

Testrapport

Tubetrainer

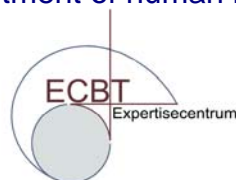


In opdracht van:

Cuckoo  Company

Gerealiseerd door:

The Hague University of professional Education
Department of human kinetics



In samenwerking met:

 Bewegingstechnologisch
Ontwerp
Bureau

Voorwoord

De Tube Trainer is in de basis een buis met daarin een massa die vrij in de buis beweegt. De buis is makkelijk hanteerbaar en kan vrij in de ruimte bewogen worden, in een grote diversiteit van patronen en houdingen. De los bewegende massa in de buis zorgt ervoor dat er bij ommekeer van de richting aan het begin en aan het eind van de beweging een aanvullende mechanische belasting wordt gerealiseerd.

Doordat er zich een losse massa in de tubetrainer beweegt is er een verschil in impact. Ook het gebruik van verschillende soorten massa heeft een verschillend effect op de impact. Om een indruk te krijgen wat voor effecten de verschillende soorten inhouden hebben is vanuit Cuckoo Company de vraag gekomen om het effect van verschillende inhouden in een tubetrainer te onderzoeken.

Dit project is gerealiseerd door het Expertise Centrum Bewegingstechnologie van The Hague University of professional Education in samenwerking met het bedrijf BOB (Bewegingstechnologisch Ontwerp Bureau) en betreft het testen van het effect van tubetrainers met een verschillende inhoud.

Dit testrapport is bestemd voor Cuckoo Company, zodat zij het kunnen gebruiken als toelichting en ondersteuning bij de werking van de tubetrainer. Tevens kunnen mensen die geïnteresseerd zijn in dit onderwerp of mensen die werken op dit vakgebied, het resultaat van in dit verslag terugvinden.

Den Haag, augustus 2005

Inhoudsopgave

1. Testprotocol	3
1.1 Testbenodigdheden	3
1.2 Meetprotocol	4
2. Testresultaten	5
3. Analyse testresultaten	7
3.1 Interpretatie van grafieken	7
3.2 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met vaste massa	8
3.3 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met fijn schelpenzand	9
3.4 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met water	10
3.5 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met leislag en knikkers	11
3.6 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met knikkers	12
4. Conclusie	13

Bijlage

Bijlage I:	grafieken van de verschillende 1,25 liter tubetrainers
Bijlage II:	grafieken van de verschillende 1,25 liter tubetrainers inclusief het signaal van een lege meetopstelling
Bijlage III:	grafieken van de verschillende 1,25 en 0,63 liter tubetrainers
Bijlage IV:	grafieken van de van de originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met vaste massa (1,25 liter)
Bijlage V:	grafieken van de van de originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met fijne leislag (1,25 liter)
Bijlage VI:	grafieken van de van de originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met water (1,25 liter)
Bijlage VII:	grafieken van de van de originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met leislag en knikkers (1,25 liter)
Bijlage VIII:	grafieken van de van de originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met knikkers (1,25 liter)
Bijlage IX:	grafieken van de originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met vaste massa (0,63 liter)

1. Testprotocol

1.1 Testbenodigheden

Voor de uitvoering van de testen met de tubetrainer zijn diverse benodigheden noodzakelijk.

- Testopstelling
- Tubetrainers
- Rekstrookjes
- Universeelmeter
- ActiveDAQ
- Matlab

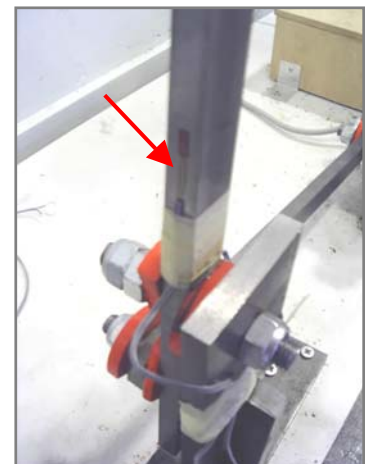
De testopstelling is in de nevenstaande figuur weergegeven. Deze opstelling bestaat uit een arm (van 0,8 meter) die door middel van een motor heen en weer kan verplaatsen. Boven het draaipunt van de arm is een rekstrookje gepositioneerd, loodrecht op de lengterichting van de as. De tubetrainer kan aan de bovenzijde van de arm worden bevestigd.



Voor het onderzoek zullen een zestal tubes van 1,25 liter en een tweetal tubes van 0,63 liter met een verschillende inhoud worden gebruikt, te weten;

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Goed | 1,25 liter tube met originele leislag vulling |
| 2. Vast | 1,25 liter tube gevuld met een vaste massa |
| 3. Fijn | 1,25 liter tube met fijne leislag vulling |
| 4. Water | 1,25 liter tube gevuld met water |
| 5. Knikkers en schelpenzand | 1,25 liter tube gevuld met knikkers en leislag |
| 6. Knikkers | 1,25 liter tube gevuld met knikkers |
| 7. Goed klein | 0,63 liter tube met originele leislag vulling |
| 8. Vast klein | 0,63 liter tube gevuld met een vaste massa |

De waarden die voortkomen uit de rekstrookjes zullen uiteindelijk worden geanalyseerd. Een rekstrookje is een opnamer voor het meten van kleine lengteveranderingen, en is niet meer dan een draad met een bepaalde weerstand. Als deze draad van lengte verandert, zal ook de weerstand variëren (een korter wordende draad resulteert in een lagere weerstand, en langer wordende draad levert een hogere weerstand op). Binnen zekere grenzen is de relatieve weerstandsverandering lineair evenredig met de relatieve lengteverandering; ofwel de rek. Door een rekstrookje op het te vervormen materiaal te lijmen wordt ter plaatse van de strook rek gemeten.



Figuur 1.2: Rekstrookje

De ActiveDAQ meet de weerstand die zich in de rekstrookjes voordoet en stuurt vervolgens dit signaal door naar de AD-converter. Deze zet een analoog signaal om in een digitaal signaal, wat vervolgens weer door Matlab kan worden uitgelezen. Matlab staat voor MatrixLaboratory en is een interactief software-pakket voor numerieke berekeningen.

Om aan de output een waarde toe te kennen, dient de testopstelling geijkt te worden. Met behulp van een universeelmeter is deze procedure gerealiseerd.

1.2 Meetprotocol

Alvorens het testen van de tubetrainers kan aanvangen, dient eerst de testopstelling te worden geijkt. Door de arm te belasten met 10 N, komt het rekstrookje op rek. De waarde die nu wordt uitgelezen, kan worden gerelateerd aan de kracht die door de tubetrainer wordt uitgeoefend. De universeelmeter draagt zorg voor de nauwkeurigheid van deze procedure.

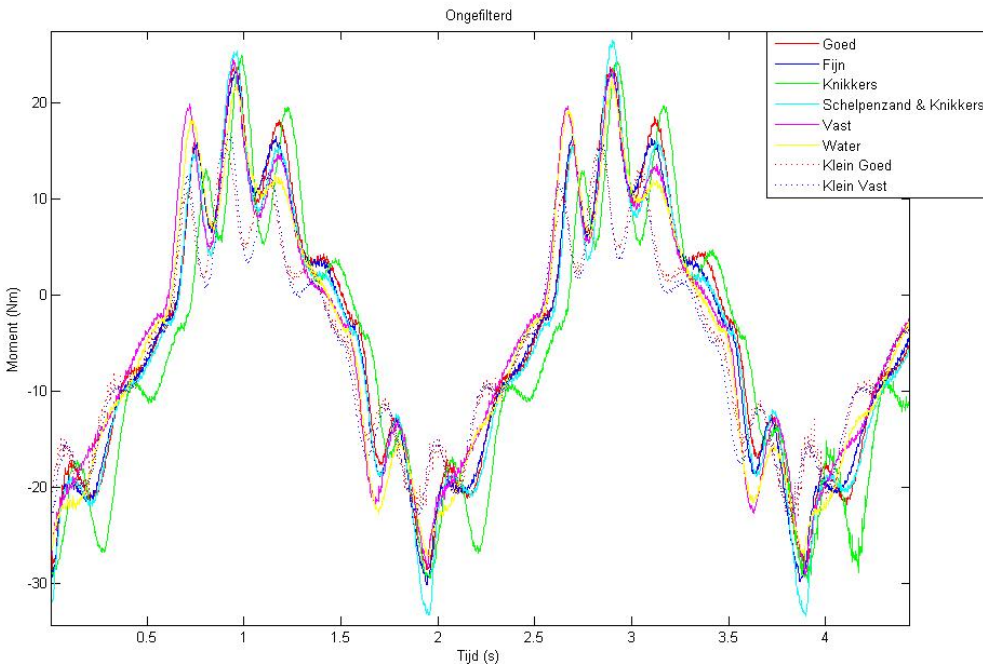
De gewenste tubetrainer wordt aan de arm gefixeerd. Vervolgens wordt de motor aangezet, waardoor de arm met een gemiddelde snelheid van 1 m/s wordt verplaatst. De hoekverplaatsing van de arm bedraagt 66°. Gedurende 15 seconden wordt het signaal van het rekstrookje met de ActiveDAQ opgenomen en vervolgens met Matlab uitgelezen. Deze procedure wordt voor elke tubetrainer herhaald. Achtereenvolgens zullen de volgende tubetrainers worden getest.

1. Goed
2. Vast
3. Fijn
4. Water
5. Knikkers en schelpenzand
6. Knikkers
7. Goed klein
8. Vast klein

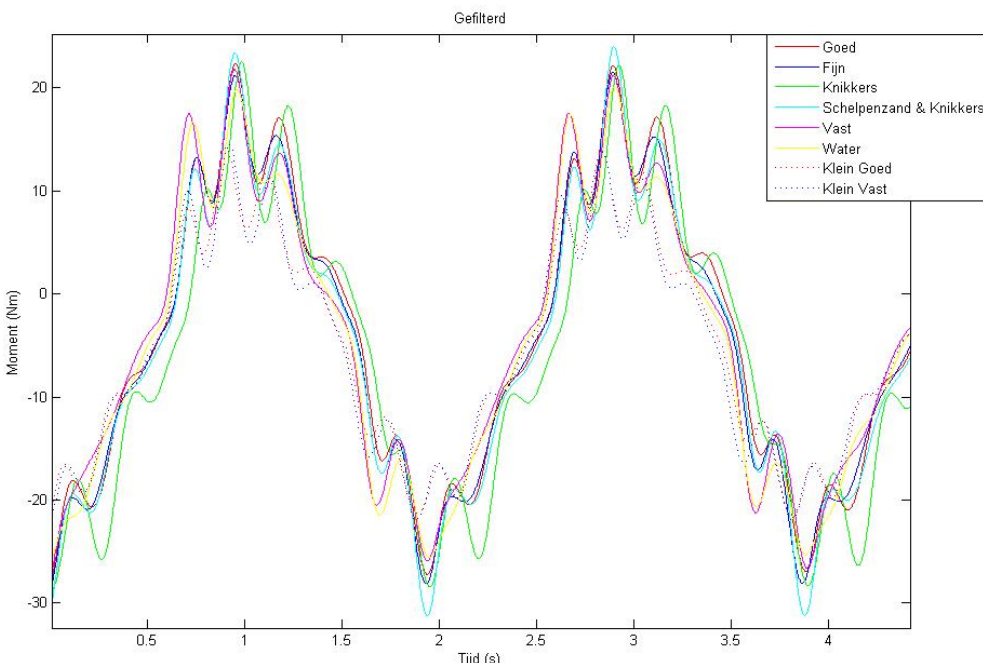
De waarden van de data zullen worden omgerekend naar momenten die optreden in het draaipunt. De testresultaten van de verschillende testen zullen worden gesynchroniseerd, om zo vergelijkingen te kunnen trekken tussen de verschillende signalen onderling. Om de ruis uit het signaal te halen zal een lowpass filter gebruikt worden. Van de ruwe data en de uiteindelijke waarden zijn grafieken geplot.

2. Testresultaten

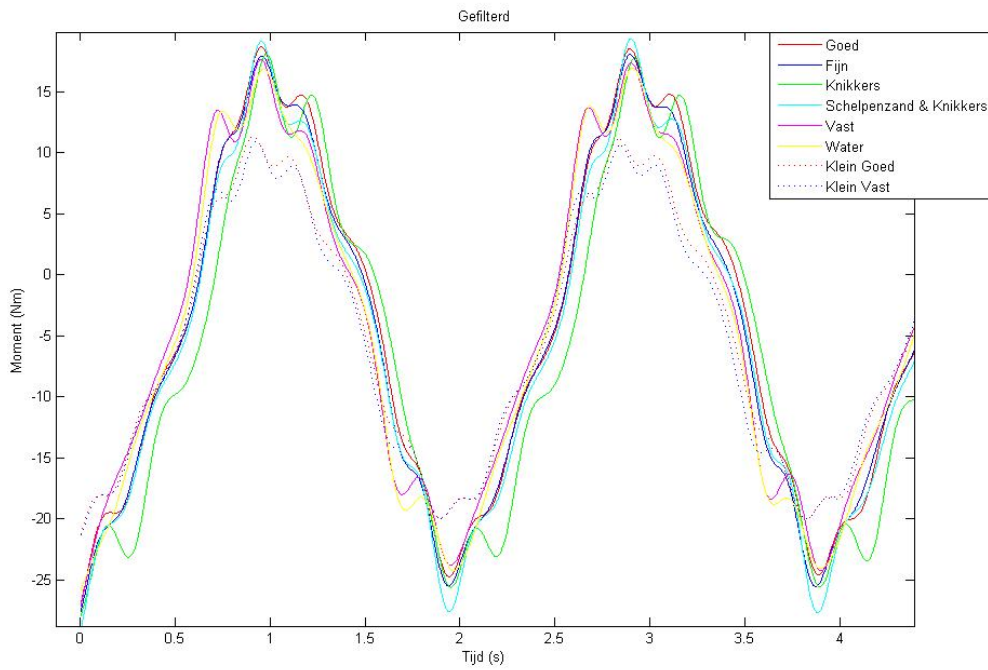
De testresultaten zijn weergegeven in grafieken. In deze grafieken is het moment uitgezet tegen de tijd. De kracht die door de tubetrainer op de arm wordt uitgeoefend kan worden teruggerekend door het moment te delen door de lengte van de arm ($F = M/a$). In de onderstaande grafieken zijn de resultaten van alle metingen weergegeven. Achtereenvolgens wordt een grafiek met een ongefilterd signaal weergegeven, een gefilterd signaal en een geoptimaliseerd signaal. In het hoofdstuk “analyse testresultaten” zal er gebruik worden gemaakt van de grafieken waarbij het signaal is gefilterd. In de bijlagen zijn zowel de grafieken met het ongefilterde als het gefilterde als het geoptimaliseerde signaal opgenomen.



Figuur 2.1: Grafiek van het ongefilterde signaal van de verschillende tubetrainers



Figuur 2.2: Grafiek van het gefilterde signaal van de verschillende tubetrainers



Figuur 2.3: Grafiek van het geoptimaliseerde signaal van de verschillende tubetrainers

3. Analyse testresultaten

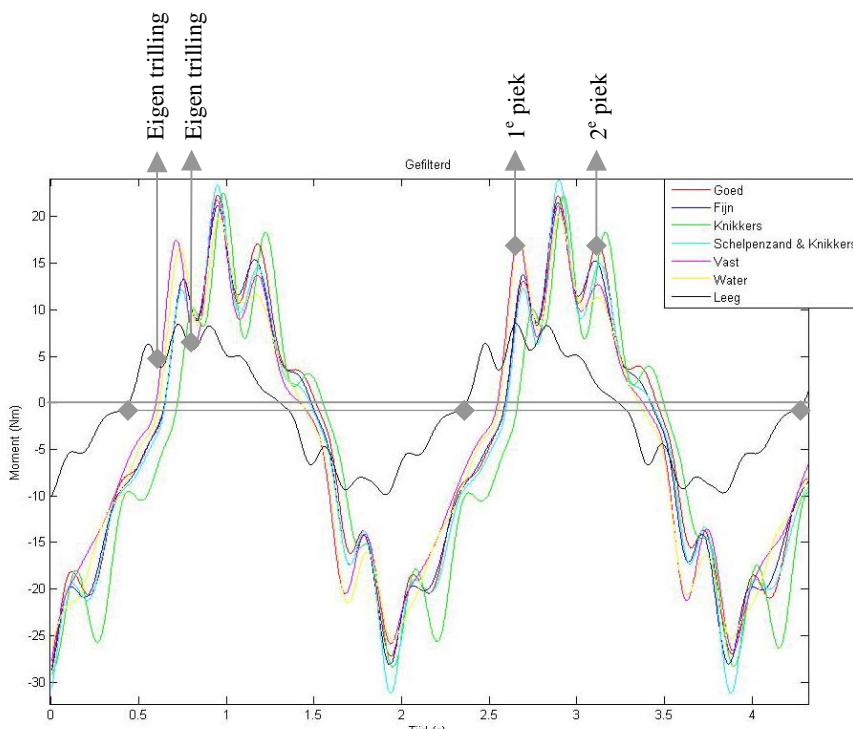
Bij het analyseren van de testresultaten is het van belang dat de data op een juiste manier wordt afgelezen om vervolgens tot een juiste interpretatie te komen. Aangezien de originele tubetrainer met schelpenzandvulling moet worden vergeleken met tubetrainers met een andere inhoud, zijn deze stuk voor stuk onderling vergeleken. Hierdoor ontstaan er een meer overzichtelijke grafiek. Daarnaast zijn de kritieke punten vergroot, waardoor de interpretatie nauwkeuriger kan geschieden. Alle vergelijkingen zullen in de komende subparagrafen worden besproken.

3.1 Interpretatie van grafieken

Alvorens direct de vergelijking te maken tussen de verschillende tubetrainers, is het van belang dat de grafieken op de juiste wijze worden geïnterpreteerd. Het is dus belangrijk om in te zien welke piek in de grafiek overeenkomt met de situatie waarin de tubetrainer zich bevindt. In de onderstaande grafiek zijn de testresultaten van de 1,25 liter tubetrainers en van een lege testopstelling weergegeven.

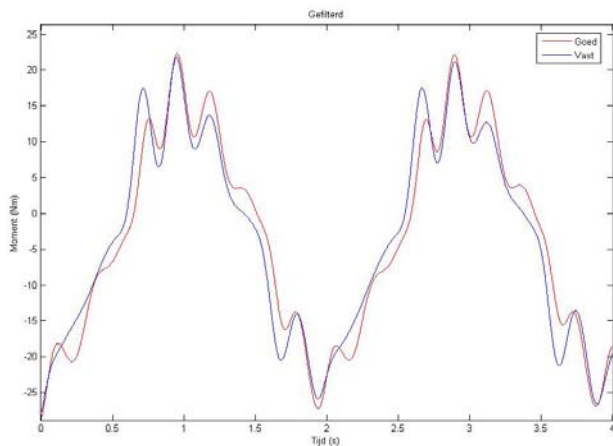
Wat direct opvalt, is de terugkerende cyclus. Als startpunt van de cyclus zien we het nulpunt. Dit is het punt waarop er geen kracht op de tubetrainer wordt uitgeoefend. Het moment waarop er geen kracht wordt uitgeoefend is het punt waarop de arm niet onderhevig is aan een versnelling of vertraging. Anders gezegd, het omkeerpunt van de arm. Om echter om te keren, dient de snelheid die de tubetrainer bezit te worden vertraagd tot 0 om vervolgens weer de andere kant op te gaan versnellen. Door de snelheid die de tubetrainer nog bezit na het omkeerpunt wordt het rekstrookje maximaal verlengt wat resulteert in het maximaal moment. Na ommekeer zal de inhoud van de tubetrainer inslaan, waardoor er een tweede piek ontstaat.

Er zijn echter in de grafiek drie toppen zichtbaar. Dit fenomeen kan verklaart worden door de eigen trilling van de arm. Indien de test wordt gedaan zonder een tubetrainer wordt het gedrag van de arm gemeten. In de grafiek is duidelijk te zien dat ook zonder tubetrainer er drie toppen ontstaan. Dit kan alleen worden toegeschreven aan de eigen trilling van de arm. Daarnaast valt op dat de cyclus zonder tubetrainer sneller verloopt dan de testen met tubetrainer. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat door de constante kracht van de motor de massa zonder tubetrainer lager is dan de massa met tubetrainer waardoor deze sneller kan versnellen ($\text{kracht} = \text{massa} * \text{versnelling}$).

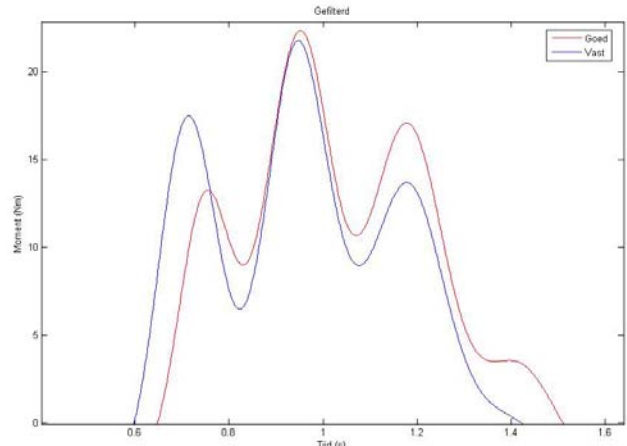


3.2 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met een vaste massa

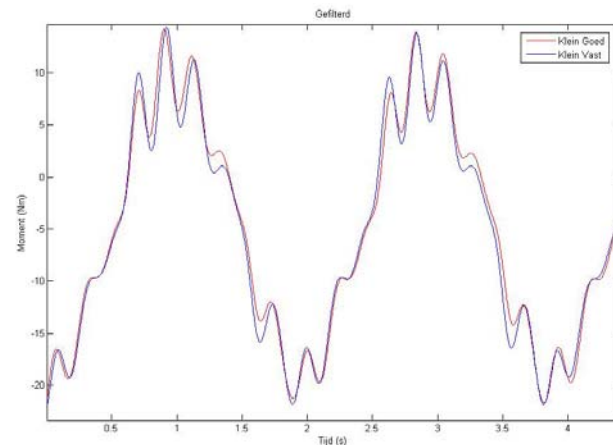
In de onderstaande grafiek is het testresultaat van de originele tubetrainer uitgezet tegen een tubetrainer met een vaste massa.



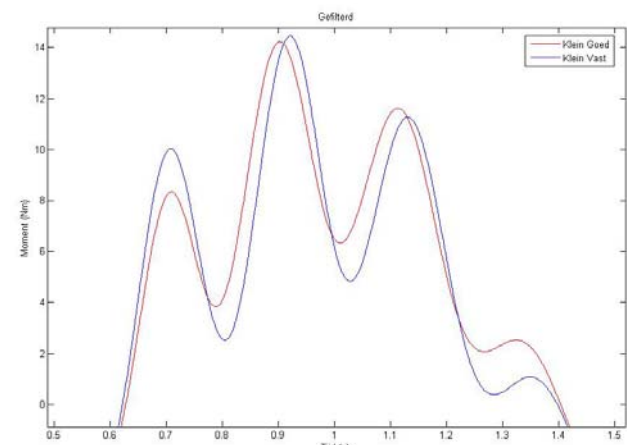
Figuur 3.2: Grafiek van het gefilterde signaal van de goede en vaste 1,25 liter tubetrainer



Figuur 3.3: Uitvergroot segment van de grafiek van het gefilterde signaal van de goede en vaste 1,25 liter tubetrainer



Figuur 3.4: Grafiek van het gefilterde signaal van de goede en vaste 0,63 liter tubetrainer



Figuur 3.5: Uitvergroot segment van de grafiek van het gefilterde signaal van de goede en vaste 0,63 liter tubetrainer

Dat de 1^e piek van de tubetrainer met vaste inhoud hoger is dan de originele tubetrainer met leislag, kan verklaard worden door het feit dat de tubetrainer met vaste massa een groter gewicht heeft dan de originele tubetrainer met leislag, op het moment van ommekeer. Dit verschil in gewicht wordt veroorzaakt door het feit dat de inhoud van de originele tubetrainer zich in het luchtledige bevindt en de tubetrainer dus als leeg kan worden beschouwd. Zoals reeds naar voren is gekomen, dient na ommekeer de snelheid die de tubetrainer nog bezit te worden vertraagd tot 0 om vervolgens weer de andere kant op te gaan versnellen.

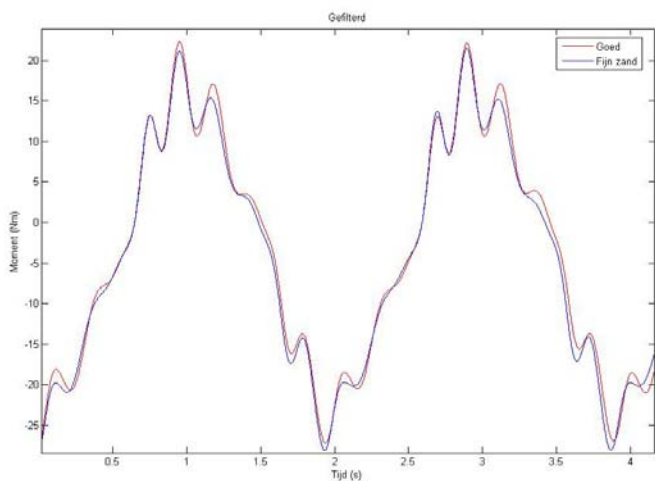
De kracht die de tubetrainer op de arm uitoefent komt voort uit het moment. Immers “moment = kracht * arm” ($M = F * \text{arm}$). Aangezien het moment van de tubetrainer met vaste inhoud groter is dan het moment van de originele tubetrainer met leislag, moet ook de kracht groter zijn geweest. De arm is immers in beide situaties gelijk. De kracht die de tubetrainer op de arm uitoefent zou ook kunnen worden berekend aan de hand van de formule “kracht = massa * versnelling” ($F = m * a$). Een grotere kracht van de tubetrainer met vaste inhoud kan worden bewerkstelligd doordat deze een grotere versnelling heeft of door een grotere massa. Aangezien de cyclustijd van beide tubetrainers nagenoeg gelijk is, is het niet waarschijnlijk dat de tubetrainer met vaste inhoud meer versneld dan de originele tubetrainer. Het verschil moet dus gezocht worden in de massa op het moment van ommekeer. De enige verklaring dat de originele tubetrainer op het

moment van ommekeer minder zwaar is dan de tubetrainer met vaste inhoud moet gezocht worden in het feit dat de inhoud van de originele tubetrainer zich in het luchtledige bevindt.

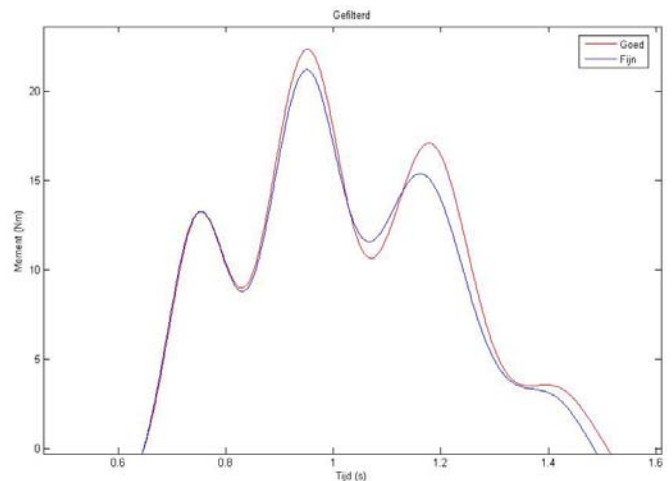
Bij de tweede piek heeft de originele tubetrainer een groter moment dan de tubetrainer met vaste inhoud. Dit wordt veroorzaakt doordat de massa wat zich in eerste instantie in het luchtledige bevond nu tegen de tubetrainer aanslaat. Aangezien dit effect enkel door de massastraagheid in de tubetrainer met vaste inhoud optreedt, is het logisch dat de tweede piek van de originele tubetrainer hoger ligt dan de tubetrainer met vaste inhoud.

3.3 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met fijne leislag

In de onderstaande grafiek is het testresultaat van de originele tubetrainer uitgezet tegen een tubetrainer met fijne leislag.



Figuur 3.4: Grafiek van het gefilterde signaal van de goede en fijne 1,25 liter tubetrainer



Figuur 3.5: Uitvergroot segment van de grafiek van het gefilterde signaal van de goede en fijne 1,25 liter tubetrainer

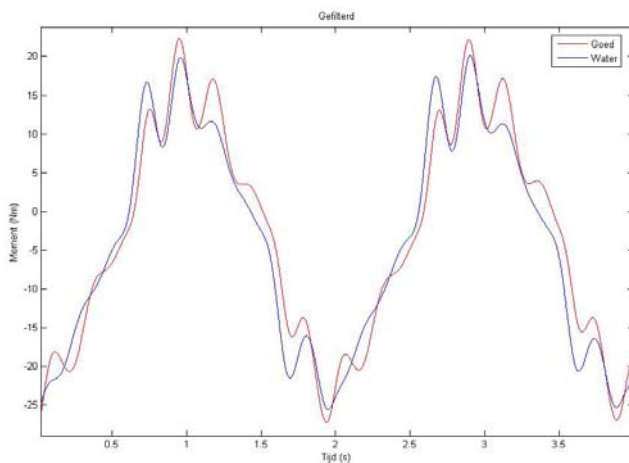
Zoals reeds naar voren is gekomen, dient na ommekeer de snelheid die de tubetrainer nog bezit te worden vertraagd tot 0 om vervolgens weer de andere kant op te gaan versnellen. Door de snelheid die de tubetrainer nog bezit na het omkeerpunt wordt het rekstrookje maximaal verlengt wat resulteert in het maximaal moment. Deze piek, ter hoogte van de 13Nm, komt voor de tubetrainer met fijne leislag en de originele tubetrainer met leislag nagenoeg overeen. Dit kan verklaart worden door het feit dat de tubetrainers een identieke massa hebben op het moment van ommekeer. Zowel de inhoud van de originele tubetrainer als de tubetrainer met fijne leislag bevinden zich in het luchtledige waardoor de tubetrainers als leeg kunnen worden beschouwd.

Na ommekeer zal de inhoud van de tubetrainer inslaan, waardoor er een tweede piek ontstaat. Bij deze tweede piek heeft de originele tubetrainer een groter moment dan de tubetrainer met fijne leislag. De kracht die door de inhoud van de originele tubetrainer wordt uitgeoefend is dus ook groter dan die van de inhoud met fijne leislag, immers “moment = kracht * arm” ($M = F * \text{arm}$) waarbij de arm in beide situaties gelijk is.

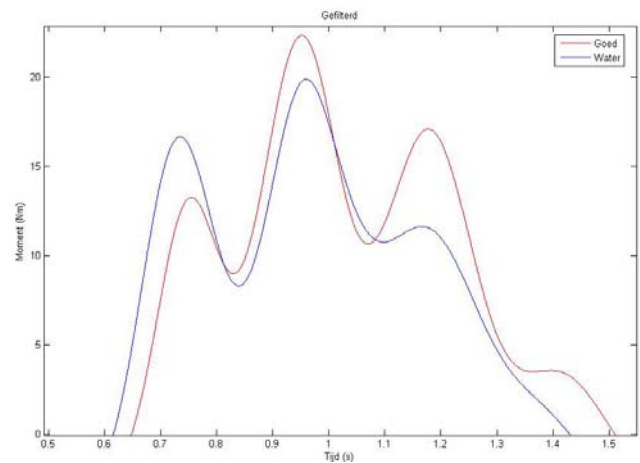
Het verschil moet worden veroorzaakt door de verschillende inhoud. Als de volledige inhoud als op zich staande deeltje worden beschouwd, verschillende de deeltjes van fijne leislag in gewicht met de deeltjes van het originele inhoud. Aangezien de deeltjes versneld worden door de kracht van de motor, zullen de lichte deeltjes een grotere versnelling bezitten dan de zwaardere deeltjes ($F = m * a$). Hierdoor zullen de lichte deeltjes dus sneller aan de overkant zijn. Zodra de tubetrainer is omgekeerd zullen de lichte deeltjes inslaan. De zwaardere deeltjes laten langer op zich wachten, waardoor de tubetrainer reeds een grotere snelheid in tegengestelde richting bezit, waardoor de impact van het inslag eveneens groter wordt.

3.4 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met water

In de onderstaande grafiek is het testresultaat van de originele tubetrainer uitgezet tegen een tubetrainer met water.



Figuur 3.6: Grafiek van het gefilterde signaal van de goede en watergevulde 1,25 liter tubetrainer



Figuur 3.7: Uitvergroot segment van de grafiek van het gefilterde signaal van de goede en watergevulde 1,25 liter tubetrainer

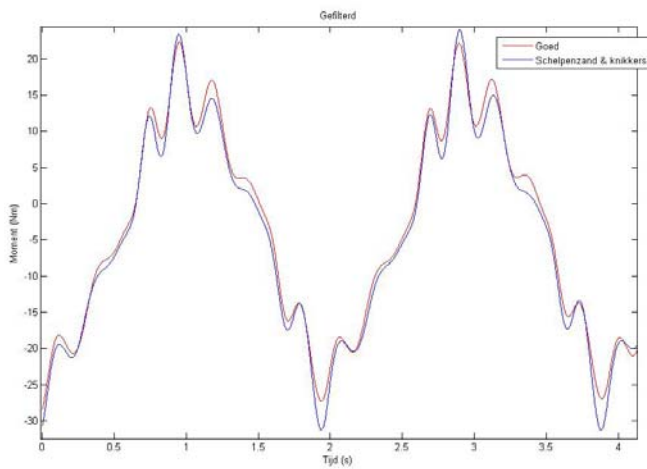
Dat de 1^e piek van de tubetrainer met water inhoud hoger is dan de originele tubetrainer met leislag, kan verklaard worden door het feit dat de tubetrainer met water een groter gewicht heeft dan de originele tubetrainer met leislag, op het moment van ommekeer. Dit verschil in gewicht kan worden verklaard doordat inhoud van de originele tubetrainer zich in het luchtledige bevindt en de tubetrainer dus als leeg kan worden beschouwd. Terwijl het water zich door de adhesiekracht (ook wel kleefkracht genaamd) als het ware hecht aan de tubetrainer.

Zoals reeds naar voren is gekomen, dient na ommekeer de snelheid die de tubetrainer nog bezit te worden vertraagd tot 0 om vervolgens weer de andere kant op te gaan versnellen. De kracht die de tubetrainer op de arm uitoefent komt voort uit het moment. Immers “moment = kracht * arm” ($M = F * \text{arm}$). Aangezien het moment van de tubetrainer met water groter is dan het moment van de originele tubetrainer met leislag, moet ook de kracht groter zijn geweest. De arm is immers in beide situaties gelijk. De kracht die de tubetrainer op de arm uitoefent zou ook kunnen worden berekend aan de hand van de formule “kracht = massa * versnelling” ($F = m * a$). Een grotere kracht van de tubetrainer met water kan worden bewerkstelligd doordat deze een grotere versnelling heeft of door een grotere massa. Aangezien de cyclustijd van beide tubetrainers nagenoeg gelijk is, is het niet waarschijnlijk dat de tubetrainer met water meer versneld dan de originele tubetrainer. Het verschil moet dus gezocht worden in de massa op het moment van ommekeer. De enige verklaring dat de originele tubetrainer op het moment van ommekeer minder zwaar is dan de tubetrainer met water moet gezocht worden in het feit dat de inhoud van de originele tubetrainer zich in het luchtledige bevindt.

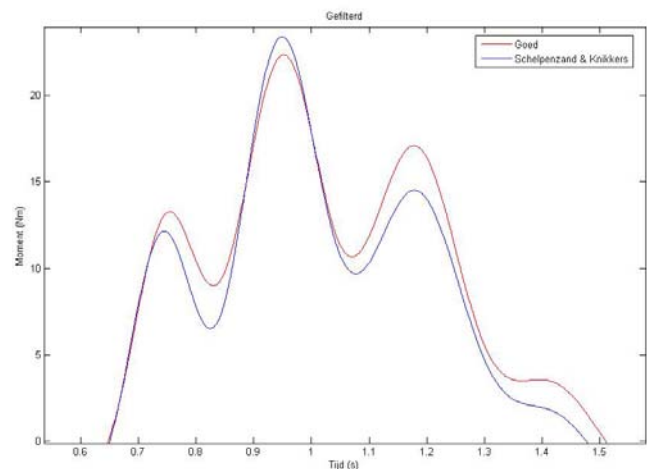
Bij de tweede piek heeft de originele tubetrainer een groter moment dan de tubetrainer met water. Dit wordt veroorzaakt doordat de massa wat zich in eerste instantie in het luchtledige bevond nu tegen de tubetrainer aanslaat. Aangezien dit effect nauwelijks binnen de watergevulde tubetrainer optreedt door de adhesiekrachten, is het logisch dat de tweede piek van de originele tubetrainer hoger ligt dan de tubetrainer met vaste inhoud.

3.5 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met leislag en knikkers

In de onderstaande grafiek is het testresultaat van de originele tubetrainer uitgezet tegen een tubetrainer met schelpenzand en knikkers.



Figuur 3.8: Grafiek van het gefilterde signaal van de goede en leislag/knikker gevulde 1,25 liter tubetrainer

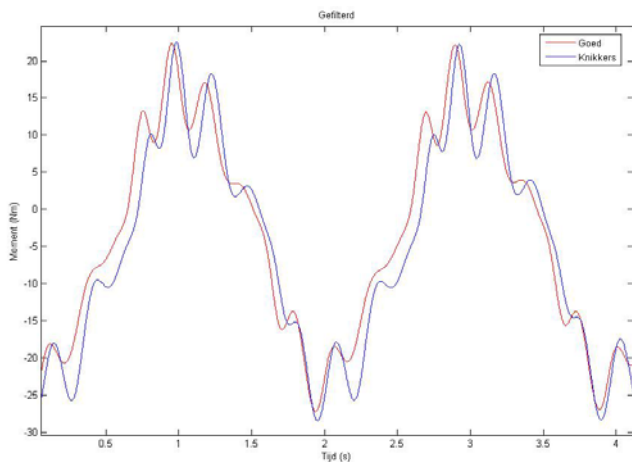


Figuur 3.9: Uitvergroot segment van de grafiek van het gefilterde signaal van de goede en leislag/knikker gevulde 1,25 liter tubetrainer

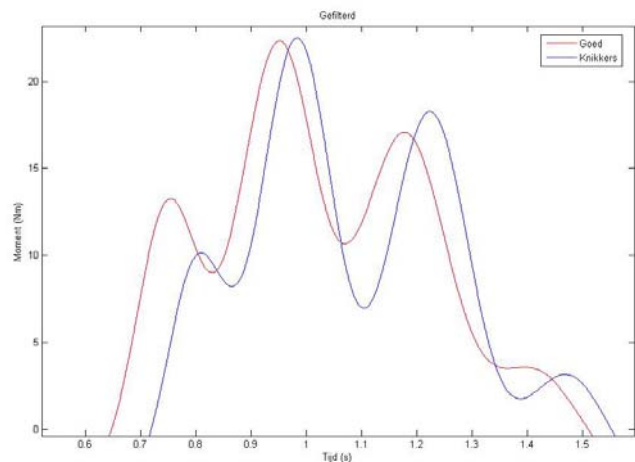
Er is een minimaal verschil in de grootte van de 1^e piek tussen de originele tubetrainer en de tubetrainer gevuld met leislag en knikkers. Doordat beide tubetrainers gevuld zijn met harde deeltjes, zou je verwachten dat tijdens de ommekeer van de tubetrainer zowel de deeltjes van de originele tubetrainer als de deeltjes van de tubetrainer gevuld met leislag en knikkers zich in het luchtledige zouden bevinden. Het verschil is haast verwaarloosbaar, maar zou eventueel kunnen worden toegeschreven aan het feit dat leislag een grotere adhesiekracht heeft dan knikkers. Enkele leislagdeeltjes zouden zich gehecht kunnen hebben aan de originele tubetrainer, waardoor deze zwaarder is in vergelijking tot de tubetrainer met leislag en knikkers. Hierdoor zou de originele tubetrainer op het moment van de eerste piek ietwat zwaarder zijn waardoor deze een groter moment tot gevolg heeft.

3.6 Originele tubetrainer i.v.m. een tubetrainer met knikkers

In de onderstaande grafiek is het testresultaat van de originele tubetrainer uitgezet tegen een tubetrainer met knikkers.



Figuur 3.10: Grafiek van het gefilterde signaal van de goede en knikkers gevulde 1,25 liter tubetrainer



Figuur 3.11: Uitvergroet segment van de grafiek van het gefilterde signaal van de goede en knikker gevulde 1,25 liter tubetrainer

Er is een verschil in de grootte van de 1^e piek tussen de originele tubetrainer en de tubetrainer gevuld met knikkers. Doordat beide tubetrainers gevuld zijn met harde deeltjes, zou je verwachten dat tijdens de ommekeer van de tubetrainer zowel de deeltjes van de originele tubetrainer als de deeltjes van de tubetrainer gevuld met knikkers zich in het luchtledige zouden bevinden. Het verschil zou kunnen worden toegeschreven aan het feit dat leislag een grotere adhesiekracht heeft dan knikkers. Enkele leislagdeeltjes zouden zich gehecht kunnen hebben de originele tubetrainer waardoor deze zwaarder is in vergelijking tot de tubetrainer met knikkers. Hierdoor zou de originele tubetrainer op het moment van de eerste piek ietwat zwaarder zijn waardoor deze een groter moment tot gevolg heeft.

Als de grafieken van de originele tubetrainer uitgezet tegen een tubetrainer met knikkers en de grafieken van de originele tubetrainer uitgezet tegen een tubetrainer met leislag en knikkers met elkaar worden vergeleken, is het verschil in de hoogte van de piek duidelijk waarneembaar. Het is logisch dat het verschil in hoogte van de piek tussen de originele tubetrainer en de tubetrainer met knikkers groter is dan het verschil tussen de originele tubetrainer en de tubetrainer met leislag en knikkers. Immers in de tubetrainer met leislag en knikkers zullen zich ook deeltjes vasthechten aan de tubetrainer, waardoor het verschil kleiner wordt.

Bij de tweede piek heeft de originele tubetrainer een kleiner moment dan de tubetrainer met knikkers. De verwachting zou zijn dat juist de tubetrainer met knikkers een kleinere piek zou hebben, doordat deze zich meer als een vaste massa gedragen. Dit resultaat kan veroorzaakt worden, door de beperkte snelheid van de arm. Indien de arm aan een grotere versnelling onderhevig zou zijn, zou de grafiek van de originele tubetrainer in vergelijking met de tubetrainer met knikkers naar onze verwachting er geheel anders uitzien. Door de relatief lage versnelling gaan de knikkers pas in een laat stadium met de tubetrainer mee bewegen, waardoor ze een ander gedrag vertonen, dan dat verwacht zou worden.

4. Conclusie

De Tube Trainer is in de basis een buis met daarin een massa die vrij in de buis beweegt. De los bewegende massa in de buis zorgt ervoor dat er bij het begin en aan het eind van de beweging een aanvullende mechanische belasting wordt gerealiseerd. Dit tweede effect zou In het bijzonder op de dieper gelegen bindweefsel structuren trainen

Uit de testen is gebleken dat het effect van de los bewegende massa is afhankelijk van het soort materiaal wat los beweegt. Materialen met een grote adhesiekracht zullen zich aan de tubetrainer hechten, waardoor het effect minder groot is dan materialen met een kleine adhesiekracht. Daarnaast heeft ook de grote van de deeltjes invloed op het effect. Grotere deeltjes zullen langzamer versnellen, maar doordat de tubetrainer reeds is omgekeerd en een versnelling in de andere richting heeft is de impact juist groter.

Concluderend kan dus gesteld worden dat deeltjes met een kleine adhesiekracht en die relatief zwaar zijn, het meest gunstige effect veroorzaken.