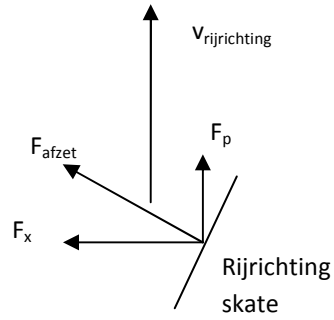


Figuur 15. Zijwaartse verplaatsing skate bij klassieke techniek

Zwarte lijn tussen bollen: afstand tussen skate en projectie lichaamszwaartepunt

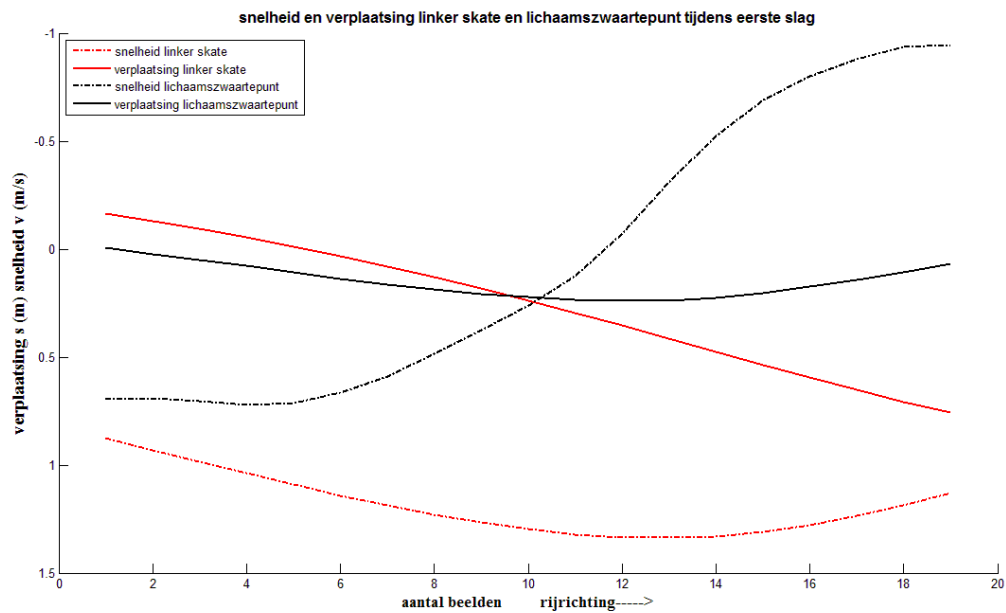
Een andere opmerkelijke constatering is dat de zijwaartse verplaatsing van de skate vrijwel na skatecontact groter is dan die van het lichaamszwaartepunt. Naarmate de voorwaartse verplaatsing toeneemt wordt het verschil in verplaatsing in zijwaartse richting steeds groter ten opzichte van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt, waarvoor de volgende verklaring is:

Met een extensie in het art. coxae en art. genus is het mogelijk om het lichaamszwaartepunt te verplaatsen ten opzichte van het contactpunt. Dit aspect kan alleen maar plaatsvinden na het moment van toe-off. Voor die afzet is het noodzakelijk dat de skate onder een hoek staat ten opzichte van de rijrichting (zie pagina 35 en 36). Hierdoor behoudt de skate zijn rijrichting en verandert de richting van het lichaamszwaartepunt.



Figuur 16. Richting afzetkracht
Rechts: assenstelsel

De verandering van verplaatsingssnelheid van het lichaamszwaartepunt vindt pas plaats op het moment dat de toe-off nadert (figuur 17).



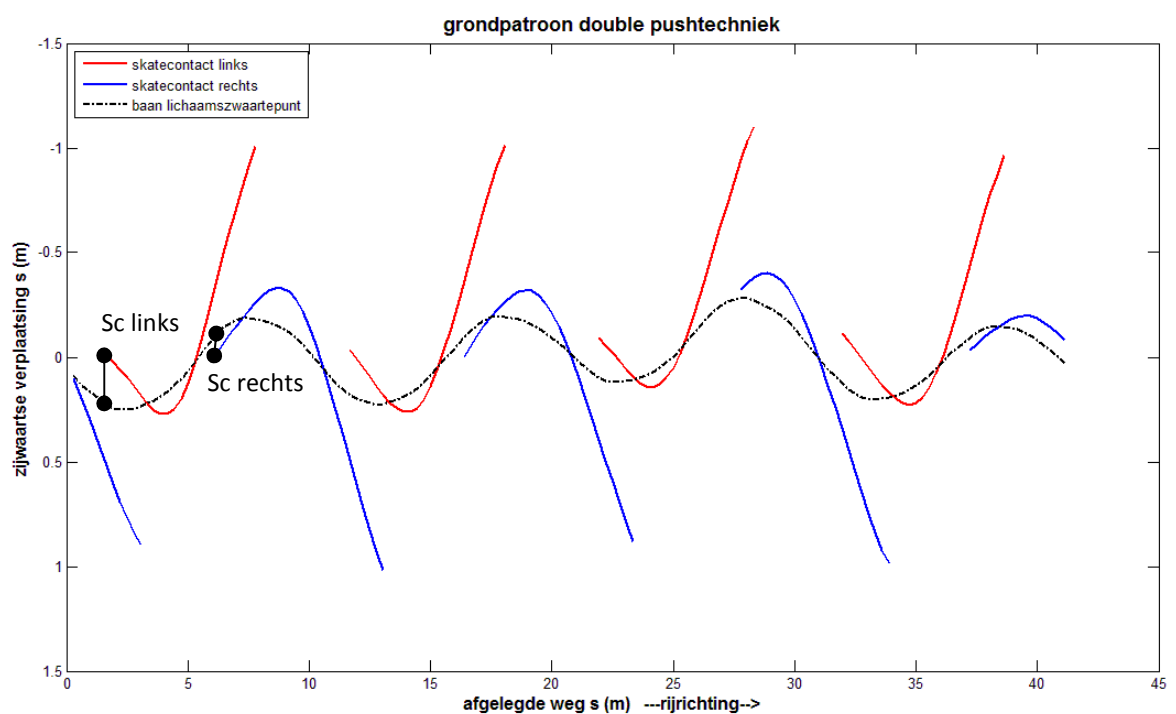
Figuur 17. Snelheid en verplaatsing linker skate en lichaamszwaartepunt
Rood, streep en punt: snelheid linker skate
Rood: verplaatsing linker skate
Zwart, streep en punt: snelheid lichaamszwaartepunt
Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

In de hiervoor behandelde aspecten is alleen uitgegaan van de extensiemogelijkheden in de heup en knie, en is er geen rekening gehouden met de abducerende kracht van de m. gluteus medius. Op pagina 23 en 24 zal hier verder op in worden gegaan.

Voorwaarde:

- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt.
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven.

Double push



Figuur 18. Grondpatroon double pushtechniek

Rood: contacten linker skate

Zwart, streep en punt: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

Het gangpatroon van de double push van deze proefpersoon is niet helemaal symmetrisch. Het linker skatecontact (zie Sc links in figuur 18) vindt verder van het zwaartepunt plaats dan het rechter (Sc rechts in figuur 18). Het gevolg is dat bij het rechterbeen de mediale afzetfase plaatsvindt op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt maximaal is. Bij het linkerbeen vindt de mediale afzetfase pas begint op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt weer afneemt. Dit geldt voor de gehele cyclus. Het linker standbeen legt in totaal dus meer afstand af in de bipedale rolfase.

Naar aanleiding van deze waarneming is tijdens een clinic een gesprek geweest met Scott Arlidge (drievoudig wereldkampioen skeelers). Aan de hand van dit gesprek worden hieronder de beweringen van Scott Arlidge op een rij gezet.

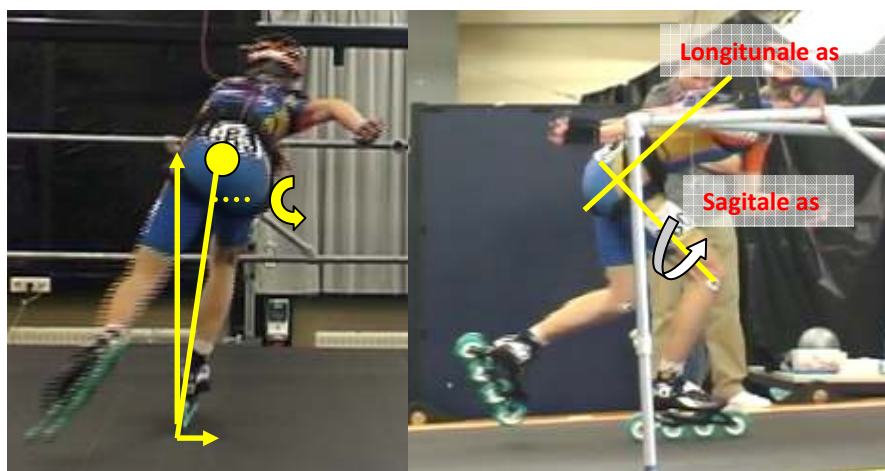
Hij beweert dat sterke skeelers eerder kiezen voor een plaatsing van skatecontact meer lateraal van het lichaamszwaartepunt, om de benen iets meer rust te geven door een glijfase in te voegen, maar vervolgens wel een grotere mediale uitslag te maken. Mensen met minder kracht zoals hij kiezen voor een plaatsing rond het zwaartepunt maar ook voor een constante afzet en druk op de skeelers. Dus eigenlijk kiezen deze mensen voor een hoge frequentie in plaats van lengte in de slagen. Een nadeel wordt ondervonden bij lange rechte stukken bij hoge snelheden, want het vermogen per afzet is minder. Wil je met een klein vermogen per afzet meer vermogen gaan leveren dan dien je de frequentie nog meer te verhogen of de slag te verlengen. Mensen met een lange slag kunnen met een kleinere frequentieverhoging procentueel meer vermogen leveren en zijn dus in het voordeel bij hogere snelheden. Bij veel versnellingen en vertragingen is het omgekeerde het geval. Het is te vergelijken met een lichter verzet tijdens het fietsen.

ABDUCERENDE ADDUCERENDE MOGELIJKHEDEN TIJDENS DE GLIJFASES

In voorgaande paragrafen werd de abductie en adductie niet meegenomen in de afzetmogelijkheden. In deze paragraaf zal bekeken worden wat voor een bijdrage de abductie eventueel kan leveren.

Wanneer vanuit de anatomische houding er abductie in de heup plaatsvindt, dan gebeurt dit om de sagittale as in het frontale vlak. Het abducerende moment (109 N/m) dat de gluteusspieren en de m. tensor fasciae latae isokinetisch kunnen leveren verschilt dan niet zoveel ten opzichte van de extenderende moment (120 N/m) van de heup [4]. In dit geval zal er geen twijfel over bestaan dat een abductie wel degelijk positief bij kan dragen aan het leveren van een kracht voor de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Echter, de positie waarin het abducerend moment het belangrijkst is, is het moment waar het contactpunt in de buurt van het zwaartepunt ligt. In het sagittale vlak is op dat moment sprake van een flinke anteflexie ten opzichte van de anatomische stand.



Figuur 19. Adductiemogelijkheid in het heupgewricht

Links: dorsaal aanzicht, rechterbeen is licht geadduceerd

Rechts: assenstelsel voor bewegingsmogelijkheden in het heupgewricht

Wil de skater op dit moment de skate naar lateraal duwen, dan zou dit moeten gebeuren met een combinatie van exorotatie en extensie in het heupgewricht. Het exoroterende moment is veel kleiner dan het extenderende moment (concentrisch isometrische kracht), 53 N/m tegenover 130 N/m gemiddeld [4].

Geconcludeerd kan worden dat de mogelijke bijdrage van ab- en adductie te betwifelen is. Om de werkelijke bijdrage verder te onderzoeken zou een systeem dat het moment en de kracht op de skate meet volstaan, een EMG-meting tijdens het skeeleren zou ook een weergave geven van de spieractiviteit.

Voorwaarde:

- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekketen van het art. coxae en art. genus

VERGELIJKING KLASSIEK EN DOUBLE PUSH

In voorgaande paragrafen zijn de klassieke techniek en double pushtechniek onafhankelijk van elkaar behandeld. In deze paragraaf zal gekeken worden welke techniek de voorkeur heeft. Alle uitspraken die worden gedaan in de komende paragrafen zijn uitspraken van waarden in het frontale vlak.

Bij skeeleren gaat het er om je lichaam over een bepaalde afstand te verplaatsen in een zo kort mogelijke tijd. Er zijn vier gegevens die er wat over zeggen:

$$v = \frac{s}{t}$$
$$F = m \cdot a$$

$$W = F \cdot s$$

$$P = F \cdot v$$

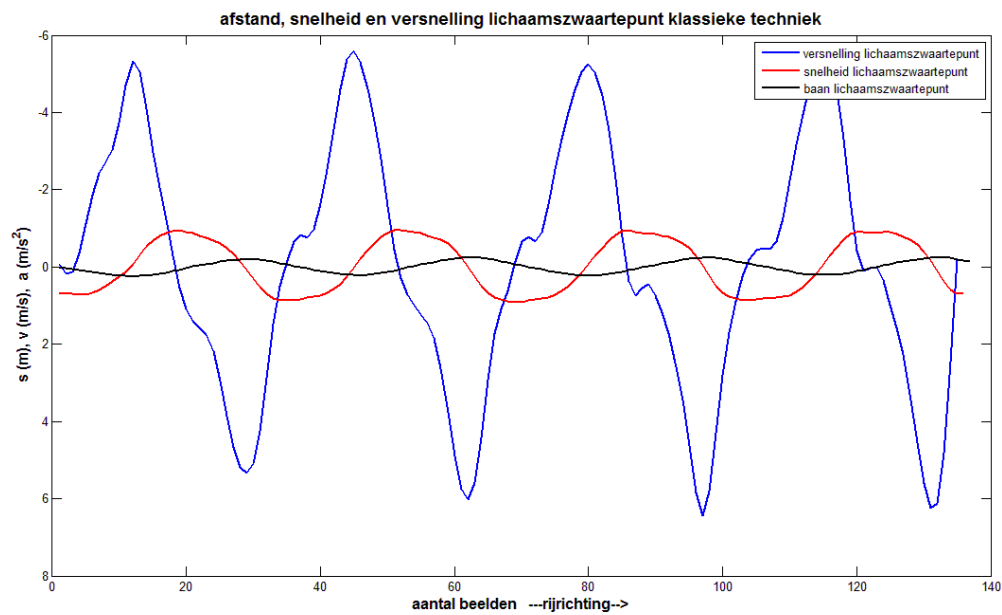
De vergelijking tussen de twee technieken zal gedaan worden aan de hand van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de tijd waarin deze verplaatsing tot stand komt. Er is gekozen voor deze zijwaartse snelheid omdat de voorwaartse snelheid constant is (bij zowel double push als klassieke techniek). Indirect betekent dit dat hoe groter de zijwaartse snelheid is, hoe ongunstiger afgezet wordt, omdat er mogelijk meer vermogen in voorwaartse richting geleverd had kunnen worden.

De pilotmeting levert data op in de vorm van afstand en tijd van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten, ook de voorwaartse snelheid is bekend. Dit geeft de mogelijkheid de snelheid en versnelling van het lichaamszwaartepunt in zijwaartse richting te bepalen door het differentiëren van de afstand naar de snelheid en versnelling.

$$v = \dot{s} = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \dot{v} = \frac{dv}{dt}$$

Wanneer deze differentiaties weergegeven worden in grafieken vormt zich het onderstaande beeld (figuren 20 en 21):

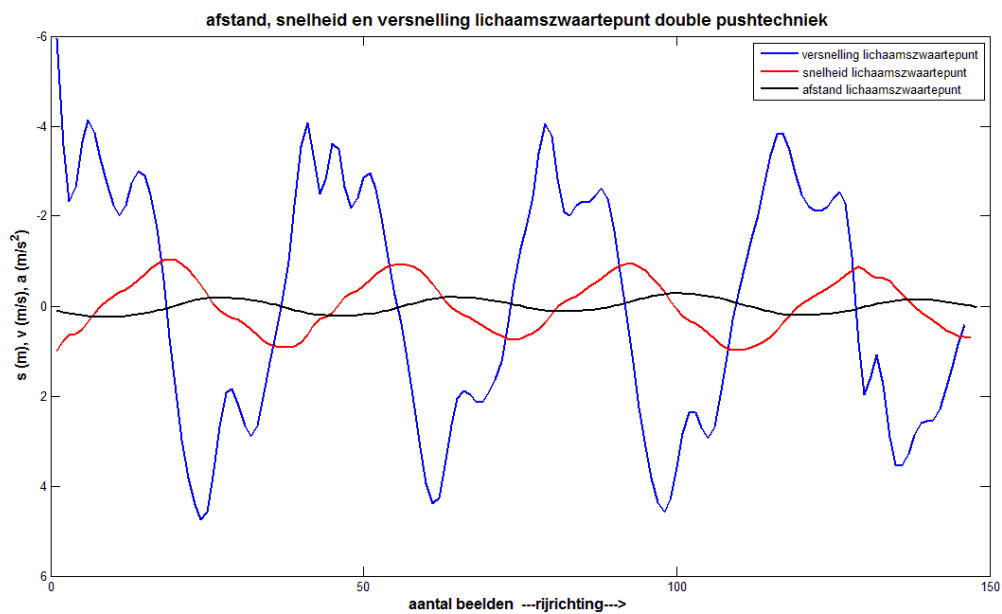


Figuur 20. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij klassieke techniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt



Figuur 21. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij double pushtechniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

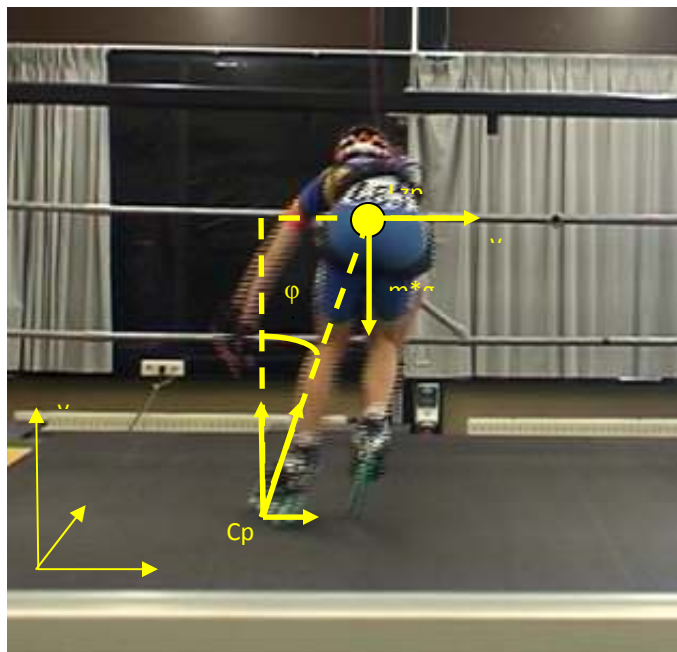
Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt

Wat gelijk opvalt is dat de double push een lagere piekversnelling heeft in vergelijking met de klassieke techniek, maar dat deze enigszins fluctueert. Er is dus een effect waar te nemen ten gevolge van de double push. In de volgende paragrafen zal gekeken worden hoe groot dit effect is en of het een nadeel of voordeel oplevert.

Propulsiekrachten

Voor het bepalen van de bijdrage van de mediale afzet op de voorwaartse snelheid dienen de vectoren van de afzetkrachten bekend te zijn.

De videobeelden lenen zich voor het bepalen van deze afzetkracht wanneer we de beweging beschrijven ten opzichte van een met de skeeler meebewegend assenstelsel (figuur 22). Ten opzichte van dit van dit assenstelsel is de afzet vergelijkbaar met een sprong in zijwaartse richting. Waarbij het lichaamszwaartepunt in x en y-richting wordt versneld. Wanneer er aangenomen wordt dat het zwaartepunt op een constante hoogte boven de grond blijft en de skeeleraar als een puntmassa wordt opgevat, is het mogelijk de afzetkracht te bepalen als functie van de hoek die het lichaamszwaartepunt maakt met verticaal (figuur 22).



Figuur 22. Bepaling propulsiekrachten

$$F_z = m \cdot g$$

$$F_a = \frac{F_z}{\cos(\varphi)}$$

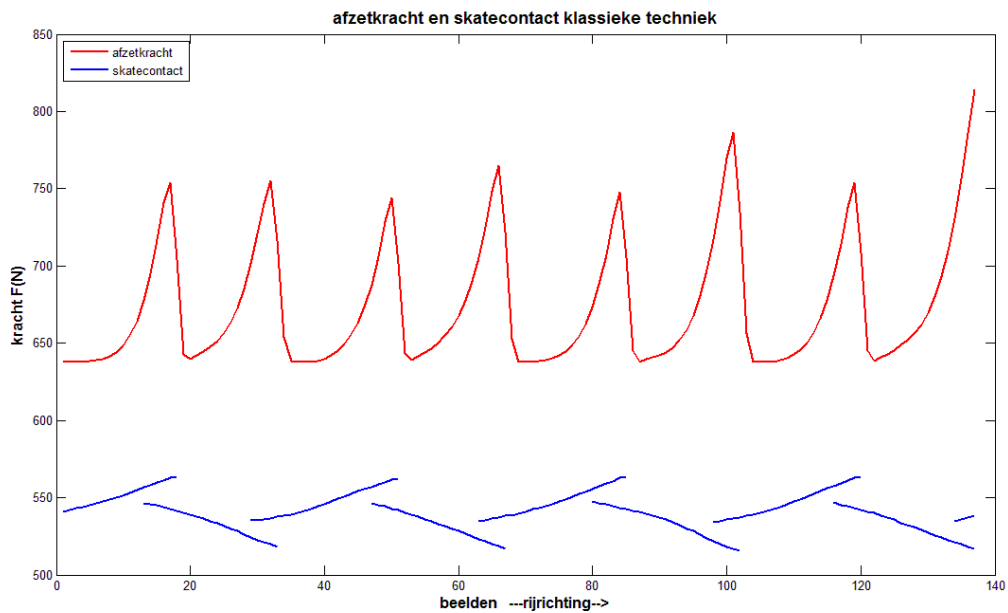
$$\varphi = \arctan\left(\frac{s_y}{s_x}\right)$$

$$s_y = LZP_y - C_{p,y}$$

$$s_x = LZP_x - C_{p,x}$$

Voor het bepalen van de afzetkracht is gebruik gemaakt van de dataset die verkregen is bij de projectie van het lichaamszwaartepunt op de ondergrond. Bij de benadering van de afzetkracht is het contactpunt van de rechter skeeler gedefinieerd als toe-off linkerbeen tot toe-off rechterbeen, en omgekeerd voor de linker skeeler. In de figuren 23 en 24 is het verloop van de afzetkracht te zien. Ter illustratie zijn onder het verloop

van de afzetkracht de afzetten van de linker en rechter skeeler geplot, deze houden geen verband met de verticale as, maar dienen slechts als illustratie hoe het krachtsverloop bij de afzet is.

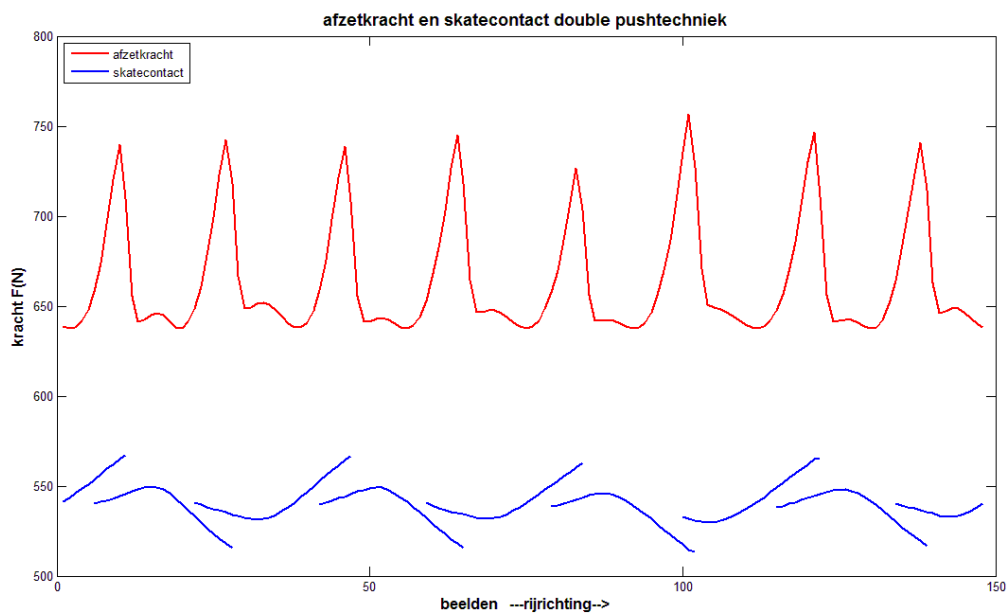


Figuur 23. Afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

Gemiddelde kracht: 674 N



Figuur 24. Afzetkracht bij de double pushtechniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

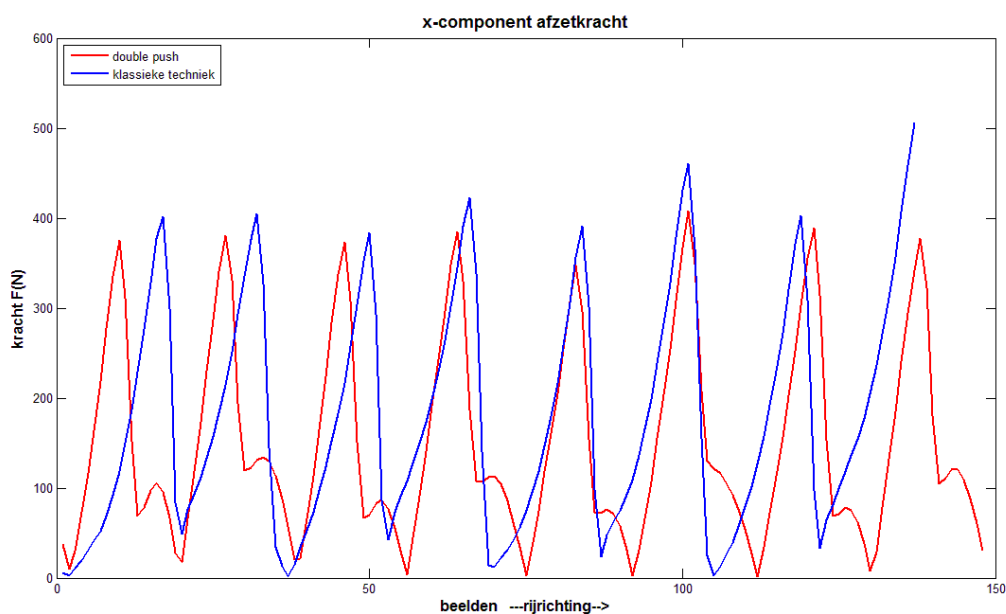
Gemiddelde kracht: 664 N

Uit onderzoek naar afzetkrachten tijdens het skeeleren[5] blijkt dat afzetkrachten van 120-150% van het lichaamsgewicht maal de zwaartekrachtversnelling plaats vinden, uitgaande van een fase van toe-off tot toe-off van het andere been. Dit lijkt dus een goede manier om de afzetkrachten tijdens het skeeleren te benaderen. Als we kijken naar de data, dan valt het op dat de verschillen tussen de geleverde piek- en gemiddelde krachten minimaal is. Wel kan er geconstateerd worden dat bij de double push zowel de piek- als bij de gemiddelde kracht lagere waarden heeft.

X-component afzetkracht

Om te kijken hoe groot de kracht is die bijdraagt aan het versnellen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting is gebruik gemaakt van de stelling van pythagoras:

$$F_x = \sqrt{F_{afzet}^2 - F_z^2}$$



Figuur 25. F_x bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double pushtechniek

Blauw: klassieke techniek

Gemiddelde double push: 151 N

Gemiddelde klassiek: 180 N

Wanneer we kijken naar de x-component van de afzetkracht blijkt dat er bij de klassieke techniek gemiddeld 4% meer kracht van de totale afzet gestopt wordt in het verplaatsen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting dan bij de double push. Dit betekent dat de hoek ϕ met verticaal bij de klassieke techniek groter is. Dit was van te voren te verwachten, aangezien het lichaamsswaartepunt bij de klassieke techniek 10 cm lager ligt dan bij de double push. Een andere verklaring is dat de toe-off verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt. Uit de data blijkt dat bij de klassieke techniek vergeleken met de double push de toe-off maximaal 15 cm verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt.

Hieruit is op te maken dat de afstand van het art. coxae tot de voet bij toe-off bij beide technieken ongeveer even groot moet zijn. Het is dus aannemelijk dat bij beide technieken ongeveer dezelfde hoeken in knie- en heupgewricht te zien zijn. Beelden van de video ondersteunen dit, bij beide toe-offs was de kniehoek ongeveer 160 graden. Dit gegeven wordt ondersteund door Houdijk et al [6].

Een ander gegeven dat opvalt is de mediale afzet van de double push waar we zien dat er piekkrachten van ongeveer 650 N zijn. De bijdrage aan de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in x-richting ligt ongeveer tussen de 70 en 100 Newton.

Geconcludeerd kan worden dat de piekkrachten bij de klassieke techniek hoger zijn dan die bij de double pushtechniek. De klassieke techniek richt de afzetkracht echter wel gunstiger (er wordt een groter aandeel van de afzetkracht gebruikt voor het verplaatsen in voorwaartse richting).

Ook valt te concluderen dat de mediale afzet een extra kracht uitoefent op de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Voorwaarde:

- In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting.

Vermogen

Voor het bepalen van de techniek met de meeste efficiëntie zal er gekeken worden naar het vermogen dat bij de technieken per slag geleverd wordt bij eenzelfde uitwendige prestatie (verplaatsing in voorwaartse richting).

Voor het bepalen van het vermogen dienen de afzetkracht en snelheid bekend te zijn, de snelheid is een bekende na het differentiëren van de afgelegde weg, de afzetkracht is bepaald in de vorige paragraaf. Met deze gegevens kan het vermogen momentaan berekend worden. In figuur 22 (pagina 26) staat het assenstelsel voor deze berekeningen weergegeven.

$$P_{tot,double\ push} = F_{prop,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

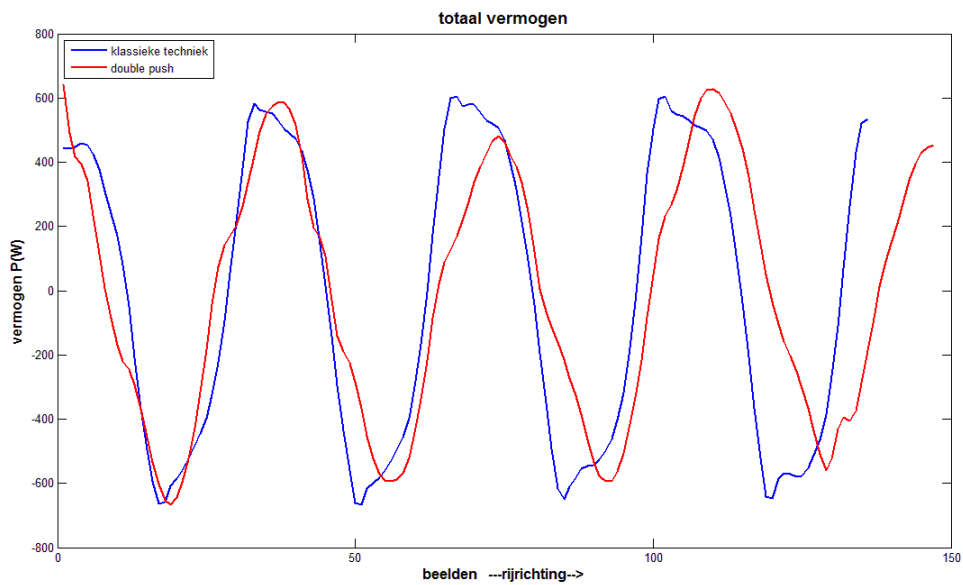
$$P_{nuttig,double\ push} = F_{x,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{tot,klassiek} = F_{prop,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{nuttig,klassiek} = F_{x,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

Waar de snelheid van de lichaamszwaartepunten elkaar niet ver ontlopen en de gemiddelde kracht van de klassieke techniek een fractie hoger is dan bij de double push, is de verwachting dat het vermogen van de klassieke techniek hoger is dan die van de double push omdat zowel de gemiddelde kracht als de snelheid bij de klassieke techniek hoger zijn, wat ook een hoger vermogen oplevert.

Piekvermogen



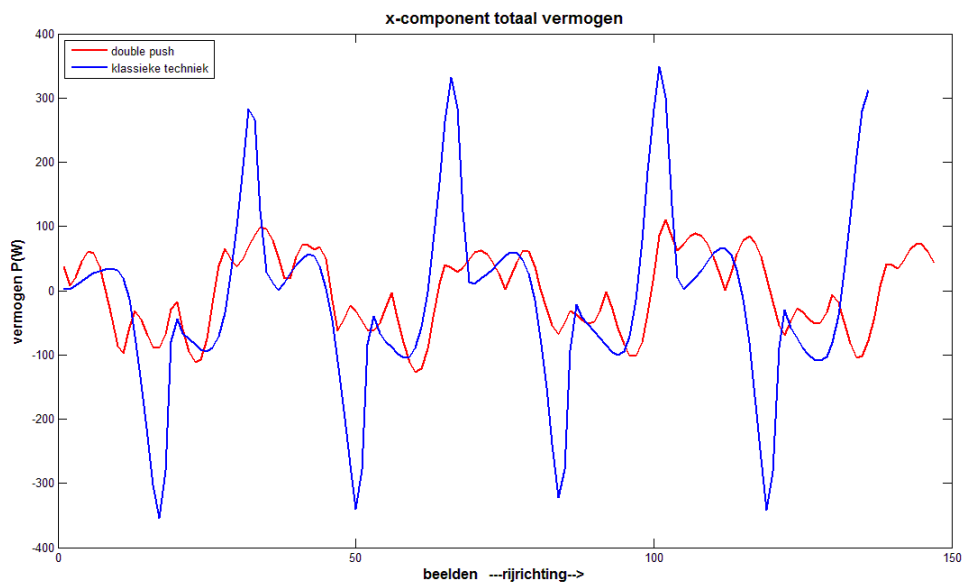
Figuur 26. Totaal vermogen bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double push

Blauw: klassiek

Uit figuur 26 blijkt dat de geleverde piekvermogens elkaar niet veel ontlopen. Het gemiddelde vermogen over de acht slagen van de double push (344 Watt) is echter 78 Watt lager dan van de klassieke techniek (422 Watt)

X-component vermogen



Figuur 27. X-component van het geleverde vermogen voor beide technieken

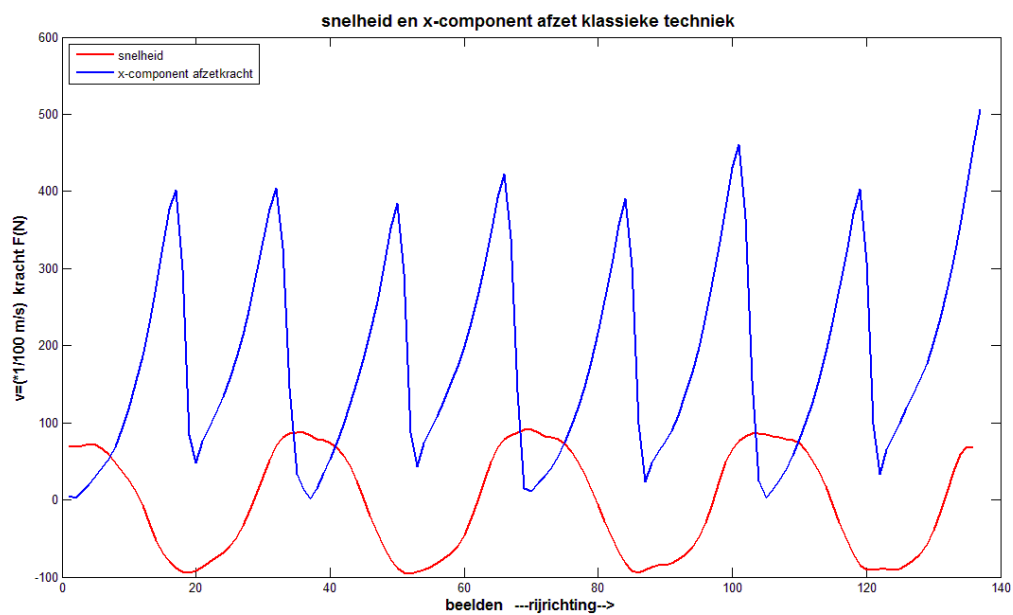
Rood: double push

Blauw: klassiek

Wanneer we kijken naar de x-component van het vermogen (figuur 27) valt gelijk op dat het piekvermogen dat bij de klassieke techniek geleverd wordt vele malen hoger is. Dit komt wel overeen met de verwachting, maar een verschil van 200 Watt in piekvermogen is een groter verschil dan verwacht werd aan de hand van de snelheid en propulsiekracht.

Evaluatie en terugkoppeling

Om een verklaring voor het hogere piekvermogen bij de klassieke techniek is te vinden wordt een grafiek geplot van de x-component (figuur 28) van de afzetkracht samen met de snelheid van de klassieke techniek.



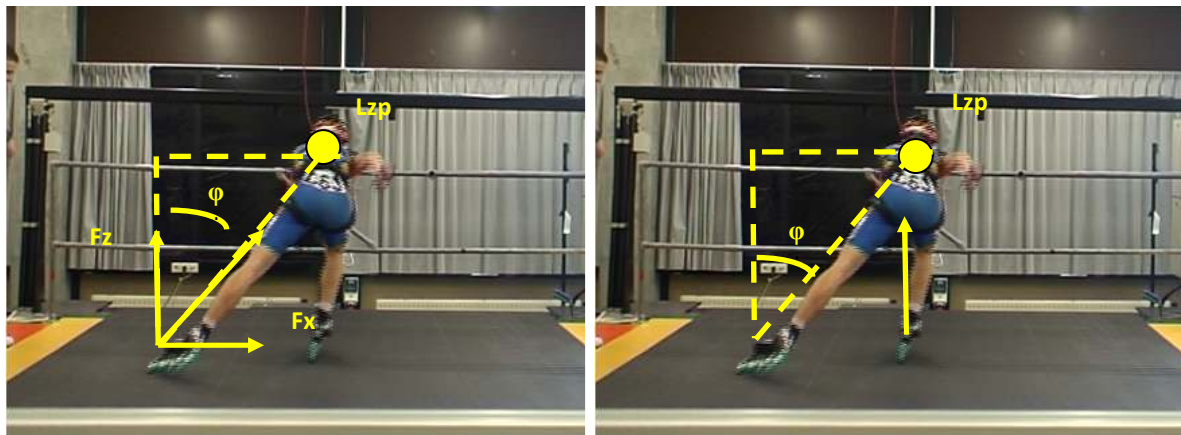
Figuur 28. Snelheid lichaamszwaartepunt en x-component afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: x-component afzetkracht

Hier valt op dat de piekkracht het grootst is op het moment van de pieksnelheid, dit verklaart waarom het piekvermogen bij de klassieke techniek zo hoog is. Waar de snelheid zonder aannames is bepaald, is het vermogen betrouwbaar. Voor de kracht zijn twee aannames gedaan, het is dus mogelijk dat hier een probleem in schuilt. De verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting is niet waarschijnlijk omdat het lichaamszwaartepunt weinig verplaatsing in verticale richting ondervindt bij de klassieke techniek.

De aanname van de afzet geldend van toe-off tot toe-off ligt meer voor de hand als verkeerde aanname. De bipedale fase verdwijnt bij deze benadering en de complete zwaartekracht wordt door het afzetbeen gedragen. De maximale kracht wordt bij deze benadering bereikt vlak voor toe-off (figuur 29).



Figuur 29. Toe-off en projectie lichaamszwaartepunt

In werkelijkheid is op het moment van skatecontact het lichaamszwaartepunt grotendeels boven het dit nieuwe contactpunt komt te liggen(fig). Het gevolg hiervan is dat de zwaartekracht verdeeld wordt over de twee contactpunten, een groot deel van het lichaamszwaartepunt ligt boven het been dat skatecontact maakt. De zwaartekracht werkt dus voor het grootste deel op het been wat het dichtst bij de projectie van het lichaamszwaartepunt ligt, waardoor de afzetkracht van het afzetbeen sterk afneemt.

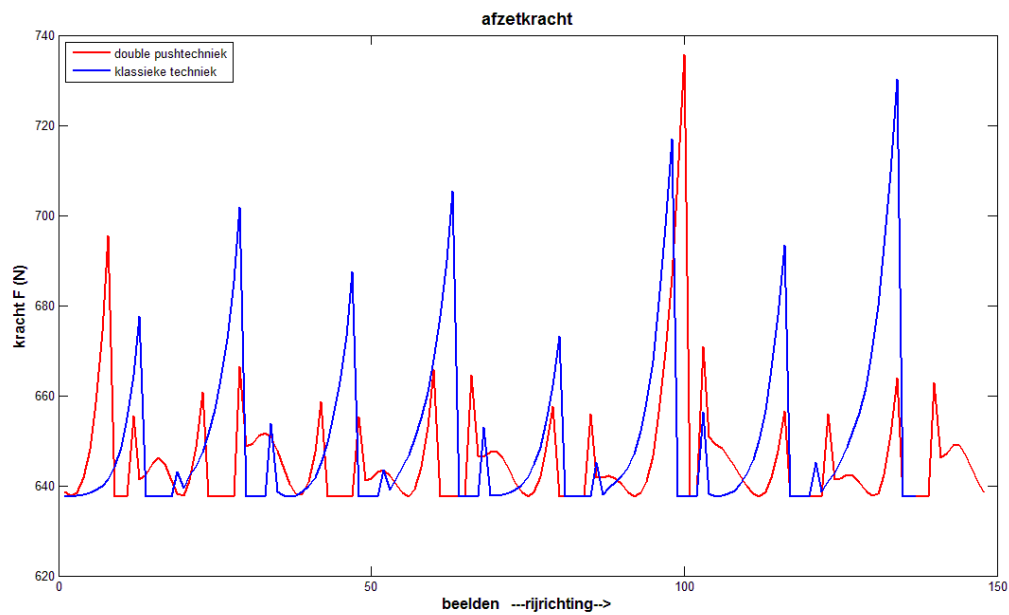
De gebruikte methode neemt dat niet mee in de berekening, waardoor ϕ ook groter wordt naar mate de afzet langer wordt.

Daarom is ervoor gekozen om alleen de afzetkrachten te bepalen tijdens de unipedale fases en in bipedale fase de afzetkracht gelijk te stellen aan $m \cdot g$, waarbij alle krachten worden als positief beschouwd.

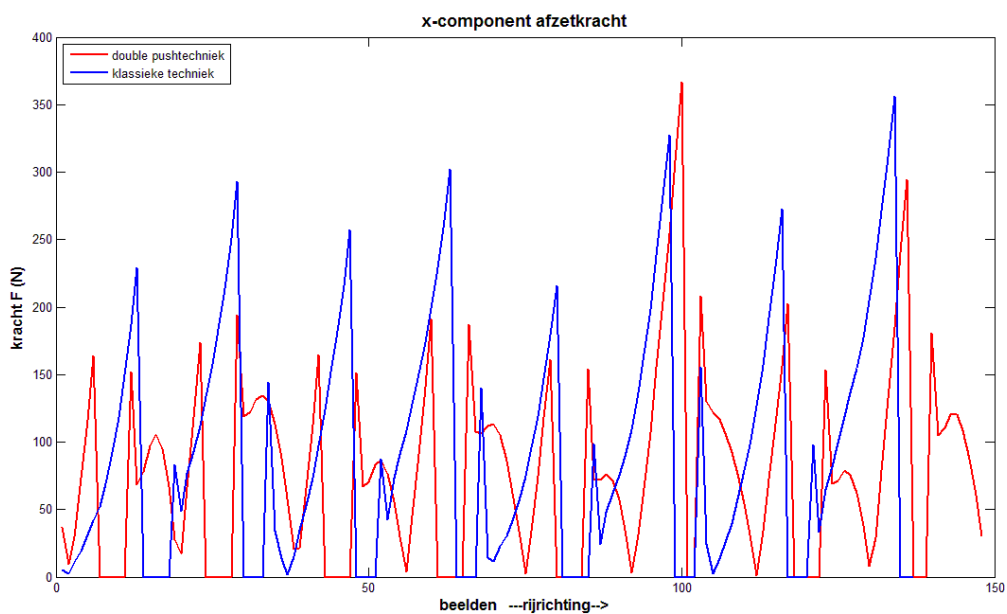
Afzetkracht

Wanneer we de verbeterde methode toepassen, valt gelijk op dat de propulsiekracht veel kleiner is geworden. De piek van 670 N betekent een afzet van 105% van het lichaamsgewicht. Dit is minder dan in de literatuur[5] beschreven staat. Een verklaring zou kunnen zijn dat de kracht die geleverd moet te worden om het in positie blijven op de lopende band zeer laag is.

Een andere verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat in het begin van de contactfase het lichaamsgewicht nog niet volledig op de skate wordt gezet, met tot gevolg een toename van de afzetkracht. In onderzoek naar de afzetkrachten tijdens het schaatsen vonden De Koning et al [7] dat bij een snelheid van 32,4 km/h pas na 20% van de contactfase het volledige lichaamsgewicht op het standbeen wordt geplaatst. Er kan gekeken of het percentage van het lichaamsgewicht in Newton bij de afzetkracht en het vermogen nog beter benaderd kan worden door de 20% in de berekening mee te nemen, hier kwamen echter geen noemenswaardige verschillen uit.



Figuur 30. Afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechniek, gemiddelde = 643 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 647 N

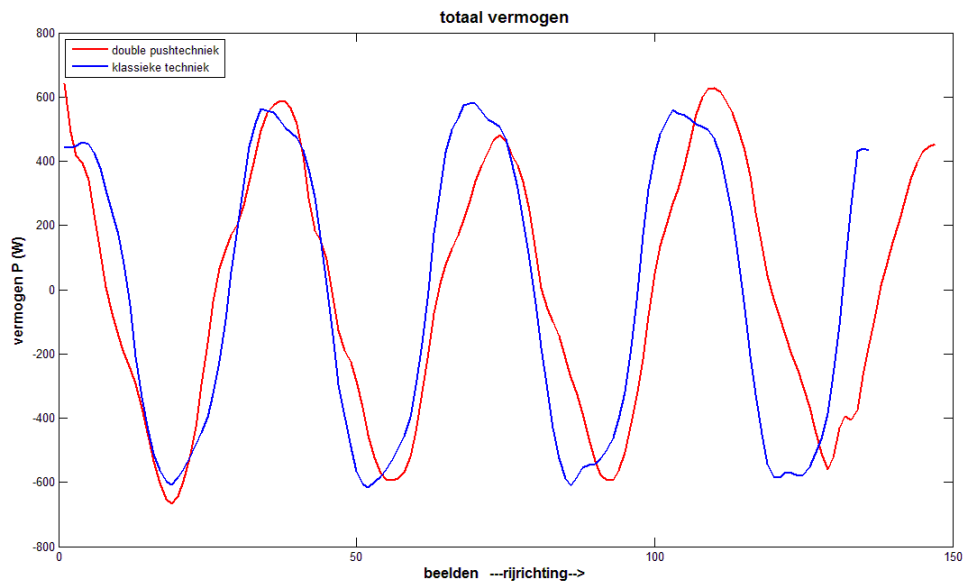


Figuur 31. x-component afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechniek, gemiddelde = 58 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 76 N

In fig. is te zien dat de gemiddelde geleverde afzetkracht van de double push en klassieke techniek even groot is. Bij de double push wordt de kracht echter verdeeld over twee pieken gedurende de afzet. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de piekbelasting bij de double push lager is, maar dat er gemiddeld wel even veel kracht wordt geleverd als bij de klassieke techniek.

Vermogen

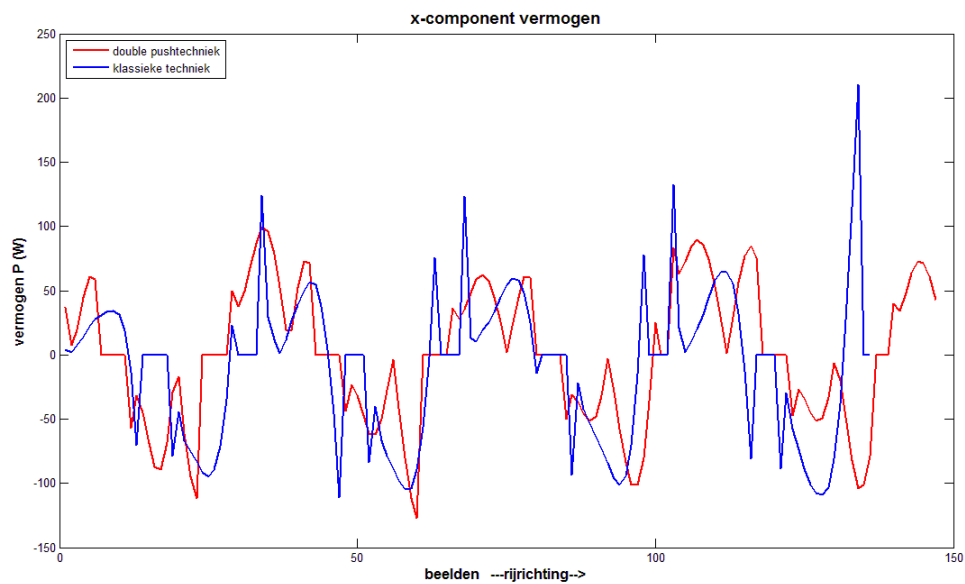
Wanneer het vermogen bepaald wordt met de vernieuwde methode komen de volgende resultaten naar voren:



Figuur 32. Totaal geleverd vermogen

Rood: double push

Blauw: klassiek



Figuur 33. geleverd vermogen in x-richting

Rood: double push

Blauw: klassiek

De verschillen zijn niet heel groot, de double push levert gemiddeld 55 Watt minder vermogen om eenzelfde voorwaartse snelheid te bereiken.

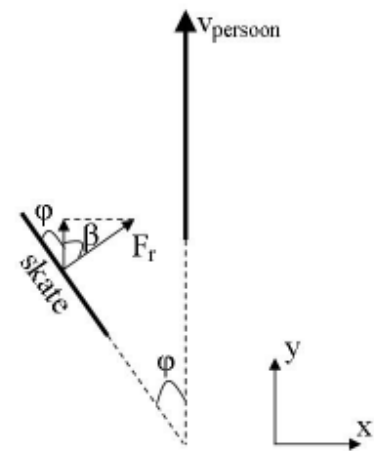
Geconcludeerd kan worden dat de double push een lagere vermogen levert om eenzelfde snelheid te bereiken. Een ander groot voordeel is dat de totale afzetkracht bij de double push ongeveer gelijk is aan die van de klassieke techniek, maar hierbij wordt de kracht wel verdeeld over twee benen waardoor de piekbelasting per been lager wordt.

THEORETISCH MODEL

Zowel interne als externe factoren hebben invloed op de totstandkoming van een skeelerbeweging. Deze factoren worden in onderstaande beschrijving besproken.

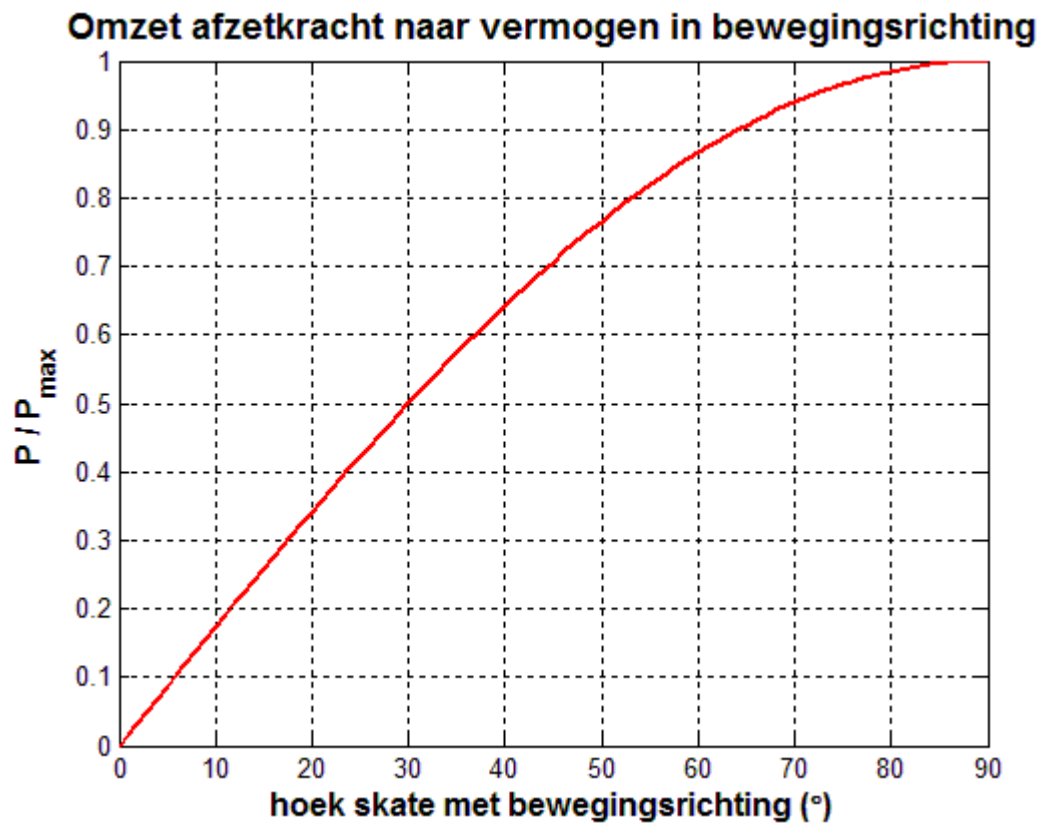
Zoals is geconcludeerd uit de resultaten van de pilotmeting, zet een skeeleraar tijdens de afzet de skate onder een hoek met de gewenste bewegingsrichting. Het model in figuur 34 geeft dit principe weer.

De hoek tussen de skate en de gewenste bewegingsrichting is in principe vrij te kiezen. Echter, als er een analyse gemaakt wordt van de hoeveelheid vermogen die geleverd wordt in de bewegingsrichting van de persoon, dan kan er geconcludeerd worden dat het geleverde vermogen in de gewenste bewegingsrichting een verband heeft met de afzethoek. Dit verband staat weergegeven in de onderstaande vergelijking en figuur 35.



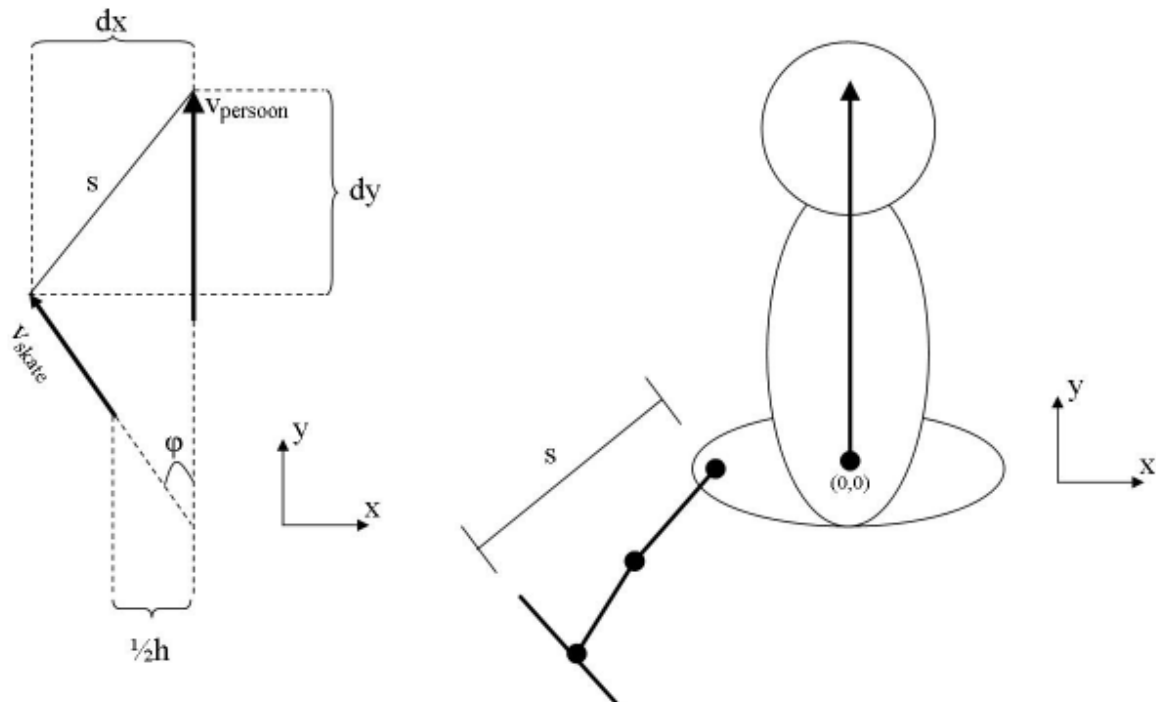
Figuur 34. Model snelheid persoon en plaatsing skate

$$P_y = F_{ry} \cdot v_y = F_r \cdot \cos(\beta) \cdot v_y = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) \cdot v_y$$



Figuur 35. Relatief vermogen in de bewegingsrichting als variabele van de plaatsing van de skate

Het is duidelijk te zien dat het vermogen in y-richting groter wordt naarmate de hoek van de skate met de bewegingsrichting (φ) toeneemt. De limiet voor de hoek is $0 \leq \varphi \leq 90$, omdat voor overschrijding van beide limieten geldt dat de richting van de reactiekracht omgekeerd is van de gewenste richting (in praktijk is een dergelijke krachtrichting te vergelijken met de richting van de reactiekracht bij double push).



Figuur 36. Model beenafstand in bovenaanzicht

Links: wegllopen van de skate ten gevolge van verschil in richting van verplaatsing van skate en persoon

Rechts: Beenlengte in bovenaanzicht

$\frac{1}{2} h$ = halve heupbreedte

Er is echter een beperking in de hoek die gemaakt kan worden, wat wordt geïllustreerd in het volgende model (zie ook figuur 36).

De skate waarmee afgezet wordt, heeft net als het lichaam een snelheid. Omdat de skate niet in dezelfde richting als de bewegingsrichting van het lichaam beweegt, heeft deze in x- en y-richting een andere snelheid. Ten gevolge van dit gegeven zal de skate van het lichaam af bewegen. In deze positie zit uiteraard een beperking, namelijk de lengte van het been in bovenaanzicht, zoals weergegeven in figuur 36 met het symbool s . Hierbij wordt er uitgegaan van een beenlengte bij een kniehoek van 160° (gemeten aan de dorsale zijde van het been).

De beenlengte s in bovenaanzicht kan als volgt bepaald worden:

$$dx = \frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t$$

$$dy = v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t$$

$$s = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t\right)^2 + \left(v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t\right)^2}$$



Figuur 37. Relatieve verplaatsing skate ten opzichte van het lichaam

Naarmate de hoek van de skate ten opzichte van de bewegingsrichting toeneemt, is de verplaatsing van de skate bij een bepaalde snelheid groter per tijdseenheid (de afzettijd). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de snelheid of de afzettijd (of een combinatie van beiden) beperkend is voor de hoek φ .

WRIJVINGSKRACHTEN

Ten gevolge van onder andere luchtwerijving en rolwrijving is het niet mogelijk om te skeeleren met een zuiver constante snelheid. Daarom zal telkens tijdens de rolfase de snelheid van de persoon afnemen, waarna de persoon in de daarop volgende afzetfase weer snelheid moet toevoegen om het verlies aan snelheid weer goed te maken.

Tijdens het skeeleren spelen de volgende formules een rol:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2$$

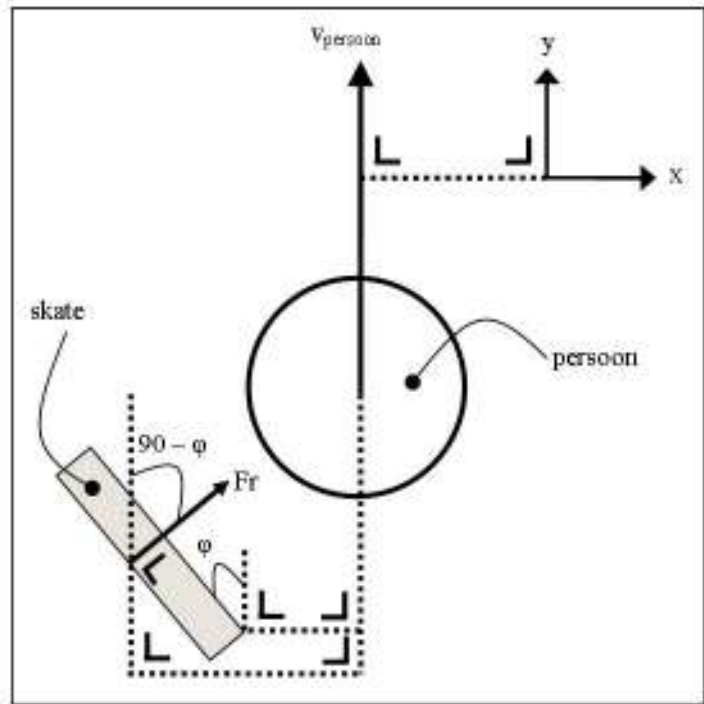
$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$$

$$F_{res} = F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = m \cdot a$$

$$\rightarrow a = \frac{F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}}{m}$$

$$v_i = v_{i-a} + a \cdot t$$



Figuur 38. Model richting afzetkracht in een inertiaal assenstelsel

Indien geldt dat $F_{res} = 0$ dan is de versnelling 0, wat betekent dat de persoon met constante snelheid voortbeweegt (of stilstaat indien de voorgaande snelheid 0 was).

De versnelling a kan alleen gebruikt worden bij constante versnellingen. Hier zal rekening mee gehouden moeten worden bij het vervaardigen van de modellen door de afzetfase in kleine stukjes op te delen.

Voorwaarde:

- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes

De richting en grootte van de krachtcomponenten heeft invloed op de tweede wet van Newton ($F_{res} = m \cdot a$). Zo kan de invloed van de wrijvingskrachten in x-richting verwaarloosd worden, waardoor de tweede wet van Newton omgeschreven zal moeten worden:

$$F_{res,x} = F_r \cdot \sin(90 - \varphi) = F_r \cdot \cos(\varphi)$$

$$F_{res,y} = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol} = F_r \cdot \sin(\varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = \sqrt{(F_{res,x})^2 + (F_{res,y})^2}$$

Het assenstelsel voor deze formules staat weergegeven in figuur 38, het is een assenstelsel dat meebeweegt met de bewegingsrichting van de persoon (waarbij de y-as evenwijdig is aan de bewegingsrichting).

Zoals eerder al gesteld is, kan er niet geskeelerd worden met een constante snelheid indien er rekening gehouden wordt met wrijvingskrachten. Wel is het mogelijk om aan het eind van iedere afzet eenzelfde snelheid te hebben en dit aan te nemen als constante snelheid. De afzetfase wordt dan gebruikt om de vertraging ten gevolge van de lucht- en rolwrijving van de rolfase weer teniet te doen.

Uiteraard heersen er ook tijdens de afzetfase wrijvingskrachten, zodat tijdens de afzetfase niet alleen de wrijvingskrachten van de rolfase, maar ook die van de afzetfase overwonnen moeten worden. Onderstaand schema geeft dit proces weer, in dit schema is geen rekening gehouden met krachtrichtingen.

Rolfase	Afzetfase
$F_{w,lucht} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{constant})^2$ $F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$ $a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{-1 \cdot (F_{w,lucht} + F_{w,rol})}{m}$ $v_i = v_{i-1} + a \cdot t = v_{constant} + a \cdot t$	$a_1 = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_{constant} - v_i}{t}$ $F_{afzet} = m \cdot a_1 + F_{w,lucht} + F_{w,rol}$ $= m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r$ $a_2 = \frac{F_{afzet}}{m} = \frac{m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r}{m}$ $= a_1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2}{m} + g \cdot c_r$ $v_{constant} = v_i + a_2 \cdot t$
● $v_{constant} = x \text{ m/s}$	● $v_i < v_{constant}$
	● $v_{constant} = x \text{ m/s}$

Voorwaarde:

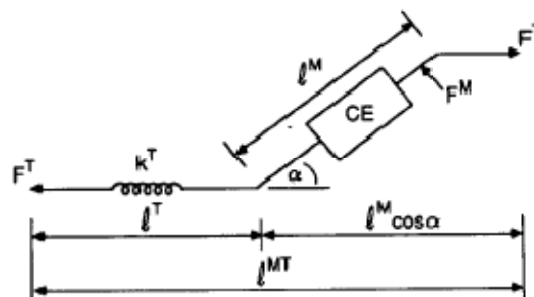
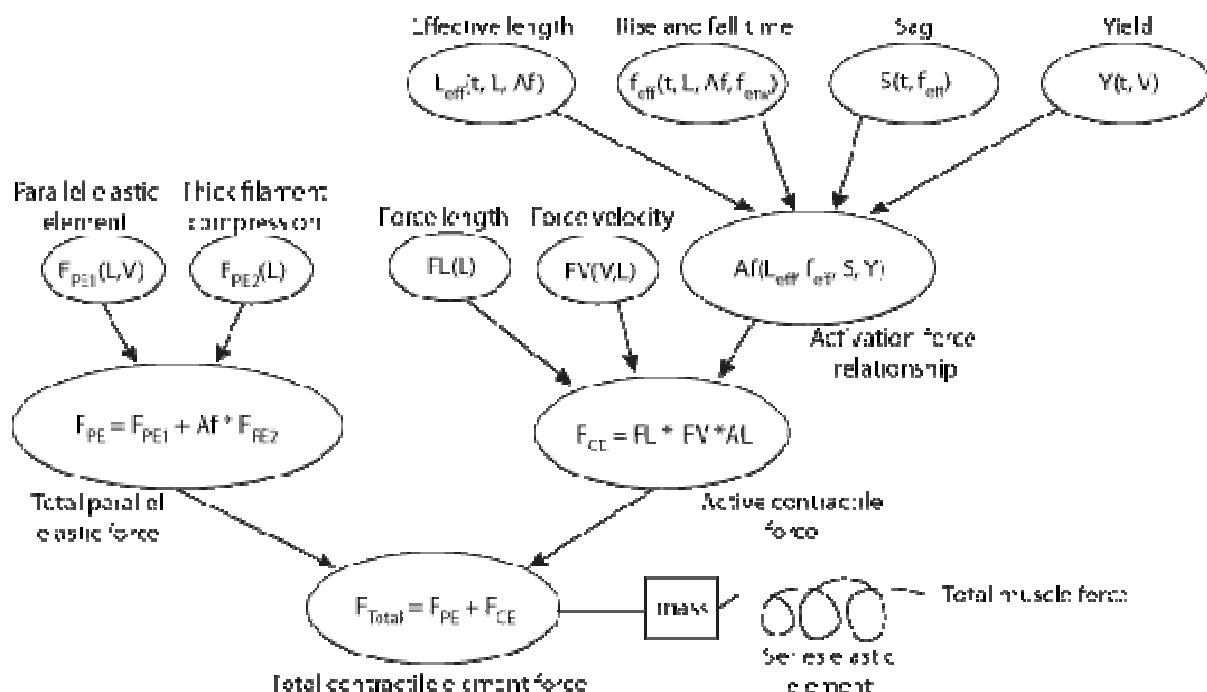
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving

SPIEREIGENSCHAPPEN

Als we kijken naar een beweging in het algemeen, kunnen we stellen dat er hoekverandering plaatsvindt in bepaalde gewrichten (meestal ten gevolge van geleverde spierkracht). In de onderstaande bespreking worden de factoren voor spierkracht besproken.

Factoren voor spierkracht

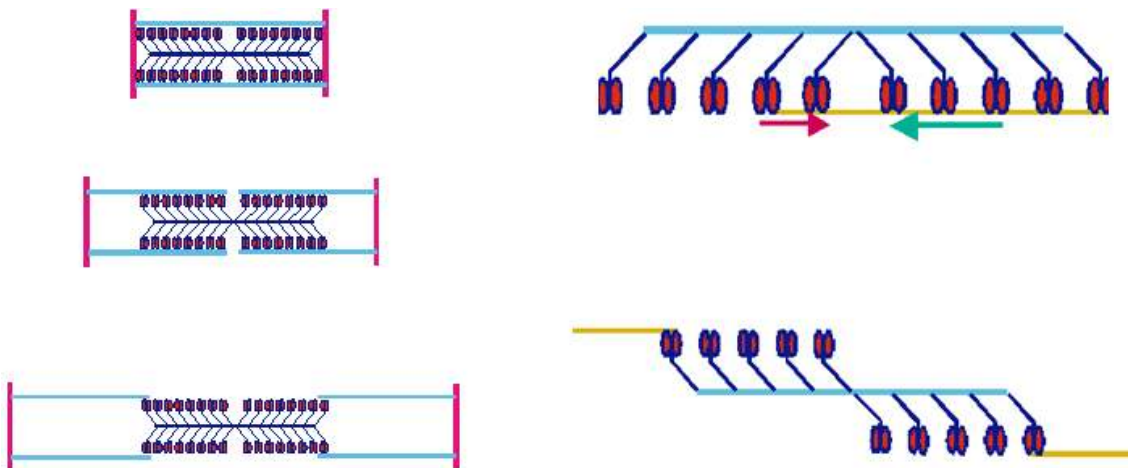
Zoals in het overzicht in onderstaande figuur 39 te zien is, is de spierkracht van vele factoren afhankelijk. Niet alle factoren kunnen in het model verwerkt worden, omdat een totaal model van de spierkracht een groot project op zich is. Het model van Cheng et al [8] dat alle onderstaande factoren of eigenschappen samenvoegt tot de totale spierkracht, is een model met een grote hoeveelheid variabelen. Echter, op veel eigenschappen kan geen invloed uitgeoefend worden, daarom zal er alleen gekeken worden naar de belanghebbende eigenschappen. Deze eigenschappen worden op de volgende bladzijden besproken.



reesmodel

Kracht-lengterelatie

Bij het veroorzaken van een hoekverandering zal een spier meestal verkorten (antagonistische spieren zullen logischerwijs excentrisch gecontraheerd worden). Vanuit de literatuur weten we dat de lengte die een spier heeft van invloed is op de kracht die deze kan leveren. Is een spier op een langere of kortere lengte dan zijn rustlengte, dan is de mogelijke krachtslevering lager [10]. Deze eigenschap is gebaseerd op de het feit dat de kracht die een spier kan leveren afhankelijk is van het aantal beschikbare myosinekopjes dat contact maakt met de actine in een sarcomeer (zie figuur 41). In de figuur is rechtsboven een verkorte sarcomeer weergegeven. De myosinekopjes bevinden zich in de zogeheten antiparallelle regio, de actine maakt niet alleen contact met de myosinekopjes die ervoor zorgen dat de actine naar binnen getrokken wordt (wat een verkorting van de sarcomeer, en dus van de spier, tot gevolg heeft). Er zijn ook myosinekopjes die met de actine ernaast contact moeten maken, maar dat in deze positie niet doen. Zij maken contact met dezelfde actine waar de andere myosinekopjes aan trekken die voor verkorting van de sarcomeer zorgen. Hierdoor wordt er in twee tegengestelde aan de actine getrokken, waardoor de actie van de myosinekopjes elkaar (deels) opheft, wat resulteert in verminderde (of geen) verkorting van de sarcomeer. Dit heeft tot gevolg dat de spierkracht in deze posities lager is.



Figuur 41. Schematische weergave sarcomeren in verschillende posities

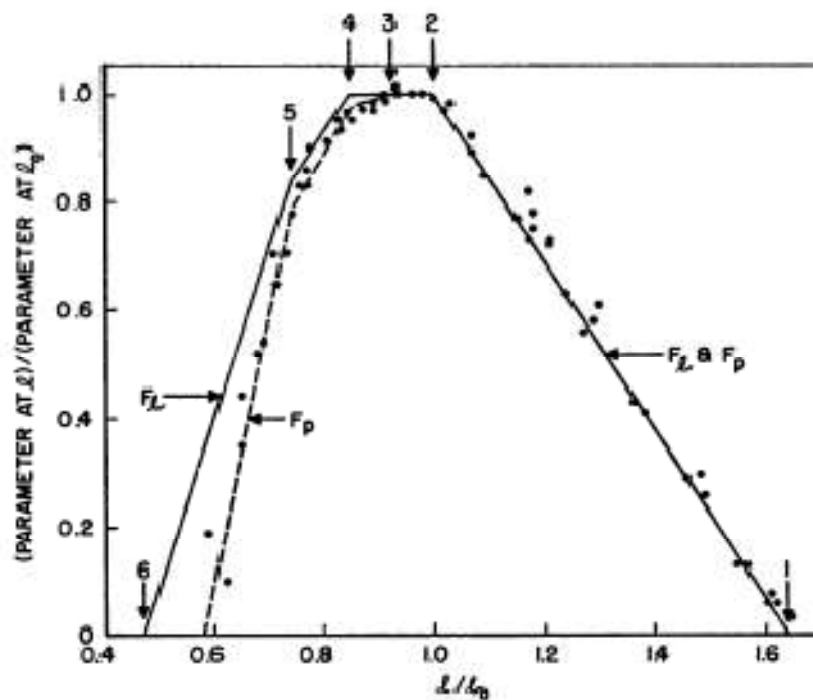
Linksboven, rechtsboven: sarcomeer in verkorte positie

Links, midden: sarcomeer in rustpositie

Linksonder, rechtsonder: sarcomeer in verlengde positie

Bornhorst en Minardi hebben deze kracht-lengterelatie beschreven met behulp van een grafiek met daarin een aantal kenmerkende punten waartussen lineaire functies het verband van het ene punt met het andere leggen (zie figuur 42). Andere bronnen als Gordon et al [11] en Askew & Marsh [12] geven eenzelfde verloop en verhouding van lengtes.

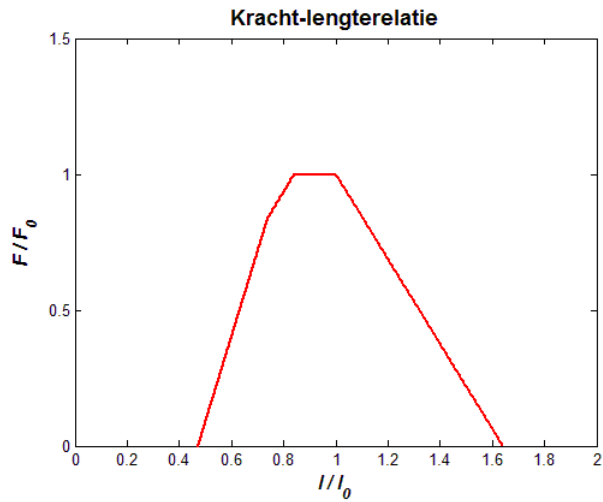
De kracht-lengterelatie zoals Bornhorst & Minardi deze schetst, kan worden benaderd met lineaire functies die vervolgens omgeschreven kunnen worden naar één vijfdegraads vergelijking. De vergelijkingen en plots op de volgende pagina geven dit proces weer. Hiermee kan dan in de Matlab-modellen met één formule de kracht-lengterelatie van een spier ingegeven worden. Deze relatie is van belang omdat er gedurende de afzet een hoekverandering in onder andere het kniegewricht plaatsvindt, waardoor de lengte van de kniastrekkers verandert, en daarmee ook de kracht die geleverd kan worden.



Figuur 42. Kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Lineaire functies:

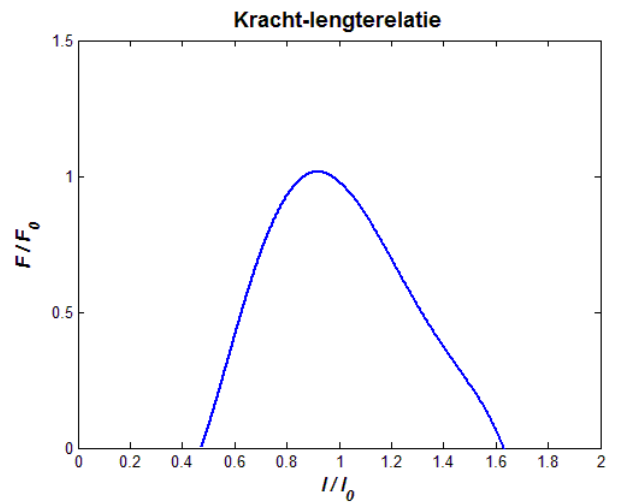
$$F = \begin{cases} 0.472 < l \leq 0.74 & \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot l - \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot 0.472 \\ 0.74 < l \leq 0.84 & \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot l - \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot 0.74 + 84 \\ 0.84 < l \leq 1 & 1 \\ 1 < l \leq 1.64 & \frac{-1}{0.64} \cdot l + \frac{1}{0.64} + 1 \end{cases}$$



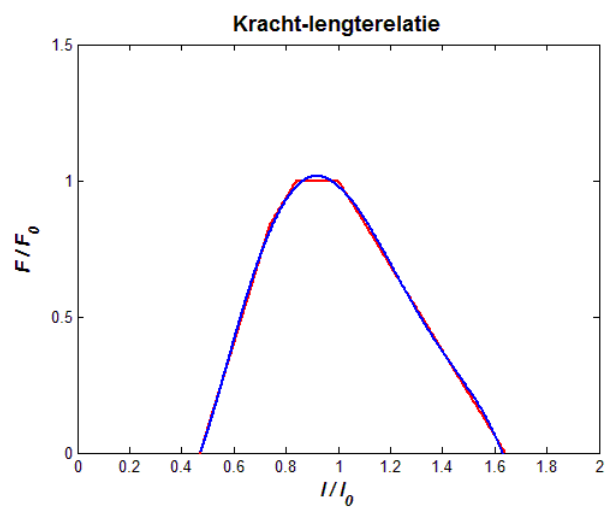
Figuur 43. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Vijfdegraads vergelijking:

$$\begin{aligned} p1 &= -10.537 \\ p2 &= 57.038 \\ p3 &= -116.22 \\ p4 &= 107.42 \\ p5 &= -42.478 \\ p6 &= 5.7582 \\ F &= p1 \cdot l^5 + p2 \cdot l^4 + p3 \cdot l^3 + p4 \cdot l^2 + p5 \cdot l + p6 \end{aligned}$$



Figuur 45. Gesimuleerde kracht-lengterelatie met de vijfdegraads vergelijking



Figuur 44. Kracht-lengterelatie van Bornhorst en Minardi en volgens vijfdegraads vergelijking over elkaar gelegd

Als er vervolgens gekeken wordt in welk gebied van de kracht-lengtecurve er kracht wordt geleverd, komen we op de volgende relatieve spierlengtes (spierlengte ten opzichte van de rustlengte) [14,15]:

$$\varphi_0 = 100$$

$$\varphi_1 = 160$$

$$r = 0.043$$

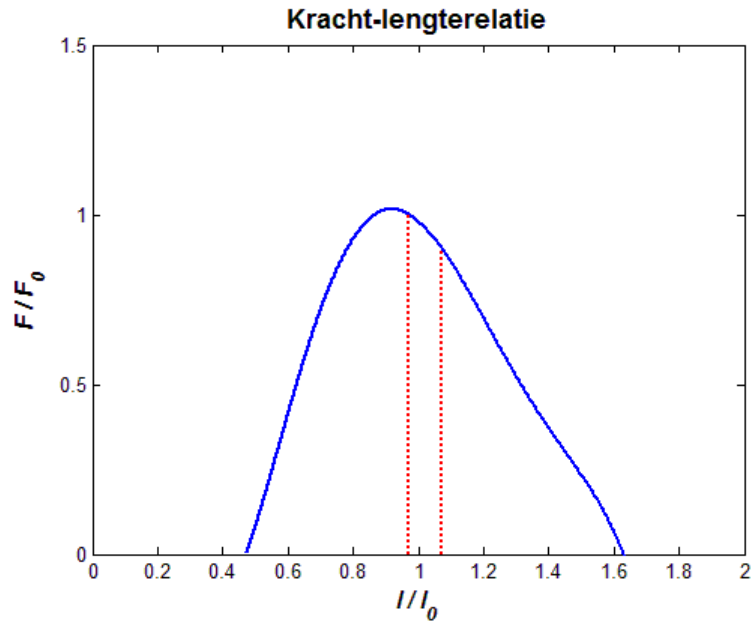
$$l_{min} = 0.344$$

$$l_{rust} = 0.432$$

$$l_0 = \frac{\varphi_0 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 0.97$$

$$l_1 = \frac{\varphi_1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 1.07$$

In figuur 46 staan deze grenzen met rode stippellijn aangegeven.



Figuur 46. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens de vijfdegraads vergelijking met zone van spierlengte weergegeven

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn

Kracht-snelheidsrelatie

Omdat er een hoekverandering plaatsvindt bij het afzetten, hebben de betrokken elementen een hoeksnelheid. Deze hoeksnelheid heeft invloed op de contractiesnelheid van spieren, waardoor we met nog een andere spiereigenschap te maken krijgen: de relatie tussen de contractiesnelheid en de leverbare kracht. Hill heeft deze relatie beschreven en hiervoor een formule opgesteld waarin enkele spiereigenschappen een rol spelen. De Hill-curve wordt voorgeschreven door de volgende formule (zie ook figuur 47) [13]:

$$F_{Hill} = \frac{c}{v + b} - a$$

Hierin zijn a, b en c zogenaamde Hill-constanten die de spiereigenschappen weergeven en is v de contractiesnelheid in lengtes per seconde (l/s) of meters per seconde (m/s). Deze drie constanten verschillen per spier of spiergroep. Voor het model is gekozen voor de volgende waarden van de constanten [13]:

$$a = F_{iso} = 1013 \text{ N}$$

$$b = v_{max} = 0.435 \text{ m/s}$$

$$c = P_{max} = 881.31 \text{ W}$$

Om de contractiesnelheid beter te kunnen interpreteren, wordt deze omgerekend naar hoeksnelheid in graden per seconde ($^{\circ}/s$). Dit gaat volgens de volgende berekening:

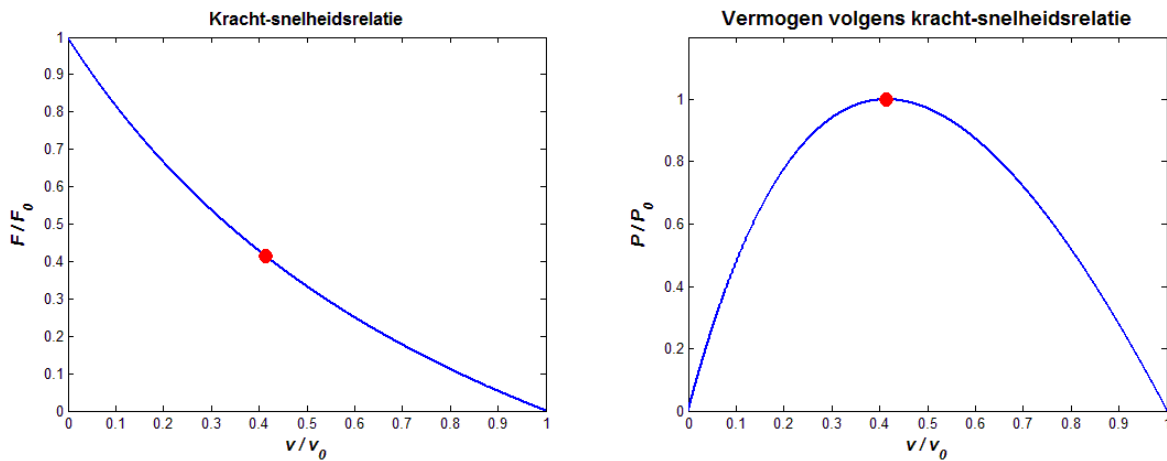
$$\omega = \frac{v}{r} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Willen we de hoeksnelheid in de formule voor de Hill-curve plaatsen, dan dienen we de formule voor hoeksnelheid om te schrijven als formule voor contractiesnelheid als functie van de hoeksnelheid:

$$v(\omega) = \frac{\omega \cdot r \cdot \pi}{180}$$

Van de vergelijking van Hill kan ook het optimum bepaald worden. Dit optimum kan gevonden worden door het vermogen volgens Hill uit te rekenen, en in die functie de top te bepalen. Voor de gevonden contractiesnelheid levert de spier het meest optimaal zijn kracht.

$$P_{Hill} = F_{Hill} \cdot v$$



Figuur 47. Kracht-snelheidsrelatie volgens Hill

Links: relatieve kracht tegen de relatieve contractiesnelheid volgens Hill

Rechts: relatief vermogen volgens Hill

rode stip: optimum

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

3. PAKKET VAN VOORWAARDEN

In de onderstaande opsomming worden de voorwaarden genoemd die in de modelmatige simulaties verwerkt dienen te worden.

VOORWAARDEN

- De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht
- De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt
- De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting
- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven
- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekken van het art. coxae en art. genus
- In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting
- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving
- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn
- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

4. MODELMATIGE SIMULATIES

In deze fase zal er aan de hand van de opgedane kennis en de opgestelde theoretische modellen een aantal Matlab-modellen vervaardigd worden, waarmee een aantal voorspellingen gedaan kan worden.

MODEL 1: KRACHTRICHTING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

Om aan te tonen dat men niet telkens zijn of haar skate hetzelfde zal plaatsen bij verschillende snelheden, wordt er in dit eerste model gesimuleerd dat er vanuit stilstand gestart wordt en de snelheid steeds opgevoerd wordt. Door telkens dezelfde afzettijd op te leggen, wordt er puur naar het effect gekeken van de snelheid op de hoek waaronder de skate geplaatst kan worden om zoveel mogelijk afzet te leveren zonder dat de skate te ver wegloopt bij het lichaam (zoals besproken is bij het theoretische model op pagina 37 en 38).

De regels die gelden in het model zijn:

$$\varphi_0 = \frac{90}{2} = 45$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g$$

$$F_{w,i} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{tot,i-1})^2$$

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + (-1)^2 \cdot \frac{F_r \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + \frac{F_r \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{tot,i} = \sqrt{(v_{i,x})^2 + (v_{i,y})^2}$$

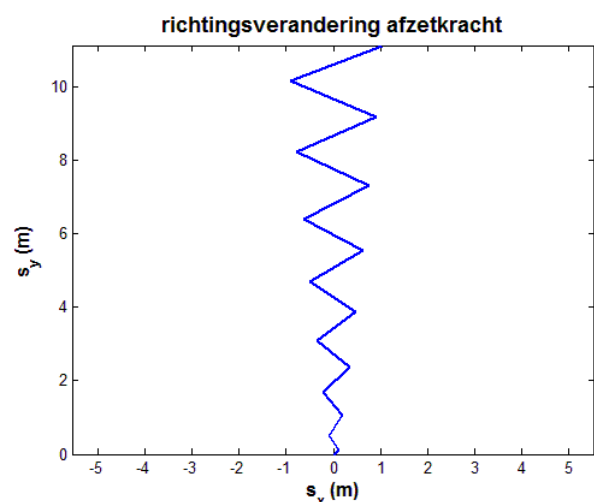
$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{tot,i} \cdot \sin(\varphi_i) \cdot t\right)^2 + \left(v_{tot,i} \cdot t - v_{tot,i} \cdot \cos(\varphi_i) \cdot t\right)^2} \rightarrow \varphi_i$$

Er wordt gestart onder een ideale afzethoek (90 graden), gedeeld door 2. Deze deling wordt gedaan omdat in de berekening voor de beenlengte s er vanuit wordt gegaan dat het lichaam zich in de gewenste richting (zuiver rechtdoor) beweegt, terwijl deze oscillerend om de gewenste bewegingsrichting zal bewegen (zoals te zien is in de formules voor $v_{x,i}$ en $v_{y,i}$). Het is goed denkbaar dat men daarom bij de start van het skeeleren ook schuin op de gewenste verplaatsingsrichting vertrekt, wat ook in de praktijk wordt waargenomen.

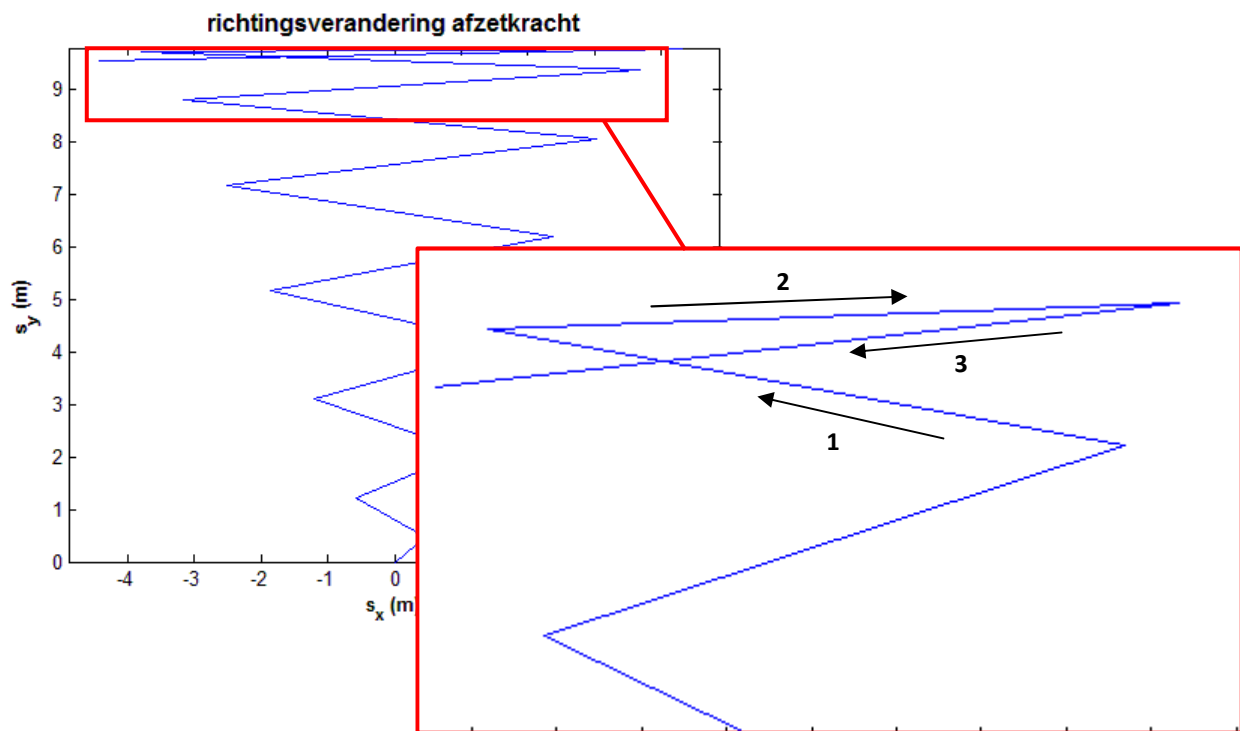
Nevenstaande figuur geeft de verplaatsing weer, waarbij er geen rekening is gehouden met de invloed van de snelheidsvector op de huidige snelheid (hier wordt later op teruggekomen). Dit model is slechts bedoeld om te illustreren hoe het mogelijke verloop van de richting van de afzetkracht is.



Figuur 48. Weergave van de richtingsverandering bij een toenemende snelheid

Het is duidelijk te zien dat wanneer de snelheid hoger is (te zien aan een grotere verplaatsing in zowel x- als y-richting), de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. De hoek van de reactiekracht ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting is namelijk $90 - \varphi$, waardoor de x-component van de reactiekracht steeds groter wordt, wat resulteert in een grotere zijwaartse verplaatsing.

Er komt een moment dat er een snelheid bereikt is, waarbij de wrijvingskracht groter is dan geleverde afzetkracht, waardoor men dus afgeremd wordt. In dit model is dat te zien als een afname van de verplaatsing, zoals in onderstaande figuur weergegeven wordt.



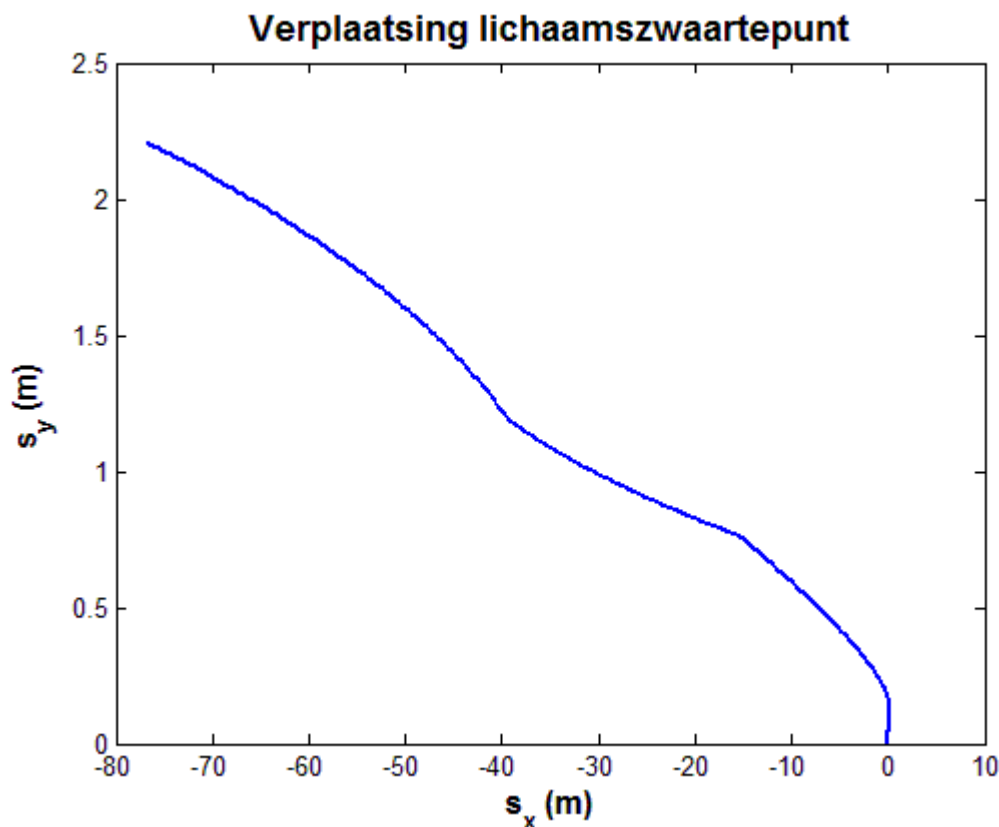
Figuur 49. Weergave van het gevolg van een luchtweerstand die groter is dan de afzetkracht in voorwaartse richting

MODEL 2: VERPLAATSING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

In het voorgaande model werd er telkens eenzelfde afzetkracht geleverd, in een krachtrichting die bepaald werd aan de hand van een formule die de krachtrichting optimaliseert bij een input van de afzettijd en de snelheid van de persoon.

In dit tweede model wordt elke afzet in honderd kleine stapjes opgedeeld, rekening houdend met de invloed van de vector van de reactiekracht op de huidige snelheidsvector. Hierdoor zal de snelheidsvector per honderdste deel van de afzettijd van richting veranderen ten gevolge van een andere richting van de reactiekracht (ten opzichte van de bewegingsrichting van de persoon). De afzetkracht wordt bepaald aan de hand van een optimalisatie naar optimaal vermogen volgens Hill, zoals besproken is bij de kracht-snelheidsrelatie van spieren in de analyse. Vervolgens wordt deze kracht vermenigvuldigd met de factor volgens de kracht-lengterelatie.

Dit proces wordt weergegeven in figuur 50. In de onderstaande figuur is het effect van vectorberekening te zien. Het blijkt dus dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. Opvallend is de enorme verplaatsing in x-richting ten opzichte van de verplaatsing in y-richting. Dit is mogelijk te verklaren aan de hand van de data die het model als output levert.



Figuur 50. Verplaatsing van het lichaamszwaartepunt volgens model 2
assen zijn niet 1:1 geschaald

MODEL 3: TOEVOEGING VAN GELIJKBLIJVENDE SNELHEIDSVECTOR

Bij het versnellen was te zien dat de persoon naar links of rechts ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting verplaatste en deze gewenste bewegingsrichting niet meer kruiste. Bij skeeleren met constante snelheid zou ditzelfde patroon niet verwacht worden, omdat er telkens met een zelfde krachtvector een verandering van de snelheidsvector plaatsvindt. De eerste vraag die opkomt is: "Hoe ziet het grondpatroon van een skeeleraar eruit als er telkens eenzelfde krachtsvector, en dus eenzelfde snelheidsvector, wordt toegevoegd?".

Een dergelijke situatie kan aan de hand van de verkregen gegevens uit de videoanalyse gesimuleerd worden:

- $F_{rx} = 219 \text{ N}$
- $v_y = 25 \text{ km/h} = \frac{25}{3.6} = 6.9 \text{ m/s}$

Hierbij wordt, net als in bij de pilotmeting, de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant gehouden.

Het model werkt volgens de volgende regels:

$$F_{rx} = 219$$

$$v_{y,0} = \frac{25}{3.6}$$

$$v_{toegevoegd,x} = \frac{F_{rx}}{m} \cdot t$$

$$v_{toegevoegd,y} = F_{ry} - F_{w,tot} = 0$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + v_{y,i-1} - v_{y,i-2} + v_{toegevoegd,y}$$

afzet naar rechts:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} + v_{toegevoegd,x}$$

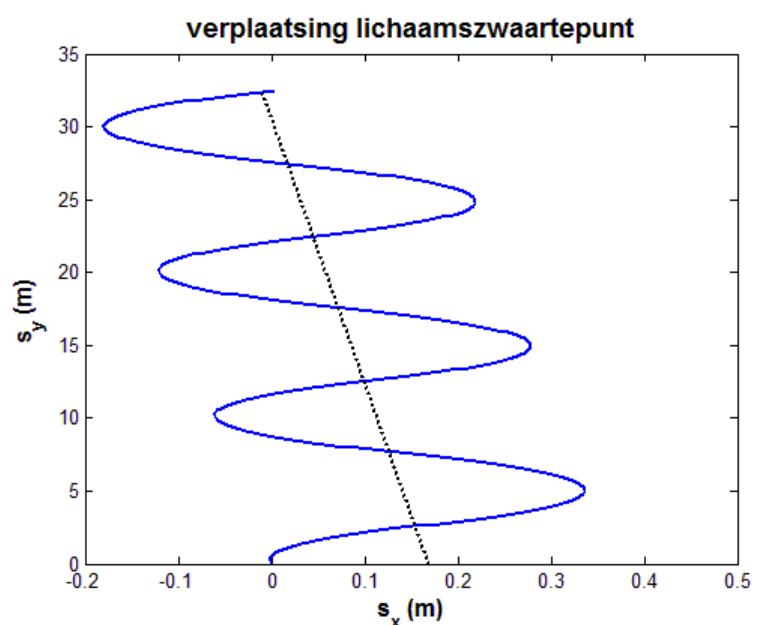
afzet naar links:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} - v_{toegevoegd,x}$$

$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

Het resultaat van het simuleren volgens bovenstaande regels is te zien in de nevenstaande plot.



Figuur 51. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

assen zijn niet 1:1 geschaald

5. EVALUATIE

Tijdens deze evaluatie zal de output van de modellen getoetst worden aan het pakket van voorwaarden. Dit zal puntsgewijs gebeuren.

TOE-OFF VOOR AFZET

Voordat een afzet met het ene been plaatsvindt moet er een toe-off van het andere been plaatsvinden

Deze voorwaarde voor het kunnen simuleren van afzetten die op elkaar volgen, en niet tegelijkertijd optreden, is in alle drie de modellen verwerkt.

WRIJVINGSKRACHTEN

In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:

- Luchtwrijving
- Rolwrijving

In het eerste model is de luchtwrijving opgenomen, de rolwrijving niet. Als we kijken wat de invloed van het ontbreken van de rolwrijving is, komen we op de volgende berekeningen:

$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r = 75.7 \cdot 9.81 \cdot 0.0077 = 5.7 \text{ N}$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g = 0.35 \cdot 75.7 \cdot 9.81 = 259.9 \text{ N}$$

Het moge duidelijk zijn dat de rolwrijvingscoëfficiënt en het percentage van het lichaamsgewicht de invloeden zijn die voor dit verschil in kracht zorgen omdat in beide formules de massa en zwaartekrachtsversnelling gelijk zijn.

De invloed van de rolwrijving op de kracht die geleverd zou worden is:

$$\frac{c_r}{p_{lat}} \cdot 100\% = \frac{0.0077}{0.35} \cdot 100\% = 2.2\%$$

Dit is een zeer laag percentage, waardoor we kunnen aannemen dat het beeld wat het model schetst niet erg vertekend is.

In het tweede model is totaal geen wrijvingskracht opgenomen. Voor model 1 zagen we al dat de rolwrijving verwaarloosbaar klein is, maar of dit voor de luchtwrijving ook opgaat is de vraag. Als we kijken naar de eindsnelheid van de simulatie (na vier afzetten), dan kan er gesteld worden dat er de volgende luchtwrijvingskracht zal heersen:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.293 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot (6.9)^2 = 19.7 \text{ N}$$

Als dit vergeleken wordt met de afzetkracht die op dat moment geleverd wordt, komen we op de volgende invloed:

$$\frac{F_{w,lucht}}{F_r} \cdot 100\% = \frac{19.7}{515.16} \cdot 100\% = 3.8\%$$

De invloed van de luchtwrijving op de geleverde afzetkracht blijkt niet groot te zijn.

In het derde model wordt er indirect rekening gehouden met de wrijvingskrachten. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant blijft. Dit kan alleen als er totaal geen wrijving optreedt, of als de reactiekracht in de gewenste bewegingsrichting even groot is als de wrijvingskrachten, de resultante kracht is dan namelijk gelijk aan 0.

AFZETKRACHT

In model 1 is de afzetkracht gedefinieerd als het lichaamsgewicht (vermenigvuldigd met de zwaartekrachtsversnelling) maal een percentage. Dit percentage kan gevarieerd worden. Zo is uit de literatuur bekend dat het percentage van het lichaamsgewicht (in Newton) dat men kan leveren bij een afzet tot 150% kan oplopen.

Hierin is dus geen afzetkracht opgenomen in de vorm van een Hill-curve of volgens de krachten die gevonden zijn in de analyse.

Voor het tweede model is de kracht volgens Hill als eerste uitgangspunt genomen. Vervolgens wordt deze kracht gerelateerd aan de kracht-lengterelatie van een spier. De geleverde spierkracht komt maximaal op 467 N, wat nog geen 100% van het lichaamsgewicht in Newton is (757 N) [5].

In het derde model wordt gebruik gemaakt van de afzetkracht in x-richting, die uit de analyse naar voren is gekomen, om de zijwaartse verplaatsing te simuleren.

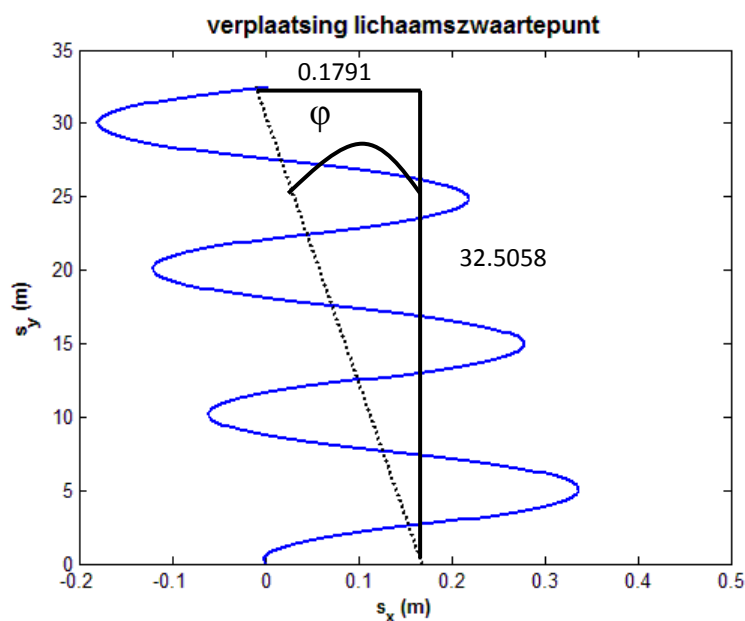
RESULTAAT

In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven

Alleen voor het derde model kan gesteld worden dat het uitwendige resultaat (de verplaatsing van de persoon) te vergelijken is met wat uit de analyse naar voren is gekomen.

Net als in het gangpatroon uit de analyse, verplaatst het lichaamszwaartepunt zich in een sinusvorm in de gewenste bewegingsrichting. De zijwaartse verplaatsing is van piek tot piek nagenoeg gelijk. Als we kijken naar de positie van de pieken ten opzichte van de x-as, dan zien we wel een verschil. Waar het grondpatroon van de pilotmeting om de breedte-as oscilleert, is dat bij het gesimuleerde grondpatroon niet zo. Daar oscilleert het lichaamszwaartepunt om een lijn die schuin naar linksboven loopt, zoals weergegeven is in figuur 52. De schuinite is berekend volgens onderstaande methode:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) = \arctan\left(\frac{0.1791}{32.5058}\right) = 0.3^\circ$$



Figuur 52. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

Verticale zwarte lijn: verplaatsing in y-richting

Horizontale zwarte lijn: gemiddelde verplaatsing in x-richting

φ : hoek gemiddelde bewegingsrichting met verticaal

assen zijn niet 1:1 geschaald

6. DISCUSSIE

In deze discussie zullen er puntsgewijs onderwerpen besproken die de resultaten van de pilotmeting of de modellen beïnvloed hebben.

VIDEOANALYSE

Bij het skeeleren op de loopband is sprake van twee variabelen die opgelegd kunnen worden, de hellingshoek en de snelheid. Tijdens de pilotmeting mocht de proefpersoon deze variabelen zelf bepalen. Het is te verwachten dat de proefpersoon hier gaat kiezen voor een combinatie waar hij zich comfortabel bij voelt. Waar tijdens het rijden op de weg de propulsiekracht bepalend is voor de snelheid hoeft dit tijdens de meting niet zo te zijn. Het kan voorkomen dat er een propulsiekracht wordt opgelegd met een niet bijpassende snelheid. Het gevolg hiervan dat de hoek van de skate met de rijrichting niet hoeft overeen te komen met de hoek die gehaald wordt tijdens het rijden op asfalt met een bijpassende snelheid.

De verwerking van de pilotmeting van de double push en klassieke techniek is uitgevoerd bij één snelheid en hellingshoek. Waar het te verwachten is dat de efficiëntie van beide technieken afhankelijk is van de snelheid, valt niet te zeggen dat de double push in alle situaties een bijdrage kan leveren aan de voorwaartse snelheid. Wanneer het onderzoek bij meerder snelheden, hoeken en proefpersonen wordt verricht wordt de betrouwbaarheid van de uitspraken groter.

Hetzelfde geldt voor het aantal slagen dat zijn genomen, tijdens het verwerken is een cyclus van acht slagen uitgekozen. Voor een hogere betrouwbaarheid is het aan te bevelen een langere cyclus te bekijken.

De double push laat zich in vele vormen zien tijdens wedstrijden. Tijdens dit onderzoek is niet op zoek gegaan naar een optimum bij deze techniek. Ook is er niet op zoek gegaan naar een variabele die iets zegt over wat nu een “goede” double push is.

Bij het bepalen van de afzetkracht is gebleken dat er niet met zekerheid te zeggen is wat voor krachten er nu werkelijk worden geleverd tijdens de afzet, en dan met name rond de bipedale fase. De vorm van de krachten kwam wel overeen met gemeten afzetkrachten in de literatuur, echter of op deze manier een realistische waarde is gemeten kan niet worden gezegd.

Ook is bij het bepalen van de afzetkracht de hoogte van het zwaartepunt vastgelegd. De verplaatsing in absolute waarde is nog niet hoog te noemen, echter is de verplaatsing in verticale richting bij de double push wel groter dan die bij de klassieke techniek.

MODEL 1

Zoals bij de evaluatie al besproken is, is er geen gebruik gemaakt van de afzetkracht die verkregen is uit de videoanalyse of vanuit de vergelijking van Hill. Echter, het model dient vooral ter illustratie van het verloop van de afzetricting, waarbij het van belang is dat er een snelheid gegenereerd wordt. Aangezien de afzetkracht in het model gevarieerd kan worden (door het percentage van het lichaamsgewicht in Newton dat geleverd wordt te verhogen), is deze beperking geen groot punt van discussie.

MODEL 2

Bij het tweede model valt het op dat de verplaatsing in zowel x- als y-richting onjuist is. De waarden wijken zo veel af van de werkelijkheid, dat dit model als onjuist beschouwd kan worden.

Een grote beperking in het model is de aanname van krachtslevering met slechts de kniestickeers, waarbij in de verkorting van deze spiergroep geen rekening gehouden is met de bewegingen die plaatsvinden in het heupgewricht (wat een effect heeft op de bi-artculaire m. rectus femoris).

MODEL 3

Het enige punt van discussie van het derde model is dat de gemiddelde afgelegde weg (de stippellijn in figuur 52) niet overeenkomt met de gewenste bewegingsrichting die een verticale lijn voorstelt. De schuimte van de gemiddelde afgelegde weg is echter zeer klein.

THEORETISCH MODEL

Het theoretisch model kent een aantal beperkingen. Zo wordt er geen rekening gehouden met het stuurgedrag van de skeeler ten opzichte van de skeeleraar, er wordt verondersteld dat de skeeler onder een hoek weglloopt bij het lichaam, terwijl in werkelijkheid deze weglloep beperkt wordt door de skeeler steeds meer evenwijdig aan de bewegingsrichting te plaatsen (zoals naar voren gekomen is uit de videoanalyse).

7. CONCLUSIE

Het verslag beschrijft twee fases, namelijk een vergelijking van de double push en klassieke techniek aan de hand van videoanalyse en een modelleringsfase. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke en double pushtechniek.

Uit de vergelijking tussen de klassieke en double pushtechniek is gebleken dat de mediale afzet in de double push een extra kracht levert die bijdraagt aan de propulsiekracht. Deze kracht wordt gegenereerd door de afzet naar mediaal. Het totaal geleverd vermogen van de double push en klassieke techniek zijn echter ongeveer gelijk. Het voordeel van de double push schuilt dus in het verlagen van de piekbelasting. De krachtcomponent van de afzetkracht voor de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt bij de laterale afzet bleek bij de klassieke groter te wezen dan de double push het gevolg is een breder gangpatroon bij de klassieke techniek. Dit terwijl er bij de double pushtechniek toch meer meters worden afgelegd door de skeelers.

Voor het bepalen van de kwantitatieve afzetkrachten en vermogens, dient de methode voor het verkrijgen de afzetkracht gevalideerd te worden en eventueel aangepast te worden. Dit is mogelijk door met een voetzool krachtmeter te meten tijdens het skeeleren. Een aspect wat hiervan belang kan zijn is de ab- en adductiemogelijkheid van het art. coxae tijdens de bipedale fase.

Uit de modelstudie bleek dat de richting van de skate steeds evenwijdiger aan de gewenste bewegingsrichting wordt geplaatst naarmate de snelheid in voorwaartse richting toeneemt. De skate komt echter nooit evenwijdig te staan omdat op een gegeven moment de wrijvingskrachten gelijk zijn aan voorwaartse kracht component.

In het tweede model is gepoogd de kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties te bepalen, dit heeft echter niet geleid tot een realistisch gangpatroon.

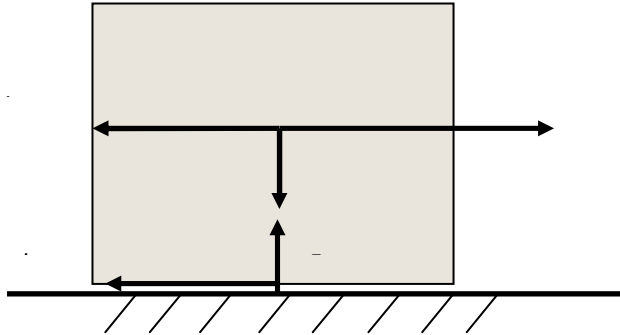
In het derde model is met behulp van de verkregen afzetkracht in x-richting (219 N) en de snelheid in gewenste bewegingsrichting (25 km/h) uit de analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Voor het verkrijgen van een beter model dient er rekening gehouden te worden met de baan van de skate en het lichaamszwaartepunt. De afzetkracht dient door het lichaamszwaartepunt te lopen. Omdat de verandering van de positie van het skate contact en het lichaamszwaartepunt constant varieert is dit een belangrijk aspect is voor het verkrijgen van de snelheid. Wanneer hier de posities en standen van het been ook nog in meegenomen worden, zal de kracht-lengterelatie en kracht-snelheidsrelatie een grotere voorspellende waarde hebben voor de prestaties.

- [1] Publow B. Speed on skates: a complete technique, training and racing guide for in-line and ice skaters. Human Kinetics; 1999
- [2] De Boer RW, Vos E, Hutter W, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice, *European Journal of Applied Physiology* 56 (1987) 562-569
- [3] Oonk HN. Biostatica. Den Haag: Henric Graaff van IJssel; 2004
- [4] Claiborne TL, Timmons MK, Pincivero DM. Test-retest reliability of cardinal plane isokinetic hip torque and EMG, *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2008)
- [5] Hoos O, Hottenrott K, Sommer H. Push-off force in in-line speed skating: magnitude, local distribution under the foot and point of application, *Biomechanics and Sports* 1103 (2001)
- [6] Houdijk H, De Koning JJ, De Groot G, Bobbert MF, Van Ingen Schenau GJ. Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates, *Medicine & Science in Sports & Exercise* (1999) 636-641
- [7] De Koning JJ, De Boer RW, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Push-off force in speed skating, *International Journal of Sport Biomechanics* 3 (1987) 103-109
- [8] Cheng EJ, Brown IE, Loeb GE. Virtual muscle: a computational approach to understanding the effects of muscle properties on motor control, *Journal of Neuroscience Methods* (2000) 117-130
- [9] Hoy MG, Zajac FE, Gordon ME. A musculoskeletal model of the human lower extremity: the effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee and ankle, *Journal of Biomechanics* 23 (1990) 157-169
- [10] Bornhorst WJ, Minardi JE. A phenomenological theory of muscular contraction, *Biophysical Journal* 10 (1970) 155-171
- [11] Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscles, *Journal of Physiology* (1966) 184:170-192
- [12] Askew GN, Marsh RL. Optimal shortening velocity (v/v_{max}) of skeletal muscle during cyclical contractions: length-force effects and velocity-force dependent activation and deactivation, *The Journal of Experimental Biology* 201 (1998) 1527-1540
- [13] Thaller S, Wagner H. The relation between Hill's equation and individual muscle properties, *Journal of Theoretical Biology* 231 (2004) 319-332
- [14] Borg F, Herrala M. The force-velocity relation studied with a pneumatic leg-extension/curl device, Jyväskylä University, 2002
- [15] McLean SG, Van den Bogert AJ. Development and validation of a 3-D model to predict knee joint loading during dynamic movement, *Journal of Biomedical Engineering* 125 (2003) 864-874

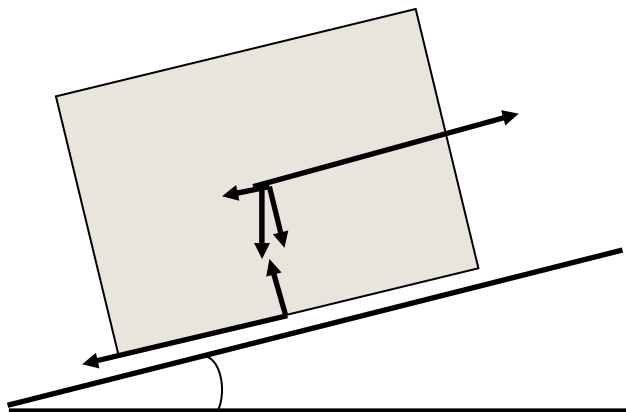
BIJLAGE I: SKEELEREN OP EEN LOPENDE BAND

De pilotmeting is uitgevoerd op een loopband, waar de proefpersoon toch het idee had dat het anders skeeleren is dan tijdens het skeeleren. In dit hoofdstuk zal kort in worden gegaan op het rijden op de lopende band in vergelijking met de weg. Ter vereenvoudiging wordt de skeeleraar opgevat als een blok.



$$F_x = F_{prop} - F_{rol} - F_{luchtw} = 0$$

$$F_y = F_n - F_z = 0$$



$$F_{zl} = \sqrt{F_{zx}^2 + F_{zy}^2}$$

$$F_{xl} = F_{prop} - F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = 0$$

$$F_{yl} = F_n - m * g * \cos(\text{hoek}) = 0$$

Wanneer geldt dat:

$$F_{prop} = -F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = -F_{rol} - F_{luchtw} ,$$

is het rijden tegen een helling op de lopende band mechanisch hetzelfde als rijden op het vlakke waar een luchtweerstand overwonnen dient te worden.

De band heeft echter wel twee variabelen: de snelheid en de hoek zorgen samen voor F_{prop} . Op de weg wordt er een F_{prop} geleverd en daar past de snelheid zich op aan. Lever je minder kracht dan ga je minder hard. Wanneer de lopende band een bepaalde propulsiekracht vraagt maar deze wordt niet geleverd kan dit

resulteren in een verplaatsing op de band, wat de proefpersoon vervolgens weer corrigeert. Het gevolg is dat de proefpersoon telkens zijn eigen propulsiekracht evalueert. In andere woorden bij de lopende band blijven de hoek en snelheid gelijk en dient de persoon zijn F_{prop} er op aan te passen. Hierdoor kan het gebeuren dat de lopende band wordt ingesteld op een hoek die een propulsiekracht vraagt die voor het gevoel van de skeeleraar niet bij de snelheid hoort die de band op dat moment draait. Dit kan onwennig voelen, immers een skeeleraar is er aan gewend dat de snelheid aangepast wordt aan zijn propulsiekracht.

Een ander verschil is dat wanneer de hoek van de lopende band met horizontaal steeds groter wordt, de projectie van het lichaamszwaartepunt meer in de richting van het achterste wiel komt te liggen. Dit geldt alleen wanneer de skater zijn heup-, knie- en enkelhoek niet verandert.

Het lichaamszwaartepunt wordt bij contactfase door ongeveer het midden van de voet geprojecteerd [1]. Bij een voetlengte van 26 cm bij de proefpersoon betekent dus dat een verplaatsing van de projectie van 13 cm een projectie achter het bovenste spronggewricht als gevolg heeft, waardoor de coördinatie van de afzet compleet anders is. Uit de videoanalyse bleek dat het lichaamszwaartepunt zich 1,1 meter boven de grond bevindt.

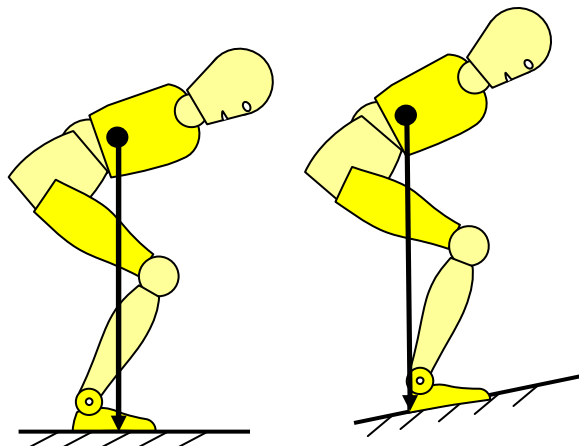
$$projectie = \tan(hoek) * hoogte_{zwp}$$

Dit betekent dat bij een hoek van 6,7 graden de projectie van het lichaamszwaartepunt door de dorsale zijde van de calcaneus gaat.

De hoek van de band is tijdens de videoanalyse ingesteld op 2,5 graden. Dit betekent dat de zwaartepunt projectie 4,8 cm verder naar achter ligt dan bij het skeeleren op de weg. Dit is een aanzienlijke afwijking op de lengte van de voet.

Het bovenste sprong gewricht ligt ongeveer 8 cm naar dorsaal ten opzichte van de projectie van lichaamszwaartepunt op een horizontale ondergrond. Dit betekent dat de momentsarm rond het bovenste spronggewricht in deze situatie 42,5% van normaal is.

Er zal dus zeker een verandering in hoek moeten optreden, dit is zonder problemen te realiseren. Echter, hierdoor veranderen de momentsarmen wel enigszins waardoor de coördinatie een fractie anders is.

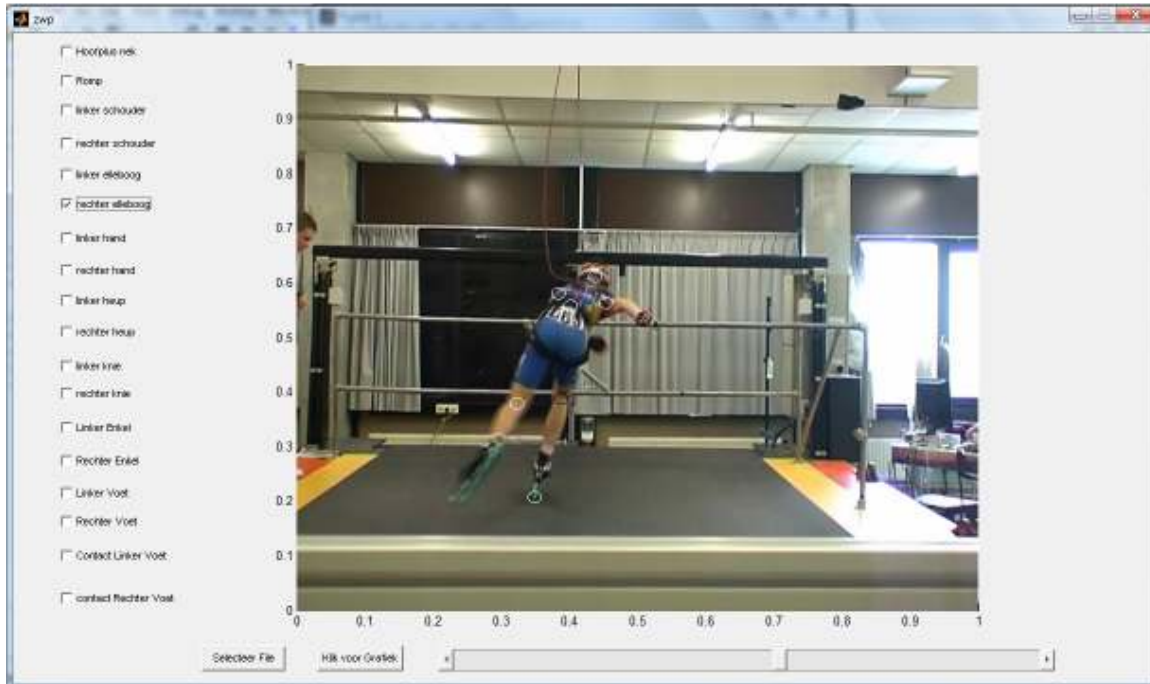


Geconcludeerd kan worden dat de propulsiekrachten en snelheden op de lopende band wel overeen kunnen komen met het skeeleren op de weg. Echter, er wordt wel een andere coördinatie gevraagd en de proefpersoon moet zijn afzetkracht aanpassen op de lopende band en niet andersom.

BIJLAGE II: BESCHRIJVING GUI

Met behulp van Matlab is een programma geschreven, dat de baan van het lichaamszwaartepunt en de voetcontacten op de grond projecteert aan de hand van een video van dorsaal aanzicht van een persoon die zich met een bekende snelheid in voorwaartse richting verplaatst.

Met het programma kan een .avi file ingelezen worden die overeenkomt met de codec op computer. Vervolgens kan naar een vrij te kiezen begin beeld kiezen, door de checkboxen aan te vinken en vervolgens de bijbehorende positie in op het beeld aan te klikken (figuur 53).



Figuur 53. Screenshot GUI

De data wordt weggeschreven naar een bestand en ieder volgend punt dat aangeklikt wordt wanneer de checkbox geselecteerd is wordt in het zelfde bestand onder het vorige coördinaat gezet. Hierdoor ontstaat een matrix van een x- en y-positie van alle punten. Dit geldt voor alle 18 checkboxen.

$$\begin{bmatrix} xcoördinaat & ycoördinaat \\ punt1 & punt1 \\ punt2 & punt2 \end{bmatrix}$$

Door de frequentie van de videobeelden in te voeren is de tijd tussen de beelden te bepalen. Wanneer de snelheid constant en bekend is, is het mogelijk de afstand tussen de punten berekenen.

Voor de bepaling van de kwantitatieve afstand afgelegd in de zijwaartse richting dient een afstand in het beeld bekend te zijn. Met behulp van de volgende vergelijking wordt door middel van ijking de grote van een pixel bepaald.

$$\frac{\text{bekende } s}{\text{aantal pixels}} = \text{factor}$$

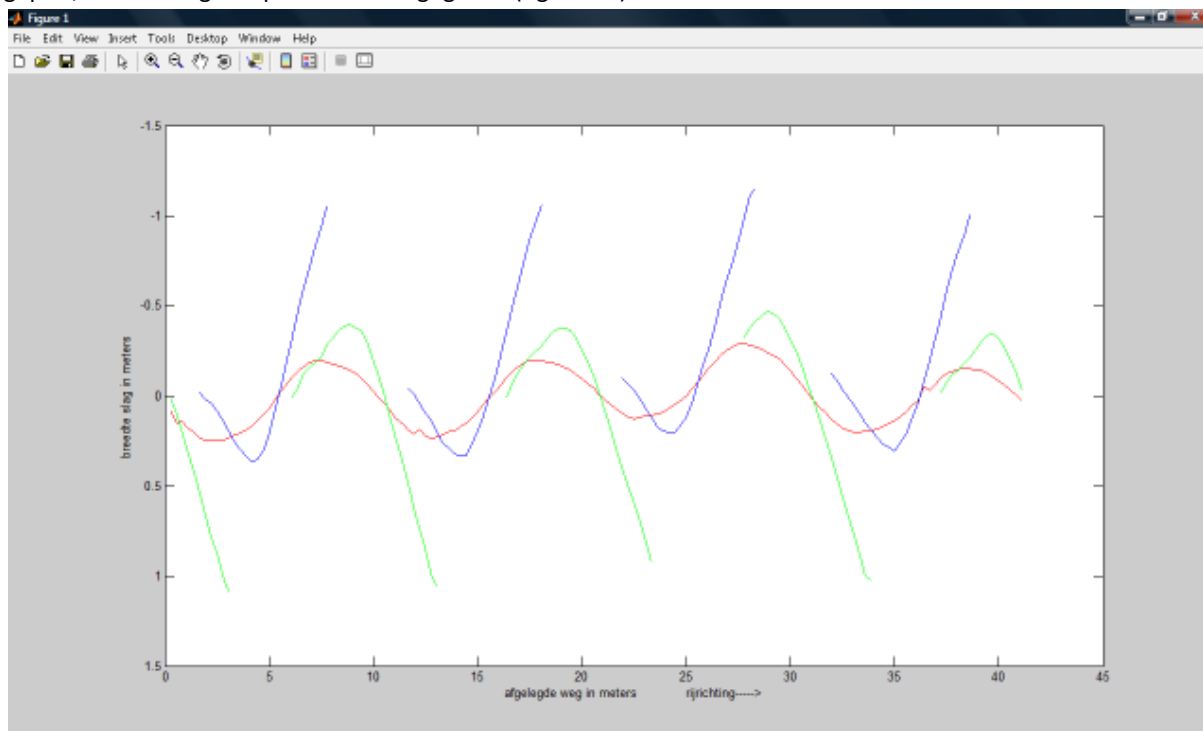
Door de data te vermenigvuldigen met deze factor worden de coördinaten omgezet in meters.

Het lichaamszwaartepunt wordt bepaald met de coördinaten van alle ledematen en de massa's van de ledematen verkregen uit de reader van Bert Broeren: Antropometrie.

$$\frac{\sum massa_{i+n} * coördinaat_{i+n} + \dots}{totale\ massa} = coördinaat\ lichaamszwaartepunt$$

Het programma doet dit voor alle rijen, in de matrix ontstaat een zelfde soort matrix met de posities van het zwaartepunt.

Wanneer de momenten dat de skate contact maakt met de grond wordt ook aangeklikt en naar een matrix geschreven worden. Als de matrices van de contactpunten en het zwaartepunt samen in een grafiek worden geplot, wordt het grondpatroon weer gegeven (figuur 54).



Figuur 54. Grondpatroon lichaamszwaartepunt en contacten skates

Met behulp van deze verkregen data zijn vervolgens meer gegevens te bepalen.

AFSTUDEERSCRIPTIE SKEELEREN

NADER ONDERZOCHT:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

Juni 2009

AFSTUDEERSCRIPTIE SKEELEREN

NADER ONDERZOECHT:

- DOUBLE PUSH VERSUS KLASSIEKE TECHNIEK
- MODELMATIGE BENADERING VAN HET AFZETPRINCIPE

Auteurs: Bram Versteeg & Arnout Mulder

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

1^e begeleider: T. Gerbrands

2^e begeleider: H. Faber

Juni 2009

VOORWOORD

Dit verslag is geschreven in het kader van het afstudeertraject van de opleiding Bewegingstechnologie.

Het verslag is met name bestemd voor de examencommissie, maar zeer zeker ook voor geïnteresseerden in de skeelersport die meer inzicht willen krijgen in de biomechanische principes bij het skeeleren, en dan met name over de verschillen en overeenkomsten tussen de klassieke techniek en double pushtechniek.

Tot slot willen wij nog enkele personen bedanken voor hun input en steun tijdens het afstudeertraject.

Allereerst gaat onze dank uit naar Tim Gerbrands, die een rustpunt voor ons vormde, waardoor we telkens duidelijk hebben kunnen analyseren waar we stonden en op welke manieren we verder konden gaan met het analyseren en modelleren. Tevens willen we hem bedanken voor de hulp bij de pilotmeting.

Ook gaat onze dank uit naar Herre Faber, die ons inzicht verschaft heeft in de afzetprincipes bij het schaatsen en skeeleren. Ook was zijn hulp bij het gebruik van Matlab als hulpmiddel om de data te analyseren een welkome bijdrage aan het project.

Den Haag, juni 2009

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	6
Symbolenlijst	7
1. Inleiding	8
2. Analyse	9
Ganganalyse	9
Houding	9
Gangcyclus	10
Biomechanische eigenschappen.....	10
Gangpatroon.....	11
Gangpatroon Klassiek	11
Contactfase.....	11
Bipedale rolfase	11
Unipedale rolfase.....	12
Afzetfase	12
Zwaai fase	13
Bijhaalfase	13
Rustfase	13
Plaatsingsfase	14
Gangcyclus	15
Gangpatroon double push.....	16
Contactfase.....	16
Mediale afzetfase	16
Rol-/trekfase.....	17
Gangcyclus	18
Grondpatronen videoanalyse.....	19
Positie lichaamsswaartepunt ten opzichte van de contactpunten	20
Klassieke techniek.....	20
Double push.....	22
Abducerende adducerende mogelijkheden tijdens de glijfases.....	23
Vergelijking klassiek en double push	24
Propulsiekrachten.....	26
X-component afzetkracht	28
Vermogen	29
Piekvermogen	30
X-component vermogen	30
Evaluatie en terugkoppeling.....	31
Afzetkracht	32
Vermogen	34
Theoretisch model.....	35
Wrijvingskrachten.....	39
Spiereigenschappen	41
Factoren voor spierkracht	41
Kracht-lengterelatie.....	42
Kracht-snelheidsrelatie.....	45
3. Pakket van voorwaarden	47
Voorwaarden	47

4.	Modelmatige simulaties	48
	Model 1: Krachtrichting bij versnellen vanuit stilstand	48
	Model 2: Verplaatsing bij versnellen vanuit stilstand	50
	Model 3: Toevoeging van gelijkblijvende snelheidsvector	51
5.	Evaluatie	52
	Toe-off voor afzet	52
	Wrijvingskrachten	52
	Afzetkracht	53
	Resultaat	54
6.	Discussie	55
	Videoanalyse	55
	Model 1	55
	Model 2	56
	Model 3	56
	Theoretisch model	56
7.	Conclusie	57
	Literatuur	58
	Bijlagen	59
	Bijlage I: Skeeleren op een lopende band	59
	Bijlage II: Beschrijving GUI	61

SAMENVATTING

Dit verslag beschrijft een onderzoek naar de verschillen van een steeds meer voorkomende techniek in de skeelersport, de double push. Omdat er weinig wetenschappelijke literatuur geschreven is over de double pushtechniek, wordt de techniek vergeleken met de klassieke skeelertechniek. Voor een beter inzicht in de technieken wordt een modelstudie gedaan naar de mechanische basisprincipes van het skeeleren.

Dit onderzoek heeft als doel het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke techniek en double pushtechniek. Met behulp van Matlab 7.6 zijn drie modellen vervaardigd, de input voor de modellen komt uit de ganganalyse van de double push en klassieke techniek.

Uit de analyse naar de geleverde afzetkrachten en vermogens bij de double push en klassieke techniek bleek dat beide technieken ongeveer eenzelfde vermogen leveren. De double pushtechniek verdeelt de kracht echter over twee opeenvolgende afzetten waardoor de piekbelasting lager is. De klassieke techniek bleek echter een grotere krachtcomponent te hebben die ten goede komt aan de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt. De methodes die zijn toegepast voor het berekenen van de grootte van de krachten en vermogen vragen echter om een validatie.

Om de mogelijke strektijden en afzetkrachten te bepalen voor het model is gekeken naar de spierfysiologie. Aan de hand van kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties zijn functies opgesteld voor de strekkracht.

De modelleringsfase heeft tot verschillende resultaten geleid.

Het eerste model beschrijft de krachtrichting bij het versnellen uit stilstand. Dit model berekent telkens de optimale afzethoek voor het verkrijgen van de meeste voorwaartse snelheid aan de hand van krachtvector analyse verkregen uit de mechanische basisprincipes. Uit het model bleek dat naarmate de snelheid toenam de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. Op een gegeven moment zal de afzetkracht geen snelheid meer toe kunnen voegen omdat de wrijvingskracht niet meer overwonnen kan worden.

Het tweede model beschrijft de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens het versnellen vanuit stilstand. Door de afzetkracht telkens voor een kleine tijdsinterval te bepalen, hier uit blijkt dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. De afwijking hiervan is zo groot dat dit model als incorrect beschouwt kan worden.

In het derde model, is met behulp van de verkregen afzetkracht (219 N) en snelheid (25 km/h) uit de afzetkracht analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Uit het onderzoek is gebleken dat de double push een voordeel heeft ten opzichte van de klassieke techniek. Over de precieze waarden zijn geen uitspraken te doen, hiervoor dient de methode voor het bepalen van de afzetkracht gevalideerd te worden. De modellen beschrijven de basisprincipes van het ontstaan van de baan van het lichaamszwaartepunt. Voor een verbetering van de voorspellende waarde van de modellen dienen de posities van het lichaamszwaartepunt en skatecontact meegenomen te worden.

SYMBOLENLIJST

Symbol	Betekenis	Eenheid
a	Indien gebruikt in de formule voor F_{Hill} : Hill-constante voor de isometrische kracht van een spier	N
	In alle andere gevallen: versnelling	m/s^2
A	Frontaal oppervlak	m^2
b	Hill-constante voor de maximale contractiesnelheid van een spier	m/s
c	Hill-constante voor het maximale vermogen dat door een spier geleverd kan worden	W
c_r	Rolweerstandcoëfficiënt, vormafhankelijk	-
c_w	Weerstandswaarde, vormafhankelijk	$\text{N}\cdot\text{s}^2\cdot\text{m}^{-4}$
dx	Verskil in positie in x-richting	m
dy	Verskil in positie in y-richting	m
F	Kracht	N
F_{Hill}	Kracht, gedefinieerd volgens Hill	N
F_r	Reactiekracht ten gevolge van de afzetkracht	N
F_{res}	Resulterende kracht, kracht die overblijft na optellen van alle heersende krachten	N
F_w	(Totale) Wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{lucht}}$	Lucht wrijvingskracht	N
$F_{w,\text{rol}}$	Rolwrijvingskracht	N
g	Zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
h	Heupbreedte	m
l	Spierlengte	m
m	Massa	kg
p	Dichtheid van het medium waardoor verplaatst wordt	
P	Vermogen	W
p_{lat}	Coëfficiënt die het percentage van het lichaamsgewicht men gebruikt bij het afzetten	-
r	Momentsarm	m
s	Beenlengte in het bovenaanzicht	m
s_x	Verplaatsing in x-richting	m
s_y	Verplaatsing in y-richting	m
T	Afzettijd, tijd waarin men afzetkracht levert	S
v	Snelheid	m/s
φ	Hoek	°
ω	Hoeksnelheid	°/s

1. INLEIDING

Toen Chad Hedrick in 1992 ten tonele kwam met de double push en veel wedstrijden ging winnen werd de double pushtechniek toegepast over de hele wereld. Tegenwoordig is er bijna geen wedstrijdrijder meer die zonder een vorm van double push rijdt. De double push wordt uitgevoerd in verschillende stijlen en iedereen heeft hier zijn of haar mening over.

Er is geen wetenschappelijke literatuur beschikbaar over waarom de double push nu de voorkeur heeft boven de klassieke techniek.

In dit onderzoek worden daarom bepaalde aspecten van de double push en klassieke techniek behandeld en vergeleken. Met behulp van modelmatige voorstellingen van het afzetmechanisme en ganganalyses zullen deze aspecten geanalyseerd worden.

Skeeleraars en trainers interpreteren de double pushtechniek allemaal anders en de meningen erover verschillen van persoon tot persoon. Er is echter geen duidelijkheid over wat het voordeel van de double push is ten opzichte van de klassieke techniek, en of er überhaupt wel een voordeel is.

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen tussen de klassieke en double pushtechniek.

Hiervoor kunnen de volgende deelvragen gesteld worden:

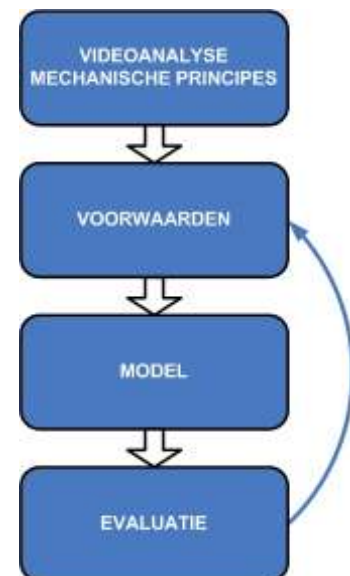
- Hoe ziet het gangpatroon eruit?
- Welke techniek heeft de voorkeur?
- Welke variabelen spelen een rol bij het uitvoeren van de beweging?
- Hoe wordt de voorwaartse snelheid gegenereerd?

In de analysefase zal allereerst in worden gegaan op enkele biomechanische principes die van toepassing zijn op de twee skeelertechnieken. Aan de hand van een videoanalyse zullen zowel de klassieke techniek als de double pushtechniek met elkaar vergeleken worden om vervolgens aan de hand van de verkregen data een uitspraak te doen over welke techniek kan leiden tot een verbetering van de prestatie. Ook zal gekeken worden naar enkele spierfysiologische aspecten. Met de verkregen gegevens zullen voorwaarden gesteld worden waar het model moet voldoen.

In de modelleringsfase wordt aan de hand van de gestelde voorwaarde enkele modellen vervaardigd die een voorspelling doen over hoe het grondpatroon er uit komt te zien bij een verandering van variabelen.

De modellen die vervaardigd zijn zullen aan de hand van het gangpatroon in de analyse worden getest.

Terugkoppeling naar de in de analyse opgedane kennis en de daaruit komende voorwaarden zal plaatsvinden tijdens de evaluatiefase.



2. ANALYSE

In deze analyse zal de praktische analyse naar het verschil in klassieke techniek en double pushtechniek bij het skeeleren besproken worden. Tevens zal het theoretische model besproken worden, dit model is in een latere fase gebruikt bij het simuleren van het afzetten bij skeeleren.

GANGANALYSE

Om duidelijkheid te scheppen over wat er in welke fases gebeurt zal in dit hoofdstuk het algemene gangpatroon van de klassieke en de double push worden beschreven.

HOUDING

De basishouding voor de klassieke techniek is samen te vatten in vijf punten [1], zie ook figuur 1:

- Voeten op schouderbreedte
- Voeten zo veel mogelijk naar voren gericht
- Kniehoek van ongeveer 100 graden
- Romphoek ten opzichte van horizontaal 30 tot 45 graden met licht gebolde wervelkolom
- Projectie van het lichaamszwaartepunt ligt ongeveer $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{2}$ voetlengte voor de dorsale zijde van de calcaneus

Voor de double pushtechniek gelden in principe dezelfde richtlijnen, alleen de kniehoek zal bij double push groter zijn (kniehoek van ongeveer 110 graden).



shouding [1]

GANGCYCLUS

Het skeeleren met de klassieke techniek heeft veel weg van de schaatstechniek zowel biomechanisch als fysiologisch [2].

Voor een beter beeld van de gangcyclus dienen eerst een paar biomechanische eigenschappen van het skaten begrepen te worden.

Biomechanische eigenschappen

De volgende tekst is verleend aan H.N. Oonk [3].

Bij skeeleren wordt niet afgezet tegen een stilstaande ondergrond. De skeeler rolt mee in de bewegingsrichting van de skeeleraar. Toch moet met de skeeler, die een minimale glijdende wrijving heeft, worden afgezet. De skeeler moet dus vooruit rollen terwijl tegelijkertijd een kracht op de skeeleraar moet werken die een component heeft in de rijrichting. Dit bereikt de skeeleraar door zijn afzetkracht haaks op de bewegingsrichting van de skeeler te richten. Deze kracht zal ongeveer door het lichaamszwaartepunt moeten gaan omdat er anders te veel compensatoire bewegingen van lichaamsdelen moeten optreden om toch in evenwicht te kunnen blijven. Waar de luchtweerstand en de rolweerstand overwonnen moeten worden en elke afzet wordt versneld, moet de propulsiekracht een component hebben in de rijrichting. De afzet moet dus zodanig gericht zijn dat de skeeler doorgaat met rollen terwijl er een voorwaartse component op de afzetskeeler werkt. Vandaar dat tijdens het afzetten de skeeler een hoek moet maken met de rijrichting, omdat er anders geen krachtcomponent in de rijrichting aanwezig is. Dit principe geeft de mogelijkheid dat met skeeleren een hogere snelheid bereikt kan worden dan bijvoorbeeld met hardlopen. Bij hardlopen loopt het afzetpunt niet mee met het zwaartepunt en zal de snelheid voorwaarts nooit groter worden dan de snelheid waarmee het art. coxae geretroflecteerd kan worden. Door het meelopen van de afzetskeeler hoeft er telkens maar een kleine component in voorwaartse richting geleverd te worden om op snelheid te blijven. Om het meelopen van de afzetskeeler en de toegevoegd voorwaartse component te realiseren, dient er ook een component in zijwaartse richting te zijn. De sinusvormige baan die het zwaartepunt daardoor beschrijft is typerend voor het skaten. De hoek waar onder afgezet dient te worden is afhankelijk van de snelheid, dit principe wordt verder beschreven bij het theoretische model (vanaf pagina 35).

Voorwaarden:

- **De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht**
- **De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt**
- **De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting**

GANGPATROON

Tijdens het skeeleren bevinden de voeten zich afwisselend op de ondergrond (contactfase) en los van de ondergrond (zwaafase). De fases zijn elk weer onder te verdelen in verschillende kortere fases. Er is een complete afzetcyclus is beschreven vanaf het moment dat skatecontact plaats vindt van het rechterbeen.

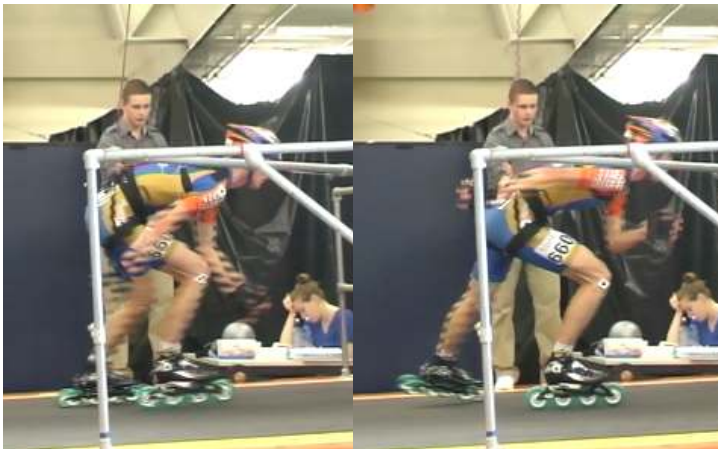
Gangpatroon Klassiek

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is onder te verdelen in drie verschillende fases.

Bipedale rolfase

Deze fase (figuur 2) is gedefinieerd als het moment dat de rechter skate wordt neergezet en met alle vier of vijf wielen (afhankelijk van het type skeeler) de grond raakt (skatecontact) tot het moment van toe-off van het linkerbeen. In sommige gevallen treedt er eerst een hielcontact op, dit is niet altijd het geval. Daarom wordt volledig contact beschouwd als het eerste contact. Tijdens deze fase vindt voornamelijk een abductie en retroflexie in het art. coxae plaats en een extensie in het art. genus en bovenste spronggewricht plaats. In deze fase wordt het zwaartepunt boven het nieuwe standbeen geplaatst.



Figuur 2. Bipedale rolfase

Links: skatecontact rechts

Rechts: toe-off links

Unipedale rolfase

De unipedale fase (figuur 3) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het linker afzetbeen tot het moment dat het contactpunt van het rechterbeen lateraal van het zwaartepunt komt te liggen. Tijdens deze fase vindt er voornamelijk een lichte abductie plaats in het art. coxae.



Figuur 3. Sagittaal en dorsaal aanzicht unipedale rolfase

Afzetfase

De afzetfase (figuur 4) begint bij het eindigen van de unipedale rolfase van het rechterbeen en eindigt bij toe-off van het rechter afzetbeen. Gedurende deze fase vindt er ten opzichte van de romp voornamelijk een retroflexie, abductie plaats in het art. coxae plus een extensie in het art. genus en een plantairflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 4. Dorsaal en sagittaal aanzicht afzetfase

Zwaaifase

De zwaaifase is de fase dat het been geen contact maakt met de ondergrond, deze fase is onder te verdelen in drie fases.

Bijhaalfase

De bijhaalfase (figuur 5) is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechterbeen tot rustmoment van het rechterbeen (het moment dat het been stil hangt ten opzichte van de romp). Tijdens deze fase vindt voornamelijk een adductie en anteflexie plaats in het art. coxae en een flexie in het art. genus en een dorsaalflexie in het bovenste spronggewricht.



Figuur 5. Bijhaalfase

Links: toe-off rechts

Rechts: rustmoment rechts

Rustfase

De rustfase (figuur 6) is gedefinieerd als het einde van de bijhaalfase tot het moment dat door de anteflexie in het art. coxae de rechter knie dorsaal en mediaal van de linkerart. genus komt. De rustfase is niet altijd aanwezig. Dit is afhankelijk van het slagritme, hoe hoger het ritme des te korter de rustfase. De rustfase kenmerkt zich door een afhangend been ten opzichte van het art. coxae en een flexie in het art. genus. Gedurende deze fase vindt er geen verplaatsing van plaats van het rechterbeen ten opzichte van de romp.



Figuur 6. Dorsaal en sagittaal aanzicht rustfase

Plaatsingsfase

De plaatsingsfase (figuur 7) is gedefinieerd als het einde van de rustfase tot skatecontact. Tijdens deze fase wordt het been voornamelijk met behulp van een anteflexie in het art. coxae naar ventraal gebracht tevens vindt er een flexie plaats in het art. genus.



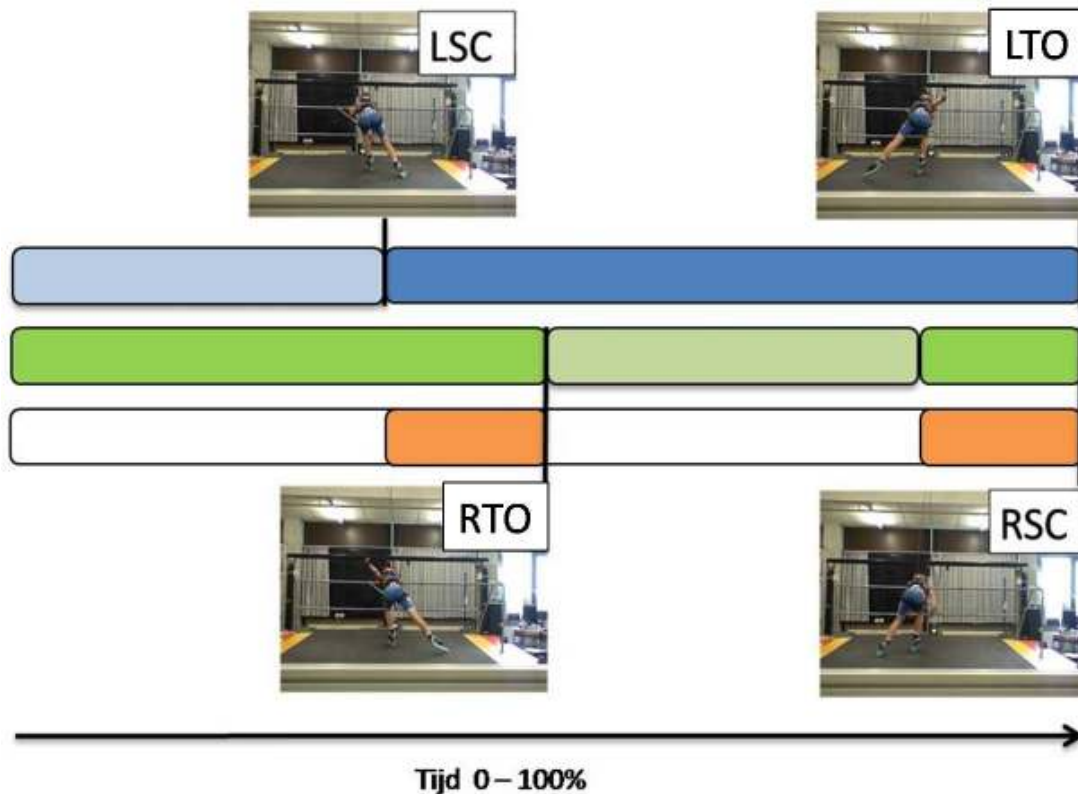
Figuur 7. Bijhaalfase

Links: rustfase rechts

Rechts: skatecontact rechts

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden. Het dient opgemerkt te worden dat het skeeleren op een lopende band voor de proefpersoon niet geheel te vergelijken is met skeeleren op asfalt. Dit heeft vermoedelijk te maken met de positie van het lichaamszwaartepunt ten opzichte van het steunvlak en het moeten aanpassen van de afzetkracht aan de snelheid en hellingshoek, in plaats van dat de snelheid zich aanpast aan de afzetkracht. Het gevolg hiervan zullen kleine verschillen zijn in afzettijden en rustfases [zie bijlage I].



	Grondcontact linker skate	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate	LTO	Linker toe-off
	Bipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Unipedale fase	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase links		
	Zwaai fase rechts		

Figuur 8. Gangcyclus klassiek techniek

Gangpatroon double push

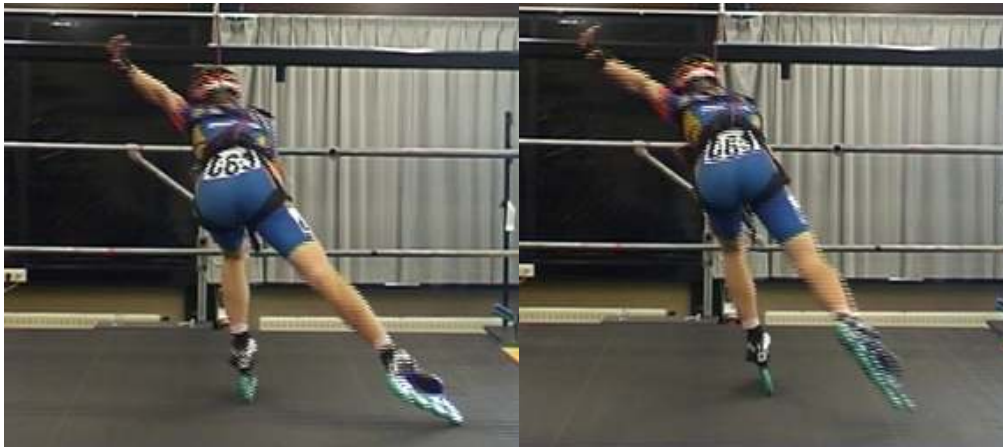
De gangcyclus van de double push heeft veel weg van de klassieke techniek, op een paar essentiële verschillen na. Bij de beschrijving van de gangcyclus zal daarom ingehaakt worden op het beschreven gangpatroon van de klassieke techniek.

Contactfase

De contactfase is de fase waarin de skate contact maakt met de grond, deze fase is bij de double push onder te verdelen in vier verschillende fases.

Mediale afzetfase

De mediale afzet (figuur 9) volgt de bipedale rolfase op. De mediale afzetfase is gedefinieerd als het moment van toe-off van het rechter afzetbeen tot het moment dat er een richtingsverandering van mediaal naar lateraal plaatsvindt van het linker afzetbeen (mediale eindstand). Gedurende deze fase vindt er voornamelijk adductie in het art. coxae plaats en een overhelling van de romp naar de laterale zijde van het mediale afzetbeen. Ook is er een lichte extensie in het linker art. genus.



Figuur 9. Mediale afzetfase

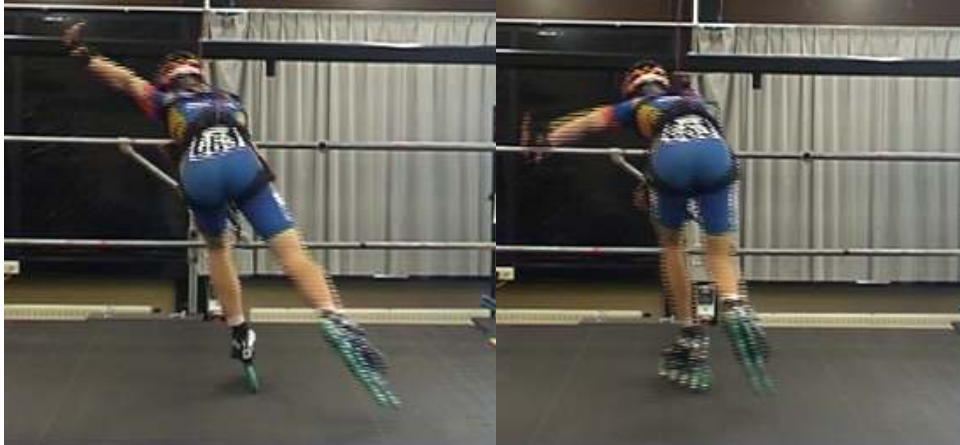
Links: toe-off rechter afzetbeen

Rechts: Verplaatsing linkerbeen naar mediaal

Rol-/trekfase

De rolfase (figuur 10) is gedefinieerd als het moment van mediale eindstand tot het moment dat het contactpunt van het linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt komt te liggen.

De rolfase bij de double push is te zien als een herstelfase waarin het linker afzetbeen weer het standbeen wordt zonder contact met de grond te verliezen. De rolfase wordt weer opgevolgd door de laterale afzetfase.



Figuur 10. Rol-/trekfase

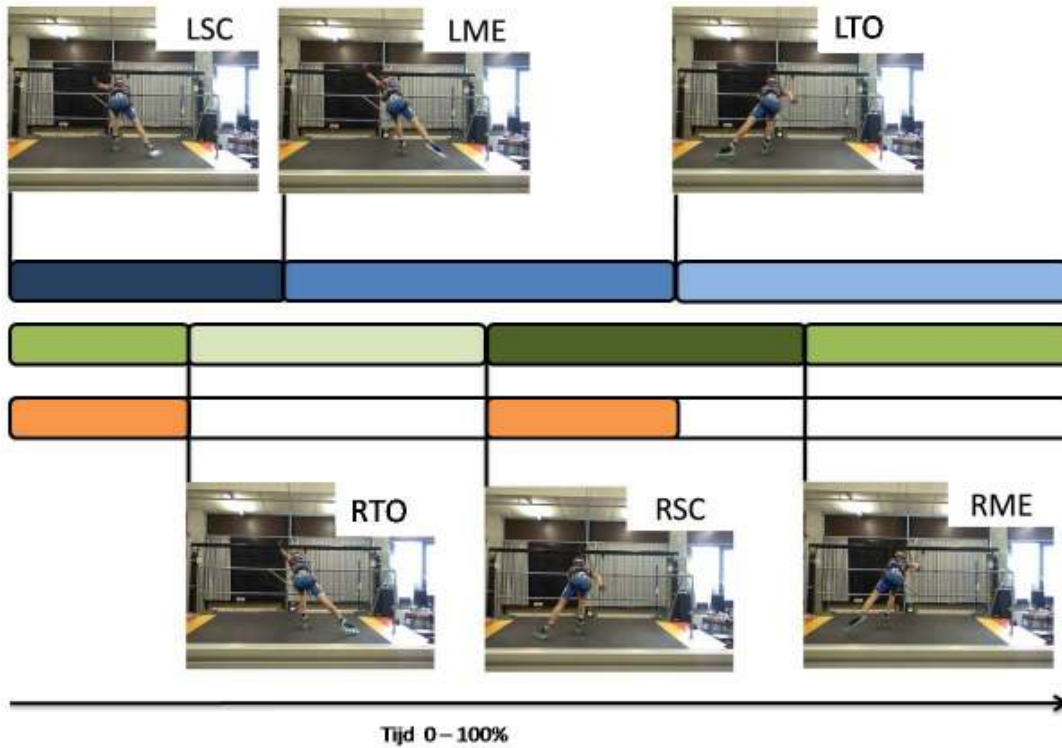
Links: mediale eindstand linkerbeen

Rechts: contactpunt linkerbeen lateraal van het lichaamszwaartepunt

De glij-/trekfase en de mediale afzetfase zijn de enige verschillen van het gangpatroon van de double push ten opzichte van het klassieke gangpatroon.

Gangcyclus

Om een beeld te vormen van de duur van de verschillende fases is in onderstaand schema een gangcyclus gemaakt van de contact- (bipedaal/unipedaal) en de zwaai fase. Deze gangcyclus geldt voor een snelheid van de lopende band van 25 km/h en een hellingshoek van 2,5 graden.



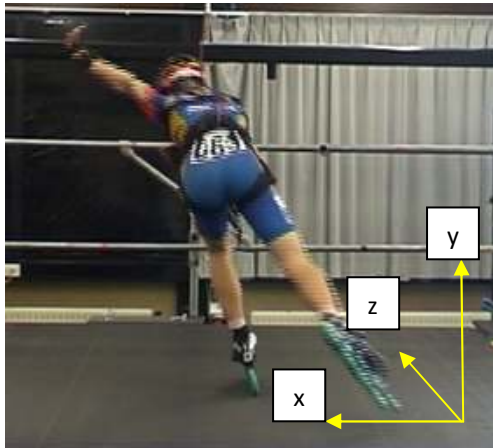
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in laterale richting	LSC	Linker skatecontact
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in laterale richting	LME	Linker mediale eindstand
	Bipedale fase	LTO	Linker toe-off
	Unipedale fase	RSC	Rechter skatecontact
	Zwaai fase links	RTO	Rechter toe-off
	Zwaai fase rechts	RME	Rechter mediale eindstand
	Grondcontact linker skate met verplaatsing in mediale richting		
	Grondcontact rechter skate met verplaatsing in mediale richting		

Figuur 11. Gangcyclus double push

GRONDPATRONEN VIDEOANALYSE

Voor het verkrijgen van de gegevens van de afzetlengtes (afstand die de skate aflegt) en -tijden om in latere fase het model te testen, is een pilotmeting gedaan. Een landelijk B-rijder die tot in zekere mate de double push beheerst is getest.

De meting is uitgevoerd op de lopende band van de Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit Bewegingswetenschappen. Een camera is dorsaal van de proefpersoon geplaatst, de andere sagittaal. De data uit de videoanalyse is verwerkt met behulp van een GUI (Graphical User Interface) in Matlab. Een beschrijving van deze verwerking vindt u in bijlage II.



Figuur 12. Assenstelsel zoals gebruikt in de GUI

In deze GUI is het mogelijk alle gewrichten en de contactpunten van de skeelers aan te klikken. Vervolgens berekent de GUI de positie van het lichaamszwaartepunt op de x-as. Omdat de snelheid van de loopband bekend is, is het mogelijk de aangeklikte punten weg te zetten over een afstand in de z-as. Deze waarden worden weggeschreven in de volgende matrix (figuur 13):

Y beeld 3	X beeld 3
Y beeld 2	X beeld 2
Y beeld 1	X beeld 1

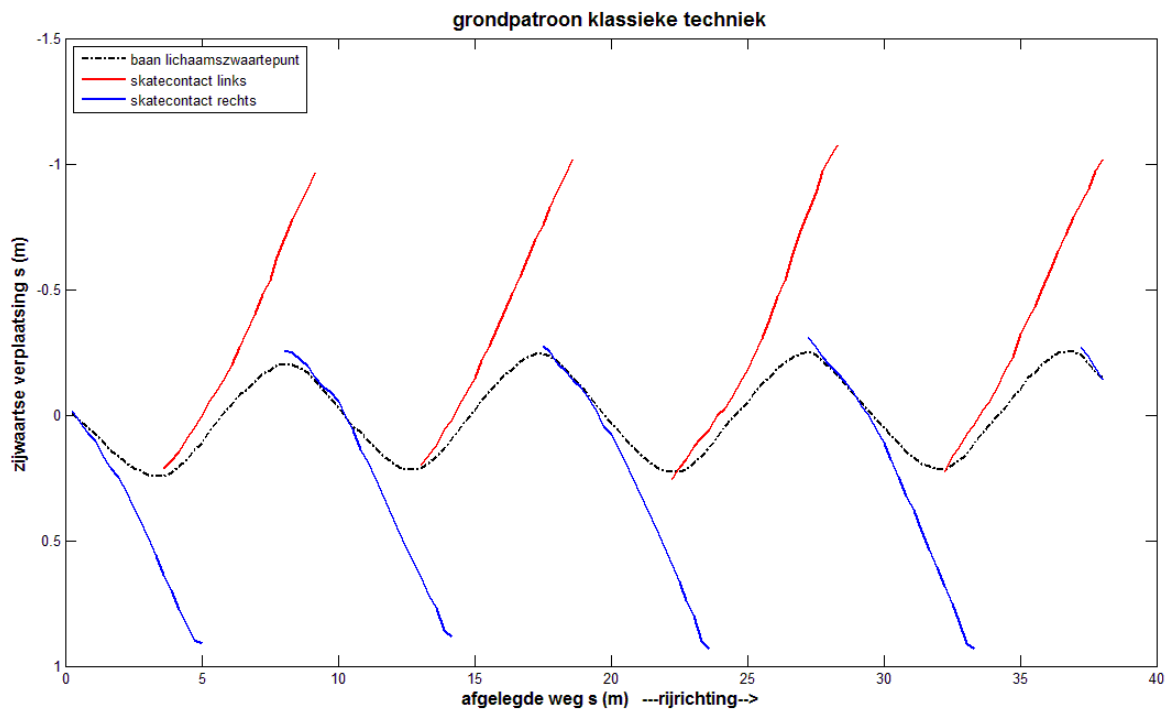
Figuur 13. Matrix voor wegschrijven data

Door de z-richting tegenover de x-richting te plotten ontstaat er een projectie van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten op de grond. De sinusvormige curve die het lichaamszwaartepunt beschrijft is geplaatst op een centerline op de x-as bij 0 met behulp van een correctiefactor (gemiddelde waarde van x). Dit betekent dat aan één kant de verplaatsing negatief is en aan de andere zijde positief. Met behulp van dit grondpatroon zijn een aantal gegevens bepaald:

- Positie lichaamszwaartepunt ten opzichte van de contactpunten
- Afzetlengtes en -tijden
- Snelheden en versnellingen van het lichaamszwaartepunt en contactpunten gedurende de cyclus
- Slagfrequentie

POSITIE LICHAAMSZWAARTEPUNT TEN OPZICHTE VAN DE CONTACTPUNTEN

Klassieke techniek



Figuur 14. Grondpatroon klassieke techniek

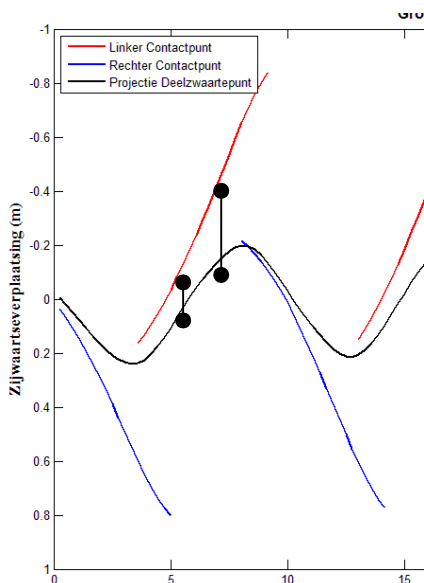
Rood: contacten linker skate

Zwart: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

In figuur 14 en 15 is de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en het skatecontact, geprojecteerd op de ondergrond, weergegeven. In het patroon is te zien dat het skatecontact altijd plaats vindt in de buurt van het zwaartepunt.

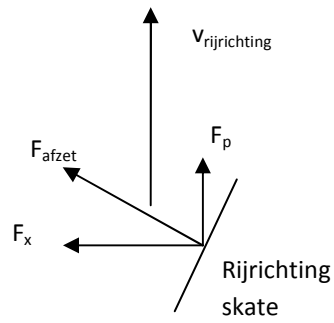


Figuur 15. Zijwaartse verplaatsing skate bij klassieke techniek

Zwarte lijn tussen bollen: afstand tussen skate en projectie lichaamszwaartepunt

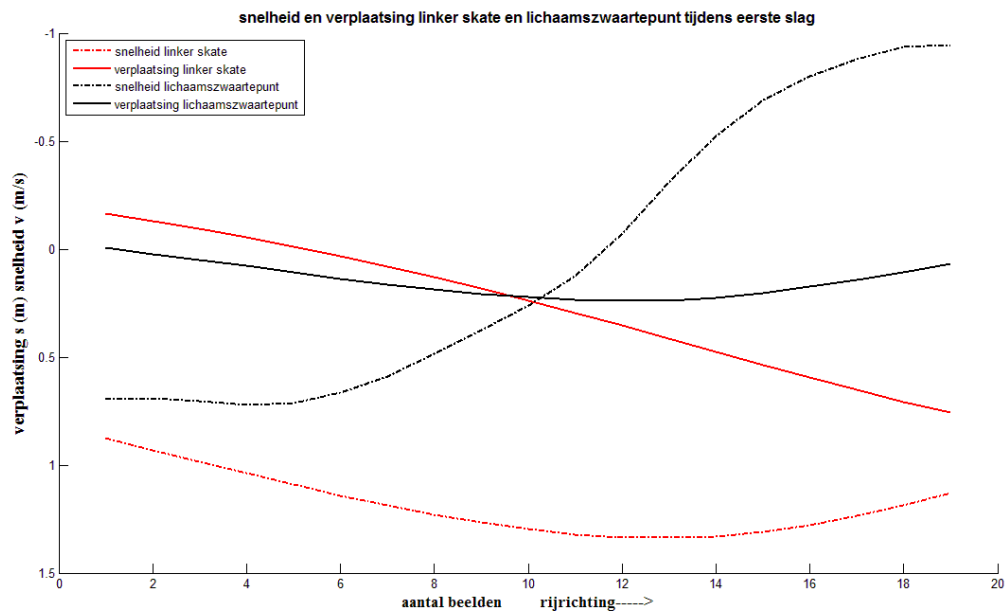
Een andere opmerkelijke constatering is dat de zijwaartse verplaatsing van de skate vrijwel na skatecontact groter is dan die van het lichaamszwaartepunt. Naarmate de voorwaartse verplaatsing toeneemt wordt het verschil in verplaatsing in zijwaartse richting steeds groter ten opzichte van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt, waarvoor de volgende verklaring is:

Met een extensie in het art. coxae en art. genus is het mogelijk om het lichaamszwaartepunt te verplaatsen ten opzichte van het contactpunt. Dit aspect kan alleen maar plaatsvinden na het moment van toe-off. Voor die afzet is het noodzakelijk dat de skate onder een hoek staat ten opzichte van de rijrichting (zie pagina 35 en 36). Hierdoor behoudt de skate zijn rijrichting en verandert de richting van het lichaamszwaartepunt.



Figuur 16. Richting afzetkracht
Rechts: assenstelsel

De verandering van verplaatsingssnelheid van het lichaamszwaartepunt vindt pas plaats op het moment dat de toe-off nadert (figuur 17).



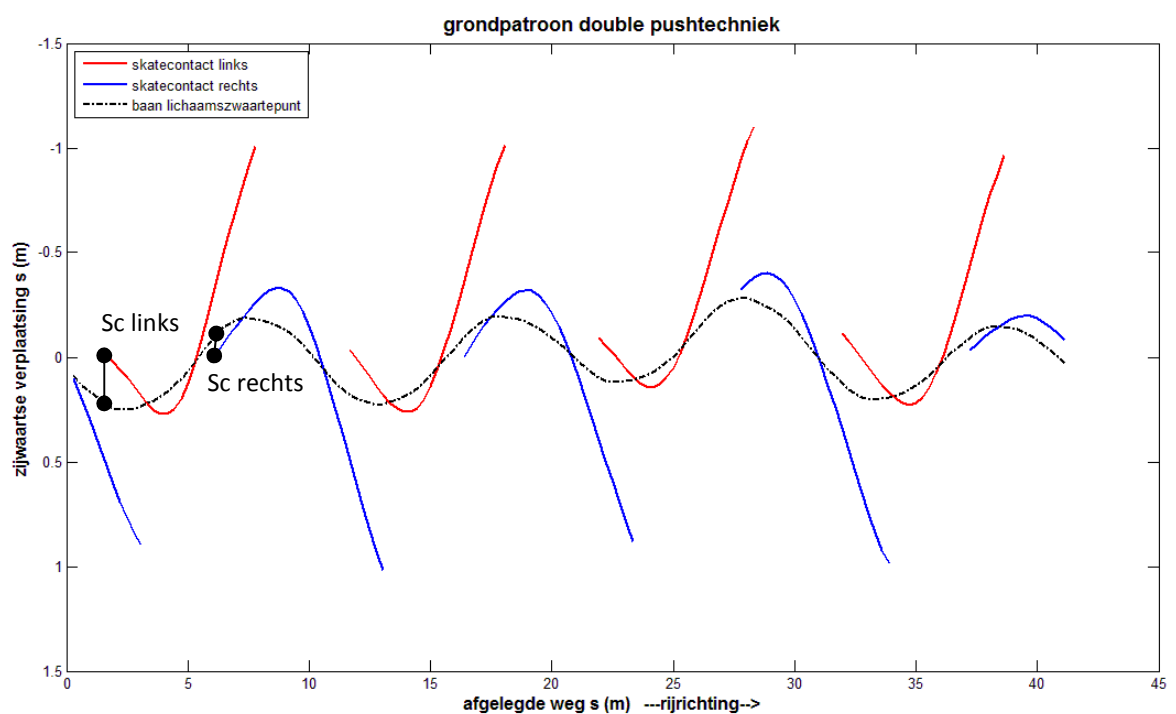
Figuur 17. Snelheid en verplaatsing linker skate en lichaamszwaartepunt
Rood, streep en punt: snelheid linker skate
Rood: verplaatsing linker skate
Zwart, streep en punt: snelheid lichaamszwaartepunt
Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

In de hiervoor behandelde aspecten is alleen uitgegaan van de extensiemogelijkheden in de heup en knie, en is er geen rekening gehouden met de abducerende kracht van de m. gluteus medius. Op pagina 23 en 24 zal hier verder op in worden gegaan.

Voorwaarde:

- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt.
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven.

Double push



Figuur 18. Grondpatroon double pushtechniek

Rood: contacten linker skate

Zwart, streep en punt: projectie lichaamszwaartepunt

Blauw: contacten rechter skate

Schaling assen is niet 1:1

Het gangpatroon van de double push van deze proefpersoon is niet helemaal symmetrisch. Het linker skatecontact (zie Sc links in figuur 18) vindt verder van het zwaartepunt plaats dan het rechter (Sc rechts in figuur 18). Het gevolg is dat bij het rechterbeen de mediale afzetfase plaatsvindt op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt maximaal is. Bij het linkerbeen vindt de mediale afzetfase pas begint op het moment dat de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt weer afneemt. Dit geldt voor de gehele cyclus. Het linker standbeen legt in totaal dus meer afstand af in de bipedale rolfase.

Naar aanleiding van deze waarneming is tijdens een clinic een gesprek geweest met Scott Arlidge (drievoudig wereldkampioen skeelers). Aan de hand van dit gesprek worden hieronder de beweringen van Scott Arlidge op een rij gezet.

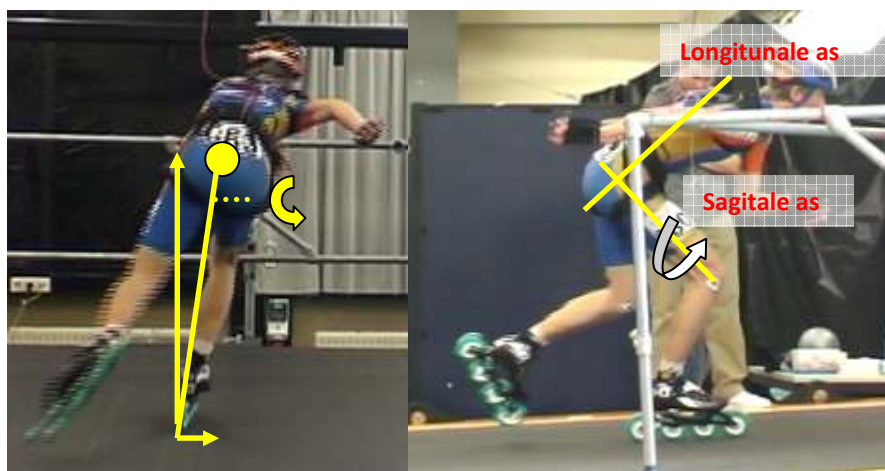
Hij beweert dat sterke skeelers eerder kiezen voor een plaatsing van skatecontact meer lateraal van het lichaamszwaartepunt, om de benen iets meer rust te geven door een glijfase in te voegen, maar vervolgens wel een grotere mediale uitslag te maken. Mensen met minder kracht zoals hij kiezen voor een plaatsing rond het zwaartepunt maar ook voor een constante afzet en druk op de skeelers. Dus eigenlijk kiezen deze mensen voor een hoge frequentie in plaats van lengte in de slagen. Een nadeel wordt ondervonden bij lange rechte stukken bij hoge snelheden, want het vermogen per afzet is minder. Wil je met een klein vermogen per afzet meer vermogen gaan leveren dan dien je de frequentie nog meer te verhogen of de slag te verlengen. Mensen met een lange slag kunnen met een kleinere frequentieverhoging procentueel meer vermogen leveren en zijn dus in het voordeel bij hogere snelheden. Bij veel versnellingen en vertragingen is het omgekeerde het geval. Het is te vergelijken met een lichter verzet tijdens het fietsen.

ABDUCERENDE ADDUCERENDE MOGELIJKHEDEN TIJDENS DE GLIJFASES

In voorgaande paragrafen werd de abductie en adductie niet meegenomen in de afzetmogelijkheden. In deze paragraaf zal bekeken worden wat voor een bijdrage de abductie eventueel kan leveren.

Wanneer vanuit de anatomische houding er abductie in de heup plaatsvindt, dan gebeurt dit om de sagittale as in het frontale vlak. Het abducerende moment (109 N/m) dat de gluteusspieren en de m. tensor fasciae latae isokinetisch kunnen leveren verschilt dan niet zoveel ten opzichte van de extenderende moment (120 N/m) van de heup [4]. In dit geval zal er geen twijfel over bestaan dat een abductie wel degelijk positief bij kan dragen aan het leveren van een kracht voor de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Echter, de positie waarin het abducerend moment het belangrijkst is, is het moment waar het contactpunt in de buurt van het zwaartepunt ligt. In het sagittale vlak is op dat moment sprake van een flinke anteflexie ten opzichte van de anatomische stand.



Figuur 19. Adductiemogelijkheid in het heupgewricht

Links: dorsaal aanzicht, rechterbeen is licht geadduceerd

Rechts: assenstelsel voor bewegingsmogelijkheden in het heupgewricht

Wil de skater op dit moment de skate naar lateraal duwen, dan zou dit moeten gebeuren met een combinatie van exorotatie en extensie in het heupgewricht. Het exoroterende moment is veel kleiner dan het extenderende moment (concentrisch isometrische kracht), 53 N/m tegenover 130 N/m gemiddeld [4].

Geconcludeerd kan worden dat de mogelijke bijdrage van ab- en adductie te betwifelen is. Om de werkelijke bijdrage verder te onderzoeken zou een systeem dat het moment en de kracht op de skate meet volstaan, een EMG-meting tijdens het skeeleren zou ook een weergave geven van de spieractiviteit.

Voorwaarde:

- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekketen van het art. coxae en art. genus

VERGELIJKING KLASSIEK EN DOUBLE PUSH

In voorgaande paragrafen zijn de klassieke techniek en double pushtechniek onafhankelijk van elkaar behandeld. In deze paragraaf zal gekeken worden welke techniek de voorkeur heeft. Alle uitspraken die worden gedaan in de komende paragrafen zijn uitspraken van waarden in het frontale vlak.

Bij skeeleren gaat het er om je lichaam over een bepaalde afstand te verplaatsen in een zo kort mogelijke tijd. Er zijn vier gegevens die er wat over zeggen:

$$v = \frac{s}{t}$$
$$F = m \cdot a$$

$$W = F \cdot s$$

$$P = F \cdot v$$

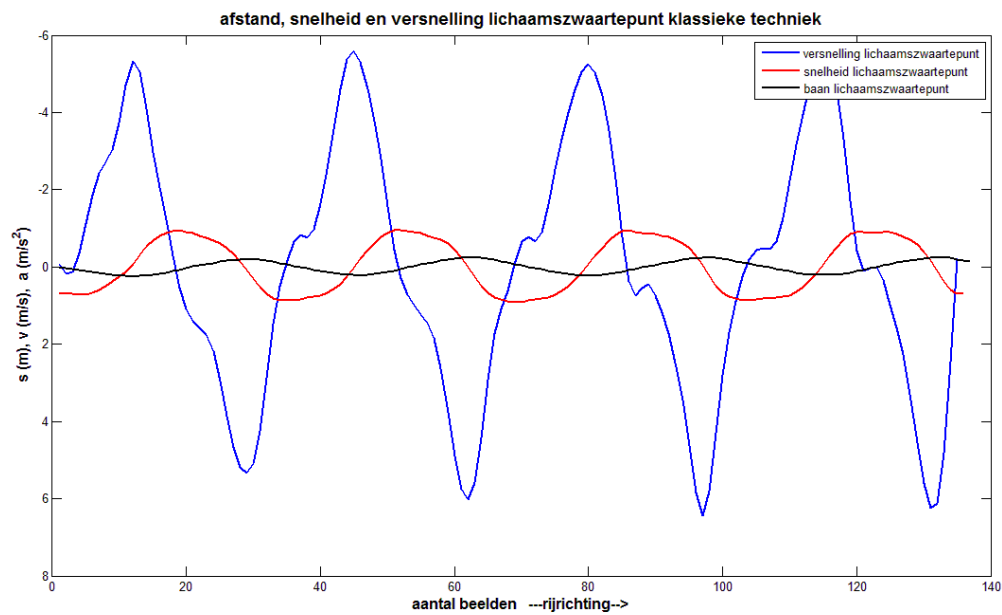
De vergelijking tussen de twee technieken zal gedaan worden aan de hand van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de tijd waarin deze verplaatsing tot stand komt. Er is gekozen voor deze zijwaartse snelheid omdat de voorwaartse snelheid constant is (bij zowel double push als klassieke techniek). Indirect betekent dit dat hoe groter de zijwaartse snelheid is, hoe ongunstiger afgezet wordt, omdat er mogelijk meer vermogen in voorwaartse richting geleverd had kunnen worden.

De pilotmeting levert data op in de vorm van afstand en tijd van de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt en de contactpunten, ook de voorwaartse snelheid is bekend. Dit geeft de mogelijkheid de snelheid en versnelling van het lichaamszwaartepunt in zijwaartse richting te bepalen door het differentiëren van de afstand naar de snelheid en versnelling.

$$v = \dot{s} = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \dot{v} = \frac{dv}{dt}$$

Wanneer deze differentiaties weergegeven worden in grafieken vormt zich het onderstaande beeld (figuren 20 en 21):

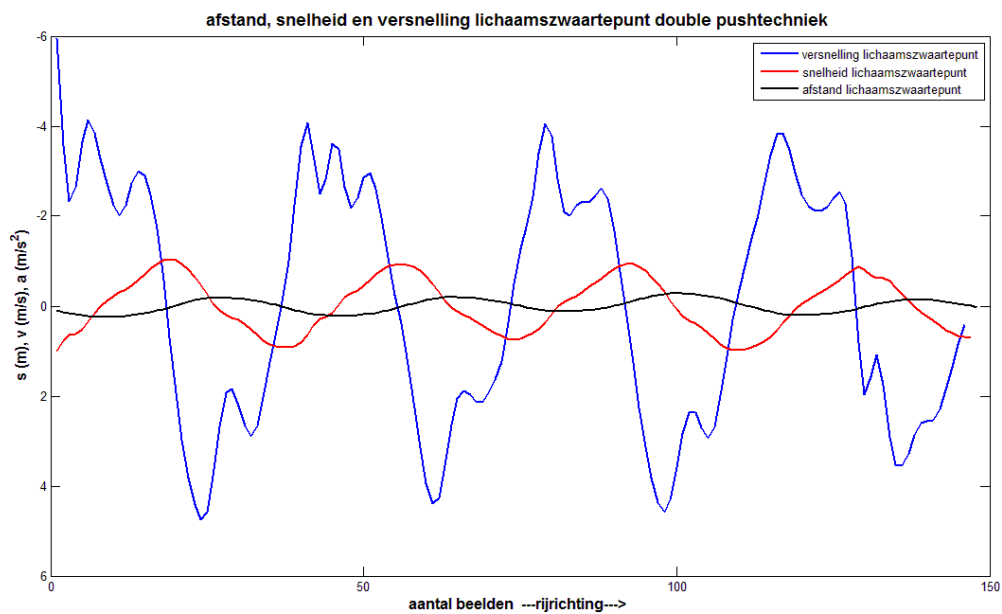


Figuur 20. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij klassieke techniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt



Figuur 21. Verplaatsing, snelheid en versnelling lichaamszwaartepunt bij double pushtechniek

Zwart: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

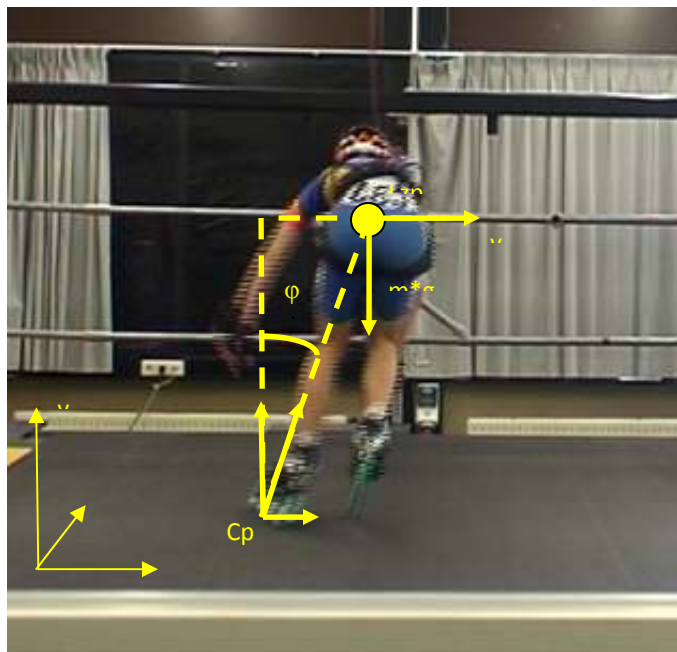
Blauw: versnelling lichaamszwaartepunt

Wat gelijk opvalt is dat de double push een lagere piekversnelling heeft in vergelijking met de klassieke techniek, maar dat deze enigszins fluctueert. Er is dus een effect waar te nemen ten gevolge van de double push. In de volgende paragrafen zal gekeken worden hoe groot dit effect is en of het een nadeel of voordeel oplevert.

Propulsiekrachten

Voor het bepalen van de bijdrage van de mediale afzet op de voorwaartse snelheid dienen de vectoren van de afzetkrachten bekend te zijn.

De videobeelden lenen zich voor het bepalen van deze afzetkracht wanneer we de beweging beschrijven ten opzichte van een met de skeeler meebewegend assenstelsel (figuur 22). Ten opzichte van dit van dit assenstelsel is de afzet vergelijkbaar met een sprong in zijwaartse richting. Waarbij het lichaamszwaartepunt in x en y-richting wordt versneld. Wanneer er aangenomen wordt dat het zwaartepunt op een constante hoogte boven de grond blijft en de skeeleraar als een puntmassa wordt opgevat, is het mogelijk de afzetkracht te bepalen als functie van de hoek die het lichaamszwaartepunt maakt met verticaal (figuur 22).



Figuur 22. Bepaling propulsiekrachten

$$F_z = m \cdot g$$

$$F_a = \frac{F_z}{\cos(\varphi)}$$

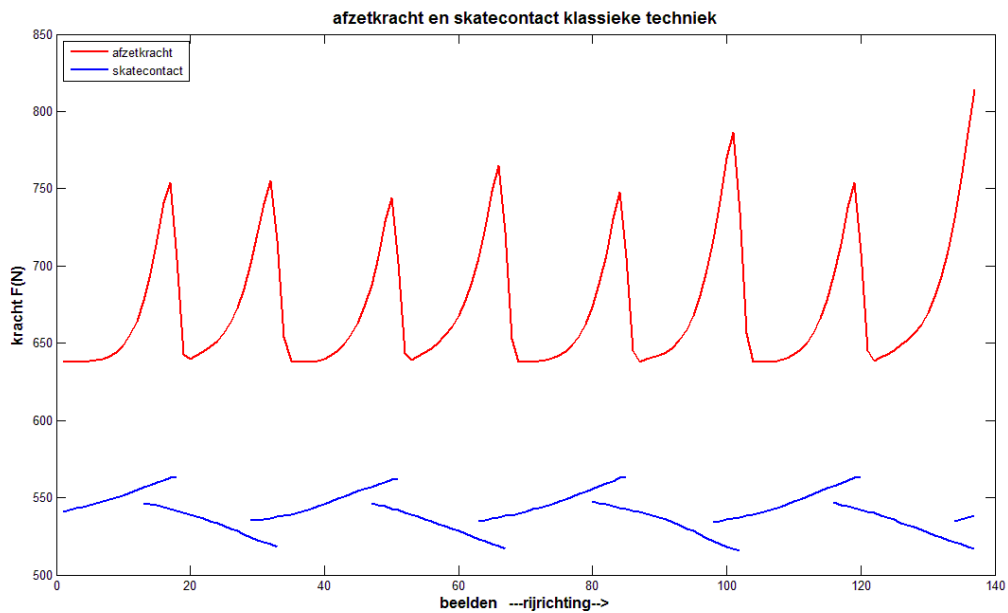
$$\varphi = \arctan\left(\frac{s_y}{s_x}\right)$$

$$s_y = LZP_y - C_{p,y}$$

$$s_x = LZP_x - C_{p,x}$$

Voor het bepalen van de afzetkracht is gebruik gemaakt van de dataset die verkregen is bij de projectie van het lichaamszwaartepunt op de ondergrond. Bij de benadering van de afzetkracht is het contactpunt van de rechter skeeler gedefinieerd als toe-off linkerbeen tot toe-off rechterbeen, en omgekeerd voor de linker skeeler. In de figuren 23 en 24 is het verloop van de afzetkracht te zien. Ter illustratie zijn onder het verloop

van de afzetkracht de afzetten van de linker en rechter skeeler geplot, deze houden geen verband met de verticale as, maar dienen slechts als illustratie hoe het krachtsverloop bij de afzet is.

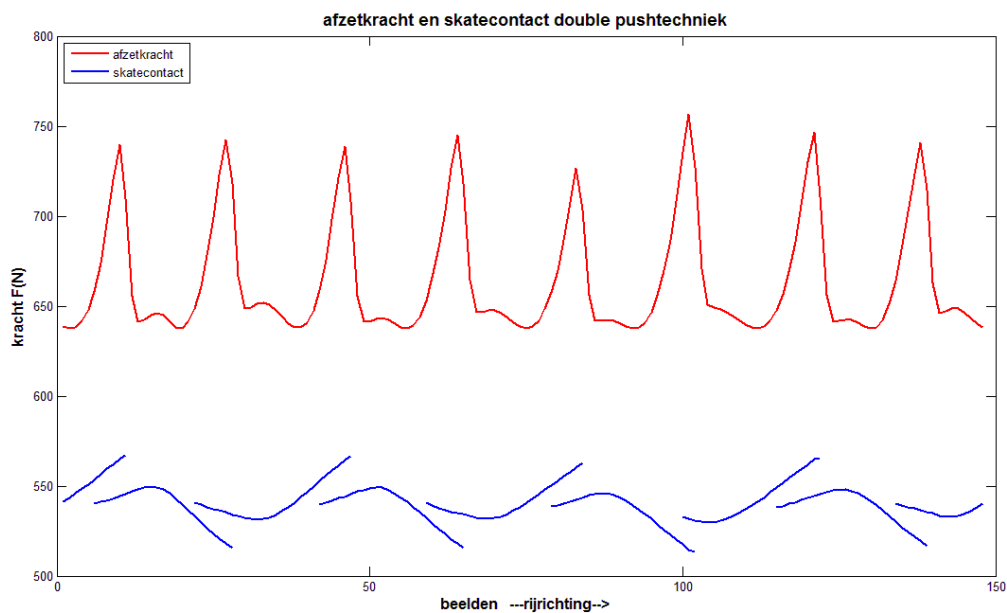


Figuur 23. Afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

Gemiddelde kracht: 674 N



Figuur 24. Afzetkracht bij de double pushtechniek

Rood: afzetkracht

Blauw: contacten links en rechts, deze hebben geen verband met de verticale as maar dienen slechts ter illustratie

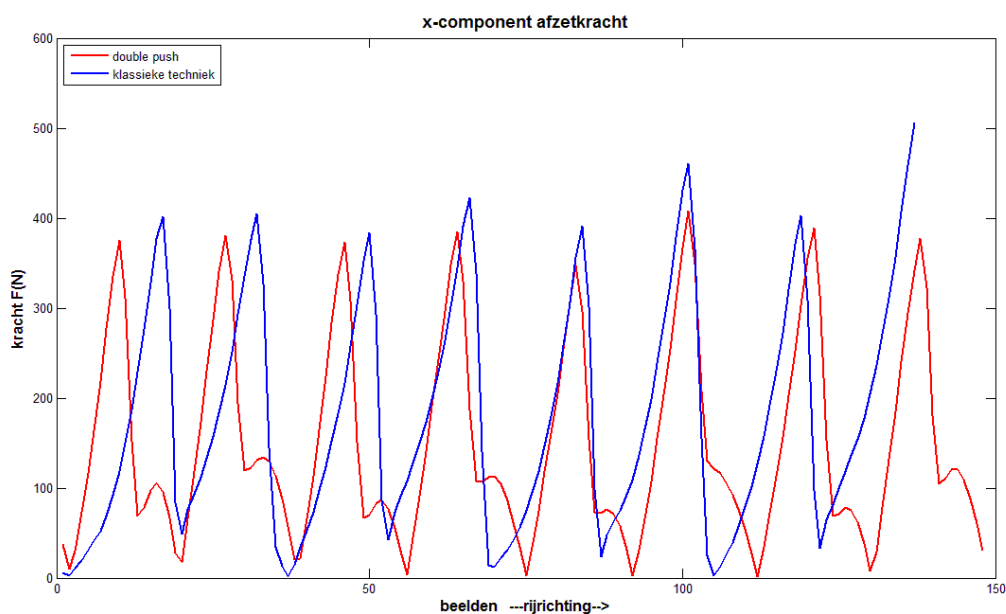
Gemiddelde kracht: 664 N

Uit onderzoek naar afzetkrachten tijdens het skeeleren[5] blijkt dat afzetkrachten van 120-150% van het lichaamsgewicht maal de zwaartekrachtversnelling plaats vinden, uitgaande van een fase van toe-off tot toe-off van het andere been. Dit lijkt dus een goede manier om de afzetkrachten tijdens het skeeleren te benaderen. Als we kijken naar de data, dan valt het op dat de verschillen tussen de geleverde piek- en gemiddelde krachten minimaal is. Wel kan er geconstateerd worden dat bij de double push zowel de piek- als bij de gemiddelde kracht lagere waarden heeft.

X-component afzetkracht

Om te kijken hoe groot de kracht is die bijdraagt aan het versnellen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting is gebruik gemaakt van de stelling van pythagoras:

$$F_x = \sqrt{F_{afzet}^2 - F_z^2}$$



Figuur 25. F_x bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double pushtechniek

Blauw: klassieke techniek

Gemiddelde double push: 151 N

Gemiddelde klassiek: 180 N

Wanneer we kijken naar de x-component van de afzetkracht blijkt dat er bij de klassieke techniek gemiddeld 4% meer kracht van de totale afzet gestopt wordt in het verplaatsen van het lichaamsswaartepunt in zijwaartse richting dan bij de double push. Dit betekent dat de hoek ϕ met verticaal bij de klassieke techniek groter is. Dit was van te voren te verwachten, aangezien het lichaamsswaartepunt bij de klassieke techniek 10 cm lager ligt dan bij de double push. Een andere verklaring is dat de toe-off verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt. Uit de data blijkt dat bij de klassieke techniek vergeleken met de double push de toe-off maximaal 15 cm verder van het lichaamsswaartepunt plaats vindt.

Hieruit is op te maken dat de afstand van het art. coxae tot de voet bij toe-off bij beide technieken ongeveer even groot moet zijn. Het is dus aannemelijk dat bij beide technieken ongeveer dezelfde hoeken in knie- en heupgewricht te zien zijn. Beelden van de video ondersteunen dit, bij beide toe-offs was de kniehoek ongeveer 160 graden. Dit gegeven wordt ondersteund door Houdijk et al [6].

Een ander gegeven dat opvalt is de mediale afzet van de double push waar we zien dat er piekkrachten van ongeveer 650 N zijn. De bijdrage aan de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in x-richting ligt ongeveer tussen de 70 en 100 Newton.

Geconcludeerd kan worden dat de piekkrachten bij de klassieke techniek hoger zijn dan die bij de double pushtechniek. De klassieke techniek richt de afzetkracht echter wel gunstiger (er wordt een groter aandeel van de afzetkracht gebruikt voor het verplaatsen in voorwaartse richting).

Ook valt te concluderen dat de mediale afzet een extra kracht uitoefent op de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt.

Voorwaarde:

- **In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting.**

Vermogen

Voor het bepalen van de techniek met de meeste efficiëntie zal er gekeken worden naar het vermogen dat bij de technieken per slag geleverd wordt bij eenzelfde uitwendige prestatie (verplaatsing in voorwaartse richting).

Voor het bepalen van het vermogen dienen de afzetkracht en snelheid bekend te zijn, de snelheid is een bekende na het differentiëren van de afgelegde weg, de afzetkracht is bepaald in de vorige paragraaf. Met deze gegevens kan het vermogen momentaan berekend worden. In figuur 22 (pagina 26) staat het assenstelsel voor deze berekeningen weergegeven.

$$P_{tot,double\ push} = F_{prop,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

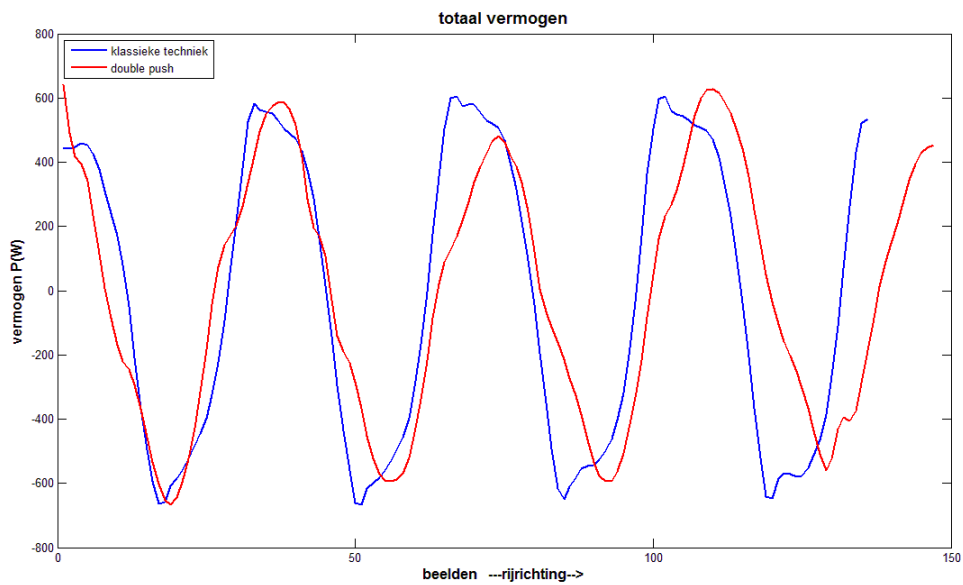
$$P_{nuttig,double\ push} = F_{x,double\ push} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{tot,klassiek} = F_{prop,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

$$P_{nuttig,klassiek} = F_{x,klassiek} \cdot v_{LZP}$$

Waar de snelheid van de lichaamszwaartepunten elkaar niet ver ontlopen en de gemiddelde kracht van de klassieke techniek een fractie hoger is dan bij de double push, is de verwachting dat het vermogen van de klassieke techniek hoger is dan die van de double push omdat zowel de gemiddelde kracht als de snelheid bij de klassieke techniek hoger zijn, wat ook een hoger vermogen oplevert.

Piekvermogen



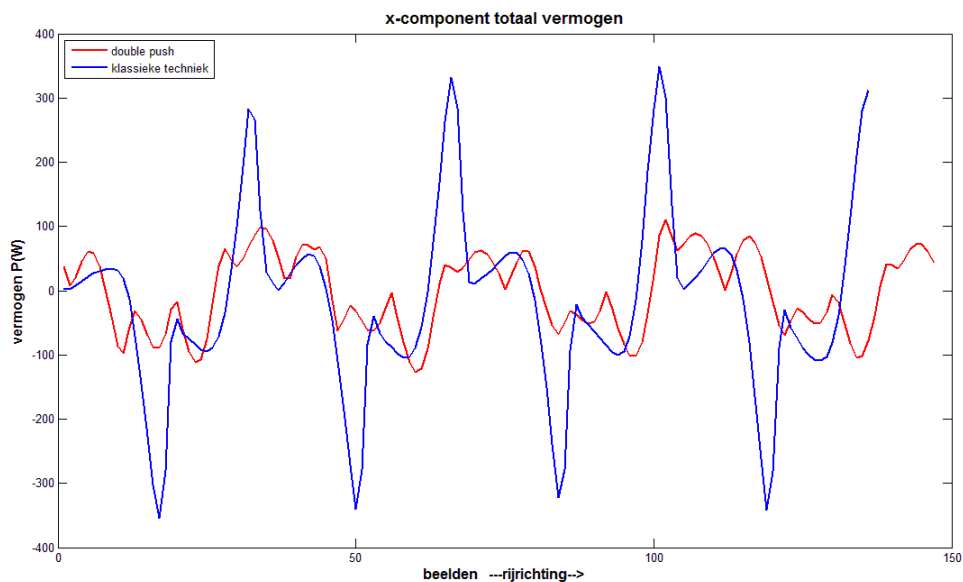
Figuur 26. Totaal vermogen bij de klassieke techniek en double pushtechniek

Rood: double push

Blauw: klassiek

Uit figuur 26 blijkt dat de geleverde piekvermogens elkaar niet veel ontlopen. Het gemiddelde vermogen over de acht slagen van de double push (344 Watt) is echter 78 Watt lager dan van de klassieke techniek (422 Watt)

X-component vermogen



Figuur 27. X-component van het geleverde vermogen voor beide technieken

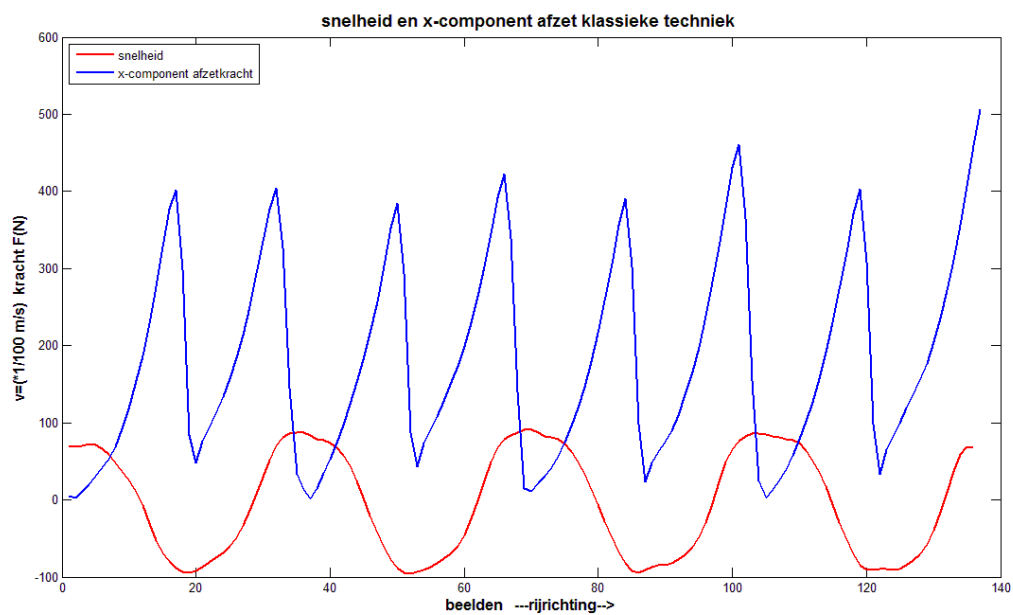
Rood: double push

Blauw: klassiek

Wanneer we kijken naar de x-component van het vermogen (figuur 27) valt gelijk op dat het piekvermogen dat bij de klassieke techniek geleverd wordt vele malen hoger is. Dit komt wel overeen met de verwachting, maar een verschil van 200 Watt in piekvermogen is een groter verschil dan verwacht werd aan de hand van de snelheid en propulsiekracht.

Evaluatie en terugkoppeling

Om een verklaring voor het hogere piekvermogen bij de klassieke techniek is te vinden wordt een grafiek geplot van de x-component (figuur 28) van de afzetkracht samen met de snelheid van de klassieke techniek.



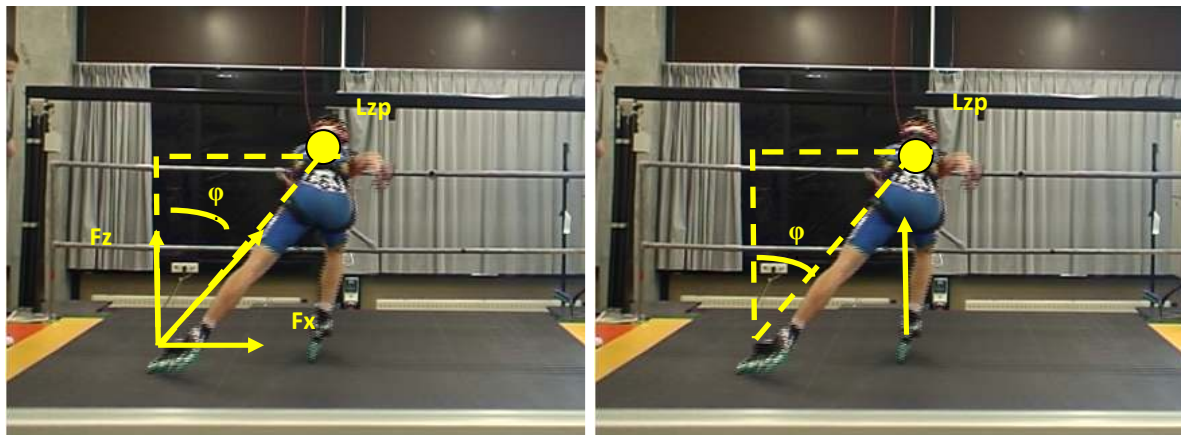
Figuur 28. Snelheid lichaamszwaartepunt en x-component afzetkracht bij de klassieke techniek

Rood: snelheid lichaamszwaartepunt

Blauw: x-component afzetkracht

Hier valt op dat de piekkracht het grootst is op het moment van de pieksnelheid, dit verklaart waarom het piekvermogen bij de klassieke techniek zo hoog is. Waar de snelheid zonder aannames is bepaald, is het vermogen betrouwbaar. Voor de kracht zijn twee aannames gedaan, het is dus mogelijk dat hier een probleem in schuilt. De verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting is niet waarschijnlijk omdat het lichaamszwaartepunt weinig verplaatsing in verticale richting ondervindt bij de klassieke techniek.

De aanname van de afzet geldend van toe-off tot toe-off ligt meer voor de hand als verkeerde aanname. De bipedale fase verdwijnt bij deze benadering en de complete zwaartekracht wordt door het afzetbeen gedragen. De maximale kracht wordt bij deze benadering bereikt vlak voor toe-off (figuur 29).



Figuur 29. Toe-off en projectie lichaamszwaartepunt

In werkelijkheid is op het moment van skatecontact het lichaamszwaartepunt grotendeels boven het dit nieuwe contactpunt komt te liggen(fig). Het gevolg hiervan is dat de zwaartekracht verdeeld wordt over de twee contactpunten, een groot deel van het lichaamszwaartepunt ligt boven het been dat skatecontact maakt. De zwaartekracht werkt dus voor het grootste deel op het been wat het dichtst bij de projectie van het lichaamszwaartepunt ligt, waardoor de afzetkracht van het afzetbeen sterk afneemt.

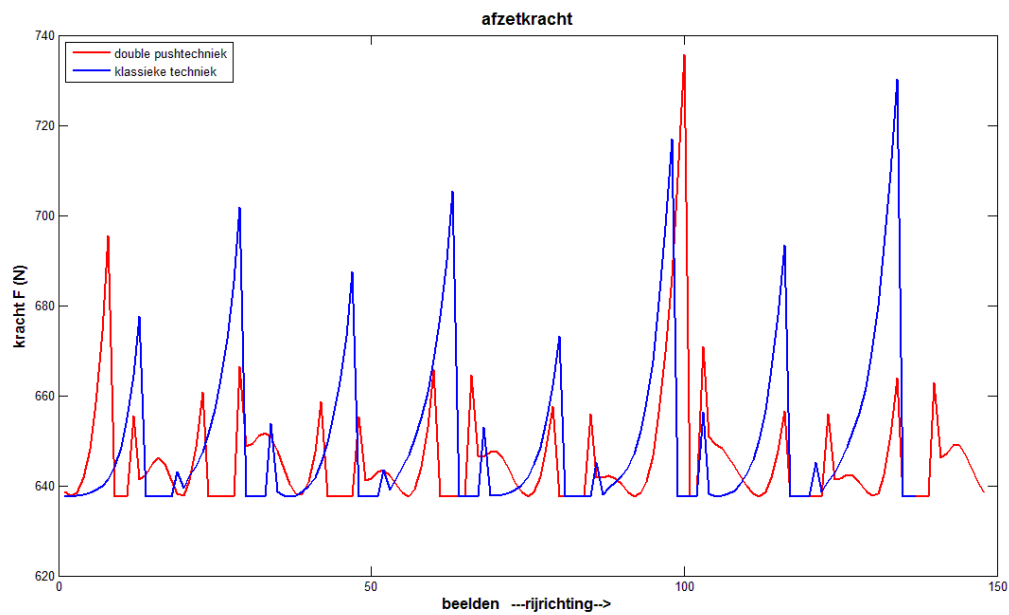
De gebruikte methode neemt dat niet mee in de berekening, waardoor ϕ ook groter wordt naar mate de afzet langer wordt.

Daarom is ervoor gekozen om alleen de afzetkrachten te bepalen tijdens de unipedale fases en in bipedale fase de afzetkracht gelijk te stellen aan $m \cdot g$, waarbij alle krachten worden als positief beschouwd.

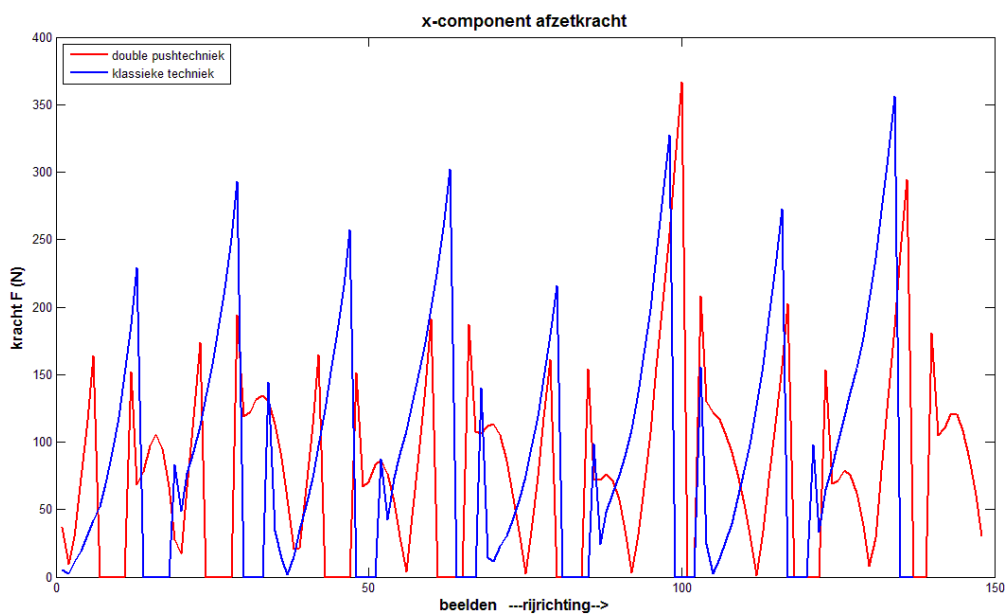
Afzetkracht

Wanneer we de verbeterde methode toepassen, valt gelijk op dat de propulsiekracht veel kleiner is geworden. De piek van 670 N betekent een afzet van 105% van het lichaamsgewicht. Dit is minder dan in de literatuur[5] beschreven staat. Een verklaring zou kunnen zijn dat de kracht die geleverd moet te worden om het in positie blijven op de lopende band zeer laag is.

Een andere verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat in het begin van de contactfase het lichaamsgewicht nog niet volledig op de skate wordt gezet, met tot gevolg een toename van de afzetkracht. In onderzoek naar de afzetkrachten tijdens het schaatsen vonden De Koning et al [7] dat bij een snelheid van 32,4 km/h pas na 20% van de contactfase het volledige lichaamsgewicht op het standbeen wordt geplaatst. Er kan gekeken of het percentage van het lichaamsgewicht in Newton bij de afzetkracht en het vermogen nog beter benaderd kan worden door de 20% in de berekening mee te nemen, hier kwamen echter geen noemenswaardige verschillen uit.



Figuur 30. Afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechniek, gemiddelde = 643 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 647 N

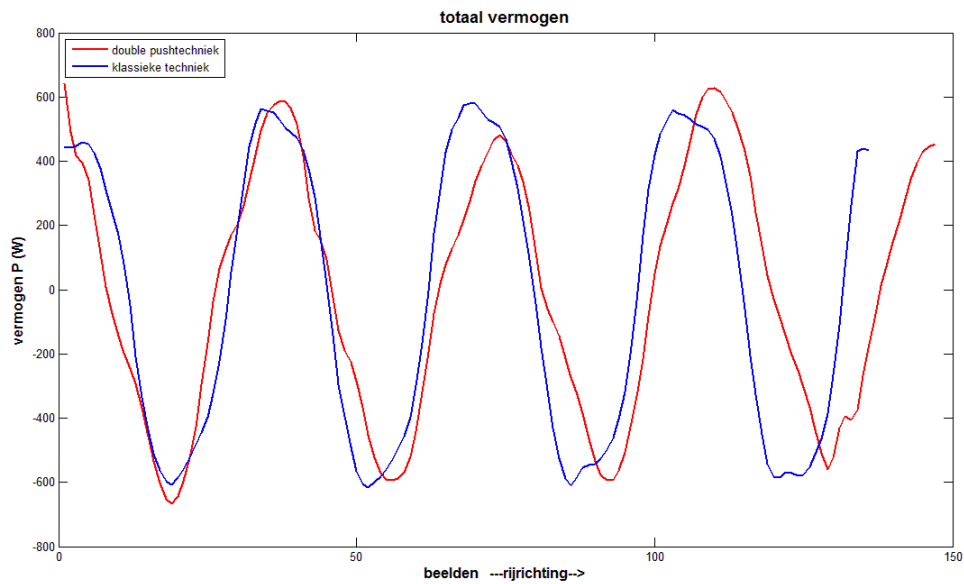


Figuur 31. x-component afzetkracht bij beide technieken
Rood: double pushtechniek, gemiddelde = 58 N
Blauw: klassieke techniek, gemiddelde = 76 N

In fig. is te zien dat de gemiddelde geleverde afzetkracht van de double push en klassieke techniek even groot is. Bij de double push wordt de kracht echter verdeeld over twee pieken gedurende de afzet. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de piekbelasting bij de double push lager is, maar dat er gemiddeld wel even veel kracht wordt geleverd als bij de klassieke techniek.

Vermogen

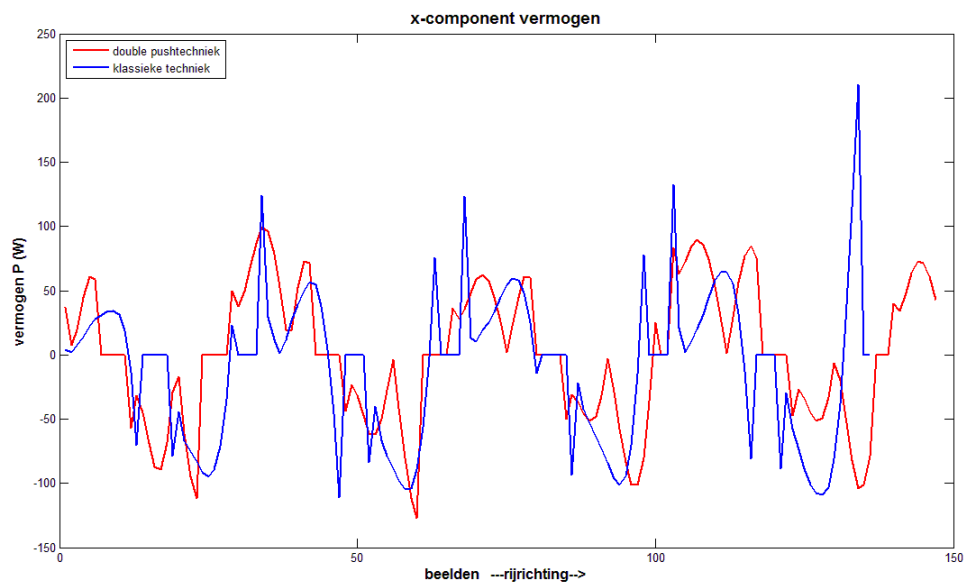
Wanneer het vermogen bepaald wordt met de vernieuwde methode komen de volgende resultaten naar voren:



Figuur 32. Totaal geleverd vermogen

Rood: double push

Blauw: klassiek



Figuur 33. geleverd vermogen in x-richting

Rood: double push

Blauw: klassiek

De verschillen zijn niet heel groot, de double push levert gemiddeld 55 Watt minder vermogen om eenzelfde voorwaartse snelheid te bereiken.

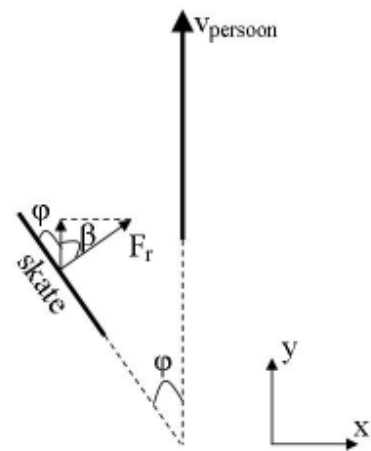
Geconcludeerd kan worden dat de double push een lagere vermogen levert om eenzelfde snelheid te bereiken. Een ander groot voordeel is dat de totale afzetkracht bij de double push ongeveer gelijk is aan die van de klassieke techniek, maar hierbij wordt de kracht wel verdeeld over twee benen waardoor de piekbelasting per been lager wordt.

THEORETISCH MODEL

Zowel interne als externe factoren hebben invloed op de totstandkoming van een skeelerbeweging. Deze factoren worden in onderstaande beschrijving besproken.

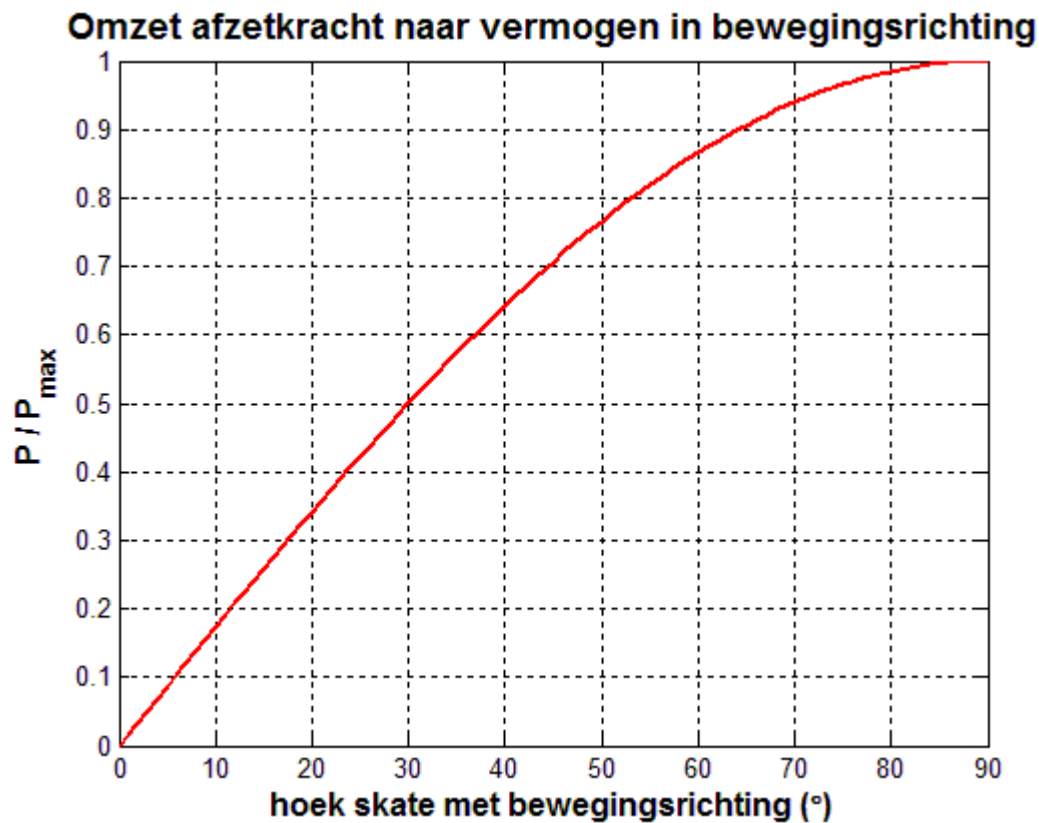
Zoals is geconcludeerd uit de resultaten van de pilotmeting, zet een skeeleraar tijdens de afzet de skate onder een hoek met de gewenste bewegingsrichting. Het model in figuur 34 geeft dit principe weer.

De hoek tussen de skate en de gewenste bewegingsrichting is in principe vrij te kiezen. Echter, als er een analyse gemaakt wordt van de hoeveelheid vermogen die geleverd wordt in de bewegingsrichting van de persoon, dan kan er geconcludeerd worden dat het geleverde vermogen in de gewenste bewegingsrichting een verband heeft met de afzethoek. Dit verband staat weergegeven in de onderstaande vergelijking en figuur 35.



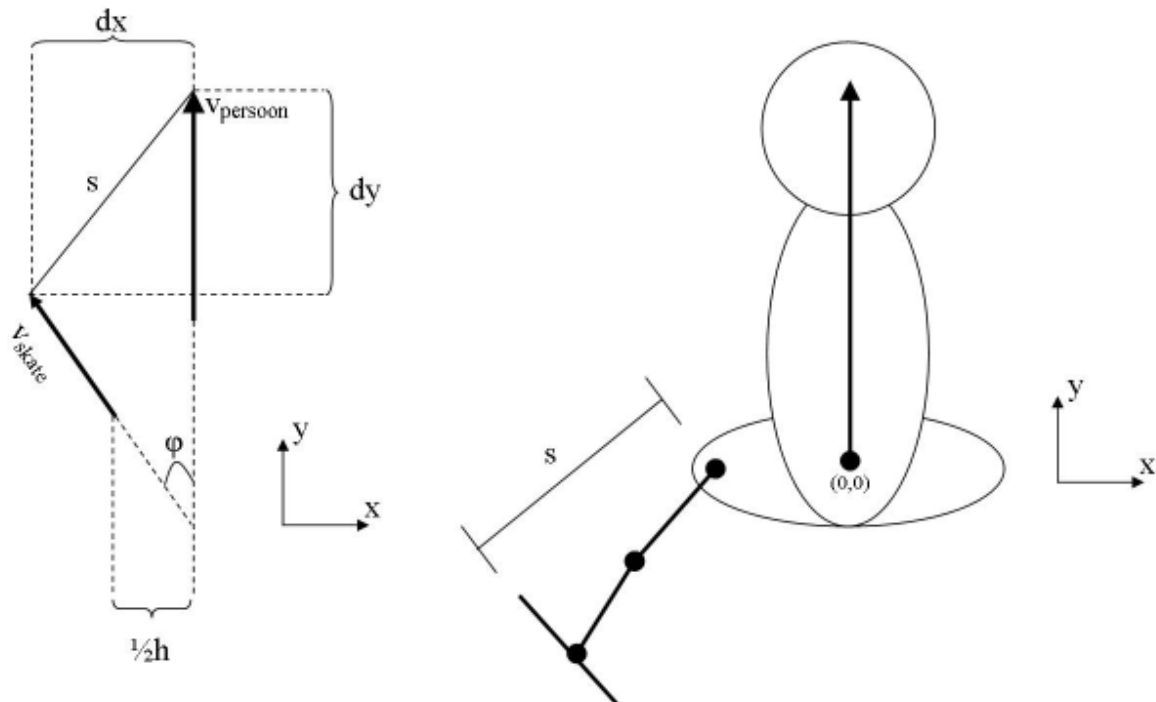
Figuur 34. Model snelheid persoon en plaatsing skate

$$P_y = F_{ry} \cdot v_y = F_r \cdot \cos(\beta) \cdot v_y = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) \cdot v_y$$



Figuur 35. Relatief vermogen in de bewegingsrichting als variabele van de plaatsing van de skate

Het is duidelijk te zien dat het vermogen in y-richting groter wordt naarmate de hoek van de skate met de bewegingsrichting (φ) toeneemt. De limiet voor de hoek is $0 \leq \varphi \leq 90$, omdat voor overschrijding van beide limieten geldt dat de richting van de reactiekracht omgekeerd is van de gewenste richting (in praktijk is een dergelijke krachtrichting te vergelijken met de richting van de reactiekracht bij double push).



Figuur 36. Model beenafstand in bovenaanzicht

Links: wegllopen van de skate ten gevolge van verschil in richting van verplaatsing van skate en persoon

Rechts: Beenlengte in bovenaanzicht

$\frac{1}{2} h$ = halve heupbreedte

Er is echter een beperking in de hoek die gemaakt kan worden, wat wordt geïllustreerd in het volgende model (zie ook figuur 36).

De skate waarmee afgezet wordt, heeft net als het lichaam een snelheid. Omdat de skate niet in dezelfde richting als de bewegingsrichting van het lichaam beweegt, heeft deze in x- en y-richting een andere snelheid. Ten gevolge van dit gegeven zal de skate van het lichaam af bewegen. In deze positie zit uiteraard een beperking, namelijk de lengte van het been in bovenaanzicht, zoals weergegeven in figuur 36 met het symbool s . Hierbij wordt er uitgegaan van een beenlengte bij een kniehoek van 160° (gemeten aan de dorsale zijde van het been).

De beenlengte s in bovenaanzicht kan als volgt bepaald worden:

$$dx = \frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t$$

$$dy = v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t$$

$$s = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{skate} \cdot \sin(\varphi) \cdot t\right)^2 + \left(v_{persoon} \cdot t - v_{skate} \cdot \cos(\varphi) \cdot t\right)^2}$$



Figuur 37. Relatieve verplaatsing skate ten opzichte van het lichaam

Naarmate de hoek van de skate ten opzichte van de bewegingsrichting toeneemt, is de verplaatsing van de skate bij een bepaalde snelheid groter per tijdseenheid (de afzettijd). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de snelheid of de afzettijd (of een combinatie van beiden) beperkend is voor de hoek φ .

WRIJVINGSKRACHTEN

Ten gevolge van onder andere luchtwerijving en rolwrijving is het niet mogelijk om te skeeleren met een zuiver constante snelheid. Daarom zal telkens tijdens de rolfase de snelheid van de persoon afnemen, waarna de persoon in de daarop volgende afzetfase weer snelheid moet toevoegen om het verlies aan snelheid weer goed te maken.

Tijdens het skeeleren spelen de volgende formules een rol:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2$$

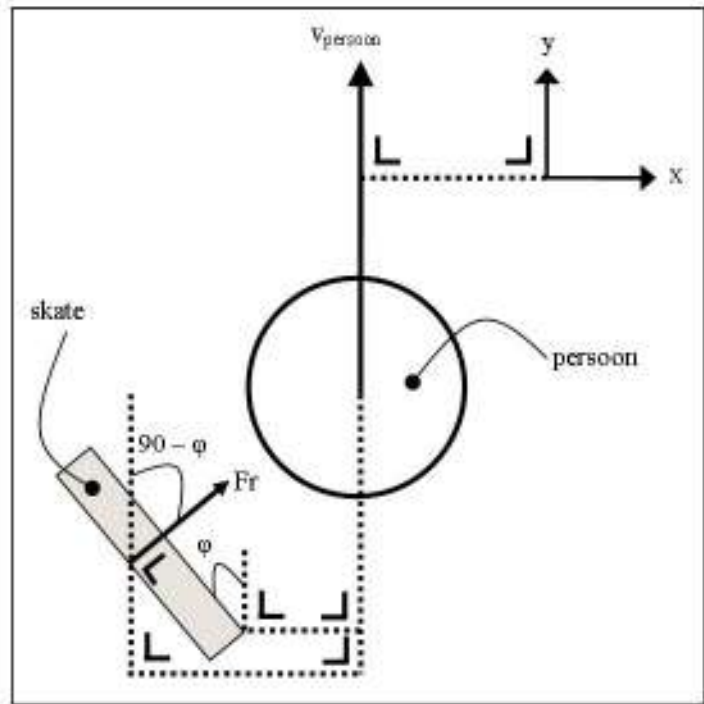
$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$$

$$F_{res} = F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = m \cdot a$$

$$\rightarrow a = \frac{F_r - F_{w,lucht} - F_{w,rol}}{m}$$

$$v_i = v_{i-a} + a \cdot t$$



Figuur 38. Model richting afzetkracht in een inertiaal assenstelsel

Indien geldt dat $F_{res} = 0$ dan is de versnelling 0, wat betekent dat de persoon met constante snelheid voortbeweegt (of stilstaat indien de voorgaande snelheid 0 was).

De versnelling a kan alleen gebruikt worden bij constante versnellingen. Hier zal rekening mee gehouden moeten worden bij het vervaardigen van de modellen door de afzetfase in kleine stukjes op te delen.

Voorwaarde:

- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes

De richting en grootte van de krachtcomponenten heeft invloed op de tweede wet van Newton ($F_{res} = m \cdot a$). Zo kan de invloed van de wrijvingskrachten in x-richting verwaarloosd worden, waardoor de tweede wet van Newton omgeschreven zal moeten worden:

$$F_{res,x} = F_r \cdot \sin(90 - \varphi) = F_r \cdot \cos(\varphi)$$

$$F_{res,y} = F_r \cdot \cos(90 - \varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol} = F_r \cdot \sin(\varphi) - F_{w,lucht} - F_{w,rol}$$

$$F_{res} = \sqrt{(F_{res,x})^2 + (F_{res,y})^2}$$

Het assenstelsel voor deze formules staat weergegeven in figuur 38, het is een assenstelsel dat meebeweegt met de bewegingsrichting van de persoon (waarbij de y-as evenwijdig is aan de bewegingsrichting).

Zoals eerder al gesteld is, kan er niet geskeelerd worden met een constante snelheid indien er rekening gehouden wordt met wrijvingskrachten. Wel is het mogelijk om aan het eind van iedere afzet eenzelfde snelheid te hebben en dit aan te nemen als constante snelheid. De afzetfase wordt dan gebruikt om de vertraging ten gevolge van de lucht- en rolwrijving van de rolfase weer teniet te doen.

Uiteraard heersen er ook tijdens de afzetfase wrijvingskrachten, zodat tijdens de afzetfase niet alleen de wrijvingskrachten van de rolfase, maar ook die van de afzetfase overwonnen moeten worden. Onderstaand schema geeft dit proces weer, in dit schema is geen rekening gehouden met krachtrichtingen.

Rolfase	Afzetfase
$F_{w,lucht} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{constant})^2$ $F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r$ $a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{-1 \cdot (F_{w,lucht} + F_{w,rol})}{m}$ $v_i = v_{i-1} + a \cdot t = v_{constant} + a \cdot t$	$a_1 = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_{constant} - v_i}{t}$ $F_{afzet} = m \cdot a_1 + F_{w,lucht} + F_{w,rol}$ $= m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r$ $a_2 = \frac{F_{afzet}}{m} = \frac{m \cdot a_1 + \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2 + m \cdot g \cdot c_r}{m}$ $= a_1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_i)^2}{m} + g \cdot c_r$ $v_{constant} = v_i + a_2 \cdot t$
$v_{constant} = x \text{ m/s}$	$v_i < v_{constant}$

Voorwaarde:

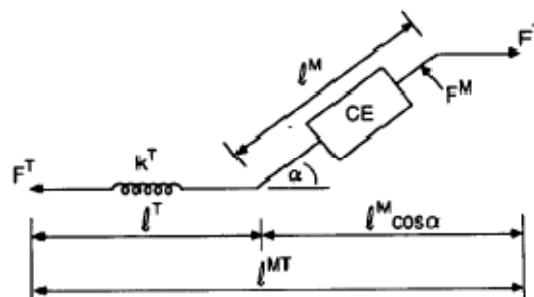
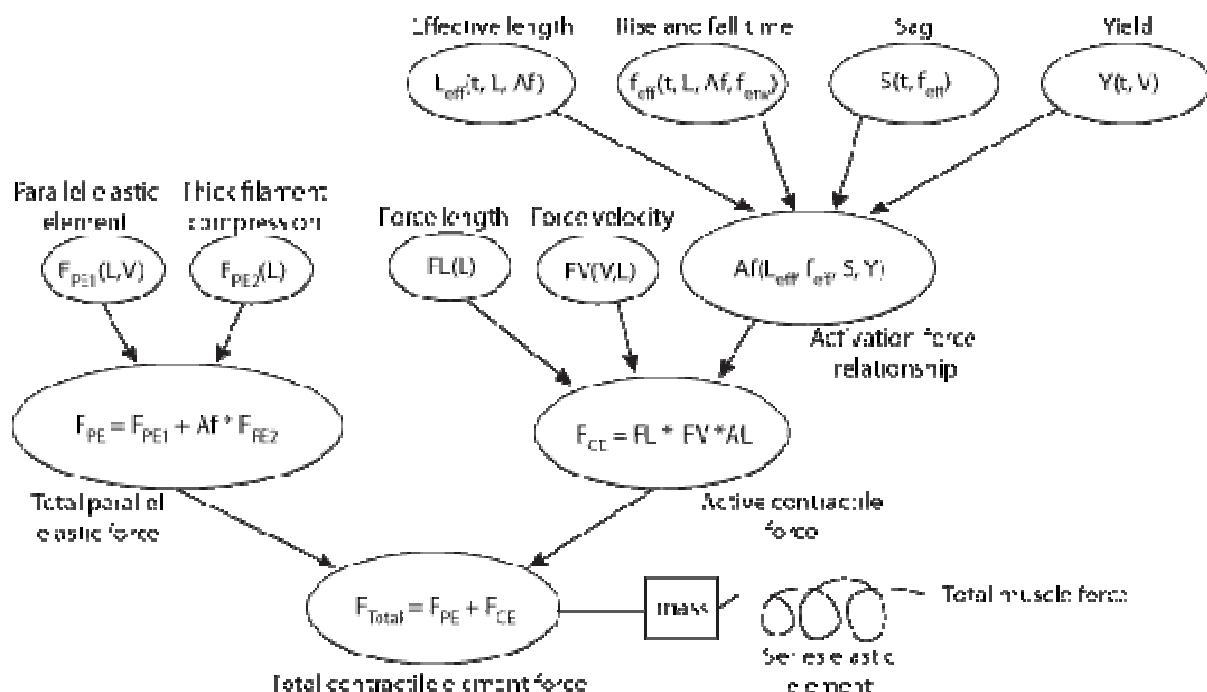
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving

SPIEREIGENSCHAPPEN

Als we kijken naar een beweging in het algemeen, kunnen we stellen dat er hoekverandering plaatsvindt in bepaalde gewrichten (meestal ten gevolge van geleverde spierkracht). In de onderstaande bespreking worden de factoren voor spierkracht besproken.

Factoren voor spierkracht

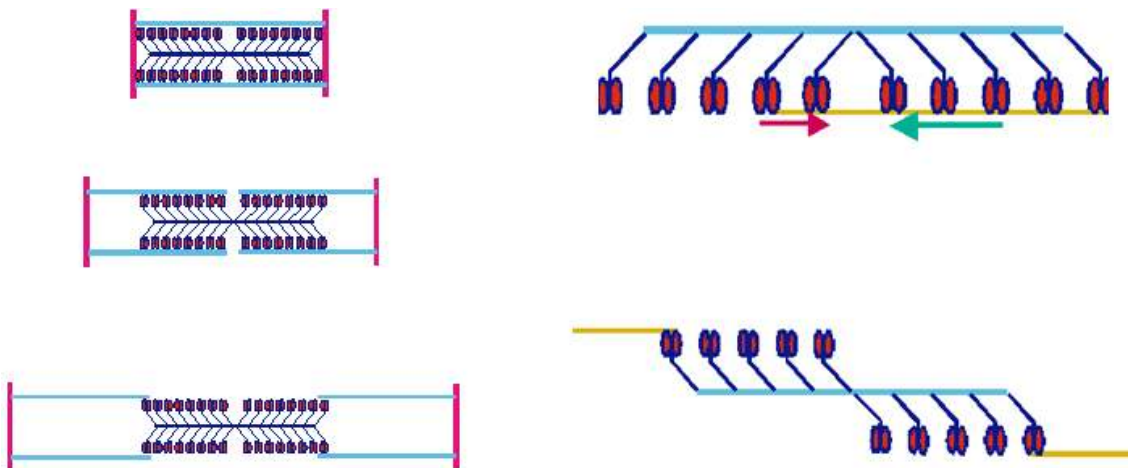
Zoals in het overzicht in onderstaande figuur 39 te zien is, is de spierkracht van vele factoren afhankelijk. Niet alle factoren kunnen in het model verwerkt worden, omdat een totaal model van de spierkracht een groot project op zich is. Het model van Cheng et al [8] dat alle onderstaande factoren of eigenschappen samenvoegt tot de totale spierkracht, is een model met een grote hoeveelheid variabelen. Echter, op veel eigenschappen kan geen invloed uitgeoefend worden, daarom zal er alleen gekeken worden naar de belanghebbende eigenschappen. Deze eigenschappen worden op de volgende bladzijden besproken.



reesmodel

Kracht-lengterelatie

Bij het veroorzaken van een hoekverandering zal een spier meestal verkorten (antagonistische spieren zullen logischerwijs excentrisch gecontraheerd worden). Vanuit de literatuur weten we dat de lengte die een spier heeft van invloed is op de kracht die deze kan leveren. Is een spier op een langere of kortere lengte dan zijn rustlengte, dan is de mogelijke krachtslevering lager [10]. Deze eigenschap is gebaseerd op de het feit dat de kracht die een spier kan leveren afhankelijk is van het aantal beschikbare myosinekopjes dat contact maakt met de actine in een sarcomeer (zie figuur 41). In de figuur is rechtsboven een verkorte sarcomeer weergegeven. De myosinekopjes bevinden zich in de zogeheten antiparallelle regio, de actine maakt niet alleen contact met de myosinekopjes die ervoor zorgen dat de actine naar binnen getrokken wordt (wat een verkorting van de sarcomeer, en dus van de spier, tot gevolg heeft). Er zijn ook myosinekopjes die met de actine ernaast contact moeten maken, maar dat in deze positie niet doen. Zij maken contact met dezelfde actine waar de andere myosinekopjes aan trekken die voor verkorting van de sarcomeer zorgen. Hierdoor wordt er in twee tegengestelde aan de actine getrokken, waardoor de actie van de myosinekopjes elkaar (deels) opheft, wat resulteert in verminderde (of geen) verkorting van de sarcomeer. Dit heeft tot gevolg dat de spierkracht in deze posities lager is.



Figuur 41. Schematische weergave sarcomeren in verschillende posities

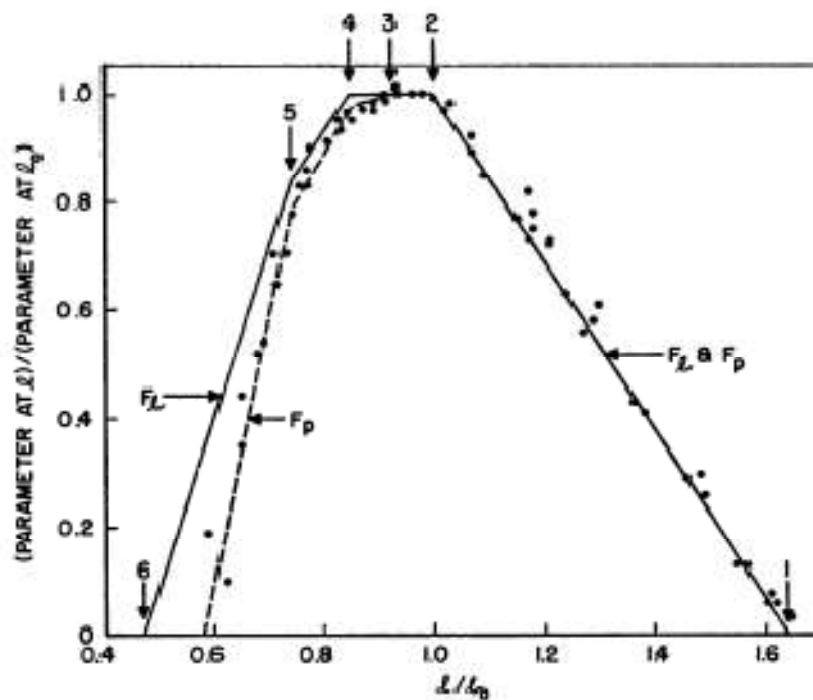
Linksboven, rechtsboven: sarcomeer in verkorte positie

Links, midden: sarcomeer in rustpositie

Linksonder, rechtsonder: sarcomeer in verlengde positie

Bornhorst en Minardi hebben deze kracht-lengterelatie beschreven met behulp van een grafiek met daarin een aantal kenmerkende punten waartussen lineaire functies het verband van het ene punt met het andere leggen (zie figuur 42). Andere bronnen als Gordon et al [11] en Askew & Marsh [12] geven eenzelfde verloop en verhouding van lengtes.

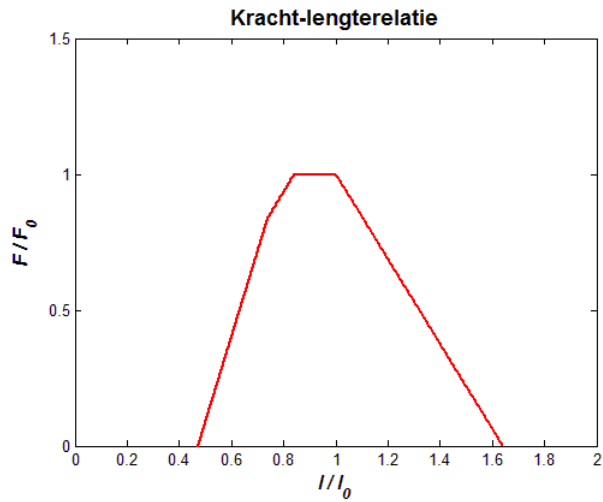
De kracht-lengterelatie zoals Bornhorst & Minardi deze schetst, kan worden benaderd met lineaire functies die vervolgens omgeschreven kunnen worden naar één vijfdegraads vergelijking. De vergelijkingen en plots op de volgende pagina geven dit proces weer. Hiermee kan dan in de Matlab-modellen met één formule de kracht-lengterelatie van een spier ingegeven worden. Deze relatie is van belang omdat er gedurende de afzet een hoekverandering in onder andere het kniegewricht plaatsvindt, waardoor de lengte van de kniestrekkers verandert, en daarmee ook de kracht die geleverd kan worden.



Figuur 42. Kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Lineaire functies:

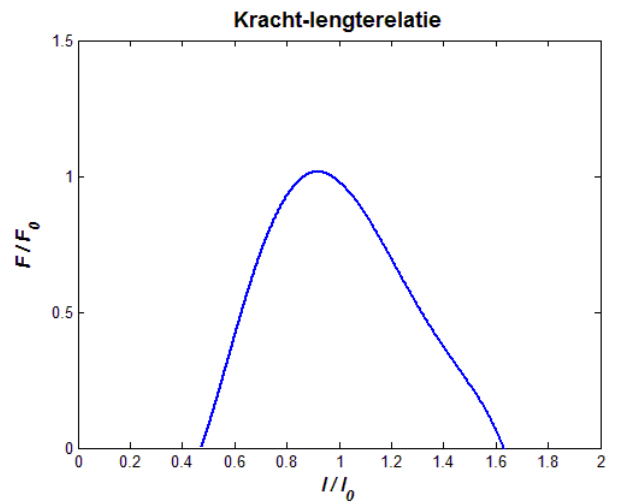
$$F = \begin{cases} 0.472 < l \leq 0.74 & \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot l - \frac{0.84}{0.74 - 0.472} \cdot 0.472 \\ 0.74 < l \leq 0.84 & \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot l - \frac{0.16}{0.84 - 0.74} \cdot 0.74 + 84 \\ 0.84 < l \leq 1 & 1 \\ 1 < l \leq 1.64 & \frac{-1}{0.64} \cdot l + \frac{1}{0.64} + 1 \end{cases}$$



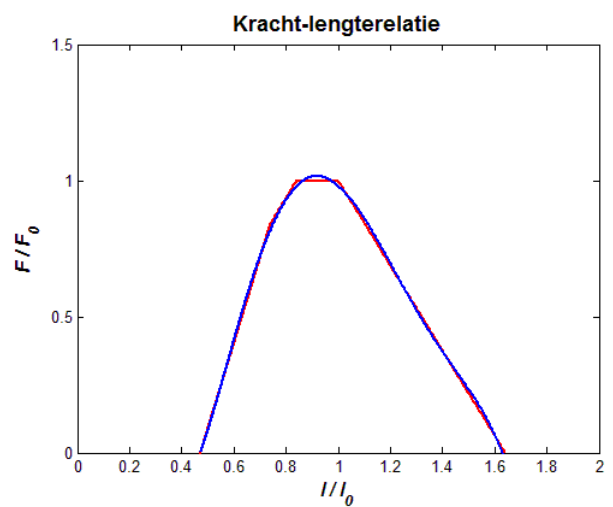
Figuur 43. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens Bornhorst en Minardi [10]

Vijfdegraads vergelijking:

$$\begin{aligned} p1 &= -10.537 \\ p2 &= 57.038 \\ p3 &= -116.22 \\ p4 &= 107.42 \\ p5 &= -42.478 \\ p6 &= 5.7582 \\ F &= p1 \cdot l^5 + p2 \cdot l^4 + p3 \cdot l^3 + p4 \cdot l^2 + p5 \cdot l + p6 \end{aligned}$$



Figuur 45. Gesimuleerde kracht-lengterelatie met de vijfdegraads vergelijking



Figuur 44. Kracht-lengterelatie van Bornhorst en Minardi en volgens vijfdegraads vergelijking over elkaar gelegd

Als er vervolgens gekeken wordt in welk gebied van de kracht-lengtecurve er kracht wordt geleverd, komen we op de volgende relatieve spierlengtes (spierlengte ten opzichte van de rustlengte) [14,15]:

$$\varphi_0 = 100$$

$$\varphi_1 = 160$$

$$r = 0.043$$

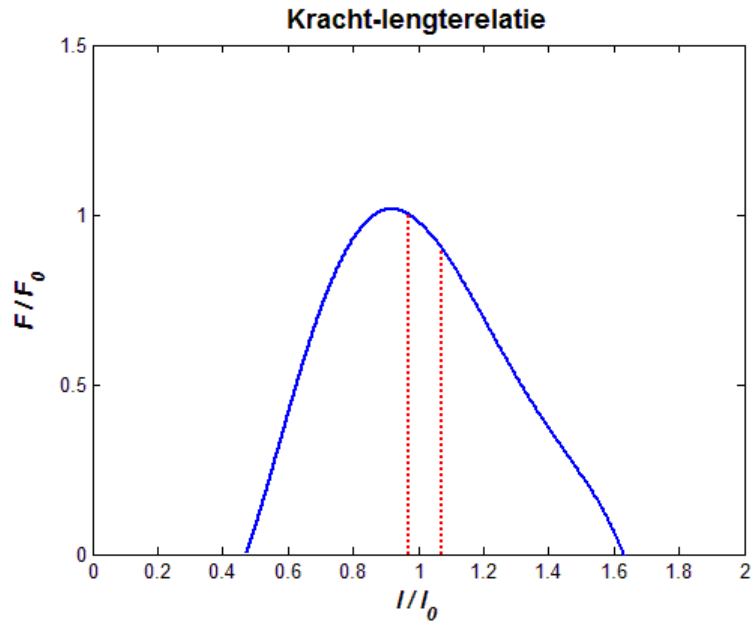
$$l_{min} = 0.344$$

$$l_{rust} = 0.432$$

$$l_0 = \frac{\varphi_0 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 0.97$$

$$l_1 = \frac{\varphi_1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot r + l_{min}}{l_{rust}} = 1.07$$

In figuur 46 staan deze grenzen met rode stippellijn aangegeven.



Figuur 46. Gesimuleerde kracht-lengterelatie volgens de vijfdegraads vergelijking met zone van spierlengte weergegeven

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn

Kracht-snelheidsrelatie

Omdat er een hoekverandering plaatsvindt bij het afzetten, hebben de betrokken elementen een hoeksnelheid. Deze hoeksnelheid heeft invloed op de contractiesnelheid van spieren, waardoor we met nog een andere spiereigenschap te maken krijgen: de relatie tussen de contractiesnelheid en de leverbare kracht. Hill heeft deze relatie beschreven en hiervoor een formule opgesteld waarin enkele spiereigenschappen een rol spelen. De Hill-curve wordt voorgeschreven door de volgende formule (zie ook figuur 47) [13]:

$$F_{Hill} = \frac{c}{v + b} - a$$

Hierin zijn a, b en c zogenaamde Hill-constanten die de spiereigenschappen weergeven en is v de contractiesnelheid in lengtes per seconde (l/s) of meters per seconde (m/s). Deze drie constanten verschillen per spier of spiergroep. Voor het model is gekozen voor de volgende waarden van de constanten [13]:

$$a = F_{iso} = 1013 \text{ N}$$

$$b = v_{max} = 0.435 \text{ m/s}$$

$$c = P_{max} = 881.31 \text{ W}$$

Om de contractiesnelheid beter te kunnen interpreteren, wordt deze omgerekend naar hoeksnelheid in graden per seconde ($^{\circ}/s$). Dit gaat volgens de volgende berekening:

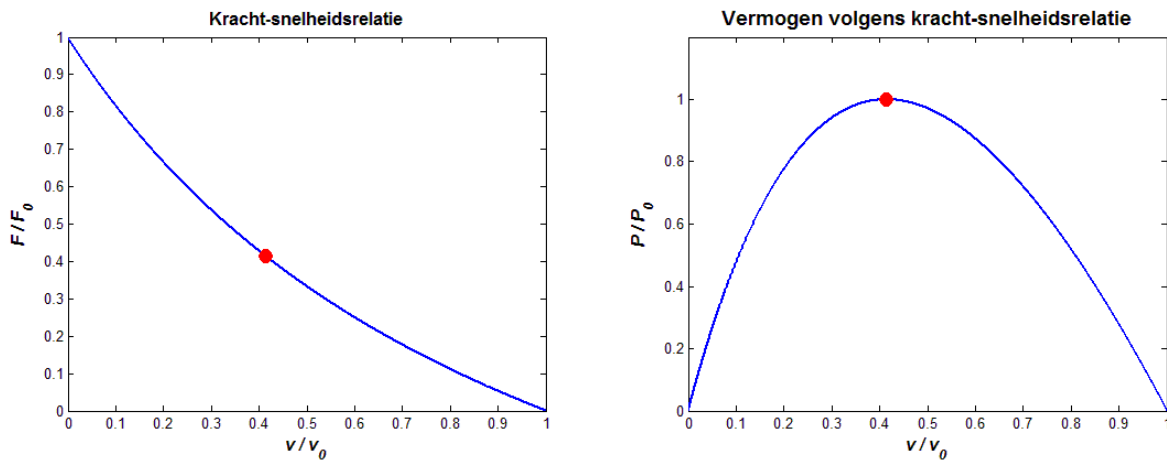
$$\omega = \frac{v}{r} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Willen we de hoeksnelheid in de formule voor de Hill-curve plaatsen, dan dienen we de formule voor hoeksnelheid om te schrijven als formule voor contractiesnelheid als functie van de hoeksnelheid:

$$v(\omega) = \frac{\omega \cdot r \cdot \pi}{180}$$

Van de vergelijking van Hill kan ook het optimum bepaald worden. Dit optimum kan gevonden worden door het vermogen volgens Hill uit te rekenen, en in die functie de top te bepalen. Voor de gevonden contractiesnelheid levert de spier het meest optimaal zijn kracht.

$$P_{Hill} = F_{Hill} \cdot v$$



Figuur 47. Kracht-snelheidsrelatie volgens Hill

Links: relatieve kracht tegen de relatieve contractiesnelheid volgens Hill

Rechts: relatief vermogen volgens Hill

rode stip: optimum

Voorwaarde:

- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

3. PAKKET VAN VOORWAARDEN

In de onderstaande opsomming worden de voorwaarden genoemd die in de modelmatige simulaties verwerkt dienen te worden.

VOORWAARDEN

- De afzetkracht is haaks op de skeeler gericht
- De afzetkracht gaat door het lichaamszwaartepunt
- De skeeler dient een hoek te hebben met de rijrichting
- In het model dient bij het bepalen van de afzetkracht rekening gehouden te worden met de baan die de skate aflegt
- In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven
- In het model hoeft alleen rekening gehouden te worden met de strekken van het art. coxae en art. genus
- In het model hoeft geen rekening gehouden te worden met de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt in verticale richting
- De afzetfase moet gesimuleerd worden in kleine tijdstapjes
- In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:
 - Luchtwrijving
 - Rolwrijving
- In het model moet de kracht-lengterelatie van spieren verwerkt zijn
- In het model moet de kracht-snelheidsrelatie van spieren verwerkt zijn

4. MODELMATIGE SIMULATIES

In deze fase zal er aan de hand van de opgedane kennis en de opgestelde theoretische modellen een aantal Matlab-modellen vervaardigd worden, waarmee een aantal voorspellingen gedaan kan worden.

MODEL 1: KRACHTRICHTING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

Om aan te tonen dat men niet telkens zijn of haar skate hetzelfde zal plaatsen bij verschillende snelheden, wordt er in dit eerste model gesimuleerd dat er vanuit stilstand gestart wordt en de snelheid steeds opgevoerd wordt. Door telkens dezelfde afzettijd op te leggen, wordt er puur naar het effect gekeken van de snelheid op de hoek waaronder de skate geplaatst kan worden om zoveel mogelijk afzet te leveren zonder dat de skate te ver wegloopt bij het lichaam (zoals besproken is bij het theoretische model op pagina 37 en 38).

De regels die gelden in het model zijn:

$$\varphi_0 = \frac{90}{2} = 45$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g$$

$$F_{w,i} = p \cdot A \cdot c_w \cdot (v_{tot,i-1})^2$$

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + (-1)^2 \cdot \frac{F_r \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \cos(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + \frac{F_r \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t - \frac{F_{w,i} \cdot \sin(\varphi)}{m} \cdot t$$

$$v_{tot,i} = \sqrt{(v_{i,x})^2 + (v_{i,y})^2}$$

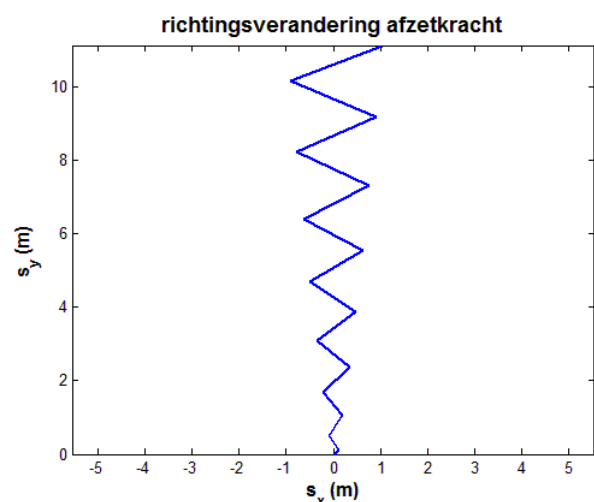
$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot h + v_{tot,i} \cdot \sin(\varphi_i) \cdot t\right)^2 + \left(v_{tot,i} \cdot t - v_{tot,i} \cdot \cos(\varphi_i) \cdot t\right)^2} \rightarrow \varphi_i$$

Er wordt gestart onder een ideale afzethoek (90 graden), gedeeld door 2. Deze deling wordt gedaan omdat in de berekening voor de beenlengte s er vanuit wordt gegaan dat het lichaam zich in de gewenste richting (zuiver rechtdoor) beweegt, terwijl deze oscillerend om de gewenste bewegingsrichting zal bewegen (zoals te zien is in de formules voor $v_{x,i}$ en $v_{y,i}$). Het is goed denkbaar dat men daarom bij de start van het skeeleren ook schuin op de gewenste verplaatsingsrichting vertrekt, wat ook in de praktijk wordt waargenomen.

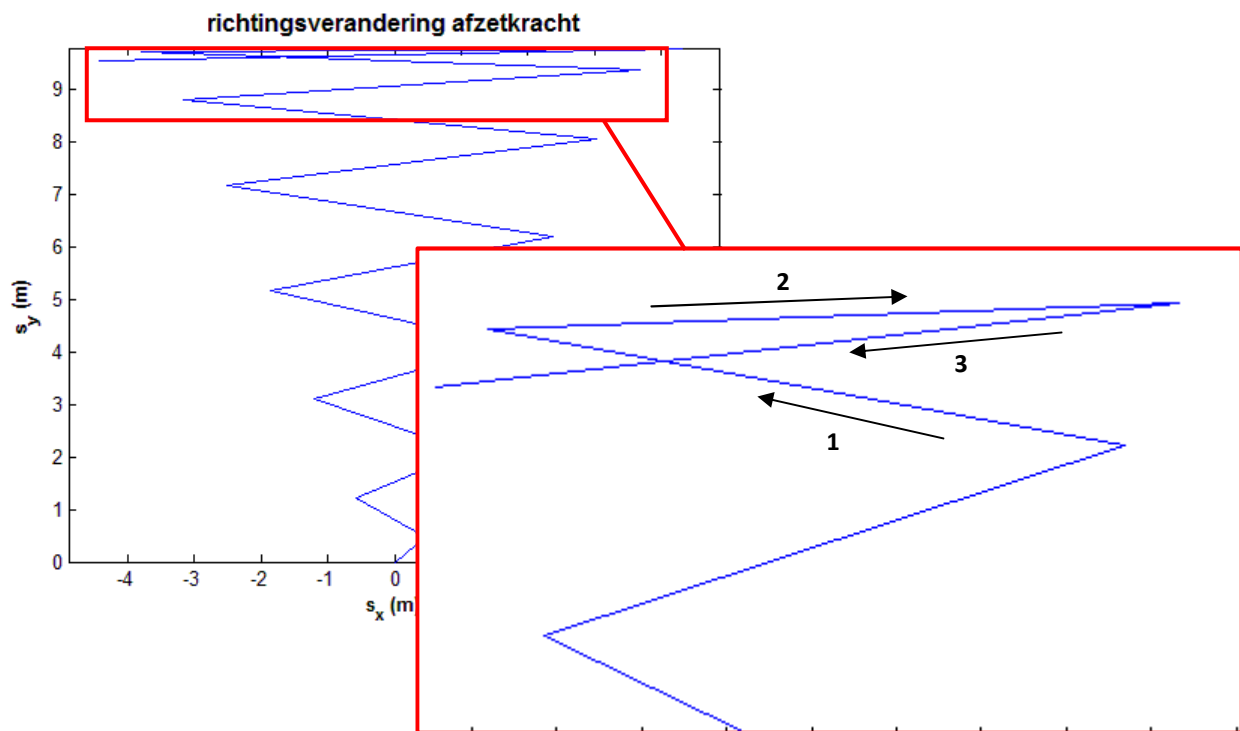
Nevenstaande figuur geeft de verplaatsing weer, waarbij er geen rekening is gehouden met de invloed van de snelheidsvector op de huidige snelheid (hier wordt later op teruggekomen). Dit model is slechts bedoeld om te illustreren hoe het mogelijke verloop van de richting van de afzetkracht is.



Figuur 48. Weergave van de richtingsverandering bij een toenemende snelheid

Het is duidelijk te zien dat wanneer de snelheid hoger is (te zien aan een grotere verplaatsing in zowel x- als y-richting), de hoek van de skate ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting steeds kleiner wordt. De hoek van de reactiekracht ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting is namelijk $90 - \varphi$, waardoor de x-component van de reactiekracht steeds groter wordt, wat resulteert in een grotere zijwaartse verplaatsing.

Er komt een moment dat er een snelheid bereikt is, waarbij de wrijvingskracht groter is dan geleverde afzetkracht, waardoor men dus afgeremd wordt. In dit model is dat te zien als een afname van de verplaatsing, zoals in onderstaande figuur weergegeven wordt.



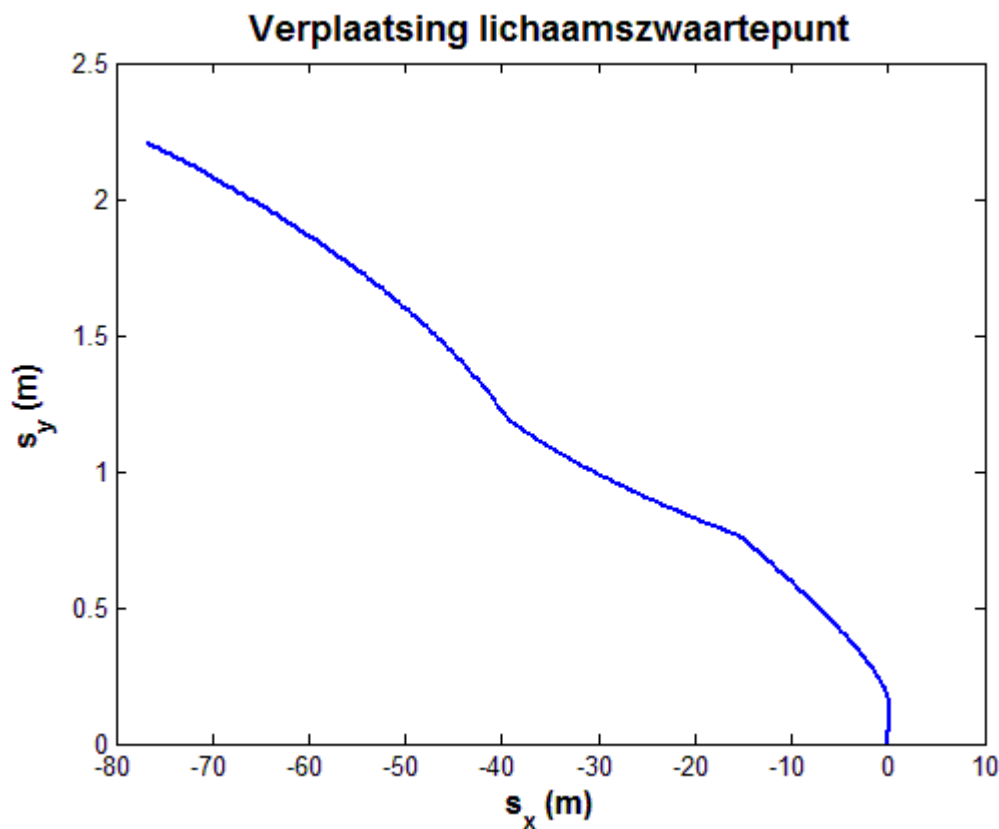
Figuur 49. Weergave van het gevolg van een luchtweerstand die groter is dan de afzetkracht in voorwaartse richting

MODEL 2: VERPLAATSING BIJ VERSNELLEN VANUIT STILSTAND

In het voorgaande model werd er telkens eenzelfde afzetkracht geleverd, in een krachtrichting die bepaald werd aan de hand van een formule die de krachtrichting optimaliseert bij een input van de afzettijd en de snelheid van de persoon.

In dit tweede model wordt elke afzet in honderd kleine stapjes opgedeeld, rekening houdend met de invloed van de vector van de reactiekracht op de huidige snelheidsvector. Hierdoor zal de snelheidsvector per honderdste deel van de afzettijd van richting veranderen ten gevolge van een andere richting van de reactiekracht (ten opzichte van de bewegingsrichting van de persoon). De afzetkracht wordt bepaald aan de hand van een optimalisatie naar optimaal vermogen volgens Hill, zoals besproken is bij de kracht-snelheidsrelatie van spieren in de analyse. Vervolgens wordt deze kracht vermenigvuldigd met de factor volgens de kracht-lengterelatie.

Dit proces wordt weergegeven in figuur 50. In de onderstaande figuur is het effect van vectorberekening te zien. Het blijkt dus dat bij het telkens versnellen tijdens het skeeleren de persoon naar links of rechts gaat na verloop van tijd. Opvallend is de enorme verplaatsing in x-richting ten opzichte van de verplaatsing in y-richting. Dit is mogelijk te verklaren aan de hand van de data die het model als output levert.



Figuur 50. Verplaatsing van het lichaamszwaartepunt volgens model 2
assen zijn niet 1:1 geschaald

MODEL 3: TOEVOEGING VAN GELIJKBLIJVENDE SNELHEIDSVECTOR

Bij het versnellen was te zien dat de persoon naar links of rechts ten opzichte van de gewenste bewegingsrichting verplaatste en deze gewenste bewegingsrichting niet meer kruiste. Bij skeeleren met constante snelheid zou ditzelfde patroon niet verwacht worden, omdat er telkens met een zelfde krachtvector een verandering van de snelheidsvector plaatsvindt. De eerste vraag die opkomt is: "Hoe ziet het grondpatroon van een skeeleraar eruit als er telkens eenzelfde krachtsvector, en dus eenzelfde snelheidsvector, wordt toegevoegd?".

Een dergelijke situatie kan aan de hand van de verkregen gegevens uit de videoanalyse gesimuleerd worden:

- $F_{rx} = 219 \text{ N}$
- $v_y = 25 \text{ km/h} = \frac{25}{3.6} = 6.9 \text{ m/s}$

Hierbij wordt, net als in bij de pilotmeting, de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant gehouden.

Het model werkt volgens de volgende regels:

$$F_{rx} = 219$$

$$v_{y,0} = \frac{25}{3.6}$$

$$v_{toegevoegd,x} = \frac{F_{rx}}{m} \cdot t$$

$$v_{toegevoegd,y} = F_{ry} - F_{w,tot} = 0$$

$$v_{y,i} = v_{y,i-1} + v_{y,i-1} - v_{y,i-2} + v_{toegevoegd,y}$$

afzet naar rechts:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} + v_{toegevoegd,x}$$

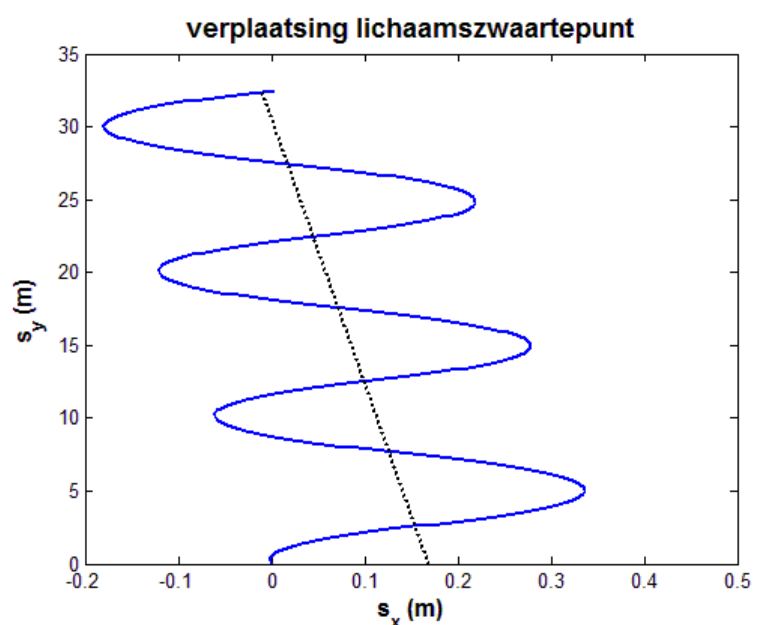
afzet naar links:

$$v_{x,i} = v_{x,i-1} + v_{x,i-1} - v_{x,i-2} - v_{toegevoegd,x}$$

$$s_{x,i} = s_{x,i-1} + v_{x,i} \cdot t$$

$$s_{y,i} = s_{y,i-1} + v_{y,i} \cdot t$$

Het resultaat van het simuleren volgens bovenstaande regels is te zien in de nevenstaande plot.



Figuur 51. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3
 Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt
 Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting
 assen zijn niet 1:1 geschaald

5. EVALUATIE

Tijdens deze evaluatie zal de output van de modellen getoetst worden aan het pakket van voorwaarden. Dit zal puntsgewijs gebeuren.

TOE-OFF VOOR AFZET

Voordat een afzet met het ene been plaatsvindt moet er een toe-off van het andere been plaatsvinden

Deze voorwaarde voor het kunnen simuleren van afzetten die op elkaar volgen, en niet tegelijkertijd optreden, is in alle drie de modellen verwerkt.

WRIJVINGSKRACHTEN

In het model dient er rekening gehouden te worden met de verschillende vormen van wrijving die er optreden:

- Luchtwrijving
- Rolwrijving

In het eerste model is de luchtwrijving opgenomen, de rolwrijving niet. Als we kijken wat de invloed van het ontbreken van de rolwrijving is, komen we op de volgende berekeningen:

$$F_{w,rol} = m \cdot g \cdot c_r = 75.7 \cdot 9.81 \cdot 0.0077 = 5.7 \text{ N}$$

$$F_r = p_{lat} \cdot m \cdot g = 0.35 \cdot 75.7 \cdot 9.81 = 259.9 \text{ N}$$

Het moge duidelijk zijn dat de rolwrijvingscoëfficiënt en het percentage van het lichaamsgewicht de invloeden zijn die voor dit verschil in kracht zorgen omdat in beide formules de massa en zwaartekrachtsversnelling gelijk zijn.

De invloed van de rolwrijving op de kracht die geleverd zou worden is:

$$\frac{c_r}{p_{lat}} \cdot 100\% = \frac{0.0077}{0.35} \cdot 100\% = 2.2\%$$

Dit is een zeer laag percentage, waardoor we kunnen aannemen dat het beeld wat het model schetst niet erg vertekend is.

In het tweede model is totaal geen wrijvingskracht opgenomen. Voor model 1 zagen we al dat de rolwrijving verwaarloosbaar klein is, maar of dit voor de luchtwrijving ook opgaat is de vraag. Als we kijken naar de eindsnelheid van de simulatie (na vier afzetten), dan kan er gesteld worden dat er de volgende luchtwrijvingskracht zal heersen:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot c_w \cdot (v)^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.293 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot (6.9)^2 = 19.7 \text{ N}$$

Als dit vergeleken wordt met de afzetkracht die op dat moment geleverd wordt, komen we op de volgende invloed:

$$\frac{F_{w,lucht}}{F_r} \cdot 100\% = \frac{19.7}{515.16} \cdot 100\% = 3.8\%$$

De invloed van de luchtwrijving op de geleverde afzetkracht blijkt niet groot te zijn.

In het derde model wordt er indirect rekening gehouden met de wrijvingskrachten. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat de snelheid in de gewenste bewegingsrichting constant blijft. Dit kan alleen als er totaal geen wrijving optreedt, of als de reactiekracht in de gewenste bewegingsrichting even groot is als de wrijvingskrachten, de resultante kracht is dan namelijk gelijk aan 0.

AFZETKRACHT

In model 1 is de afzetkracht gedefinieerd als het lichaamsgewicht (vermenigvuldigd met de zwaartekrachtsversnelling) maal een percentage. Dit percentage kan gevarieerd worden. Zo is uit de literatuur bekend dat het percentage van het lichaamsgewicht (in Newton) dat men kan leveren bij een afzet tot 150% kan oplopen.

Hierin is dus geen afzetkracht opgenomen in de vorm van een Hill-curve of volgens de krachten die gevonden zijn in de analyse.

Voor het tweede model is de kracht volgens Hill als eerste uitgangspunt genomen. Vervolgens wordt deze kracht gerelateerd aan de kracht-lengterelatie van een spier. De geleverde spierkracht komt maximaal op 467 N, wat nog geen 100% van het lichaamsgewicht in Newton is (757 N) [5].

In het derde model wordt gebruik gemaakt van de afzetkracht in x-richting, die uit de analyse naar voren is gekomen, om de zijwaartse verplaatsing te simuleren.

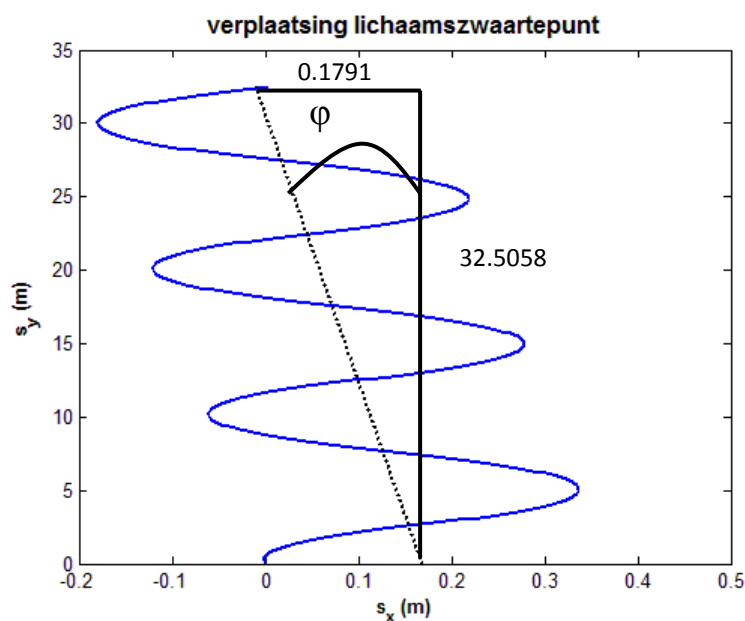
RESULTAAT

In het model dient het lichaamszwaartepunt een sinusvormige curve te beschrijven

Alleen voor het derde model kan gesteld worden dat het uitwendige resultaat (de verplaatsing van de persoon) te vergelijken is met wat uit de analyse naar voren is gekomen.

Net als in het gangpatroon uit de analyse, verplaatst het lichaamszwaartepunt zich in een sinusvorm in de gewenste bewegingsrichting. De zijwaartse verplaatsing is van piek tot piek nagenoeg gelijk. Als we kijken naar de positie van de pieken ten opzichte van de x-as, dan zien we wel een verschil. Waar het grondpatroon van de pilotmeting om de breedte-as oscilleert, is dat bij het gesimuleerde grondpatroon niet zo. Daar oscilleert het lichaamszwaartepunt om een lijn die schuin naar linksboven loopt, zoals weergegeven is in figuur 52. De schuinite is berekend volgens onderstaande methode:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) = \arctan\left(\frac{0.1791}{32.5058}\right) = 0.3^\circ$$



Figuur 52. Verplaatsing lichaamszwaartepunt volgens model 3

Blauw: verplaatsing lichaamszwaartepunt

Zwarte stippellijn: gemiddelde bewegingsrichting

Verticale zwarte lijn: verplaatsing in y-richting

Horizontale zwarte lijn: gemiddelde verplaatsing in x-richting

φ : hoek gemiddelde bewegingsrichting met verticaal

assen zijn niet 1:1 geschaald

6. DISCUSSIE

In deze discussie zullen er puntsgewijs onderwerpen besproken die de resultaten van de pilotmeting of de modellen beïnvloed hebben.

VIDEOANALYSE

Bij het skeeleren op de loopband is sprake van twee variabelen die opgelegd kunnen worden, de hellingshoek en de snelheid. Tijdens de pilotmeting mocht de proefpersoon deze variabelen zelf bepalen. Het is te verwachten dat de proefpersoon hier gaat kiezen voor een combinatie waar hij zich comfortabel bij voelt. Waar tijdens het rijden op de weg de propulsiekracht bepalend is voor de snelheid hoeft dit tijdens de meting niet zo te zijn. Het kan voorkomen dat er een propulsiekracht wordt opgelegd met een niet bijpassende snelheid. Het gevolg hiervan dat de hoek van de skate met de rijrichting niet hoeft overeen te komen met de hoek die gehaald wordt tijdens het rijden op asfalt met een bijpassende snelheid.

De verwerking van de pilotmeting van de double push en klassieke techniek is uitgevoerd bij één snelheid en hellingshoek. Waar het te verwachten is dat de efficiëntie van beide technieken afhankelijk is van de snelheid, valt niet te zeggen dat de double push in alle situaties een bijdrage kan leveren aan de voorwaartse snelheid. Wanneer het onderzoek bij meerder snelheden, hoeken en proefpersonen wordt verricht wordt de betrouwbaarheid van de uitspraken groter.

Hetzelfde geldt voor het aantal slagen dat zijn genomen, tijdens het verwerken is een cyclus van acht slagen uitgekozen. Voor een hogere betrouwbaarheid is het aan te bevelen een langere cyclus te bekijken.

De double push laat zich in vele vormen zien tijdens wedstrijden. Tijdens dit onderzoek is niet op zoek gegaan naar een optimum bij deze techniek. Ook is er niet op zoek gegaan naar een variabele die iets zegt over wat nu een “goede” double push is.

Bij het bepalen van de afzetkracht is gebleken dat er niet met zekerheid te zeggen is wat voor krachten er nu werkelijk worden geleverd tijdens de afzet, en dan met name rond de bipedale fase. De vorm van de krachten kwam wel overeen met gemeten afzetkrachten in de literatuur, echter of op deze manier een realistische waarde is gemeten kan niet worden gezegd.

Ook is bij het bepalen van de afzetkracht de hoogte van het zwaartepunt vastgelegd. De verplaatsing in absolute waarde is nog niet hoog te noemen, echter is de verplaatsing in verticale richting bij de double push wel groter dan die bij de klassieke techniek.

MODEL 1

Zoals bij de evaluatie al besproken is, is er geen gebruik gemaakt van de afzetkracht die verkregen is uit de videoanalyse of vanuit de vergelijking van Hill. Echter, het model dient vooral ter illustratie van het verloop van de afzetricting, waarbij het van belang is dat er een snelheid gegenereerd wordt. Aangezien de afzetkracht in het model gevarieerd kan worden (door het percentage van het lichaamsgewicht in Newton dat geleverd wordt te verhogen), is deze beperking geen groot punt van discussie.

MODEL 2

Bij het tweede model valt het op dat de verplaatsing in zowel x- als y-richting onjuist is. De waarden wijken zo veel af van de werkelijkheid, dat dit model als onjuist beschouwd kan worden.

Een grote beperking in het model is de aanname van krachtslevering met slechts de kniestickeers, waarbij in de verkorting van deze spiergroep geen rekening gehouden is met de bewegingen die plaatsvinden in het heupgewricht (wat een effect heeft op de bi-articulaire m. rectus femoris).

MODEL 3

Het enige punt van discussie van het derde model is dat de gemiddelde afgelegde weg (de stippellijn in figuur 52) niet overeenkomt met de gewenste bewegingsrichting die een verticale lijn voorstelt. De schuimte van de gemiddelde afgelegde weg is echter zeer klein.

THEORETISCH MODEL

Het theoretisch model kent een aantal beperkingen. Zo wordt er geen rekening gehouden met het stuurgedrag van de skeeler ten opzichte van de skeeleraar, er wordt verondersteld dat de skeeler onder een hoek wegløopt bij het lichaam, terwijl in werkelijkheid deze wegløop beperkt wordt door de skeeler steeds meer evenwijdig aan de bewegingsrichting te plaatsen (zoals naar voren gekomen is uit de videoanalyse).

7. CONCLUSIE

Het verslag beschrijft twee fases, namelijk een vergelijking van de double push en klassieke techniek aan de hand van videoanalyse en een modelleringsfase. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model dat inzicht geeft in de afzetprincipes en een beeld schetst van de verschillen van de klassieke en double pushtechniek.

Uit de vergelijking tussen de klassieke en double pushtechniek is gebleken dat de mediale afzet in de double push een extra kracht levert die bijdraagt aan de propulsiekracht. Deze kracht wordt gegenereerd door de afzet naar mediaal. Het totaal geleverd vermogen van de double push en klassieke techniek zijn echter ongeveer gelijk. Het voordeel van de double push schuilt dus in het verlagen van de piekbelasting. De krachtcomponent van de afzetkracht voor de zijwaartse verplaatsing van het lichaamszwaartepunt bij de laterale afzet bleek bij de klassieke groter te wezen dan de double push het gevolg is een breder gangpatroon bij de klassieke techniek. Dit terwijl er bij de double pushtechniek toch meer meters worden afgelegd door de skeelers.

Voor het bepalen van de kwantitatieve afzetkrachten en vermogens, dient de methode voor het verkrijgen de afzetkracht gevalideerd te worden en eventueel aangepast te worden. Dit is mogelijk door met een voetzool krachtmeter te meten tijdens het skeeleren. Een aspect wat hiervan belang kan zijn is de ab- en adductiemogelijkheid van het art. coxae tijdens de bipedale fase.

Uit de modelstudie bleek dat de richting van de skate steeds evenwijdiger aan de gewenste bewegingsrichting wordt geplaatst naarmate de snelheid in voorwaartse richting toeneemt. De skate komt echter nooit evenwijdig te staan omdat op een gegeven moment de wrijvingskrachten gelijk zijn aan voorwaartse kracht component.

In het tweede model is gepoogd de kracht-lengterelaties en kracht-snelheidsrelaties te bepalen, dit heeft echter niet geleid tot een realistisch gangpatroon.

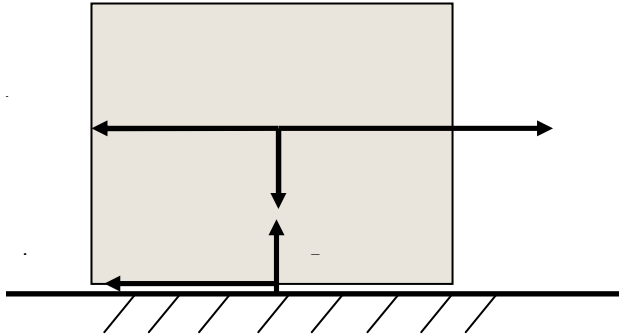
In het derde model is met behulp van de verkregen afzetkracht in x-richting (219 N) en de snelheid in gewenste bewegingsrichting (25 km/h) uit de analyse van de klassieke techniek, een projectie van het lichaamszwaartepunt weergegeven. De verplaatsing van dit model kwam overeen met de werkelijke verplaatsing.

Voor het verkrijgen van een beter model dient er rekening gehouden te worden met de baan van de skate en het lichaamszwaartepunt. De afzetkracht dient door het lichaamszwaartepunt te lopen. Omdat de verandering van de positie van het skate contact en het lichaamszwaartepunt constant varieert is dit een belangrijk aspect is voor het verkrijgen van de snelheid. Wanneer hier de posities en standen van het been ook nog in meegenomen worden, zal de kracht-lengterelatie en kracht-snelheidsrelatie een grotere voorspellende waarde hebben voor de prestaties.

- [1] Publow B. Speed on skates: a complete technique, training and racing guide for in-line and ice skaters. Human Kinetics; 1999
- [2] De Boer RW, Vos E, Hutter W, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice, *European Journal of Applied Physiology* 56 (1987) 562-569
- [3] Oonk HN. Biostatica. Den Haag: Henric Graaff van IJssel; 2004
- [4] Claiborne TL, Timmons MK, Pincivero DM. Test-retest reliability of cardinal plane isokinetic hip torque and EMG, *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2008)
- [5] Hoos O, Hottenrott K, Sommer H. Push-off force in in-line speed skating: magnitude, local distribution under the foot and point of application, *Biomechanics and Sports* 1103 (2001)
- [6] Houdijk H, De Koning JJ, De Groot G, Bobbert MF, Van Ingen Schenau GJ. Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates, *Medicine & Science in Sports & Exercise* (1999) 636-641
- [7] De Koning JJ, De Boer RW, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. Push-off force in speed skating, *International Journal of Sport Biomechanics* 3 (1987) 103-109
- [8] Cheng EJ, Brown IE, Loeb GE. Virtual muscle: a computational approach to understanding the effects of muscle properties on motor control, *Journal of Neuroscience Methods* (2000) 117-130
- [9] Hoy MG, Zajac FE, Gordon ME. A musculoskeletal model of the human lower extremity: the effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee and ankle, *Journal of Biomechanics* 23 (1990) 157-169
- [10] Bornhorst WJ, Minardi JE. A phenomenological theory of muscular contraction, *Biophysical Journal* 10 (1970) 155-171
- [11] Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscles, *Journal of Physiology* (1966) 184:170-192
- [12] Askew GN, Marsh RL. Optimal shortening velocity (v/v_{max}) of skeletal muscle during cyclical contractions: length-force effects and velocity-force dependent activation and deactivation, *The Journal of Experimental Biology* 201 (1998) 1527-1540
- [13] Thaller S, Wagner H. The relation between Hill's equation and individual muscle properties, *Journal of Theoretical Biology* 231 (2004) 319-332
- [14] Borg F, Herrala M. The force-velocity relation studied with a pneumatic leg-extension/curl device, Jyväskylä University, 2002
- [15] McLean SG, Van den Bogert AJ. Development and validation of a 3-D model to predict knee joint loading during dynamic movement, *Journal of Biomedical Engineering* 125 (2003) 864-874

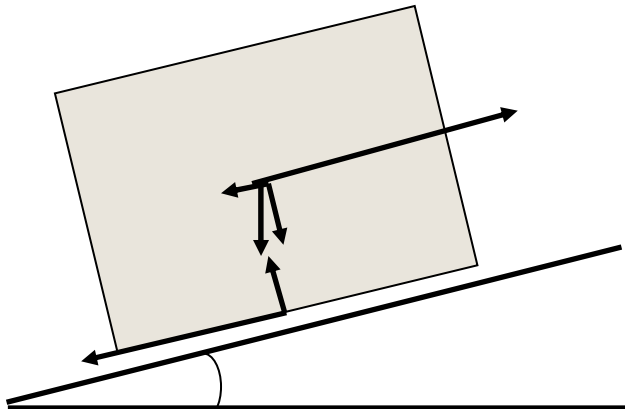
BIJLAGE I: SKEELEREN OP EEN LOPENDE BAND

De pilotmeting is uitgevoerd op een loopband, waar de proefpersoon toch het idee had dat het anders skeeleren is dan tijdens het skeeleren. In dit hoofdstuk zal kort in worden gegaan op het rijden op de lopende band in vergelijking met de weg. Ter vereenvoudiging wordt de skeeleraar opgevat als een blok.



$$F_x = F_{prop} - F_{rol} - F_{luchtw} = 0$$

$$F_y = F_n - F_z = 0$$



$$F_{zl} = \sqrt{F_{zx}^2 + F_{zy}^2}$$

$$F_{xl} = F_{prop} - F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = 0$$

$$F_{yl} = F_n - m * g * \cos(\text{hoek}) = 0$$

Wanneer geldt dat:

$$F_{prop} = -F_{rolh} - m * g * \sin(\text{hoek}) = -F_{rol} - F_{luchtw} ,$$

is het rijden tegen een helling op de lopende band mechanisch hetzelfde als rijden op het vlakke waar een luchtweerstand overwonnen dient te worden.

De band heeft echter wel twee variabelen: de snelheid en de hoek zorgen samen voor F_{prop} . Op de weg wordt er een F_{prop} geleverd en daar past de snelheid zich op aan. Lever je minder kracht dan ga je minder hard. Wanneer de lopende band een bepaalde propulsiekracht vraagt maar deze wordt niet geleverd kan dit

resulteren in een verplaatsing op de band, wat de proefpersoon vervolgens weer corrigeert. Het gevolg is dat de proefpersoon telkens zijn eigen propulsiekracht evalueert. In andere woorden bij de lopende band blijven de hoek en snelheid gelijk en dient de persoon zijn F_{prop} er op aan te passen. Hierdoor kan het gebeuren dat de lopende band wordt ingesteld op een hoek die een propulsiekracht vraagt die voor het gevoel van de skeeleraar niet bij de snelheid hoort die de band op dat moment draait. Dit kan onwennig voelen, immers een skeeleraar is er aan gewend dat de snelheid aangepast wordt aan zijn propulsiekracht.

Een ander verschil is dat wanneer de hoek van de lopende band met horizontaal steeds groter wordt, de projectie van het lichaamszwaartepunt meer in de richting van het achterste wiel komt te liggen. Dit geldt alleen wanneer de skater zijn heup-, knie- en enkelhoek niet verandert.

Het lichaamszwaartepunt wordt bij contactfase door ongeveer het midden van de voet geprojecteerd [1]. Bij een voetlengte van 26 cm bij de proefpersoon betekent dus dat een verplaatsing van de projectie van 13 cm een projectie achter het bovenste spronggewricht als gevolg heeft, waardoor de coördinatie van de afzet compleet anders is. Uit de videoanalyse bleek dat het lichaamszwaartepunt zich 1,1 meter boven de grond bevindt.

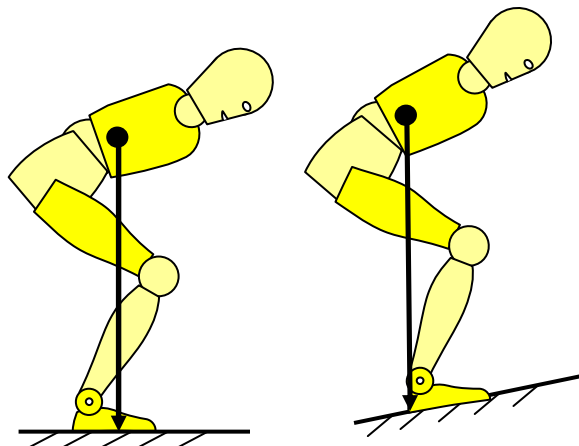
$$projectie = \tan(hoek) * hoogte_{zwp}$$

Dit betekent dat bij een hoek van 6,7 graden de projectie van het lichaamszwaartepunt door de dorsale zijde van de calcaneus gaat.

De hoek van de band is tijdens de videoanalyse ingesteld op 2,5 graden. Dit betekent dat de zwaartepunt projectie 4,8 cm verder naar achter ligt dan bij het skeeleren op de weg. Dit is een aanzienlijke afwijking op de lengte van de voet.

Het bovenste sprong gewricht ligt ongeveer 8 cm naar dorsaal ten opzichte van de projectie van lichaamszwaartepunt op een horizontale ondergrond. Dit betekent dat de momentsarm rond het bovenste spronggewricht in deze situatie 42,5% van normaal is.

Er zal dus zeker een verandering in hoek moeten optreden, dit is zonder problemen te realiseren. Echter, hierdoor veranderen de momentsarmen wel enigszins waardoor de coördinatie een fractie anders is.

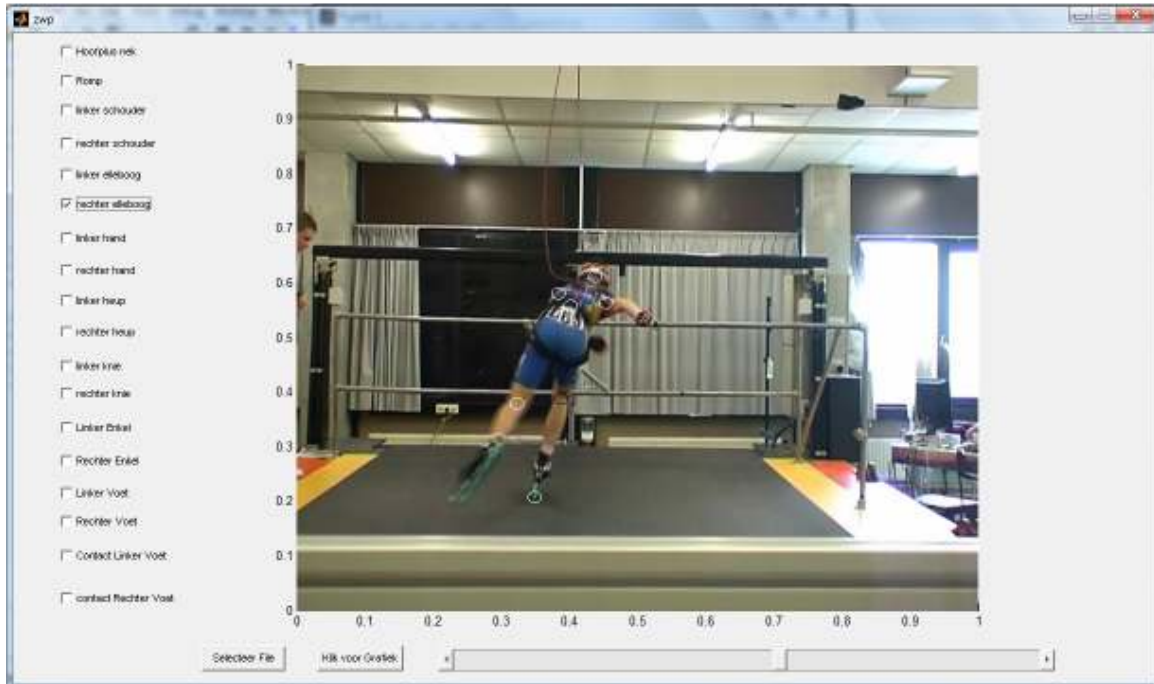


Geconcludeerd kan worden dat de propulsiekrachten en snelheden op de lopende band wel overeen kunnen komen met het skeeleren op de weg. Echter, er wordt wel een andere coördinatie gevraagd en de proefpersoon moet zijn afzetkracht aanpassen op de lopende band en niet andersom.

BIJLAGE II: BESCHRIJVING GUI

Met behulp van Matlab is een programma geschreven, dat de baan van het lichaamszwaartepunt en de voetcontacten op de grond projecteert aan de hand van een video van dorsaal aanzicht van een persoon die zich met een bekende snelheid in voorwaartse richting verplaatst.

Met het programma kan een .avi file ingelezen worden die overeenkomt met de codec op computer. Vervolgens kan naar een vrij te kiezen begin beeld kiezen, door de checkboxen aan te vinken en vervolgens de bijbehorende positie in op het beeld aan te klikken (figuur 53).



Figuur 53. Screenshot GUI

De data wordt weggeschreven naar een bestand en ieder volgend punt dat aangeklikt wordt wanneer de checkbox geselecteerd is wordt in het zelfde bestand onder het vorige coördinaat gezet. Hierdoor ontstaat een matrix van een x- en y-positie van alle punten. Dit geldt voor alle 18 checkboxen.

$$\begin{bmatrix} xcoördinaat & ycoördinaat \\ punt1 & punt1 \\ punt2 & punt2 \end{bmatrix}$$

Door de frequentie van de videobeelden in te voeren is de tijd tussen de beelden te bepalen. Wanneer de snelheid constant en bekend is, is het mogelijk de afstand tussen de punten berekenen.

Voor de bepaling van de kwantitatieve afstand afgelegd in de zijwaartse richting dient een afstand in het beeld bekend te zijn. Met behulp van de volgende vergelijking wordt door middel van ijking de grote van een pixel bepaald.

$$\frac{\text{bekende } s}{\text{aantal pixels}} = \text{factor}$$

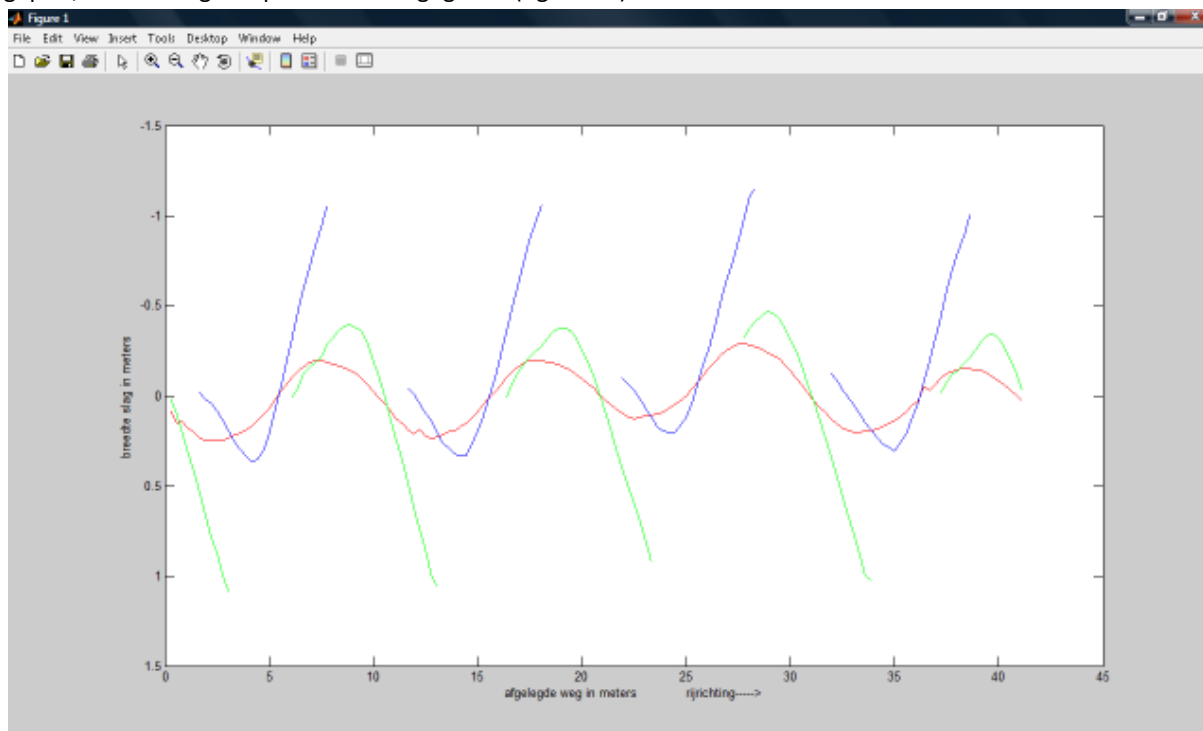
Door de data te vermenigvuldigen met deze factor worden de coördinaten omgezet in meters.

Het lichaamszwaartepunt wordt bepaald met de coördinaten van alle ledematen en de massa's van de ledematen verkregen uit de reader van Bert Broeren: Antropometrie.

$$\frac{\sum massa_{i+n} * coördinaat_{i+n} + \dots}{totale\ massa} = coördinaat\ lichaamszwaartepunt$$

Het programma doet dit voor alle rijen, in de matrix ontstaat een zelfde soort matrix met de posities van het zwaartepunt.

Wanneer de momenten dat de skate contact maakt met de grond wordt ook aangeklikt en naar een matrix geschreven worden. Als de matrices van de contactpunten en het zwaartepunt samen in een grafiek worden geplot, wordt het grondpatroon weer gegeven (figuur 54).



Figuur 54. Grondpatroon lichaamszwaartepunt en contacten skates

Met behulp van deze verkregen data zijn vervolgens meer gegevens te bepalen.