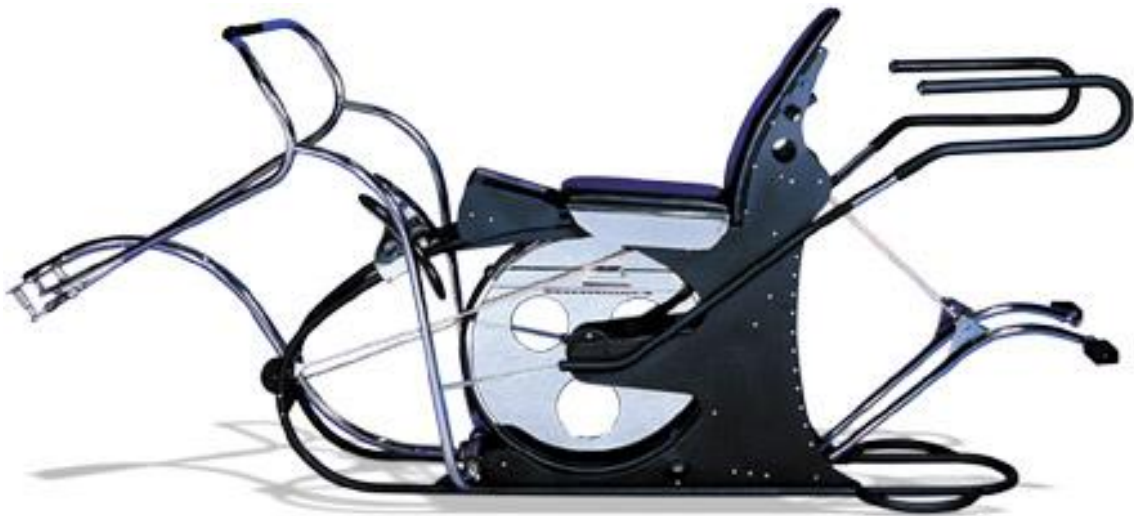


Vermogensbepaling op de ROM-Machine



Coen de Weerd

*Augustus 2009
Opleiding Bewegingstechnologie, HHS*



Afstudeerverslag Bewegingstechnologie:

Vermogensbepaling op de ROM-Machine

Coen de Weerd, 20045794

Opleiding Bewegingstechnologie
Haagse Hogeschool, Den Haag

1^e afstudeerbegeleider: Jan Jaap De Morree
2^e afstudeerbegeleider: Aad Lagerberg



Voorwoord

Voor u ligt het verslag dat is geschreven naar aanleiding van mijn afstudeerproject voor de opleiding Bewegingstechnologie. Dit afstudeerproject is ontstaan aan de hand van een opdracht opgesteld door een externe opdrachtgever, Hans Mars, en is grotendeels uitgevoerd op de Haagse Hogeschool.

Dit verslag is geschreven om geïnteresseerden uitleg te geven over de uitgevoerde afstudeeropdracht en de behaalde resultaten. Het verslag geeft hopelijk een duidelijk beeld van de werkzaamheden en resultaten van dit project.

Ik wil graag alle mensen bedanken die mij hebben geholpen bij mijn afstuderen. In het bijzonder wil ik de volgende personen bedanken:

- Hans Mars, voor het beschikbaar stellen van de ROM-Machine.
- Mijn afstudeerbegeleider Jan Jaap de Morree, voor de voortgangsgesprekken.
- Monique Berger, voor het helpen bij het opstarten van het project.
- Rienk van der Slikke, Herre Faber, Jorine Koopman en Rochus van der Doef die mij inhoudelijk hebben geholpen bij enkele vraagstukken.
- Mark Schrauwen voor de praktische hulp bij het aansluiten van de sensor.
- Alle proefpersonen die mee hebben gedaan met het testen.

Den Haag, augustus 2009

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Inhoudsopgave	4
Samenvatting	5
Verklarende woordenlijst	7
Notaties	9
1. Inleiding	10
2. De huidige ROM-Machine	11
2.1 Bewegen op de ROM-Machine	11
2.1.1 <i>Zittend gedeelte</i>	11
2.1.2 <i>Staan gedeelte</i>	12
2.2 Het vliegwiel	12
2.2.2 <i>Werking</i>	12
3. Mechanisch Vermogen	14
3.1 Momenten op het vliegwiel	14
3.1.1 <i>(krachts)Moment veroorzaakt door massa-traagheid</i>	15
3.1.2 <i>Moment veroorzaakt door de rem</i>	15
3.2 Snelheid en versnelling	16
3.1.2 <i>Sensor, signaal en verwerking</i>	16
3.3 Formule mechanisch vermogen	17
3.3.1 <i>Totale formule</i>	17
3.3.2 <i>Betrouwbaarheid formule</i>	18
4. Pilotstudie naar inwendig vermogen op de huidige ROM-Machine	20
4.1 Methode en materialen	20
4.1.1 <i>Proefpersonen</i>	20
4.1.2 <i>Meting</i>	21
4.1.3 <i>Statistische analyse en model</i>	21
4.2 Resultaten	22
4.2.1 <i>Oefening voor het bovenlichaam</i>	22
4.2.2 <i>Oefening voor het onderlichaam</i>	25
4.2.3 <i>Betrouwbaarheid formules</i>	28
5. Toepassing	30
5.1 Delphi programma	30
5.2 Toepassing op nieuw te ontwerpen ROM-Machine	30
6. Discussie	32
7. Conclusies	34
Literatuurlijst	36
Bijlagen	37



Samenvatting

De ROM(Range Of Motion)-Machine is een fitnessapparaat waarmee in vier minuten per dag een complete training kan worden uitgevoerd met uitstekende resultaten. De machine is echter al meer dan 20 jaar oud en mist kenmerken waaraan een fitnessapparaat in de huidige tijd voldoet. Het fitnessapparaat wordt opnieuw ontworpen met het oogmerk een interessant product te zijn voor de huidige markt. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de onder het gebruikersgemak vallende feedback. Deze is bij de huidige machine minimaal. Het werkingsprincipe van de ROM-Machine (d.w.z. de bewegingen die het apparaat kan maken) en de belasting van de oefeningen zullen bij het herontwerp niet veranderen. De feedback naar de gebruiker zal mechanisch en inwendig vermogen (energieverbruik) bevatten. De basiseigenschappen van de ROM-Machine zullen ongewijzigd blijven. Daarom kan de huidige machine worden gebruikt om gegevens te genereren voor de feedback. Van de huidige machine wordt het mechanisch vermogen tijdens gebruik onderzocht. Tevens wordt met gebruik van de huidige ROM-Machine een pilotstudie opgezet voor het bepalen van het inwendig vermogen.

Het apparaat bestaat uit twee gedeeltes, een zittend gedeelte voor het bovenlichaam en een staand gedeelte voor het onderlichaam. Bij het zittende gedeelte wordt een soort roeibeweging uitgevoerd waarbij zowel bij de heen- als de teruggaande beweging kracht moet worden geleverd. Bij het staande gedeelte wordt een soort stepbeweging uitgevoerd. De bewegingen kennen een zo maximaal mogelijk bewegingsbereik. De gebruiker levert bij het bewegen een kracht op de handvatten (zittend gedeelte) of op de pedalen (staand gedeelte). De geleverde krachten worden via een systeem met kettingen overgebracht op het mechanisch geremde vliegwiel. Met behulp van dit vliegwiel kan de intensiteit van de oefening worden bepaald. De intensiteit is naast de instelling afhankelijk van de snelheid en de versnelling van het vliegwiel.

Het mechanisch vermogen is bepaald door de op het vliegwiel werkende momenten te onderzoeken. De tijd per omwenteling van het vliegwiel is te bepalen met behulp van de op de machine aanwezige sensor. Afgeleiden van de tijd per omwenteling kunnen gebruikt worden om het mechanisch vermogen te berekenen.

$$P_{Mech} = (M_{rem} + M_f) * \omega \text{ [Watt]}$$

$$P_{Mech} = ((3,89 * 10^{-4} * Instelling + 2,13 * 10^{-2}) * \omega^2 + 3,98 * \alpha) * \omega \text{ [Watt]}$$

De betrouwbaarheid van de formule is theoretisch onderzocht. Dit is gebeurd met een analyse in Maple 12, door het berekenen van het momentane vermogen tijdens een oefening en door het rendement te vergelijken met literatuur. Hieruit blijkt dat de formule een redelijke inschatting geeft van het mechanisch vermogen.

In de pilotstudie voor het bepalen van het inwendig vermogen wordt onderzocht welke factoren (geslacht, leeftijd, gewicht, lengte, geleverd mechanisch vermogen, momentane hartfrequentie) significant van invloed zijn op het inwendig vermogen bij gebruik van de ROM-Machine. Deze factoren worden gebruikt om het inwendig vermogen te voorspellen. In het onderzoek wordt per test een incrementale submaximaal test uitgevoerd op de ROM-Machine. Per stap (mechanisch vermogen) wordt een steady state verkregen voor hartfrequentie en ademgaswisseling. Met behulp van de data per steady state en de individuele kenmerken van de proefpersonen wordt een multiple regressieanalyse uitgevoerd. In deze regressieanalyse wordt bepaald welke factoren worden gebruikt voor het schatten van het inwendig vermogen en wordt een statistisch model gecreëerd dat het inwendig vermogen schat.



			Formule	Verklarende variantie [%]
Bovenlichaam	Mannen	Zonder Hf	$P_{in} = 334,436 + 4,522 * P_{Mech}$	71,2
		Met Hf	$P_{in} = -2786,483 + 2,701 * P_{Mech} + 4,351 * Hf + 14,596 * Lengte$	90,5
	Vrouwen	Zonder Hf	$P_{in} = 178,859 + 5,652 * P_{Mech}$	44,7
		Met Hf	$P_{in} = 210,147 + 3,486 * Hf - 16,299 * Leeftijd + 2,279 * P_{Mech}$	75,6
Onderlichaam	Mannen	Zonder Hf	$P_{in} = 503,189 + 2,698 * P_{Mech}$	52,0
		Met Hf	$P_{in} = 182,558 + 1,984 * P_{Mech} + 2,689 * Hf$	68,1
	Vrouwen	Zonder Hf	$P_{in} = -641,857 + 2,598 * P_{Mech} + 6,297 * Lengte$	62,2
		Met Hf	$P_{in} = -629,016 + 2,358 * Hf + 1,729 * P_{Mech} + 4,441 * Lengte$	80,0

Tabel 1: voorspellende formules inwendig vermogen (inclusief verklarende variantie)

Met behulp van de verklarende variantie wordt de betrouwbaarheid van de gecreëerde formules bepaald.

De gegenereerde formules kunnen worden gebruikt voor de nieuw te ontwerpen ROM-Machine. De formule voor het mechanisch vermogen kan als leidraad worden gebruikt om de weerstand van het elektromagnetisch geremde vliegwiel te bepalen. Omdat de te maken bewegingen hetzelfde zullen zijn op beide machines geeft de schatting van het inwendig vermogen een redelijke prognose voor de nieuwe machine. Voor de schatting van het inwendig vermogen wordt echter wel het op de huidige ROM-Machine berekende mechanisch vermogen gebruikt. Ook kunnen bijvoorbeeld andere momentarmen bij de nieuwe machine zorgen voor een minder betrouwbare berekening van het inwendig vermogen.

De manier waarop de methode wordt gecreëerd voor het voorspellen van het inwendig vermogen is te gebruiken om een onderzoek op de nieuw te ontwerpen ROM-Machine op te zetten met een grotere groep proefpersonen. Hiermee zouden de uiteindelijke formules voor het schatten van het inwendig vermogen op de nieuw te ontwerpen ROM-Machine kunnen worden geformuleerd.

De in dit onderzoek bepaalde factoren die invloed hebben op het inwendig vermogen bij gebruik van de ROM-Machine zullen dan wel opnieuw moeten worden bepaald. Bij een grotere meer gevarieerde groep proefpersonen is de invloed van deze factoren namelijk nauwkeuriger te bepalen.

Geconcludeerd kan worden dat het onderzoek naar het mechanisch vermogen en de pilotstudie voor het inwendig vermogen voldoende betrouwbare gegevens hebben opgeleverd voor feedback informatie bij de nieuw te ontwerpen ROM-Machine. Wel wordt dan een aanvullende studie aanbevolen die de formule voor P_{mech} verder valideert. Ook is het raadzaam om een nadere studie te verrichten voor het bepalen van het inwendig vermogen bij de nieuw te ontwerpen ROM-Machine. Bij dit onderzoek zullen de factoren die het inwendig vermogen bij gebruik van de ROM-Machine beïnvloeden opnieuw worden bepaald.



Verklarende woordenlijst

3-punts moving average filter	Filter dat werkt door een gemiddelde te nemen van drie opeenvolgende waarden in een reeks. Dit gemiddelde wordt telkens opnieuw berekend als er een nieuwe waarde aan de reeks worden toegevoegd.
Ademgasanalyseapparatuur	Hulpmiddel welke de ademgaswisseling analyseert.
Ademgaswisseling	Het verversen van de lucht in de longen (veranderen van het zuurstofvolume en het koolstofdioxidevolume).
Adjusted R Square	Verklarende variantie gecorrigeerd per aantal cases (n).
Afhankelijke variabele	Variabele die wordt voorspeld. Bijvoorbeeld in $y=3x$ is y de afhankelijke variabele.
Centrifugaalkracht	Een middelpunt vliedende kracht veroorzaakt door de snelheid van een draaiend object.
Correlatiematrix	Matrix van correlatiecoëfficiënten.
Counter	Functie van de LabJack 3, registreert en telt pieken in een analogo signaal.
Debounce filter	Filter welke ruispieken na een eerste initiële piek wegfiltert. Deze ruispieken zijn bij een aan/uit schakelaar vaak aanwezig.
Delphi 7	Computerprogramma waarmee met behulp van objectgeoriënteerde programmeertaal gebruiksvriendelijke interfaces kunnen worden gecreëerd.
Gouden standaard	Een in een validatiestudie gebruikte meetmethode die de grootste zekerheid geeft qua uitkomst van het onderzochte.
Hartfrequentie	Het aantal hartslagen per minuut.
Hartslagmeter	Hulpmiddel welke het aantal hartslagen per minuut registreert.
Incrementale submaximaal test	Test waarbij de intensiteit in gelijke stappen wordt verhoogd. Hierbij blijft de inspanning voor de proefpersoon onder zijn/haar maximum.
Indirecte calorimetrie	Het indirect bepalen van het energieverbruik (o.a. mogelijk met behulp van ademgasanalyse).
Interactive Physics 2000	Natuurkundig simulatieprogramma.
Intercept (A)	Snijpunt met de Y-as.
Inwendig vermogen	Door een persoon geleverd metabole vermogen. Hoeveel watt gebruikt het lichaam totaal.
Inwendige weerstand	Weerstand van het draaiende vliegwiel als er geen remkracht en geen propulsie is.
LabJack 3	Op USB-connectie gebaseerd apparaatje dat kan worden gebruikt voor data acquisitie. Wordt gebruikt om het signaal van de sensor gefilterd en digitaal naar de computer te krijgen.
Lineaire regressie	Het berekenen van de best passende rechte lijn door een puntenwolk (met 1 afhankelijke en 1 onafhankelijke variabele).
Low-pass filter	Filter welke alleen lage frequenties in een signaal doorlaat.



Maple 12.0	Wiskundig computerrekenprogramma.
Mechanisch rekenmodel	Model waarin door middel van wiskunde en mechanica een mechanisch vraagstuk mee wordt opgelost.
Mechanisch vermogen	Vermogen dat wordt geleverd op het vliegwiel.
Multiple regressie	Het berekenen van een functie met meer dan één onafhankelijke variabelen.
N of n	Aantal Cases.
Numerieke differentiatie	Differentiëren van een reeks waarden.
Onafhankelijke variabele	Voorspelt het veranderen van een afhankelijke variabele Bijvoorbeeld in $y=3x$ is x de onafhankelijke variabele.
Pilotstudie	Kleinschalig opgezet onderzoek welke vaak als voorbeeld dient voor een uitgebreider onderzoek in de toekomst.
R	Correlatie van de afhankelijke variabele met alle onafhankelijke variabelen tezamen.
Regressiecoëfficiënt (B_i)	Schatting van een parameter van het regressiemodel door middel van regressieanalyse. Bij enkelvoudige regressie is dit de helling van de regressielijn.
Remkracht	Kracht uitgeoefend door de rem.
RER waarde	(respiratoire exchange ratio) quotiënt van het VCO_2 en VO_2 . Zolang deze kleiner is dan nul is de geleverde inspanning aeroob. De vergelijking van Weir kan dan worden gebruikt om het energieverbruik te berekenen.
SPSS	Computerprogramma waarmee data met behulp van statistische technieken kan worden geanalyseerd.
Standaarddeviatie (sd)	Maat voor de afwijking van alle waarnemingen ten opzicht van het rekenkundig gemiddelde.
Statistisch model	Model waarin de werkelijkheid vereenvoudigd kan worden door statistiek toe te passen.
Steady state(s)	Dynamisch evenwicht. Bij gelijk blijvende inspanning gaat het lichaam na bepaalde tijd naar een evenwichtstoestand.
Uitwendig vermogen	Door een persoon geleverd vermogen niet rekening houdend met de efficiëntie van het lichaam.
Validatiestudie	Studie waarin de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van een methode/meting wordt bepaald.
Verklarende variantie (R^2)	percentage dat weergeeft in welke mate de werkelijke en de voorspelde waarden van de regressieanalyse op elkaar lijken.
Vliegwiel	Wiel met een grote massa waarin bewegingsenergie wordt opgeslagen.
Weerstand	Kracht die een andere kracht tegenwerkt.



Notaties

EE	Energieverbruik	$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$	Kilojoule per minuut
F	Kracht	N	Newton
f	Frequentie	s^{-1}	Omwenteling per seconde
J of I	Massatraagheid	$\text{Kg} \cdot \text{m}^2$	kilogram meter kwadraat
m	Massa	Kg	Kilogram
M	Moment	Nm	Newtonmeter
P	Vermogen	W	Watt
RPM	Omwentelingen per minuut	Min^{-1}	Per minuut
s	Afstand/ afgelegde weg	m	Meter
t	Tijd	s	Seconde
VCO_2	Volume uitgeademde koolstofdioxide per minuut	$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$	Liter per minuut
VO_2	Volume uitgeademde zuurstof per minuut	$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$	Liter per minuut
$\text{VO}_{2\text{max}}$	Maximaal opneembaar volume uitgeademde zuurstof per minuut	$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$	Liter per minuut
α	Hoekversnelling	$\text{Rad} \cdot \text{s}^{-2}$	Radialen per seconde kwadraat
ω	Hoeksnelheid	$\text{Rad} \cdot \text{s}^{-1}$	Radialen per seconde



1. Inleiding

De ROM-Machine is een fitnessapparaat waarmee volgens de fabrikant (Rom Fab, Verenigde staten) in een zeer korte tijd een zeer complete training kan worden uitgevoerd met uitstekende resultaten. Daarvoor hoeft maar vier minuten per dag of 2x4 minuten om de dag op de ROM-Machine te worden geoefend. De eigenschappen van de machine en de invloed hier van op de getraindheid van de gebruiker zijn in verschillende onderzoeken bevestigd [5,6,7,8,14]. De machine is echter al meer dan 20 jaar oud en mist kenmerken waaraan een fitnessapparaat in de huidige tijd voldoet. Daarom wordt het fitnessapparaat op dit moment opnieuw ontworpen met het oogmerk een interessant product te zijn voor de huidige markt.

Relevante aspecten bij het opnieuw ontwerpen zijn veiligheid en gebruikersgemak. Tot het gebruikersgemak behoort onder andere de feedback naar de gebruiker. Deze is bij de huidige machine minimaal. De machine geeft nu alleen het gewenste en het werkelijke tempo van de oefening weer. Bij huidige (cardio-)fitnessapparatuur wordt ook vaak afgelegde weg, snelheid en/of een vorm van energieverbruik of vermogen weergegeven (bijlage I). Daarbij wordt van het inwendig vermogen en het energieverbruik doorgaans een schatting gemaakt. De nauwkeurigheid van de schatting varieert per fabrikant en ook nog eens per apparaat [17].

Het werkingsprincipe van de ROM-Machine (d.w.z. de bewegingen die het apparaat kan maken) en de belasting van de oefeningen zullen bij het herontwerp niet veranderen. De feedback naar de gebruiker zal in het herontwerp wel worden verbeterd en zal onder andere mechanisch en inwendig vermogen (energieverbruik) weergeven. Omdat de basiseigenschappen van de ROM-Machine ongewijzigd blijven, kan de huidige machine worden gebruikt om gegevens te verzamelen voor het herontwerp. Deze gegevens worden gebruikt om een beeld te vormen over de te leveren vermogens. Van de huidige machine wordt het mechanisch vermogen tijdens gebruik onderzocht. Tevens wordt met gebruik van de huidige ROM-Machine een pilotstudie opgezet voor het bepalen van het inwendig vermogen.

Specifieke probleemstelling.

Onderzoek het mechanisch vermogen en ontwikkel een methode om het inwendig vermogen te kunnen voorspellen bij de verschillende instellingen van weerstand tijdens het gebruik van de huidige ROM-machine.

Deelvragen.

Wat is de ROM-machine?

Hoe wordt de weerstand van de oefening op de ROM-Machine bepaald?

Hoe wordt deze weerstand ingesteld?

Wat is het mechanisch vermogen bij gebruik van de ROM-Machine?

Welke factoren hebben invloed op het inwendig vermogen bij gebruik van de ROM-Machine?

Wat is het inwendig vermogen bij gebruik van de huidige machine?

Is de gebruikte methode ook toe te passen op de nieuw te ontwerpen machine?



2. De huidige ROM-Machine

De ROM-Machine is een fitnessapparaat met als volledige naam: Range Of Motion-Machine. Het apparaat bestaat uit twee gedeeltes, een zittend gedeelte voor het bovenlichaam en een staand gedeelte voor het onderlichaam. Bij het zittende gedeelte wordt een soort roebeweging uitgevoerd waarbij zowel bij de heen- als de teruggaande beweging kracht moet worden geleverd. Bij het staande gedeelte wordt een soort stepbeweging uitgevoerd (zie figuur 1). Deze beide bewegingen worden in een voor de gebruiker zo maximaal mogelijk bewegingsbereik uitgevoerd zodat zoveel mogelijk van de gebruikte gewrichten richting eindstand bewegen. De gebruiker levert bij het bewegen een kracht op de handvatten (zittend gedeelte) of op de pedalen (staand gedeelte). De geleverde krachten worden via een systeem met kettingen overgebracht op hetzelfde mechanisch geremde vliegwiel.



Figuur 1: De ROM-Machine

2.1 Bewegen op de ROM-Machine

De te maken bewegingen op de ROM-Machine zijn specifiek voor dit fitnessstoestel en moeten dus door de gebruiker worden aangeleerd. Een korte bewegingsbeschrijving per gedeelte verbetert het inzicht van het apparaat. (een uitgebreide bewegingsanalyse is te vinden in bijlage II)

2.1.1 Zittend gedeelte

Zoals gezegd is het zittende gedeelte een soort roebeweging. Op enkele punten is de beweging echter anders. Behalve een trekkende beweging moet er ook bij het duwen inspanning worden geleverd en het bij het roeien belangrijke strekken van de benen is niet aanwezig.

Zittend op het stoeltje worden de hendels vast gehouden naast het lichaam. Hierbij volgt de rug de vorm van de rugleuning, wordt de schoudergordel in retractie geplaatst, de bovenarmen zo ver mogelijk geretroflecteerd met als gevolg dat er in het ellebooggewricht wordt geflecteerd en in het polsgewricht wordt vooral een ulnair adductie uitgevoerd. Vanuit deze houding worden de armen



volledig gestrekt en de schoudergordel richting protractie bewogen. Terwijl deze beweging wordt uitgevoerd worden de handen voor de borst samengebracht. Omdat de stangen niet worden geleid in medio-laterale richting, moet bij het vooruit duwen van de stangen de geleverde kracht constant worden gestuurd. Na het strekken van de armen wordt de rug actief geflecteerd (hierbij is het de bedoeling dat de gebruiker wel aangesloten aan de rugleuning blijft). Na de initiële beweging in de rug vindt er ook anteflexie in het heupgewricht plaats tot de gebruiker een maximaal mogelijke beweging heeft gemaakt of de stangen van de ROM-Machine in de uiterste stand staan. Dit is de eindpositie van de duwende beweging en tevens de beginpositie van de trekkende beweging. Vanuit deze beginstand wordt de net beschreven beweging in principe omgekeerd uitgevoerd. Ofwel na een retroflexie in Art. Coxae wordt de rug gestrekt, waarna de handen tot voor de borst worden gebracht om vervolgens de schoudergordel richting retractie te bewogen zodat de eindpositie van de trekkende beweging en de beginpositie van de duwende beweging wordt bereikt.

2.1.2 Staand gedeelte

Zoals gezegd is het staande gedeelte een soort stepbeweging. De beweging op de ROM-machine verschilt echter in het volgende: Er moeten maximale bewegingsuitslagen worden gemaakt.

Als naar de oefening zelf wordt gekeken is de beginpositie de volgende: de gebruiker staat met licht gebogen knieën op de pedalen die op gelijke hoogte staan, hierbij staat het totale lichaam iets voorover en kunnen de handen worden gebruikt voor balans. Vanuit deze houding wordt één van de pedalen weggeduwd door het betreffende been te strekken tot het andere been zover geheven is dat het nog net kracht op het pedaal kan leveren en het lichaamszwaartepunt boven dit pedaal kan worden gebracht. Dit is de beginpositie voor de werkelijke bewegingsanalyse. Vanuit deze positie wordt het lichaamszwaartepunt boven het hoogste pedaal gebracht en terwijl dit gebeurt wordt het been boven dit pedaal gestrekt zodat het pedaal naar beneden wordt geduwd. Als het andere been zover geheven is dat het nog net kracht op het pedaal kan leveren en het lichaamszwaartepunt boven dit pedaal kan worden gebracht wordt dezelfde beweging aan de andere kant uitgevoerd.

2.2 Het vliegwiel

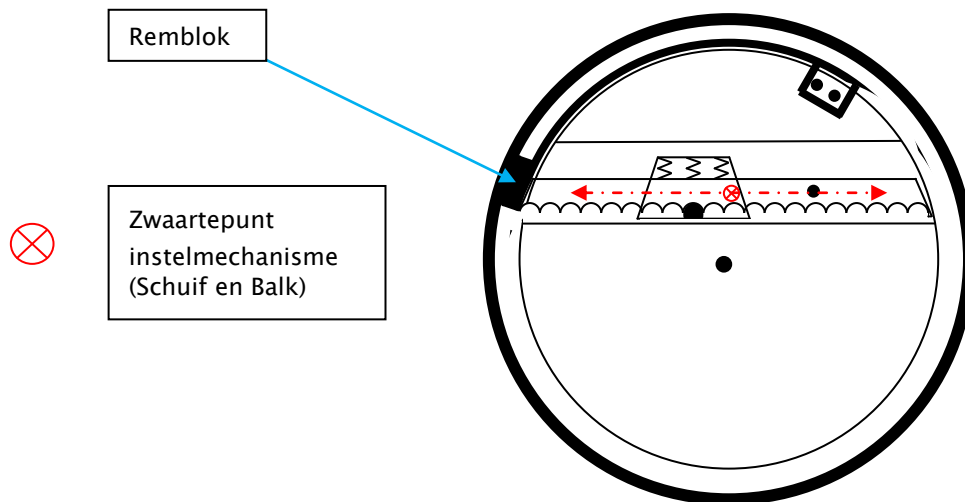
De tijdens de bewegingen geleverde arbeid wordt door middel van een systeem met kettingen en tandwielen overgebracht op een 40 kilo wegend mechanisch geremd vliegwiel. Als wordt aangenomen dat het overbrengen van de arbeid op het vliegwiel uiterst efficiënt gebeurt, kan er van worden uitgegaan dat het vliegwiel de intensiteit van de oefening dicteert. Van dit vliegwiel worden de omwentelingen geregistreerd door een sensor. Het signaal van deze sensor wordt gebruikt om het werkelijke tempo van de oefeningen te bepalen.

2.2.2 Werking

Het vliegwiel heeft de mogelijkheid om de intensiteit van de oefening in te stellen. Deze instelling bestaat uit 56 stappen. Het instelmechanisme op het vliegwiel en een model van het instelmechanisme zijn te zien in figuur 2 en 3.



Figuur 2: Instelmechanisme vliegwiel



Figuur 3: Model instelmechanisme vliegwiel

Het instelmechanisme wordt bediend door de schuif over de balk te verplaatsen. Het zwaartepunt van het instelmechanisme kan hiermee worden verplaatst. Het instelmechanisme zit door middel van een bout vast aan het vliegwiel en kan om de as van de bout een beperkte hoek draaien zodat het mechanisme tegen het remblok aan kan drukken. De plaats van het zwaartepunt van het instelmechanisme bepaalt samen met de snelheid van het vliegwiel de kracht waarmee het instelmechanisme tegen het remblok aandrukt; de remkracht is namelijk afhankelijk van centrifugaalkracht. Het remblok wordt door deze kracht tegen de ring rond het vliegwiel gedrukt, wat zorgt dat het vliegwiel wordt geremd. Een mechanische analyse van het instelmechanisme en de remkracht is te vinden in bijlage III

Dat de kracht waarmee het instelmechanisme tegen de rem aan drukt afhankelijk is van de snelheid van het vliegwiel, blijkt ook uit enkele proefjes in Interactive Physics 2000 (zie bijlage IV).



3. Mechanisch Vermogen

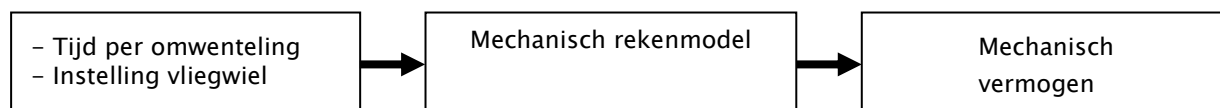
Bij veel (cardio-)fitnessapparatuur wordt als feedback onder andere het uitwendige of het mechanische vermogen weergegeven. Het vermogen is de geleverde arbeid over een bepaalde tijd.

$$P_{Mech} = \frac{dW}{dt} [Watt] \quad (3.1)$$

Zoals gezegd wordt de geleverde arbeid tijdens de oefeningen met kettingen overgebracht op het vliegwiel. Dit bepaalt dus ook het mechanische vermogen. Het vermogen van een draaiend voorwerp kan met de volgende formule worden bepaald:

$$P_{Mech} = M_{Propulsie} * \omega [Watt] \quad (3.2)$$

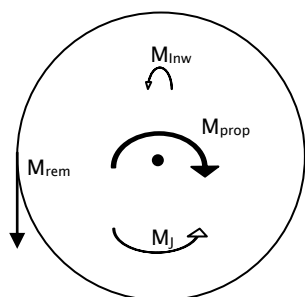
Naast het door de gebruiker geleverde moment op het vliegwiel moet ook de snelheid van het vliegwiel bekend zijn. De snelheid kan worden bepaald doordat er een sensor op het vliegwiel zit aangesloten die de omwentelingen meet. De geldende momenten op het vliegwiel moeten ook worden bekeken. Om het mechanisch vermogen vast te stellen moet een “mechanisch rekenmodel” worden vervaardigd. Schematisch ziet dit rekenmodel er als volgt uit.



Figuur 4: Mechanisch rekenmodel

3.1 Momenten op het vliegwiel

Als naar het draaiende wiel wordt gekeken geldt dat de som van de momenten gelijk is aan nul. Het wiel wordt tijdens de oefening door de gebruiker in beweging gebracht (M_{prop}). Omdat het wiel 40 kilo weegt is er ook een (krachts)moment aanwezig veroorzaakt door de massatraagheid van het wiel (M_j). Verder wordt het wiel afgeremd door de rem (M_{rem}), die afhankelijk is van de snelheid en de instelling van het vliegwiel. Een eventueel moment veroorzaakt door de inwendige weerstand van het vliegwiel wordt verwaarloosbaar geacht. In bijlage V wordt dit ook nog eens proefondervindelijk bewezen.



M_{prop}	– Moment veroorzaakt door de gebruiker
M_{rem}	– Moment veroorzaakt door de rem
M_j	– (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid
M_{inw}	– Moment veroorzaakt door de inwendige weerstand

Figuur 5: Momenten op het vliegwiel

$$\sum M = 0 \quad (3.3)$$

$$M_{rem} + M_j - M_{propulsie} = 0 \quad (3.4)$$



Als de gebruiker kracht levert zal hij het vliegwiel versnellen waarbij de massatraagheid dus tegenwerkt, het moment veroorzaakt door de rem werkt ook tegen de door de gebruiker geleverde kracht in.

$$M_{propulsie} = M_{rem} + M_J \quad (3.5)$$

Als het (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid van het vliegwiel en het moment veroorzaakt door de rem bekend zijn kan het door de gebruiker geleverde moment en dus het mechanisch vermogen worden berekend.

3.1.1 (krachts)Moment veroorzaakt door massatraagheid

Het vliegwiel heeft een gewicht van 40 kilo en een straal van meer dan 0,3 meter wat zorgt voor een aanzienlijk traagheidsmoment. Het op gang brengen van het vliegwiel heeft dan ook een groot piekvermogen tot gevolg.

$$J = mr^2 \quad (3.6)$$

$$M_J = J * \alpha \quad (3.7)$$

$$M_J = J * \frac{d\omega}{dt} \quad (3.8)$$

Het massatraagheidsmoment voor het vliegwiel kan worden berekend met behulp van de massa en de straal van het vliegwiel. Als de versnelling van het vliegwiel ook bekend is, kan het (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid worden berekend.

3.1.2 Moment veroorzaakt door de rem

Zoals bleek bij de analyse van het instelmechanisme is de remkracht en dus ook het moment veroorzaakt door de rem, afhankelijk van de centrifugaalkracht. Het moment veroorzaakt door de rem is afhankelijk van enkele (van de instelling afhankelijke) constanten en kan daarmee worden voorspeld. Hierbij wordt de volgende formule toegepast (zie bijlage III & VI):

$$M_{rem} = C_{all} * \omega^2 \quad (3.9)$$

De constante (C_{all}) is afhankelijk van de instelling. Als de snelheid en het verloop van de snelheid in de tijd bekend zijn kan de constante per instelling door middel van dynamica worden bepaald. Als het vliegwiel niet wordt aangedreven is het (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid namelijk gelijk aan het moment veroorzaakt door de rem.

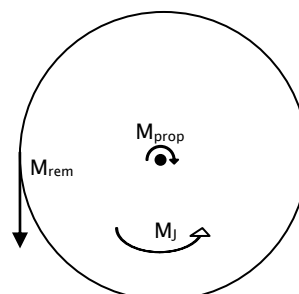
$$\sum M = 0 \quad (3.10)$$

$$M_{rem} + M_J - M_{propulsie} = 0 \quad (3.11)$$

$$M_{rem} + (-M_J) - 0 = 0 \quad (3.12)$$

$$M_{rem} = M_J \quad (3.13)$$

$$C_{all} * \omega^2 = 3,98 * \frac{d\omega}{dt} \quad (3.14)$$



Figuur 6: Momenten vliegwiel

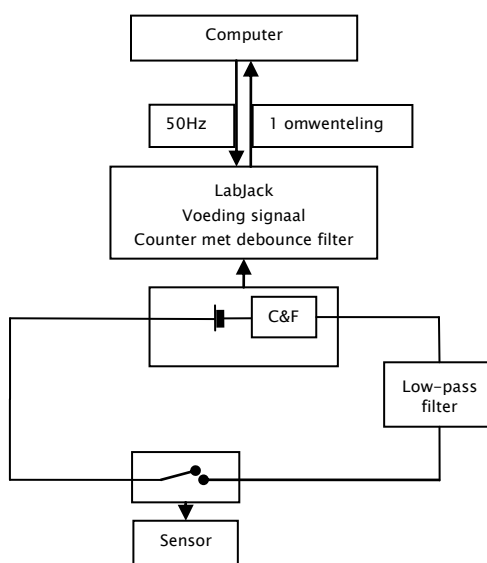


3.2 Snelheid en versnelling

Voor het bepalen van M_j en M_{rem} is de snelheid van het vliegwiel of een afgeleide hiervan nodig. Zoals gezegd is op de ROM-Machine een sensor aanwezig die omwentelingen registreert, deze kan gebruikt worden om de snelheid en de versnelling van het vliegwiel te bepalen.

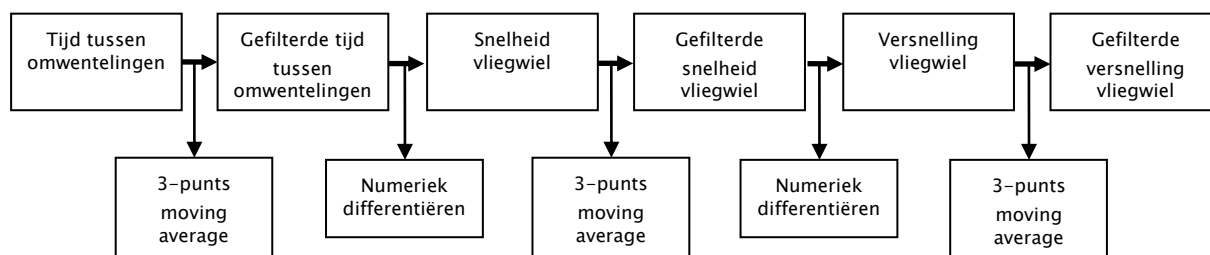
3.1.2 Sensor, signaal en verwerking

De sensor wordt met een low-passfilter aangesloten op een LabJack U3. Deze LabJack registreert de omwentelingen door de pieken in het (analoge) signaal te tellen door middel van een counter met een debounce-filter. De pieken komen in het signaal omdat de sensor een schakelaar voorstelt die één keer per omwenteling kort wordt gesloten, hierdoor wordt het door de LabJack gevoede signaal één keer per omwenteling kort doorgelaten. Het signaal van de counter wordt via USB digitaal doorgegeven aan een computer waarna het verder kan worden verwerkt.



Figuur 7: Schematische weergave sensor en aansluiting

Het digitale signaal wordt verwerkt in een programma geschreven met Delphi 7. Met behulp van dit programma kan, met enige vertraging, de snelheid, versnelling en daarmee ook de momenten die aangrijpen op het vliegwiel worden bepaald. De LabJack telt de omwentelingen van het vliegwiel. Het geschreven programma kijkt met een frequentie van 50Hz of er een omwenteling bij is gekomen en bepaalt dan de tijdsduur van de laatste omwenteling. Met behulp van deze tijd per omwenteling kan door numerieke differentiatie de snelheid en de versnelling van het vliegwiel worden bepaald. Tussen iedere numerieke differentiatie worden de verkregen data gefilterd met een 3-punts moving average filter.



Figuur 8: Schematische weergave filters en numeriek differentiëren



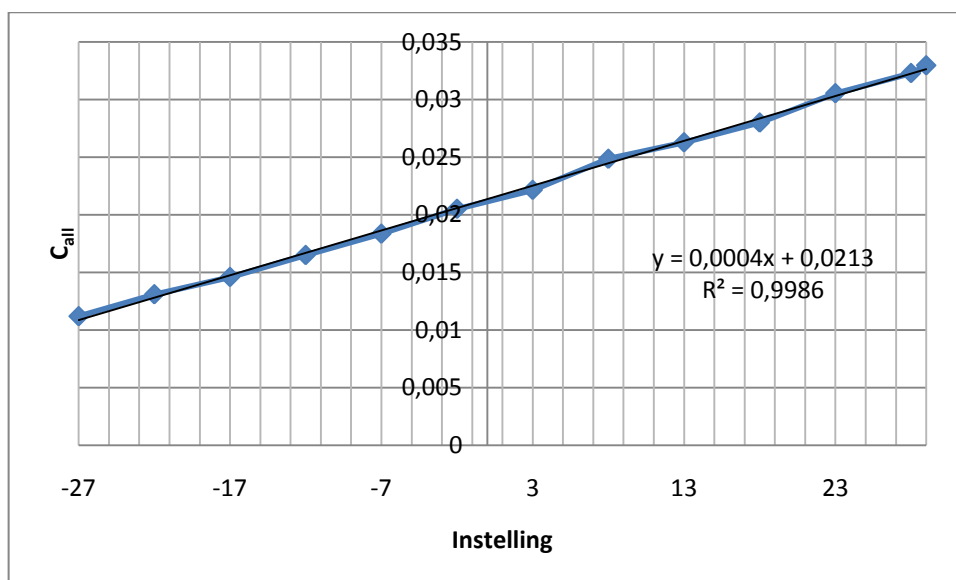
De numerieke differentiatie is geen standaard numerieke differentiatie omdat niet de afgelegde weg (aantal omwentelingen) variabel is maar de tijd per omwenteling.

Omdat de filters en het differentiëren de gegevens van drie waarden vereisen ontstaat er een vertraging tussen de data die wordt verwerkt en de momentane waarden. Deze vertraging is maximaal zes omwentelingen. Zo zijn bijvoorbeeld voor de gefilterde hoekversnelling na de zesde omwenteling alle data nodig tussen de eerste en de elfde omwenteling. Voor een uitgebreidere uitleg over de ontstane vertraging zie bijlage VII.

3.3 Formule mechanisch vermogen

Als de snelheid en de versnelling van het vliegwiel bekend zijn kan het mechanisch vermogen worden berekend maar eerst moet de formule voor mechanisch vermogen compleet worden gemaakt. Om de formule voor het mechanisch vermogen compleet te maken moet eerst C_{all} per instelling bekend zijn. Door C_{all} met gebruikmaking van formule 3.14 bij verschillende instellingen te onderzoeken (zie bijlage VIII) blijkt dat er een lineair verband bestaat tussen de instelling van het vliegwiel en de grootte van C_{all} .

instelling	C_{all}
-27	0,01118
-22	0,013084
-17	0,014582
-12	0,016488
-7	0,018341
-2	0,020495
3	0,022138
8	0,024835
13	0,026267
18	0,027979
23	0,030524
28	0,032273
29	0,032943



Tabel 2: C_{all} per instelling

Figuur 9: C_{all} per instelling

Met behulp van lineaire regressie wordt een formule gecreëerd die met een hoge zekerheid ($R^2=0,9986$) C_{all} voorspeld.

$$C_{all} = 3,89 * 10^{-4} * Instelling + 2,13 * 10^{-2} \quad (3.15)$$

3.3.1 Totale formule

Met behulp van het voorgaande wordt een formule gecreëerd die het mechanisch vermogen tijdens het gebruik van de ROM-Machine berekent. Door samenvoegen van formule 3.2, 3.5, 3.7, 3.9 en 3.15 wordt deze formule (formule 3.18) verkregen.

$$P_{Mech} = M_{Propulsie} * \omega [Watt] \quad (3.16)$$

$$P_{Mech} = (M_{rem} + M_f) * \omega [Watt] \quad (3.17)$$

$$P_{Mech} = ((3,89 * 10^{-4} * Instelling + 2,13 * 10^{-2}) * \omega^2 + 3,98 * \alpha) * \omega [Watt] \quad (3.18)$$

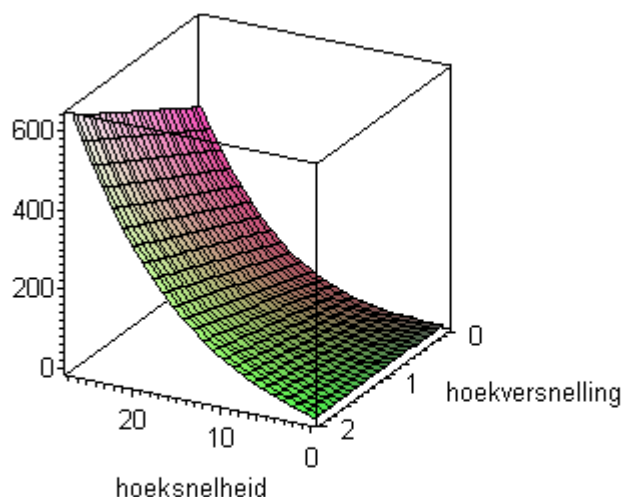


Als de gebruiker kracht levert tijdens een oefening versnelt hij het vliegwiel. De formule geldt alleen als de hoekversnelling groter is dan nul.

3.3.2 Betrouwbaarheid formule

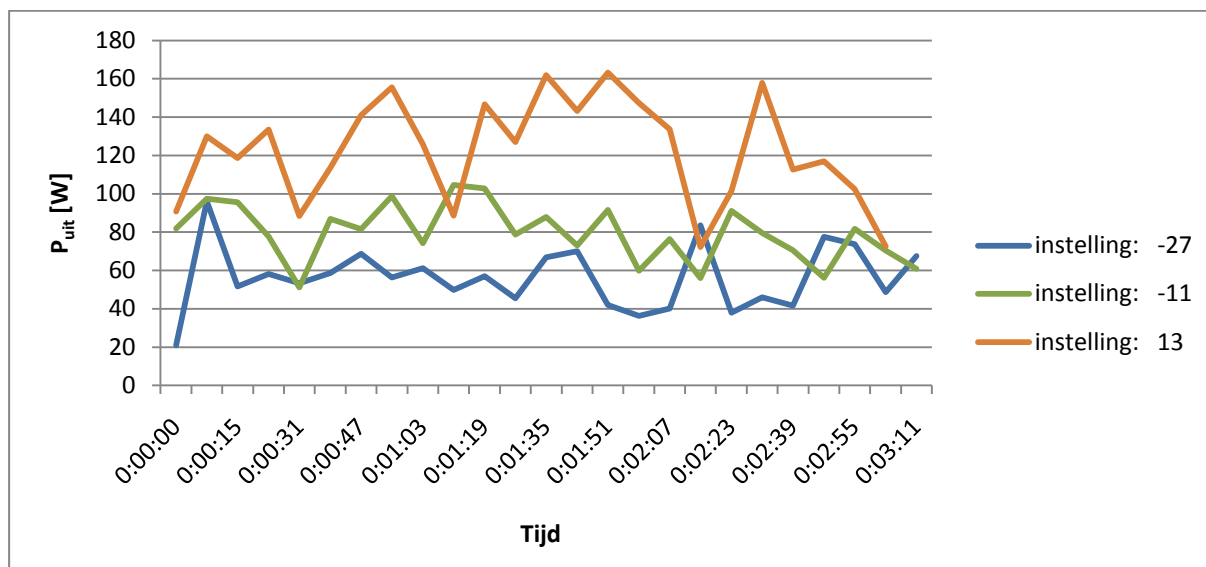
De formule voor het mechanisch vermogen wordt geanalyseerd met behulp van Maple 12.0. Ook wordt er tijdens oefeningen op verschillende instellingen het momentaan mechanisch vermogen berekend en vergeleken. Verder wordt het berekende mechanisch vermogen vergeleken met het, met behulp van indirecte calorimetrie (ademgasanalyse) verkregen, inwendig vermogen. Door deze analyses ontstaat er een beeld over de betrouwbaarheid van de formule.

Formule 3.18 is met behulp van Maple 12.0 geanalyseerd. Hierbij wordt voor een bepaalde instelling (nul) het mechanisch vermogen uitgezet tegen de snelheid en versnelling van het vliegwiel. Als domein van de snelheid en versnelling zijn waarden gekozen die liggen rond de waarden tijdens gebruik van de ROM-Machine.



Figuur 10: 3D-Plot Mechanisch vermogen [watt] (instelling = 0), (Hoeksnelheid [rad.s⁻¹], hoekversnelling [rad.s⁻²])

Formule 3.18 is zoals vermeld gebruikt om het mechanisch vermogen te berekenen tijdens trainingen bij verschillende instellingen op de ROM-machine. In figuur 11 zijn de mechanische vermogens van drie instellingen weergegeven voor een tijd van drie minuten. In deze drie minuten wordt de snelheid van het vliegwiel zo gelijkmatig mogelijk op 220 omwentelingen per minuut gehouden. De weergegeven vermogens zijn gemiddelde vermogens, de piekvermogens liggen hoger. De waarden liggen daarom ook lager dan in figuur 10.



Figuur 11: M.b.v. formule 3.18 berekent mechanisch vermogen voor instelling: -27, -11, 13

Als de berekende mechanische vermogens worden vergeleken met de steady states van het inwendig vermogen tijdens gebruik van de ROM-Machine blijkt dat de oefeningen op een plausibel rendement worden uitgevoerd (tabel 3). De mechanische efficiëntie van bewegen op de ROM-Machine is vergelijkbaar met bijvoorbeeld langlaufen of trikken op een snelheid van 4,9 [m.s⁻¹] [2].

		Efficiëntie [%] Gemiddelde (sd)
Bovenlichaam	Mannen	11,38 (2,48)
	Vrouwen	11,78 (1,94)
	totaal	11,56 (2,26)
Onderlichaam	Mannen	13,19 (2,98)
	Vrouwen	13,95 (2,88)
	totaal	13,50 (2,95)

Tabel 3: Mechanische efficiëntie bewegen op de ROM-Machine

Manier van voortbewegen	Efficiëntie [%] Gemiddelde (sd)	Gemeten bij snelheid [m.s ⁻¹]
Klupschaatsen	16,3 (2,49)	9,09
Fietsen	24,5 (0,7)	Onbekend
Zwemmen	5 - 9,5	1 – 1,5
Langlaufen	13,5	onbekend
Trikken	8,1-11,4	2,8 – 4,9

Tabel 4: Mechanische efficiëntie menselijk bewegen (vrij uit Berger, M.A.M. et al [2])



4. Pilotstudie naar inwendig vermogen op de huidige ROM-Machine

Een ander gegeven dat vaak wordt teruggekoppeld aan gebruikers van fitnessapparatuur is calorie/energieverbruik of het hieraan gelieerde inwendig vermogen. Om één van deze gegevens weer te kunnen geven is een onderzoek naar het inwendig vermogen tijdens gebruik van de ROM-Machine nodig.

Om het inwendig vermogen te kunnen weergeven moet worden onderzocht welke factoren van invloed zijn op het inwendig vermogen en of deze factoren kunnen worden gebruikt om het inwendig vermogen in te schatten. Geleverd mechanisch vermogen kan als input dienen om het inwendig vermogen te kunnen schatten [3,23]. Verder blijkt uit onderzoek dat er een relatie bestaat tussen hartfrequentie en energieverbruik (inwendig vermogen) [9,10,18,19]. Hartfrequentie kan dus ook worden gebruikt om het inwendig vermogen te bepalen. Factoren die van invloed zijn op de relatie tussen inwendig vermogen en hartfrequentie zijn: sekse, leeftijd, gewicht en fitheid (VO_{2max}) [9,10,18]. Verder is de frequentie van de beweging van invloed op het energieverbruik (inwendig vermogen) [3]. Om de calorieberekening voor de ROM-machine zo nauwkeurig mogelijk te maken moeten zoveel mogelijk van deze factoren worden meegenomen. Door een statistisch model te creëren kan de invloed van deze factoren worden getest en met behulp van een regressieanalyse kan het inwendig vermogen worden geschat [9,10,18].

Onderzoeksvraag:

Wat is de invloed van:

- Geleverd mechanisch vermogen;
- Geslacht;
- Gewicht;
- Leeftijd;
- Lengte;
- Momentane hartfrequentie;

op het inwendig vermogen bij gebruik van de ROM machine en is het mogelijk een effectieve formule te ontwikkelen met behulp van deze factoren voor het voorspellen van het inwendig vermogen op de ROM-machine?

De ROM-Machine bestaat uit twee gedeeltes, per gedeelte wordt een onderzoek opgezet met overeenkomende methode. De resultaten worden per gedeelte bekeken.

4.1 Methode en materialen

4.1.1 Proefpersonen

Er zijn per gedeelte achttien proefpersonen aangezocht; negen mannelijke en negen vrouwelijke. De proefpersonen mochten aan beide onderzoeken mee doen. De data van één test bleken niet bruikbaar. Hierdoor is één proefpersoon afgefallen. De kenmerken van de overgebleven proefpersonen zijn weergegeven in tabel 5. De proefpersonen mochten na een uitleg over de te maken bewegingen op de ROM-machine, enkele weken oefenen op de machine zodat ze bekend raakten met de uit te voeren bewegingen.



	Onderlichaam				Bovenlichaam			
	Man (n=9)		Vrouw (n=8)		Man (n=9)		Vrouw (n=9)	
	Mean	Std Dev.	Mean	Std Dev.	Mean	Std Dev.	Mean	Std Dev.
Leeftijd	24	3	24	3	24	3	22	2
Gewicht	77	7	66	4	77	7	64	5
Lengte	183	5	169	6	183	5	169	7

Tabel 5: Kenmerken proefpersonen

4.1.2 Meting

De meting bestaat uit een incrementale submaximaal test waarbij per stap (mechanisch vermogen) een steady state wordt verkregen voor hartfrequentie en ademgaswisseling. De proefpersoon voert een protocol uit op de machine, waarbij het mechanisch vermogen na iedere drie en een halve minuut lineair wordt vergroot door de instelling van de remkracht van het vliegwiel te veranderen. Bij het protocol wordt de proefpersoon gevraagd de snelheid van het vliegwiel zo gelijkmatig mogelijk op een snelheid van 220 omwentelingen per minuut te houden. Het complete protocol van de testen is te vinden in bijlage IX De laatste minuut per stap wordt gezien als de steady state ^[1]. Bij iedere proefpersoon wordt per steady state de gemiddelde hartfrequentie en het gemiddelde energieverbruik per min verkregen. De test stopt als de RER waarde systematisch boven de één komt. Er zullen maximaal zes stappen zijn zodat de test zelf maximaal 21 minuten duurt.

Tijdens de test wordt bij de proefpersoon de hartfrequentie gemeten door middel van een hartslagmeter (Polar Vantage, Polar Electro, Finland). Tevens wordt de ademgaswisseling geanalyseerd door middel van ademgasanalyse apparatuur (Oxycon, Mijnhardt, Jaeger, Duitsland). Deze apparatuur registreert het VO₂ en het VCO₂. Met behulp van het VO₂ en het VCO₂ kan indirect het calorieverbruik worden bepaald met behulp van de vergelijking van Weir ^[13,22]. Vanuit het calorieverbruik kan het inwendig vermogen worden bepaald.

$$E(kcal * min^{-1}) = 3,941 * VO_2(l * min^{-1}) + 1,106 * VCO_2(l * min^{-1}) \quad (4.1)$$

$$P_{in} = 4,1858 * E(cal * s^{-1}) \quad (4.2)$$

Naast deze gegevens wordt tevens het mechanisch vermogen berekend in een in Delphi 7 gebouwd programma (zie bijlage X). Dit programma gebruikt hiervoor formule 3.18. Het mechanisch vermogen wordt, net als de steady states van het inwendig vermogen en de hartfrequentie, gebruikt als factor in het statistische model.

4.1.3 Statistische analyse en model

In het statistisch programma SPSS wordt een statistisch model gecreëerd dat het inwendig vermogen tijdens gebruik van de ROM-Machine zal kunnen voorspellen. Voor het verkrijgen van het statistische model worden de volgende factoren gebruikt: sekse, leeftijd, gewicht, hartfrequentie (Hf) en het geleverde mechanische vermogen.

Het is niet mogelijk om bij iedere gebruiker van de ROM-machine de VO_{2max} te bepalen. Daarom wordt fitheid niet gebruikt als factor in het model. Ondanks dat de frequentie van het vliegwiel wordt geregistreerd is de frequentie van de gemaakte beweging niet bekend. Deze factor wordt dus ook niet meegenomen in het statistische model. Omdat de hartfrequentie tijdens gebruik van de ROM-Machine niet standaard wordt geregistreerd, worden er per gedeelte van de ROM-Machine twee modellen gecreëerd: één met en één zonder hartfrequentie als onafhankelijke variabele.



De factoren sekse, leeftijd en gewicht zijn per proefpersoon constant. Het mechanische vermogen (intensiteit), de gemiddelde hartfrequentie en het gemiddeld energieverbruik (kJ/min) variëren per steady state. Voor al deze mogelijke onafhankelijke variabelen wordt gekeken in welke mate ze het inwendig vermogen beïnvloeden door de correlaties tussen de factoren te berekenen ^[21].

Aan de hand van een stapsgewijze regressieanalyse ^[22] wordt vervolgens een model gecreëerd dat het inwendig vermogen moet gaan schatten. Mocht uit de correlatiematrix blijken dat het geslacht een grote invloed heeft op het inwendig vermogen, dan wordt er per geslacht een regressieanalyse uitgevoerd. In de regressieanalyse worden de factoren leeftijd, gewicht, het geleverde mechanische vermogen en de facultatieve hartfrequentie (Hf) gezien als onafhankelijke variabelen. Deze variabelen worden stapsgewijs in volgorde van afhankelijkheid toegevoegd aan het model. Zolang de toegevoegde variabele de verklarende variantie met vijf procent of meer verhoogt wordt het model als verbeterd beschouwd. Het inwendig vermogen wordt in het model gezien als de afhankelijke variabele.

In een multiple regressie worden intercept (A) en de partiële regressiecoëfficiënten (B_i) bepaald (zie vergelijking 4.3).

$$P_{in} = A + B_1 * Leeftijd + B_2 * Gewicht + B_3 * Hf + B_4 * P_{Mech} \quad (4.3)$$

4.2 Resultaten

De resultaten worden opgesplitst voor de oefeningen van het bovenlichaam en het onderlichaam. De correlatiematrix wordt per oefening bekeken en nadat de invloed van het geslacht op het inwendig vermogen is bekeken wordt de regressie analyse uitgevoerd. In bijlage XI zijn de uitwerkingen in SPSS te vinden

4.2.1 Oefening voor het bovenlichaam

Uit de correlatiematrix blijkt dat het inwendig vermogen voor 55,4 % afhankelijk is van het geslacht. Het mechanisch vermogen blijkt de grootste invloed te hebben op het inwendig vermogen (84%).

		Geslacht	Leeftijd	Gewicht	Lengte	HR	P _{mech}	P _{in}
P _{in}	Pearson Correlation	-,554	,313	,412	,512	,352	,840	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,094	,008	,000	,000	,000	
	N	93	93	93	93	93	92	93

Tabel 6: Deel correlatiematrix variabelen statistisch model

Voor zowel de mannen als de vrouwen worden twee regressieanalyses uitgevoerd: één met en één zonder hartfrequentie als onafhankelijke variabele.

Mannen

Bij de stapsgewijze regressieanalyse zonder de hartfrequentie als onafhankelijke variabele voorspelt het mechanisch vermogen het inwendig vermogen met een verklarende variantie van 71,2 procent (R Square). De overige variabelen worden niet meegenomen in het model omdat zij de verklarende variantie niet vergroten met vijf procent of meer.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1 (P _{Mech})	,844	,712	,706	89,345

Tabel 7: Kenmerken statistisch model bovenlichaam, mannen, zonder Hf



Model 1	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	334,436	35,633
P _{Mech}	4,522	,407

Tabel 8: Coëfficiënten regressieanalyse statistisch model bovenlichaam, mannen, zonder Hf

Met behulp van de regressieanalyse wordt formule 4.4 gecreëerd die het inwendig vermogen voorspelt voor mannen bij de oefening voor het bovenlichaam zonder gebruik te maken van de hartfrequentie.

$$P_{in} = 334,436 + 4,522 * P_{Mech} \quad (4.4)$$

Bij de stapsgewijze regressieanalyse met de hartfrequentie als één van de onafhankelijke variabelen voorspelt het mechanisch vermogen samen met de hartfrequentie en de lengte het inwendig vermogen met een verklarende variantie van 90,5 procent (R Square). De overige variabelen worden niet meegenomen in het model omdat zij de verklarende variantie niet vergroten met vijf procent of meer.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1 (P _{Mech})	,844	,712	,706	89,345
2 (P _{Mech} , Hf)	,883	,780	,771	78,844
3 (P _{Mech} , Hf, Lengte)	,951	,905	,899	52,279

Tabel 9: Kenmerken statistisch model bovenlichaam, mannen, met Hf

Model 3	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	-2786,483	364,573
P _{Mech}	2,701	,301
Hf	4,351	,460
Lengte	14,596	1,832

Tabel 10: Coëfficiënten regressieanalyse statistisch model bovenlichaam, mannen, met Hf

Met behulp van de regressieanalyse wordt formule 4.5 gecreëerd die het inwendig vermogen voorspelt voor mannen bij de oefening voor het bovenlichaam met gebruik van de hartfrequentie als variabele.

$$P_{in} = -2786,483 + 2,701 * P_{Mech} + 4,351 * Hf + 14,596 * Lengte \quad (4.5)$$

Vrouwen

Bij de stapsgewijze regressieanalyse zonder de hartfrequentie als onafhankelijke variabele voorspelt het mechanisch vermogen het inwendig vermogen met een verklarende variantie van 44,7 procent (R Square). De overige variabelen worden niet meegenomen in het model omdat zij de verklarende variantie niet vergroten met vijf procent of meer.



Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1 (P _{Mech})	,669	,447	,433	72,578

Tabel 11: Kenmerken statistisch model bovenlichaam, vrouwen, zonder Hf

Model 1	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	178,859	62,049
P _{Mech}	5,652	1,006

Tabel 12: Coëfficiënten regressieanalyse statistisch model bovenlichaam, vrouwen, zonder Hf

Met behulp van de regressieanalyse wordt formule 4.6 gecreëerd die het inwendig vermogen voorspelt voor vrouwen bij de oefening voor het bovenlichaam zonder gebruik te maken van de hartfrequentie.

$$P_{in} = 178,859 + 5,652 * P_{Mech} \quad (4.6)$$

Bij de stapsgewijze regressieanalyse met de hartfrequentie als één van de onafhankelijke variabelen voorspelt de hartfrequentie samen met de leeftijd en het mechanisch vermogen het inwendig vermogen met een verklarende variantie van 75,6 procent (R Square). De overige variabelen worden niet meegenomen in het model omdat zij de verklarende variantie niet vergroten met vijf procent of meer. De variabele mechanisch vermogen verhoogt de verklarende variantie slechts met 4,2%. De variabele wordt echter wel meegenomen in het model omdat het mechanisch vermogen in het algemeen het beste correleert met het inwendig vermogen (zie tabel 6).

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1 (Hf)	,811	,658	,650	57,046
2 (Hf, leeftijd)	,844	,712	,697	53,044
3 (Hf, leeftijd, P _{Mech})	,869	,756	,736	49,506

Tabel 13: Kenmerken statistisch model bovenlichaam, vrouwen, met Hf

Model 3	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	210,147	115,265
Hf	3,486	,516
Leeftijd	-16,299	5,557
P _{Mech}	2,279	,885

Tabel 14: Coëfficiënten regressieanalyse statistisch model bovenlichaam, vrouwen, met Hf

Met behulp van de regressieanalyse wordt formule 4.7 gecreëerd die het inwendig vermogen voorspelt voor vrouwen bij de oefening voor het bovenlichaam met gebruik van de hartfrequentie als variabele.

$$P_{in} = 210,147 + 3,486 * Hf - 16,299 * Leeftijd + 2,279 * P_{Mech} \quad (4.7)$$



4.2.2 Oefening voor het onderlichaam

Uit de correlatiematrix blijkt dat het inwendig vermogen voor 46,7 % afhankelijk is van het geslacht. Het mechanisch vermogen blijkt de grootste invloed te hebben op het inwendig vermogen (70,1%). Leeftijd heeft in dit onderzoek geen significante invloed op het inwendig vermogen.

		Geslacht	Leeftijd	Gewicht	Lengte	HR	P _{mech}	P _{in}
P _{in}	Pearson Correlation	-,467	,176	,274	,397	,408	,701	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,094	,008	,000	,000	,000	
	N	92	92	92	92	92	92	92

Tabel 15: Deel correlatiematrix variabelen statistisch model

Voor zowel de mannen als de vrouwen worden twee regressieanalyses uitgevoerd: één met en één zonder hartfrequentie als onafhankelijke variabele.

Mannen

Bij de stapsgewijze regressieanalyse zonder de hartfrequentie als onafhankelijke variabele voorspelt het mechanisch vermogen het inwendig vermogen met een verklarende variantie van 52 procent (R Square). De overige variabelen worden niet meegenomen in het model omdat zij de verklarende variantie niet vergroten met vijf procent of meer.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1 (P _{Mech})	,721	,520	,511	86,673

Tabel 16: Kenmerken statistisch model onderlichaam, mannen, zonder Hf

Model 1	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	503,189	39,404
P _{Mech}	2,698	,359

Tabel 17: Coëfficiënten regressieanalyse statistisch model onderlichaam, mannen, zonder Hf

Met behulp van de regressieanalyse wordt formule 4.8 gecreëerd die het inwendig vermogen voorspelt voor mannen bij de oefening voor het onderlichaam zonder gebruik te maken van de hartfrequentie.

$$P_{in} = 503,189 + 2,698 * P_{Mech} \quad (4.8)$$

Bij de stapsgewijze regressieanalyse met de hartfrequentie als één van de onafhankelijke variabelen voorspelt het mechanisch vermogen samen met de hartfrequentie het inwendig vermogen met een verklarende variantie van 68,1 procent (R Square). De overige variabelen worden niet meegenomen in het model omdat zij de verklarende variantie niet vergroten met vijf procent of meer.



Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1 (P_{Mech})	,721	,520	,511	86,673
2(P_{Mech} , Hf)	,825	,681	,668	71,393
3(P_{Mech} , Hf, Lengte)	,852	,726	,710	66,767

Tabel 18: Kenmerken statistisch model onderlichaam, mannen, met Hf

Model 2	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	182,558	71,154
P_{Mech}	1,984	,328
Hf	2,689	,632

Tabel 19: Coëfficiënten regressieanalyse statistisch model onderlichaam, mannen, met Hf

Met behulp van de regressieanalyse wordt formule 4.9 gecreëerd die het inwendig vermogen voorspelt voor mannen bij de oefening voor het onderlichaam met gebruik van de hartfrequentie als variabele.

$$P_{in} = 182,558 + 1,984 * P_{Mech} + 2,689 * Hf \quad (4.9)$$

Vrouwen

Bij de stapsgewijze regressieanalyse zonder de hartfrequentie als onafhankelijke variabele voorspelt het mechanisch vermogen samen met de lengte het inwendig vermogen met een verklarende variantie van 62,2 procent (R Square). De overige variabelen worden niet meegenomen in het model omdat zij de verklarende variantie niet vergroten met vijf procent of meer.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1 (P_{Mech})	,692	,479	,465	65,636
2(P_{Mech} , lengte)	,789	,622	,601	56,704
3(P_{Mech} , lengte, gewicht)	,817	,638	,638	53,947

Tabel 20: Kenmerken statistisch model onderlichaam, vrouwen, zonder Hf

Model 2	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	-641,857	298,164
P_{Mech}	2,598	,372
Lengte	6,297	1,731

Tabel 21: Coëfficiënten regressieanalyse statistisch model onderlichaam, vrouwen, zonder Hf



Met behulp van de regressieanalyse wordt formule 4.10 gecreëerd die het inwendig vermogen voorspelt voor vrouwen bij de oefening voor het onderlichaam zonder gebruik te maken van de hartfrequentie.

$$P_{in} = -641,857 + 2,598 * P_{Mech} + 6,297 * Lengte \quad (4.10)$$

Bij de stapsgewijze regressieanalyse met de hartfrequentie als één van de onafhankelijke variabelen voorspelt de hartfrequentie samen met het mechanisch vermogen en de lengte het inwendig vermogen met een verklarende variantie van 80 procent (R Square). De overige variabelen worden niet meegenomen in het model omdat zij de verklarende variantie niet vergroten met vijf procent of meer.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1 (Hf)	,771	,594	,583	57,951
2 (Hf, P _{Mech})	,856	,733	,718	47,639
3 (Hf, P _{Mech} , lengte)	,894	,800	,782	41,884

Tabel 22: Kenmerken statistisch model onderlichaam, vrouwen, met Hf

Model 3	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
(Constant)	-629,016	220,249
Hf	2,358	,429
P _{Mech}	1,729	,317
Lengte	4,441	1,322

Tabel 23: Coëfficiënten regressieanalyse statistisch model onderlichaam, vrouwen, met Hf

Met behulp van de regressieanalyse wordt formule 4.11 gecreëerd die het inwendig vermogen voorspelt voor vrouwen bij de oefening voor het onderlichaam met gebruik van de hartfrequentie als variabele.

$$P_{in} = -629,016 + 2,358 * Hf + 1,729 * P_{Mech} + 4,441 * Lengte \quad (4.11)$$



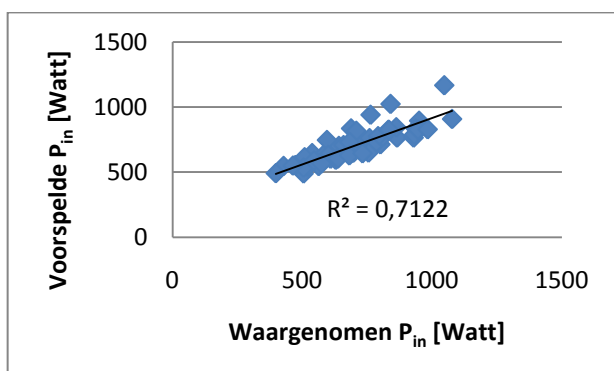
4.2.3 Betrouwbaarheid formules

Alle acht formules zijn weergegeven in tabel 24 met daarbij de verklarende variantie van de formules. De verklarende variantie geeft aan in welke mate de formule het inwendig vermogen correct voorspelt.

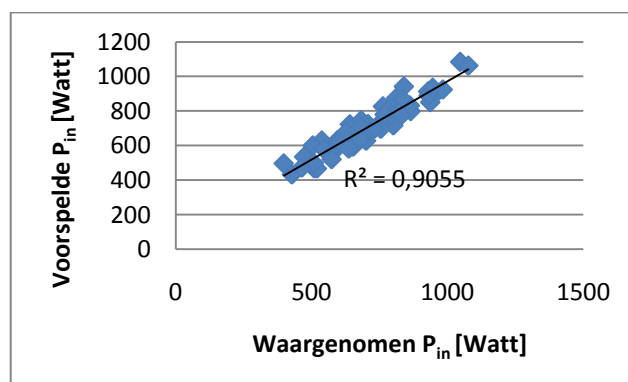
			Formule	Verklarende variantie [%]
Bovenlichaam	Mannen	Zonder Hf	$P_{in} = 334,436 + 4,522 * P_{Mech}$	71,2
		Met Hf	$P_{in} = -2786,483 + 2,701 * P_{Mech} + 4,351 * Hf + 14,596 * Lengte$	90,5
	Vrouwen	Zonder Hf	$P_{in} = 178,859 + 5,652 * P_{Mech}$	44,7
		Met Hf	$P_{in} = 210,147 + 3,486 * Hf - 16,299 * Leeftijd + 2,279 * P_{Mech}$	75,6
Onderlichaam	Mannen	Zonder Hf	$P_{in} = 503,189 + 2,698 * P_{Mech}$	52,0
		Met Hf	$P_{in} = 182,558 + 1,984 * P_{Mech} + 2,689 * Hf$	68,1
	Vrouwen	Zonder Hf	$P_{in} = -641,857 + 2,598 * P_{Mech} + 6,297 * Lengte$	62,2
		Met Hf	$P_{in} = -629,016 + 2,358 * Hf + 1,729 * P_{Mech} + 4,441 * Lengte$	80,0

Tabel 24: Voorspellende formules inwendig vermogen

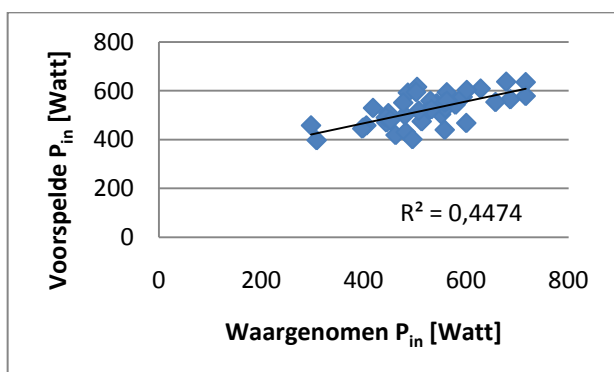
In figuur 12 tot en met 19 zijn de voorspelde inwendige vermogens uitgezet tegen de waargenomen inwendige vermogens. De voorspelde waarden zijn verkregen met behulp van de formules uit tabel 24. De waargenomen waarden zijn gebaseerd op de data verkregen met behulp van indirecte calorimetrie (ademgasanalyse). In ieder figuur is ook de verklarende variantie (R^2) weergegeven.



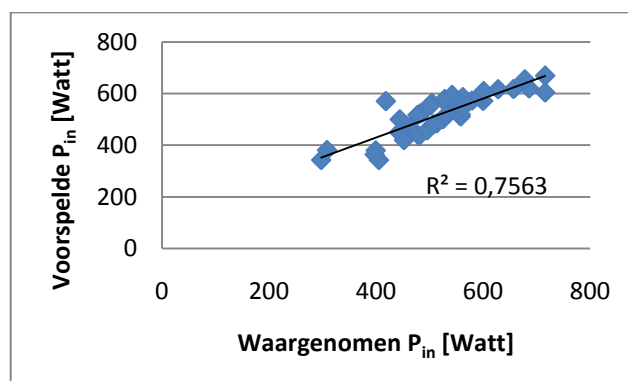
Figuur 12: Inwendig vermogen voorspeld met formule 4.4



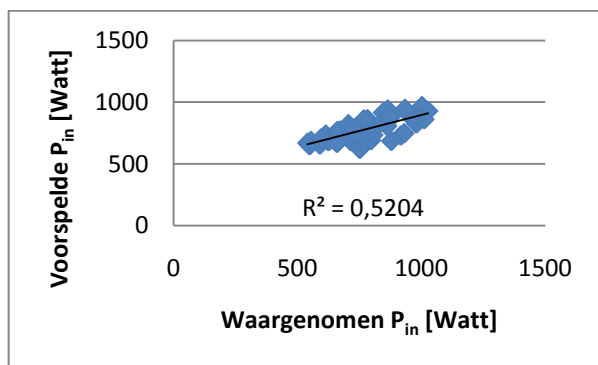
Figuur 13: Inwendig vermogen voorspeld met formule 4.5



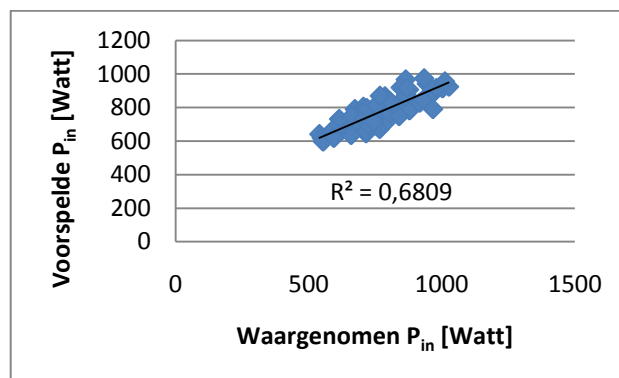
Figuur 14: Inwendig vermogen voorspeld met formule 4.6



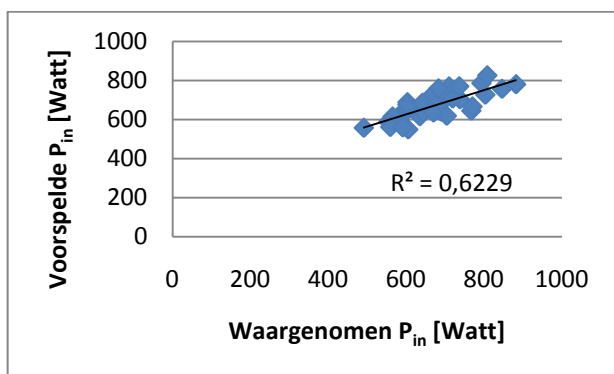
Figuur 15: Inwendig vermogen voorspeld met formule 4.7



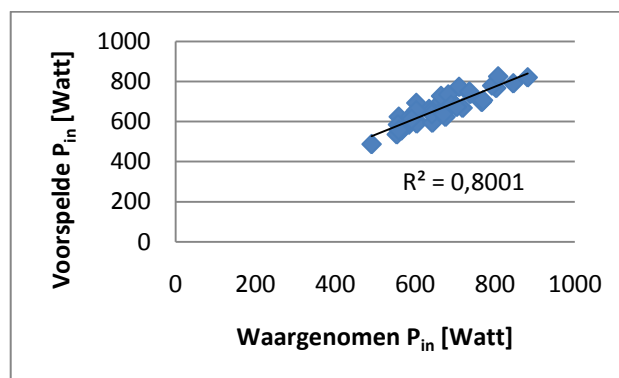
Figuur 16: Inwendig vermogen voorspeld met formule 4.8



Figuur 17: Inwendig vermogen voorspeld met formule 4.9



Figuur 18: Inwendig vermogen voorspeld met formule 4.10



Figuur 19: Inwendig vermogen voorspeld met formule 4.11



5. Toepassing

De gecreëerde formules kunnen worden gebruikt om de feedback naar de gebruiker te verbeteren. Door het Delphi 7 programma voor het berekenen van het mechanisch vermogen uit te breiden kan een programma worden gemaakt dat zowel het mechanisch als het inwendig vermogen kan weergeven. Met behulp van het voorspelde inwendig vermogen kan ook het totale energieverbruik worden verspeld. De ROM-Machine wordt herontworpen en zal daarom anders zijn als de huidige ROM-Machine. Het is dus de vraag of de gecreëerde formules en methoden bruikbaar zijn op de nieuw te ontwerpen ROM-Machine.

5.1 Delphi programma

Het Delphi 7 programma voor het berekenen van het mechanisch vermogen (bijlage X) is uitgebreid zodat het ook het inwendig vermogen kan voorspellen. Voordat aan de oefening wordt begonnen voert de gebruiker zijn gegevens in en kiest hij een oefening uit. Als de gebruiker begint met zijn oefening wordt een schatting van het mechanisch en het inwendig vermogen weergegeven. Verder wordt er een schatting van de verbrande calorieën teruggekoppeld aan de gebruiker.

Figuur 20: Mogelijke interface feedback

De gebruiker voert al zijn gegevens in. Aan de hand van de gekozen oefening, geslacht en de aanwezigheid van een hartslagmeter kiest het programma uit welke van deze gegevens worden gebruikt om het inwendig vermogen te schatten.

5.2 Toepassing op nieuw te ontwerpen ROM-Machine

Ondanks dat de ROM-Machine wordt herontworpen, en dus anders zal zijn als de huidige ROM-Machine, zijn de verrichtingen om de vermogens te onderzoeken geenszins onnodig geweest. De nieuw te ontwerpen ROM-Machine zal in de kern hetzelfde blijven als de huidige machine. De te maken bewegingen zullen hetzelfde blijven en de overbrengingen zullen ook grotendeels onveranderd blijven.



Vermogensbepaling op de ROM-Machine
Coen de Weerd



Het mechanisch geremde vliegwiel zal echter worden vervangen voor een elektromagnetisch geremd vliegwiel. Het is wel de bedoeling dat dit elektromagnetisch geremde vliegwiel de zelfde weerstand levert als het vliegwiel in de huidige machine. De gecreëerde formule voor het mechanisch vermogen kan daarom als leidraad gebruikt worden om de weerstand van het elektromagnetisch geremde vliegwiel te bepalen. Omdat de te maken bewegingen hetzelfde zullen zijn op beide machines geeft de schatting van het inwendig vermogen een redelijke prognose voor de nieuwe machine. Voor de schatting van het inwendig vermogen wordt echter wel het op de huidige ROM-Machine berekende mechanisch vermogen gebruikt. Ook kunnen bijvoorbeeld andere momentarmen bij de nieuwe machine zorgen voor een minder betrouwbare berekening van het inwendig vermogen.



6. Discussie

Met behulp van de in dit verslag besproken studies is er meer bekend geworden over het mechanische en het inwendige vermogen tijdens gebruik van de ROM-Machine. Er zijn echter wel enkele kanttekeningen te maken.

Hoewel de bewegingen op de ROM-Machine en de werking van het vliegwiel zijn besproken is hiertussen amper een connectie gemaakt. De efficiëntie van de overbrenging van de door de bewegingen veroorzaakte krachten op het vliegwiel wordt zeer hoog geacht. Dit is echter niet onderzocht. Als deze efficiëntie bekend zou zijn kunnen er uitspraken gedaan worden over het door de gebruiker geleverd uitwendig vermogen.

Het berekenen van de hoeksnelheid en de hoekversnelling, en dus ook het mechanisch vermogen, gebeurt momentaan met behulp van de aanwezige sensor en een LabJack. Dit geeft naast de al gemelde vertraging nog enkele beperkingen. Als door ruis extra pieken in het signaal komen telt de LabJack meer omwentelingen dan er werkelijk zijn. Omdat de sensor omwentelingen registreert is de samplefrequentie van de gebruikte data afhankelijk van de draaisnelheid van het vliegwiel. Hoe harder het wiel draait hoe nauwkeuriger de berekening van het mechanisch vermogen is.

Voor het bepalen van het mechanisch vermogen dient het (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid en de tijd per omwenteling van het vliegwiel bekend te zijn. In de berekening van het massatraagheidsmoment (J) zitten echter enkele onzuiverheden. Het precieze gewicht is niet bekend, de gebruikte 40 kilo is het gewicht van het vliegwiel volgens de opdrachtgever. Verder wordt in de berekening er van uitgegaan dat het om een massief wiel gaat. In het wiel zitten echter drie grote gaten.

Bij de bepaling van C_{all} bleek dat deze constante alleen betrouwbaar is als de snelheid van het vliegwiel groter is dan dertien radialen per seconden (± 120 rpm). Als het vliegwiel langzamer draait is de formule voor het bepalen het mechanisch vermogen dus minder betrouwbaar. Tijdens de standaard oefeningen is de snelheid van het vliegwiel echter niet lager dan vijftien radialen per seconden (zie bijlage XIII). Bij het op gang brengen van het vliegwiel is de component van de massatraagheid in het berekenen van het mechanisch vermogen zeer groot. Als het vliegwiel op gang is ligt de snelheid boven de dertien radialen per seconden.

Ondanks dat de betrouwbaarheid van de formule voor het berekenen van het mechanisch vermogen al theoretisch is onderzocht, zou een praktisch onderzoek naar de betrouwbaarheid geen kwaad kunnen. Dit kan bijvoorbeeld door een validatiestudie aan de hand van een gouden standaard. De betrouwbaarheid van de formule voor het berekenen van het mechanisch vermogen is namelijk van wezenlijk belang omdat het mechanisch vermogen een belangrijke factor is bij het bepalen van het inwendig vermogen.

De kenmerken van de proefpersonen in het onderzoek naar het inwendig vermogen lijken veel op elkaar. Als de spreiding groter zou zijn verhoogt deze mogelijk de correlatie met het inwendig vermogen.

De factor lengte speelt bij bepaling van het inwendig vermogen aan de hand van de hartfrequentie nauwelijks een rol [9,10,18]. Deze factor is bij het bepalen van het inwendig vermogen bij gebruik van de ROM-Machine voor enkele situaties wel van belang gebleken. Dit valt te zien bij enkele modellen van de regressieanalyse en is samengevat in tabel 24.

Het mechanisch vermogen op de ROM-Machine is niet vast instelbaar. Het mechanisch vermogen wordt bij het onderzoek naar het inwendig vermogen zoveel mogelijk gelijk gehouden door de proefpersoon te instrueren het vliegwiel op een bepaalde snelheid zo gelijkmatig mogelijk te laten ronddraaien.



In het onderzoek zijn de data van één proefpersoon geschrapt. Deze data waren niet bruikbaar omdat tijdens de test de opstelling van de sensor en de LabJack niet goed heeft gefunctioneerd.

De betrouwbaarheid van de formules die het inwendig vermogen moeten bepalen varieert per formule. Zo varieert de verklarende variantie tussen de 44,7 en 90,5 procent. Ook hier zou een uitgebreider onderzoek naar de betrouwbaarheid van de formules gerechtvaardigd zijn.

De gecreëerde formules kunnen in eerste instantie worden gebruikt als leidraad voor de nieuw te ontwerpen ROM-Machine. Op de nieuw te ontwerpen ROM-Machine zou dan een uitgebreider onderzoek moeten plaats vinden met een grotere en meer diverse groep proefpersonen. De gebruikte methode van het onderzoek op de huidige ROM-Machine is dan wel voor onderzoek op de nieuw te ontwerpen ROM-Machine te gebruiken. Als de nieuw te ontwerpen ROM-machine ontworpen wordt met een vast instelbaar mechanisch vermogen, zou dit het onderzoek in grote mate vereenvoudigen. Een vast instelbaar mechanisch vermogen verhoogt tevens de betrouwbaarheid van het onderzoek naar het inwendig vermogen.



7. Conclusies

Op de huidige ROM-Machine is een onderzoek ingesteld naar het mechanisch vermogen. Ook is een methode ontwikkeld om het inwendig vermogen te kunnen voorspellen bij de verschillende instellingen van weerstand.

De feedback naar de gebruiker zal bij de nieuw te ontwerpen ROM-Machine aanzienlijk worden verbeterd. Hierbij zullen het onderzochte mechanische vermogen en de methode om het inwendig vermogen te kunnen voorspellen in verschillende opzichten kunnen worden gebruikt.

Het mechanisch vermogen op de huidige ROM-Machine is weer te geven met formule 7.1 en kan als leidraad dienen voor het bepalen van de weerstand van het elektromagnetisch geremd vliegwiel in de nieuw te ontwerpen ROM-Machine.

$$P_{Mech} = ((3,89 * 10^{-4} * Instelling + 2,13 * 10^{-2}) * \omega^2 + 3,98 * \alpha) * \omega \text{ [Watt]} \quad (7.1)$$

Het door formule 7.1 berekende mechanisch vermogen geeft een redelijk betrouwbare schatting van het werkelijke mechanisch vermogen per instelling van weerstand. Vermeld moet worden dat voor enkele parameters een redelijke aanname noodzakelijk was (bijvoorbeeld voor de massa van het vliegwiel).

De manier waarop de methode wordt gecreëerd voor het voorspellen van het inwendig vermogen is te gebruiken om een onderzoek op te zetten met een grotere groep proefpersonen op de nieuw te ontwerpen ROM-Machine. Hiermee zouden de uiteindelijke formules voor het schatten van het inwendig vermogen op de nieuw te ontwerpen ROM-Machine kunnen worden gecreëerd.

De in dit onderzoek bepaalde factoren die invloed hebben op het inwendig vermogen bij gebruik van de ROM-Machine zullen dan wel opnieuw moeten worden bepaald. Bij een grotere meer gevarieerde groep proefpersonen is de invloed van deze factoren namelijk nauwkeuriger te bepalen.

De nu gecreëerde formules voor het inwendig vermogen kunnen worden gebruikt voor de huidige ROM-Machine en als tijdelijke voorspellers voor de nieuw te ontwerpen ROM-Machine (zolang het uitgebreide onderzoek nog niet heeft plaats gevonden). Hierbij moet wel in acht worden genomen dat de verklarende variantie per formule zeer wisselend is.

			Formule	Verklarende variantie [%]
Bovenlichaam	Mannen	Zonder Hf	$P_{in} = 334,436 + 4,522 * P_{Mech}$	71,2
		Met Hf	$P_{in} = -2786,483 + 2,701 * P_{Mech} + 4,351 * Hf + 14,596 * Lengte$	90,5
	Vrouwen	Zonder Hf	$P_{in} = 178,859 + 5,652 * P_{Mech}$	44,7
		Met Hf	$P_{in} = 210,147 + 3,486 * Hf - 16,299 * Leeftijd + 2,279 * P_{Mech}$	75,6
Onderlichaam	Mannen	Zonder Hf	$P_{in} = 503,189 + 2,698 * P_{Mech}$	52,0
		Met Hf	$P_{in} = 182,558 + 1,984 * P_{Mech} + 2,689 * Hf$	68,1
	Vrouwen	Zonder Hf	$P_{in} = -641,857 + 2,598 * P_{Mech} + 6,297 * Lengte$	62,2
		Met Hf	$P_{in} = -629,016 + 2,358 * Hf + 1,729 * P_{Mech} + 4,441 * Lengte$	80,0

Tabel 25: Formules voor het voorspellen van het inwendig vermogen



Aanbevelingen/suggesties:

- De precieze betrouwbaarheid van de formules voor het bepalen van het mechanisch vermogen is niet bekend. Een validatiestudie voor de formules mechanisch vermogen is daarom gewenst.
- Zoals reeds vermeld is een uitgebreid onderzoek nodig om het inwendig vermogen op nieuw te ontwerpen ROM-Machine nauwkeurig te kunnen weergeven. Hierbij vergroot een grotere meer gevarieerde groep proefpersonen de nauwkeurigheid.



Literatuurlijst

- [1] Åstrand, P-O. (2003). *Textbook of work physiological bases of exercise*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics.
- [2] Berger, M.A.M., Oonk, H.H.N., Koopman, J., Hellingwerf, L. (2007). Energieverbruik en mechanische efficiëntie van trikken. *Sport & Geneeskunde, december 2007 (5)*, 24–30.
- [3] Coast, J., and Hugh Welch. (1985). Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *European Journal of Applied Physiology* 53, no. 4: 339–342.
- [4] Dobbelaere, F. (2009). *De VitaGlide*. Den Haag, Nederland: Haagse Hogeschool.
- [5] Es, van E.M., Klopping, I., Loo, van der H. (2006). *Effectiviteit van fysieke fitheidstraining volgens het Fast Fit concept*. Soesterberg, Nederland, TNO Defence, Security and safety.
- [6] Es, van E.M., Loo, van der H. (2007). *Energieverbruik op de ROM-machine*. Soesterberg, Nederland, TNO Defence, Security and safety.
- [7] Es, van E.M., Loo, van der H. (2007). *Fitter worden door 24 minuten training per week: kan dat?*. Gepresenteerd op het Colloquium TNO en Veiligheid, Soesterberg, 5 oktober 2007.
- [8] Es, van E.M., Loo, van der H. (2007). *High-intensity exercise on the ROM training device improves VO2 max and endurance capacity in untrained adults*. Soesterberg, Nederland, TNO Defence, Security and safety.
- [9] Hiilloskorpi, H., Fogelholm, M., Laukkanen, R., Pasanen, M., Oja, P., Mänttari, A., Natri, A. (1999). Factors affecting the relation between heart rate and energy expenditure during exercise. *International Journal of Sports Medicine* 20, 438–443.
- [10] Keytel, L.R., Goedecke, J.H., Noakes, T.D., Hiilloskorpi, H., Laukkanen, R., Merwe, L van der, Lambert, E.V. (2005). Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *Journal of Sports Sciences* 23(3), 289–297.
- [11] LabJack Corporation (2008). *LabJack U3 User's Guide (-LV & -HV) Revision 1.07*. Lakewood, USA
- [12] LabJack Corporation (2008). *LabJack UD Driver Quick Reference - U3*. Lakewood, USA
- [13] Levine, J.A. (2005). Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutrition* 8(7A), 1123–1132.
- [14] Loo, van der H., Es van E.M. (2007). *Effects of High intensity exercise on the ROM training device on muscular strength and body composition. adults*. Soesterberg, Nederland, TNO Defence, Security and safety.
- [15] MacGinnis, P. (1999). *Biomechanics of sport and exercise*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics.
- [16] Morree, de J.J., Jongert, M.W.A., Poel van der G. (2006). *Inspanningsfysiologie, oefentherapie en training*. Houten, Nederland: Bohn Stafleu van Loghum.
- [17] Pollock, M.L., Vincent, H.K., Vincent, K.R. (maart 1998). Providing feedback on workout performance and caloric expenditure motivates exercisers. *Athletic Business Magazine*, p.11–12
- [18] Rennie, K.L., Hennings, S.J., Mitchel, J., Wareham, J. (2001). Estimating energy expenditure by heart-rate monitoring without individual calibration. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33(6), 939–945.
- [19] Swain, P.D. (2000). Energy cost calculations for exercise prescription. *The American Journal of Sports Medicine* 30 (1). 17–22.
- [20] Versteeg, B, Verstegen, M, Vrande, van der H, Weerd, de C (2005). *Fitnessmeetsysteem*. Den Haag, Nederland: Haagse Hogeschool.
- [21] Vocht, A.de. (2000). *Basishandboek SPSS 10*. Utrecht, Nederland: Bijleveld Press
- [22] Weir, J.B. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *Journal of Physiology* 109, 1–9.
- [23] Yang, C., Caine, M. (2006). Evaluation of energy expenditure rate during continuous upper body cyclic exercise. Moritz, E. F., Haake, S. (red.). *The Engineering of Sport* 6 (2) (pp35–40). Springer



Bijlagen

- I. Feedback op fitnessapparatuur**
- II. Uitgebreide bewegingsanalyse**
- III. Instelmechanisme en remkracht**
- IV. Model in Interactive Physics 2000**
- V. Proef m.b.t. inwendige weerstand van het vliegwiel**
- VI. Introductie C_{all}**
- VII. Vertraging door differentiatie en gebruik van filters**
- VIII. Proef m.b.t. moment veroorzaakt door rem / bepalen C_{all}**
- IX. Protocol onderzoek inwendig vermogen**
- X. Delphi 7 programma: berekenen mechanisch vermogen**
- XI. Data testen inwendig vermogen**
- XII. Uitwerkingen statistiek in SPSS**
- XIII. Hoeksnelheid tijdens training op ROM-Machine**



Bijlage I: Feedback op fitnessapparatuur

De feedback op huidige fitnessapparatuur wordt steeds uitgebreider. Terwijl vroeger snelheid en afgelegde weg nog voldoende was, krijgt de gebruiker tegenwoordig een veelheid van gegevens. Een belangrijke reden voor deze feedback is dat het er voor zou zorgen dat de gebruiker beter wordt gemotiveerd. Uit onderzoek blijkt dat energieverbruik een belangrijk gegeven is voor de gebruiker van cardio-fitnessapparatuur ^[17].

De nauwkeurigheid van het weergegeven energieverbruik is heel wisselend en verschilt per apparaat. Deze nauwkeurigheid wordt mede bepaald door de het aantal factoren dat wordt meegewogen in het schatten van het energieverbruik.

Fabrikant	Type	Soort	Factoren	Feedback
Life Fitness	93T Series	Loopband/ Treadmill	Gewicht Leeftijd	Afstand Tijd Snelheid Helling Hartslag Calorieën
Life Fitness	93X /95Xi	Elliptische CrossTrainer	Gewicht Leeftijd	Afstand Tijd Snelheid Niveau Hartslag Calorieën
Life Fitness	95 Ri	Recumbant Bike (ligfiets)	Gewicht Leeftijd	Afstand Tijd RPM Niveau Hartslag Calorieën Cal/uur
Life Fitness	93C en 95Ci	Upright Bike fietstrainer	Gewicht Leeftijd	Afstand Tijd RPM Niveau Hartslag Calorieën Cal/uur



Life Fitness	95 Si	Stepper Stairclimber	Gewicht Leeftijd	Afstand Tijd Snelheid Hartslag Calorieën Niveau
TechnoGym		Cardio Wave	Gewicht Leeftijd	Afstand Tijd Snelheid Niveau Hartslag Calorieën
Concept 2	Met display PM4	Roeimachine/ Rowing Ergometer	–	Afstand Tijd (duur) Snelheid Niveau Hartslag Calorieën Roeifrequentie Split (tijd)
Nautilus	NB/NR/NE 1000	Elliptische trainer	–	Vermogen Calorieverbruik
Nautilus	NB/NR/NE 2000/3000	Elliptische trainer	Gewicht	Vermogen Calorieverbruik

Tabel 26: Fitnessapparatuur: Input & Output



Bijlage II: Uitgebreide bewegingsanalyse

Zittende beweging

De zittende beweging wordt uitgevoerd door de stangen heen en weer te bewegen in een voor de gebruiker maximaal mogelijk traject. Dit heen en weer bewegen gebeurt door om de beurt te duwen en te trekken.

Duwen

Beginpositie	- Zittend op het stoeltje - Hendels naast het lichaam - De rug volgt de vorm van de rugleuning - De schoudergordel in retractie - De bovenarmen zo ver mogelijk geretroflecteerd - Als gevolg hiervan is het ellebooggewricht geflecteerd en het polsgewricht in ulnair adductie	
Beweging 1	Armen voor de borst brengen door o.a.: - Protractie in schoudergordel	De belangrijkste spieren voor de bewegingen zijn: - Pectoralis Major
Tussen 1	- Zittend op het stoeltje - Hendels voor de borstkas - De rug volgt de vorm van de rugleuning	
Beweging 2	Armen volledig strekken, o.a.: - Verdere protractie in schoudergordel - Anteflexie in het glenohumeraal gewricht - Extentie in Art. Cubiti - Polsgewricht radiaal adduceren tot neutrale stand N.B. De stangen worden in medio-laterale richting niet geleid hierdoor meer aangespannen spieren in de onderarm.	De belangrijkste spieren voor de bewegingen zijn: - Pectoralis Major - Deltoideus (pars clavicularis) - Triceps brachii
Tussen 2	- Zittend op het stoeltje - Armen volledig gestrekt - De rug volgt nog de vorm van de rugleuning	



Beweging 3	Romp en rug zo ver mogelijk buigen, o.a.: - Rug flecteren - Anteflexie in Art. Coxea	De belangrijkste spieren voor de bewegingen zijn: - Iliopsoas - Rectus Abdominis
Eindpositie	- Zittend op het stoeltje - Armen volledig gestrekt - De romp is ten opzichte van de benen zo ver mogelijk gebogen.	

Trekken

Beginpositie	- Zittend op het stoeltje - Armen volledig gestrekt - De romp is ten opzichte van de benen zo ver mogelijk gebogen.	
Beweging 1	Romp en rug zo ver mogelijk strekken, o.a.: - Rug extenderen - Retroflexie in Art. Coxea	De belangrijkste spieren voor de bewegingen zijn: - Multifidi - Longissimus - Iliocostalis Tijdens de gehele trekbeweging spannen in het bovenbeen o.a. ook de biceps femoris statisch aan.
Tussen 1	- Zittend op het stoeltje - Armen volledig gestrekt - De rug volgt de vorm van de rugleuning	
Beweging 2	Armen volledig buigen tot handen voor borstkast, o.a.: - Retractie in schoudergordel - Retroflexie in het glenohumeraal gewricht - Flexie in Art. Cubiti	De belangrijkste spieren voor de bewegingen zijn: - Trapezius (vooral pars transversa) - Deltoideus, pars spinata - Biceps brachii



Tussen 2	- Zittend op het stoeltje - Hendels voor de borstkas - De rug volgt de vorm van de rugleuning	
Beweging 3	Hands van voor borstkas naar naast borstkas brengen door vooral: - Retractie in schoudergordel	
Eindpositie	- Zittend op het stoeltje - Hendels naast het lichaam - De rug volgt de vorm van de rugleuning - De schoudergordel in retractie - De bovenarmen zo ver mogelijk geretroflecteerd - Als gevolg hiervan is het ellebooggewricht geflecteerd en het polsgewricht in ulnair adductie	

Staande beweging

De staande beweging wordt uitgevoerd door de pedalen heen en weer te bewegen in een voor de gebruiker zo maximaal mogelijk traject. Dit heen en weer bewegen gebeurt door het linker en het rechter been.

Beginpositie volgens oefening	- Staand (pedalen op gelijke hoogte) - Gehele lichaam iets voorover - Knieën licht gebogen - Hands/armen alleen voor balans gebruiken	
Beweging 1	Rechter been strekken, o.a.: - Plantairflexie enkel - Extentie knie - retroflexie heup - Abductie/exorotatie heup Linker been buigen, o.a.: - Dorsaalflexie enkel - Flexie knie - Anteflexie heup - Adductie/endorotatie heup	De belangrijkste spieren voor de bewegingen zijn: Rechter been: - Soleus - Vastii - Sartorius - Gluteus Maximus Linker been: - Tibialis anterior - bicep femoris, caput breve - Illiopsoas



Beginpositie bewegingsanalyse	- Zwaartepunt boven rechter pedaal - Rechter been compleet gestrekt (inclusief voet)/ op je tenen staan) - Linker been zo hoog mogelijk (maximale flexie) Nb. Het linker been kan nog net worden gestrekt.	
Beweging 2	Zwaartepunt boven linker pedaal brengen, o.a.: - Romp naar links verplaatsen (laterale flexie in rug) - Abductie in linker heupgewricht Linker been strekken, o.a.: Zie beweging 1, rechter been Rechter been buigen, o.a.: Zie beweging 1	Belangrijke spieren: Linker been: Zie beweging 1 rechter been Rechter been viceversa
Eindpositie	- Zwaartepunt boven linker pedaal - Linker been compleet gestrekt (inclusief voet)/ op je tenen staan) - Rechter been zo hoog mogelijk (maximale flexie) Nb. Het rechter been kan nog net worden gestrekt.	

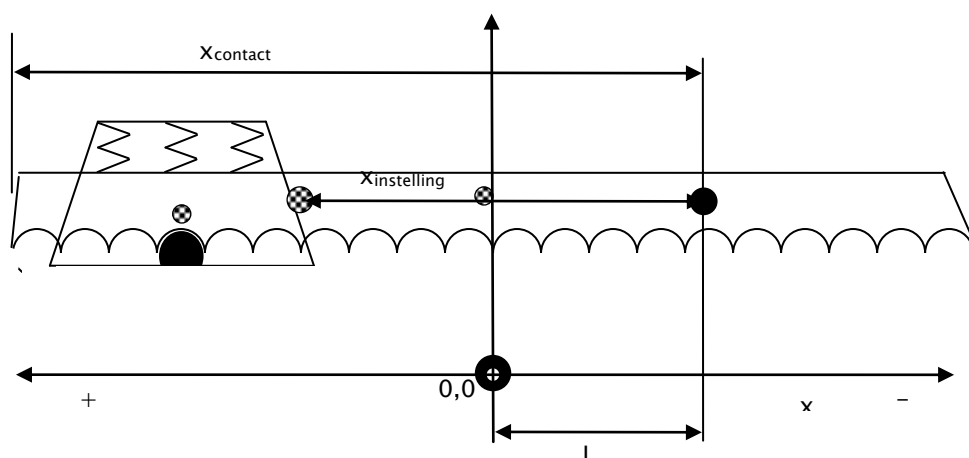


Bijlage III: Instelmechanisme en remkracht

De grote van de kracht veroorzaakt door de rem wordt bepaald door de instelling (plaats van het zwaartepunt van de instelling) en de snelheid van het vliegwiel. De plaats van het zwaartepunt van het instelmechanisme wordt als volgt bepaald:

Als nulpunt wordt de as van het vliegwiel gekozen. Alle onderdelen van het instelmechanisme worden opgemeten en gewogen. Deze bekende gegevens worden gebruikt om een formule te creëren die de plaats van het zwaartepunt voor iedere instelling kan berekenen.

Als instelling 0 wordt de instelling recht boven het nulpunt gekozen. Naar rechts zijn er 27 negatieve stappen (-1 tot en met -27), de oefening wordt per stap lichter. Naar links zijn er 29 positieve stappen (1 tot en met 29), de oefening wordt per stap zwaarder.



Figuur 21: Model instelling

Formules:

$$y_{zwp} = \frac{m_{balk} * y_{zwp_{balk}} + m_{schuif} * y_{zwp_{schuif}}}{m_{balk} + m_{schuif}}$$

$$x_{zwp} = \frac{m_{balk} * x_{zwp_{balk}} + m_{schuif} * x_{zwp_{schuif}}}{m_{balk} + m_{schuif}}$$

$$x_{zwp_{schuif}} = instelling * stapgrootte[mm]$$

Bekende gegevens:

$$m_{balk} = 0.396[kg]$$

$$m_{schuif} = 0.204[kg]$$

$$Zwp_{balk} = (185.5; 3)[mm]$$

$$y_{zwp_{schuif}} = 186.8[mm]$$

$$stapgrootte = 6.33[mm]$$

$$l = 69.5[mm]$$

$$y_{zwp} = \frac{0.396 * 185.5 + 0.204 * 186.8}{0.6} = 185.9[mm]$$

$$x_{zwp} = \frac{0.396 * 3 + 0.204 * 6.33 * instelling}{0.6} = 1.98 + \frac{1.29 * instelling}{0.6}$$

Uit testen met Interactive Physics 2000 (bijlage IV) blijkt dat de remkracht tevens afhankelijk is van de snelheid. Met behulp van de plaats van het zwaartepunt en de snelheid zou het dus theoretisch mogelijk zijn de momentane remkracht te berekenen.



Als het vliegwiel met een bepaalde snelheid ronddraait wil het instelmechanisme door de centrifugaalkracht naar buiten bewegen. Het zit echter met een eigen as vast aan het vliegwiel. Dit veroorzaakt dat het instelmechanisme om zijn eigen as wil kantelen. Hierdoor drukt het instelmechanisme tegen de rem aan die weer tegen de om het vliegwiel liggende ring aandrukt. De remkracht van de rem hangt dus samen met de centrifugaalkracht op het instelmechanisme.

$$F_c = m\omega^2 r \quad m = 0.6[kg]$$

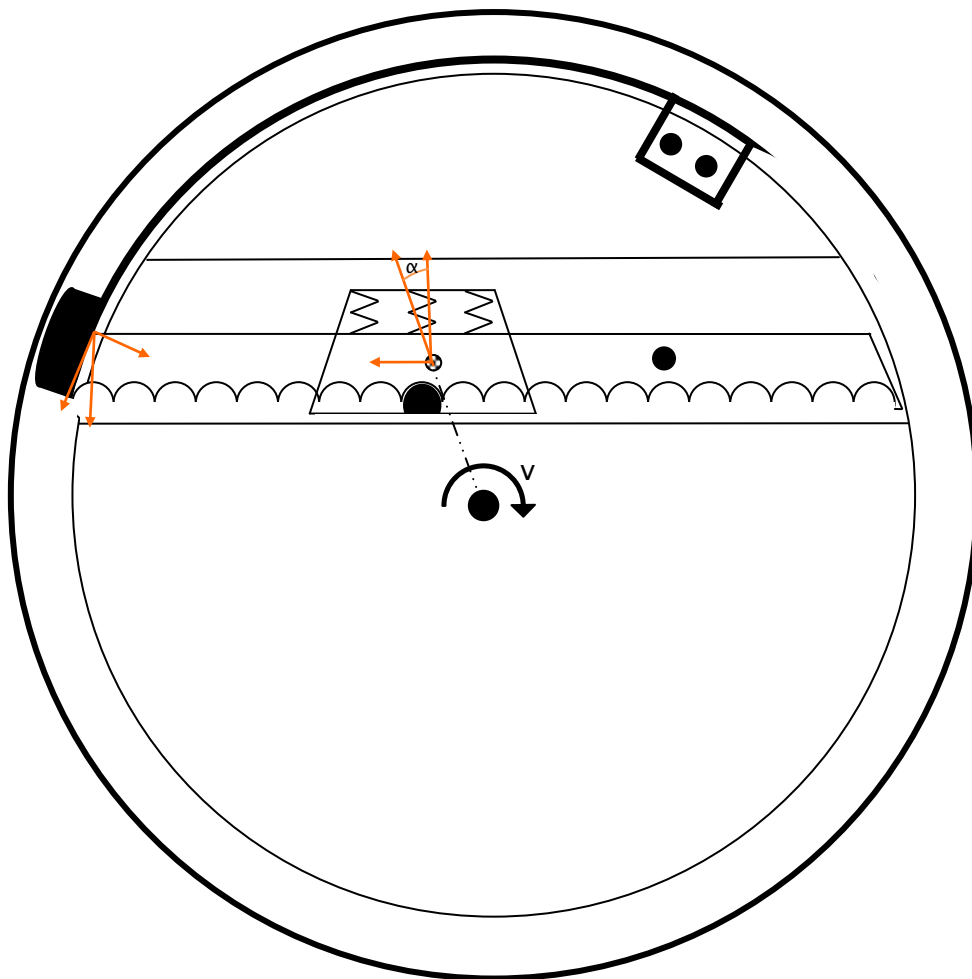
$$r = \sqrt{y_{zwp}^2 + x_{zwp}^2}$$

$$F_{contact} = \frac{M_{balk}}{x_{contact}} \quad x_{contact} = 317\{mm\}$$

$$M_{balk} = F_{c_y} * x_{instelling} \quad x_{instelling} = x_{zwp} + 69.5$$

$$F_{c_y} = \cos \angle \alpha * F_c \quad \angle \alpha = \tan \frac{|x_{zwp}|}{y_{zwp}}$$

De Y-component van deze centrifugaalkracht (F_{c_y}) bepaalt de kracht waarmee tegen de rem wordt gedrukt ($F_{contact}$). Hierbij is hoek alpha de hoek van de lijn zwaartepunt instelling - as vliegwiel met de verticaal. $x_{instelling}$ is de afstand van x_{zwp} tot de as van het instelmechanisme. $x_{contact}$ is de afstand van de as van het instelmechanisme tot het contactpunt met de rem.



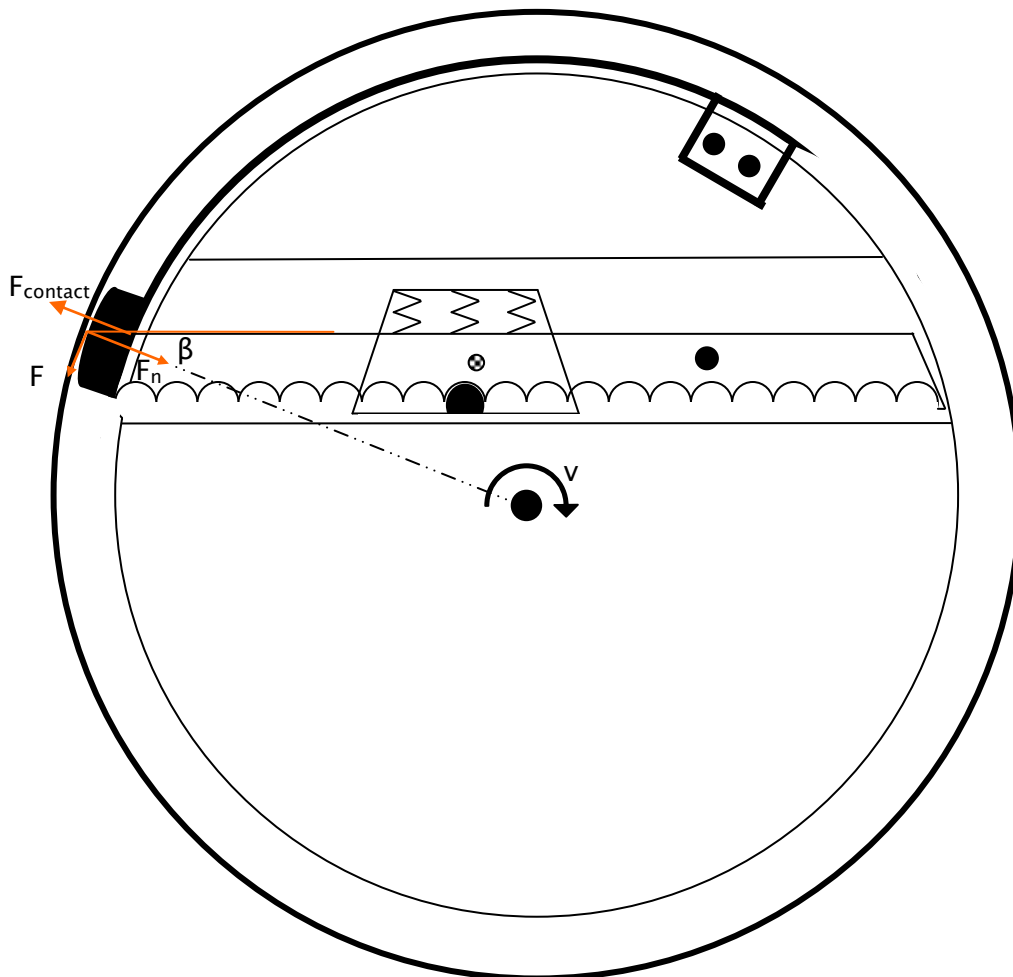
Figuur 22: Model vliegwiel: centrifugaalkracht



Met de contactkracht bekend kan de remkracht worden berekend. De remkracht is naast de contactkracht afhankelijk van de slepende wrijving tussen de rem en de buitenring dit is echter een onbekende.

$$F_{rem} = f_w * F_n \quad f_w = \text{onbekende}$$

$$F_n = \sin \angle \beta * F_{contact} \quad \angle \beta = 46.5^\circ = \frac{45.5}{360} \pi [\text{rad}]$$



Figuur 23: Model vliegwiel remkracht

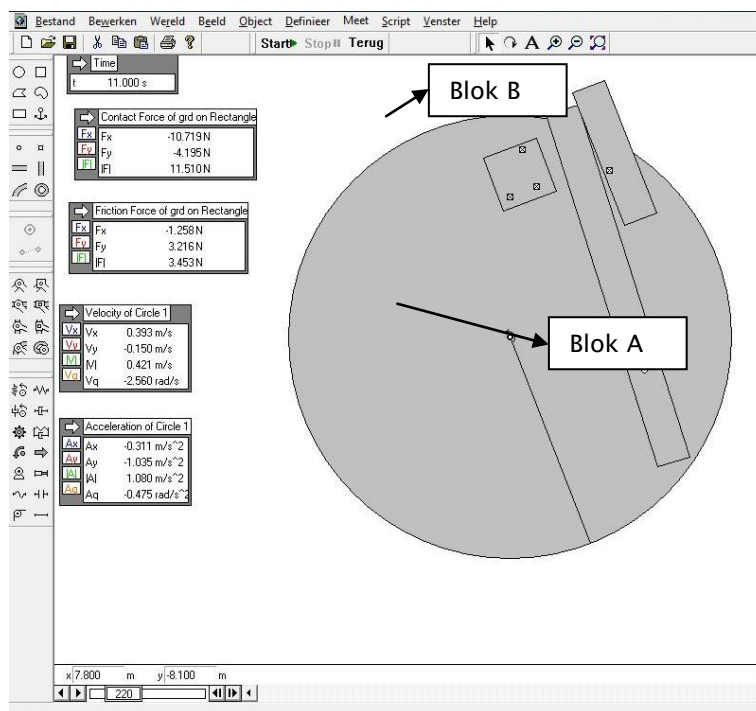
In dit model wordt geen rekening gehouden met de invloed van de zwaartekracht op het instelmechanisme, die waarschijnlijk een oscillerend effect op de remkracht zal hebben. Dit zal waarschijnlijk alleen bij lage snelheden van invloed zijn.

De verplaatsing van het instelmechanisme en de rem en de eventuele invloed op het momentenspel worden verwaarloosbaar geacht.

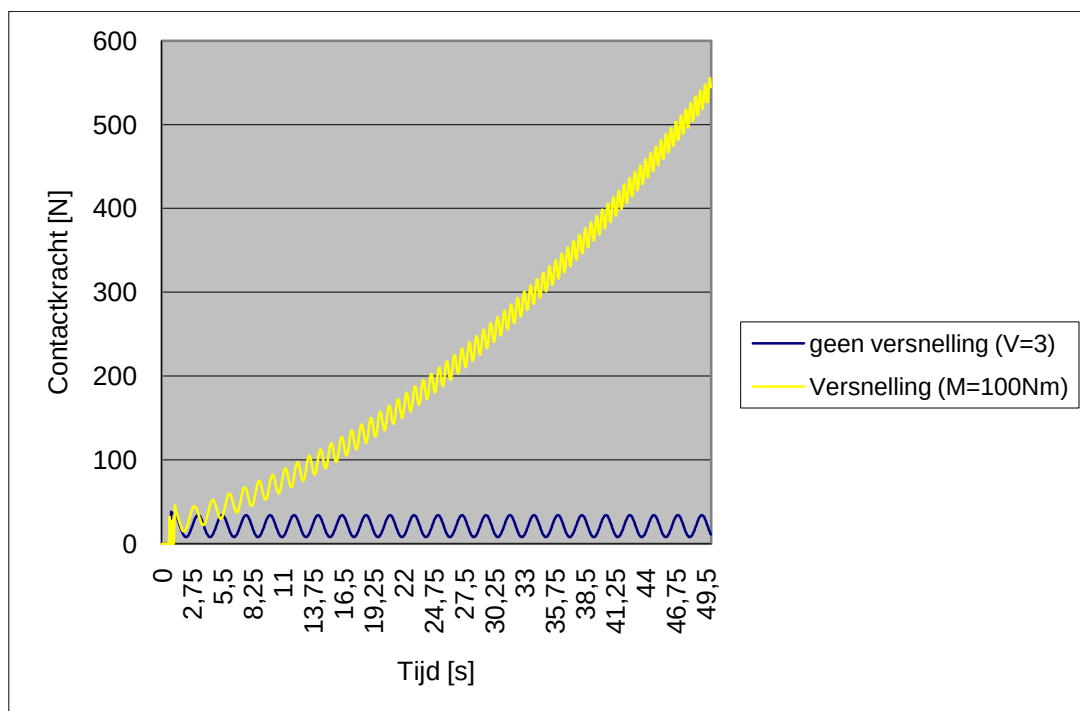


Bijlage IV: Model in Interactive Physics 2000

Om inzicht te krijgen in de werking van het vliegwiel zijn er enkele analyses gedaan met behulp van een model in IP 2000. Hierbij wordt naar de contactkracht gekeken tussen blok A (instelmechanisme) en B (rem). Deze contactkracht wordt vergeleken bij verschillende snelheden en versnellingen van het wiel.



Figuur 24: Screenshot model IP2000

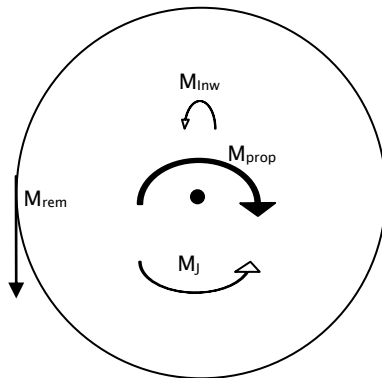


Figuur 25: Contactkracht tussen blok A en B



Bijlage V: Proef m.b.t. de inwendige weerstand van het vliegwiel

Voor het draaiende vliegwiel geldt dat de som van de momenten gelijk is aan nul. Als het moment veroorzaakt door de propulsie en het moment veroorzaakt door de rem gelijk worden gesteld aan nul geldt dat het moment veroorzaakt door de inwendige weerstand van het vliegwiel gelijk is aan het (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid. Het moment veroorzaakt door propulsie wordt gelijk aan nul verondersteld als de er geen kracht meer wordt geleverd op de pedalen of de stangen (als deze dus stilstaan). Het moment veroorzaakt door de rem wordt gelijk aan nul verondersteld als de rem niet tegen de buitenring aandrukt. Dit gebeurt door de rem vast te zetten (zie figuur 27).



- | | |
|------------|---|
| M_{prop} | – Moment veroorzaakt door de gebruiker |
| M_{rem} | – Moment veroorzaakt door de rem |
| M_J | – (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid |
| M_{inw} | – Moment veroorzaakt door de inwendige weerstand |

$\sum M = 0$ $M_{rol} + (-M_J) - 0 = 0$ $M_{rol} = M_J$ $M_{rol} = 3,98 * \alpha$

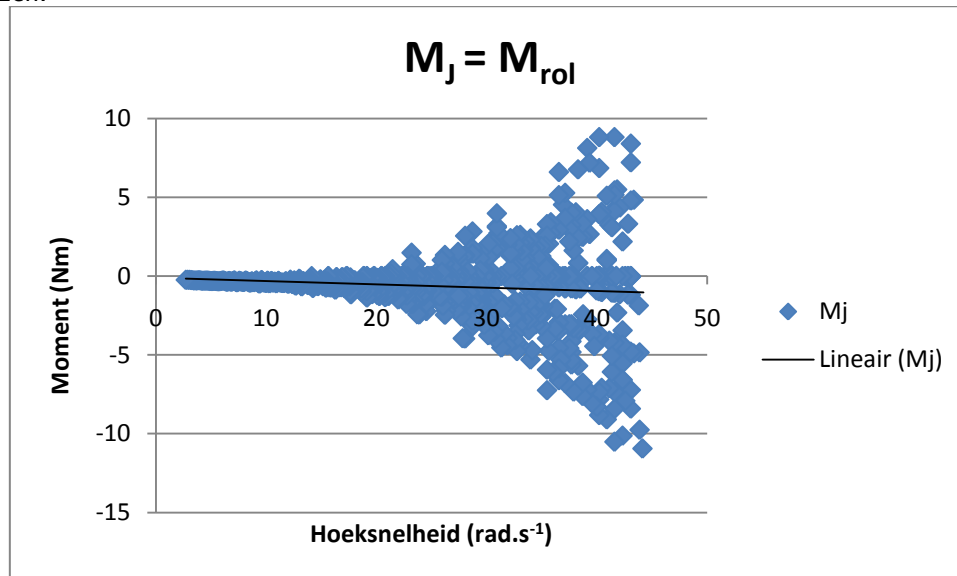
Figuur 26: Momenten op het vliegwiel



Figuur 27: De rem wordt vastgezet



In figuur 28 is het (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid, ofwel het moment veroorzaakt door de inwendige weerstand van het vliegwiel, weergegeven vanaf het moment dat $M_{\text{propulsie}}$ gelijk is aan nul. Het (krachts)moment veroorzaakt door massatraagheid is weergegeven per hoeksnelheid. Het moment veroorzaakt door de inwendige weerstand van het vliegwiel is gemiddeld 0,6 [N] en dus te verwaarlozen.



Figuur 28: $M_{\text{inw}} = M_J$



Bijlage VI: Introductie C_{all}

Per instelling kunnen de formules die het moment veroorzaakt door de rem voorspellen worden vereenvoudigd.

$$F_c = m\omega^2 r$$

$$F_{c_y} = \cos \angle \alpha * F_c$$

$$M_{balk} = F_{c_y} * x_{instelling}$$

$$F_{contact} = \frac{M_{balk}}{x_{contact}}$$

$$F_n = \sin \angle \beta * F_{contact}$$

$$F_{rem} = f_w * F_n$$

$$M_{rem} = F_{rem} * r_{buitenring}$$

$$F_c = C_1 * \omega^2$$

$$F_{c_y} = C_2 * F_c$$

$$M_{balk} = C_3 * F_{c_y}$$

$$F_{contact} = \frac{1}{C_x} * M_{balk} = C_4 * M_{balk}$$

$$F_n = C_5 * F_{contact}$$

$$F_{rem} = C_6 * F_n$$

$$M_{rem} = C_7 * F_{rem}$$

$$M_{rem} = C_1 * C_2 * C_3 * C_4 * C_5 * C_6 * C_7 * \omega^2 = C_{all} * \omega^2$$

Hierbij zijn de C_4 , C_5 , C_6 en C_7 altijd constant en C_1 , C_2 en C_3 afhankelijk van de instelling



Bijlage VII: Vertraging door differentiëren en filters

De LabJack registreert de omwentelingen door de pieken in het (analoge) signaal te tellen door middel van een counter met een debounce-filter. De snelheid en de versnelling van het vliegwiel worden primair bepaald door het meten en het verwerken van de tijd van iedere omwenteling van het vliegwiel.

- De teller van de omwentelingen van het vliegwiel start op 0.
- Vervolgens wordt iedere omwenteling geregistreerd. Dit is te zien in kolom 1.
- Kolom 2 registreert steeds de tijd tot iedere volgende omwenteling die de sensor meet en de counter registreert.
- Steeds wordt het gemiddelde van 3 opeenvolgende tijdsintervallen bepaald behorende bij een meetpunt van de counter. Dit geeft kolom 3 ("gefilterde tijd per omwenteling") weer. De berekende gefilterde tijd na de 2^{de} omwenteling (de counter staat op 2) is het gemiddelde van de tijden gemeten tot de derde omwenteling. De berekende gefilterde tijd na de 3^{de} omwenteling is het gemiddelde van de tijden gemeten tussen de eerste en de vierde omwenteling. Zo schuift het gemiddelde over drie metingen steeds één meetpunt van de counter op. Deze gemiddeldebepaling over drie meetpunten wordt "3-punts moving average" genoemd.
- Door Numerieke Differentiatie wordt vervolgens de "hoeksnelheid" (kolom 4) berekend. Dit gebeurt weer op basis van 3 meetpunten. D.w.z. de hoeksnelheid bij de door de counter geregistreerde derde omwenteling wordt berekend uit de gefilterde tijd per omwenteling bij de countermeetpunten 2, 3 en 4. Ook de bepaling van de hoeksnelheid verschuift steeds één meetpunt.
- De "gefilterde hoeksnelheid" (kolom 5) en de "hoekversnelling" (kolom 6) worden op vergelijkbare wijze bepaald als respectievelijk de "gefilterde tijd per omwenteling" (kolom 3) en de "hoeksnelheid" (kolom 4).
- Uiteindelijk wordt de "gefilterde hoekversnelling" (kolom 7) berekend analoog aan de berekeningsmethode van de "gefilterde hoeksnelheid" en de "gefilterde tijd per omwenteling" (d.w.z. met behulp van een "3-punts moving average" berekening). Om de "gefilterde hoekversnelling" bij de 6^{de} omwenteling te bepalen zijn er uiteindelijk 11 meetpunten nodig (metingen van de tijd per omwenteling tussen meetpunt 0 en meetpunt 11). In tabel 27 is dit goed te zien als de tabel wordt bekeken aflopend van kolom 7 naar kolom 1.

Counter	Tijd per omwenteling	Gefilterde tijd per omwenteling	Hoeksnelheid	Gefilterde hoeksnelheid	Hoekversnelling	Gefilterde Hoekversnelling
0						
1	Δt_{0-1}					
2	Δt_{1-2}	$\Delta T_{filt1-2}$				
3	Δt_{2-3}	$\Delta T_{filt2-3}$	ω_3			
4		$\Delta T_{filt3-4}$	ω_4	ω_{filt4}		
5			ω_5	ω_{filt5}	α_5	
6				ω_{filt6}	α_6	α_{filt6}
7					α_7	
8				ω_{filt8}		
9			ω_9			
10		$\Delta T_{filt9-10}$				
11	Δt_{10-11}					

Tabel 27: De vertraging veroorzaakt door filteren en numeriek differentiëren



Bijlage VIII: Proef m.b.t. moment veroorzaakt door rem / bepalen C_{all}

Voor het draaiende vliegwiel geldt dat de som van de momenten gelijk is aan nul. Als het moment veroorzaakt door de propulsie gelijk wordt gesteld aan nul geldt dat het moment veroorzaakt door de rem gelijk is aan het (krachts)moment veroorzaakt door massastraagheid. Het moment veroorzaakt door propulsie wordt gelijk aan nul verondersteld als er geen kracht meer wordt geleverd op de pedalen of de stangen (als deze dus stilstaan).

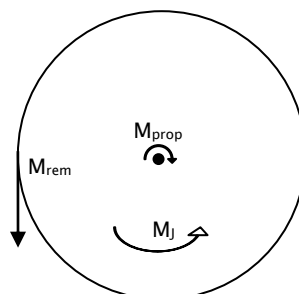
$$\sum M = 0$$

$$M_{rem} + M_J - M_{propulsie} = 0$$

$$M_{rem} + (-M_J) - 0 = 0$$

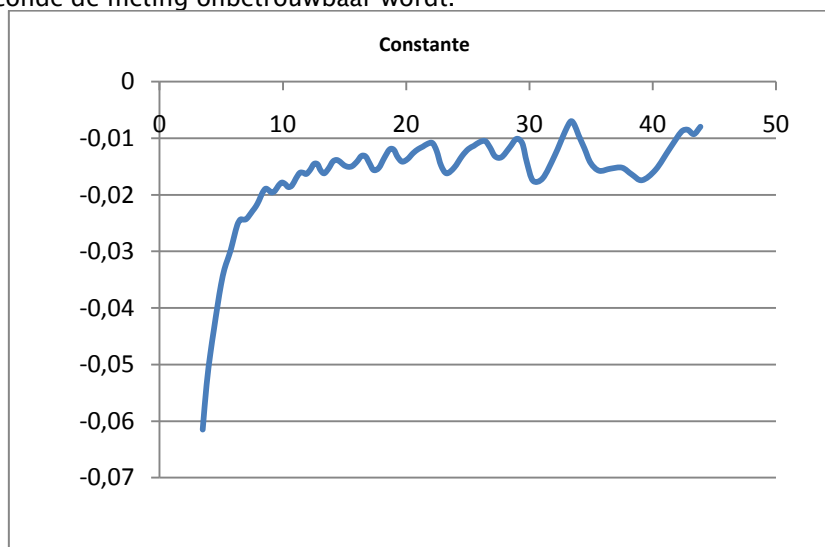
$$M_{rem} = M_J$$

$$C_{all} * \omega^2 = 3,98 * \frac{d\omega}{dt}$$



Figuur 29: Momenten op het vliegwiel

Per vijf instellingen (zie tabel 28) wordt een proef gedaan. In deze proef wordt gemiddelde C_{all} bepaald. Deze C_{all} wordt berekend als $M_{propulsie}$ gelijk is aan nul en de hoeksnelheid van het vliegwiel groter is dan dertien radialen per seconden. Bij de proef is gebleken dat bij een hoeksnelheid lager dan dertien radialen per seconde de meting onbetrouwbaar wordt.

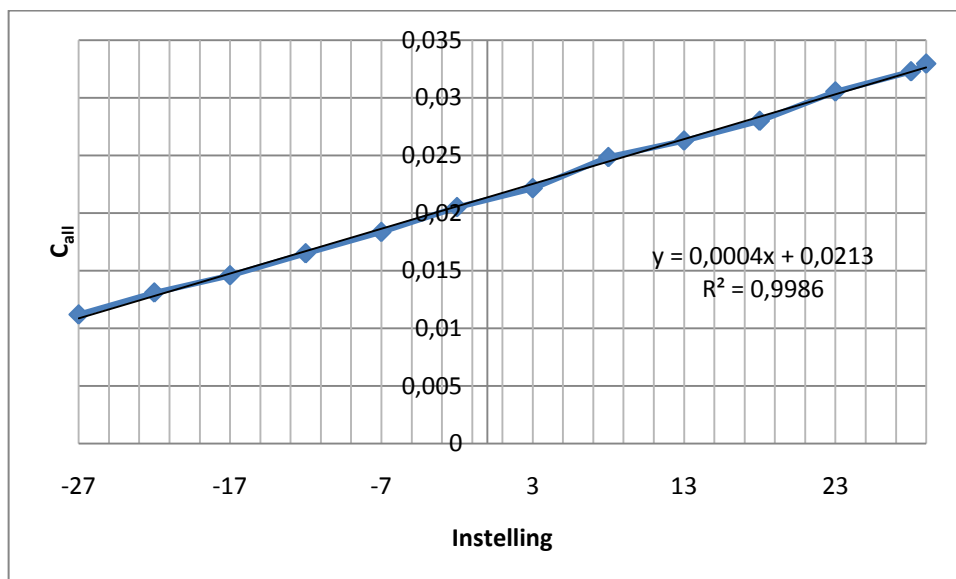


Figuur 30: C_{all} per hoeksnelheid (instelling -17)



instelling	C _{all}
-27	0,01118
-22	0,013084
-17	0,014582
-12	0,016488
-7	0,018341
-2	0,020495
3	0,022138
8	0,024835
13	0,026267
18	0,027979
23	0,030524
28	0,032273
29	0,032943

Tabel 28: C_{all} per instelling



Figuur 31: C_{all} per instelling



Bijlage IX: Protocol onderzoek inwendig vermogen

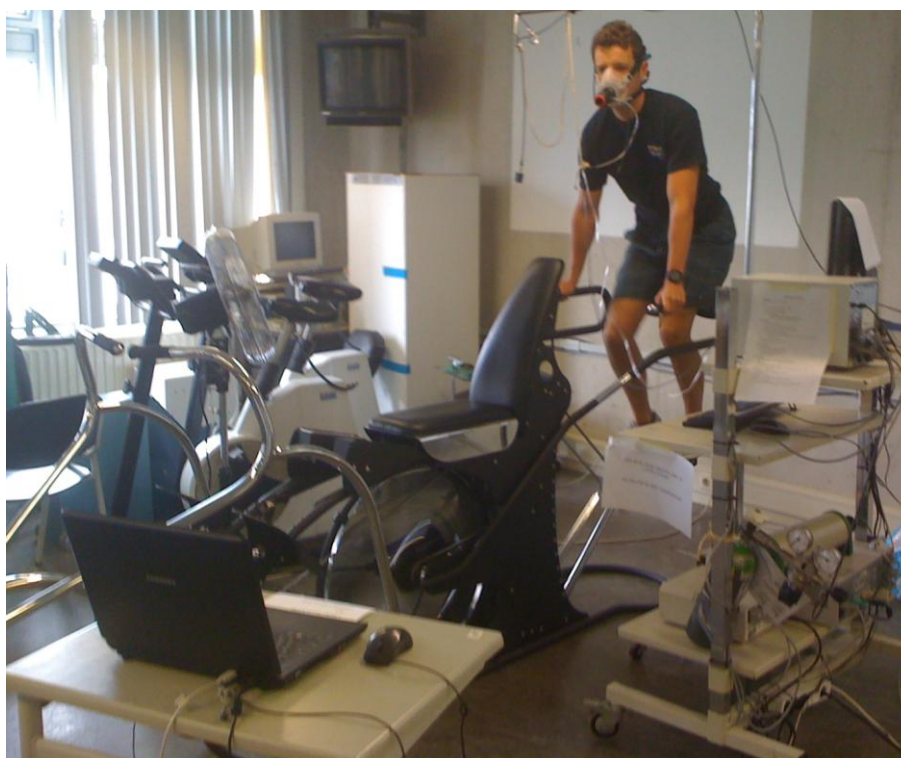
Benodigdheden:

- Weegschaal
- Meetlat
- ROM-machine
- Oxycon + mondkapjes
- Polar hartslagmeter
- Handdoek
- Ventilator

Handelingen per testdag:

Testopstelling controleren

Oxycon opstarten & ijken (NB Oxycon 1 uur opstart tijd!)



Figuur 32: Opstelling testen inwendig vermogen

De opstelling bestaat uit:

- De laptop (waaraan de LabJack zit aangesloten) die goed in het zicht moet staan van de proefpersoon.
- De oxycon (inclusief toebehoren)
- De hartslagmeter (Polar)
- De ROM-Machine
- De ventilator

Handelingen per test:

- Proefpersoondata (gewicht enz.) verzamelen en registreren
- Polar, Oxycon en laptopinstelling checken en gegevens invoeren
- Backgroundzeroing oxycon
- Proefpersoon op ROM-Machine installeren (Polar + Oxycon), proefdraaien op 220RPM;
- Instelling trap 1 op ROM-Machine instellen
- Meting oxycon + hartslagmeter starten en synchroniseren met laptop (d.m.v. markers)



Vermogensbepaling op de ROM-Machine
Coen de Weerd



- Nogmaals uitleg: zo gelijkmatig mogelijk snelheid op 220 RPM houden
- Start test door vliegwiel aan te slingeren
- Na drie en een halve minuut:
 - o Marker Polar & oxycon / Rem vliegwiel
 - o Nieuwe instelling op de ROM-Machine (volgende trap)
 - o Volgende trap/instelling bij programma op laptop
 - o Vliegwiel aanslingeren
- Herhalen voor alle trappen tot RER waarde 1min hoger dan 1 is of tot alle zes trappen zijn afgerond.
- Na laatste trap:
 - o Oxycon meting beëindigen / Mondkapje af
 - o Eventueel lichte cooling down PP
 - o Data (oxycon/polar/laptop) opslaan/printen
 - o Oxyconmasker & borstband afspoelen
 - o Data Polar uitlezen
- Alles klaarzetten voor de nieuwe PP



Bijlage X: Delphi 7 programma: berekenen mechanisch vermogen

Het mechanisch vermogen wordt berekend in een in Delphi 7 gebouwd programma. Dit programma gebruikt hiervoor formule 3.18. Het programma laat de volgende data opslaan in twee bestanden (per omwenteling en per vijf seconde):

- Tijd
- Omwentelingen
- Snelheid vliegwiel (RPM, ω_{fit})
- Hoekversnelling vliegwiel (α_{fit})
- M_J
- M_{Rem}
- $M_{\text{Propulsie}}$
- Mechanisch vermogen

Naar de proefpersoon geeft het programma de snelheid van het vliegwiel (RPM) weer. Deze hoeksnelheid moet de proefpersoon zo gelijkmatig mogelijk op 220 RPM zien te houden.

Figuur 33: Interface Delphi 7 programma: Berekenen mechanisch vermogen

Code Delphi 7 programma: bepalen mechanisch vermogen

```
unit UNITcommunicatielabjack;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, LJUDDelphi, Math, Spin, JvTimer;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
Panel1: TPanel;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Label4: TLabel;
```




```
Label5: TLabel;  
Label6: TLabel;  
Label7: TLabel;  
Button1: TButton;  
Label8: TLabel;  
Button2: TButton;  
Button3: TButton;  
SpinEdit1: TSpinEdit;  
Label9: TLabel;  
GroupBox1: TGroupBox;  
Label10: TLabel;  
Edit1: TEdit;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Label13: TLabel;  
Label14: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Label18: TLabel;  
Edit2: TEdit;  
SpinEdit2: TSpinEdit;  
SpinEdit3: TSpinEdit;  
SpinEdit4: TSpinEdit;  
SpinEdit5: TSpinEdit;  
SpinEdit6: TSpinEdit;  
RadioGroup1: TRadioGroup;  
Button4: TButton;  
Button5: TButton;  
RadioGroup2: TRadioGroup;  
Edit3: TEdit;  
Button6: TButton;  
JvTimer1: TTimer;  
JvTimer2: TTimer;  
procedure FormCreate(Sender: TObject);  
procedure Button1Click(Sender: TObject);  
procedure Button2Click(Sender: TObject);  
procedure Button3Click(Sender: TObject);  
procedure Button5Click(Sender: TObject);  
procedure Button4Click(Sender: TObject);  
procedure Button6Click(Sender: TObject);  
procedure JvTimer1Timer(Sender: TObject);  
procedure JvTimer2Timer(Sender: TObject);
```

```
private  
{ Private declarations }  
public  
{ Public declarations }  
end;
```

```
const  
Traagheidsmoment:double=3.98161{mm};  
ConstanteKE:double=1.990805;
```

```
var  
Form1: TForm1;  
LJHandle: LJ_Handle;  
LJerrorcode: LJ_error;  
nr, TekstOutVersie, tock, instelling, up, tockoud, oud,  
tick, TickOud, berekenfreq: integer;
```



Voltage, DebounceCounter, Mj, AlphaFilt, alphafiltgem, Mjgem, Mremgem, Mpropgem, Call, Mrem, Mprop, rpmcum, omegafiltcum, alphafiltcum, Mjcum, Mremcum, Mpropcum, Omegafiltgem, P, PvuKEpiek, Wcum, Pcum, Dt, Pgem, RPMgem :double;

LJavailable, geijkt :Boolean;

Tickcounter, DeltaT, TickT :Array[0..9999999] of integer;

omega, alpha, DeltaTfilt, OmegaFilt, frequentie, KE, W, PvuKE, rpm, PvuKEFilt :Array[0..9999999] of double;

resultaten , resultatenp5s :textfile;

starttijd, starttijd2 :TTime;

implementation

{ \$R *.dfm }

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);

begin

geijkt:=false;

//Labjack check+instellen

nr:= OpenLabjack(LJ_dtu3, LJ_ctUSB, '1', 1, LJhandle);

//If (nr>-1) and (nr<12) then

begin

label8.caption:= 'sensor OK';

LJAvailable:= true;

button1.Enabled:=false;

//timer instellen

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_config, LJ_chTIMER_COUNTER_PIN_OFFSET, 4, 0, 0);

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_CONFIG, LJ_chNUMBER_TIMERS_ENABLED, 1, 0, 0);

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_config, LJ_chTIMER_CLOCK_BASE, LJ_tc48MHZ, 0, 0);

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_config, LJ_chTIMER_COUNTER_PIN_OFFSET, 4, 0, 0);

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_TIMER_MODE, 0, LJ_tmFIRMCOUNTERDEBOUNCE, 0, 0);

LJerrorcode:= ePut(LJhandle, LJ_ioPUT_TIMER_VALUE, 0, 1, 0);

LJerrorcode:= GoOne(LJhandle);

end;

end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);

begin

nr:= OpenLabjack(LJ_dtu3, LJ_ctUSB, '1', 1, LJhandle);

If (nr>-1) and (nr<12) then

begin

label8.caption:= 'sensor OK';

LJAvailable:= true;

button2.enabled:=true;

button1.Enabled:=false;

//timer instellen

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_config, LJ_chTIMER_COUNTER_PIN_OFFSET, 4, 0, 0);

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_CONFIG, LJ_chNUMBER_TIMERS_ENABLED, 1, 0, 0);

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_config, LJ_chTIMER_CLOCK_BASE, LJ_tc48MHZ, 0, 0);

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_config, LJ_chTIMER_COUNTER_PIN_OFFSET, 4, 0, 0);

LJerrorcode:= addrequest(LJhandle, LJ_ioPUT_TIMER_MODE, 0, LJ_tmFIRMCOUNTERDEBOUNCE, 0, 0);

LJerrorcode:= ePut(LJhandle, LJ_ioPUT_TIMER_VALUE, 0, 1, 0);

LJerrorcode:= GoOne(LJhandle);

end else begin

label8.caption:= 'Controleer USB aansluiting/Labjack';

LJAvailable:= false;

end;

end;



```
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  If geijkt=false then
    showmessage('vergeet niet met oxycon te iken');
  If LJAvailable then
    begin
      //instelling doorgeven
      if radiogroup1.ItemIndex=0 then
        instelling:=spinedit1.value;
      if radiogroup1.ItemIndex=1 then
        instelling:=spinedit2.value;
      if radiogroup1.ItemIndex=2 then
        instelling:=spinedit3.value;
      if radiogroup1.ItemIndex=3 then
        instelling:=spinedit4.value;
      if radiogroup1.ItemIndex=4 then
        instelling:=spinedit5.value;
      if radiogroup1.ItemIndex=5 then
        instelling:=spinedit6.value;

      Call:= 0.00038905*instelling+0.021347;

      //resultaten.txt
      Writeln(resultaten,'instelling: ' + floattostr(instelling));
      writeln(resultaten,#10) ;
      Writeln(resultaten,'Tijd;tickT;deltaTFilt;tock;rpm;Omegafilt;AlphaFilt;Mj;Mrem;Mprop;P');

      //resultatenp5s.txt
      Writeln(resultatenp5s,'instelling: ' + floattostr(instelling));
      writeln(resultatenp5s,#10) ;
      Writeln(resultatenp5s,'Tijd;tickT;deltaTFilt;rpm;Omegafilt;AlphaFilt;Mj;Mrem;Mprop;P');

      //instellen timer/buttons/variabelen
      LJErrorCode:= ePut(LJHandle,LJ_ioPUT_TIMER_VALUE,0,1,0);
      GoOne(LJHandle);
      Tick:=0;
      tock:=0;
      tockoud:=0;
      Starttijd:=time;
      Jvtimer1.Enabled:=true;
      Jvtimer2.Enabled:=true;
      spinedit1.Enabled:=false;
      spinedit2.Enabled:=false;
      spinedit3.Enabled:=false;
      spinedit4.Enabled:=false;
      spinedit5.Enabled:=false;
      spinedit6.Enabled:=false;
      button1.Enabled:=false;
      button2.Enabled:=false;
      button5.Enabled:=false;
      button4.Enabled:=true;
      button3.Enabled:=true;

    end else
      ShowMessage('controleer aansluiting LJ en Herstart')
    end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  // stop meten
  Jvtimer1.Enabled:=false;
  Jvtimer2.Enabled:=false;
```



```
geijkt:=false;
writeln(resultaten,#10);
writeln(resultaten,#10);
writeln(resultaten,#10);
writeln(resultaten,edit3.text);
closefile(resultaten);

writeln(resultatenp5s,#10);
writeln(resultatenp5s,#10);
writeln(resultatenp5s,#10);
writeln(resultatenp5s,edit3.text);
closefile(resultatenp5s);

//reset variabelen
spinedit1.Enabled:=true;
spinedit2.Enabled:=true;
spinedit3.Enabled:=true;
spinedit4.Enabled:=true;
spinedit5.Enabled:=true;
spinedit6.Enabled:=true;
edit1.Enabled:=true;
edit2.Enabled:=true;
edit3.Text:='';
button5.Enabled:=true;
button3.Enabled:=false;
button2.Enabled:=false;
button4.Enabled:=false;

end;

procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
begin
    button2.enabled:=true;
    button3.enabled:=true;
    button5.enabled:=false;
    //resultaten.txt
    TekstOutVersie:=(TekstOutVersie+1);
    rewrite(resultaten,'resultaten' + inttostr(TekstOutVersie)+'.txt');
    rewrite(resultatenp5s,'resultatenp5s' + inttostr(TekstOutVersie)+'.txt');
    reset(resultaten);
    eof(resultaten);
    append(resultaten) ;
    writeln(resultaten,formatdatetime('dd-mm-yyyy hh:mm:ss', now));
    writeln(resultaten,'Proefpersoon: ' + edit2.text);

    reset(resultatenp5s);
    eof(resultatenp5s);
    append(resultatenp5s) ;
    writeln(resultatenp5s,formatdatetime('dd-mm-yyyy hh:mm:ss', now));
    writeln(resultatenp5s,'Proefpersoon: ' + edit2.text);

    If radiogroup2.ItemIndex=0 then
    begin
        writeln(resultaten,'training: Upperbody');
        writeln(resultatenp5s,'training: Upperbody');
    end;
    If radiogroup2.ItemIndex=1 then
    begin
        writeln(resultaten,'training: Lowerbody');
        writeln(resultatenp5s,'training: Lowerbody');
    end;
    If radiogroup2.ItemIndex=-1 then
        Showmessage('Kies Training');
```



```
writeln(resultaten,'Opmerkingen: '+ edit1.text);
writeln(resultaten,#10) ;
writeln(resultaten,#10) ;
writeln(resultaten,#10) ;

writeln(resultatenp5s,'Opmerkingen: '+ edit1.text);
writeln(resultatenp5s,#10) ;
writeln(resultatenp5s,#10) ;
writeln(resultatenp5s,#10) ;

end;

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
begin
    // stop meten
    Jvtimer1.Enabled:=false;
    Jvtimer2.Enabled:=false;
    //
    radiogroup1.ItemIndex:=radiogroup1.ItemIndex+1;
    button2.Enabled:=true;
    writeln(resultaten,#10) ;
    writeln(resultaten,#10) ;
    writeln(resultaten,#10) ;
    writeln(resultaten,#10) ;

    writeln(resultatenp5s,#10) ;
    writeln(resultatenp5s,#10) ;
    writeln(resultatenp5s,#10) ;
    writeln(resultatenp5s,#10) ;
end;

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
begin
    geijkt:=true;
    starttijd2:=time;
end;

procedure TForm1.JvTimer1Timer(Sender: TObject);
begin
    // signaal binnenhalen
    tick:=(tick+1);
    LJErrorcode:=eAIN (LJhandle,0,31,voltage,-1,-1,-1,0{IngBinary},0,0);
    LJErrorcode:= eGet(LJHandle,LJ_ioGET_TIMER,0,DebounceCounter,0);
    LJErrorcode:= GoOne(LJHandle);

    //frequentie/hoeksnelheid berekenen
    //dit geldt alleen als de frequentie van het wiel <64Hz
    // let op bij verwerken resultaten.txt
    If DebounceCounter>tock then
    begin
        Tock:=tock+1;
        TickT[tock]:=tick;
        DeltaT[tock]:=tick-Tickoud;

        //filter
        if tock>2 then
            DeltaTfilt[tock]:=(DeltaT[tock-2]+DeltaT[tock-1]+DeltaT[tock])/3;

        //frequentie/rpm/hoeksnelheid
        If tock>4 then
        begin
```



```
frequentie[tock]:=(2/((DeltaTfilt[tock-2]+DeltaTfilt[tock-1])))*64;
rpm[tock]:= frequentie[tock]*60;
Omega[tock]:=2*Pi*frequentie[tock];
end;

//filter
if tock>6 then
begin
OmegaFilt[tock]:=(omega[tock-4]+omega[tock-3]+omega[tock-2])/3;
KE[tock]:=ConstanteKE*OmegaFilt[tock];
W[tock]:=KE[tock]-KE[tock-1];
if W[tock]>0 then
Wcum:=Wcum+W[tock];
end;

//hoekversnelling//P uit KE
If Tock>8 then
begin
Alpha[tock]:=((OmegaFilt[tock-3]-OmegaFilt[tock-5])/(DeltaTfilt[tock-3]+DeltaTfilt[tock-4]))*64;
PvuKE[tock]:=((W[tock-3]-W[tock-5])/(DeltaTfilt[tock-3]+DeltaTfilt[tock-4]))*64;
end;

//filter
if tock>10 then
begin
AlphaFilt:=(Alpha[tock-6]+alpha[tock-5]+alpha[tock-4])/3;
PvuKEFilt[tock]:=(PvuKE[tock-6]+PvuKE[tock-5]+PvuKE[tock-4])/3;

//mechanisch vermogen berekenen
//(krachts)moment door traagheidsmoment
Mj:=traagheidsmoment*alphaFilt;
If RPM[tock-3] > 120 then
Mrem:=Call*sqr(omegafilt[tock-2])
else Mrem:=0;

Mprop:=Mj+Mrem;

If W[tock-2]>0 then
begin
If Mprop>0 then
P:= Mprop* omegafilt[tock-2];
end
else P:=0;

RPMcum:=RPMcum+RPM[tock-3]*DeltaTfilt[tock-4];
Omegafiltcum:=omegafiltcum+Omegafilt[tock-2]*DeltaTfilt[tock-4];
Alphafiltcum:=Alphafiltcum+ Alphafilt*DeltaTfilt[tock-4];
Mjcum:=Mjcum+Mj*DeltaTfilt[tock-4];
Mremcum:=Mremcum+Mrem*DeltaTfilt[tock-4];
Mpropcum:=Mpropcum+Mprop*DeltaTfilt[tock-4];
Pcum:=Pcum+P*DeltaTfilt[tock-4];
end;

//gegevens wegschrijven in tekstbestand
Writeln(resultaten,timetostr(time-starttijd2)+';'+floattostr(tickT[tock-6])+';'+floattostr(deltaTfilt[tock-4])+';'+floattostr(tock-
6)+';'+floattostr(rpm[tock-3])+';'+floattostr(OmegaFilt[tock-
2])+';'+floattostr(Alphafilt)+';'+floattostr(Mj)+';'+floattostr(Mrem)+';'+floattostr(Mprop)+';'+floattostr(P));

tickoud:=tick;
end;

//variabelen weergeven op form
//label1.Caption:='Tick: '+floattostr(Tick);
```



Vermogensbepaling op de ROM-Machine Coen de Weerd



```
//label2.Caption:='Counter:      '+floattostr(DebounceCounter-6);
// label3.Caption:='Frequentie:   '+floattostr(frequentie[tock-3])+ ' Hz';
// label4.Caption:='Omwentelingen: '+floattostr(rpmgem)+' RPM';
// label5.Caption:='Hoeksnelheid: '+floattostr(Omegafilt[tock-2])+ ' rad/s';
// label15.Caption:='KE:          '+floattostr(KE[tock-2])+ ' Nm';
// label6.Caption:='Hoekversnelling:'+floattostr(Alphafilt)+' rad^2/s';
// label7.Caption:='P:           '+floattostr(P)+' W';
// label9.Caption:='Vermogen:     '+floattostr(PvuKEfilt[tock])+ ' W';
// label12.Caption:='Arbeid:      '+floattostr(W[tock-2])+ ' Nm';
// label16.Caption:='Vermogen (pieken):'+floattostr(PvuKEpiek)+' W';
label13.Caption:='RPM:          '+floattostr((Round(RPM[tock-3]/5))*5);
// label14.Caption:='Vermogen (gem):'+floattostr(round(Pgem))+ ' W';
label17.Caption:='Tijdsduur:     '+timetostr(starttijd-time);
end;

procedure TForm1.JvTimer2Timer(Sender: TObject);
begin
  If tock>tockoud then
  begin
    Dt:=(tick-oud);
    RPMgem:=RPMcum/Dt;
    Omegafiltgem:=Omegafiltcum/Dt;
    alphafiltgem:=Alphafiltcum/Dt;
    Mjgem:=Mjcum/Dt;
    Mremgem:=Mremcum/Dt;
    Mpropgem:=Mpropcum/Dt;
    Pgem:=Pcum/Dt;
    Pcum:=0;
    RPMcum:=0;
    Omegafiltcum:=0;
    Alphafiltcum:=0;
    Mjcum:=0;
    Mremcum:=0;
    Mpropcum:=0;
    Wcum:=0;

    WriteLn(resultatenp5s,timetostr(time-starttijd2)+';'+floattostr(tickT[tock-6])+';'+floattostr(Tick-
oud)+';'+floattostr(rpmgem)+';'+floattostr(OmegaFiltgem)+';'+floattostr(Alphafiltgem)+';'+floattostr(Mjgem)+';'+floattostr(Mremge
m)+';'+floattostr(Mpropgem)+';'+floattostr(Pgem)) ;
    oud:=tick;
  end;
end;

end.
```



Bijlage XI: Data testen inwendig vermogen

Bovenlichaam vrouwen

Proefpersoon	Leeftijd	Gewicht	Lengte	Instelling	Hr	Pmech	Pin	Rendement
	jaar	kg	cm		l/min	Watt	Watt	%
Sophie	20	61	167	-27	140	42	462	9
Sophie	20	61	167	-19	154	44	482	9
Sophie	20	61	167	-11	159	61	528	12
Sophie	20	61	167	-3	161	65	542	12
Sanne	24	74	169	-27	118	49	405	12
Sanne	24	74	169	-19	140	57	480	12
Sanne	24	74	169	-11	155	73	486	15
Sanne	24	74	169	-3	163	77	504	15
Sanne	24	74	169	5	170	67	530	13
Sanne	24	74	169	13	163	74	502	15
Margot	21	64	170	-27	104	49	297	17
Margot	21	64	170	-19	143	66	477	14
Margot	21	64	170	-11	158	73	562	13
Margot	21	64	170	-3	171	68	686	10
Margot	21	64	170	5	177	81	716	11
Lisanne	22	65	178	-27	148	39	495	8
Lisanne	22	65	178	-19	159	46	558	8
Lisanne	22	65	178	-11	173	51	600	9
Linda	23	61	162	-27	157	51	444	12
Linda	23	61	162	-19	171	57	551	10
Linda	23	61	162	-11	181	66	657	10
Linda	23	61	162	-3	168	62	559	11
Chantal	20	69	163	-27	111	48	399	12
Chantal	20	69	163	-19	126	58	448	13
Chantal	20	69	163	-11	138	59	525	11
Chantal	20	69	163	-3	139	66	558	12
Chantal	20	69	163	5	138	52	513	10
Marije	24	65	163	-19	174	64	579	11
Marije	24	65	163	-11	175	62	418	15
Marije	24	65	163	-3	179	71	716	10
Sjoukje	21	57	169	-27	122	39	308	13
Sjoukje	21	57	169	-19	131	55	443	12
Sjoukje	21	57	169	-11	147	61	532	11
Sjoukje	21	57	169	-3	160	70	593	12
Sjoukje	21	57	169	5	165	76	628	12
Antonet	23	63	181	-27	121	47	397	12
Antonet	23	63	181	-19	133	53	452	12
Antonet	23	63	181	-11	146	60	507	12
Antonet	23	63	181	-3	160	67	562	12
Antonet	23	63	181	5	173	75	601	12
Antonet	23	63	181	13	182	81	678	12
Gemiddelde (SD)								11,78(1,94)



Vermogensbepaling op de ROM-Machine
Coen de Weerd



Bovenlichaam mannen

Proefpersoon	Leeftijd	Gewicht	Lengte	Instelling	Hr	Pmech	Pin	Rendement
	jaar	kg	cm		l /min	Watt	Watt	%
Bart	26	84	182	18	165	184	1047	18
Bart	26	84	182	9	152	152	840	18
Bart	26	84	182	0	137	134	763	18
Bart	26	84	182	-9	124	111	688	16
Bart	26	84	182	-18	119	76	653	12
Bart	26	84	182	-27	111	43	510	8
Bram	21	67	184	-27	115	34	505	7
Bram	21	67	184	-19	123	72	701	10
Bram	21	67	184	-11	131	83	716	12
Bram	21	67	184	-3	136	84	801	10
Bram	21	67	184	5	148	95	865	11
Bram	21	67	184	13	151	124	950	13
Jan Herman	22	73	179	-27	133	48	473	10
Jan Herman	22	73	179	-19	142	69	538	13
Jan Herman	22	73	179	-11	156	81	641	13
Jan Herman	22	73	179	-3	173	88	787	11
Jan Herman	22	73	179	5	181	97	811	12
Jan Herman	22	73	179	13	191	95	929	10
Maikel	22	69	179	-27	119	46	520	9
Maikel	22	69	179	-19	130	70	591	12
Maikel	22	69	179	-11	140	82	659	12
Maikel	22	69	179	-3	152	94	759	12
Maikel	22	69	179	5	158	97	792	12
Maikel	22	69	179	13	167	110	937	12
Marijn	29	87	186	-27	117	47	563	8
Marijn	29	87	186	-19	124	59	609	10
Marijn	29	87	186	-11	137	69	696	10
Marijn	29	87	186	-3	146	80	769	10
Marijn	29	87	186	5	159	100	931	11
Marijn	29	87	186	13	164	108	946	11
Niels	23	82	180	-27	107	47	428	11
Niels	23	82	180	-19	113	62	509	12
Niels	23	82	180	-11	125	91	595	15
Niels	23	82	180	-3	137	107	708	15
Niels	23	82	180	5	148	108	831	13
Niels	23	82	180	13	158	113	862	13
Onno	23	72	181	-27	126	34	398	9
Onno	23	72	181	-19	144	44	505	9
Onno	23	72	181	-11	154	57	629	9
Onno	23	72	181	-3	163	67	683	10
Peter	25	80	195	-27	85	56	545	10
Peter	25	80	195	-19	88	65	600	11
Peter	25	80	195	-11	95	87	682	13
Peter	25	80	195	-3	119	108	834	13
Peter	25	80	195	5	131	109	983	11
Peter	25	80	195	13	152	127	1077	12
Tom	26	78,6	179	-27	119	47	464	10
Tom	26	78,6	179	-19	128	51	574	9
Tom	26	78,6	179	-11	137	59	637	9
Tom	26	78,6	179	-3	146	65	681	9
Tom	26	78,6	179	5	157	69	755	9
Tom	26	78,6	179	13	158	68	732	9
Gemiddelde (SD)								11,38 (2,48)
Gemiddelde (SD) (mannen en vrouwen)								11,56 (2,26)



Onderlichaam vrouwen

Proefpersoon	Leeftijd	Gewicht	Lengte	Instelling	Hr	Pmech	Pin	Rendement
	jaar	kg	cm		l/min	Watt	Watt	%
Sophie	20	61	167	-27	165	71	559	13
Sophie	20	61	167	-19	175	79	635	12
Sophie	20	61	167	-11	176	103	687	15
Sophie	20	61	167	-3	176	99	665	15
Sophie	20	61	167	5	182	113	738	15
Sophie	20	61	167	13	188	122	803	15
Sanne	24	74	169	-27	129	64	554	11
Sanne	24	74	169	-19	139	78	584	13
Sanne	24	74	169	-11	152	90	656	14
Sanne	24	74	169	-3	151	98	638	15
Sanne	24	74	169	5	165	111	688	16
Sanne	24	74	169	13	176	140	793	18
Margot	21	64	170	-27	150	61	557	11
Margot	21	64	170	-19	159	73	589	12
Margot	21	64	170	-11	167	100	603	17
Margot	21	64	170	-3	172	113	665	17
Margot	21	64	170	5	178	131	710	18
Margot	21	64	170	13	184	153	808	19
Linda	23	61	162	-27	169	65	605	11
Jorine	29	69	163	-27	118	66	491	13
Jorine	29	69	163	-19	130	89	565	16
Jorine	29	69	163	-11	135	102	604	17
Jorine	29	69	163	-3	140	98	643	15
Jorine	29	69	163	5	145	116	642	18
Jorine	29	69	163	13	152	124	719	17
Birgit	27	69	177	-27	141	77	676	11
Birgit	27	69	177	-19	145	34	559	6
Birgit	27	69	177	-11	154	78	603	13
Birgit	27	69	177	-3	164	110	683	16
Birgit	27	69	177	5	167	114	736	16
Lisanne	22	65	178	-27	158	60	670	9
Lisanne	22	65	178	-19	178	72	770	9
Lisanne	22	65	178	-3	188	107	846	13
Lisanne	22	65	178	5	194	116	882	13
Marije	24	65	163	-27	170	67	591	11
Marije	24	65	163	-19	177	98	690	14
Marije	24	65	163	-11	179	90	704	13
Marije	24	65	163	-3	182	100	767	13
Gemiddelde (SD)								13,95 (2,88)



Vermogensbepaling op de ROM-Machine
Coen de Weerd



Onderlichaam mannen

Proefpersoon	Leeftijd	Gewicht	Lengte	Instelling	Hr	Pmech	Pin	Rendement
	jaar	kg	cm		l/min	Watt	Watt	%
Bart	26	84	182	-27	123	67	716	9
Bart	26	84	182	-19	124	98	743	13
Bart	26	84	182	-11	134	100	790	13
Bart	26	84	182	-3	136	128	865	15
Bart	26	84	182	5	138	149	869	17
Bart	26	84	182	13	145	172	1003	17
Bram	21	67	184	-27	130	67	626	11
Bram	21	67	184	-19	135	79	682	12
Bram	21	67	184	-11	141	95	771	12
Bram	21	67	184	-3	146	116	793	15
Bram	21	67	184	5	154	145	967	15
Bram	21	67	184	13	159	158	1027	15
Jan Herman	22	73	179	-27	157	44	752	6
Jan Herman	22	73	179	-19	173	68	879	8
Jan Herman	22	73	179	-11	178	84	917	9
Jan Herman	22	73	179	-3	180	91	931	10
Jan Herman	22	73	179	5	184	120	980	12
Jan Herman	22	73	179	13	189	133	1012	13
Maikel	22	69	179	-27	125	62	541	11
Maikel	22	69	179	-19	140	87	615	14
Maikel	22	69	179	-11	153	99	674	15
Maikel	22	69	179	-3	155	114	792	14
Maikel	22	69	179	5	161	132	867	15
Maikel	22	69	179	13	170	152	944	16
Marijn	29	87	186	-27	140	57	767	7
Marijn	29	87	186	-19	149	70	797	9
Marijn	29	87	186	-11	154	86	806	11
Marijn	29	87	186	-3	162	125	787	16
Marijn	29	87	186	5	165	141	877	16
Marijn	29	87	186	13	172	162	865	19
Niels	23	82	180	-27	122	55	550	10
Niels	23	82	180	-19	128	83	664	13
Niels	23	82	180	-11	138	98	662	15
Niels	23	82	180	-3	144	118	706	17
Niels	23	82	180	5	152	133	783	17
Niels	23	82	180	13	161	153	846	18
Onno	23	72	181	-27	138	57	591	10
Onno	23	72	181	-19	149	76	707	11
Onno	23	72	181	-11	152	71	744	10
Onno	23	72	181	-3	158	95	719	13
Onno	23	72	181	5	164	107	806	13
Onno	23	72	181	13	170	113	862	13
Peter	25	80	195	-27	104	68	555	12
Peter	25	80	195	-19	107	75	595	13
Peter	25	80	195	-11	111	89	714	12
Peter	25	80	195	-3	113	105	727	14
Peter	25	80	195	5	119	124	840	15
Peter	25	80	195	13	128	133	967	14
Tom	26	78,6	179	-27	123	62	660	9
Tom	26	78,6	179	-19	134	86	745	12
Tom	26	78,6	179	-11	151	114	754	15
Tom	26	78,6	179	-3	158	132	768	17
Tom	26	78,6	179	5	169	141	869	16
Tom	26	78,6	179	13	173	164	934	18
				Gemiddelde (SD)				13,19(2,98)
				Gemiddelde (SD) (mannen en vrouwen)				13,5 (2,95)



Bijlage XII: Uitwerkingen statistiek in SPSS

P_{uit} = P_{mech}

HR = H_f

Kenmerken Proefpersonen

Lo						Up					
Man			Vrouw			Man			Vrouw		
Mean	Std Deviation	Count	Mean	Std Deviation	Count	Mean	Std Deviation	Count	Mean	Std Deviation	Count
24	3	9	24	3	8	24	3	9	22	2	9
77	7	9	66	4	8	77	7	9	64	5	9
183	5	9	169	6	8	183	5	9	169	7	9

Correlaties oefening bovenlichaam

Descriptive Statistics(a)

	Mean	Std. Deviation	N
Geslacht	,44	,499	93
Leeftijd	23,20	2,362	93
Gewicht	71,63	8,672	93
Lengte	176,96	8,710	93
HR	144,56	22,550	93
Puit	72,64	26,384	93
Pin	624,50	166,024	93

a Oefening = Up

Correlations(a)

		Geslacht	Leeftijd	Gewicht	Lengte	HR	Puit	Pin
Geslacht	Pearson Correlation	1	-,455(**)	-,720(**)	-,766(**)	,315(**)	-,407(**)	-,554(**)
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,002	,000	,000
	N	93	93	93	93	93	93	93
Leeftijd	Pearson Correlation	-,455(**)	1	,780(**)	,500(**)	-,125	,247(*)	,313(**)
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,232	,017	,002
	N	93	93	93	93	93	93	93
Gewicht	Pearson Correlation	-,720(**)	,780(**)	1	,606(**)	-,332(**)	,400(**)	,412(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,001	,000	,000
	N	93	93	93	93	93	93	93
Lengte	Pearson Correlation	-,766(**)	,500(**)	,606(**)	1	-,388(**)	,365(**)	,512(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	93	93	93	93	93	93	93
HR	Pearson Correlation	,315(**)	-,125	-,332(**)	-,388(**)	1	,278(**)	,352(**)
	Sig. (2-tailed)	,002	,232	,001	,000		,007	,001
	N	93	93	93	93	93	93	93
Puit	Pearson Correlation	-,407(**)	,247(*)	,400(**)	,365(**)	,278(**)	1	,840(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,017	,000	,000	,007		,000
	N	93	93	93	93	93	93	93
Pin	Pearson Correlation	-,554(**)	,313(**)	,412(**)	,512(**)	,352(**)	,840(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,002	,000	,000	,001	,000	
	N	93	93	93	93	93	93	93

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

a Oefening = Up



Correlaties Oefening onderlichaam

Descriptive Statistics(a)

	Mean	Std. Deviation	N
Geslacht	,41	,495	92
Leeftijd	23,41	2,556	92
Gewicht	72,71	7,681	92
Lengte	177,12	8,492	92
HR	153,35	21,103	92
Puit	100,39	30,390	92
Pin	736,94	125,010	92

a Oefening = Lo

Correlations(a)

		Geslacht	Leeftijd	Gewicht	Lengte	HR	Puit	Pin
Geslacht	Pearson Correlation	1	-,327(**)	-,662(**)	-,799(**)	,361(**)	-,170	-,467(**)
	Sig. (2-tailed)		,001	,000	,000	,000	,106	,000
	N	92	92	92	92	92	92	92
Leeftijd	Pearson Correlation	-,327(**)	1	,737(**)	,487(**)	-,216(*)	,054	,176
	Sig. (2-tailed)	,001		,000	,000	,038	,608	,094
	N	92	92	92	92	92	92	92
Gewicht	Pearson Correlation	-,662(**)	,737(**)	1	,629(**)	-,472(**)	,170	,274(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,106	,008
	N	92	92	92	92	92	92	92
Lengte	Pearson Correlation	-,799(**)	,487(**)	,629(**)	1	-,433(**)	,105	,397(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,320	,000
	N	92	92	92	92	92	92	92
HR	Pearson Correlation	,361(**)	-,216(*)	-,472(**)	-,433(**)	1	,345(**)	,408(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,038	,000	,000		,001	,000
	N	92	92	92	92	92	92	92
Puit	Pearson Correlation	-,170	,054	,170	,105	,345(**)	1	,701(**)
	Sig. (2-tailed)	,106	,608	,106	,320	,001		,000
	N	92	92	92	92	92	92	92
Pin	Pearson Correlation	-,467(**)	,176	,274(**)	,397(**)	,408(**)	,701(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,094	,008	,000	,000	,000	
	N	92	92	92	92	92	92	92

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

a Oefening = Lo



Regressieanalyse

Bovenlichaam / mannen / zonder Hf

Variables Entered/Removed(a,b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Puit		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Man

Model Summary(b,c)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,844(a)	,712	,706	89,345	,712	123,535	1	50	,000

a Predictors: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Up, Geslacht = Man

ANOVA(b,c)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	986122,438	1	986122,438	123,535	,000(a)
	Residual	399127,599	50	7982,552		
	Total	1385250,037	51			

a Predictors: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Up, Geslacht = Man

Coefficients(a,b)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1 (Constant)	334,436	35,633		9,386	,000	262,865	406,006		
Puit	4,522	,407	,844	11,115	,000	3,704	5,339	1,000	1,000

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Man

Excluded Variables(b,c)

Model						Collinearity Statistics		
		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Leeftijd	,043(a)	,563	,576	,080	,998	1,002	,998
	Gewicht	-,088(a)	-1,138	,261	-,160	,966	1,035	,966
	Lengte	,130(a)	1,733	,089	,240	,979	1,021	,979

a Predictors in the Model: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Up, Geslacht = Man



Coefficient Correlations(a,b)

Model			Puit
1	Correlations	Puit	1,000
	Covariances	Puit	,165

a Dependent Variable: Pin
b Oefening = Up, Geslacht = Man

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	Puit
1	1	1,938	1,000	,03	,03
	2	,062	5,572	,97	,97

a Dependent Variable: Pin
b Oefening = Up, Geslacht = Man

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	487,94	1165,68	705,77	139,053	52
Residual	-182,537	169,853	,000	88,465	52
Std. Predicted Value	-1,567	3,307	,000	1,000	52
Std. Residual	-2,043	1,901	,000	,990	52

a Dependent Variable: Pin
b Oefening = Up, Geslacht = Man

Bovenlichaam / mannen / met Hf

Variables Entered/Removed(a,b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Puit	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).
2	HR	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).
3	Lengte	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).

a Dependent Variable: Pin
b Oefening = Up, Geslacht = Man

Model Summary(d,e)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,844(a)	,712	,706	89,345	,712	123,535	1	50	,000
2	,883(b)	,780	,771	78,844	,068	15,206	1	49	,000
3	,951(c)	,905	,899	52,279	,125	63,452	1	48	,000

a Predictors: (Constant), Puit
b Predictors: (Constant), Puit, HR
c Predictors: (Constant), Puit, HR, Lengte
d Dependent Variable: Pin
e Oefening = Up, Geslacht = Man



ANOVA(d,e)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	986122,438	1	986122,438	123,535	,000(a)
	Residual	399127,599	50	7982,552		
	Total	1385250,037	51			
2	Regression	1080646,345	2	540323,172	86,919	,000(b)
	Residual	304603,692	49	6216,402		
	Total	1385250,037	51			
3	Regression	1254063,403	3	418021,134	152,950	,000(c)
	Residual	131186,634	48	2733,055		
	Total	1385250,037	51			

a Predictors: (Constant), Puit

b Predictors: (Constant), Puit, HR

c Predictors: (Constant), Puit, HR, Lengte

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Up, Geslacht = Man

Coefficients(a,b)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	334,436	35,633		9,386	,000	262,865	406,006		
	Puit	4,522	,407	,844	11,115	,000	3,704	5,339	1,000	1,000
2	(Constant)	94,565	69,085		1,369	,177	-44,268	233,397		
	Puit	3,784	,406	,706	9,326	,000	2,969	4,600	,783	1,278
	HR	2,173	,557	,295	3,899	,000	1,053	3,292	,783	1,278
3	(Constant)	-2786,483	364,573		-7,643	,000	-3519,506	-2053,461		
	Puit	2,701	,301	,504	8,959	,000	2,095	3,307	,623	1,604
	HR	4,351	,460	,591	9,466	,000	3,427	5,275	,506	1,977
	Lengte	14,596	1,832	,445	7,966	,000	10,912	18,280	,633	1,581

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Man

Excluded Variables(d,e)

Model					Collinearity Statistics		
		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Tolerance	VIF
1	Leeftijd	,043(a)	,563	,576	,080	,998	1,002
	Gewicht	-,088(a)	-1,138	,261	-,160	,966	1,035
	Lengte	,130(a)	1,733	,089	,240	,979	1,021
	HR	,295(a)	3,899	,000	,487	,783	1,278
2	Leeftijd	,090(b)	1,334	,188	,189	,969	1,032
	Gewicht	-,005(b)	-,065	,948	-,009	,871	1,148
	Lengte	,445(b)	7,966	,000	,755	,633	1,581
3	Leeftijd	-,011(c)	-,241	,811	-,035	,893	1,120
	Gewicht	-,046(c)	-,962	,341	-,139	,861	1,162

a Predictors in the Model: (Constant), Puit

b Predictors in the Model: (Constant), Puit, HR

c Predictors in the Model: (Constant), Puit, HR, Lengte

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Up, Geslacht = Man



Coefficient Correlations(a,b)

Model			Puit	HR	Lengte
1	Correlations	Puit	1,000		
	Covariances	Puit	,165		
2	Correlations	Puit	1,000	-,466	
		HR	-,466	1,000	
	Covariances	Puit	,165	-,105	
		HR	-,105	,310	
3	Correlations	Puit	1,000	-,603	-,451
		HR	-,603	1,000	,595
		Lengte	-,451	,595	1,000
	Covariances	Puit	,091	-,084	-,249
		HR	-,084	,211	,501
		Lengte	-,249	,501	3,358

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Man

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	Puit	HR	Lengte
1	1	1,938	1,000	,03	,03		
	2	,062	5,572	,97	,97		
2	1	2,918	1,000	,00	,01	,00	
	2	,071	6,423	,09	,88	,03	
	3	,012	15,927	,91	,11	,97	
	1	3,900	1,000	,00	,00	,00	,00
	2	,083	6,835	,00	,66	,00	,00
	3	,016	15,627	,00	,13	,58	,01
	4	,000	135,155	1,00	,21	,42	,99

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Man

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	432,70	1084,34	705,77	156,810	52
Residual	-102,414	85,910	,000	50,718	52
Std. Predicted Value	-1,741	2,414	,000	1,000	52
Std. Residual	-1,959	1,643	,000	,970	52

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Man



Bovenlichaam / vrouwen / zonder Hf

Variables Entered/Removed(a,b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Puit		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Model Summary(b,c)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			
						F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,669(a)	,447	,433	72,578	,447	31,531	1	39	,000

a Predictors: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

ANOVA(b,c)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	166090,729	1	166090,729	31,531	,000(a)
	Residual	205434,407	39	5267,549		
	Total	371525,136	40			

a Predictors: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Coefficients(a,b)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	Tolerance
1	(Constant)	178,859	62,049		2,883	,006	53,352	304,366	
	Puit	5,652	1,006	,669	5,615	,000	3,616	7,687	1,000

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Excluded Variables(b,c)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Leeftijd	-,092(a)	-,745	,461	-,120	,935	1,069	,935
	Gewicht	-,210(a)	1,794	,081	-,279	,983	1,018	,983
	Lengte	,050(a)	,413	,682	,067	1,000	1,000	1,000

a Predictors in the Model: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Up, Geslacht = Vrouw



Coefficient Correlations(a,b)

Model			Puit
1	Correlations	Puit	1,000
	Covariances	Puit	1,013

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	Puit
1	1	1,983	1,000	,01	,01
	2	,017	10,856	,99	,99

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	396,79	636,64	521,42	64,438	41
Residual	-160,332	137,401	,000	71,665	41
Std. Predicted Value	-1,934	1,788	,000	1,000	41
Std. Residual	-2,209	1,893	,000	,987	41

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Bovenlichaam / vrouwen / met Hf

Variables Entered/Removed(a,b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HR		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).
2	Leeftijd		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).
3	Puit		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Model Summary(d,e)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,811(a)	,658	,650	57,046	,658	75,166	1	39	,000
2	,844(b)	,712	,697	53,044	,054	7,108	1	38	,011
3	,869(c)	,756	,736	49,506	,044	6,624	1	37	,014

a Predictors: (Constant), HR

b Predictors: (Constant), HR, Leeftijd

c Predictors: (Constant), HR, Leeftijd, Puit

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Up, Geslacht = Vrouw



ANOVA(d,e)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	244609,466	1	244609,466	75,166	,000(a)
	Residual	126915,669	39	3254,248		
	Total	371525,136	40			
2	Regression	264607,420	2	132303,710	47,023	,000(b)
	Residual	106917,715	38	2813,624		
	Total	371525,136	40			
3	Regression	280842,238	3	93614,079	38,196	,000(c)
	Residual	90682,898	37	2450,889		
	Total	371525,136	40			

a Predictors: (Constant), HR

b Predictors: (Constant), HR, Leeftijd

c Predictors: (Constant), HR, Leeftijd, Puit

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Coefficients(a,b)

Model		Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients		t	Sig.	95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
			Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-64,730	68,192		-,949	,348	-202,662	73,201		
	HR	3,843	,443	,811	8,670	,000	2,947	4,740	1,000	1,000
2	(Constant)	217,689	123,461		1,763	,086	-32,244	467,622		
	HR	4,280	,444	,904	9,649	,000	3,382	5,178	,864	1,158
	Leeftijd	-15,866	5,951	-,250	-2,666	,011	-27,913	-3,818	,864	1,158
3	(Constant)	210,147	115,265		1,823	,076	-23,402	443,696		
	HR	3,486	,516	,736	6,754	,000	2,441	4,532	,555	1,801
	Leeftijd	-16,299	5,557	-,256	-2,933	,006	-27,558	-5,039	,863	1,159
	Puit	2,279	,885	,270	2,574	,014	,485	4,072	,601	1,663

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Excluded Variables(d,e)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Puit	,260(a)	2,269	,029	,345	,602	1,661	,602
	Leeftijd	-						
	Gewicht	,250(a)	-2,666	,011	-,397	,864	1,158	,864
	Lengte	,026(a)	-,275	,785	-,045	,987	1,013	,987
2	Puit	,052(a)	,556	,582	,090	1,000	1,000	1,000
	Gewicht	,270(b)	2,574	,014	,390	,601	1,663	,555
	Lengte	,101(b)	1,029	,310	,167	,782	1,278	,684
	Gewicht	,110(b)	1,243	,222	,200	,949	1,053	,820
3	Lengte	,038(c)	,390	,699	,065	,721	1,388	,468
	Gewicht	,112(c)	1,358	,183	,221	,949	1,053	,553

a Predictors in the Model: (Constant), HR

b Predictors in the Model: (Constant), HR, Leeftijd

c Predictors in the Model: (Constant), HR, Leeftijd, Puit

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Up, Geslacht = Vrouw



Coefficient Correlations(a,b)

Model			HR	Leeftijd	Puit
1	Correlations	HR	1,000		
	Covariances	HR	,197		
2	Correlations	HR	1,000	-,369	
		Leeftijd	-,369	1,000	
	Covariances	HR	,197	-,975	
		Leeftijd	-,975	35,417	
3	Correlations	HR	1,000	-,278	-,597
		Leeftijd	-,278	1,000	-,030
		Puit	-,597	-,030	1,000
	Covariances	HR	,266	-,798	-,273
		Leeftijd	-,798	30,879	-,149
		Puit	-,273	-,149	,784

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	HR	Leeftijd	Puit
1	1	1,991	1,000	,00	,00		
	2	,009	15,243	1,00	1,00		
2	1	2,988	1,000	,00	,00	,00	
	2	,010	17,252	,09	,97	,05	
	3	,002	36,297	,91	,02	,95	
3	1	3,969	1,000	,00	,00	,00	,00
	2	,021	13,647	,05	,01	,03	,56
	3	,007	23,619	,05	,98	,02	,44
	4	,002	41,841	,90	,02	,95	,00

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Casewise Diagnostics(a,b)

Case Number	Std. Residual	Pin	Predicted Value	Residual
173	-3,087	418	570,32	-152,818

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	342,65	668,84	521,42	83,792	41
Residual	-152,818	111,508	,000	47,614	41
Std. Predicted Value	-2,133	1,759	,000	1,000	41
Std. Residual	-3,087	2,252	,000	,962	41

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Up, Geslacht = Vrouw



Onderlichaam / Mannen / zonder Hf

Variables Entered/Removed(a,b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Puit		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Model Summary(b,c)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			Sig. F Change
						F Change	df1	df2	
1	,721(a)	,520	,511	86,673	,520	56,428	1	52	,000

a Predictors: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Lo, Geslacht = Man

ANOVA(b,c)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	423895,762	1	423895,762	56,428	,000(a)
	Residual	390633,071	52	7512,174		
	Total	814528,833	53			

a Predictors: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Lo, Geslacht = Man

Coefficients(a,b)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	503,189	39,404		12,770	,000	424,121	582,258		
	Puit	2,698	,359	,721	7,512	,000	1,977	3,418	1,000	1,000

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Excluded Variables(b,c)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Leeftijd	-,047(a)	-,482	,632	-,067	,987	1,013	,987
	Gewicht	-,090(a)	-,932	,356	-,129	,989	1,011	,989
	Lengte	-,080(a)	-,828	,412	-,115	,999	1,001	,999

a Predictors in the Model: (Constant), Puit

b Dependent Variable: Pin

c Oefening = Lo, Geslacht = Man



Coefficient Correlations(a,b)

Model			Puit
1	Correlations	Puit	1,000
	Covariances	Puit	,129

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	Puit
1	1	1,954	1,000	,02	,02
	2	,046	6,528	,98	,98

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	621,89	967,21	785,61	89,432	54
Residual	-131,641	192,359	,000	85,851	54
Std. Predicted Value	-1,831	2,031	,000	1,000	54
Std. Residual	-1,519	2,219	,000	,991	54

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Onderlichaam / Mannen / met Hf

Variables Entered/Removed(a,b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Puit	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).
2	HR	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).
3	Lengte	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Model Summary(d,e)

					Change Statistics				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,721(a)	,520	,511	86,673	,520	56,428	1	52	,000
2	,825(b)	,681	,668	71,393	,160	25,641	1	51	,000
3	,852(c)	,726	,710	66,767	,045	8,311	1	50	,006

a Predictors: (Constant), Puit

b Predictors: (Constant), Puit, HR

c Predictors: (Constant), Puit, HR, Lengte

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Man



ANOVA(d,e)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	423895,762	1	423895,762	56,428	,000(a)
	Residual	390633,071	52	7512,174		
	Total	814528,833	53			
2	Regression	554584,477	2	277292,239	54,404	,000(b)
	Residual	259944,356	51	5096,948		
	Total	814528,833	53			
3	Regression	591635,591	3	197211,864	44,239	,000(c)
	Residual	222893,242	50	4457,865		
	Total	814528,833	53			

a Predictors: (Constant), Puit

b Predictors: (Constant), Puit, HR

c Predictors: (Constant), Puit, HR, Lengte

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Man

Coefficients(a,b)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	503,189	39,404		12,770	,000	424,121	582,258		
	Puit	2,698	,359	,721	7,512	,000	1,977	3,418	1,000	1,000
2	(Constant)	182,558	71,154		2,566	,013	39,711	325,406		
	Puit	1,984	,328	,531	6,055	,000	1,326	2,642	,815	1,227
	HR	2,689	,531	,444	5,064	,000	1,623	3,756	,815	1,227
3	(Constant)	-	483,837		-2,478	,017	-2170,880	-227,249		
	Puit	1199,065	,320	,458	5,350	,000	1,071	2,358	,745	1,341
	HR	3,814	,632	,629	6,039	,000	2,546	5,083	,504	1,984
	Lengte	6,809	2,362	,271	2,883	,006	2,065	11,553	,618	1,618

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Excluded Variables(d,e)

Model						Collinearity Statistics		
		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Leeftijd	-,047(a)	-,482	,632	-,067	,987	1,013	,987
	Gewicht	-,090(a)	-,932	,356	-,129	,989	1,011	,989
	Lengte	-,080(a)	-,828	,412	-,115	,999	1,001	,999
	HR	,444(a)	5,064	,000	,578	,815	1,227	,815
2	Leeftijd	,040(b)	,490	,626	,069	,943	1,061	,778
	Gewicht	,039(b)	,461	,647	,065	,893	1,120	,736
	Lengte	,271(b)	2,883	,006	,378	,618	1,618	,504
3	Leeftijd	-,020(c)	-,246	,807	-,035	,876	1,141	,504
	Gewicht	,007(c)	,083	,934	,012	,875	1,143	,490

a Predictors in the Model: (Constant), Puit

b Predictors in the Model: (Constant), Puit, HR

c Predictors in the Model: (Constant), Puit, HR, Lengte

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Man



Coefficient Correlations(a,b)

Model			Puit	HR	Lengte
1	Correlations	Puit	1,000		
	Covariances	Puit	,129		
2	Correlations	Puit	1,000	-,430	
		HR	-,430	1,000	
3	Covariances	Puit	,107	-,075	
		HR	-,075	,282	
	Correlations	Puit	1,000	-,504	-,292
		HR	-,504	1,000	,618
		Lengte	-,292	,618	1,000
	Covariances	Puit	,103	-,102	-,221
		HR	-,102	,399	,921
		Lengte	-,221	,921	5,578

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	Puit	HR	Lengte
1	1	1,954	1,000	,02	,02		
	2	,046	6,528	,98	,98		
2	1	2,938	1,000	,00	,01	,00	
	2	,053	7,464	,08	,92	,03	
	3	,009	18,290	,92	,07	,97	
3	1	3,925	1,000	,00	,00	,00	,00
	2	,062	7,926	,00	,78	,00	,00
	3	,013	17,657	,00	,12	,54	,01
	4	,000	141,761	1,00	,09	,46	,99

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	586,16	1001,16	785,61	105,655	54
Residual	-136,164	122,096	,000	64,850	54
Std. Predicted Value	-1,888	2,040	,000	1,000	54
Std. Residual	-2,039	1,829	,000	,971	54

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Man



Onderlichaam / vrouwen / zonder Hf

Variables Entered/Removed(a,b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Puit		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter $\leq$,050, Probability-of-F-to-remove $\geq$,100).
2	Lengte		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter $\leq$,050, Probability-of-F-to-remove $\geq$,100).
3	Gewicht		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter $\leq$,050, Probability-of-F-to-remove $\geq$,100).

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Model Summary(d,e)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,692(a)	,479	,465	65,636	,479	33,139	1	36	,000
2	,789(b)	,622	,601	56,704	,143	13,234	1	35	,001
3	,817(c)	,668	,638	53,947	,046	4,670	1	34	,038

a Predictors: (Constant), Puit

b Predictors: (Constant), Puit, Lengte

c Predictors: (Constant), Puit, Lengte, Gewicht

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

ANOVA(d,e)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	142767,574	1	142767,574	33,139	,000(a)
	Residual	155092,837	36	4308,134		
	Total	297860,412	37			
2	Regression	185321,430	2	92660,715	28,818	,000(b)
	Residual	112538,982	35	3215,399		
	Total	297860,412	37			
3	Regression	198911,116	3	66303,705	22,783	,000(c)
	Residual	98949,296	34	2910,273		
	Total	297860,412	37			

a Predictors: (Constant), Puit

b Predictors: (Constant), Puit, Lengte

c Predictors: (Constant), Puit, Lengte, Gewicht

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw



Coefficients(a,b)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	434,837	41,841		10,393	,000	349,979	519,695		
	Puit	2,471	,429	,692	5,757	,000	1,600	3,341	1,000	1,000
2	(Constant)	-641,857	298,164		-2,153	,038	-1247,163	-36,551		
	Puit	2,598	,372	,728	6,976	,000	1,842	3,354	,991	1,009
	Lengte	6,297	1,731	,380	3,638	,001	2,783	9,811	,991	1,009
3	(Constant)	-398,435	305,213		-1,305	,201	-1018,703	221,832		
	Puit	2,602	,354	,729	7,344	,000	1,882	3,322	,991	1,009
	Lengte	6,636	1,654	,400	4,012	,000	3,275	9,998	,982	1,018
	Gewicht	-4,517	2,090	-,215	-2,161	,038	-8,764	-,269	,991	1,009

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Excluded Variables(d,e)

Model						Collinearity Statistics		
		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Leeftijd	,175(a)	1,439	,159	,236	,951	1,052	,951
	Gewicht	-,177(a)	-1,495	,144	-,245	1,000	1,000	1,000
	Lengte	,380(a)	3,638	,001	,524	,991	1,009	,991
2	Leeftijd	-,014(b)	-,116	,909	-,020	,732	1,366	,732
	Gewicht	-,215(b)	-2,161	,038	-,347	,991	1,009	,982
3	Leeftijd	,155(c)	1,159	,255	,198	,538	1,858	,538

a Predictors in the Model: (Constant), Puit

b Predictors in the Model: (Constant), Puit, Lengte

c Predictors in the Model: (Constant), Puit, Lengte, Gewicht

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Coefficient Correlations(a,b)

Model			Puit	Lengte	Gewicht
1	Correlations	Puit	1,000		
	Covariances	Puit	,184		
2	Correlations	Puit	1,000	,094	
		Lengte	,094	1,000	
	Covariances	Puit	,139	,061	
		Lengte	,061	2,996	
3	Correlations	Puit	1,000	,094	-,005
		Lengte	,094	1,000	-,095
		Gewicht	-,005	-,095	1,000
	Covariances	Puit	,126	,055	-,004
		Lengte	,055	2,736	-,328
		Gewicht	-,004	-,328	4,369

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw



Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	Puit	Lengte	Gewicht
1	1	1,967	1,000	,02	,02		
	2	,033	7,730	,98	,98		
2	1	2,955	1,000	,00	,01	,00	
	2	,044	8,151	,00	,97	,00	
	3	,000	77,958	1,00	,02	1,00	
3	1	3,947	1,000	,00	,00	,00	,00
	2	,050	8,884	,00	,97	,00	,01
	3	,003	38,289	,04	,00	,08	,96
	4	,000	91,416	,96	,02	,92	,03

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	544,03	838,70	667,77	73,321	38
Residual	-97,810	117,077	,000	51,714	38
Std. Predicted Value	-1,688	2,331	,000	1,000	38
Std. Residual	-1,813	2,170	,000	,959	38

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Onderlichaam / Vrouwen / Met Hf

Variables Entered/Removed(a,b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HR		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).
2	Puit		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).
3	Lengte		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Model Summary(d,e)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,771(a)	,594	,583	57,951	,594	52,693	1	36	,000
2	,856(b)	,733	,718	47,639	,139	18,272	1	35	,000
3	,894(c)	,800	,782	41,884	,066	11,279	1	34	,002

a Predictors: (Constant), HR

b Predictors: (Constant), HR, Puit

c Predictors: (Constant), HR, Puit, Lengte

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw



ANOVA(d,e)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	176960,768	1	176960,768	52,693	,000(a)
	Residual	120899,644	36	3358,323		
	Total	297860,412	37			
2	Regression	218428,122	2	109214,061	48,123	,000(b)
	Residual	79432,290	35	2269,494		
	Total	297860,412	37			
3	Regression	238214,530	3	79404,843	45,263	,000(c)
	Residual	59645,882	34	1754,291		
	Total	297860,412	37			

a Predictors: (Constant), HR

b Predictors: (Constant), HR, Puit

c Predictors: (Constant), HR, Puit, Lengte

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Coefficients(a,b)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	70,707	82,787		,854	,399	-97,193	238,608		
	HR	3,677	,507	,771	7,259	,000	2,650	4,705	1,000	1,000
2	(Constant)	82,800	68,115		1,216	,232	-55,481	221,080		
	HR	2,726	,472	,571	5,774	,000	1,768	3,685	,778	1,285
	Puit	1,510	,353	,423	4,275	,000	,793	2,227	,778	1,285
3	(Constant)	-629,016	220,249		-2,856	,007	-1076,615	-181,417		
	HR	2,358	,429	,494	5,491	,000	1,485	3,230	,727	1,375
	Puit	1,729	,317	,485	5,450	,000	1,085	2,374	,745	1,343
	Lengte	4,441	1,322	,268	3,358	,002	1,754	7,129	,926	1,079

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Excluded Variables(d,e)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Puit	,423(a)	4,275	,000	,586	,778	1,285	,778
	Leeftijd	,063(a)	,585	,562	,098	,996	1,004	,996
	Gewicht	,425(a)	3,775	,001	,538	,650	1,537	,650
	Lengte	,178(a)	1,693	,099	,275	,968	1,034	,968
2	Leeftijd	,151(b)	1,736	,092	,285	,949	1,054	,741
	Gewicht	,289(b)	2,674	,011	,417	,553	1,807	,430
	Lengte	,268(b)	3,358	,002	,499	,926	1,079	,727
3	Leeftijd	,030(c)	,331	,743	,057	,726	1,377	,709
	Gewicht	,187(c)	1,731	,093	,289	,478	2,093	,351

a Predictors in the Model: (Constant), HR

b Predictors in the Model: (Constant), HR, Puit

c Predictors in the Model: (Constant), HR, Puit, Lengte

d Dependent Variable: Pin

e Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw



Coefficient Correlations(a,b)

Model			HR	Puit	Lengte
1	Correlations	HR	1,000		
	Covariances	HR	,257		
2	Correlations	HR	1,000	-,471	
		Puit	-,471	1,000	
	Covariances	HR	,223	-,079	
		Puit	-,079	,125	
3	Correlations	HR	1,000	-,499	-,256
		Puit	-,499	1,000	,206
		Lengte	-,256	,206	1,000
	Covariances	HR	,184	-,068	-,145
		Puit	-,068	,101	,087
		Lengte	-,145	,087	1,749

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	HR	Puit	Lengte
1	1	1,994	1,000	,00	,00		
	2	,006	17,556	1,00	1,00		
2	1	2,957	1,000	,00	,00	,01	
	2	,037	8,894	,09	,03	,89	
	3	,006	22,429	,91	,97	,11	
3	1	3,947	1,000	,00	,00	,00	,00
	2	,045	9,332	,00	,00	,78	,00
	3	,007	23,702	,02	,98	,18	,01
	4	,000	90,991	,98	,02	,04	,98

a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	487,69	824,35	667,77	80,239	38
Residual	-89,671	70,048	,000	40,150	38
Std. Predicted Value	-2,244	1,951	,000	1,000	38
Std. Residual	-2,141	1,672	,000	,959	38

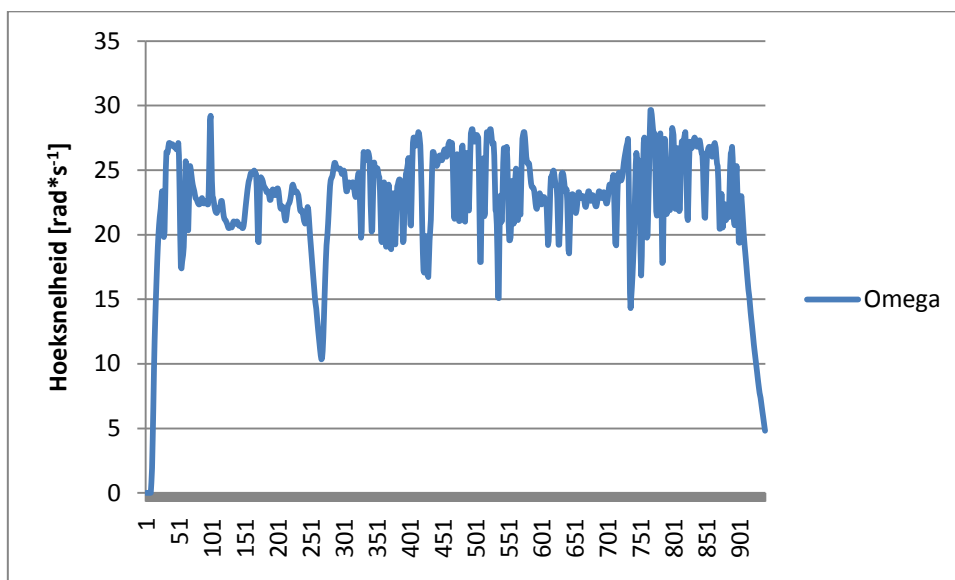
a Dependent Variable: Pin

b Oefening = Lo, Geslacht = Vrouw



Bijlage XIII: Hoeksnelheid tijdens training op ROM-Machine

De hoeksnelheid tijdens een training komt niet onder de vijftien radialen per seconde, dit is te zien in figuur 34



Figuur 34: Hoeksnelheid tijdens training bovenlichaam