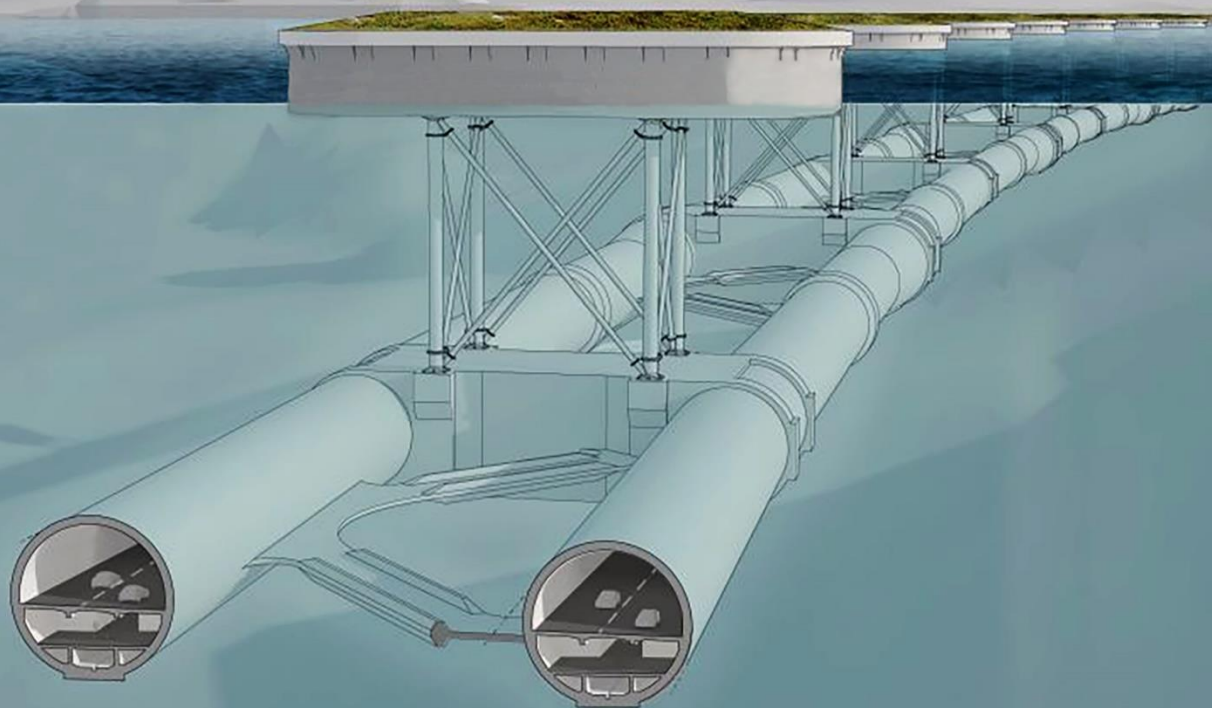


SUBMERGED FLOATING TUNNELS

En de veiligheidsaspecten die hierbij een rol spelen



Vervaardigd door:

Hans van Duijn

Tim Dunnink

Jelle Kooiman

Eduard van Sligtenhorst

Onder begeleiding van:

J. Slager

2024

VOORWOORD

Wij, Hans van Duijn, Tim Dunnink, Jelle Kooiman en Eduard van Sligtenhorst, zijn leerlingen van de Pieter Zandt Scholengemeenschap te Kampen. In juli 2023 werd de opdracht van het profielwerkstuk toegelicht en we kwamen meteen tot de conclusie dat wij een heel goed team zouden vormen. Alle vier houden we ervan om ons vast te bijten in complexe natuurkundige vraagstukken en zodoende kwamen we bij het vak Natuurkunde uit. Onze natuurkunde docent dhr. J. Slager werd hierdoor onze begeleider. Nadat we een poosje gebrainstormd hadden, kwamen we uit op het prachtige onderwerp ‘Submerged Floating Tunnels’ (SFT). We kozen voor de SFT omdat het een redelijk nieuw concept is en omdat het natuurkundige idee van de SFT ons fascineert.

We wensen u veel leesplezier!

Inhoudsopgave:

Voorwoord.....	3
Inleiding.....	7
De basis van de Submerged Floating Tunnel.....	9
De tunnelbuis	9
De pontons	11
Verbindingsmateriaal tussen tunnelbuis en de ponton.....	12
De situatie in Noorwegen.....	12
Duurzaamheid.....	13
Experiment 1.....	14
Onderzoeksvraag.....	15
Hypothese	15
Uitvoering	15
Resultaten.....	18
Conclusie	20
Experiment 2.....	22
Onderzoeksvraag.....	23
Hypothese	23
Uitvoering	24
3D-printen.....	26
Afwegingen.....	26
3D-printer.....	27
Proces.....	27
Fase 1: Eisen opstellen.....	27
Fase 2: Ontwerpen	28
Fase 3: Slicen	29
Fase 4: Printen en afwerken	30
Resultaten.....	31
Conclusie	35
Evaluatie	37
Experiment 3.....	38
Driehoek des Doods.....	39
De Golfgoot	39
De Golfgenerator	40
Lopende Sinusoidale Golven	40
Constance golven.....	41
Frequentie en Amplitude aanpassen	43
Interferentie voorkomen.....	43

Sterkte van aandrijvingsmechanisme.....	43
Waterbestendigheid.....	44
De Goot.....	45
Aquarium	45
Zijrails	45
Golfopvanger	45
De Absorbeerder	47
Het Schaalmodel	48
De Pontons.....	49
Meetapparatuur	49
Uitvoering	50
Fourierdiagrammen.....	50
fouriertransformaties voor dummies.....	51
Onderzoeksvraag.....	52
Hypothese	52
Resultaten.....	53
1 – Enkele verbindingen	54
(x,y)-grafieken	54
(t,x)-grafieken en (t,y)-grafieken	54
Fourierdiagrammen.....	54
Conclusie resultaten vergelijking 1.....	55
2 – Parallel verbonden touw met parallel verbonden veer.....	56
(x,y)-grafieken	56
(t,x)-grafieken en (t,y)-grafieken	56
Fourierdiagrammen.....	57
Conclusie resultaten vergelijking 2.....	57
3 – Kruislings verbonden korte veren met parallel verbonden korte veren.....	57
(x,y)-grafieken	57
(t,x)-grafieken en (t,y)-grafieken	57
Fourierdiagrammen.....	58
Conclusie resultaten vergelijking 3.....	58
Conclusie	58
Indeling van de Submerged Floating Tunnel.....	59
Schaalproblemen.....	62
Beantwoording hoofdvraag.....	64
Evaluatie	65
Dankwoord.....	66
Appendix.....	67

(x,y)-Grafieken.....	67
(t,y)-Grafieken	75
(t,x)-Grafieken	83
(t,y)-Grafieken omgevormd naar (I,F)-Fourierdiagrammen	91
(t,x)-Grafieken omgevormd naar (I,F)-Fourierdiagrammen	99
Bronvermelding	107

INLEIDING

Stel je nu eens voor: Je woont in Sandvikvåg en je werkt in Bergen, de een-na-grootste stad van Noorwegen. Dit betekent dat je twee keer per dag, vijf dagen in de week, de Bjørnafjorden moet passeren. De Bjørnafjorden zijn erg diep en breed en zodoende kan hier geen brug overheen gebouwd worden. Op dit moment is er een veerdienst, maar dit is uiteraard niet ideaal. Deze situatie doet zich voor op veel plekken in Noorwegen en met name op de E39 die voornamelijk langs de kust loopt. Zo is er het Sognefjord, zo'n 80 km ten noorden van Bergen, waar dit probleem ook speelt. Hier kruist dezelfde drukke E39 het diepste fjord van Noorwegen, dit fjord is ruim 1,2 km diep^I. Daarom wordt de weg onderbroken door de veerdienst Lavik – Oppedal^{II}. Al deze veerdiensten kosten veel geld en zijn een drama tijdens de spits. Er is maar één plausibele oplossing.

Wij doen ons PWS over deze plausibele oplossing, de *Submerged Floating Tunnel*, een tunnel die onderwater zweeft. In ons PWS kijken we met name naar de Sognefjord. Een SFT zou hier een geweldige oplossing zijn, omdat een brug bouwen onmogelijk is vanwege de breedte en diepte en een ondergrondse tunnel eveneens onmogelijk is door de diepte.

Wij doen specifiek onderzoek naar de veiligheidsaspecten van een zogenoemde SFT. Hiervoor hebben wij drie experimenten uitgevoerd in de volgende volgorde:

- **Archimedes-experiment:** De naam van dit experiment verradt het al, hij gaat over de wet van Archimedes. Deze wet luidt als volgt: $F_{opw} = \rho * V * g$. Met deze wet kun je de opwaartse kracht berekenen en dit willen wij meten. We kijken naar hoe verschillende massa's en volumes van pontons de opwaartse kracht van de tunnel beïnvloeden. Deze opwaartse kracht moet gebruikt worden om te berekenen hoe groot de pontons moeten worden. Als de pontons niet groot genoeg zijn, zou de tunnel kunnen zinken. Dit mag niet gebeuren in verband met de veiligheid.
- **Stromingsexperiment:** We onderzoeken hoe stroming invloed heeft op de tunnel. De twee waarschijnlijkste vormen die gebouwd kunnen worden zijn de ovaal en de cirkel. Hiernaast wilden wij ook nog kijken naar andere mogelijke vormen, zoals een driehoek, vierkant of vleugel. Een snellere stroomsnelheid dan gewoonlijk kan schade veroorzaken. Door de invloed van stroming op de tunnel te minimaliseren, kan deze schade voorkomen worden. Dit is cruciaal voor de veiligheid.
- **Golfexperiment:** Tijdens een storm kunnen grote golven ontstaan en als het rustig is kunnen er kleine golven ontstaan. De ponton gaat meebewegen met die golven, waardoor je in sommige gevallen een harmonische trilling kunt krijgen. Met het golfexperiment kijken wij naar welke verbindingsmethoden verschillende trillingen het best dempen en of er geen resonantie optreedt. Bij resonantie wordt een trilling versterkt. Als er resonantie optreedt, kan dit zeer gevaarlijke gevolgen hebben. Het is dus van uitermate belang voor de veiligheid om resonantie te voorkomen.

Aan het eind van ons PWS vatten we alles kort samen en geven we antwoord op de hoofdvraag.

De hoofdvraag voor ons PWS luidt als volgt:

WELKE ASPECTEN HEBBEN INVLOED OP DE VEILIGHEID VAN SUBMERGED FLOATING TUNNELS?



Figuur 1: De plek waar de SFT zou komen te liggen

DE BASIS VAN DE SUBMERGED FLOATING TUNNEL

De Submerged Floating Tunnel, kortweg SFT, is een interessant natuurkundig onderwerp, aangezien er veel krachten een rol spelen bij een SFT. ‘Tunneling and underground space technology’^{III} is een voorbeeld van een boek dat de basis van de Submerged Floating Tunnel duidelijk weergeeft. De SFT bestaat hoofdzakelijk uit de volgende onderdelen:

- *De tunnelbuis*
- *De pontons*
- *Verbindingsmateriaal tussen tunnelbuis en de ponton*

Elk van de drie verschillende experimenten doen heeft betrekking op een van de bovenstaande punten. De wet van Archimedes heeft invloed op de pontons, de stroming heeft invloed op de tunnelbuis en de golven hebben invloed op de verschillende verbindingsmethoden.

DE TUNNELBUIS

De tunnelbuis bevindt zich op een gepaste afstand onder de waterspiegel zodat schepen boven de tunnelbuis langs kunnen varen. De tunnelbuis ondervindt invloed van verschillende factoren, waaronder drijfkracht en stroming. De tunnelbuis bevindt zich onder water en er is een kracht nodig die de tunnelbuis op dezelfde positie houdt, namelijk het drijvende vermogen van de pontons. Om te kijken wat dit over de dichtheid van de tunnelbuis zegt moeten we de Wet van Archimedes combineren met de gravitatiewet van Newton.



Figuur 2: Een schets van de tunnelbuis

Wet van Archimedes:

$$F_a = \rho * g * V$$

ρ = De dichtheid van de vloeistof/gas (kgm^{-3}) (zeewater = $1,0 \cdot 10^3 kg m^{-3}$)

g = Gravitatieconstante ($m s^{-2}$) (9,81 in Benelux, 9,83 in Noorwegen)

V = Volume hoeveelheid verplaatste vloeistof/gas (m^3)

Gravitatiewet van Newton:

$$F_z = m * g$$

F_z = zwaartekracht in N

m = massa in kg

g = Gravitatieconstante ($m s^{-2}$) (9,81 in Benelux, 9,83 in Noorwegen)

De gravitatiewet is de aantrekkingskracht van de aarde op de buis, dus in dit geval de kracht die naar beneden werkt. De wet van Archimedes is de opwaartse kracht die de buis ondervindt door een bepaald volume water van zijn plaats te drukken. Deze kracht werkt omhoog. De krachten zijn dus in dit geval tegengesteld. Bij een buis waarbij de krachten in evenwicht zijn geldt $F_a = F_z$

Er geldt dus:

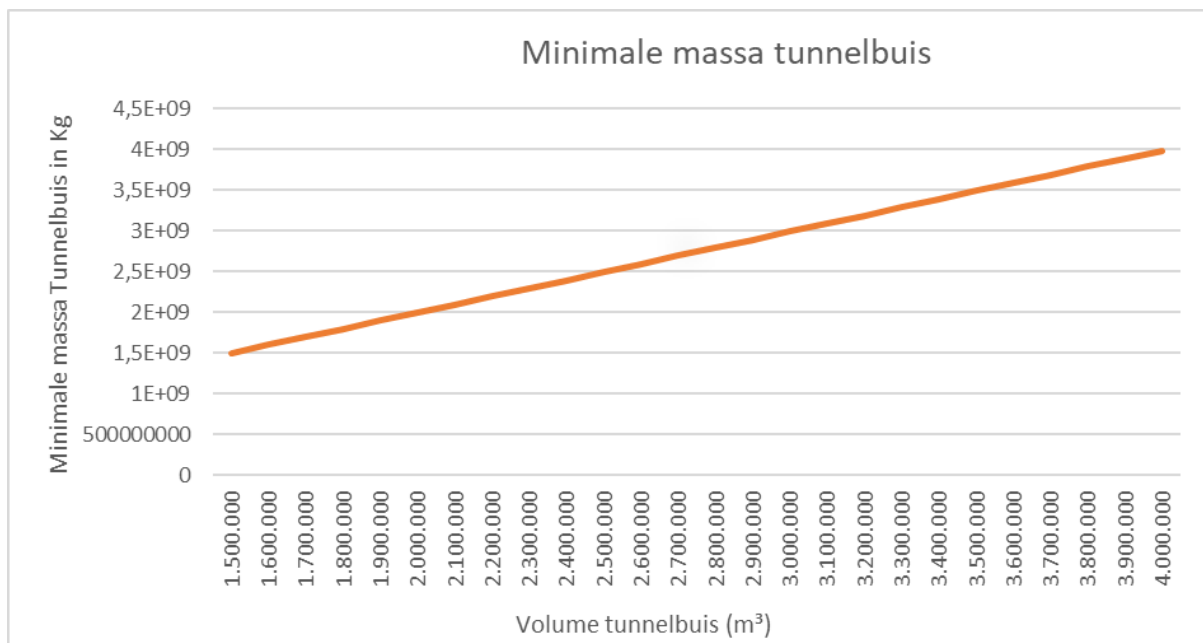
$$F_a = F_z$$

$$\rho * g * V = m * g$$

Het wegstrepen van de gravitatieconstante levert de volgende formule op:

$$m = \rho * V$$

Als de buis dus drijft, is de massa van de buis gelijk aan of kleiner dan de massa van het water dat moet wijken voor de buis. Als de buis zinkt, wat voor het geval van de SFT geldt, is de massa van de tunnelbuis dus groter dan de dichtheid van water keer het volume van de volledige buis. Deze gegevens zetten in een Excel grafiek levert de volgende grafiek uit waarin de minimale massa van de buis af te lezen is.



Uit de grafiek blijkt dat de totale tunnelbuis een grote massa heeft. Dit is niet moeilijk te realiseren aangezien voor een sterke constructie zeer waarschijnlijk gebruik moet worden gemaakt van beton, wat een gemiddelde dichtheid heeft van $2,4 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, terwijl water een dichtheid heeft van $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

Een voor China uitgevoerd onderzoek^{IV} over de Submerged Floating Tunnel geeft duidelijk weer welke eisen de tunnelbuis nog meer aan moet voldoen:

- De buis moet stevig zijn zodat het in alle oceanen, zeeën en rivieren toepasbaar is
- De buis moet operationeel blijven bij extreme weersomstandigheden zoals orkanen
- De buis moet waterdicht zijn en blijven, ook na een botsing met een schip
- De buis moet zo min mogelijk trillen en bewegen zodat automobilisten en treinen geen hinder van een bewegende buis ondervinden.

Samenvattend worden de voornaamste krachten die op de tunnelbuis werken beschreven door de gravitatiewet van Newton en de wet van Archimedes. De gravitatiekracht werkt omlaag en de Archimedes kracht werkt omhoog. Verder ondervindt de tunnelbuis een kracht van de zijkant door stromingen in het water. Wij gaan de invloed hiervan zo veel mogelijk beperken door te meten welke vorm zo min mogelijk invloed ondervindt van deze zijwaartse stromingen.

DE PONTONS

Mart-Jan Hemel schrijft in zijn onderzoek^V dat bij dit ontwerp van de SFT de zwaartekracht van de tunnelbuis groter moet zijn dan de opwaartse kracht, aangezien de buis niet omlaag getrokken kan worden vanwege de enorme diepte van een fjord. De buis moet dus van de bovenkant op zijn plek gehouden worden. Dit kan door middel van pontons, die door hun grote opwaartse kracht de tunnelbuis omhooghouden. Aangezien de tunnelbuis erg lang kan zijn, zijn er meerdere pontons nodig om de tunnelbuis op zijn positie te houden. Op deze pontons werken dezelfde krachten als op de tunnelbuis, namelijk de wet van Archimedes en de gravitatiewet van Newton. Deze wetten combineren leverde, zoals hierboven beschreven de volgende formule op:



Figuur 3: Pontons in het water

$$m = \rho * V$$

m = massa ponton in kg

ρ = De dichtheid van de vloeistof/gas (kg m^{-3}) (water = $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$)

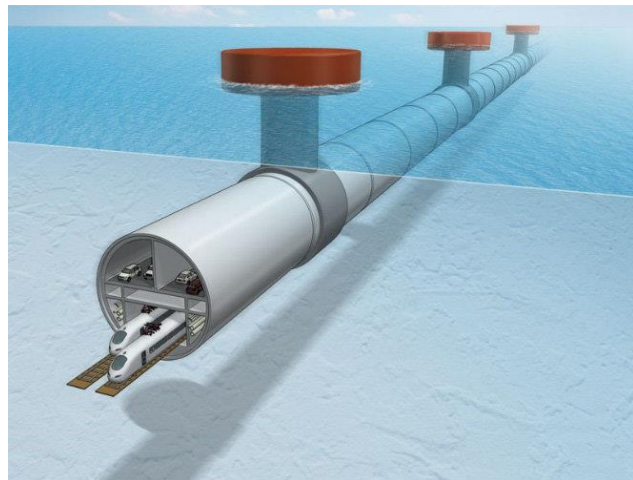
V = Volume hoeveelheid verplaatste vloeistof/gas (m^3)

De situatie is echter anders dan bij de tunnelbuis. De ponton moet namelijk drijven. De dichtheid van de ponton moet dus kleiner zijn dan de dichtheid van water, anders zal de ponton zinken. De dichtheid van de ponton moet dus kleiner zijn dan $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

Het breedste schip ter wereld draagt de naam ‘Ramform Titan^{VI}’. Dit schip is maar liefst 70 meter breed. Uitgaan van een marge van 5 meter aan beide kanten houdt dit in dat de pontons minimaal 80 meter uit elkaar moeten liggen. Bij een situatie van 80 meter tussen de pontons moet een ponton dus minimaal 80 meter buis op positie houden. Elk ponton moet dus naast zijn eigen gewicht ook het gewicht van de tunnelbuis tillen en ondanks dit grote gewicht blijven drijven.

VERBINDINGSMATERIAAL TUSSEN TUNNELBUIS EN DE PONTON

Als de ponton niet in verbinding staat met de tunnelbuis kan het ponton onmogelijk de tunnelbuis op dezelfde plek houden. Er is dus een verbinding nodig die de ponton verbindt met de tunnelbuis. Dit is een zeer complex onderdeel van de drijvende tunnel. Als er gebruik gemaakt wordt van een elastisch materiaal kan er als gevolg van kleine positieveranderingen van de tunnelbuis of de ponton een harmonische trilling ontstaan. Dit is absoluut niet gewenst bij een tunnelbuis waar auto’s, treinen, fietsers en lopers door moeten kunnen reizen. Rekening houdend met de diepgang van grote containerschepen die tussen de 15 en 17 meter ligt, moet de afstand tussen de tunnelbuis en de ponton minimaal 20 meter zijn. Gebruikmakend van een niet-elastisch materiaal moet men er rekening mee houden dat de buis met de pontons mee zal bewegen, iets wat niet bepaald veilig is bij extreme weersomstandigheden.



Figuur 4: Een schets van de SFT

DE SITUATIE IN NOORWEGEN

Noorwegen is een land met een schitterende natuur. Vele toeristen reizen jaarlijks naar het land om de fjorden te aanschouwen. Maar die fjorden zorgen ook voor een probleem in Noorwegen. Veel autoroutes door het land worden onderbroken door fjorden. Omreizen is vaak door de gigantische omvang van de fjorden geen optie. Momenteel is de snelste manier om de eerdergenoemde veerboten te nemen. De Noorse overheid is daarom met een plan^{VII} gekomen om de E39, de route tussen Kristiansand en Trondheim, te optimaliseren. Uit onderzoek van het Noorse ministerie van infrastructuur^{VIII} is gebleken dat het project de reistijd aanzienlijk zal verkorten en als gevolg hiervan zijn er veel economische voordelen. Een onderdeel hiervan is de veerboten vervangen door Submerged Floating Tunnels. Maar waarom is een gewone brug eigenlijk geen optie? De reden waarom er geen normale bruggen kunnen gebouwd worden heeft te maken met de breedte van een fjord. De bruggen zouden namelijk rond de vijf kilometer lang moeten zijn. Deze afstand is alleen overbrugbaar met behulp van pijlers. En daar zit juist het probleem van de Noorse fjorden. De fjorden, zoals het Sognefjord dat op *figuur 5* te

zien is, zijn vaak erg diep waardoor het onmogelijk is om pijlers te bouwen. Om deze reden voldoet een gewone brug niet als oplossing om de veerboten te vervangen. Daarom wordt er veel onderzoek gedaan naar de Submerged Floating Tunnel om te kijken of dit een oplossing is voor het probleem in Noorwegen. Veiligheid is hierbij een van de kernpunten. Ook in andere landen wordt er veel onderzoek gedaan naar de Submerged Floating Tunnel. Voorbeelden hiervan zijn Japan^{IX}, China^X en Italië^{XI}.



Figuur 5: Het Sognefjord in Noorwegen

DUURZAAMHEID

De Submerged Floating Tunnel heeft niet alleen logistieke en economische voordelen. Ook heeft het een positieve invloed op het klimaat. De veerboten die op dit moment rondvaren worden grotendeels aangedreven door stookolie, een van de meest vervuilende brandstoffen. Volgens Nils Erik Anders Rønnquist, een professor in civiele techniek aan de Norwegian University of Science and Technology^{XII}, gaat de Submerged Floating Tunnel oneindig lang mee. De veerboot heeft de eerste jaren een lagere CO₂ uitstoot, maar de veerboot blijft CO₂ uitstoten. Na verloop van tijd zal de veerboot dus een veel hogere CO₂ uitstoot hebben. Zowel de veerboot als de Submerged Floating Tunnel heeft onderhoud nodig. Dit zorgt niet voor een significant verschil in CO₂ uitstoot. De veerboot moet na een aantal jaar ook weer vervangen worden. Het bouwen van veerboten kost ook veel CO₂. Om deze redenen zal de Submerged Floating Tunnel uiteindelijk de meest duurzame keuze zijn.

EXPERIMENT 1

De allerbelangrijkste kracht die werkt op zowel de tunnelbuis als de pontons is de opwaartse kracht. De theoretische formule die hierbij hoort en bedacht is door Archimedes luidt als volgt:

$$F_a = \rho * g * V$$

F_a = De opwaartse kracht (N)

ρ = De dichtheid van de vloeistof/gas (kgm^{-3}) (water = $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$)

g = Gravitatieconstante (ms^{-2}) (9,81 in Benelux; 9,83 in Noorwegen)

V = Volume hoeveelheid verplaatste vloeistof/gas (m^3)

Het boek Fundamentals of Physics^{XIII} geeft een verhelderende uitleg over deze formule. Als een voorwerp gedeeltelijk of helemaal ondergedompeld is in water, betekent dit, dat de opwaartse kracht gelijk is aan de gravitatiekracht van het weggedrukte volume van de vloeistof.

Een andere formule die we hebben gebruikt is de dichtheidsformule van Archimedes. Deze hebben we gebruikt om de dichtheid te bepalen. Deze formule luidt als volgt:

$$m = \rho * V$$

m = massa van de ponton in kg

ρ = De dichtheid van de vloeistof/gas (kgm^{-3}) (water = $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$)

V = Volume hoeveelheid verplaatste vloeistof/gas (m^3)

Het boek 'An Equation for Every Occasion: Fifty-Two Formulas and Why They Matter'^{XIV} legt duidelijk uit hoe Archimedes deze formule ontdekte en plaatst een kanttekening bij de nauwkeurigheid, aangezien er vaak gebruik gemaakt wordt van het aflezen van het volume. Archimedes kreeg een opdracht van de koning om te onderzoeken of een kroon daadwerkelijk van goud was. Door deze kroon onder te dompelen in water en de volumeverandering te vergelijken met een klomp puur goud van dezelfde massa kon Archimedes zien of de kroon daadwerkelijk van goud was.

Aangezien wij waarschijnlijk in dit onderzoek erg veel moeten rekenen met de wet van Archimedes, is het belangrijk dat we zeker weten dat de wet ook daadwerkelijk klopt en dat er geen significante verschillen zijn tussen de theorie en de praktijk. Zouden er wel significante verschillen zijn dan is dit van grote invloed op de veiligheid van de Submerged Floating Tunnel.

ONDERZOEKSVRAAG

Heeft de wet van Archimedes invloed op de pontons?

HYPOTHESE

Wij verwachten dat onze metingen gaan overeenkomen met de wet van Archimedes en dat ze dus in acht genomen moeten worden tijdens het ontwerp van de SFT.

UITVOERING

In het met water gevulde aquarium is op de bodem een plank met een haakje eraan geplaatst. Deze plank wordt door twee zware gewichten op zijn plek gehouden. In alle bakjes en potjes zijn haakjes bevestigd. Deze bakjes en potjes hebben drijvend vermogen aangezien er veel lucht inzit en als gevolg hiervan is de dichtheid erg laag. Door het bakje of potje met behulp van een veerunster te bevestigen aan de plank op de bodem, wordt het bakje omlaag getrokken. De veerunster zal uitrekken en de kracht die hierop is af te lezen is de opwaartse kracht. Op twee manieren hebben we ervoor gezorgd dat te metingen zo nauwkeuring mogelijk zijn. De eerste manier was het gebruik van verschillende bakjes en potjes die elk een andere omvang hebben. De tweede manier is de dichtheid van deze potjes aanpassen door er kleine gewichtjes in te gooien.

Het volume hebben we gemeten met behulp van een maatcilinder. Door een maatcilinder te vullen met een bepaalde hoeveelheid water en daarna een bakje erin te laten zinken is het volume van het bakje af te lezen. Dat is namelijk het volume in de maatcilinder met het bakje erin min het volume in de maatcilinder zonder het bakje erin ($V_{\text{eind}} - V_{\text{begin}}$). Het bakje, dat vanwege zijn lage dichtheid drijft, lieten we zinken door er gewichtjes in te doen. Hierdoor werd de dichtheid aangepast. De massa van alle bakjes hebben we gemeten met behulp van een weegschaal. De dichtheid hebben we in Excel bepaald met behulp van de formule $\rho = m / V$. De gemeten kracht hebben we afgelezen van een veerunster. Omdat de veerunsters op de kop hingen, had het gewicht van de veerunster zelf ook invloed op de metingen. Om deze reden moesten we de rode veerunster corrigeren met 0,20 Newton. De zwaartekracht is berekend met behulp van de formule $F_z = m * g$. De theoretisch opwaartse kracht is berekend met de wet van Archimedes: $F_{\text{opw}} = \rho * g * V$. De opwaartse kracht in het experiment is berekend door de zwaartekracht op te tellen bij de gemeten netto kracht. De afwijking in Newton is de experimentele opwaartse kracht min de theoretische opwaartse kracht. Hierdoor krijgen we een duidelijk beeld van het daadwerkelijke verschil tussen de theorie en de praktijk.



Figuur 6: De meetopstelling met bakje D

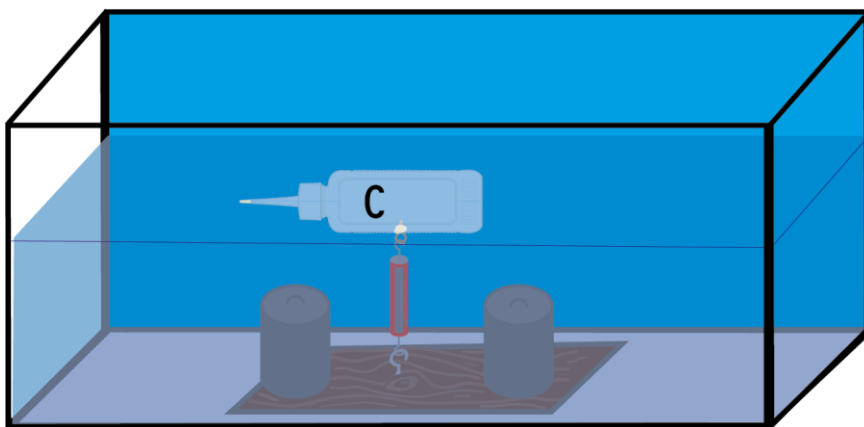


Figuur 6: De gebruikte bakjes/potjes gelabeld met een letter. A heeft het kleinste volume en F het grootst.



Figuur 8: De afwijkingen van de veerunsters

Gebruikte Materialen:	
Aquarium	Dit aquarium had de volgende afmeting: 1 meter lang, 0,4 m hoog en 0,3 m breed.
Plank	Deze hadden we nodig omdat we geen gat in het aquarium konden boren, hieraan was het haakje bevestigd.
6 verschillende potjes/bakjes	Hier hebben we de opwaartse kracht van berekend.
Gewichtjes	Deze hadden we nodig om de gemiddelde dichtheid van de potjes en bakjes aan te passen.
Lijmpistool	Deze hadden we nodig om de haakjes waterdicht in de potjes en bakjes te zetten.
Ducttape	Het ideale materiaal om alle problemen mee op te lossen.
Weegschaal	Deze hadden we nodig om de massa's van de potjes en bakjes te meten.
Maatcilinder	Met behulp van een maatcilinder hebben we geheel volgens Archimedes' wijze het volume bepaald.
Veerunster	Met behulp van twee veerunsters hebben we de netto krachten op de verschillende potjes en bakjes gemeten
Haakjes	Deze haakjes hebben we gebruikt als verbindingpunten voor de veerunsters. Op elk potje/bakje zat er een en op de plank zat er een



$$V_D = 2,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{water}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$m_{D0} = 0,03264 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

$$F_{\text{opw}} = \rho * g * V$$

$$F_z = m * g$$

$$F_{\text{res}} = F_{\text{opw}} - F_z$$

Figuur 7: Experiment geïllustreerd

Resultaten

A.

Potje	A
Gemeten volume in mL	46
Volume in L	0.046
Massa in g	17.57
Dichtheid in $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	381957
F(gemeten) in N	0.075
F(res, na correctie) in N	0.275
F(z) in N	0.172
F(opw, theoretisch) in N	0.450
F(opw, experiment) in N	0.447
Afwijking in N	-0.003
Afwijkingspercentage	-0.57%

B.

Potje	B		
Gemeten volume in mL	78	78	78
Volume in L	0.078	0.078	0.078
Massa in g	9.32	26.42	54.87
Dichtheid in $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	119487	338718	703462
F(gemeten) in N	0.390	0.240	0.061
F(res, na correctie) in N	0.590	0.440	0.261
F(z) in N	0.091	0.259	0.538
F(opw, theoretisch) in N	0.763	0.763	0.763
F(opw, experiment) in N	0.681	0.699	0.799
Afwijking in N	-0.081	-0.064	0.036
Afwijkingspercentage	-10.68%	-8.35%	4.77%

C.

Potje	C		
Gemeten volume in mL	125	125	125
Volume in L	0.125	0.125	0.125
Massa in g	14.05	49.23	84.30
Dichtheid in $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	112400	393840	674400
F(gemeten) in N	1.070	0.485	0.160
F(res, na correctie) in N	1.070	0.685	0.360
F(z) in N	0.138	0.483	0.827
F(opw, theoretisch) in N	1.223	1.223	1.223
F(opw, experiment) in N	1.208	1.168	1.187
Afwijking in N	-0.015	-0.055	-0.036
Afwijkingspercentage	-1.21%	-4.47%	-2.91%

D.

Potje	D				
Gemeten volume in mL	285	285	285	285	285
Volume in L	0.285	0.285	0.285	0.285	0.285
Massa in g	32.64	70.33	137.91	207.87	243.89
Dichtheid in kg*m ⁻³	114526	246772	483895	729368	855754
F(gemeten) in N	2.440	2.100	1.450	0.552	0.195
F(res, na correctie) in N	2.440	2.100	1.450	0.752	0.395
F(z) in N	0.320	0.690	1.353	2.039	2.393
F(opw, theoretisch) in N	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787
F(opw, experiment) in N	2.760	2.790	2.803	2.791	2.788
Afwijking in N	-0.027	0.002	0.015	0.004	0.000
Afwijkingspercentage	-0.98%	0.09%	0.55%	0.13%	0.00%

E.

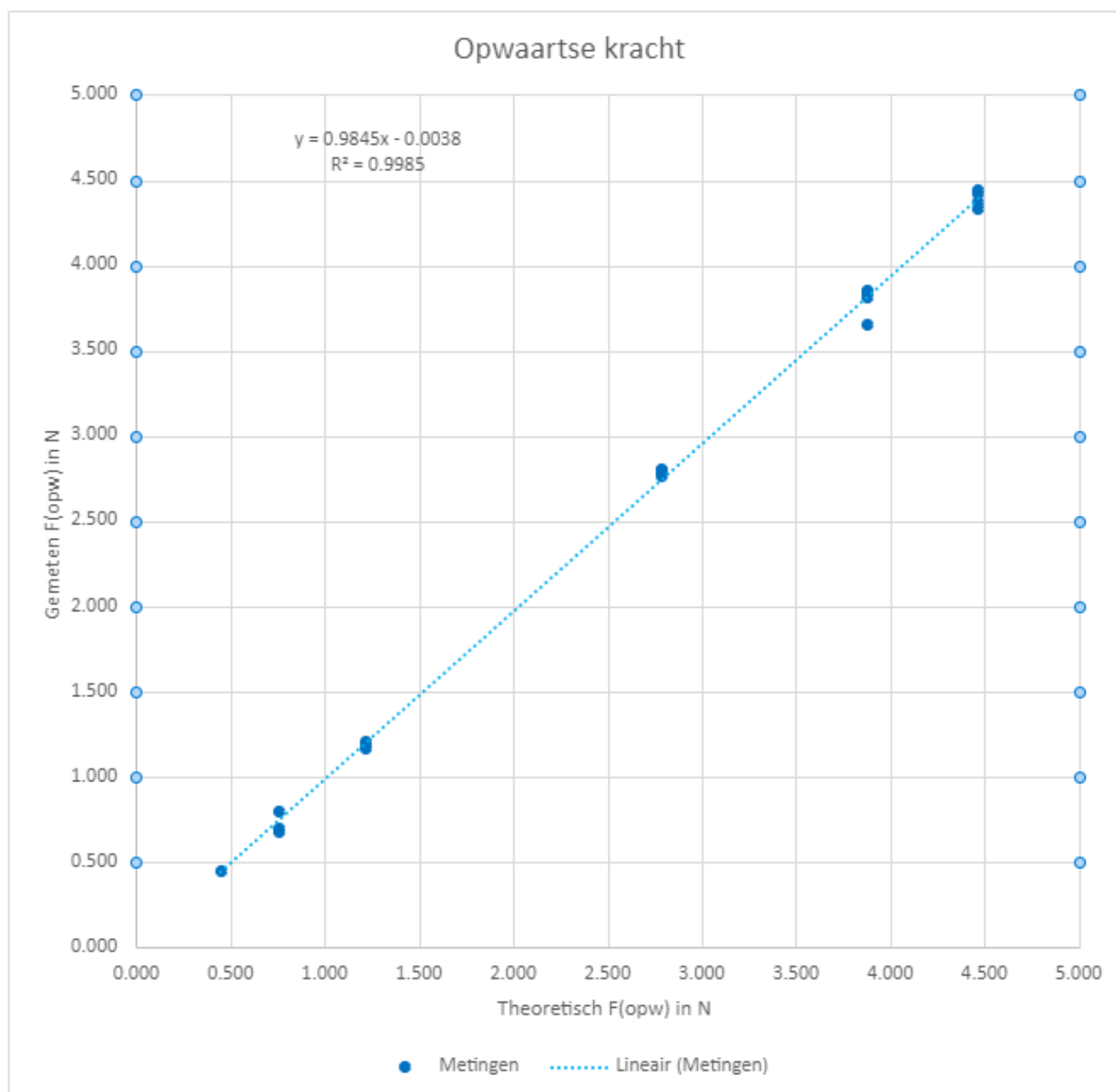
Potje	E			
Gemeten volume in mL	397	397	397	397
Volume in L	0.397	0.397	0.397	0.397
Massa in g	172.93	208.83	278.65	348.67
Dichtheid in kg*m ⁻³	435592	526020	701889	878262
F(gemeten) in N	2.120	1.600	1.120	0.219
F(res, na correctie) in N	2.120	1.600	1.120	0.419
F(z) in N	1.696	2.049	2.734	3.420
F(opw, theoretisch) in N	3.883	3.883	3.883	3.883
F(opw, experiment) in N	3.816	3.649	3.854	3.839
Afwijking in N	-0.066	-0.234	-0.029	-0.043
Afwijkingspercentage	-1.71%	-6.03%	-0.76%	-1.12%

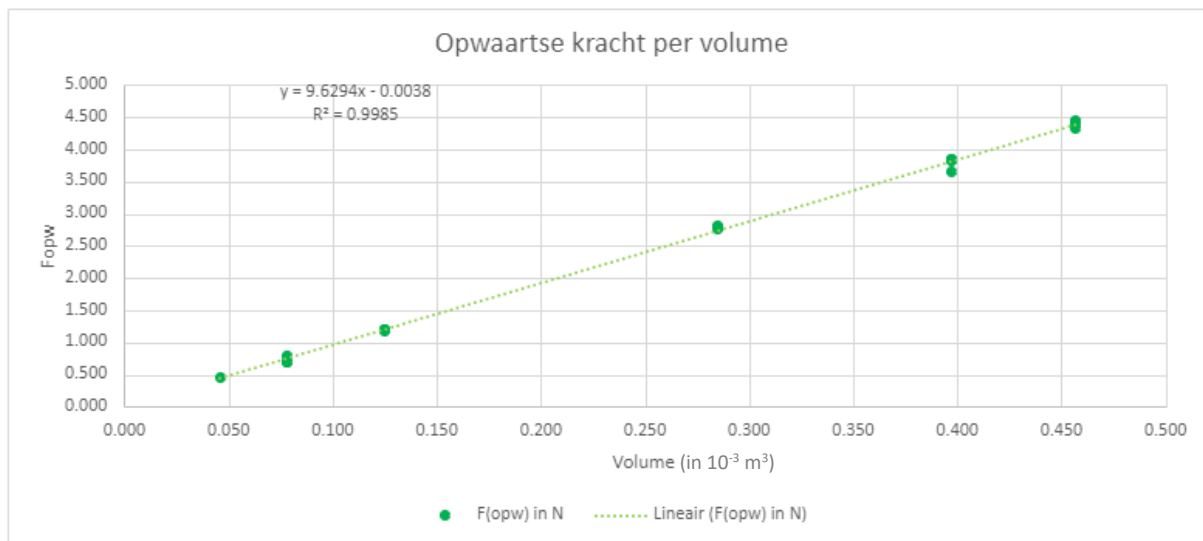
F.

Potje	F			
Gemeten volume in mL	457	457	457	457
Volume in L	0.457	0.457	0.457	0.457
Massa in g	213.48	247.89	324.39	397.91
Dichtheid in kg*m ⁻³	467133	542429	709825	870700
F(gemeten) in N	2.280	1.900	1.240	0.335
F(res, na correctie) in N	2.280	1.900	1.240	0.535
F(z) in N	2.094	2.432	3.182	3.903
F(opw, theoretisch) in N	4.470	4.470	4.470	4.470
F(opw, experiment) in N	4.374	4.332	4.422	4.438
Afwijking in N	-0.095	-0.138	-0.047	-0.031
Afwijkingspercentage	-2.14%	-3.09%	-1.06%	-0.70%

CONCLUSIE

Als we het gemiddelde van alle bovenstaande afwijkingpercentages nemen, komen we uit op een gemiddelde afwijking van -2,01%. Al zouden we de drie uitschieters niet meenemen in de berekening komen we uit op een afwijking van 0,76%. Deze grote uitschieters zijn mogelijk veroorzaakt door afleesfouten. Omdat de afwijking minimaal is, kunnen we stellen dat de praktijk niet significant afwijkt van de theoretische wet van Archimedes. Ook uit onderstaande grafieken blijkt dat de praktijk niet significant afwijkt van de theorie:

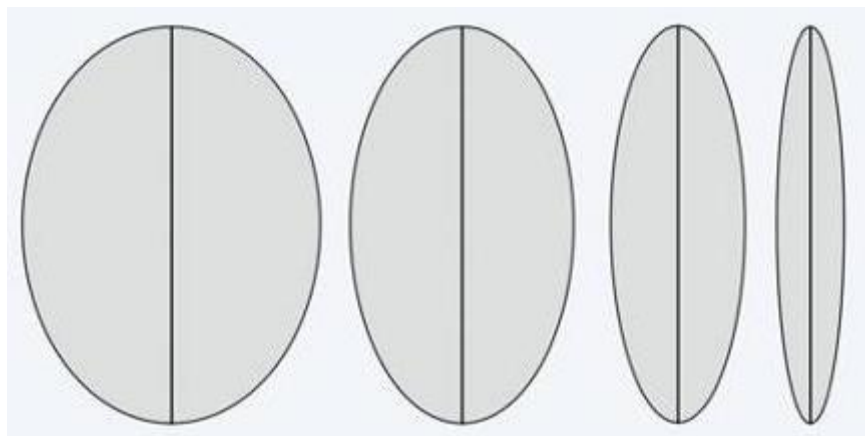




Bij de eerste grafiek hebben we de theoretische opwaartse kracht uitgezet tegen onze gemeten opwaartse kracht. Als deze gelijk zouden zijn, en er dus 0,0% afwijking was van de wet van Archimedes zou er de lijn $y = x$ ontstaan. Deze grafiek geeft de lijn $y = 0,9845x - 0,0038$ weer. Het verschil tussen deze twee formules is minimaal. Volgens de onderste grafiek heeft een volume van één kubieke meter een opwaartse kracht van $y: x(1) = 9,62948 * 1 - 0,0038 = 9,6256$ en het hoort volgens de theorie $F_{opw} = \rho(\text{water}) * g * V = 1,0 \cdot 10^3 * 9,81 * 1,0 \cdot 10^{-3} = 9,8$ te zijn. Dus doormiddel van de minimale afwijking en de bovenstaande grafieken kunnen we stellen dat het rekenen met de wet van Archimedes goed toepasbaar is op de situatie. Daarom zal door het rekenen met deze wet geen onveilige situaties en misvattingen ontstaan.

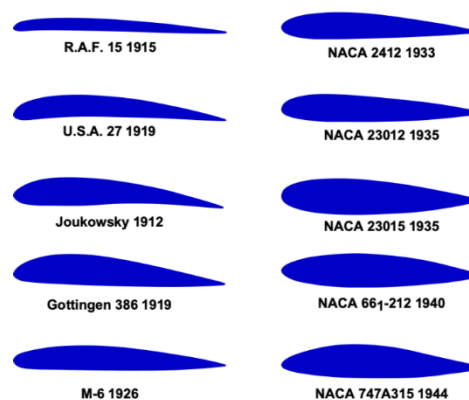
EXPERIMENT 2

Het doel van dit experiment is het berekenen van de weerstandscoefficienten van verschillende vormen in water. We hebben hiervoor vijf vormen ontworpen: een driehoek, een cilinder, een vierkant, een ellips en een vleugel. Enkele van deze coëfficiënten zijn al bekend. De vleugel en de ellips verschillen van de coëfficiënt die al bekend is. Zoals te zien zijn hieronder verschillende ellipsen getekend. Elke ellips heeft zijn eigen weerstandscoefficient^{XV}. Zo ook die van ons. Hetzelfde geldt voor de vleugel. Hiernaast zie je verschillende soorten vleugels^{XVI}. Deze vleugels hebben allemaal een andere weerstandscoefficient. We moeten dus zelf de weerstandscoefficienten van onze ellips en vleugel berekenen.



Figuur 10: Verschillende ellipsen

De formule van de stromingskracht lijkt erg op die van de luchtweerstandskracht.^{XVII} Dat komt omdat het eigenlijk een afgeleide formule is die in de loop van de 19^e en 20^e eeuw tot ontwikkeling is gebracht dankzij wetenschappers zoals George Cayley. Hij experimenteerde veel met aerodynamica en met vleugelvormen en oppervlakten. Vandaar dat hij wordt gezien als een van de stichters van de luchtvaart.^{XVIII} Zijn concepten over vleugels zijn gebruikt door de gebroeders Wright met hun eerste vliegtuig.^{XIX} Deze formule is dus niet door een wetenschapper in de loop van de tijd geformuleerd. De formule om de weerstandscoefficient te berekenen luidt als volgt:^{XX}



Figuur 11: Verschillende vleugelprofielen

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho u^2 A}$$

C_d = De weerstandscoefficient

F_d = Kracht op voorwerp (N)

ρ = De dichtheid van de vloeistof/gas (kgm^{-3}) (water = 997 kgm^{-3})

u = Stroomsnelheid van vloeistof (ms^{-2})

A = Frontaal oppervlak van voorwerp (m^2)

De waarden die wij moesten meten zijn de stroomsnelheid, de kracht en het frontaal oppervlak. Het frontaal oppervlak hebben we berekend in Fusion 360. De TOA's hebben hun snelheidsmeter beschikbaar gesteld en zo konden we dus ook onze stroomsnelheid meten. We hebben niet de mogelijkheid om de kracht op school te meten. Daarom hebben we naar externe locaties gezocht om ons experiment toch te kunnen uitvoeren. Al snel kwamen we op het PWS-forum van TU Delft terecht. Daar hebben we contact met hen gezocht en al snel kwamen zij met het idee om het experiment bij hen in de stroomgoot uit te voeren. Zij hadden wel krachtmeters ter beschikking.



Figuur 12: Stroomgoot bij de TU Delft

Op 8 December 2023 zijn wij naar TU Delft geweest om het experiment uit te voeren onder toezicht van Cian Rippen, studentmedewerker van het profielwerkstukteam. De stroomgoot was een langwerpige ruimte van ongeveer 1 meter breed en 50 meter lang. We konden de stroomsnelheid regelen door sluisjes aan beide zijden van de stroomgoot open te draaien. Hoe groter de opening bij de ingang werd hoe meer water er binnenkwam. Hoe groter de opening bij de uitgang werd, hoe meer water er wegstroomde. Daarom hebben we beide sluisen zo ver mogelijk opengezet. Dit deden we door de stok met de klok mee te draaien. Hierdoor creëerden we een zo groot mogelijke stroomsnelheid. We hebben bij alle vijf de vormen aan beide kanten bakstenen bevestigd om de vorm tot zinken te brengen. Ook verbonden we de twee krachtsensoren met de vorm aan twee bevestigingspunten zoals in de schematische 3D tekening te zien is. De stroming in de bak wordt gecreëerd door de gravitatiekracht.



Figuur 13: Handmatig verstelbare sluis

ONDERZOEKSVRAAG

Welke vorm heeft de minste weerstand in water, oftewel de laagste C_d -waarde?

HYPOTHESE

Wij verwachten dat de volgorde van laagste C_d -waarde naar de hoogste is:
Ellips -> Vleugel -> Cilinder -> Driehoek -> Vierkant

UITVOERING

Bij dit experiment hebben we van de volgende materialen gebruik gemaakt:

Gebruikte materialen:	
Stroomgoot	In deze stroomgoot met een afmeting van ongeveer 0,5 bij 1 meter hebben we het experiment uitgevoerd
Houten balk	Deze houten balk konden we over de stroomgoot leggen. Aan de houten balk zaten twee krachtmeters
Twee krachtmeters	Deze krachtmeters gebruikten we om de kracht op de verschillende tunnelvormen te meten
Vijf 3D modellen	Deze modellen hebben we in het water gehangen om de kracht van te meten. De vijf vormen waren een driehoek, vierkant, cirkel, ellips en een vleugel
Snelheidsmeter	Met behulp van een stroomsnelheidsmeter en een bijbehorend schermpje konden we de stroomsnelheid meten
Twee bakstenen	Deze hadden we nodig om de 3D modellen onder water te houden
Touw	We hadden touw nodig om de krachtmeters en de bakstenen aan de tunnel te verbinden
Ducttape	We hebben ducttape gebruikt om extra stevigheid te creëren bij de verbinden van de tunnelsegmenten
Arduino	Een Arduino gaf voeding aan de krachtmeter en gaf de meetgegevens door aan de laptop.
Laptop	De laptop hebben we gebruikt om de meetgegevens af te lezen en om de meetgegevens op te slaan



Figuur 14: Stroomgoot met rechts de snelheidsmeter en links de krachtmeters met het 3D model.

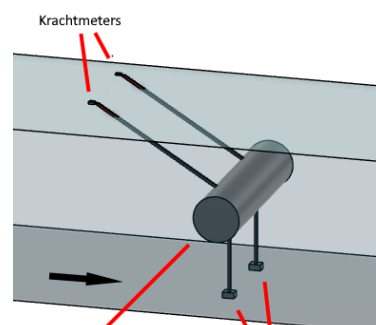
Onze opstelling zag er als volgt uit: Aan het begin van de meetopstelling een sensor die de stroomsnelheid van het water meet. Die sensor stuurde de stroomsnelheid naar een apparaat die we aan onze computer gekoppeld hebben, om zo deze data uit te lezen. Wij hebben gekozen om de stroomsnelheidsmeter vóór de opstelling te zetten, zodat de tunnels de meting niet konden beïnvloeden. Het volgende voorbeeld maakt dit duidelijk: Als iemand tegen de wind in fietst, dan moet hij veel energie leveren om snelheid te maken. Als er iemand voor diegene fietst, merkt hij bijna niets van de wind en kost het veel minder energie om die snelheid vast te houden. Een stukje verder in de stroomgoot hebben we een houten balk neergelegd met de beide krachtmeters daaraan bevestigd. Die waren verbonden met een touw aan het 3D model. Wanneer het 3D model door de stroming meegenomen zou worden, zou de krachtmeter dit tegenhouden en de kracht meten. Beide krachtmeters waren verbonden met de Arduino onder de blauwe vuilniszak. De Arduino wisselde de meetgegevens weer uit met de laptop die zich ook onder de blauwe vuilniszak bevond. Met behulp van het programma Matlab konden we die gegevens uitlezen en overzetten naar Excel. De vuilniszakken waren nodig om het de elektronica af te dekken van de vele regen die er die dag viel. De 3D modellen waren aan de krachtmeters verbonden door middel van touw. Om de 3D modellen te laten zinken hebben we twee bakstenen aan de 3D modellen bevestigd met behulp van touw. Aan elke zijde van de vorm één baksteen.

Het printen van 3D-modellen is altijd een proces waarbij veel mis kan gaan. Hiernaast moesten we ook nog rekening houden met het feit dat we een beperkte tijd hadden om de vijf tunnel vormen, die in totaal uit vijftien onderdelen bestonden, te printen. Hierdoor hebben we afwegingen moeten maken wat betreft printsnelheid en kwaliteit. Uiteindelijk bleek dat de prints toch wel redelijk gelukt waren. Er was echter nog één aandachtspuntje: De verbindingen tussen de segmenten bleven niet erg goed in elkaar zitten. Om dit te verhelpen hebben we ervoor gekozen om ducttape te gebruiken. Wel hebben we er van tevoren over nagedacht of dit het experiment zou beïnvloeden. Ducttape heeft een dikte van 0,18 mm en een breedte van 50 mm. Door dit om twee connecties tussen de segmenten op elke vorm toe te passen met een dubbele laag zorgt dit voor een toevoeging van $8 \times 0,18\text{mm} \times 50\text{mm} = 72 \text{ mm}^2$ frontaal oppervlakte per tunnel. De oorspronkelijke frontaal oppervlakte was $750\text{mm} \times 90\text{mm} = 67.500 \text{ mm}^2$. Dit is dus een toevoeging van $72/67.500 \times 100 = 0,1\%$. Dit is zo'n klein percentage dat het verwaarloosbaar is. Dus hebben we deze effectieve maar invloedarme manier gebruikt om een goede meting te kunnen uitvoeren.

3D-printen was een groot en significant onderdeel van ons profielwerkstuk en daarom zal in het stuk hieronder uitvoerig worden ingegaan op onze werkwijze en afwegingen over het 3D-printen.



Figuur 15: Foto van segmentverbinding bij driehoekvormige tunnel



Figuur 16: Versimpelde weergave van proefopstelling

3D-PRINTEN

AFWEGINGEN

Voor ons experiment hadden we schaalmodellen van verschillende vormen tunnels nodig aangezien we de weerstand van verschillende vormen tunnels wilden meten in stromend water. Deze tunnels moesten een aantal eisen hebben:

1. **Iets korter dan 1 meter** De stroomgoot die we konden gebruiken was ongeveer 1 meter breed en de tunnels moesten daar natuurlijk in passen. Om een significante kracht te kunnen meten moesten onze tunnels niet te kort, maar ook niet te lang zijn
2. **Dichtheid lager dan water.** De tunnels moesten ongeveer op de helft van het waterniveau in de stroomgoot hangen. Hiervoor moeten ze vastgemaakt kunnen worden aan de bodem. Dit houdt in dat ze netto opwaartse kracht moesten hebben en dus een dichtheid moesten hebben lager dan water.
3. **Waterdicht.** Het materiaal wat we gingen gebruiken heeft zelf een hogere dichtheid dan water, om de dichtheid van onze tunnels onder dat van water te houden moesten ze dus niet kunnen vollopen met water.
4. **Twee bevestigingspunten om met een touw aan bakstenen te bevestigen.** De tunnels moesten bevestigd worden aan de bodem en om dit te kunnen doen moesten er haakjes aan de tunnels gemaakt worden.
5. **Twee bevestigingspunten om de tunnel met een touw aan de krachtsensoren te bevestigen.** Ook hiervoor moesten haakjes gemaakt worden in de tunnels. We hadden twee krachtsensoren tot onze beschikking en dus moesten er ook twee haakjes komen.
6. **Binnen twee weken af zijn.** We hadden weinig tijd tot onze beschikking en dus moest het zo gemaakt worden dat ze snel af konden zijn.
7. **Makkelijk mee te nemen.** Ons experiment wilden we uitvoeren in Delft en deze tunnels moesten we dus meenemen in het openbaar vervoer richting Delft. Hiervoor was het noodzakelijk om het makkelijk vervoerbaar te maken.
8. **Vijf tunnels in de volgende vormen als dwarsdoorsnede: driehoek, vierkant, cirkel, ovaal, vleugel.** Een artikel vermeldt: “*The external shape of the tube can be elliptical, circular, or polygonal.*”^{XXI} Het leek ons dan ook logisch om de driehoek en vierkant als basisveelhoeken (polygonal) te gebruiken. Ook de cirkel en ellips leken ons logische vormen. Vervolgens hebben we ook de vleugel gedaan, vanwege onze verwachting dat deze voor een zeer lage weerstand zou zorgen. Zo kwamen we op onze vormen.
9. **Elke vorm moet (exact) hetzelfde frontale oppervlakte hebben.** De formule voor de weerstand in een vloeistof is: $F_D = \frac{1}{2} \rho C_W A v^2$ De frontale oppervlakte moest exact hetzelfde zijn voor elke tunnel, zodat we door de kracht én stroomsnelheid te meten de C_W waarde voor elke vorm konden berekenen. Hier wordt later verder op ingegaan in het PWS.

Om aan eis zes te voldoen, aangezien dit toch wel een belangrijke eis was, hadden we twee opties. Eén was hout en PVC buizen. Hout konden we dan gebruiken voor driehoek en vierkant en PVC voor cirkel en ovaal d.m.v. hitte gebruiken om de goede vorm te maken. Echter hadden we dan een probleem; we konden dan niet aan eis acht voldoen om óók een vleugel te maken en ook de eisen vier en vijf zouden dan lastiger worden. Bovendien zou eis negen erg lastig worden. Daarom hadden we een ander middel nodig. Zo kwamen we uit op 3D-printen. 3D-printen heeft namelijk enkele voordelen:

1. Je kunt precies printen wat je wilt; je bent niet gebonden aan bijv. de diameter van een Pvc-buis.
2. Je kunt makkelijk kleine haakjes of andere dingen aan het oppervlakte toevoegen.
3. Je kunt makkelijk eerst alles ontwerpen en met elkaar communiceren voordat je alles gaat uitprinten.

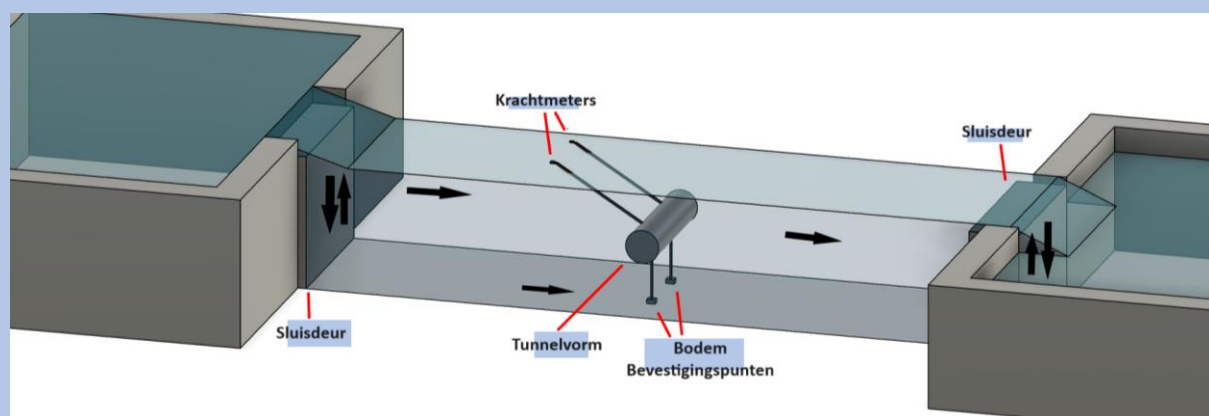
3D-PRINTER

“Uit recent onderzoek van de ING Bank blijkt dat de investeringen in 3D-printers de laatste vijf jaar drie keer sneller stijgen dan investeringen in traditionele kapitaalgoederen.” Dit meldde de NOS^{XXII} in 2017. Inmiddels is het ruim zes jaar later en verschijnen er overal 3D-printers. Bovendien dalen de prijzen voor printers enorm. Maar wat doet een 3D-printer nu eigenlijk precies? De naam verradt het al, het is een printer die niet in twee dimensies, maar in drie dimensies kan printen. Je hoeft alleen maar een stekker in het stopcontact te doen, een rol filament naar eigen keuze eraan te hangen en een opdracht geven om te printen. Dit is een supermakkelijke manier om objecten van allerlei vormen en maten te maken. Bovendien kun je op een website als <https://www.thingiverse.com/> makkelijk kant en klare ontwerpen vinden die je direct uit kunt printen. Het is dus niet zo moeilijk om iets te ontwerpen en vervolgens te printen. Daarom hebben wij ervoor gekozen om voor dit experiment de drie tunnelvormen te 3D-printen.

PROCES

Fase 1: Eisen opstellen

Om te weten hoe de tunnels eruit moesten gaan zien moesten we een schets maken van de proefopstelling. In figuur 17 ziet u een zeer versimpelde weergave van onze proefopstelling. In Delft hadden wij de beschikking over een stroomgoot die bestond uit twee vijvers op verschillende hoogtes, met daartussen een soort sluis, waarbij je handmatig de sluisdeuren kon openen om een stroming te creëren, dit is ook te zien in de schets hieronder. Een student van



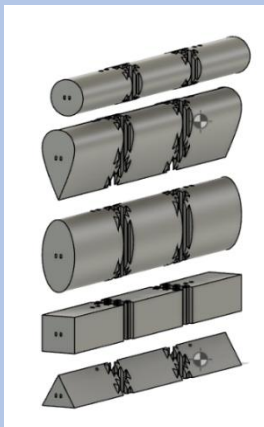
Figuur 17: Schets van opstelling stromingsexperiment

TU Delft hielp ons bij dit experiment en beschikte over de krachtmeters en een Arduino die erop aangesloten was. Vervolgens waren de resultaten af te lezen op een laptop.

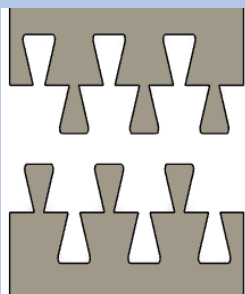
Aan de hand van deze schets gingen we bedenken welke eigenschappen onze tunnels moesten hebben. Na wat overleg kwamen we tot de volgende eisen:

- Vijf vormen tunnels (vorm van dwarsdoorsnede): vierkant, driehoek, cirkel, ovaal en vleugel.
- Lengte van elke tunnel: 810 mm
- Afmetingen van frontaal oppervlakte: 810mm x 200mm
- Twee haakjes aan de onderkant en twee haakjes aan de voorkant, zoals te zien in de schets.
- De tunnel hoeft niet hol te zijn, het is immers een schaalmodel en er hoeven geen auto's doorheen te kunnen rijden.

Fase 2: Ontwerpen



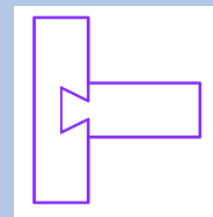
Figuur 18: Definitieve ontwerp van tunnelbuizen in Fusion360



Figuur 19: Dovetail joint in Fusion360

Voor het ontwerpen van de tunnels hebben we ervoor gekozen om het programma Fusion360 te gebruiken. Dit is een uitermate geschikt programma voor het ontwerpen van allerlei objecten en zeker ook voor 3D-printen. De 3D-printers die we op school konden gebruiken zijn Raise3D Pro2's. Deze printers konden printen in een gebied van 305mm x 305mm x 300mm. Dit betekende dat de tunnels niet volledig geprint konden worden in een onderdeel en daarom hebben we ervoor gekozen om elke tunnel in drie delen uit te printen.

De onderdelen moeten makkelijk in elkaar en uit elkaar geschoven worden maar tegelijkertijd ook goed vastzitten als we hem willen gebruiken. Na een tijdje kwamen we op het idee om een zogenaamde dovetail joint^{XXIII} te maken. Deze connectie wordt hiernaast weergegeven en zorgt voor een zeer sterke connectie die makkelijk in elkaar geschoven kan worden. Om het nog sterker te maken hebben wij ervoor gekozen om als het ware een dubbele dovetail joint te maken doordat beide zijden zowel mannelijke als vrouwelijke componenten hebben. In werkelijkheid ziet het er dan zoals *figuur 19* uit. Om ervoor te zorgen dat het goed in elkaar te schuiven was hebben we een marge toegepast van zo'n 1 mm. Om dit te doen hebben we de mannelijke componenten verkleint met deze marge.



Figuur 20: Dovetail joint met de vrouwelijke component (links) en de mannelijke component (rechts)

Nog een belangrijk detail zijn de haakjes. We hebben ervoor gekozen om de haakjes niet op de oppervlakte te maken, maar erin. Dit lijkt erg triviaal, maar dit hebben we gedaan omdat een haakje op het oppervlakte waarschijnlijk meer invloed zou hebben op de stromingsweerstand. Bovendien zorgde deze manier ervoor dat de haakjes erg sterk

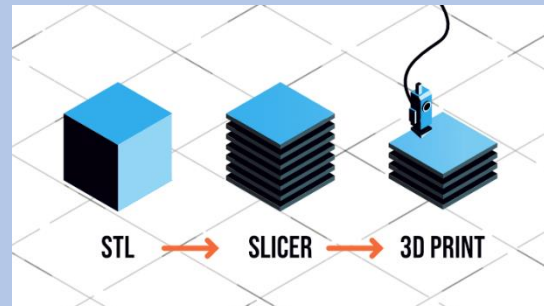


Figuur 21: Haakje ontworpen in Fusion360

zouden zijn en konden de tunnels op hun zijkant geprint worden zonder al te veel support te gebruiken.

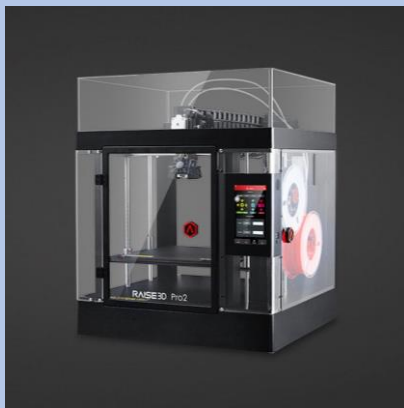
Fase 3: Slicen

Het ontwerpen leek nu zo goed als klaar te zijn, dus kwamen we aan bij de volgende stap: slicen. Een model is leuk, maar uiteindelijk moet er een product ontstaan. Om te begrijpen wat slicen nu eigenlijk is het eerst noodzakelijk om te weten hoe een 3D-printer werkt. Een 3D-printer kan niet logisch nadenken en voert gewoon exacte instructies uit om te printen. Een computer kan bijvoorbeeld zeggen: Ga van $X = 50$ naar $X = 70$. De printer voert dit gewoon simpel uit. Zo kun je een 3D-printer

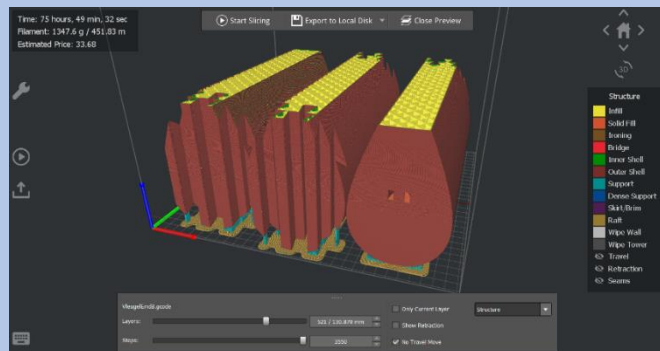


Figuur 22: Van model naar product

ook vertellen om lijntjes plastic te printen. Een product dat geprint is door een 3D-printer bestaat uit heel veel lagen en elke laag bestaat op hun beurt weer uit lijntjes. Nu heb je één probleem: Hoe ga je van een model in een programma als Fusion360 naar een geprint eindproduct? In principe zou dit handmatig kunnen, gewoon zelf de instructies typen voor de printer, maar dit zou veel te lang duren. Gelukkig zijn er programma's die het automatisch voor je kunnen doen. Wij hebben het programma IdeaMaker gebruikt, omdat dit programma speciaal gemaakt is voor Raise3D printers en wij op school toegang hadden tot drie Raise3D Pro2 printers zoals in *figuur 23* te zien. Nu konden we dus eindelijk aan de slag met het slicen. Echter kwamen we er al heel gauw achter dat het 3D-printen veel te lang zou gaan duren. Een berekening wees zelfs aan dat het bijna 2000 uur zou gaan duren. We hadden wel drie printers tot onze beschik-



Figuur 23: Raise3D Pro2 printer



Figuur 24: Vleugel geslice-ed in IdeaMaker

king, maar deze 2000 uur zou veel te veel zijn. We hebben er eerst over nagedacht om niet alle vormen te printen, maar dit zou ten koste gaan van ons experiment. De beste oplossing was om alle tunnels van 810mmX200mm frontaal oppervlak naar 750mmX90mm te schalen, de opvulling van de tunnels op 8% te zetten en de printsnelheid op de hoogste stand. Nu kwamen we uit op ruim 400 uur. Dit was nog steeds veel, maar wel laag genoeg. In *figuur 23* is te zien hoe IdeaMaker eruit ziet en ook hoe de 8% "infill" eruit ziet vanbinnen. Nu was eindelijk alles klaar om uit te kunnen printen.

Fase 4: Printen en afwerken



Figuur 25: Onderdelen in een print head

De laatste fase van het maken van de tunnelvormen voordat we het experiment konden doen in Delft was het printen en afwerken van de modellen. Dit was echter lastiger dan het lijkt. Tijdens het printen is er een aantal keren iets misgegaan. We hadden drie printers tot onze beschikking. Bij twee van deze printers gebeurde het een keer dat ze midden tijdens het printen opeens versprongen, waardoor de producten absoluut onbruikbaar werden. We hebben de printers vervolgens opnieuw geprobeerd te gebruiken, maar bij één van de printers bleef het gebeuren. Het leek erop dat dit door slijtage kwam, omdat die specifieke printer al lang werd gebruikt. De andere twee printers bleven beschikbaar. Vier van de vijf vormen, alle vormen behalve de vleugel, waren redelijk tot heel goed

gelukt. De ovaal en cirkel waren niet volledig waterdicht en om dit te verhelpen hebben we ducttape gebruikt. Bij het stukje over de benodigde materialen bij dit experiment wordt hier meer over uitgelegd.

Elke vorm hebben we afgewerkt door te controleren op scherpe randjes en zo nodig bij te schuren en eveneens te controleren op waterdichtheid. De vleugelvorm vereiste echter extra aandacht. Er was namelijk een fout ontstaan bij het printen. In ongeveer de eerste 1/3 van de print stond één instelling van de printer verkeerd, namelijk de “*extrusion speed*”. Deze instelling gaat om de snelheid waarmee de printer filament door de “*nozzle*” perst. Zie figuur 25. Deze snelheid stond 50% hoger dan normaal en dit zorgde in bubbeltjes aan de oppervlakte van het product. Deze bubbeltjes zijn te zien in figuur 26. Deze bubbeltjes waren een groot probleem, hierdoor was de vleugel namelijk dikker. De *dovetail joints*, zoals eerder uitgelegd, pasten hierdoor niet goed in elkaar. Na heel veel vijlen, schuren en inspanning is het tóch gelukt om óók de vleugelvorm goed in elkaar te krijgen. En zo is het uiteindelijk gelukt om van de modellen in Fusion360 werkelijkheid te maken.

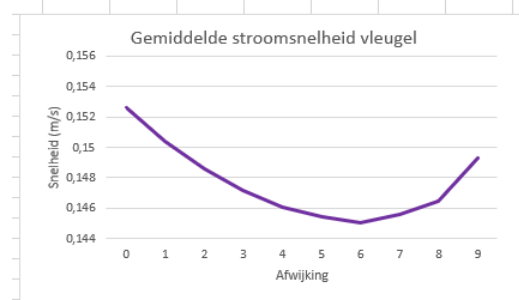
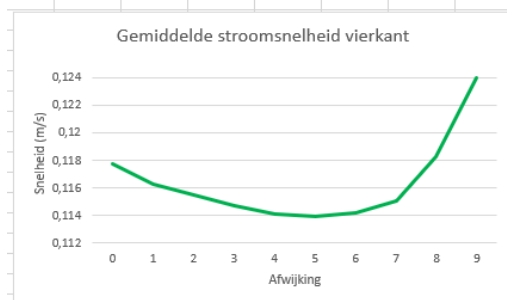
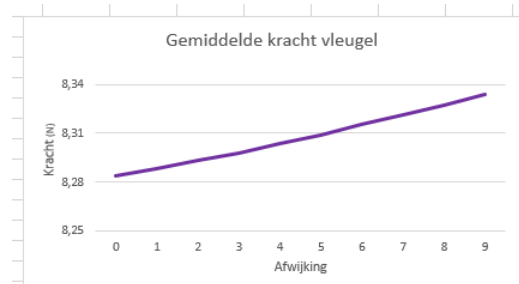
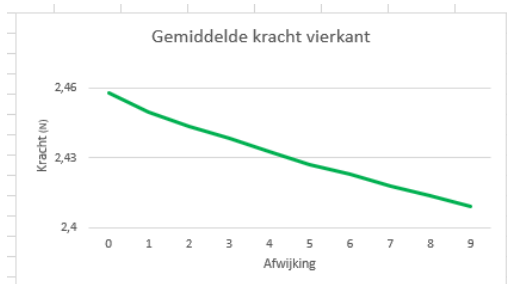
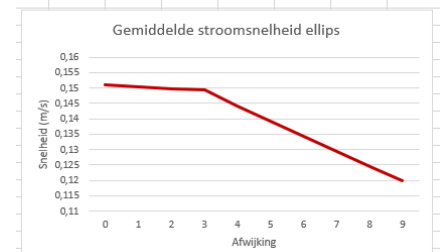
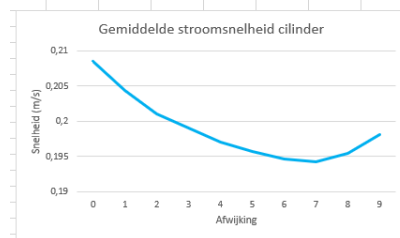
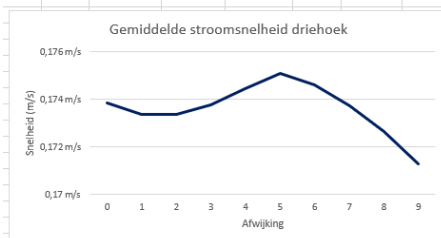
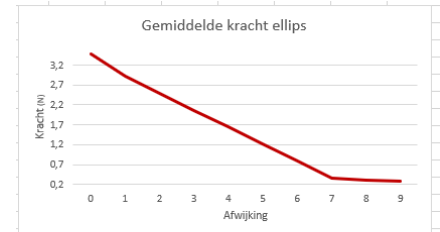
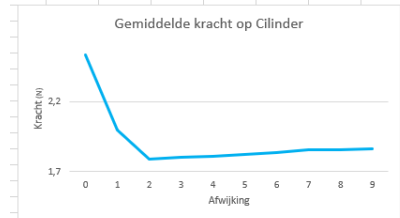
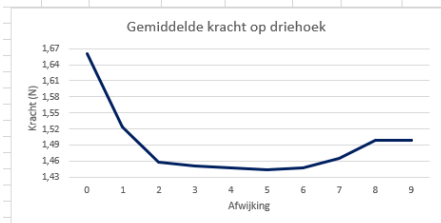


Figuur 26: Bubbeltjes in de oppervlakte van de vleugelvorm

RESULTATEN

Alle meetgegevens van experiment 2 zijn weergegeven in de bijlage. Hieronder zijn de resultaten van ons experiment weergegeven. De C_d -waarde staat voor de weerstandscoefficiënt.

Vorm	Driehoek	Cilinder	Vierkant	Ellips	Vleugel
Cd	1,50	1,22	2,21	0,85	2,67



Gemiddelde stroomsnelheid vierkant	Run 1	Run 2	Gemiddelde			Gemiddelde kracht op vierkant		
	0	0,16766 m/s	0,06774 m/s	0,1177 m/s		0	2,4580374 N	
	1	0,16627 m/s	0,06633 m/s	0,1163 m/s		1	2,4495509 N	
	2	0,16458 m/s	0,06633 m/s	0,11545 m/s		2	2,4433021 N	
	3	0,16293 m/s	0,06653 m/s	0,11473 m/s		3	2,4383086 N	
	4	0,16155 m/s	0,0667 m/s	0,11412 m/s		4	2,4324028 N	
	5	0,16097 m/s	0,06689 m/s	0,11393 m/s		5	2,4271412 N	
	6	0,16123 m/s	0,06717 m/s	0,1142 m/s		6	2,4227276 N	
	7	0,16287 m/s	0,0672 m/s	0,11504 m/s		7	2,4179051 N	
	8	0,16914 m/s	0,06731 m/s	0,11822 m/s		8	2,4138368 N	
	9	0,18052 m/s	0,06746 m/s	0,12399 m/s		9	2,4090471 N	
Gemiddelde stroomsnelheid ellips	Run 1	Run 2	Gemiddelde			Gemiddelde kracht op ellips		
	0	0,06774 m/s	0,24683 m/s	0,151 m/s		0	3,4739699 N	
	1	0,06633 m/s	0,24316 m/s	0,1503 m/s		1	2,9309508 N	
	2	0,06633 m/s	0,24003 m/s	0,14974 m/s		2	2,4793653 N	
	3	0,06653 m/s	0,23847 m/s	0,14925 m/s		3	2,0628181 N	
	4	0,0667 m/s	0,23566 m/s	0,14428 m/s		4	1,658548 N	
	5	0,06689 m/s	0,23342 m/s	0,1393 m/s		5	1,2332043 N	
	6	0,06717 m/s	0,23113 m/s	0,13434 m/s		6	0,7821205 N	
	7	0,0672 m/s	0,22971 m/s	0,12942 m/s		7	0,3559603 N	
	8	0,06731 m/s	0,22746 m/s	0,12452 m/s		8	0,3050058 N	
	9	0,06746 m/s	0,22441 m/s	0,11974 m/s		9	0,2789087 N	
Gemiddelde stroomsnelheid driehoek	Run 1	Run 2	Run 3	Gemiddelde		Gemiddelde kracht op driehoek		
	0	0,06567 m/s	0,20903 m/s	0,24683 m/s	0,17384 m/s	0	1,6611789 N	
	1	0,06697 m/s	0,20993 m/s	0,24316 m/s	0,17335 m/s	1	1,5244259 N	
	2	0,06809 m/s	0,21197 m/s	0,24003 m/s	0,17337 m/s	2	1,4574762 N	
	3	0,06859 m/s	0,21419 m/s	0,23847 m/s	0,17375 m/s	3	1,4507477 N	
	4	0,06897 m/s	0,21869 m/s	0,23566 m/s	0,17444 m/s	4	1,4464832 N	
	5	0,06918 m/s	0,22264 m/s	0,23342 m/s	0,17508 m/s	5	1,4436742 N	
	6	0,06939 m/s	0,22336 m/s	0,23113 m/s	0,17463 m/s	6	1,4471902 N	
	7	0,06954 m/s	0,22193 m/s	0,22971 m/s	0,17373 m/s	7	1,4650458 N	
	8	0,06977 m/s	0,22066 m/s	0,22746 m/s	0,17263 m/s	8	1,4992843 N	
	9	0,07011 m/s	0,2193 m/s	0,22441 m/s	0,17127 m/s	9	1,4992843 N	
Gemiddelde stroomsnelheid cilinder	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Gemiddelde		Gemiddelde kracht op cilinder	
	0	0,06774 m/s	0,16766 m/s	0,24683 m/s	0,14336 m/s	0,20853 m/s	0	2,5311515 N
	1	0,06633 m/s	0,16627 m/s	0,24316 m/s	0,13715 m/s	0,20431 m/s	1	1,9987778 N
	2	0,06633 m/s	0,16458 m/s	0,24003 m/s	0,13202 m/s	0,20099 m/s	2	1,792005 N
	3	0,06653 m/s	0,16293 m/s	0,23847 m/s	0,1293 m/s	0,19908 m/s	3	1,8064025 N
	4	0,0667 m/s	0,16155 m/s	0,23566 m/s	0,12716 m/s	0,19702 m/s	4	1,8124992 N
	5	0,06689 m/s	0,16097 m/s	0,23342 m/s	0,12576 m/s	0,19568 m/s	5	1,8210302 N
	6	0,06717 m/s	0,16123 m/s	0,23113 m/s	0,12434 m/s	0,19462 m/s	6	1,8403603 N
	7	0,0672 m/s	0,16287 m/s	0,22971 m/s	0,12304 m/s	0,19427 m/s	7	1,8563991 N
	8	0,06731 m/s	0,16914 m/s	0,22746 m/s	0,12224 m/s	0,19538 m/s	8	1,8592817 N
	9	0,06746 m/s	0,18052 m/s	0,22441 m/s	0,12175 m/s	0,19805 m/s	9	1,8618393 N

Deze grafiekjes geven de gemiddelde kracht en de gemiddelde stroomsnelheid per vorm weer. Bij de gemiddelde krachten is de stapgrootte op de Y-as bij de driehoek, de cilinder, de vierkant en de vleugel 0,03 N. Bij de ellips is de stapgrootte op de Y-as 0,5 N. Bij de gemiddelde stroomsnelheid is de stapgrootte op de Y-as bij de driehoek, de vierkant en de vleugel 0,002 m/s. Bij de cilinder en de ellips is de stapgrote op de Y-as 0,05 m/s. Doordat we veel meetgegevens hadden konden we de uitschieters verwaarlozen. Hiervoor hebben we een functie gebruikt in Excel waardoor we een afwijking konden realiseren. Op de X-as staan bij alle grafieken de cijfers 0 tot en met 9. Deze staan voor de verwaarlozing van de meetgegevens in procenten. De 0 op de x-as staat voor een afwijking van 0. Dit betekent dat we 0% van de meetgegevens verwaarloosd hebben. De 1 op de x-as staat voor een verwaarlozing van 10% op de meetgegevens. De 2 op de x-as staat voor een verwaarlozing van 20% op de meetgegevens enz. Deze methode hebben we zowel bij de stroomsnelheden toegepast als bij de krachten. Als laatste hebben we ook de gemiddelde snelheid en kracht berekent. Dit hebben we gedaan door alle gemiddeldes waar geen meetgegevens verwaarloosd zijn te middelen met elkaar. Dit hebben we de “Algemene gemiddelde snelheid” en de “Algemene gemiddelde kracht” genoemd. Zoals te zien zijn er bij de stroomsnelheden gemiddelde runs gemeten. Daarom hebben we voor elke run een gemiddelde berekent met een bepaalde afwijking. Van alle runs bij elkaar hebben we daar weer het gemiddelde van berekent. Deze gemiddeldes worden weergegeven in de meest rechter kolom van de gemiddelde stroomsnelheid.

Kracht op driehoek	Kracht op cilinder	Kracht op vierkant	Kracht op ellips			Kracht op vleugel
Krachtmeter 2	Krachtmeter 2	Krachtmeter 2	Krachtmeter 1	Krachtmeter 2	Totaal	Krachtmeter 2
3,283631802 N	0,644251818 N	1,067157351 N	0,27890872 N	8,16147371 N	8,44038242 N	6,676521884 N
2,780159233 N	0,816148918 N	2,492737901 N	0,27890872 N	8,27050245 N	8,54941117 N	6,732055259 N
2,1725882 N	0,644251818 N	2,23955819 N	0,27890872 N	9,05240332 N	9,33131203 N	6,676521884 N
3,3303184 N	0,644251818 N	2,104040925 N	0,27890872 N	8,63899132 N	8,91790004 N	6,676521884 N
2,887465463 N	0,644251818 N	1,302608619 N	0,4905 N	8,50911096 N	8,99961096 N	6,843015577 N
2,780159233 N	0,749642136 N	2,991036794 N	0 N	8,74220255 N	8,74220255 N	6,732055259 N
2,668689064 N	0,644251818 N	2,724971456 N	0 N	10,1113629 N	10,1113629 N	6,732055259 N
2,668689064 N	0,644251818 N	2,780159233 N	0,4905 N	10,6345688 N	11,1250688 N	6,676521884 N
3,23644052 N	0,816148918 N	2,305004525 N	0,27890872 N	12,3556204 N	12,6345291 N	6,676521884 N
2,887465463 N	0,749642136 N	2,368980836 N	0 N	12,1549901 N	12,1549901 N	6,676521884 N
2,611258428 N	0,816148918 N	2,611258428 N	0 N	11,9758021 N	11,9758021 N	6,732055259 N
1,37060556 N	0,644251818 N	2,492737901 N	0 N	12,2419837 N	12,2419837 N	6,78756274 N
2,492737901 N	0,816148918 N	2,305004525 N		12,2706329 N	12,2706329 N	6,732055259 N
2,552625917 N	0,644251818 N	2,104040925 N	0,27890872 N	12,2706329 N	12,5495416 N	6,732055259 N
1,662954342 N	0,749642136 N	3,041555949 N	0,27890872 N	12,710849 N	12,9897577 N	6,676521884 N
1,738435881 N	0,749642136 N	2,780159233 N	0,4905 N	12,5491056 N	13,0396056 N	6,78756274 N
1,37060556 N	0,816148918 N	2,834306025 N	0 N	12,5491056 N	12,5491056 N	6,732055259 N
1,237726146 N	0,644251818 N	2,23955819 N	0 N	12,6572657 N	12,6572657 N	6,676521884 N
2,033862735 N	0,816148918 N	2,552625917 N	0 N	12,7907403 N	12,7907403 N	6,676521884 N
2,368980836 N	0,644251818 N	3,23644052 N	0 N	12,630359 N	12,630359 N	6,732055259 N
2,368980836 N	0,816148918 N	2,611258428 N	0 N	12,710849 N	12,710849 N	6,732055259 N
2,1725882 N	0,749642136 N	2,834306025 N	0 N	12,6572657 N	12,6572657 N	6,732055259 N
2,368980836 N	0,749642136 N	2,552625917 N	0 N	12,3556204 N	12,3556204 N	6,676521884 N
2,23955819 N	0,644251818 N	1,37060556 N	0,4905 N	12,6033675 N	13,0938675 N	6,843015577 N
2,23955819 N	0,749642136 N	1,513786112 N	0,4905 N	12,5762851 N	13,0667851 N	6,732055259 N
1,237726146 N	0,644251818 N	1,441177785 N	0 N	12,3556204 N	12,3556204 N	6,732055259 N
1,888497892 N	0,644251818 N	1,37060556 N		12,8701975 N	12,8701975 N	6,78756274 N
1,888497892 N	0,749642136 N	1,513786112 N	0 N	12,8172661 N	12,8172661 N	6,732055259 N
1,119461329 N	0,749642136 N	1,962 N	0 N	12,7375378 N	12,7375378 N	6,732055259 N
1,587891358 N	0,749642136 N	1,587891358 N	0 N	12,710849 N	12,710849 N	6,843015577 N
1,067157351 N	0,749642136 N	1,441177785 N	0,27890872 N	12,5491056 N	12,8280143 N	6,732055259 N
1,888497892 N	0,749642136 N	1,662954342 N	0,27890872 N	12,4944312 N	12,77334 N	6,732055259 N
2,939691176 N	0,749642136 N	1,662954342 N	0,27890872 N	12,3274452 N	12,6063539 N	6,78756274 N
2,668689064 N	0,749642136 N	2,23955819 N	0,27890872 N	12,5762851 N	12,8551938 N	6,843015577 N
1,37060556 N	0,749642136 N	1,587891358 N	0,27890872 N	11,0758021 N	11,0758021 N	6,78756274 N

CONCLUSIE

Terugkijkend op alle metingen en berekeningen die we hebben gedaan concluderen wij dat de ellips er als beste is uitgekomen. De Ellips heeft namelijk verreweg de laagste C_d -waarde. Alleen de cilinder zou met zijn C_d -waarde van 1,22 enigszins in de buurt komen. Uit de verscheidene grafieken is te zien dat de krachtmetingen van de vleugel en die van het vierkant het meest nauwkeurig waren. De krachtmetingen van de ellips en de cilinder waren het minst nauwkeurig. Deze conclusies trekken wij naar aanleiding van de mate van de stapgrote en de steilheid van de grafiek. Onder de verschillende grafieken van de stroomsnelheden zijn de driehoek, het vierkant en de vleugel het meest nauwkeurig. Dit kun eveneens je afleiden uit de stapgrootte en de steilheid. De driehoek is het aller nauwkeurigst. Bij een verwaarlozingspercentage van 50% is het verval nog steeds binnen de 0,001 m/s. De ellips en de cilinder zijn het onnauwkeurigst. Wij denken dat de weersomstandigheden van grote invloed zijn geweest op de nauwkeurigheid. Door alle regen is veel elektronica nat geworden wat geleid heeft tot storingen en irreële uitkomsten. Wat ook een factor heeft gespeeld is de verplaatsing van de meetopstelling tijdens het experiment. We hadden besloten om meer naar het sluisje te verplaatsen waar het water uitkomt. Hierdoor konden we hogere stroomsnelheden meten en dus ook hogere krachten. Dan zou de onnauwkeurigheid van de meetinstrumenten minder groot worden. Door deze verplaatsing werd er weer elektronica nat en raakten sommige aansluiting los waardoor we die opnieuw moesten verbinden. Dit zorgde samen met het slechte regenachtige weer voor storingen en miscommunicaties. Hierdoor werden onze krachtmetingen ook minder nauwkeurig.

Kracht op ellips		
Krachtsmeter 1	Krachtsmeter 2	Totaal
	8,53519788 N	8,53519788 N
0,4905 N	8,69064434 N	9,18114434 N
0,27890872 N	8,69064434 N	8,96955306 N
0 N	8,76796197 N	8,76796197 N
	9,0263463 N	9,0263463 N
0 N	9,00034805 N	9,00034805 N
0,27890872 N	9,10471907 N	9,38362778 N
0,27890872 N	9,48248622 N	9,76139494 N
0 N	9,89247526 N	9,89247526 N
0,4905 N	10,1752659 N	10,6657659 N
0 N	10,3372008 N	10,3372008 N
0,4905 N	10,6345688 N	11,1250688 N
0,27890872 N	11,8212623 N	12,100171 N
0 N	12,4669241 N	12,4669241 N
0 N	12,6840937 N	12,6840937 N
0,27890872 N	13,0812139 N	13,3601226 N
0 N	13,4280786 N	13,4280786 N
0,27890872 N	13,3202063 N	13,599115 N
0,4905 N	15,204495 N	15,694995 N
0 N	16,4608531 N	16,4608531 N
	14,179722 N	14,179722 N
0,27890872 N	14,8129503 N	15,091859 N
0,27890872 N	14,6516873 N	14,9305961 N
0,27890872 N	14,8778409 N	15,1567496 N
0 N	14,748267 N	14,748267 N
0,27890872 N	15,2372849 N	15,5161936 N
0,27890872 N	15,4341144 N	15,7130231 N
0 N	15,5651819 N	15,5651819 N
0 N	15,4996806 N	15,4996806 N
0 N	15,5979 N	15,5979 N
0,4905 N	15,466904 N	15,957404 N
0 N	15,532441 N	15,532441 N
0,4905 N	15,401315 N	15,891815 N
0,4905 N	15,2372849 N	15,7277849 N
0,27890872 N	15,384405 N	15,4834033 N

Bij de Ellips en de cilinder is dat duidelijk terug te zien. Krachtsmeter 2 heeft hier onnauwkeurige waardes gemeten zoals krachten boven de 15 N. Bij de andere vormen liggen de krachten rond 2,0 N. Uitgaande dat het frontale oppervlak, de dichtheid van het water en de stroomsnelheid gelijk zijn gebleven is deze meting onwaarschijnlijk. Het opvallende is dat krachtsmeter 1 ook een meting aangaf die op sommige momenten veel nauwkeuriger was. Daarom hebben we ervoor gekozen om de beide metingen van krachtsmeter 1 en krachtsmeter 2 bij elkaar op te tellen, en dat als kracht op de ellips te zien. Deze onnauwkeurigheid van deze beide krachtmetingen is ook goed weer te zien onder het tabblad "Berekeningen". Bij de krachtmeting van de Ellips is het gemiddelde zonder verwaarlozing 3,5 N. Bij een verwaarlozing van 50% van de meetgegevens is er al een verval van 2,2 N. Bij andere vormen, op de cilinder na, ligt het verval rond 0,1 N.

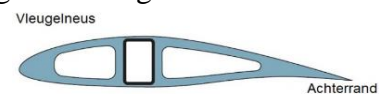
Gemiddelde kracht op ellips	
0	3,4739699 N
1	2,9309508 N
2	2,4793653 N
3	2,0628181 N
4	1,658548 N
5	1,2332043 N
6	0,7821205 N
7	0,3559603 N
8	0,3050058 N
9	0,2789087 N

Bij de cilinder zijn er ook enkele onrealistische krachten gemeten. Zonder een verwaarlozing toe te passen is de gemeten kracht 2,5 N. Bij 10% verwaarlozing treedt er een verval van 0,55 N op. Dit is in dezelfde orde van grote als de ellips. De cilinder daarentegen heeft een verval van 0,65 N bij een verwaarlozing van 90% van de meetresultaten. Hieruit concluderen wij dat er bij de meetresultaten enkele onrealistische uitschieters zaten. Over het algemeen is deze gemeten kracht heel constant geweest gezien het lage verval naarmate de verwaarlozing van de meetresultaten groter wordt. In de grafiek van de gemetenkracht op de cilinder, is dit ook heel goed te zien. Bij de eerste 20% is er een sterke daling van de grafiek zichtbaar. Bij een hogere afwijking blijft de richtingscoëfficiënt van de grafiek nagenoeg constant. De C_d -waarde voor een cilinder is volgens andere onderzoeken 1,17^{XXIV}. In dat geval heeft onze C_d -waarde een afwijking van 0,05. Dit vinden wij een realistische afwijking in onze omstandigheden.

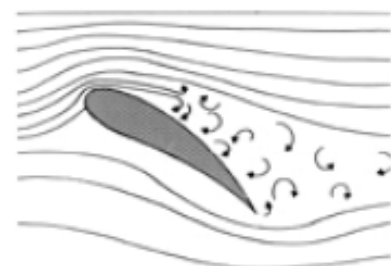
Gemiddelde kracht op cilinder	
0	2,5311515 N
1	1,9987778 N
2	1,792005 N
3	1,8064025 N
4	1,8124992 N
5	1,8210302 N
6	1,8403603 N
7	1,8563991 N
8	1,8592817 N
9	1,8618393 N

^{XXV}Een ander opvallende vorm is de vleugel^{XXVI}. Zonder verwaarlozing heeft krachtmeter 2 van TU Delft een kracht gemeten van 8,3 N. Bij een verwaarlozingspercentage van 10% is deze kracht nagenoeg gelijk gebleven. Bij een verwaarlozingspercentage van 90% is er een verval opgetreden van 0,05 N. Ook in de grafiek (Resultaten) is dit goed te zien door de licht stijgende lijn. De stijgende lijn is af te leiden dat er vooral een onnauwkeurigheid is bij de laagste krachten. Tegen onze verwachting in is het verschil tussen deze gemeten krachten en andere vormen is groot. Dit heeft alles te maken met de positie die de vleugel innam tijdens de meting. Wij hadden verwacht dat de vleugel dezelfde positie als bij *figuur 27* zou innemen. De vleugel nam in tegenstelling tot onze verwachting de positie van *figuur 28* in. Hierdoor werd de stroming om de vleugel turbulent. Wij zagen tijdens de meting veel luchtbelletjes aan de achterkant van de vleugel omhoogkomen. Door deze schuine ligging kreeg de vleugel daarnaast een veel groter frontaal oppervlak. Hierdoor werden de krachten op de vleugel ook hoger. Een oorzaak van dit gebeuren is de lekkage die optrad in de vleugel. Tijdens de meting stroomde de vleugel vol met water. Dit zorgde ervoor dat de vleugel instabiel werd. De C_d -waarde van de vleugel is ook niet nauwkeurig. We hebben het frontale oppervlak genomen in de positie die vergelijkbaar is met *figuur 26*. Het frontale oppervlak van de werkelijke positie die vergelijkbaar is met *figuur 27* is lastig te bepalen omdat we niet weten in welke hoek de vleugel heeft gestaan.

Gemiddelde kracht op vleugel	
0	8,2833577 N
1	8,2881033 N
2	8,2933865 N
3	8,2979876 N
4	8,3039167 N
5	8,3089602 N
6	8,3151392 N
7	8,3214613 N
8	8,3268425 N
9	8,3334399 N



Figuur 27: Vleugelprofiel



Figuur 28: Turbulente vleugel

Uit alle stroomsnelheden concluderen wij dat er runs zijn die onnauwkeurig zijn. Dat zijn de runs die een kleinere stroomsnelheid hebben dan 0,1 m/s. Bij elke meting is dit één keer voorgekomen. Altijd de eerste of de laatste run. Een factor die daarbij heeft meegespeeld is dat de meter in en uit het water is

gehaald. Hierbij is tijd verloren. De andere runs zijn wel nauwkeuriger. Hieruit concluderen wij dat alleen de krachtmetingen hebben gezorgd voor enkele onnauwkeurigheden.

Ondanks alle onnauwkeurigheden in onze meetresultaten blijven deze resultaten echter wel bruikbaar. Dit komt omdat we veel metingen hebben verricht en hierdoor de uiterste waarden konden verwaarlozen. Zo hebben we alsnog een goed beeld gekregen van de C_d -waarde van de vormen. Door middel van deze C_d -waardes concluderen wij dat de ellips de beste vorm is om de invloed van zijstrooming zoveel mogelijk te beperken. Niet alleen qua C_d -waarde is de ellips veel efficiënter dan de cilinder. Ook qua ruimtegebruik is de ellips een veel betere oplossing. Een ellips is veel breder dan een cilinder, wat betekent dat met een kleine hoogte er brede wegen gerealiseerd kunnen worden. Met de cilinder heb je voor dezelfde brede wegen een grotere hoogte nodig. Dit zorgt voor meer kracht op de cilinder, omdat je dan een groter frontaal oppervlak krijgt.

In onze hypothese voorspelden wij dat de volgorde van laagste C_d -waarde naar de hoogste als volgt zou zijn: Ellips -> Vleugel -> Cilinder -> Driehoek -> Vierkant.

Doordat de vleugel niet stabiel in het water gepositioneerd was klopte onze meting niet met de werkelijkheid. Een verklaring voor deze verkeerde positionering is dat de vorm niet symmetrisch is en dat de vorm in onze meting gedeeltelijk vol liep met water. Naast het feit dat de ellips een goede vorm is kunnen we op basis van de meting van de vleugel concluderen dat een symmetrische vorm beter is voor een goed krachtenbalans.

EVALUATIE

Dit experiment heeft zoals vele andere experimenten een aantal verbeterpunten. Als eerste moeten de weersomstandigheden gunstig zijn om de meting uit te voeren, of moet de meting binnen plaatsvinden. Als tweede moeten er goedwerkende en nauwkeurige krachtmeters worden gebruikt. Dit om te voorkomen dat sommige metingen onnauwkeurig worden. Als derde moet er meer aandacht besteden worden aan de kwaliteit van de 3D prints. Om de stabiliteit te verhogen, is het handig om in plaats van twee, vier bevestigingspunten op de vorm te plaatsen. Zo kan deze vorm op vier punten worden verbonden met de bodem van de stroomgoot. Als vierde moeten we de schaalmodellen nog groter maken. Hierdoor is de onnauwkeurighedsfactor van zowel de snelheidsmeter als de beide krachtmeters nog kleiner.

EXPERIMENT 3

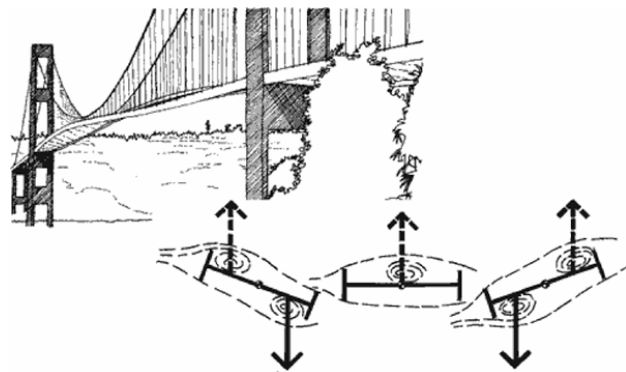
Als derde en laatste experiment van ons profielwerkstuk wilden wij kijken wat de invloed van golven op de SFT zou zijn. Golven kunnen namelijk voor resonantie in de tunnel zorgen, wat je in de Civiele Techniek zoveel mogelijk wilt vermijden. Denk maar aan de Tacoma Narrows Bridge, deze brug is een iconisch voorbeeld van de verwoestende kracht die resonantie kan veroorzaken. De brug ondervond ernstige oscillaties en vervormingen als gevolg van resonantie, doordat de windgolven op de natuurlijke frequentie van de brug inwerkten. Deze ramp illustreert de noodzaak om de invloed van golven op infrastructurele projecten, zoals de SFT, grondig te begrijpen en te vermijden. A. Harish, een auteur van het simulatieprogramma SimScale, schreef later over dit incident:

“The problem that caused the Tacoma Narrows Bridge collapse was not a new problem, but one which had been unspecified. Due to wind action, increased stiffness can be seen through various design methods such as adding a greater dead load, adopting dampers, stiffening trusses or by guy cables. However, these factors were not originally considered and only became part of the later forensics.”^{XXVII}

In dit artikel wordt gezegd dat de manier waarop de Tacoma Narrows bridge ingestort is, geen onbekend probleem was. Het probleem was simpelweg niet in acht genomen tijdens het ontwerpen van de brug. De tragedie van de Tacoma Narrows Bridge benadrukt het belang van voorafgaande simulaties en testen met schaalmodellen bij het ontwerpen van structuren, waarbij het vermijden van onbekende problemen vitaal is.



Figuur 29: De instorting van de Tacoma Narrows Bridge



Figuur 30: Illustratie van de instorting van de Tacoma Narrows Bridge

DRIEHOEK DES DOODS

Het probleem bij het creëren van een kwalitatieve simulatie is dat er al snel veel tijd en geld in gaat zitten. Daarom hebben wij bij ons project de “Driehoek des Doods” in acht genomen, wat in de volksmond beter bekend staat onder een net zo heftige naam: “De Duivelsdriehoek^{XXVIII}”. In deze driehoek worden de drie belangrijkste factoren die in acht genomen moeten worden bij een project in relatie met elkaar gebracht. Deze drie factoren zijn als volgt:

- *Geld*: kosten/budget/prijs van het project.
- *Kwaliteit*: kwaliteit van het projectresultaat.
- *Tijd*: doorlooptijd/deadline van het project.



Figuur 31: Driehoek des doods in een diagram weergegeven

Het idee van de “Driehoek des Doods” is dat je slechts twee van de drie factoren kunt garanderen in je project. Als er voor tijd en geld gekozen wordt, dan gaat dat ten koste van de kwaliteit van je project. Als er voor tijd en kwaliteit gekozen wordt, zal het project veel geld kosten. Als er voor geld en kwaliteit gekozen wordt, dan zal het project veel tijd in beslag nemen. Daarom moesten we kijken welke van de drie punten bij ons de prioriteit had, en welke we konden realiseren. In het begin waren we sterk gelimiteerd aan een laag budget, ook moesten we tussenuren en zelfs lesuren benutten om onze deadlines te halen. Dit zou, volgens de “Driehoek des Doods”, betekenen dat de kwaliteit van ons project eronder zou lijden. Daarom hadden we verschillende stappen ondernomen om dit te voorkomen. We konden uiteindelijk een deel van de onderdelen onder het nieuwe budget van de werkgroep techniek in de bovenbouw aanschaffen. Ook is het ons gelukt om een aantal “PWS dagen” op te nemen, zodat we een dag lang volop met dit project bezig konden gaan. Dit betekende dat de kwaliteit van ons project aanzienlijk verbeterde.

DE GOLFGOOT

Om de invloed van golven op de SFT te testen, hebben we er voor gekozen om een golfgoot te maken. Een golfgoot is een lange bak waarin golven nagebootst worden door middel van een golfgenerator. De golven die een golfgoot genereert zijn tweedimensionaal, daarom is het de ideale manier om de invloed van golven te testen op een schaalmodel van de SFT. Een golfgoot maken is niet eenvoudig, er zijn veel factoren die meegenomen moeten worden in het ontwerp, namelijk:

- De Golfgenerator
- De Goot
- De Absorbeerder
- Het Schaalmodel
- De Pontons
- Meetapparatuur

DE GOLFGENERATOR

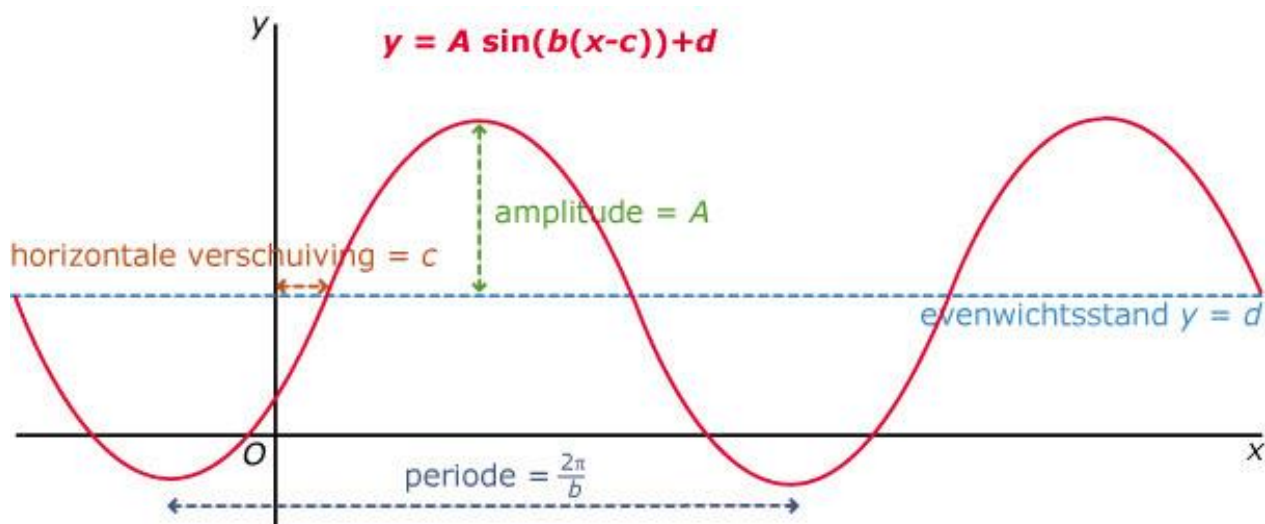
De golfgenerator is het mechanisme dat de golven creëert. Je wilt dat een golfgenerator aan een aantal eisen voldoet, namelijk:

- *Er moeten lopende sinusoidale golven gegenereerd worden*
- *De golven moeten constant blijven tijdens de metingen*
- *Je moet de frequentie en amplitude van de golven aan kunnen passen*
- *De golven moeten niet terugkaatsen via de achterwand*
- *Het aandrijvingsmechanisme moet sterk genoeg zijn om al het water te kunnen verplaatsen*
- *De opstelling moet waterbestendig zijn*

LOPENDE SINUSOIDALE GOLVEN

Lopende sinusoidale golven zijn sinusvormige golven die zich op een regelmatige manier voortbewegen. De golven moeten net zoals in de zee lopend zijn. De vorm van een sinusoidale golf wordt gekenmerkt door pieken en dalen die zich herhalen in een regelmatig patroon. Een sinusgolf heeft de volgende eigenschappen:

- **Amplitude (A):** De amplitude is de maximale uitwijking van de golf vanaf de evenwichtspositie. Het geeft de maximale hoogte van de golven aan.
- **Periode (T):** De periode is de afstand tussen twee opeenvolgende punten in de golf die dezelfde fase hebben, bijvoorbeeld twee opeenvolgende pieken of dalen. Het geeft de tijd aan die nodig is om één volledige golfcyclus te doorlopen.
- **Frequentie (f):** De frequentie is het aantal golfcycli dat per seconde plaatsvindt. De eenheid is Hertz (Hz), de frequentie is het omgekeerde van de periode ($f = 1/T$).
- **Fase (ϕ):** De fase geeft aan waar een bepaald punt in de golf zich bevindt ten opzichte van een referentiepunt op een bepaald moment.

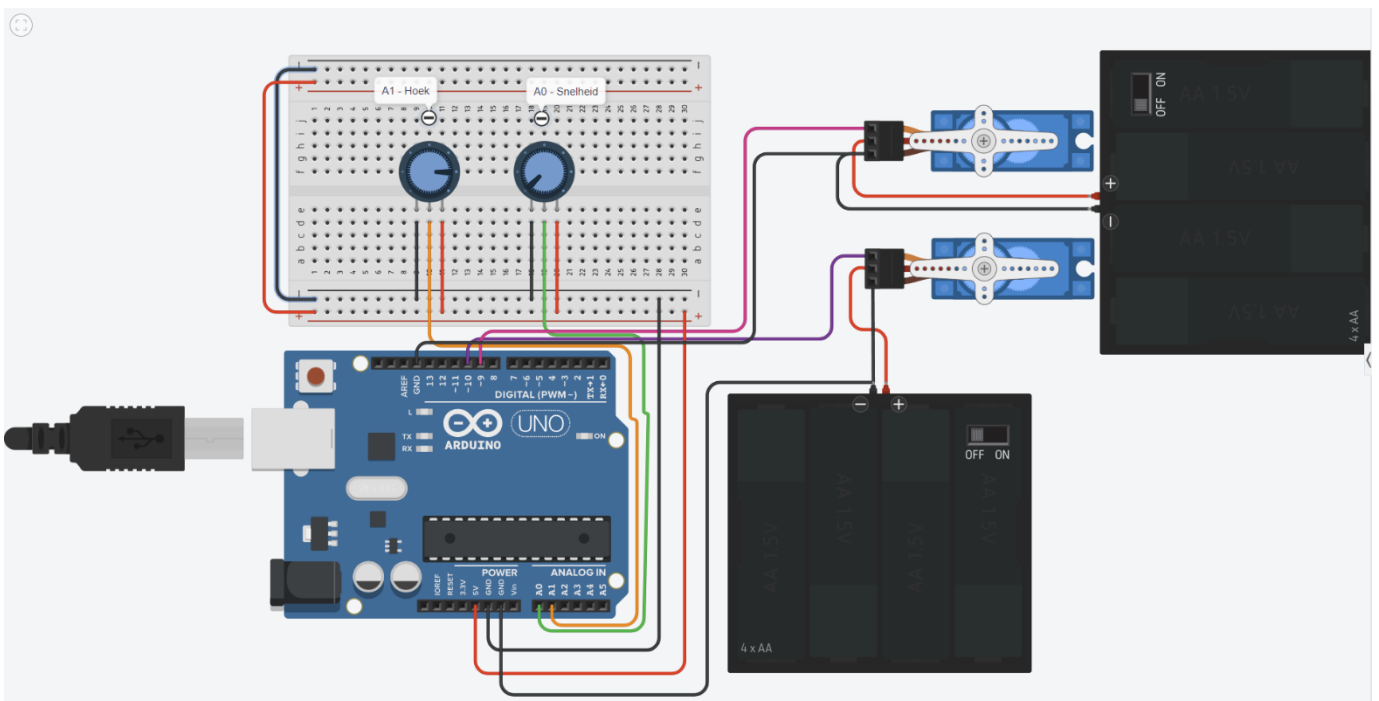


Figuur 32: Een sinusfunctie weergegeven in een (x,y)-assenstelsel

Lopende sinusoidale golven worden vaak gegenereerd in laboratoriumomgevingen, simulaties en praktische toepassingen zoals golfgoten. Deze golven spelen ook een belangrijke rol in diverse wetenschappelijke en technologische toepassingen, waaronder akoestiek, elektromagnetisme en communicatiesystemen. Het creëren van lopende sinusoidale golven is essentieel voor nauwkeurige meetresultaten.

CONSTANTE GOLVEN

Tijdens de metingen moeten de golven constant blijven. Daarom leek het ons het best om hier een computer voor te gebruiken, die kan tot op de milliseconde nauwkeurig werken. We hebben er voor gekozen om onze golfgenerator met een Arduino te besturen. Een Arduino is een open-source, programmeerbare microcontroller die veel wordt gebruikt in elektronische projecten en prototyping. Het is een apparaat met tal van toepassingen, waaronder het aansturen van sensoren, motoren en in ons geval servo's. Servo's zijn een specifiek type motor die nauwkeurige controle over de rotatiehoek biedt. Dit zorgt ervoor dat we de golfgenerator met een vastgestelde frequentie en hoek konden laten bewegen, wat vervolgens voor constante sinusoidale golven zorgde.



Figuur 33: Schematische weergave van onze Arduino opstelling

```

#include <Servo.h>
Servo Servo1;
Servo Servo2;

int snelheidPin = A0;
int hoekPin = A1;
int servo1Pin = 9;
int servo2Pin = 10;

int richting = 1;
int pos_servo1 = 90;
int pos_servo2 = 90;

void setup()
{
  pinMode(snelheidPin, INPUT);
  pinMode(hoekPin, INPUT);
  pinMode(servo1Pin, OUTPUT);
  pinMode(servo2Pin, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);

  Servo1.attach(servo1Pin);
  Servo2.attach(servo2Pin);

  delay(2000);
}

void loop()
{
  int snelheid = analogRead(snelheidPin);
  int hoek = analogRead(hoekPin);
  snelheid = map(snelheid, 0, 1023, 10, 40);
  hoek = map(hoek, 0, 1023, 0, 180);

  pos_servo1 = pos_servo1 + richting;
  pos_servo2 = pos_servo2 - richting;

  if(richting == 1 && pos_servo1 >= 90+hoek/2)
  {
    richting = -1;
    return;
  }

  if(richting == -1 && pos_servo1 <= 90-hoek/2)
  {
    richting = 1;
    return;
  }

  Servo1.write(pos_servo1);
  Servo2.write(pos_servo2);
  delay(snelheid);
}

```


FREQUENTIE EN AMPLITUDE AANPASSEN

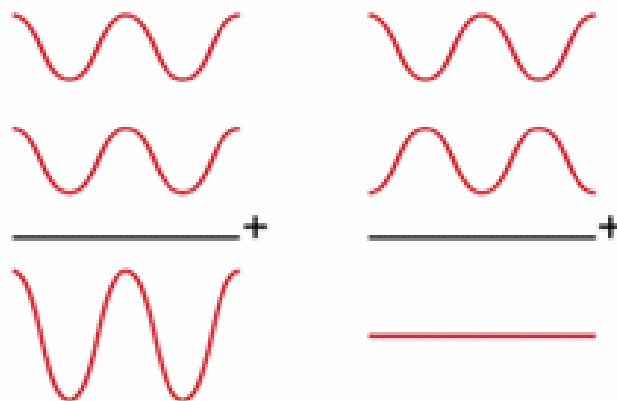
De manier waarop voorwerpen op golven reageren hangt af van de amplitude en frequentie van deze golven. De juiste (of eigenlijk de verkeerde) golf kan veel schade toebrengen, denk maar aan het eerdergenoemde Tacoma Narrows incident. Daarom vonden wij het van belang dat we de impact van golven met verschillende amplitudes en frequenties op ons schaalmodel konden testen. Dit was eenvoudig te realiseren met de Arduino. Met twee potentiometers aangesloten op de Arduino is het mogelijk om de draaihoek en de draaisnelheid van de servo's aan te passen. Het aanpassen van de draaihoek zal er voor zorgen dat de amplitude van de golven hoger of lager wordt. De draaisnelheid aanpassen zal er voor zorgen dat de frequentie van de golven veranderd. Op deze manier kunnen we de reactie van ons schaalmodel op verschillende soorten sinusgolven testen, wat ons een goed inzicht zal geven over wat er in het echt zal gebeuren.

INTERFERENTIE VOORKOMEN

Wat ook belangrijk is om in acht te nemen in de opstelling is dat de golven niet terug moeten kaatsen via de achterwand, dit zal namelijk voor interferentie zorgen. Omdat dit niet gebeurt in de zee, willen wij dit voorkomen om een zo realistisch mogelijke simulatie te krijgen. Je hebt twee soorten interferentie, namelijk:

- Constructieve interferentie
- Destructieve interferentie

Constructieve interferentie houdt eigenlijk in dat twee golven die elkaar kruisen, resulteren in een versterking van de golf. Destructieve interferentie is exact het tegenovergestelde, twee golven die elkaar kruisen resulteren in de verzwakking of zelfs tot de opheffing van een golf. Hoe we deze interferentie voorkomen hebben, kunt u vinden onder het kopje "Absorbeerder".



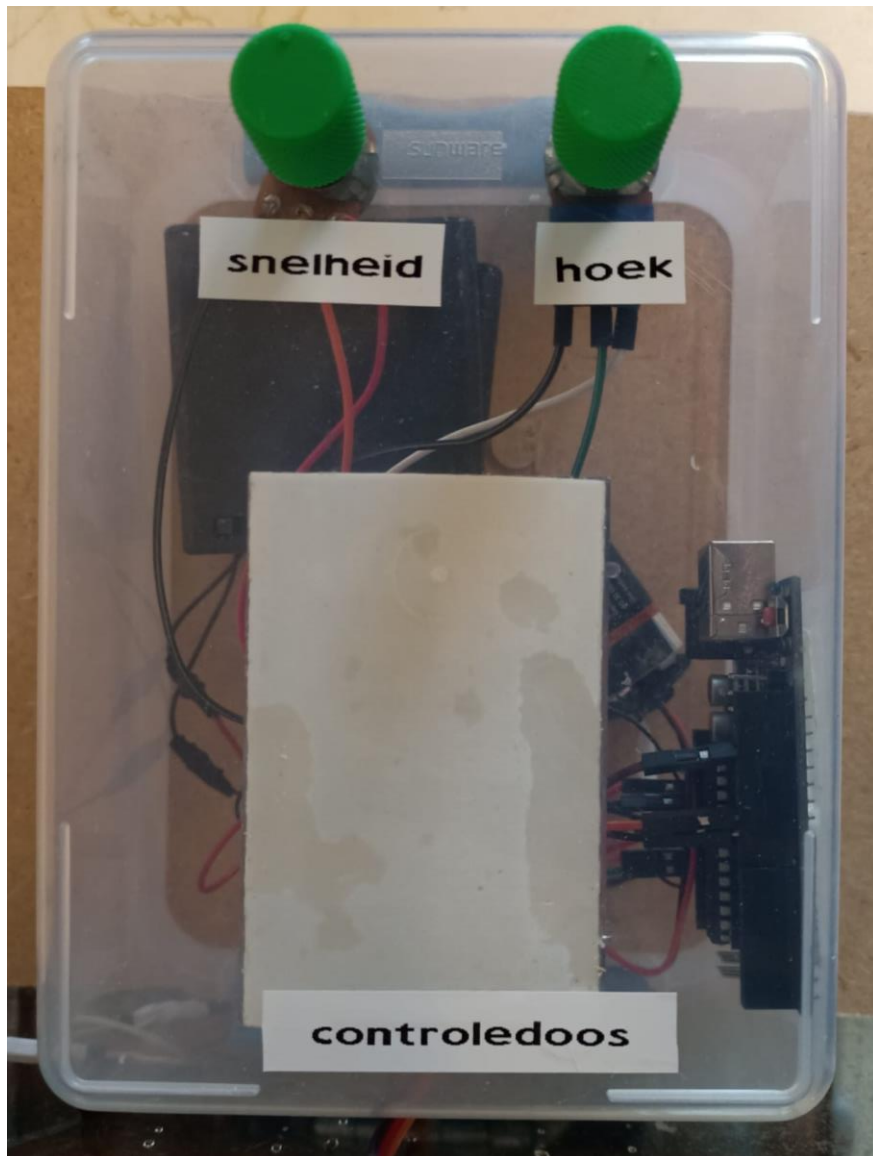
Figuur 35: Weergave van constructieve interferentie (links) en destructieve interferentie (rechts)

STERKTE VAN AANDRIJVINGSMEECHANISME

Om al het water te verplaatsten, moesten de servo's die wij gebruikten sterk genoeg zijn. We hadden dit allemaal kunnen berekenen, maar we hebben er voor gekozen om sterkere servo's aan te schaffen. Uiteindelijk was het misschien overbodig, maar op deze manier waren we er zeker van dat de servo's niet het probleem zouden zijn. Ook brachten deze servo's een ander immens voordeel met zich mee, hier gaan we op het volgende kopje verder op in.

WATERBESTENDIGHEID

Omdat een Arduino opstelling bestaat uit allemaal onbeschermd draden, was het van cruciaal belang dat deze niet nat werd. Om dit te voorkomen hebben we de Arduino in een plastic container bevestigd en deze vervolgens op de kop op tafel gezet. Dit zorgde ervoor dat de Arduino opstelling volledig beschermd was tegen water. De potentiometers moesten wel boven op de container bevestigd worden om deze te kunnen bereiken. Het enorme voordeel van de servo's die we hadden aangeschaft was de waterdichtheid. Deze eigenschap was onmisbaar, omdat er een grote kans was dat de servo's nat zouden worden.



Figuur 36: De controledoos waar de Arduino in zit. Ook bevat de doos potentiometers voor de draaisnelheid (links) en de draaihoek (rechts)

DE GOOT

De goot van een golfgoot moet aan een aantal belangrijke eisen voldoen:

- De golven die door de golfgenerator gecreëerd worden, moeten beperkt zijn tot een tweedimensionale ruimte
- Het schaalmodel mag niet de mogelijkheid hebben om langzaam weg te dobberen
- Het water mag niet over de randen stromen

Om dit te realiseren hebben we voor een aantal dingen gekozen, namelijk:

AQUARIUM

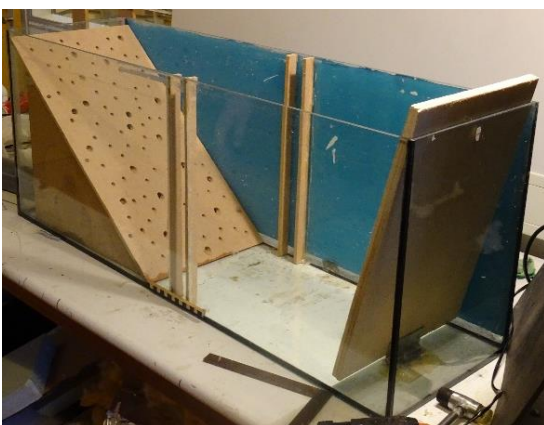
Voor dit experiment hadden we een oud aquarium tot onze beschikking, dezelfde uit ons eerste experiment. Dit aquarium was erg geschikt voor ons golfexperiment vanwege de afmetingen: 39,2 cm hoog, 28,5 cm breed en 98,5 cm lang. Dankzij de grote lengte hadden we genoeg ruimte om een plaat hout te monteren voor het creëren van golven. Deze plaat hout kunt u zien aan de rechterkant van het aquarium in figuur A. Bovendien kunt u zien dat de achterzijde bedekt is met een laag blauwe verf. Dit hebben we uit voorzorg gedaan, omdat het schaalmodel van de tunnel wit zou worden. Om contrast te creëren moesten we de achterzijde een kleur geven. We hebben gekozen voor blauw, omdat dit een goed contrast vormt met wit en het bruine hout. Bovendien is het geen donkere kleur en dit is belangrijk voor een goed video-opname met onze camera.

ZIJRAILS

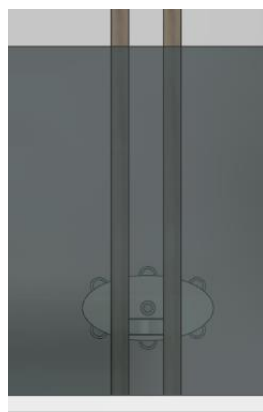
Tussen de absorbeerder en de houten plank aan de rechter kant is een zijrail aangebracht. Deze is ook schematisch weergegeven in figuur B. De zijrail bestaat uit vier houten latjes op zo'n manier dat het tunnelsegment hier tussen blijft. Hierdoor drijft de tunnel niet langzaam weg tijdens het uitvoeren van het experiment.

GOLFOPVANGER

Naast de absorbeerder, zijrails en golfplank zat er aan het uiteinde van de absorbeerder ook nog een golfopvanger, deze is te zien in figuur C. Deze golfopvanger hebben we gemaakt door een Pvc-buis open te maken, te verhitten en te buigen tot de juiste vorm. De golfopvanger voorkomt dat de golven via de absorbeerder aan het einde van het aquarium over de rand slaan, dit zorgt er voor dat alles droog blijft.



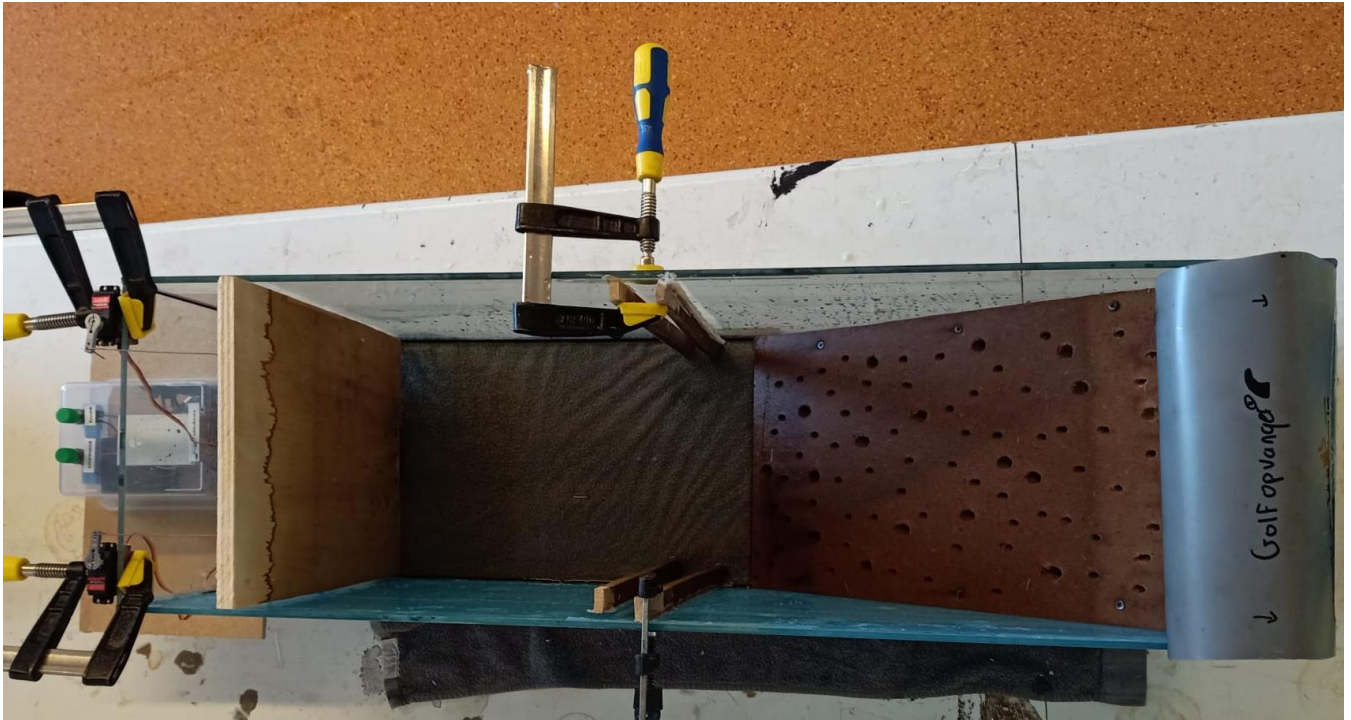
Figuur A: Aquarium nog niet af



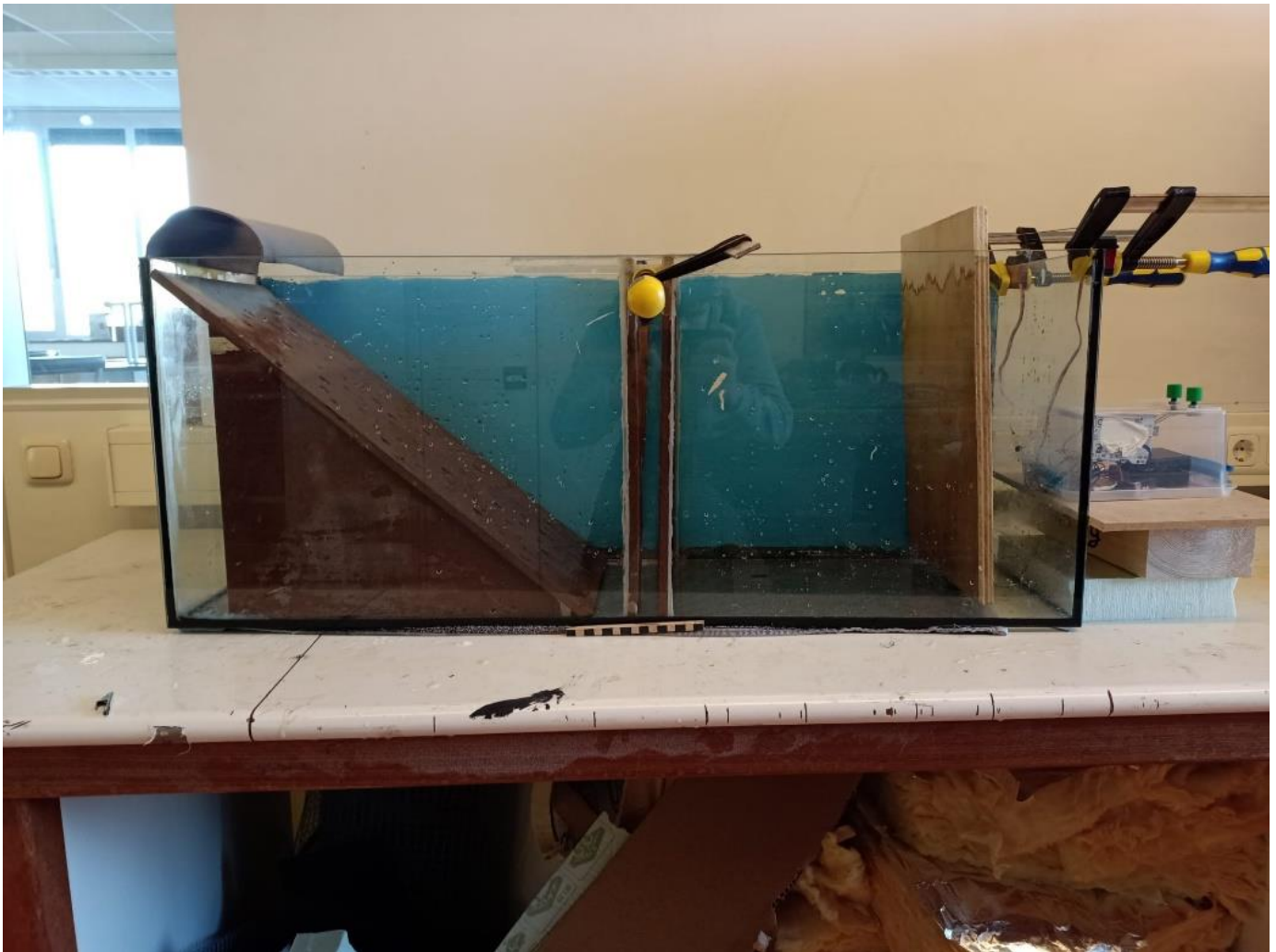
Figuur B: Zijrails in Fusion360



Figuur C: Foto van golfopvanger



Figuur 37: De opstelling bekeken vanaf de bovenkant



Figuur 38: De opstelling bekeken vanaf de zijkant

DE ABSORBEERDER

Om de eerdergenoemde interferentie te voorkomen moet er op het einde van de golfgoot een absorbeerder geplaatst worden. Deze absorbeerder heft, voordat de golven de achterwand bereikt hebben, de golven op. Dit zorgt ervoor dat de golven niet via de achterwand kunnen weerkaatsen, dit zorgt ervoor dat er geen interferentie optreedt in de golfgoot. Er zijn veel verschillende manieren hoe je een absorbeerder kunt maken. Wij hebben er voor gekozen om een "Sloping-wall-type wave absorber"^{XXIX} te maken. Dit is een schans die aan het eind van de goot geplaatst wordt. De functie van de schans is vergelijkbaar met die van een strand, wat voor een nog realistischere simulering van de zee zorgt. Ook hebben we enkele gaten in de schans geboord, we hoopten op deze manier het zand op het strand na te bootsen. Dit zou voor een nog realistischere simulatie vormen. We hebben de hoek en lengte van de schans berekent aan de hand van de volgende formules:

$$\alpha = \tan\left(\frac{39}{x}\right)$$

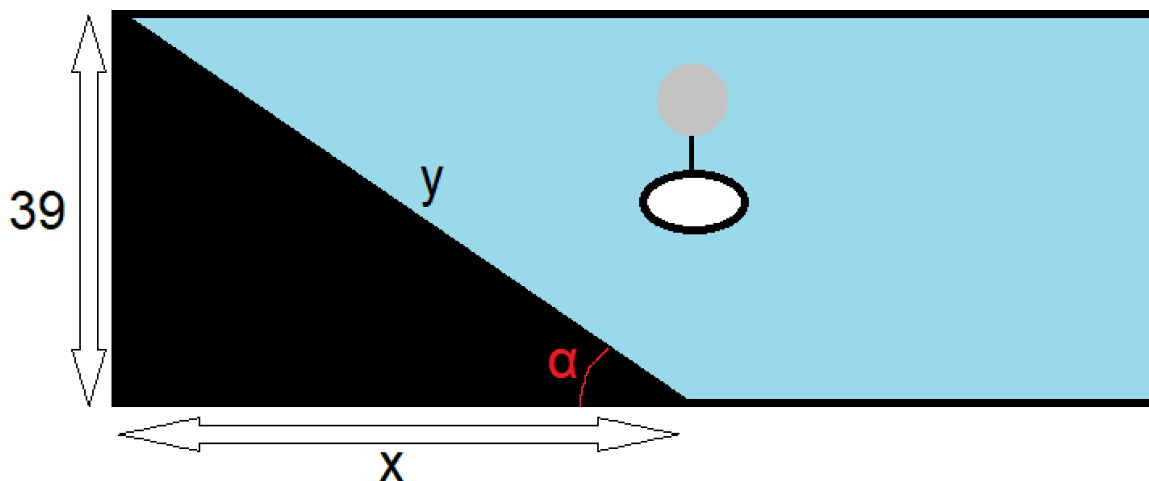
x = afstand van de wand van het aquarium tot ons schaalmodel (m)

α = Hoek van de schans in graden (°)

$$y = \sqrt{x^2 + 39^2}$$

x = afstand van de wand van het aquarium tot ons schaalmodel (m)

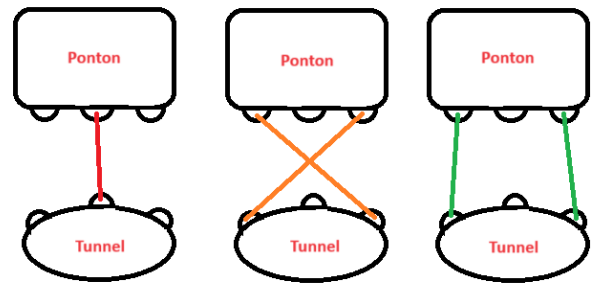
y = lengte van de schans (m)



Figuur 39: Illustratie van de verschillende afmetingen en variabelen van de schans

HET SCHAALMODEL

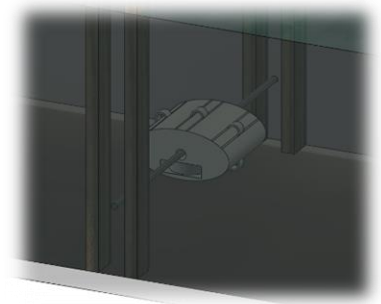
Voor het golfexperimenter wilden we verschillende bevestigingsmethodes testen. Dit betekende niet alleen verschillende materialen, maar ook verschillende manieren van bevestiging. Dit laatste is te zien in Figuur D. Deze tunnel hoefde niet erg groot te zijn, daarom leek het ons ideaal om hem te ontwerpen in Fusion360 en vervolgens te printen met een 3D-printer van school. We hebben de volgende eisen opgesteld voor het ontwerpen:



Figuur D: Schematische weergave verschillende bevestigingsmethodes

- De basisvorm (ovaalcilinder) heeft de afmetingen: 75mm x 32,5mm x 62,5mm
- Zes bevestigingspunten: drie aan bovenkant en drie aan onderkant.
- Rond gat (\varnothing 8,25mm) door het midden van de tunnel om een stok erdoorheen te bevestigen.
- Vierkant gat aan de onderkant door de hele tunnel heen met een dwarsdoorsnede van 30mm x 8,5mm. In dit gat kunnen twee gewichtjes van elk 50 gram geladen worden. Dit om ervoor te zorgen dat de tunnel kan zinken.
- De tunnel hoeft niet hol te zijn, het is immers een schaalmodel en er hoeven geen auto's doorheen te rijden.

Na deze eisen op een rijtje te hebben gezet konden we aan het werk. Na een beetje werk hadden we het volgende ontworpen in Fusion360. Zie figuur E.

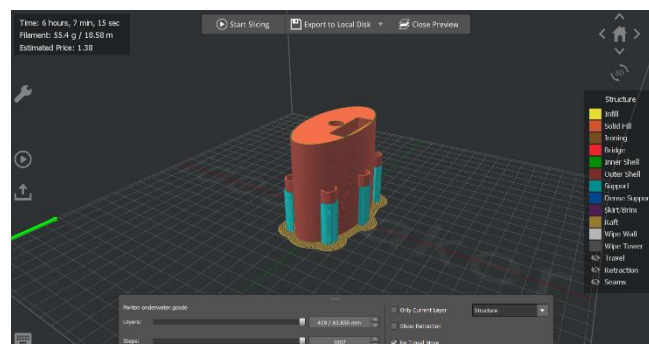


Figuur E: Tunnel in aquarium

We hebben ervoor gekozen om zes haakjes te maken, zodat de tunnel ook omgedraaid kan worden mocht hij onstabiel zijn in water.

Het model in Fusion360 was nu klaar en de volgende stap was het slicen van het model. Bij het slicen zet je het model in een speciaal slice-programma, wij hebben hiervoor IdeaMaker gebruikt, bedoeld voor Raise3D printers. Een slice-programma zet een 3D-bestand, zoals .stl of .3mf om in instructies voor een 3D-printer. Deze instructie-bestanden heten .gcode bestanden. In het programma ziet het eruit als in figuur F.

Nu het gesliceed was in IdeaMaker was het eenvoudig om te printen. Het geprinte schaalmodel zag er kwalitatief goed uit en hebben we vervolgens ook goed kunnen gebruiken tijdens het experiment.



Figuur F: Schaalmodel tunnel in IdeaMaker slicer

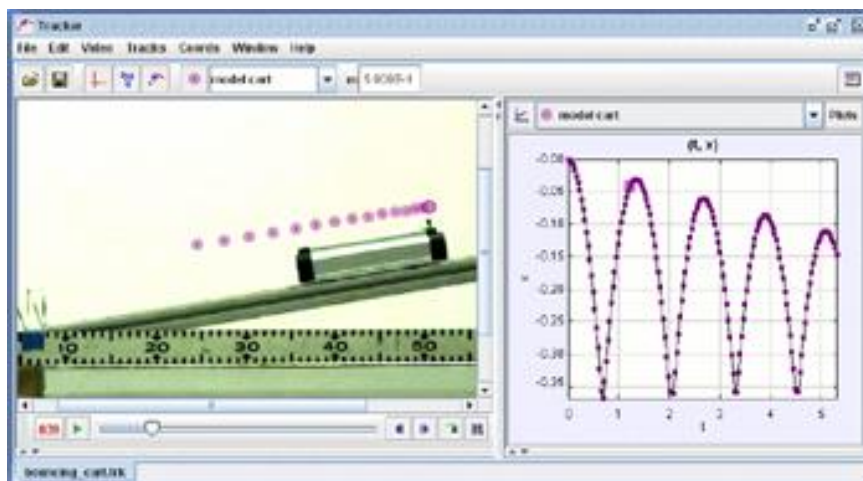
DE PONTONS

Een deel van ons schaalmodel is de ponton die boven water drijft. We hebben gekozen om bakje D uit het Archimedes-experiment te gebruiken om de volgende redenen:

- Hij had de meest accurate meetresultaten in de Archimedes-experiment
- Hij had een grote opwaartse kracht
- Hij leek heel erg op een ponton

MEETAPPARATUUR

Een belangrijk deel van ons golfexperiment is de meetapparatuur. Het is namelijk fijn om een opstelling te hebben waar de interactie tussen zeegolven en een tunnelsegment realistisch nabootst kunnen worden, maar om hier wat mee te kunnen zul je gegevens moeten meten. Wij hebben er voor gekozen om de bewegingen van het schaalmodel op te nemen met een camera vanaf de zijkant. We namen steeds korte videofragmenten van ongeveer tien seconden op. Deze videofragmenten importeerden we na de tijd in een programma genaamd “Tracker^{XXX}”, gemaakt door Open Source Physics. In dit programma kun je per videoframe een punt zetten waar het object dat je wilt meten zich bevindt, hierdoor krijg je een tabel met gegevens zoals de x-coördinaten, y-coördinaten en de tijd. Deze gegevens kun je in een grafiek zetten, wat een duidelijke visuele weergave geeft van de bewegingen die het object gemaakt heeft. Het programma werkte goed, waardoor we mooie resultaten kregen. Het programma gaf ons ook de mogelijkheid om onze metingen te transformeren in Fourierdiagrammen, waar we later in dit verslag op terug komen.



Figuur 40: Demo van Tracker

UITVOERING

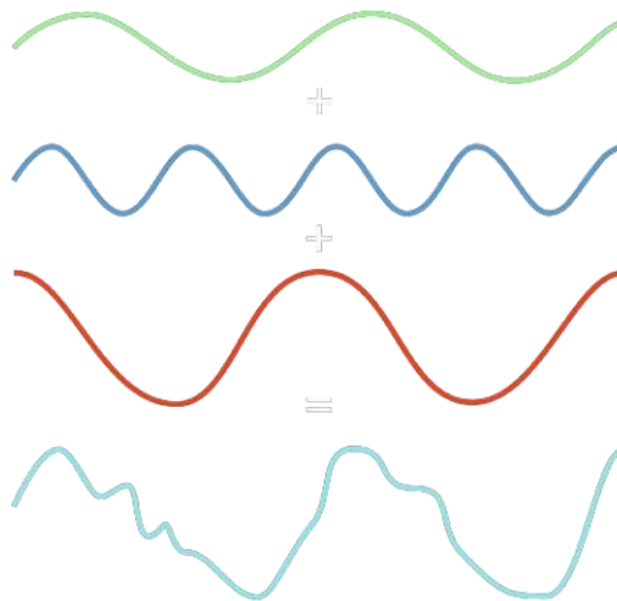
We hebben ervoor gekozen om de invloed van drie verschillende soorten golven op ons schaalmodel te testen, namelijk:

- Een kleine golf, met een draaihoek van 37° en de maximale draaisnelheid
- Een medium golf, met een draaihoek van 80° en de maximale draaisnelheid
- Een grote golf, met een draaihoek van 147° en de maximale draaisnelheid

Wat misschien opvalt is dat we de draaisnelheid van de verschillende golven niet aangepast hebben. Het leek ons beter om dit aan een verder onderzoek over te laten, omdat we al 66 verschillende metingen zouden hebben, die veel tijd in beslag zouden nemen. De gekozen draaihoeken hebben geen achterliggende theoretische reden. We hebben de golfgenerator op verschillende hoeken gezet en bij de gekozen draaihoeken vertoonde het schaalmodel verschillend gedrag op de golven. We hebben van de ponton en de tunnel afzonderlijk de beweging in Tracker gevolgd, waardoor we de verschillen in beweging tussen de twee konden bekijken. Vervolgens hebben we een (x,y)-grafiek, (t,y)-grafiek, (t,x)-grafiek, (t,y) naar Fourierdiagram en een (t,x) naar Fourierdiagram geplot. Wat een Fourierdiagram inhoudt leggen we bij het volgende kopje uit.

FOURIERDIAGRAMMEN

Stel je voor dat je een geluidstechnicus bent die een nieuw muzieknummer aan het mixen is voor een band. Je wilt dan dat de instrumenten samen met elkaar in harmonie klinken. Om deze instrumenten af te stemmen moet je de verschillende frequentiecomponenten van de instrumenten in het nummer kunnen zien, zodat je deze kan afstemmen. Het geluid dat instrumenten maken bestaat namelijk in werkelijkheid uit allemaal sinusgolven, samengevoegd tot één grote golf. Maar hoe splits je een golf op in zijn sinus-componenten? Daar had wetenschapper J. Fourier een oplossing voor, namelijk de ‘Fouriertransformatie’



Figuur 41: Drie sinusgolven die samen één golf vormen

FOURIERTRANSFORMATIES VOOR DUMMIES

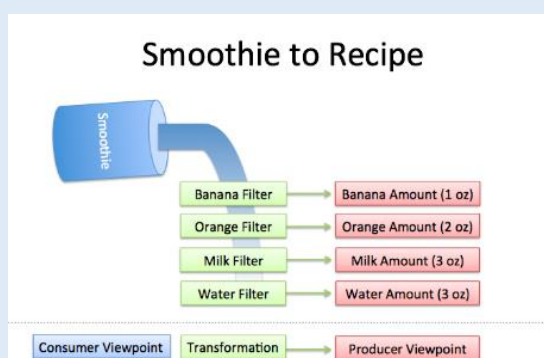
Wat een Fouriertransformatie nou eigenlijk doet, uitgelegd met een voorbeeld in simpel Nederlands, is: Je hebt een smoothie, en met de Fouriertransformatie vind je de ingrediënten van je smoothie¹. Dit doet de Fouriertransformatie door te zoeken naar de verschillende ingrediënten. Stel je voor dat je een paar filters bij de hand hebt:

- Giet de smoothie door de "banaan" filter. Er wordt 100g aan bananen geëxtraheerd.
- Giet de smoothie door de "sinaasappel" filter. 200g aan sinaasappels.
- Giet de smoothie door de "melk" filter. 400g aan melk.

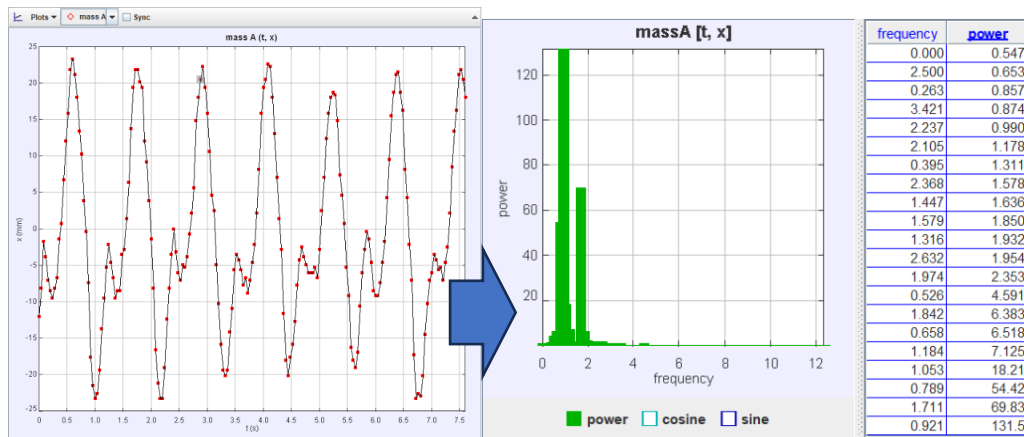
We kunnen de ingrediënten van het recept achterhalen door elk ingrediënt te filteren. Het recept dat je hiermee krijgt is je Fourierdiagram. Er zijn echter wel een paar eisen:

- Filters moeten onafhankelijk zijn. Het banaanfilter moet alleen bananen filteren, en niets anders. Het toevoegen van meer sinaasappels mag de bananenmeting nooit beïnvloeden.
- Het aantal filters moet compleet zijn. We zouden het echte recept niet krijgen als we een filter zouden weglaten. Onze verzameling filters moet elk mogelijk ingrediënt vangen.
- De ingrediënten moeten combineerbaar zijn. De ingrediënten, wanneer gescheiden en in willekeurige volgorde gecombineerd, moeten hetzelfde resultaat opleveren.

Bij een Fouriertransformatie neem je een tijdsdomeinsignaal en het zet je het om naar een frequentiedomein. Met andere woorden, het vertaalt een signaal van zijn originele vorm (de smoothie), gebaseerd op tijd, naar een representatie gebaseerd op frequenties (het recept).



Figuur 42: Een visuele weergave van het voorbeeld



Figuur 43: Een (t,x)-grafiek (links) en zijn Fourierdiagram (rechts)

In *figuur 43* is te zien dat de golf in de (t,x)-grafiek voornamelijk bestaat uit de sinusgolven met de frequenties: (0,921), (1,711) en (0,789). Rechts van de frequentie kun je zien hoe sterk deze sinusgolf voorkomt in de originele golf. Als we deze waarden in een grafische plotter zetten krijgen we de grafiek in *figuur 44*.

De opnieuw geconstrueerde grafiek lijkt al heel veel op de golf uit *figuur 43*, zelfs met maar drie van de vele sinusgolven uit het Fourierdiagram.

De formule van een Fouriertransformatie is:

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-iwt} dt$$

Wij zullen niet te veel ingaan op de precieze werking van deze formule, aangezien de formule uit allemaal complexe componenten bestaat, zoals irreële getallen, integralen en exponentiële functies. Als u graag meer wilt weten over dit onderwerp, dan raad ik een video van 3Blue1Brown^{XXXI} aan. In deze video legt hij de formule op een simpele en begrijpbare manier uit, met goede visuele voorbeelden.



Figuur 44: Golf die bestaat uit de meest voorkomende frequenties uit *figuur 43*

ONDERZOEKSVRAAG

Welke verbindingmethode geeft de minste trillingen/beweging van de ponton door aan de tunnel?

HYPOTHESE

Onze hypothese over de verschillende metingen is als volgt:

1. De tunnel die aan de ponton verbonden is met een staaf zal de meeste invloed onder vinden van de ponton.
2. De dubbele verbinding zal zorgen voor minder beweging in de x-as.
3. De X-veer zal de beste verbindingmethode zijn.

RESULTATEN

Omdat er in totaal 210 grafiekjes gemaakt zijn met de metingen, duiden we ze aan met een code, dit zal het hopelijk wat overzichtelijker maken. Hierbij een voorbeeld van een code:

(x,y) staaf1PK

- Soort grafiek: (x,y) , (t,y) , (t,x) , $(F(t,y))$, $(F(t,x))$
- De soort verbinding tussen de ponton en tunnel. In totaal zijn het er zeven:
 1. Staaf1 = Verbinding van een enkele stugge staaf
 2. Touw1 = Verbinding van een enkel touw
 3. VeerK1 = Verbinding van een enkele **korte** veer (met een kleinere veerconstante)
 4. VeerL1 = Verbinding van een enkele **lange** veer (met een grotere veerconstante)
 5. VeerK11 = Verbinding van twee **korte** veren parallel naast elkaar
 6. Touw11 = Verbinding van twee touwen parallel naast elkaar
 7. VeerKX = Verbinding van twee **korte** veren gekruist
- Dit stukje geeft aan of het om de ponton of tunnel en of het om de korte, medium of lange golf gaat. In de volgende tabel staat elke mogelijke combinatie:

	Ponton	Tunnel
Kleine golf	<i>PK</i>	<i>TK</i>
Medium golf	<i>PM</i>	<i>TM</i>
Grote golf	<i>PG</i>	<i>TG</i>

In het genoemde voorbeeld hierboven gaat het dus om de beweging van de ponton, onder de invloed van een kleine golf, weergegeven in een (x,y) grafiek.

We wilden de volgende verbindingen vergelijken met elkaar:

1. Enkele verbindingen (*Staaf1*, *Touw1*, *VeerK1* en *VeerL1*)
2. Parallel verbonden touwen (*Touw11*) met parallel verbonden korte veren (*VeerK11*)
3. Parallel verbonden korte veer (*VeerK11*) met kruislings verbonden korte veer (*VeerKX*)

Waar naar gekeken zal worden is hoeveel minder de van de tunnel beweegt ten opzichte van de ponton. Als de ponton heel erg veel trilt/beweegt, is het noodzakelijk voor de veiligheid dat de verbindingmethode dit zoveel mogelijk dempt zodat de tunnel minder trilt/beweegt.

1 – ENKELE VERBINDINGEN

(X,Y)-GRAFIEKEN

Allereerst vergelijken we de (x,y) -grafieken van de verschillende verbindingen met elkaar. De dingen die opvallen zijn:

- De staaf verwaarloost de beweging van de ponton het minst. Bij (x,y) staaf1TK, (x,y) staaf1TM en (x,y) staaf1TG is duidelijk te zien dat de tunnel in de y -richting evenveel meebeweegt als de ponton. Dit is in het echt uiteraard niet wenselijk. Ook beweegt hij bij (x,y) staaf1TM en (x,y) staaf1TG tussen de twee zijrails in de x -richting maximaal, dit is niet ideaal.
- Het touw lijkt heel erg op de staaf, maar bij (x,y) touw1TM is te zien dat de beweging in de x -richting veel minder is. Dit is waarschijnlijk omdat het touw buigbaar is.
- De grote veer verandert veel van de beweging in de x -richting bij (x,y) veerL1TM en (x,y) veerL1TG in beweging in de y -richting. Dit zou ideaal zijn als er bijvoorbeeld een boot tegen een van de pontons aanvaart, maar dit gebeurt uiteraard niet elke dag. Als elk van de verschillende segmenten van de tunnel in een andere fase zitten wanneer er sterke golven heersen, kan er schade ontstaan door een versterking van beweging in de y -richting. Dit is niet wenselijk.
- De kleine veer ziet er overduidelijk het beste uit. De kleine veer heeft namelijk bij (x,y) veerK1TK, (x,y) veer1TM en (x,y) veer1TG een vermindering van beweging in de x -richting én de y -as. Dit is wat je graag wilt van een verbinding: De ponton beweegt veel maar dat de tunnel hangt vrijwel stil.

(T,X)-GRAFIEKEN EN (T,Y)-GRAFIEKEN

De gegevens uit de (t,x) -grafieken en (t,y) -grafieken laat nog beter hetgeen wat geconcludeerd was uit de (x,y) grafieken zien.

- De staaf verwaarloost vrijwel geen van de beweging
- Het touw vangt in (t,x) touw1TM wat meer van de bewegingen in de x -richting op
- VeerL verwaarloost heel goed de bewegingen in de x -richting op in (t,x) veerL1TK, (t,x) veerL1TM en (t,x) veerL1TG maar versterkt de bewegingen in de y -richting in (t,y) veerL1TM en (t,y) veerL1TG.
- De kleine veer verzwakt de bewegingen in de x -richting én in de y -richting.

FOURIERDIAGRAMMEN

Met de Fourierdiagrammen kunnen we zien hoe goed de verschillende verbindingsmethoden de sinusgolven van bepaalde frequenties er uit filteren. Wat je wilt is dat de hoge pieken in het Fourierdiagram van de ponton niet of zwakker voorkomen in het Fourierdiagram van de tunnel. Er vallen een aantal dingen op:

- Kleine golven bestaan vaak uit een groot aantal sinusgolven. Dit komt hoogstwaarschijnlijk door onnauwkeurigheden in de meetapparatuur en te weinig ‘foto’s per seconde’ van de camera. Als er namelijk meer beeldpunten zijn, ontstaat er een vloeiendere grafiek en zullen de pieken in de Fourierdiagrammen duidelijker zijn.
- De staaf verwaarloost in $(F(t,y))$ staaf1TM en $(F(t,y))$ staaf1TG amper de golven. Ook behoudt hij in $(F(t,y))$ staaf1TG exact dezelfde pieken waarvan de intensiteit ook niet ver van

elkaar liggen. Wel verzwakt hij de pieken in $(F(t,x))\text{staaf1TM}$ en $(F(t,x))\text{staaf1TG}$, in $(F(t,y))\text{staaf1TG}$ zelfs met een factor 45. Dit is goed terug te zien in $(t,y)\text{staaf1TG}$.

- Het touw versterkt de pieken juist in $(F(t,y))\text{touw1TM}$ en $(F(t,y))\text{touw1TG}$. Dit komt doordat het touw de bewegingen in de y-richting vloeiender maakt, wat duidelijk te zien is in $(t,y)\text{touw1TG}$. Ook verzwakt het de pieken in de (t,x) -Fourierdiagrammen, in $(F(t,x))\text{Touw1TG}$ zelfs met een factor 18.
- De lange veer verminderd de pieken in $(F(t,y))\text{veerL1TK}$ maar versterkt ze juist bij $(F(t,y))\text{veerL1TM}$ en $(F(t,y))\text{veerL1TG}$. Dit is vooral goed te zien bij $(F(t,y))\text{veerL1TG}$, waar hij de piek met een factor 10 verhoogd. Dit is ook goed terug te zien in $(t,y)\text{veerL1TG}$, de tunnel beweegt meer en vloeiender in de y-richting. Wat te zien is in $(F(t,x))\text{touw1TM}$ is dat het touw de enkele sterke frequentie opsplijst in een aantal kleinere. Dit is wenselijk in een Submerged Floating Tunnel.
- De korte veer verminderd de pieken in $(F(t,y))\text{veerK1TK}$ en $(F(t,y))\text{veerK1TM}$, in $(F(t,y))\text{veerK1TM}$ zelfs met een factor 40, maar versterkt de piek in $(F(t,y))\text{veerK1TG}$ een beetje. Dit is logisch te beredeneren met $(t,y)\text{veerK1TG}$, omdat de golf een stuk vloeiender wordt. De korte veer behoudt in $(F(t,x))\text{veerK1TK}$ exact hetzelfde Fourierdiagram, maar dan met een lagere intensiteit. Wel verandert hij de frequentiepiek in $(F(t,x))\text{veerK1TM}$ in een andere frequentie, ook zwakt hij deze behoorlijk af. In $(F(t,x))\text{veerK1TG}$ heeft de korte veer de piek met een factor 40 verlaagd, wat uiteraard zeer wenselijk is. Dit is duidelijk terug te zien in $(t,x)\text{veerK1TG}$, hij maakt de grafiek uit $(F(t,x))\text{veerK1PG}$ namelijk een stuk vloeiender.

CONCLUSIE RESULTATEN VERGELIJKING 1

Wat we hieruit kunnen concluderen, is dat de korte veer de beste enkele verbindingsmethode is. De lange veer is wel goed in het verwaarlozen van bewegingen in de x-richting, maar zet deze vervolgens om in bewegingen in de y-richting, wat niet wenselijk is. Het touw en de staaf bewegen veel mee met de ponton, daarom zijn deze twee de slechtste verbindingen.

2 – PARALLEL VERBONDEN TOUW MET PARALLEL VERBONDEN VEER

(X,Y)-GRAFIEKEN

Allereerst vergelijken we de (x,y) -grafieken van de verschillende verbindingen met elkaar. De dingen die opvallen zijn:

- Als (x,y) veerK11TK met (x,y) veerK11PK vergeleken wordt, is te zien dat de parallel verbonden korte veer ervoor zorgt dat de beweging in de y -richting verminderd wordt, terwijl dit in (x,y) touw11TK en (x,y) touw11PK veel minder is. Ook is te zien dat bij (x,y) touw11PK de ponton veel meer in de x -richting beweegt vergeleken met (x,y) veerK11PK.
- Bij (x,y) veerK11TM met (x,y) veerK11PM is heel goed te zien dat de kleine veer de bewegingen in de x -richting en in de y -richting allebei aanzienlijk verminderd. Dit is al helemaal duidelijk als het vergeleken wordt met (x,y) touw11TM en (x,y) touw11PM, want de bewegingen in de y -richting is ongeveer vijf keer zo veel. Dit laat dus zien dat een parallel verbonden korte veer veel beter is dan parallel verbonden touwen bij medium golven.
- Wat opvalt bij (x,y) veerK11TG is dat de beweging in de y -richting amper gelimiteerd wordt. Als het vergeleken wordt met (x,y) touw11TG is te zien dat ze hier allebei ongeveer dezelfde amplitude bewegingen in de y -richting hebben. Wat wel opvalt is dat de bewegingen van de ponton in (x,y) veerK11TG een kwartslag gedraaid lijkt met de bewegingen (x,y) veerK11TG, de beweging in de x -richting is omgezet naar beweging in de y -richting. Hier presteren de parallel verbonden touwen beter.

(T,X)-GRAFIEKEN EN (T,Y)-GRAFIEKEN

In de (t,x) -grafieken en de (t,y) -grafieken is hetgeen dat geconcludeerd is uit de (x,y) -grafieken nog beter te zien:

- De parallel verbonden korte veren verminderen de bewegingen in de y -richting bij een korte en medium golf, maar versterken deze juist bij een lange golf. Dit is duidelijk te zien in (t,y) veerK11TK, (t,y) veerK11TM en (t,y) veerK11TG.
- De parallel verbonden touwen verminderen de bewegingen in de y -richting amper, wat te zien is in (t,y) touw11TK, (t,y) touw11TM en (t,y) touw11TG. Wat wel opvalt is dat deze verbinding de bewegingen van de tunnel in (t,y) touw11TG vloeiender maakt vergeleken met de ponton in (t,y) touw11PG.
- Wat heel duidelijk te zien is, is dat de parallel verbonden korte veren de beweging in de x -richting heel erg verminderen, dit is te zien in (t,x) veerK11TK, (t,x) veerK11TM en (t,x) veerK11TG. Hier is deze verbinding heel goed in.
- Het vorig genoemde punt telt ook voor de parallel verbonden touwen. In (t,x) touw11TK, (t,x) touw11TM en (t,x) touw11TG is deze vermindering te zien. Wat hier uit te concluderen valt is dat verbindingen die parallel verbonden zijn, heel goed zijn in het verminderen van bewegingen in de x -richting.

FOURIERDIAGRAMMEN

Met de Fourierdiagrammen kunnen we zien hoe goed de verschillende verbindingsmethoden de sinusgolven van bepaalde frequenties er uit filteren. Wat je wilt is dat de hoge pieken in het Fourierdiagram van de ponton niet of zwakker voorkomen in het Fourierdiagram van de tunnel. Er vallen een aantal dingen op:

- De parallel verbonden touwen en de parallel verbonden korte veren verminderen de sterkte van de pieken in $(F(t,y))_{\text{veerK11TK}}$, $(F(t,y))_{\text{touw11TK}}$. Wat opvalt is dat de korte veren in $(F(t,y))_{\text{veerK11TM}}$ de pieken verminderen, maar de touwen in $(F(t,y))_{\text{touw11TM}}$ versterken de pieken juist. De veren in $(F(t,y))_{\text{veerK11TG}}$ versterken echter juist de pieken met een factor zeven, dit is niet wenselijk. Ook versterken de touwen in $(F(t,y))_{\text{touw11TG}}$ de pieken, maar wel minder dan de veren.
- Beide van de verbindingen verzwakken de pieken in elk van de (t,x) -grafieken omgevormd naar Fourierdiagrammen heel erg, meestal met een factor rond de twaalf. Hier zijn de parallel verbonden verbindingen dus heel goed in.

CONCLUSIE RESULTATEN VERGELIJKING 2

Wat we hieruit kunnen concluderen is dat parallel verbonden verbindingen heel goed zijn in bewegingen in de x -richting te verminderen. Als we dan beide verbindingen met elkaar vergelijken is de korte veer beter, behalve bij een lange golf.

3 – KRUISLINGS VERBONDEN KORTE VEREN MET PARALLEL VERBONDEN KORTE VEREN

(X,Y)-GRAFIEKEN

Allereerst vergelijken we de (x,y) -grafieken van de verschillende verbindingen met elkaar. De dingen die opvallen zijn:

- De kruislings verbonden korte veren zijn erg vergelijkbaar met de parallel verbonden korte veren. Het grootste verschil tussen de twee is dat de kruislings verbonden korte veren beter zijn in het limiteren van de bewegingen in de y -richting bij korte en lange golven ten opzichte van de parallel verbonden korte veren. Dit is duidelijk te zien als $(x,y)_{\text{veerKXTK}}$ vergeleken wordt met $(x,y)_{\text{veerK11TK}}$ en als $(x,y)_{\text{veerKXTG}}$ vergeleken wordt met $(x,y)_{\text{veerK11TG}}$. Ook lijkt het er op dat, net zoals bij de parallel verbonden korte veren, de beweging van de tunnel in $(x,y)_{\text{veerKXTG}}$ een kwartslag gedraaid is vergeleken met de ponton in $(x,y)_{\text{veerKXPG}}$.

(T,X)-GRAFIEKEN EN (T,Y)-GRAFIEKEN

In de (t,x) -grafieken en de (t,y) -grafieken is hetgeen dat geconcludeerd is uit de (x,y) -grafieken nog beter te zien:

- Als de (t,y) -grafieken van de kruislings verbonden korte veer vergeleken wordt met de (t,y) -grafieken van de parallel verbonden veer is duidelijk te zien dat ze veel met elkaar overeenkomen. Het verschil is echter dat de amplitude van de kruislings verbonden veren kleiner is bij korte en lange golven, dan die van de parallel verbonden veren. Bij de medium golven is de amplitude hetzelfde.

- De (t,x) -grafieken van de kruislings verbonden korte veren vergeleken met de (t,y) -grafieken van de parallel verbonden korte veren lijken ook heel sterk op elkaar. Ook is de amplitude bij elk van de drie golfsterktes vrijwel identiek. Het enige dat opvalt is dat er bij (t,x) veerKXTM een golf met een periode van 4 seconden ontstaan lijkt te zijn, terwijl er bij (t,x) veerK11TM een golf met een periode van 8 seconden ontstaan lijkt te zijn.

FOURIERDIAGRAMMEN

Met de Fourierdiagrammen kunnen we zien hoe goed de verschillende verbindingsmethoden de sinusgolven van bepaalde frequenties er uit filteren. Wat je wilt is dat de hoge pieken in het Fourierdiagram van de ponton niet of zwakker voorkomen in het Fourierdiagram van de tunnel. Er vallen een aantal dingen op:

- De (t,y) -grafieken omgevormd naar Fourierdiagrammen van de kruislings verbonden korte veren en parallel verbonden korte veren lijken heel erg op elkaar. Het enige opvallende verschil is dat de kruislings verbonden korte veren de pieken in $(F(t,y))$ veerKXPG minder versterken dan de pieken in $(F(t,y))$ veerK11PG, hier zijn de kruislings verbonden korte veren dus beter in.
- De (t,x) -grafieken omgevormd naar Fourierdiagrammen van de kruislings verbonden korte veren en parallel verbonden korte veren lijken ook veel op elkaar. Beide verbindingen verzwakken de pieken met ongeveer dezelfde factor. Het enige dat opvalt is dat de parallel verbonden korte veren in $(F(t,x))$ veerK11PK dit wat beter doet dan de kruislings verbonden korte veren in $(F(t,x))$ veerKXPK

CONCLUSIE RESULTATEN VERGELIJKING 3

Wat we hieruit kunnen concluderen is dat de parallel verbonden en kruislings verbonden korte veren heel erg op elkaar lijken. De kruislings verbonden korte veren zijn echter meestal iets beter in het verminderen van de bewegingen.

CONCLUSIE

Wat we uit de verschillende vergelijkingen van de verbindingsmethoden kunnen concluderen is dat kruislings verbonden korte veren de beste verbindingsmethode is, deze verbinding verminderd namelijk de bewegingen in de x en y-richting het best.

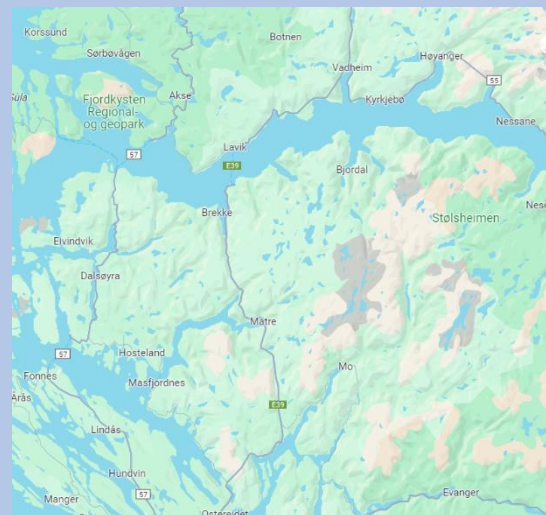
INDELING VAN DE SUBMERGED FLOATING TUNNEL

De Submerged Floating Tunnel zorgt voor een grote vooruitgang ten opzichte van de huidige infrastructuur rondom Lavik. Lavik wordt aangewezen door de ellips in *figuur 45*. Als je vanuit Bergen naar Åndalsnes wil, is de enige optie via Oslo. Door de Submerged Floating Tunnel aan te sluiten op het spoornetwerk^{XXXII} wordt de reistijd verkort. In *figuur 46* is te zien hoe de route E39 wordt onderbroken door de veerpond. Door deze te vervangen door de Submerged Floating Tunnel bespaart dit een lange wachttijd of een omweg via een andere snelweg. De Submerged Floating Tunnel moet het spoornetwerk en het wegennetwerk verbeteren.

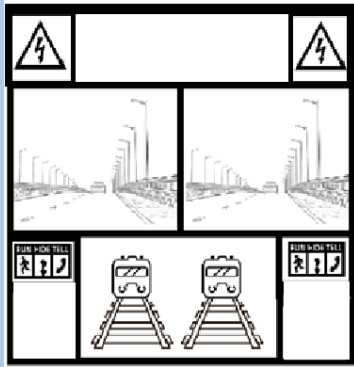
We hebben bij al onze 3d- modellen een concept gemaakt hoe de indeling eruit gaat zien, allereerst het vierkant in *figuur 47*. Het vierkant heeft de meest efficiënte indeling. Dit betekent dat de Submerged Floating Tunnel met deze vorm geen ongebruikte ruimtes bevat. Het vierkant bestaat uit twee lagen. Op de bovenste laag zijn er vier losse tunnels geplaatst. De rechter twee tunnels voor het verkeer richting Lavik, de linker twee tunnels voor het verkeer richting Opedal. De gescheiden rijstroken voorkomen onveilige situaties bij ongevallen. Bij een ongeval staat er één rijstrook dicht. De rijstrook in de andere tunnelgang kan ongestoord doorgaan. Daarnaast zijn er verschillende mogelijkheden om de tunnel te ontvluchten. Aan beide kanten van de rijstroken zijn er nooduitgangen, telefoons en blusapparaten te vinden. Bovendien kunnen er zich geen problemen voordoen met in- en uitvoegen. Op de onderste laag zijn de noodgangen te vinden die verbonden zijn met de rijstroken in de Submerged Floating Tunnel. Tussen beide noodgangen ligt een dubbelspoor. Boven de rijstroken liggen de elektriciteitskabels, water- en gasleidingen, data-kabels en alle overige communicatiemiddelen.



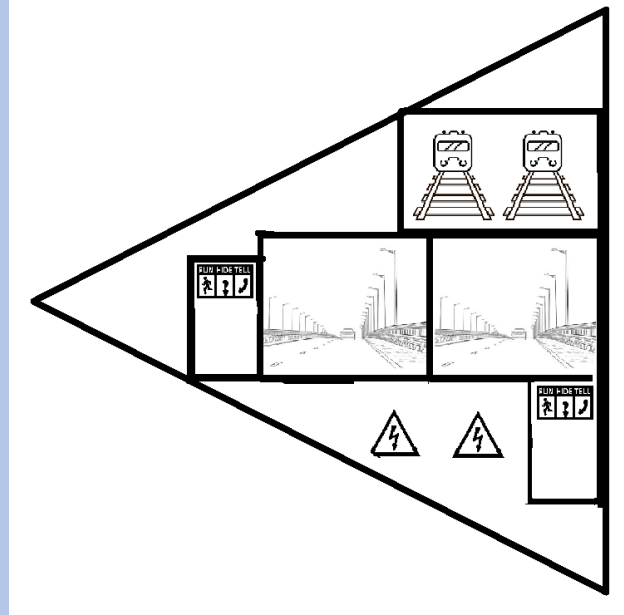
Figuur 45: Spoorkaart van Noorwegen



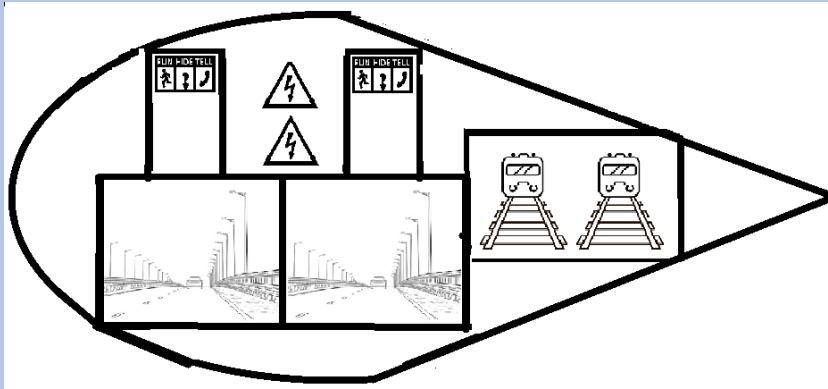
Figuur 46: Wegenkaart van het gebied rond Lavik



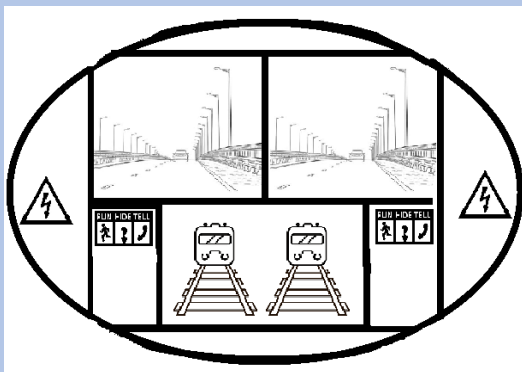
Figuur 47: Submerged floating tunnel als vierkant



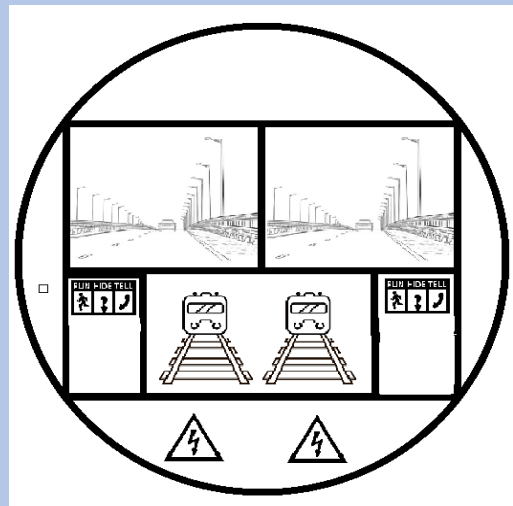
Figuur 48: Submerged floating tunnel als driehoek



Figuur 49: Submerged Floating Tunnel als vleugel



Figuur 51: Submerged Floating Tunnel als ellips.



Figuur 50: Submerged Floating Tunnel als cilinder.

In de figuren 48-51 zijn lege ruimtes te zien. Deze lege ruimtes zorgen voor een groter frontaal oppervlakte, maar deze vormen hebben wel een lagere C_d -waarde en hierdoor minder weerstand. Het vierkant is wel efficiënt qua indeling. Maar op het gebied van de C_d -waardes is het een slechte keuze. Het vierkant valt dus af. De driehoek heeft een lagere C_d -waarde. In *figuur 48* is te zien dat de wegen en het spoor zich aan de rechterkant van de driehoek bevinden. Hierdoor liggen alle krachten niet op het zwaartepunt en wordt hij onstabiel. Daarom is de driehoek in *figuur 48* geen optie. In *figuur 49* is de vleugel weergegeven. Door de ongelijke vorm zal deze niet stabiel in het water liggen en daarmee valt de vleugel ook af. De indeling van de cilinder in *figuur 50* moet worden verbeterd om het zwaartepunt zo diep mogelijk te leggen. Dit kan door de verplaatsing van de rijstroken naar de onderste laag. Hierdoor blijft de cilinder stabiel in het water liggen. Dit is af te leiden uit het stabiliteitsprincipe^{xxxiii}. Hoe verder G onder B ligt, hoe stabiel het voorwerp.

$$G > B$$

G is de verticale positie van het zwaartepunt van drijvende voorwerp.

B is het opwaartse drijfvermogen dat wordt veroorzaakt door het water.

De cilinder heeft een relatief lage C_d -waarde. Daarom is de cilinder een goede optie voor de vorm van de Submerged Floating Tunnel. In *figuur 51* liggen het spoor en de rijstroken diep en in het midden van de ellips. De kabels en dergelijke liggen aan de zijkant. Dit zorgt voor een optimale stabiliteit in het water. Volgens het tweede experiment heeft de ellips de laagste C_d -waarde. De ellips kan verlengd worden in de breedte zonder dat de hoogte daardoor toeneemt. Het frontaal oppervlak verandert niet. De cilinder kan eveneens verlengd worden. De straal neemt hierdoor toe, met als gevolg dat het frontaal oppervlak ook groter wordt. Dit betekent dat de ellips met hetzelfde ruimtegebruik een lagere weerstand heeft, dus is de ellips, zoals in *figuur 51*, de beste vorm voor een Submerged Floating Tunnel.

SCHAALPROBLEMEN

Zoals eerder in dit verslag beschreven hebben we bij het tweede en derde experiment gebruik gemaakt van een schaalmodel. Dit is echter niet zonder risico's. Door gebruik te maken van een schaalmodel kunnen de meetwaarden significant anders zijn dan in de werkelijke situatie. Dit heeft te maken met de verhoudingen. Om dit uit te leggen, maken we gebruik van een voorbeeld van een vierkant blokje van 2 meter bij 2 meter bij 2 meter. Er van uitgaande dat dit een schaalmodel is met een schaal van 1:2 betekent dit dat de afmetingen van het werkelijke blokje 4 meter bij 4 meter bij 4 meter bedraagt.

Hieronder ziet u uitgewerkt hoe deze lengtes zich tot elkaar verhouden.

Naam:	Eenheid:	Model:	Werkelijkheid
Lengte	m	2	4
Oppervlakte	m ²	4	16
Volume	m ³	8	64

Het blijkt dat alleen de lengte (m) voldoet aan de schaalfactor van 1:2. De omrekeningsfactor van het oppervlakte (m²) en het volume (m³) wijkt echter af van de schaalfactor. Dit komt omdat de schaalfactor in deze formules in het kwadraat of zelfs tot de macht 3 staat. De oppervlakte wordt dus $2^2 = 4$ keer zo groot als het model en het volume wordt $2^3 = 8$ keer zo groot als het model. In een onderzoek over schaalproblemen bij het besturen van supertankers^{xxxiv} staat niet voor niets in de conclusie: 'Manoeuvree-experimenten in schaalmodellen kunnen tot bedrieglijke resultaten leiden.'

Toch zijn er enkele belangrijke redenen om te kiezen voor een schaalmodel. Deze redenen worden duidelijk weergegeven in paragraaf 3.1 van een onderzoek naar modellering van rioolstelsels^{xxxv}. Een schaalverhouding van 1:1 heeft namelijk de volgende nadelen:

- Een schaalverhouding van 1:1 heeft veel ruimte nodig
- Onhandelbaarheid van elementen
- Relatief hoge kosten

Deze drie redenen zijn goed toepasbaar op de Submerged Floating Tunnel. Een SFT op ware grootte zou namelijk enorm veel ruimte innemen. Verder zou het model zo groot zijn, dat er lastig mee om te gaan is. Ten slotte zou dit model natuurlijk enorm veel geld kosten. Daarom is het gebruik van schaalmodellen, naast het gebruik van veel andere modellen, een verstandige keuze.

Bij het maken van een schaalmodel is het erg handig om vooraf duidelijk te hebben welke meetgegevens je wilt verzamelen, zodat jouw model hiervoor aan de eisen voldoen. Bij het tweede experiment hebben we vijf modellen gemaakt met een lengte van 75 cm en een hoogte van 9 cm. De frontale oppervlakte is dus bij alle vijf de modellen exact gelijk. Met een schaalmodel, waarbij gebruik wordt gemaakt van stroming, is er de kans dat er turbulentie optreedt. De formule van het Reynolds getal^{xxxvi} geeft ons hier meer duidelijkheid over:

$$Re = \frac{v * L}{\nu}$$

$Re = \text{Reynoldsgetal}$

$v = \text{Gemiddelde stroomsnelheid (ms}^{-2}\text{)}$

$L = \text{Karakteristieke lengte (m)}$

$\nu = \text{Kinematische viscositeit van het stromende medium m}^2\text{s}^{-1}$

Aangezien we te maken hebben gehad met een stroomsnelheid in de orde grootte van 10^0 en een lengte in de orde grootte van 10^0 en een viscositeit in de orde grootte van 10^{-3} komt het Reynoldsgetal uit in de orde grootte 10^3 . Wij hebben dus te maken gehad met een laminaire stroming. Doordat in een fjord de stroomsnelheid hoger ligt en de lengte groter is, zal in de werkelijke situatie ook turbulente stroming voorkomen. De invloed van deze stroming op de tunnelbuis zal nog verder onderzocht moeten worden.

Ons doel was om de weerstandscoefficiënt te bepalen. Deze coëfficiënt heeft geen eenheid en is hierdoor niet afhankelijk van het eerder genoemde schaalprobleem. De resultaten van dit experiment zijn hierdoor dus zeker toepasbaar in de praktijk.

Bij het derde experiment zijn de schaalproblemen erger. Door de gekozen afmetingen zijn er in het experiment golven aanwezig, die dezelfde hoogte hebben als de tunnelbuis. U zult begrijpen dat dit in de werkelijke situatie niet zal voorkomen. Dit betekent echter niet, dat de resultaten nutteloos zijn. Veel algemene conclusies bij dit experiment zijn zeer bruikbaar om een veilige tunnel te creëren. Ook de conclusie van het derde experiment is een mooi begin voor dieper inhoudelijk vervolgonderzoek. We hebben aangetoond dat het mogelijk is om met behulp van bijvoorbeeld een veer, de trilling die optreedt bij de ponton, te kunnen dempen voor de tunnelbuis. Dit is erg belangrijk voor een toekomstige Submerged Floating Tunnel. Ondanks de schaalproblemen hebben we hier dus een bruikbaar resultaat.

Bij andere experimenten die worden uitgevoerd met een schaalmodel moet nauwlettend in de gaten worden gehouden welk doel de meting heeft en hoe de meting wordt beïnvloed door schaalproblemen. Zodra er gewerkt gaat worden met formules, zoals oppervlakte (m^2) en volume (m^3) of andere formules waarbij er gerekend moet worden met een kwadratisch verband, moet er rekening gehouden worden met de bovengenoemde problemen.

BEANTWOORDING HOOFDVRAAG

Onze hoofdvraag luidde als volgt: welke aspecten hebben invloed op de veiligheid van de Submerged Floating Tunnel?

Aangezien er vele aspecten zijn, die we niet allemaal konden behandelen in dit profielwerkstuk, hebben we gekozen om van drie aspecten te onderzoeken of en hoe deze invloed hebben op de veiligheid. Uit ons eerste experiment bleek dat de wet van Archimedes een rol speelt op de veiligheid van de Submerged Floating Tunnel, want uit onze metingen bleek dat de wet een goede weergave gaf van de werkelijkheid.

Het tweede aspect dat we onderzochten was invloed van stroming. Wij hebben gemeten op welke vorm de stroming het minst invloed heeft. Uit onze resultaten bleek dat de ellips een goede vorm is om de invloed van stroming op de tunnelbuis zo veel mogelijk te beperken. Daarnaast bleek dat de ellips ook een efficiënte vorm is als het gaat om ruimtegebruik.

Het derde aspect dat we onderzochten was de invloed van golven. We kwamen erachter dat golven grote invloed hebben op de Submerged Floating Tunnel, terwijl deze invloed juist zo veel mogelijk beperkt moet worden bij een veilige tunnel. Wij hebben aan de hand van grafieken en Fourierdiagrammen aangetoond dat het mogelijk is om trillingen gedeeltelijk te dempen. De invloed van stroming kan dus beperkt worden, iets wat van significant belang is voor de veiligheid van de Submerged Floating Tunnel.

Bij een complex onderwerp als deze hebben veel aspecten invloed op de veiligheid. Van de drie aspecten die we onderzocht hebben, hebben we bewezen dat de wet van Archimedes toepasbaar is op de praktijk en dat de invloed van stroming en golven door een goed ontwerp van de tunnel zeer beperkt kan worden. Daarom verwachten wij dat het op termijn haalbaar is om de Submerged Floating Tunnel te realiseren en hierdoor het probleem van Noorwegen op te lossen.

EVALUATIE

Onze drie uitgevoerde experimenten vormen maar een klein onderdeel van het totale onderzoek dat verricht moet worden, voordat er op een veilige wijze gebruik gemaakt kan worden van de SFT. Ons eerste experiment is, ondanks de onnauwkeurigheid van het menselijk oog, zeer nauwkeurig uitgevoerd en de resultaten hiervan zijn dan ook direct toe te passen op de praktijk. Bij het tweede en derde experiment kunnen we echter wel kanttekeningen plaatsen. Deze experimenten bieden namelijk een goede basis, maar hierin moet meer onderzocht worden met middelen waar wij geen toegang toe hebben. Denk aan simulatoren, grote hydro-laboratoria en complexe rekenmodellen. Doordat wij hier geen toegang tot hebben, zijn onze mogelijkheden heel beperkt. Verder is er veel ander onderzoek mogelijk voor het concept van de Submerged Floating Tunnel. Hieronder zijn een paar voorbeelden genoemd:

- Welk effect heeft een botsing met auto's in de tunnelbuis op de SFT?
- Welk effect heeft een plotselinge impact in het water, bijvoorbeeld een boot die tegen de tunnel aanvaart of een explosie, op de SFT?
- Welk effect hebben langsvarende schepen op de SFT?
- Wat vinden omwonenden van de SFT?
- Hoe beïnvloeden extreme weersomstandigheden de SFT?
- Wat is de ideale onderlinge afstand tussen de pontons?
- Hoe kunnen trillingen en bewegingen in de tunnelbuis voorkomen worden?
- Moeten er twee tunnelbuizen naast elkaar komen of één grote tunnelbuis?

Doordat de Submerged Floating Tunnel een redelijk nieuw concept is, kan er nog heel veel onderzoek naar gedaan worden. Ons eigen onderzoek kan ook nog verdiept worden. Door gebruik te maken van grote Hydro-laboratoria, zullen er meer mogelijkheden gecreëerd worden om meer en nauwkeurigere gegevens te verzamelen. De invloed van stroming, die we onderzocht hebben in het tweede experiment, en de invloed van golven, die we onderzocht hebben in het derde experiment, achten wij namelijk van groot belang voor de veiligheid van de tunnel. Wij verwachten daarom dat er in de toekomst nog meer wetenschappelijk onderzoek over dit onderwerp zal plaatsvinden.



Figuur 52: Concept van de Submerged Floating Tunnel

DANKWOORD

Aangezien veel mensen ons hebben ondersteund in het uitvoeren van ons onderzoek en in het schrijven van dit profielwerkstuk, past het ons om hen hiervoor te bedanken. Mochten wij mensen in dit dankwoord zijn vergeten, weet dat dit geen opzettelijke daad is.

Allereerst gaat onze dank uit naar drs. J. Slager. Hij begeleidde ons profielwerkstuk op een uitstekende manier. Hij gaf ons advies, dacht met ons mee en steunde ons door zijn enthousiasme. Zijn kennis en interesse in het onderwerp hebben we als motiverend ervaren. Drs. Slager was een significant onderdeel van ons team en zonder hem zou dit profielwerkstuk niet op deze wijze tot stand zijn gekomen.

Naast dhr. Slager was er nog een fundament waarop we konden bouwen. Onze ouders steunden ons en hielpen ons door het hele proces heen. We konden alles met hen delen en ze moedigden ons aan. Ze stelden vragen en toonden interesse, iets waar we veel aan hebben gehad. We konden onze gedachten met hen delen en zo was hun aanwezigheid erg belangrijk voor de kwaliteit van ons profielwerkstuk. Dhr. P. van Duijn, drs. M. van Sligtenhorst en mevr. J. Compagner waren zelfs bereid om ons werk te controleren op spelfouten. Dit hebben wij zeer gewaardeerd, dus daarvoor hartelijk dank.

Verder willen wij dhr. B. Limburg en dhr. A. Cromwijk bedanken voor hun bereidheid om mee te werken aan onze onderzoeken. Zij stonden als TOA's van de school altijd klaar om materialen te regelen en om advies te geven. Zij toonden veel interesse in het onderwerp. Hun gezelligheid en de aangeboden koffie, chocolademelk en soep zorgden voor een optimaal werkklimaat. Hier zijn wij hen erg dankbaar voor.

Ook Cian Rippen willen we bedanken. Hij regelde dat we een meting konden uitvoeren in de stroomgoot van TU Delft en was die dag aanwezig om te helpen bij het verzamelen van meetgegevens.

Onze teamleider was ook van groot belang voor ons profielwerkstuk. We konden altijd bij dhr. A. Brand terecht als we vrije uren of dagen nodig hadden en zijn hem zeer dankbaar dat hij dit telkens weer voor ons wilde regelen.

Wij danken dhr. A. Dekker, onze informaticadocent, voor het feit dat hij ons materialen leende die we nodig hadden voor het bouwen van onze golfsimulator. Ook danken we dhr. A. Ebbers, onze wiskundedocent, voor zijn interesse en gegeven vrije uren die we konden besteden aan het profielwerkstuk.

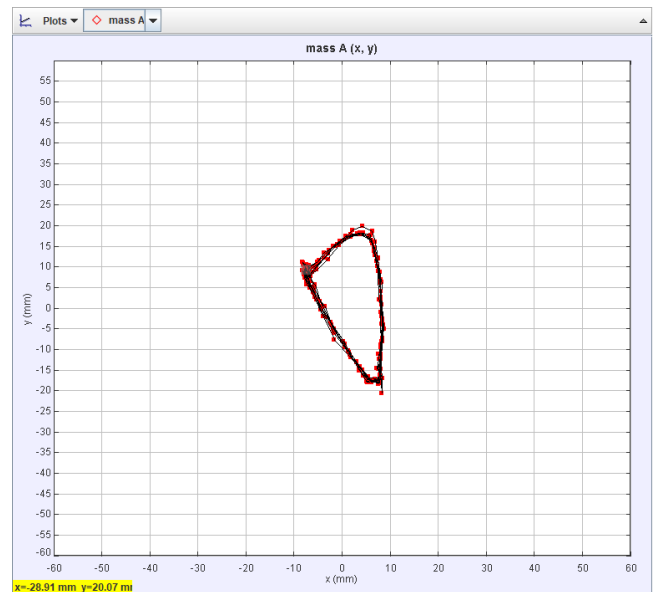
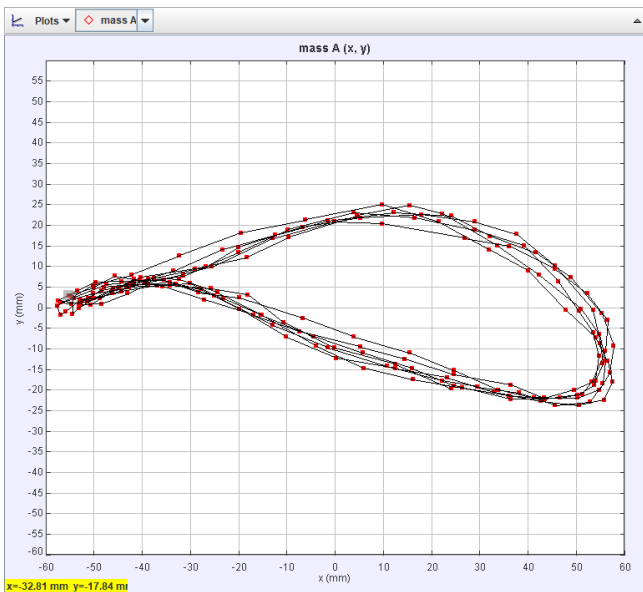
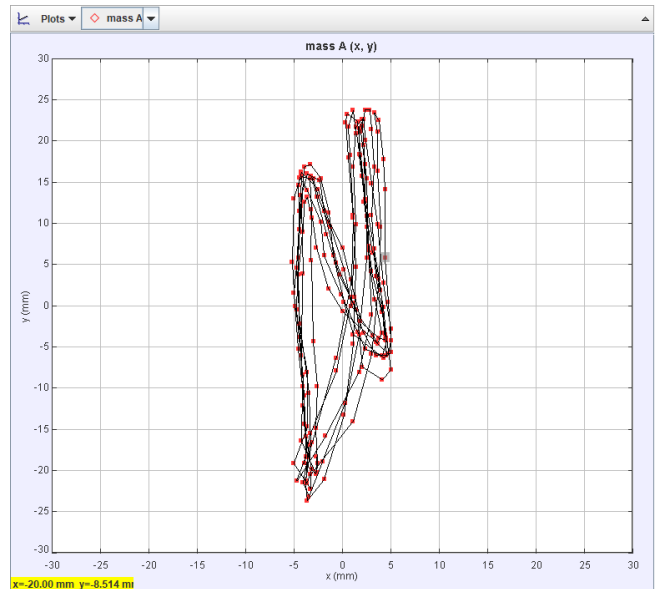
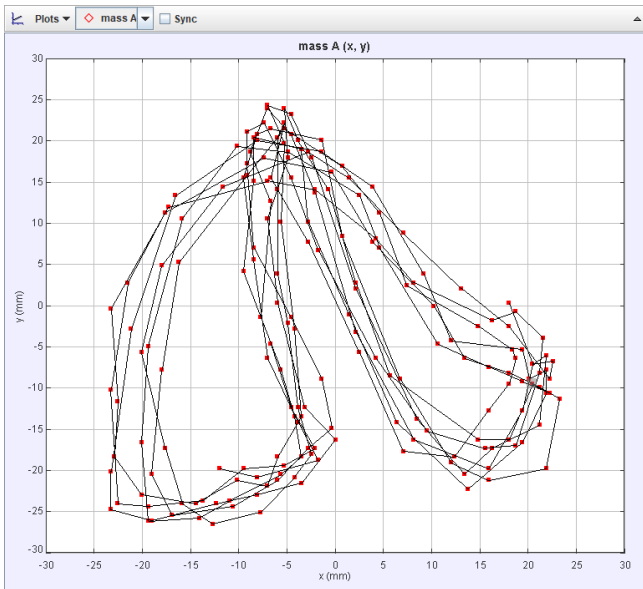
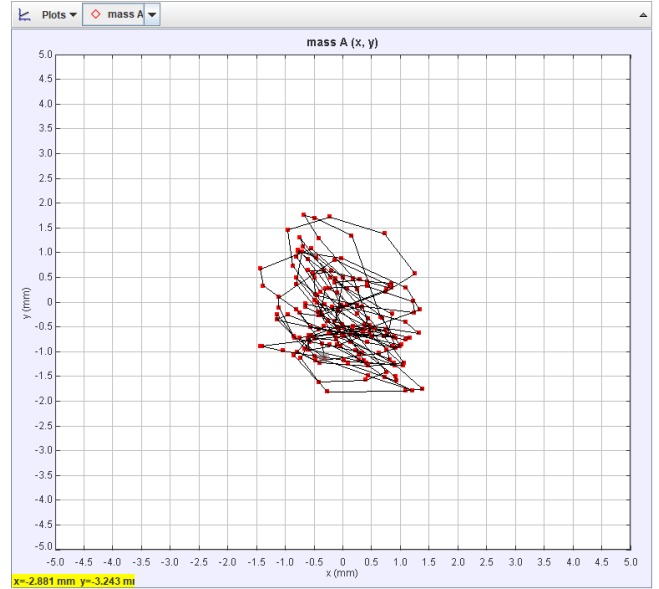
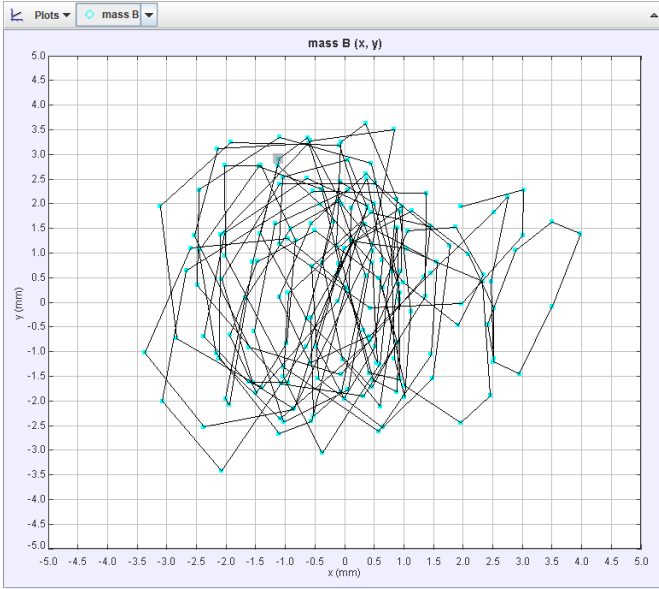
Dhr. K. Hakvoort van het Techlab willen wij bedanken voor zijn hulp bij het 3d-printen. Verder willen wij eveneens het personeel van de bouwafdeling bedanken voor hun hulp.

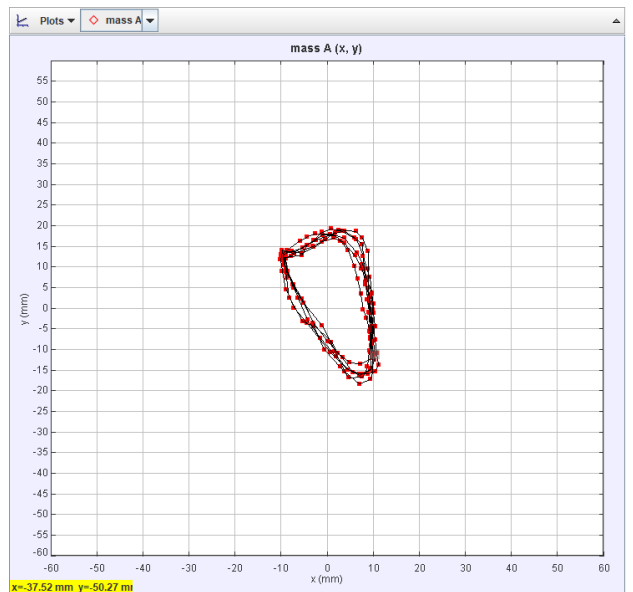
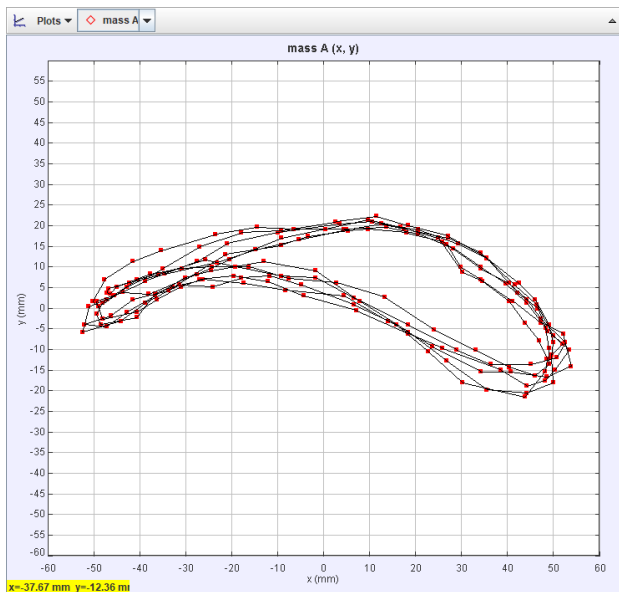
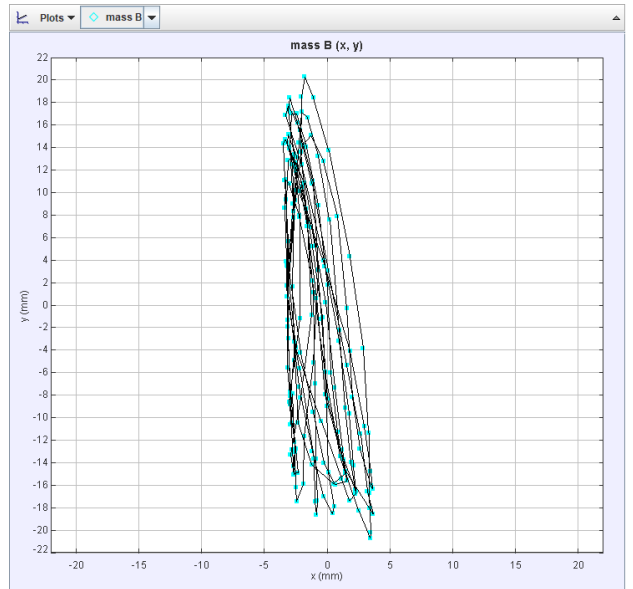
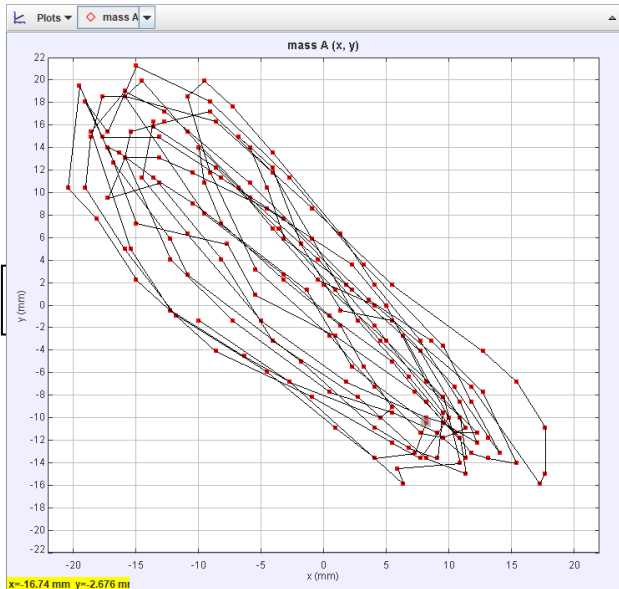
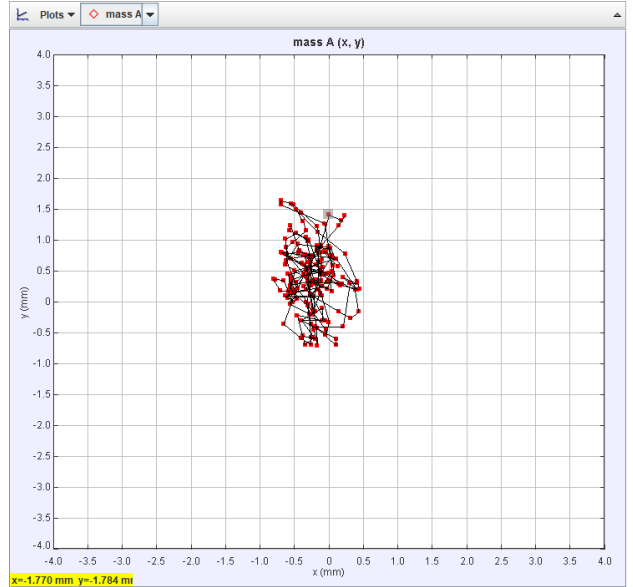
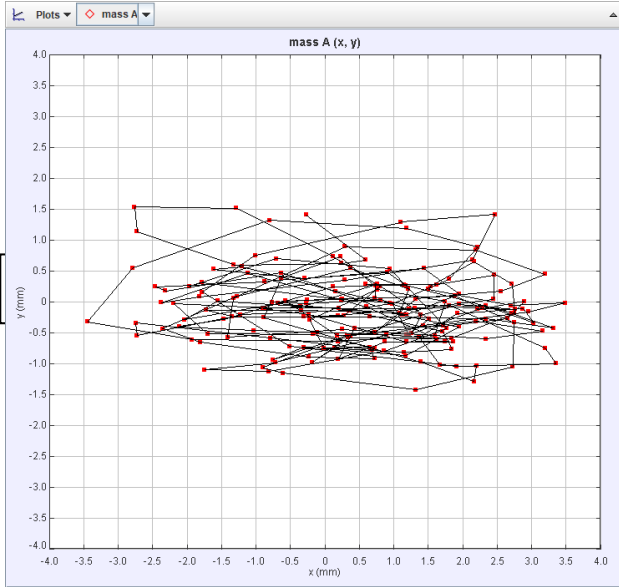
Wij hopen dat u met veel genoegen ons profielwerkstuk gelezen heeft!

APPENDIX

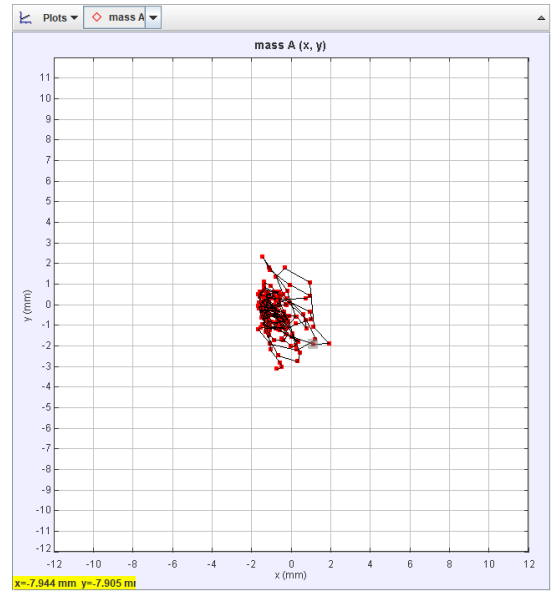
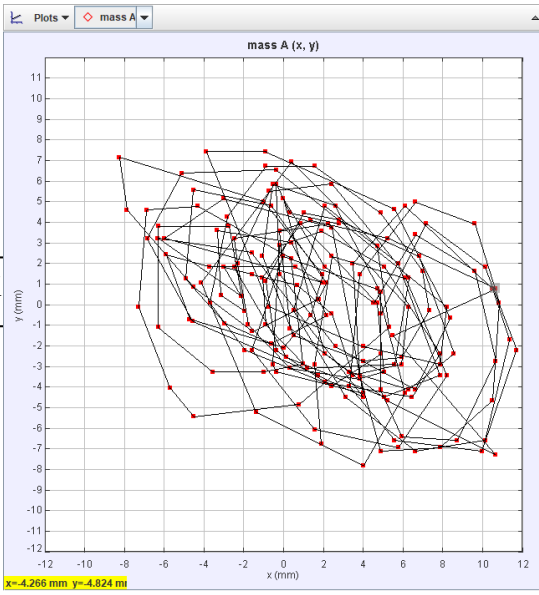
(X,Y)-GRAFIEKEN

Meetresultaten uit de video's in (x,y)-grafieken weergeven

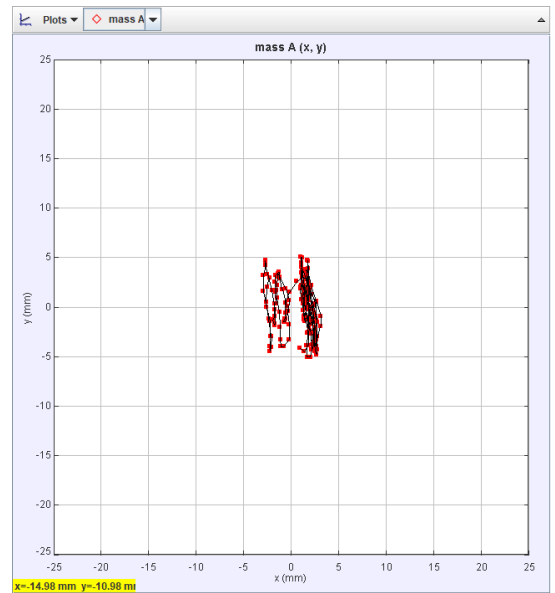
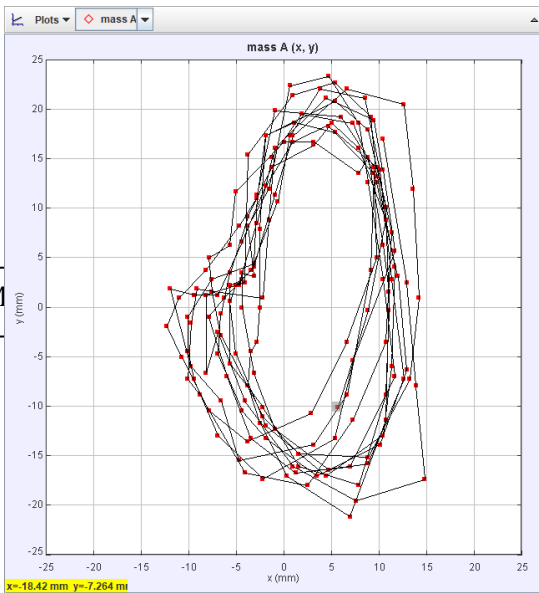




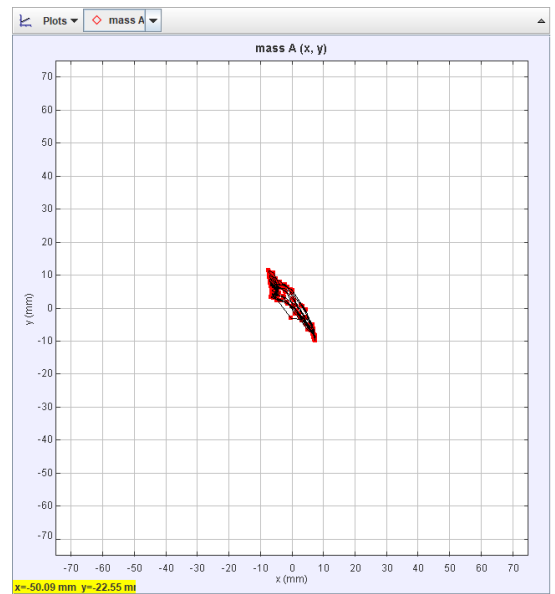
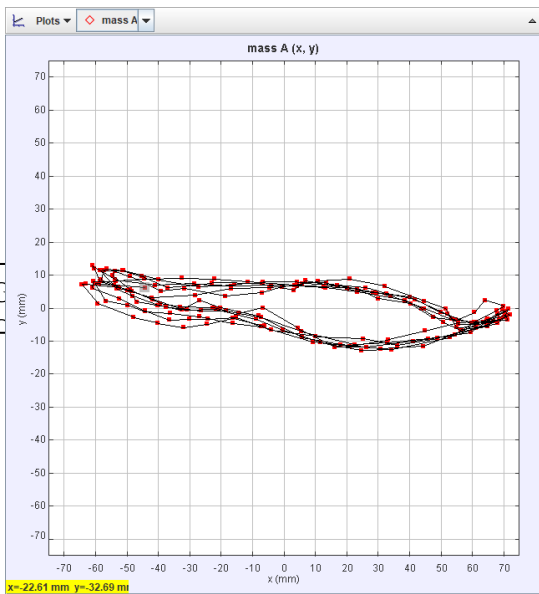
K



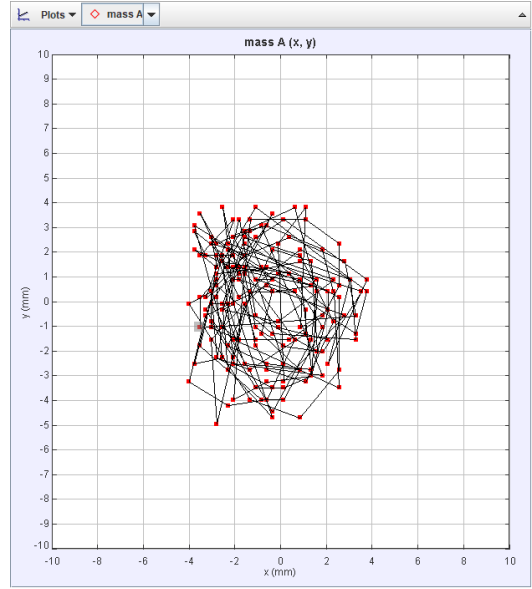
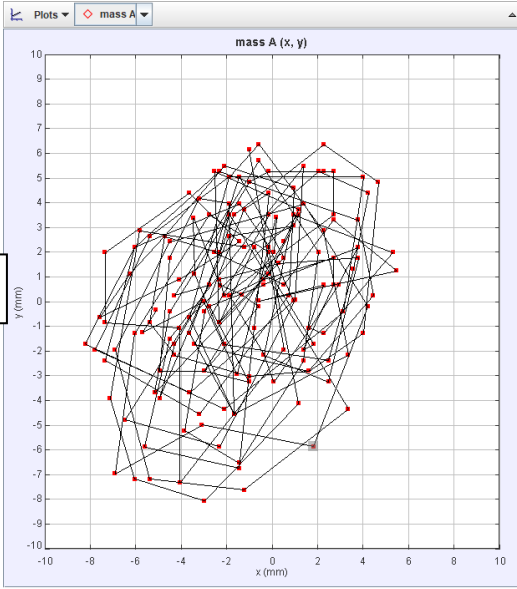
M



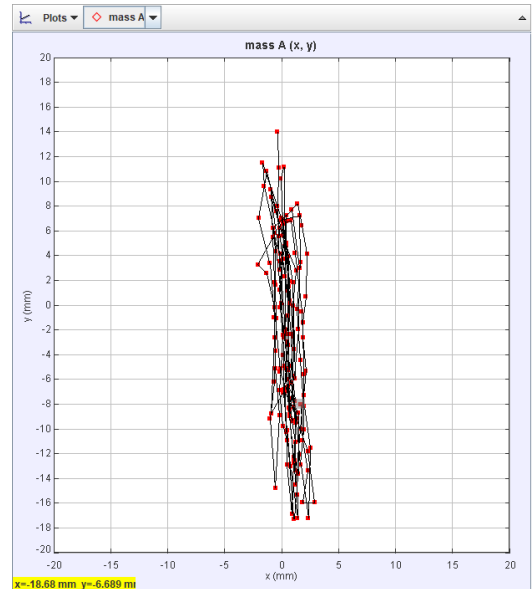
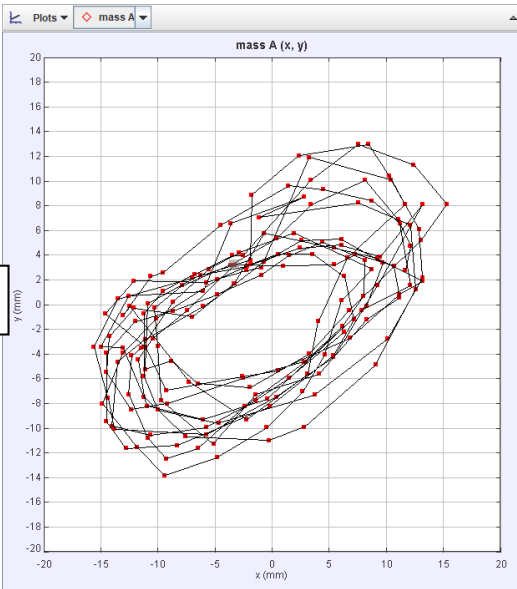
C



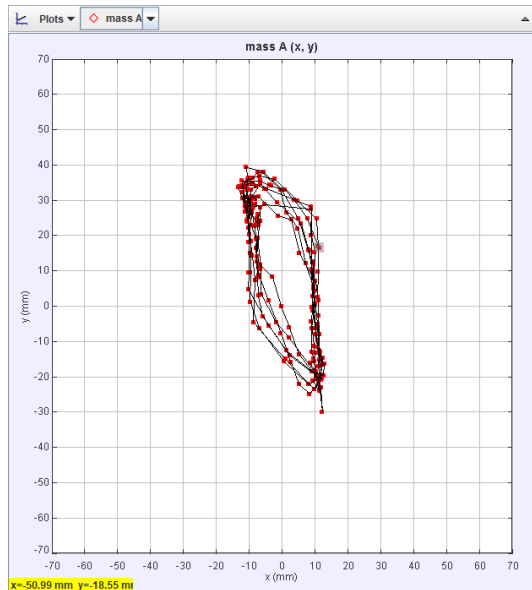
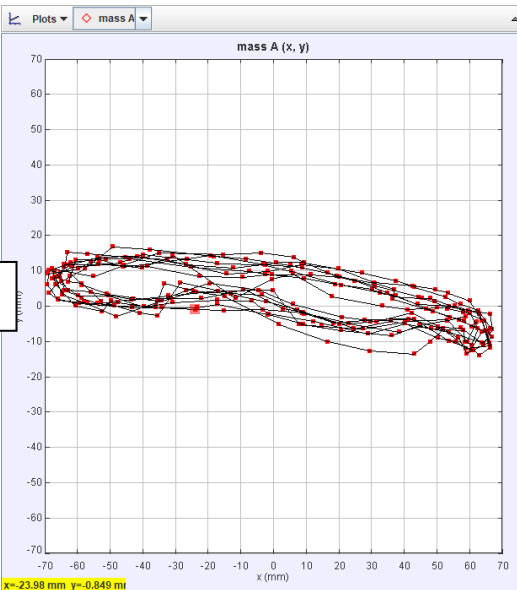
K



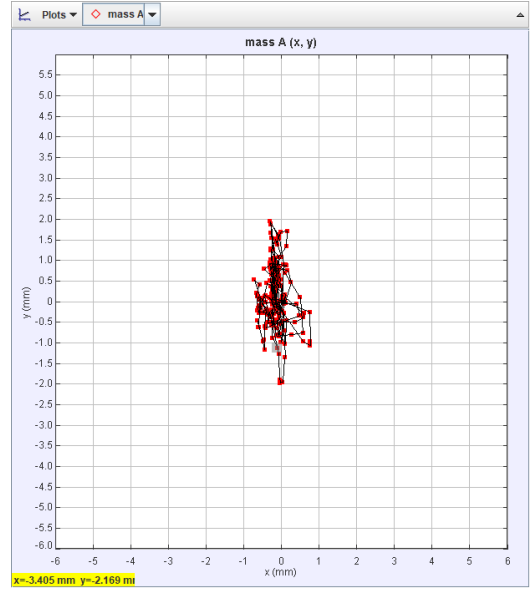
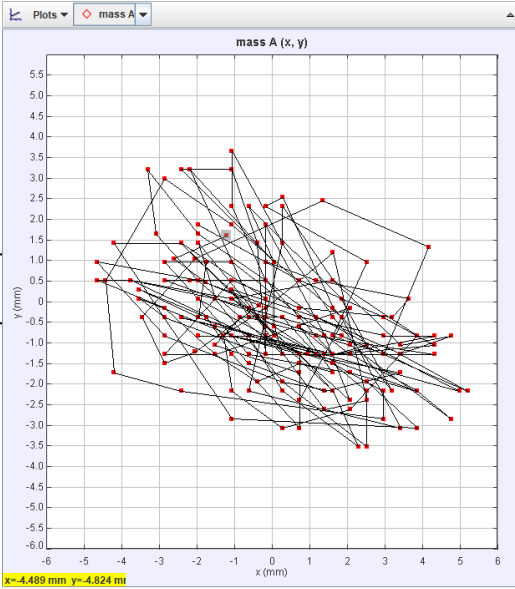
M



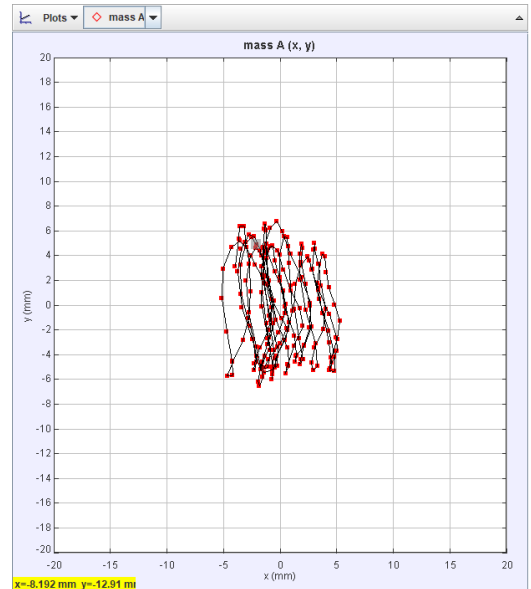
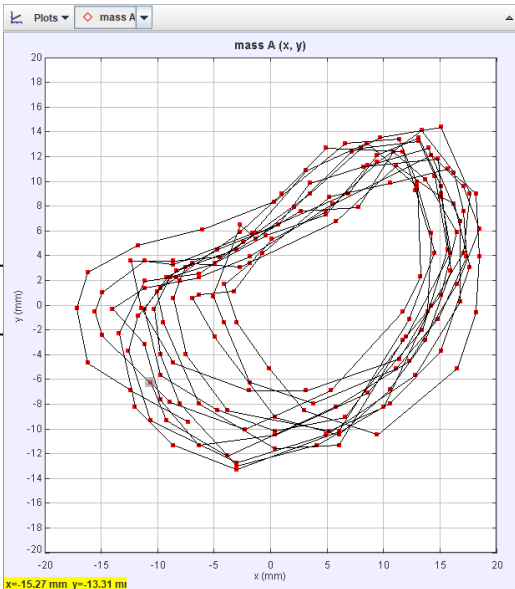
G



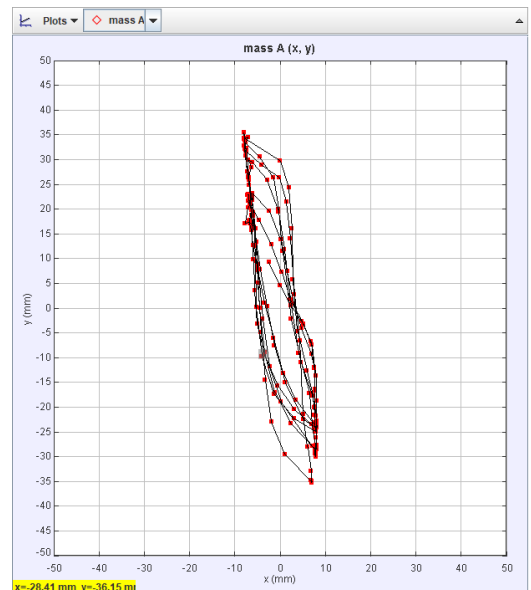
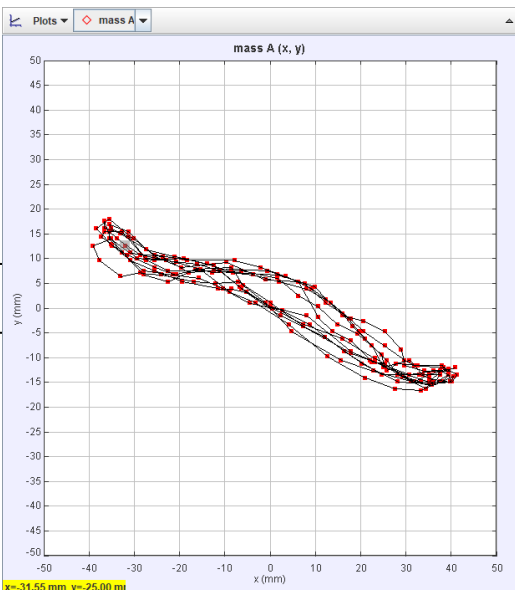
K

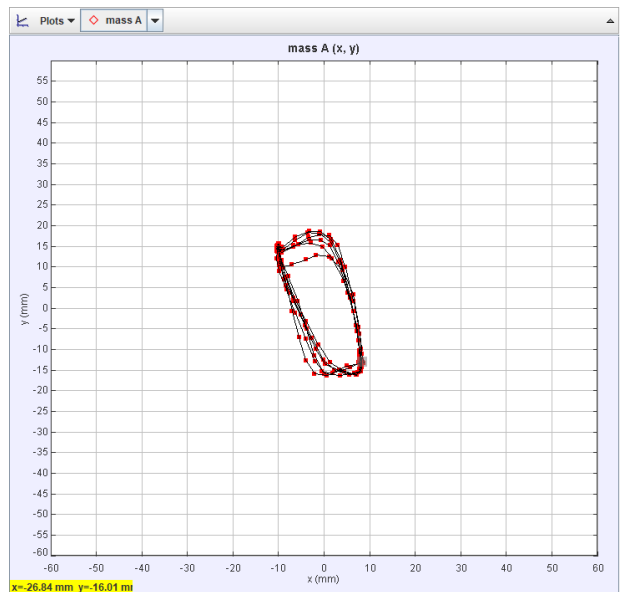
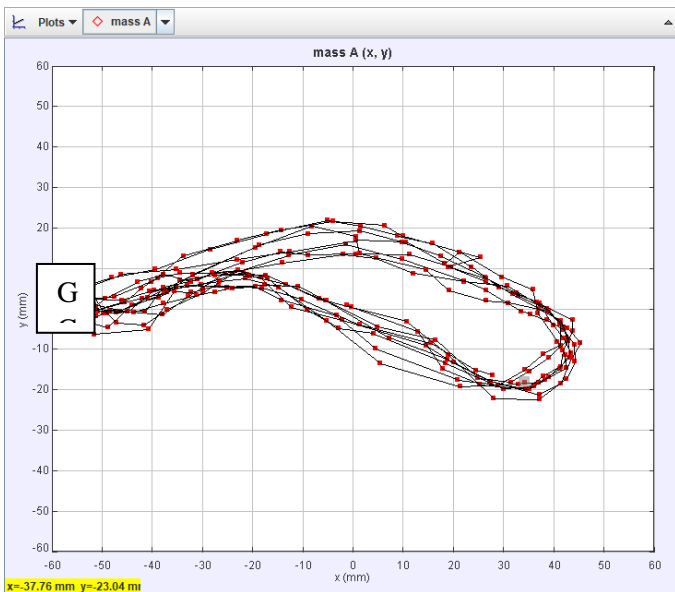
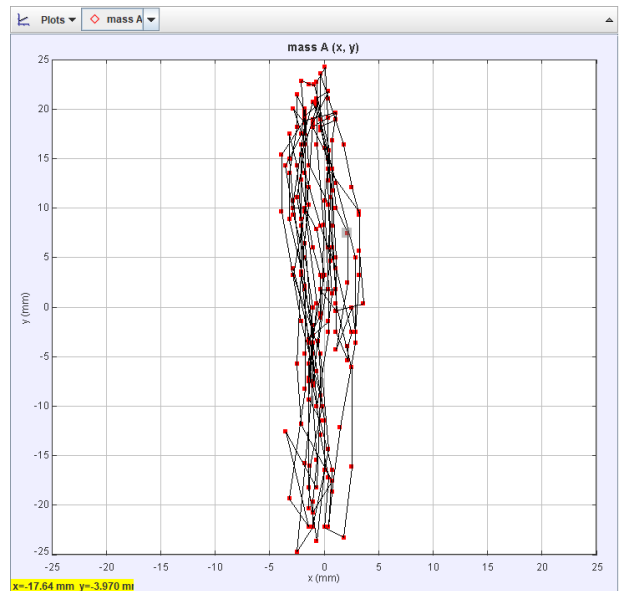
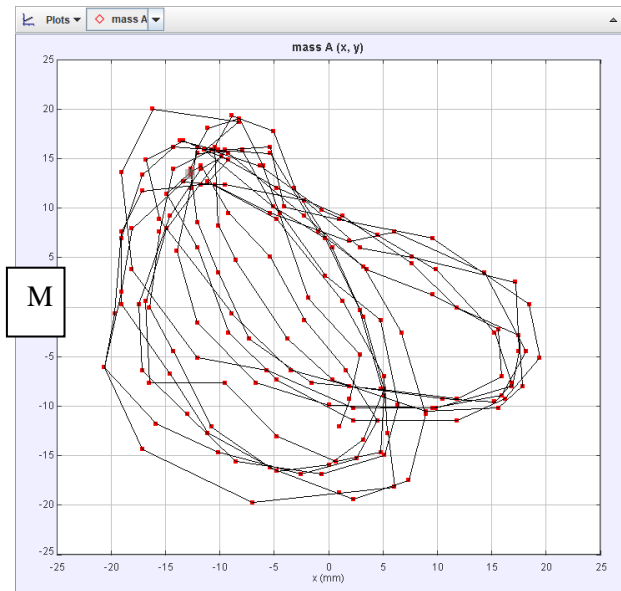
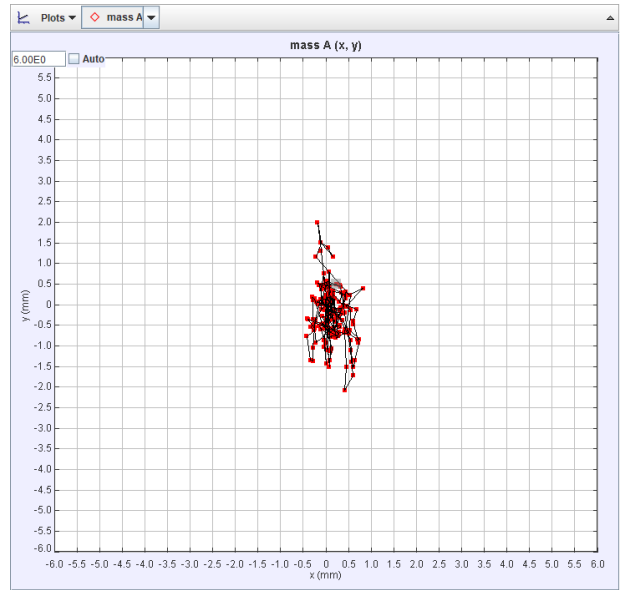
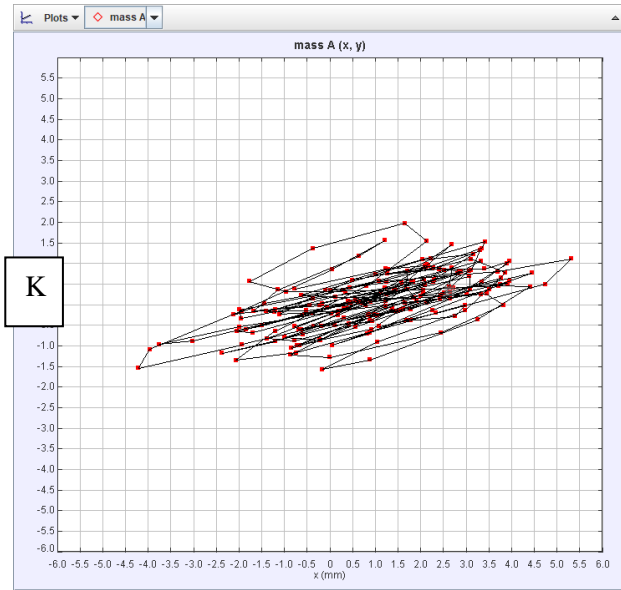


M

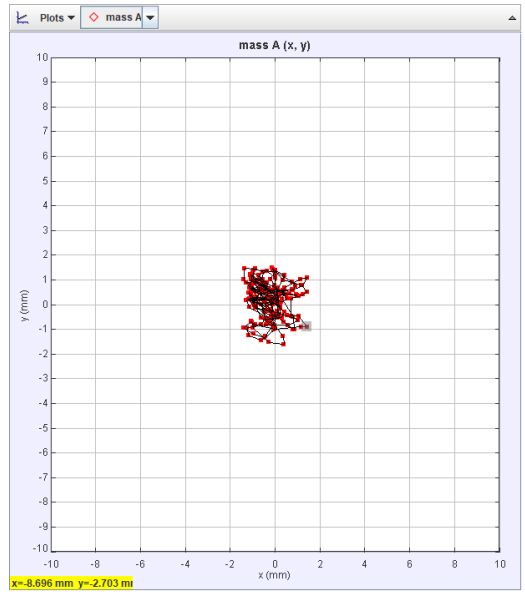
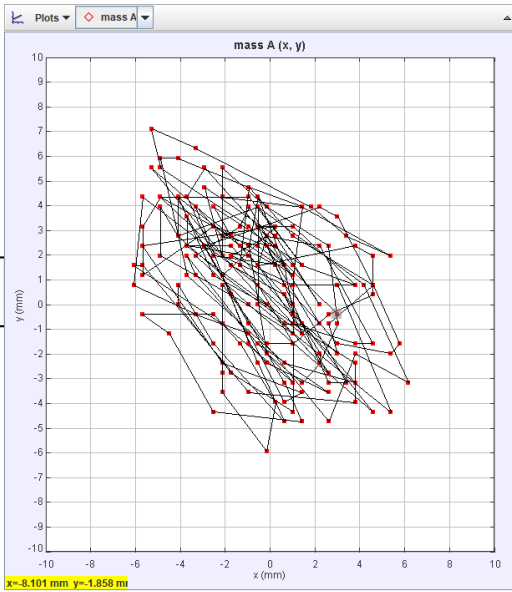


G

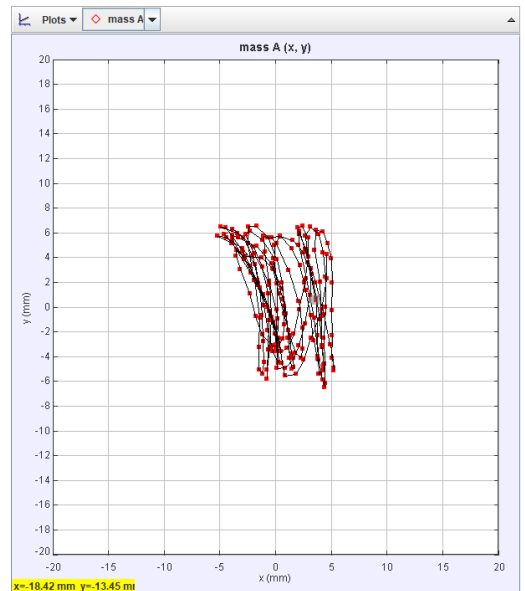
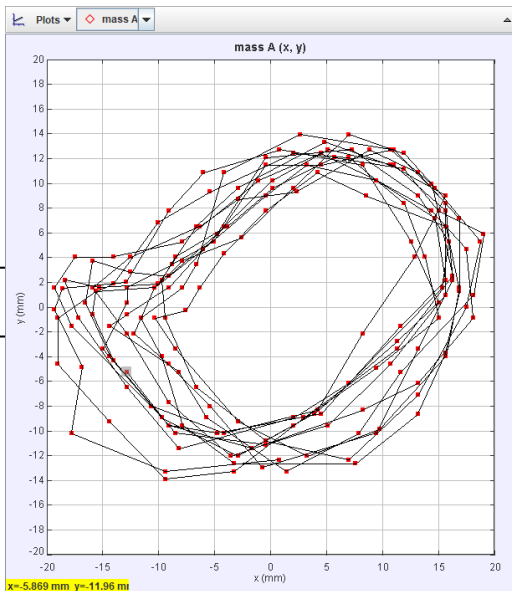




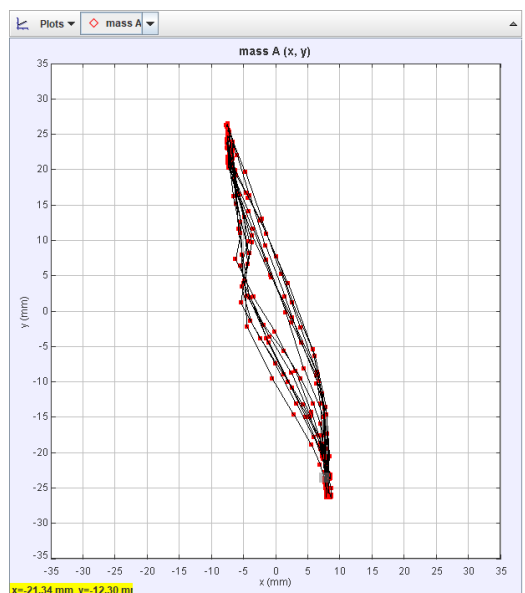
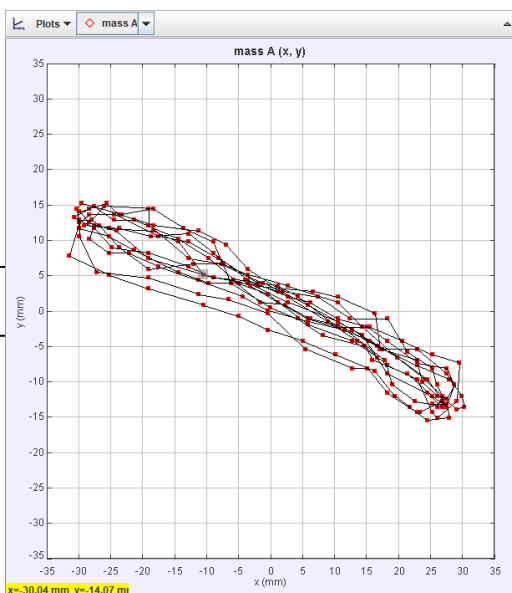
K



M

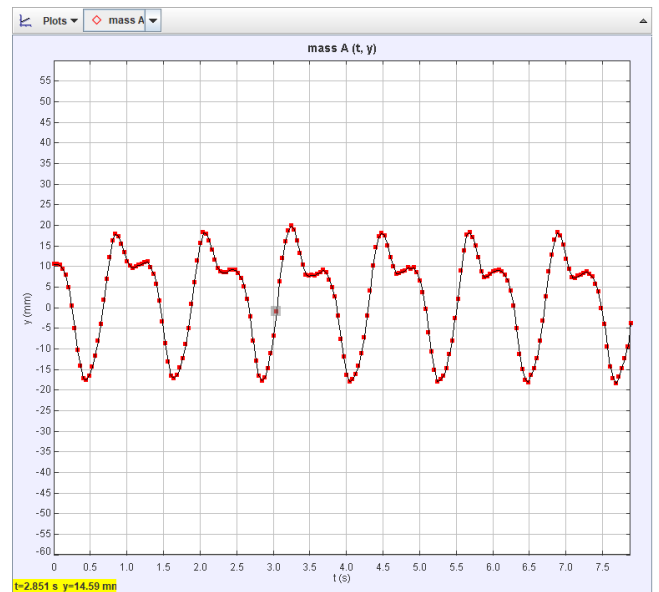
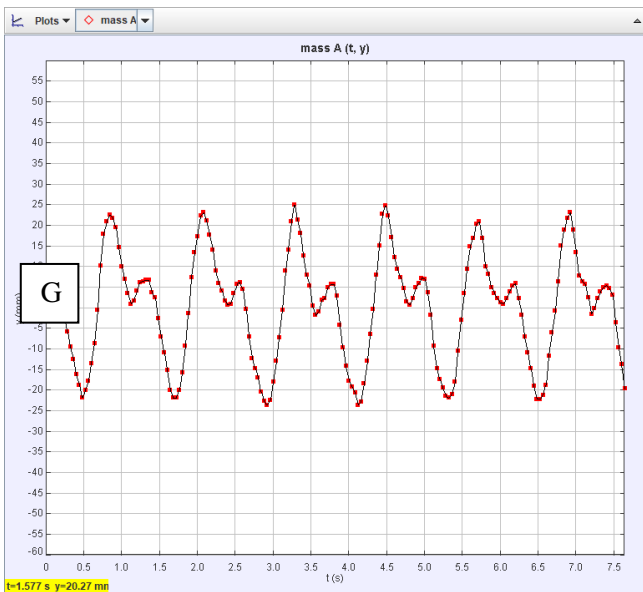
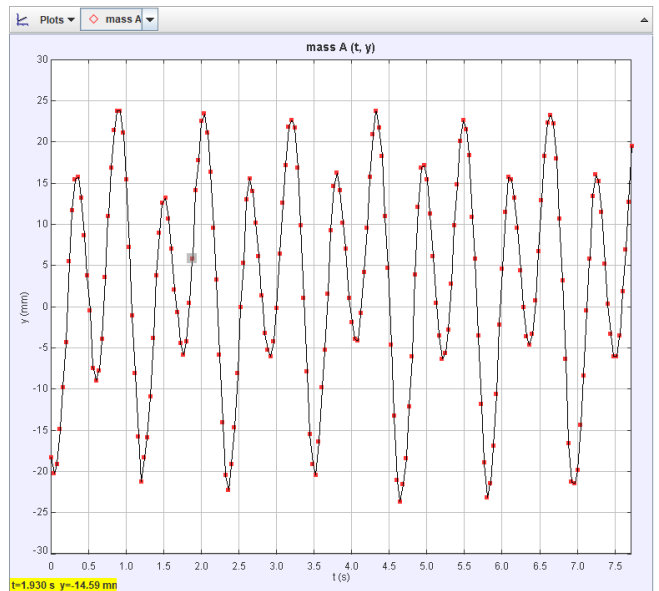
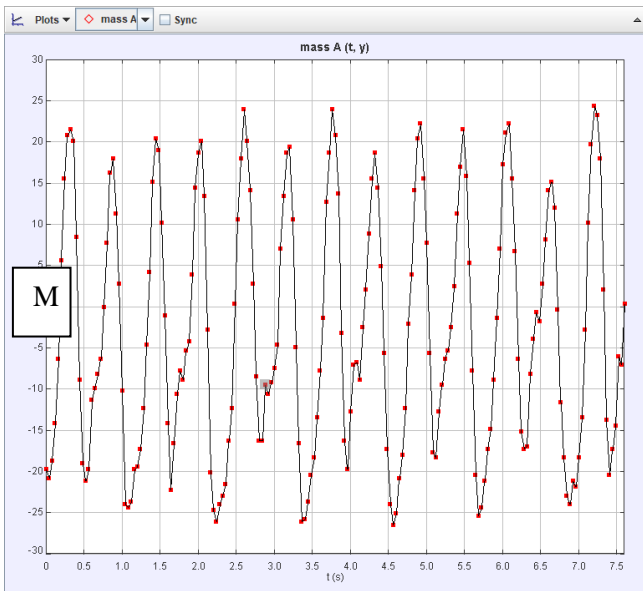
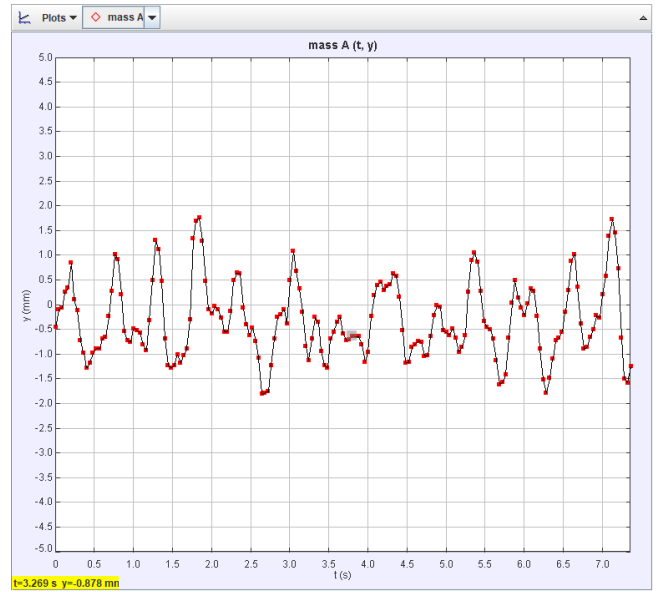
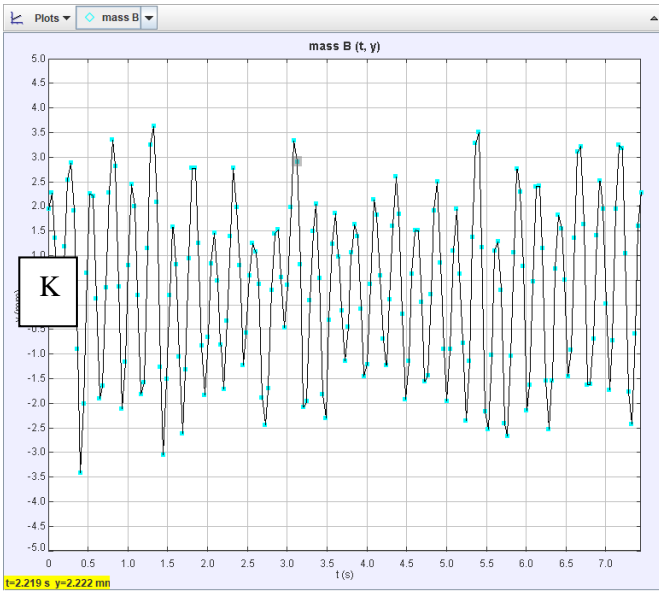


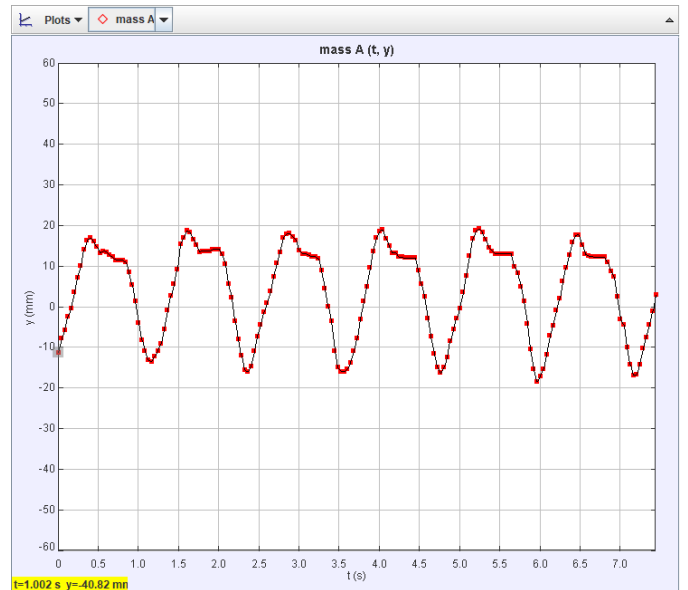
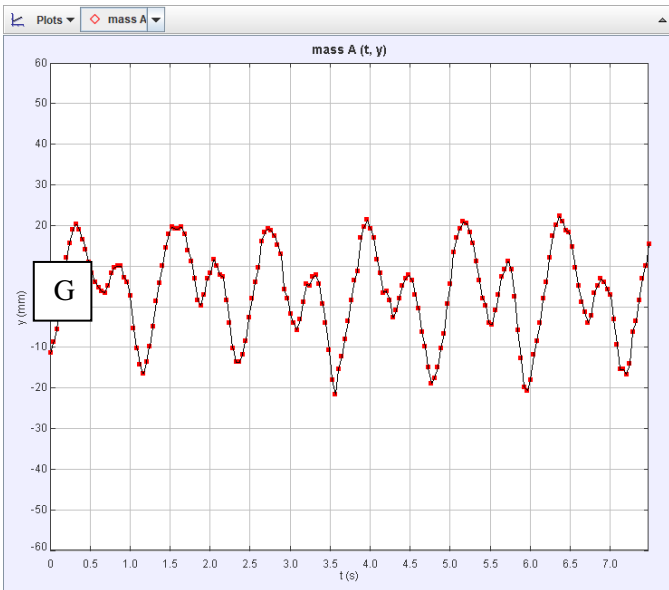
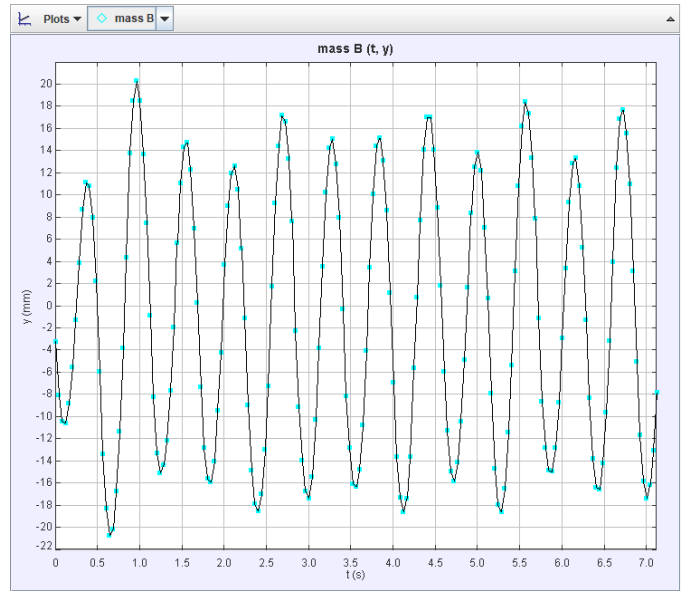
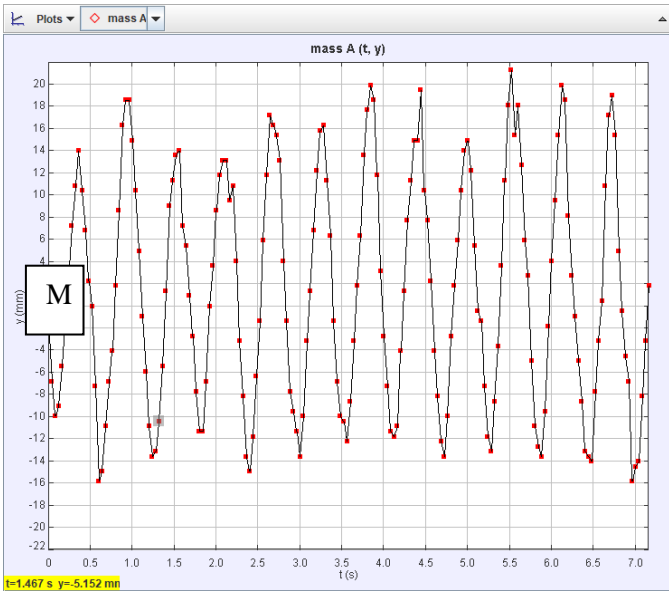
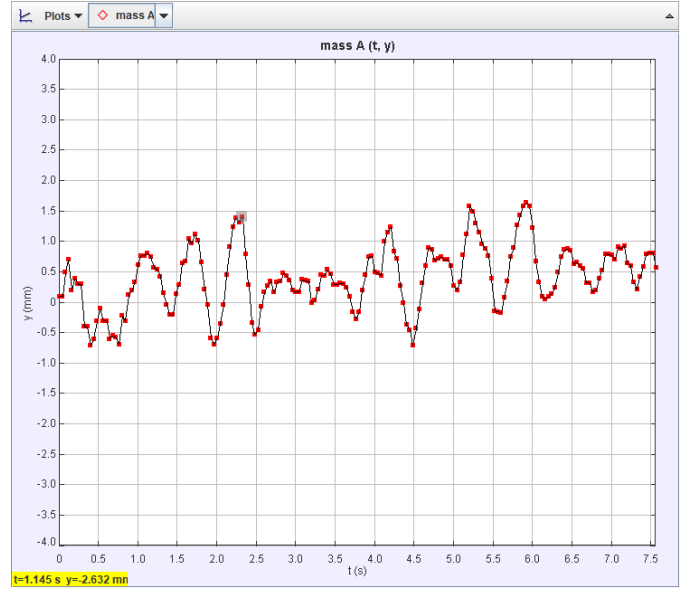
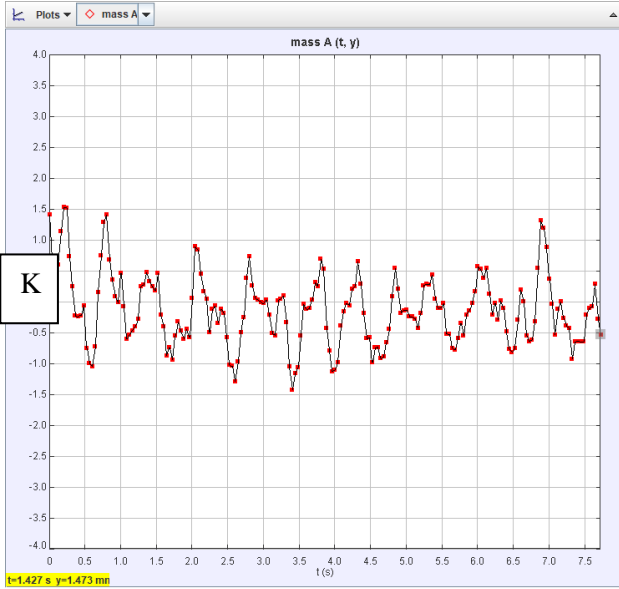
G



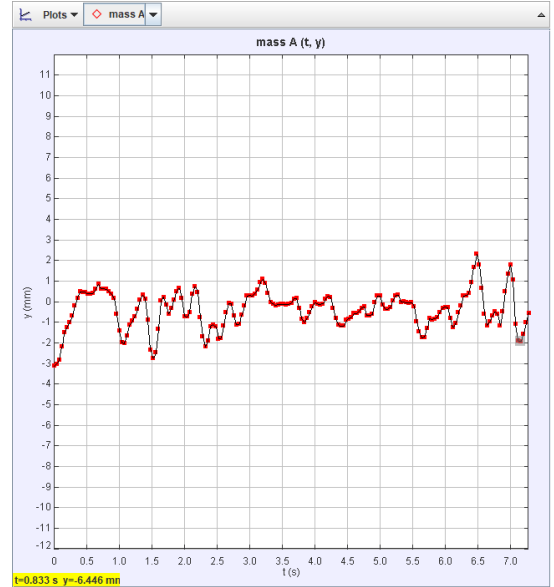
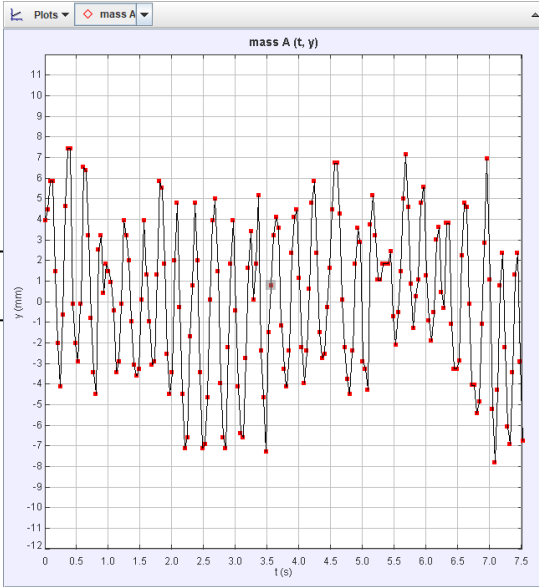
(T,Y)-GRAFIEKEN

Meetresultaten uit de video's in (t,x)-grafieken weergeven

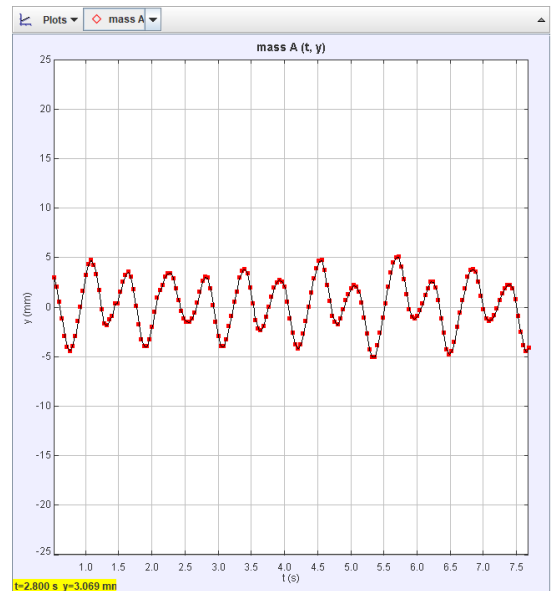
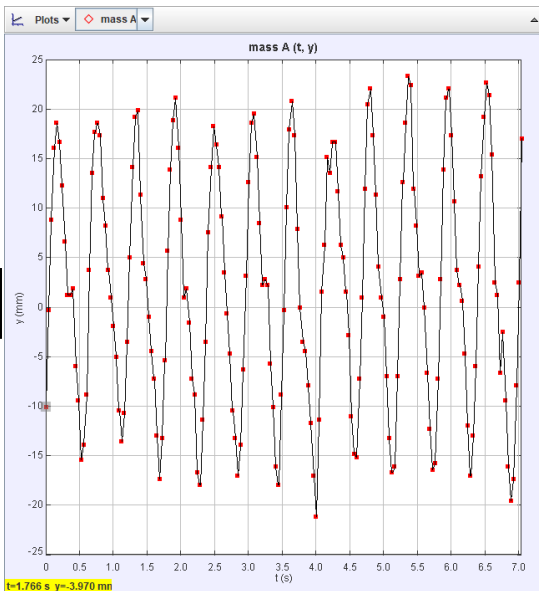




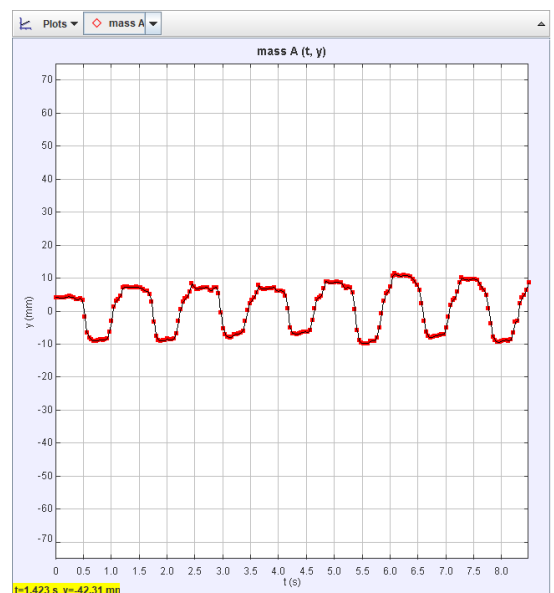
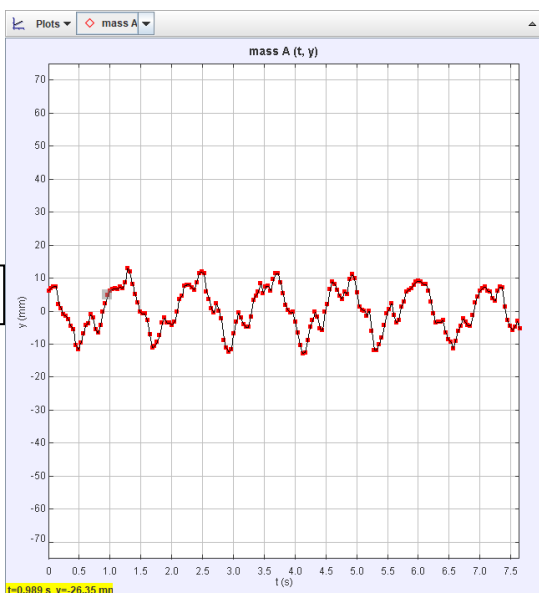
K



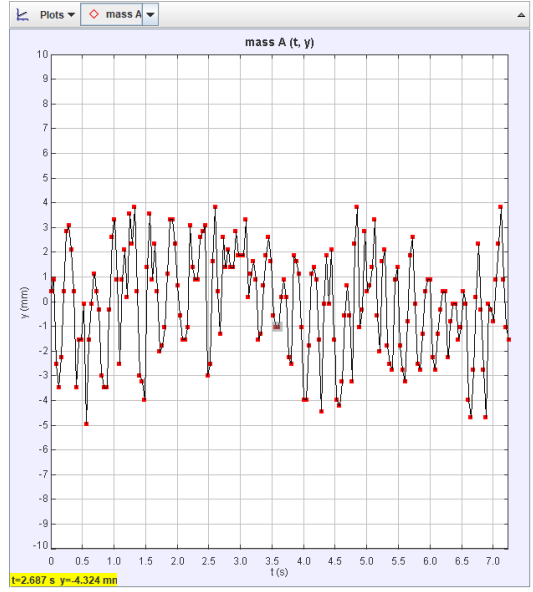
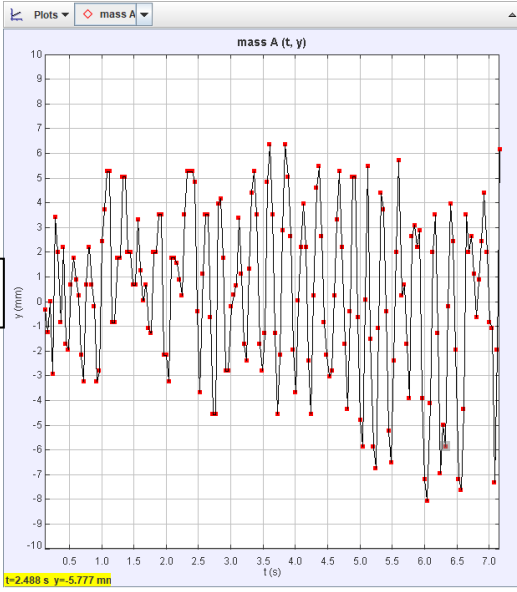
M



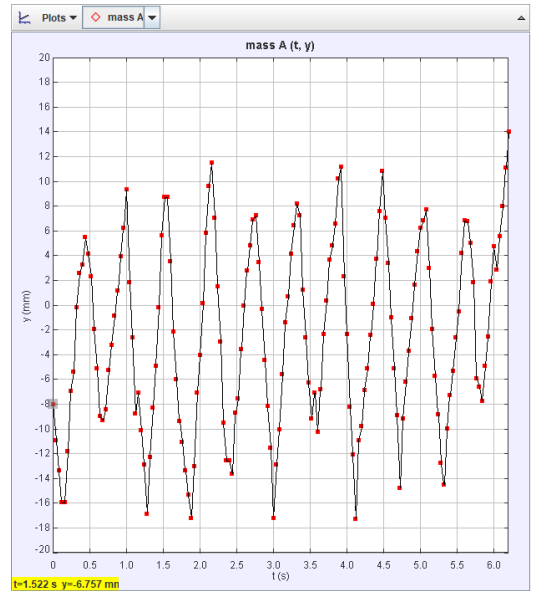
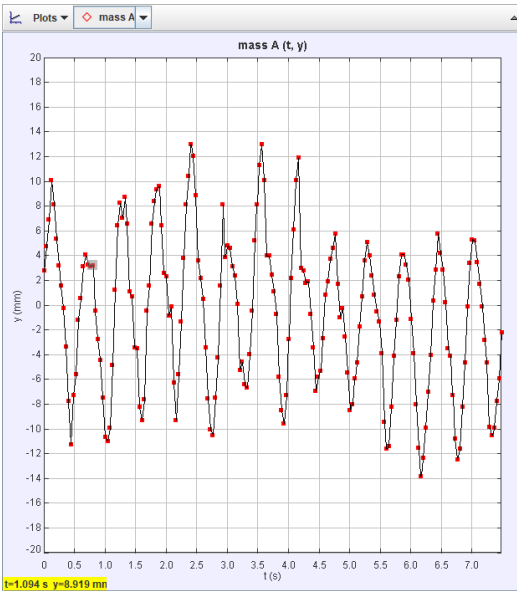
G



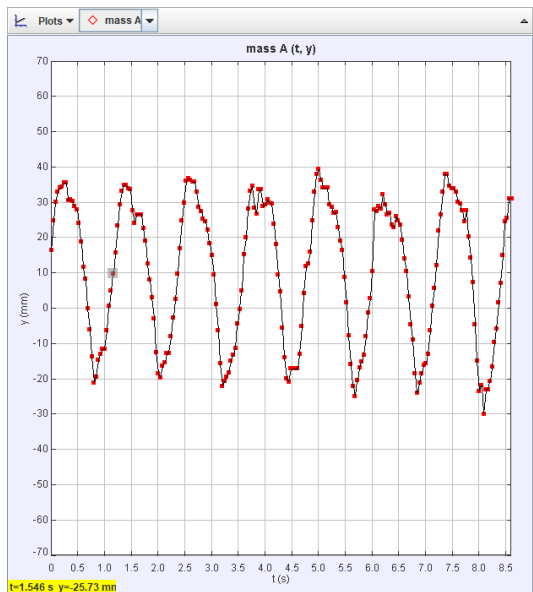
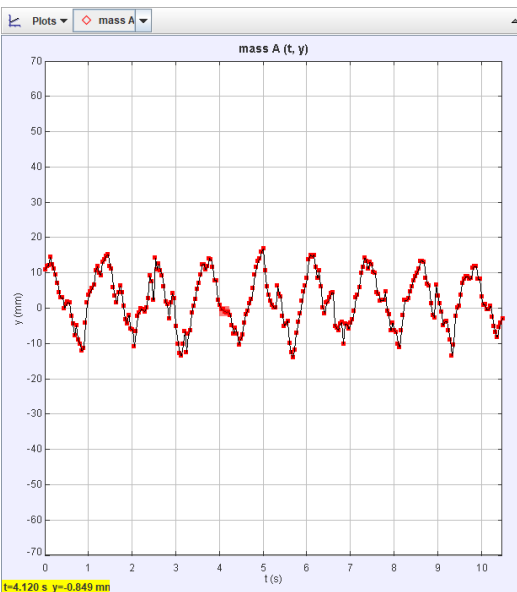
K



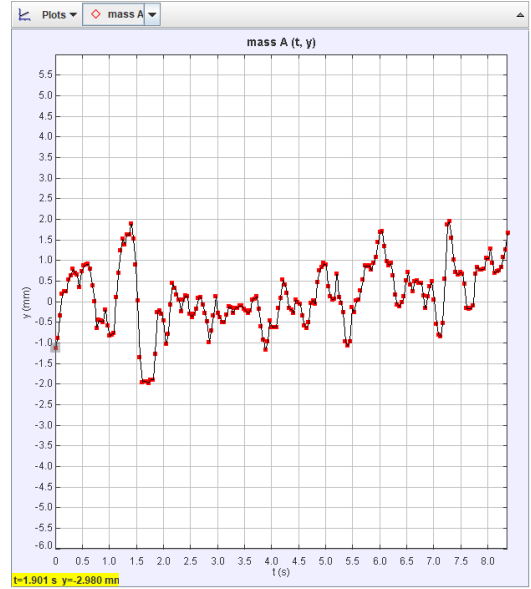
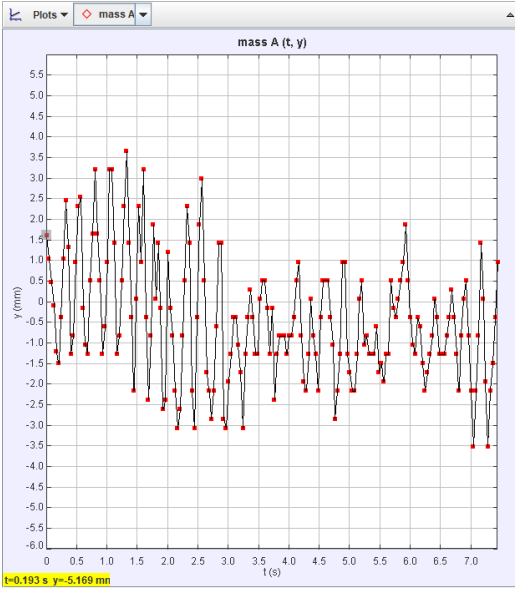
M



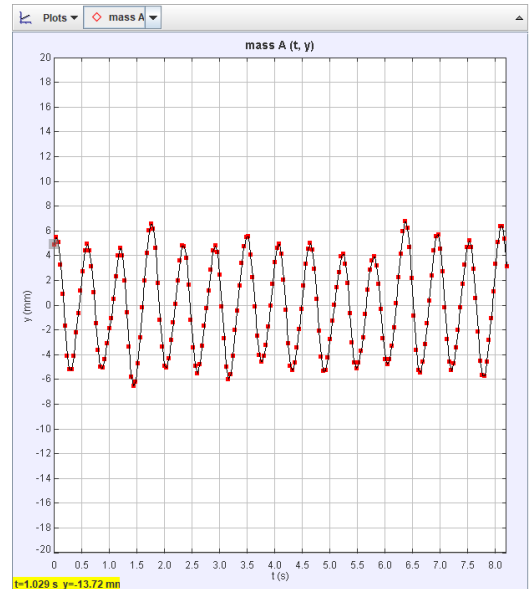
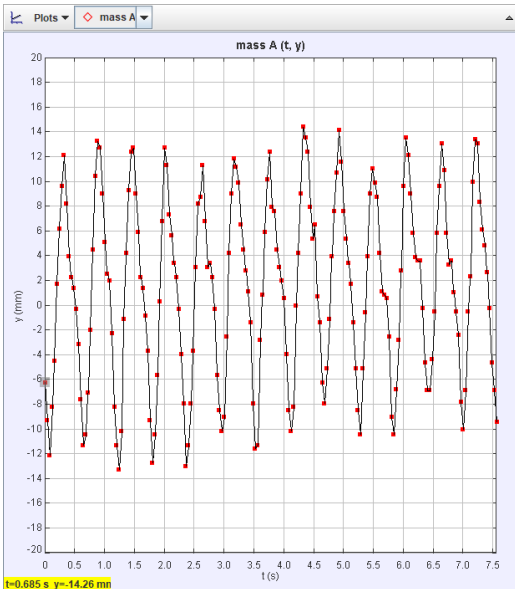
G



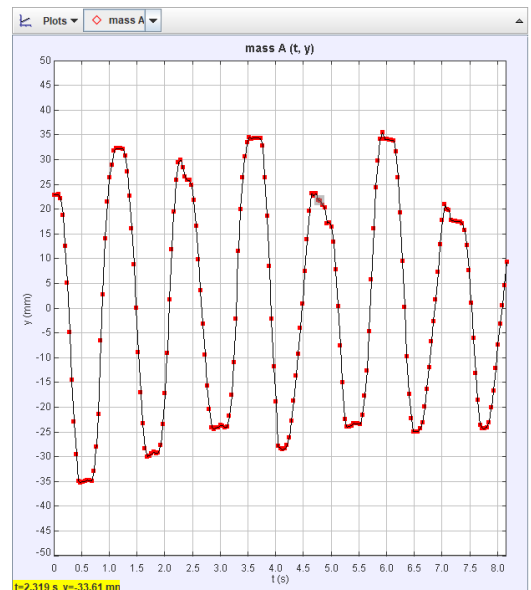
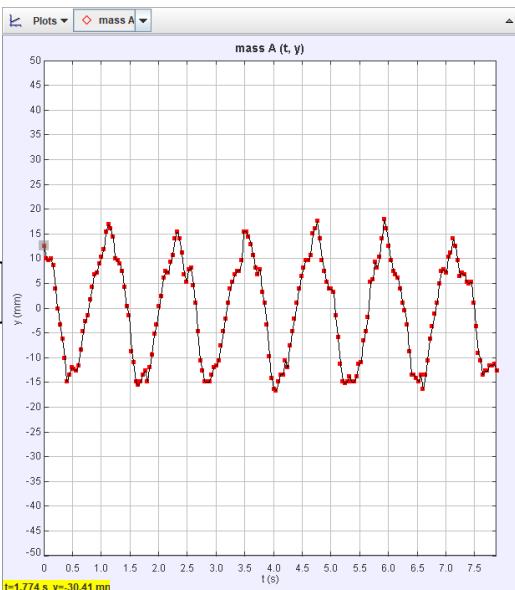
K

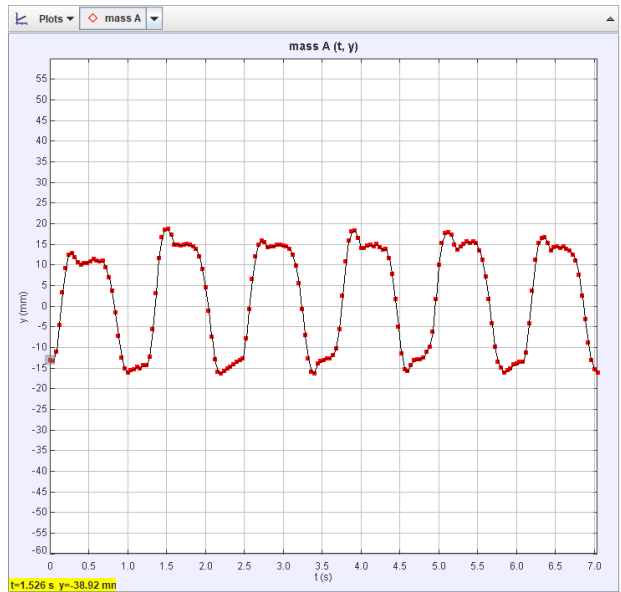
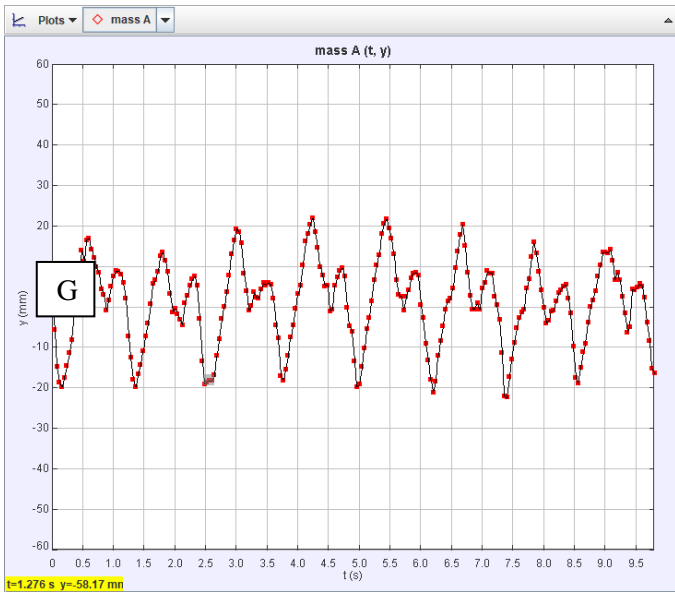
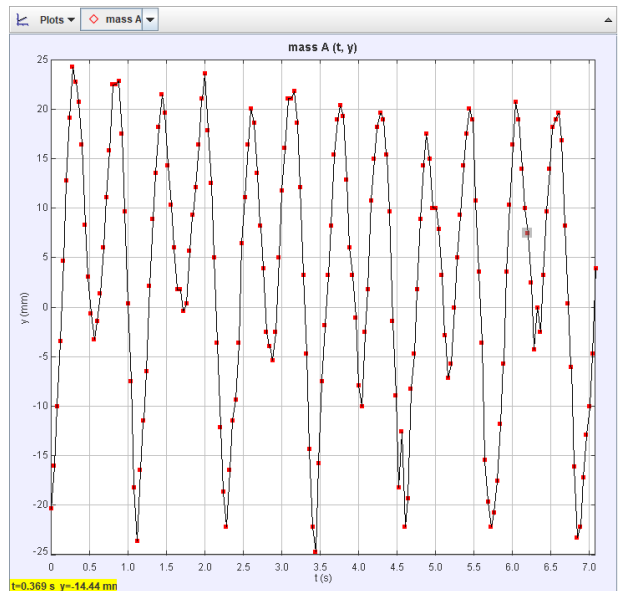
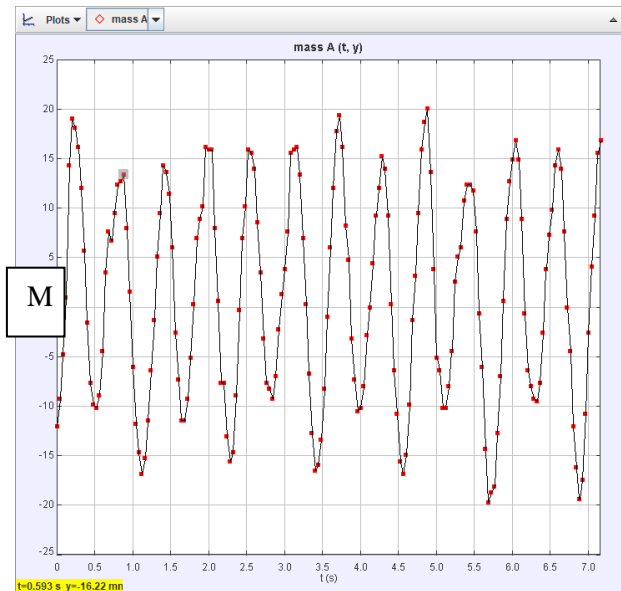
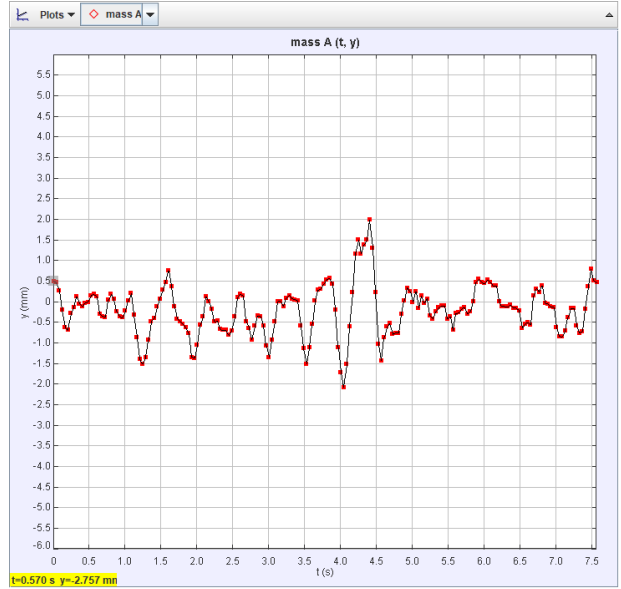
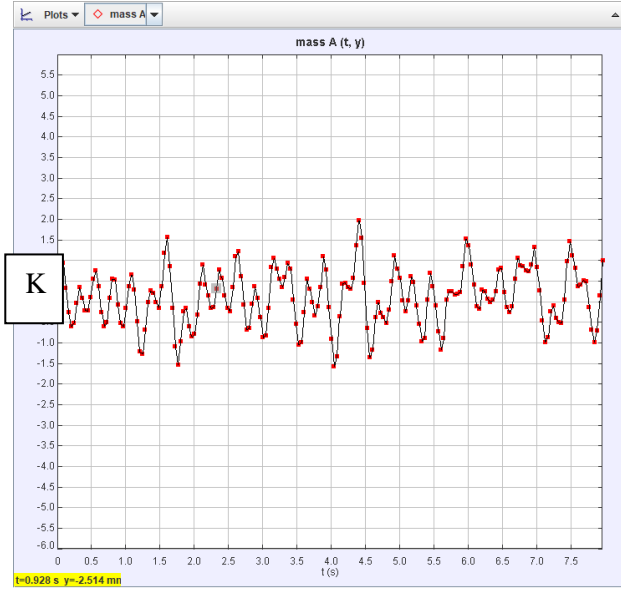


M

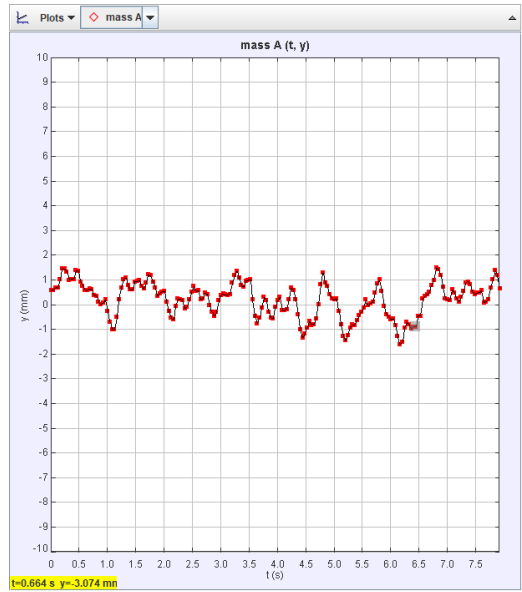
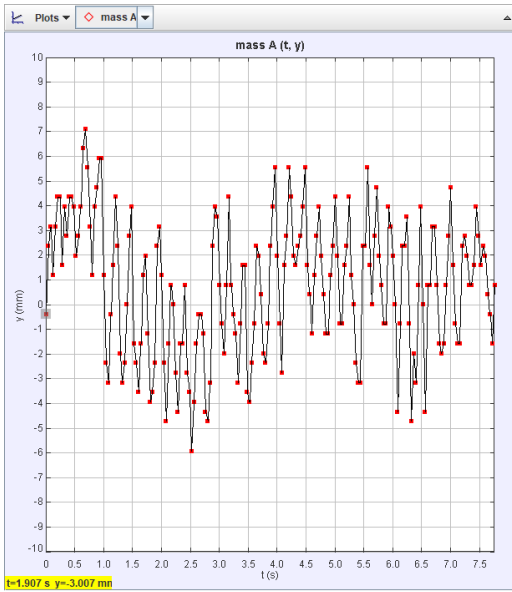


G

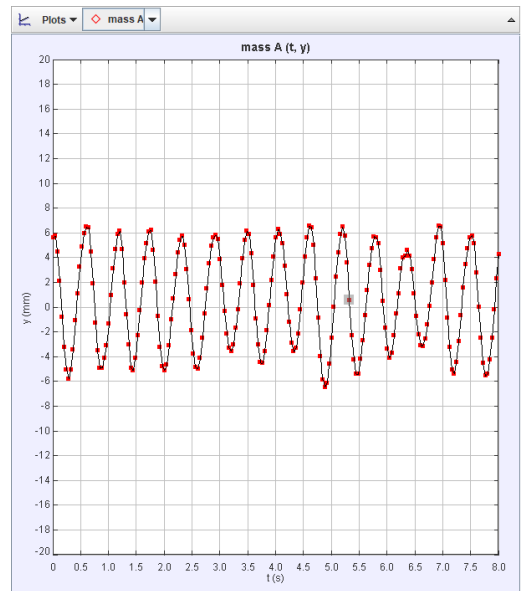
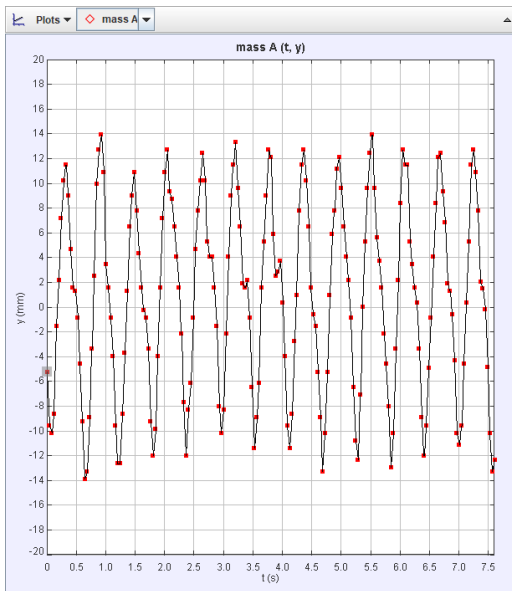




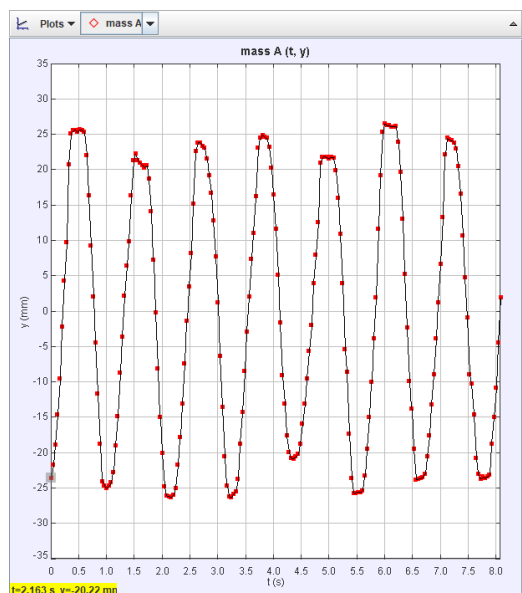
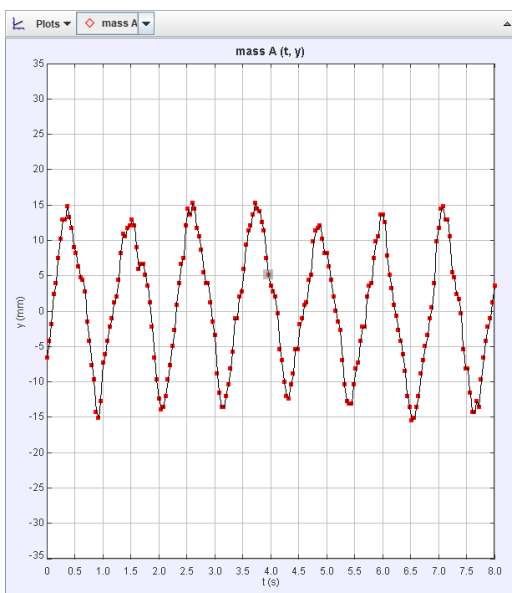
K



M



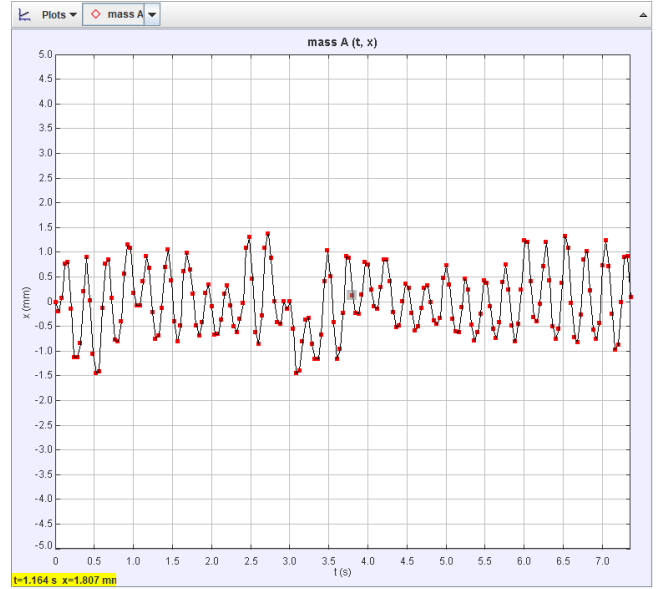
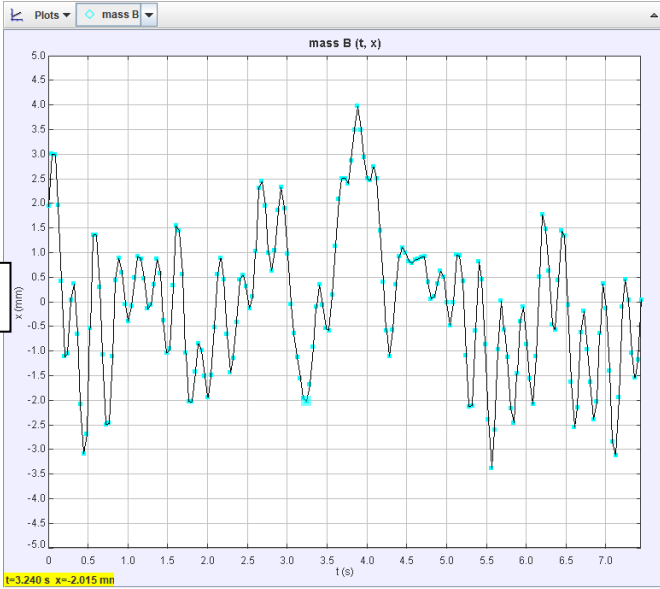
G



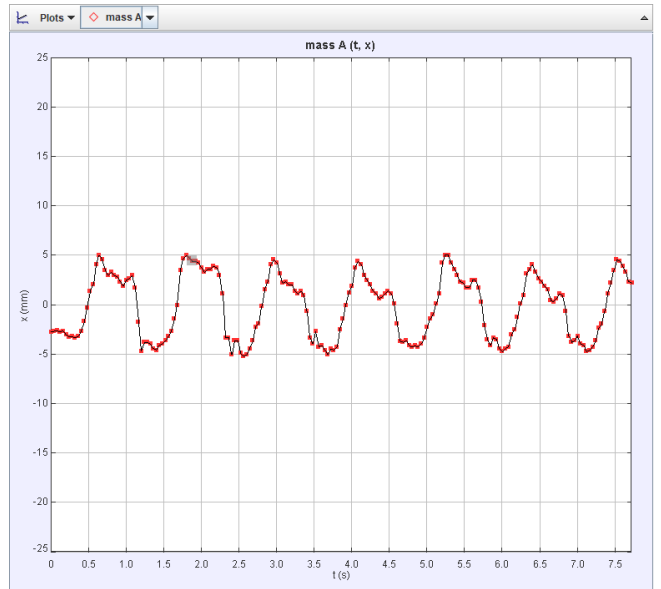
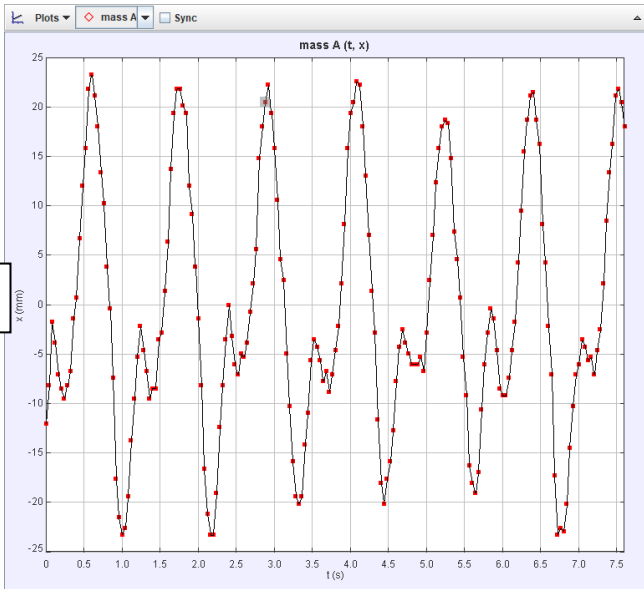
(T,X)-GRAFIEKEN

Meetresultaten uit de video's in (t,x)-grafieken weergeven

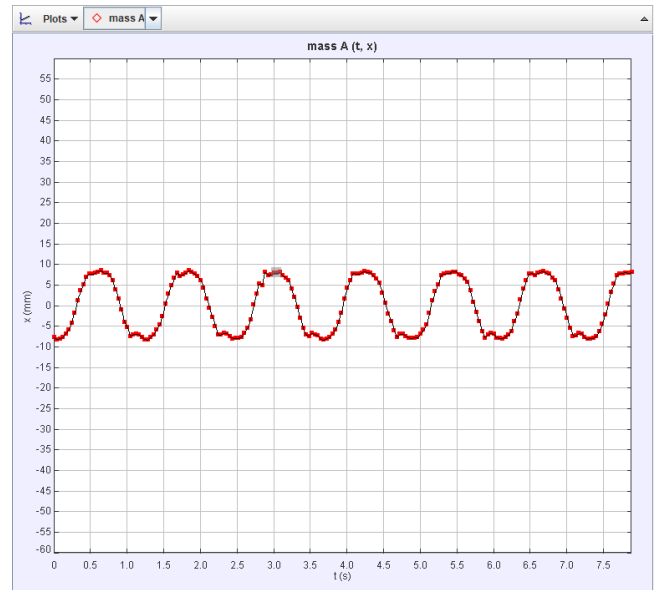
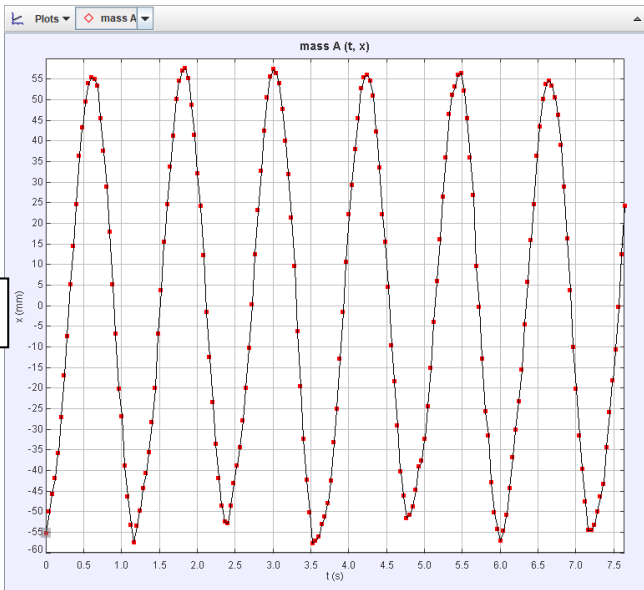
K



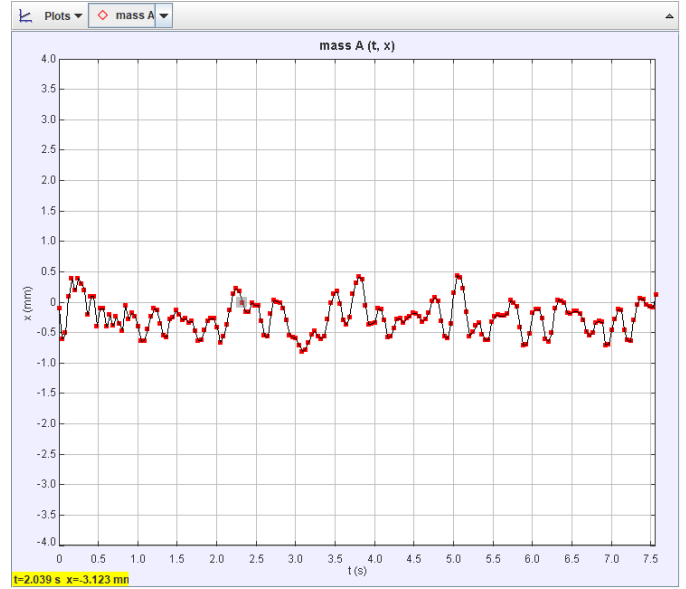
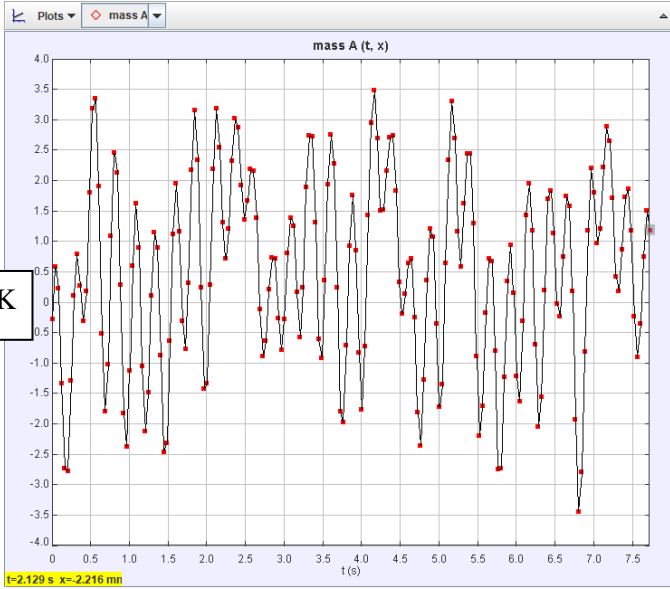
M



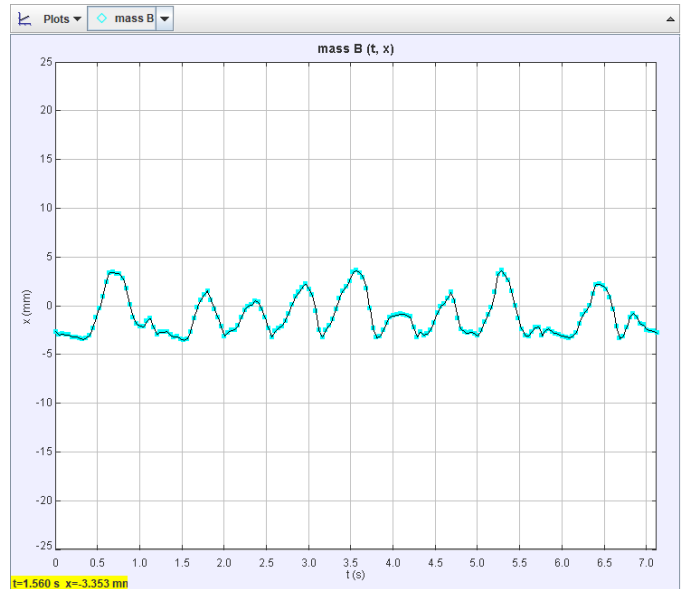
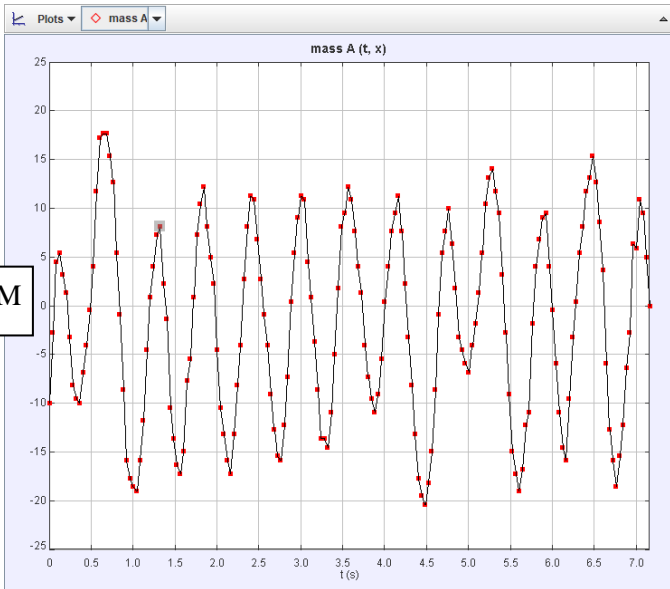
G



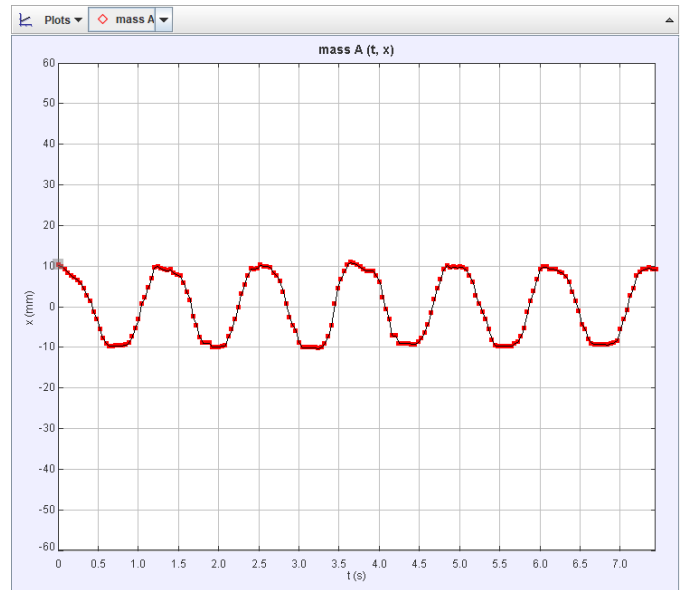
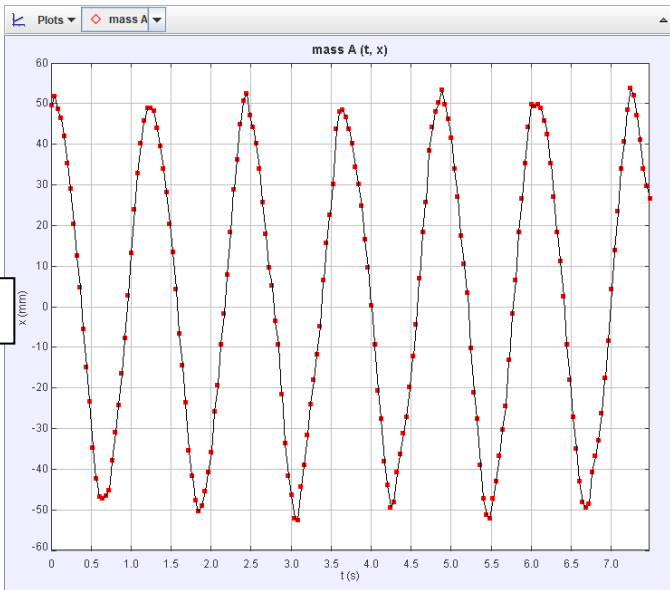
K



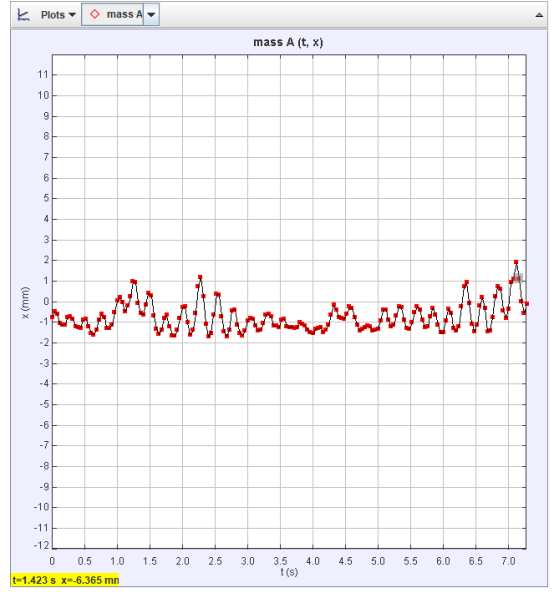
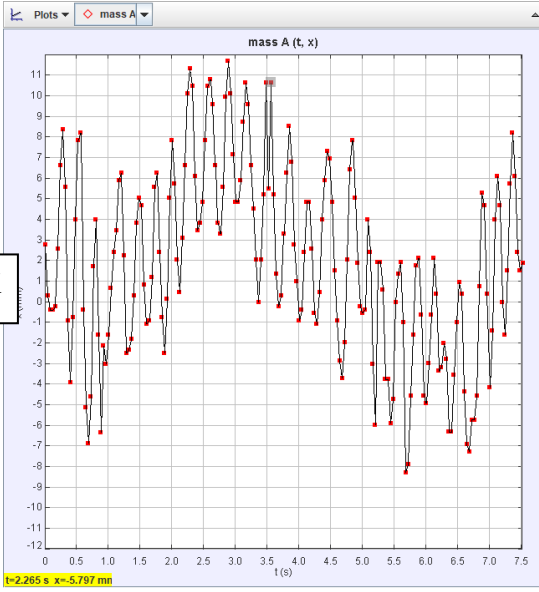
M



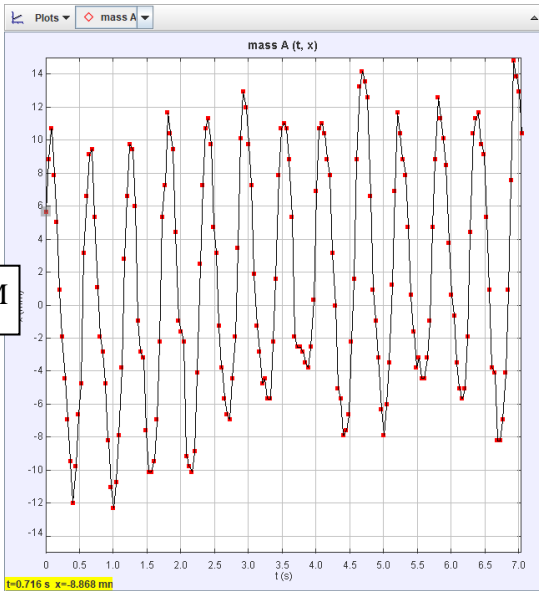
G



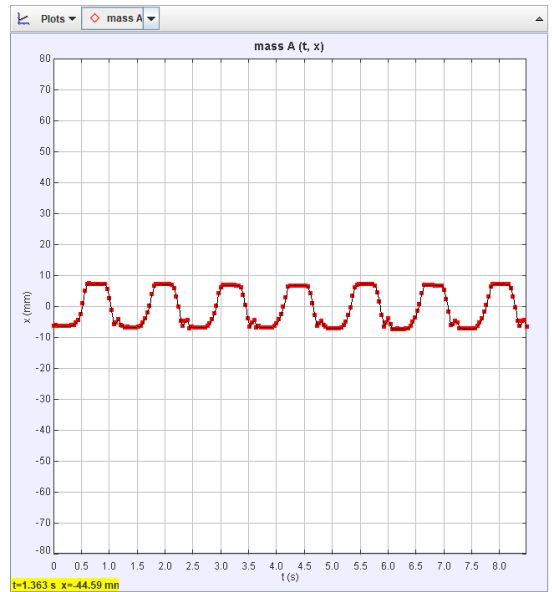
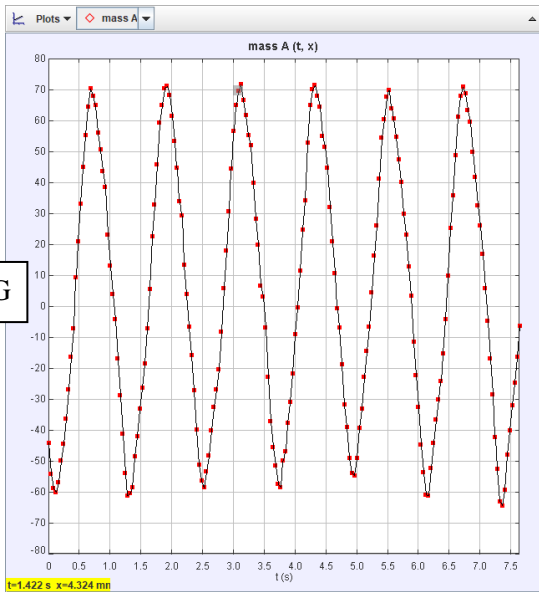
K



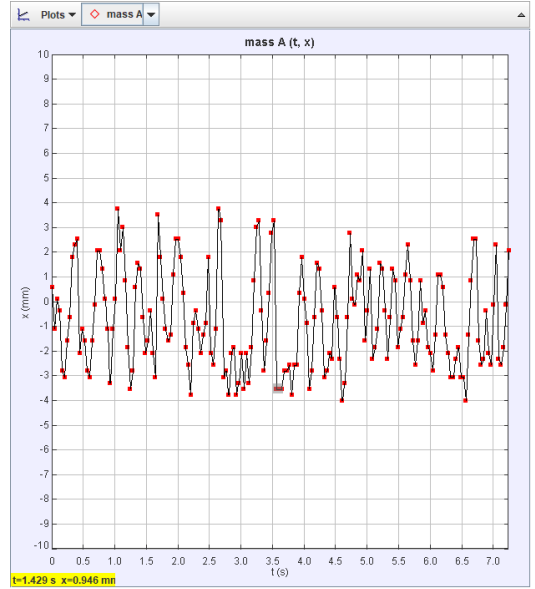
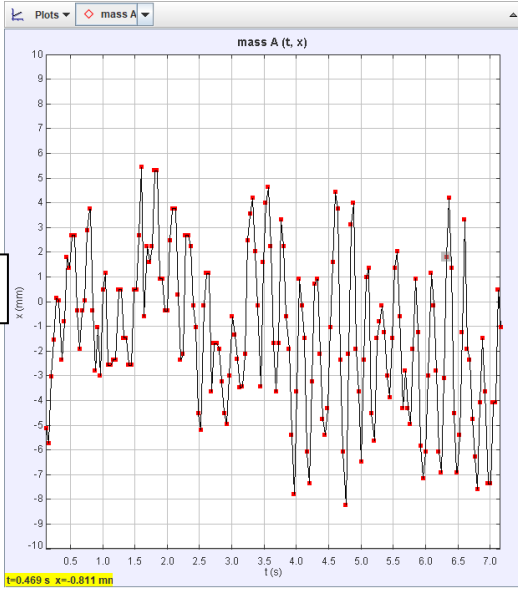
M



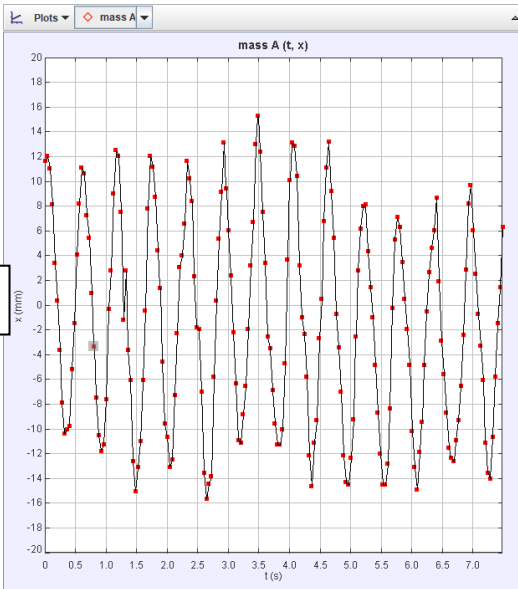
G



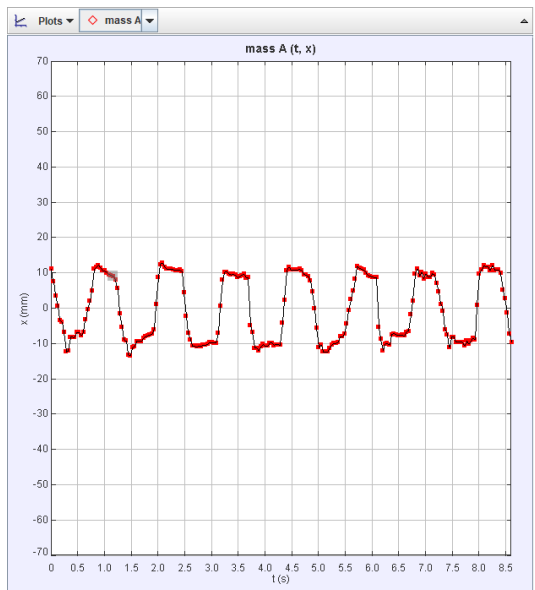
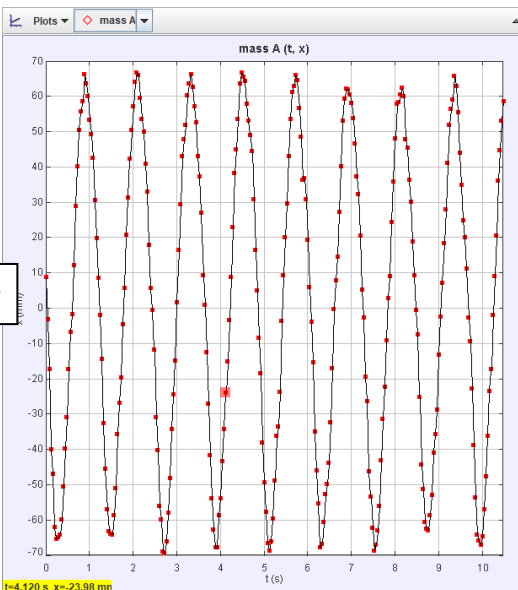
K



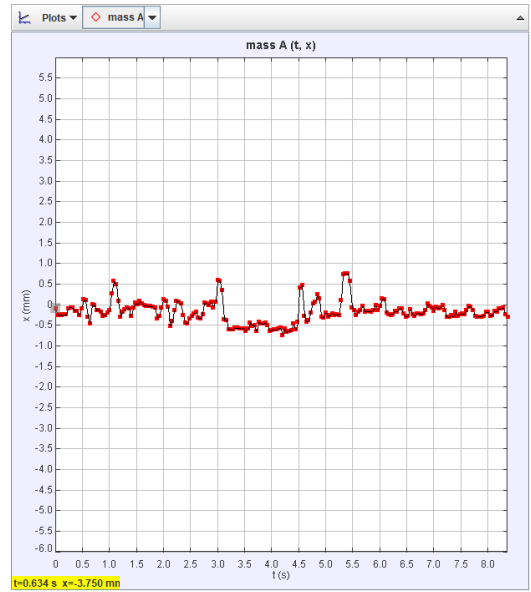
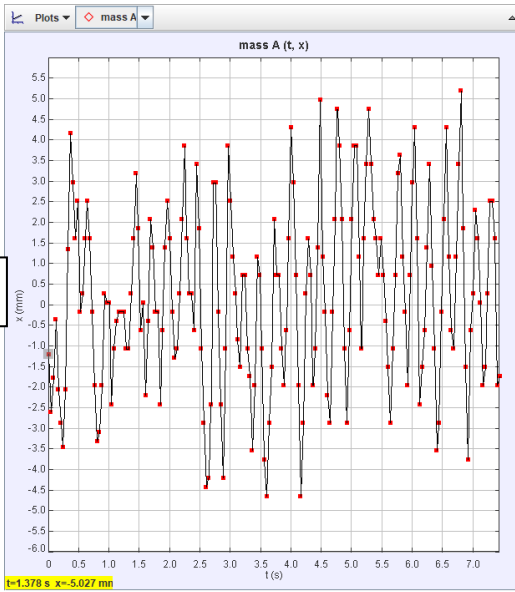
M



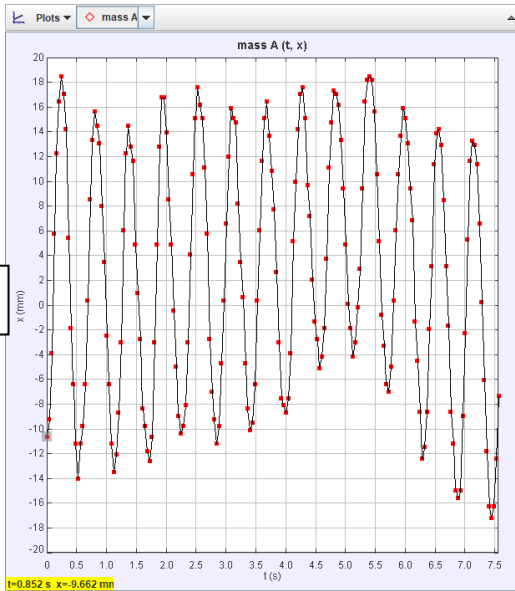
G



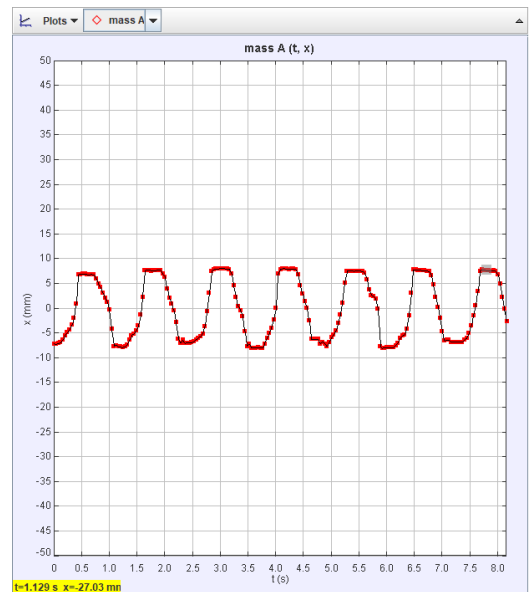
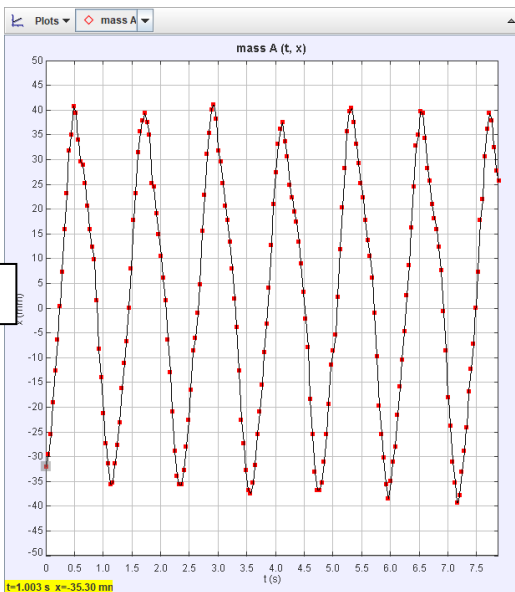
K

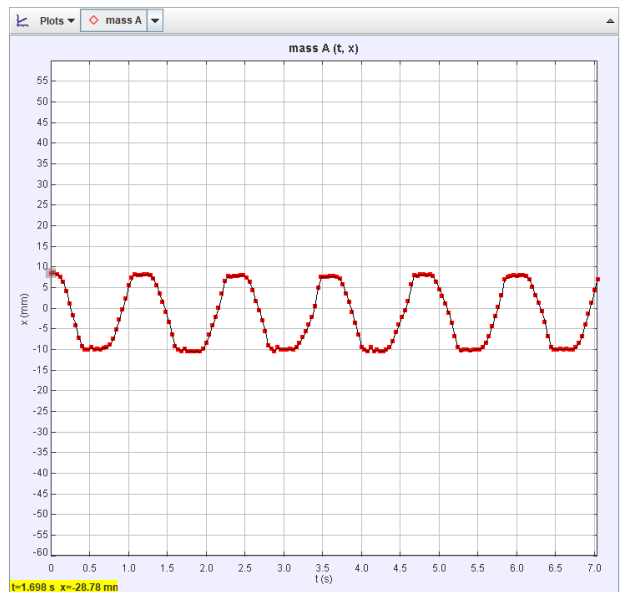
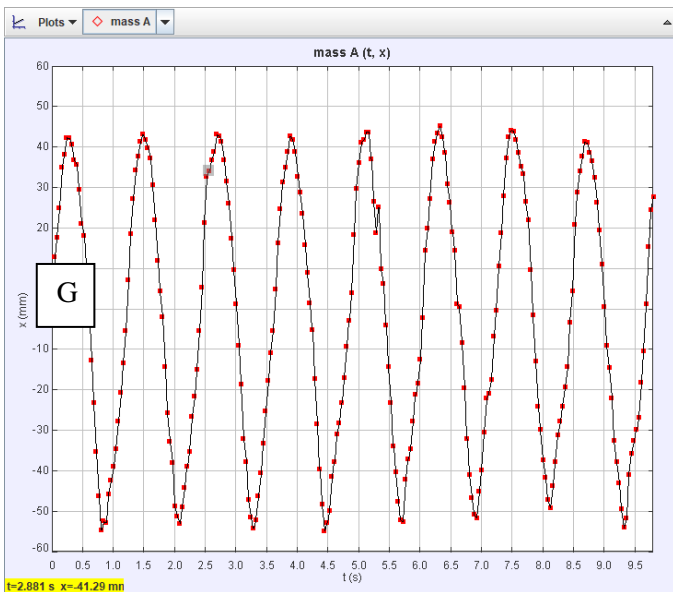
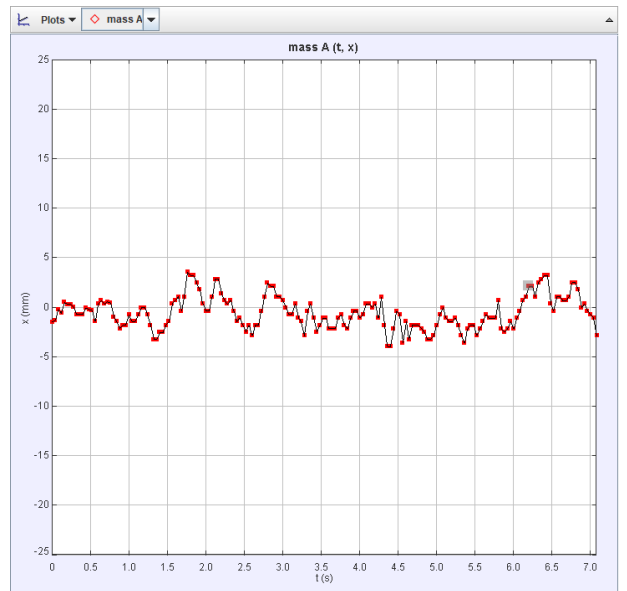
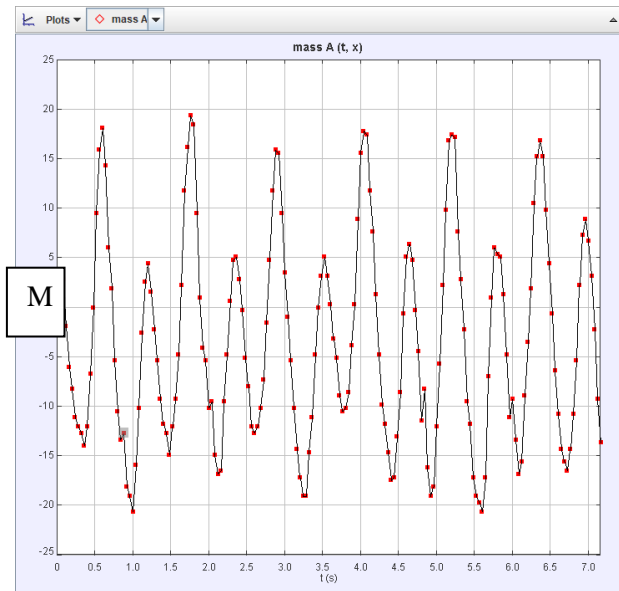
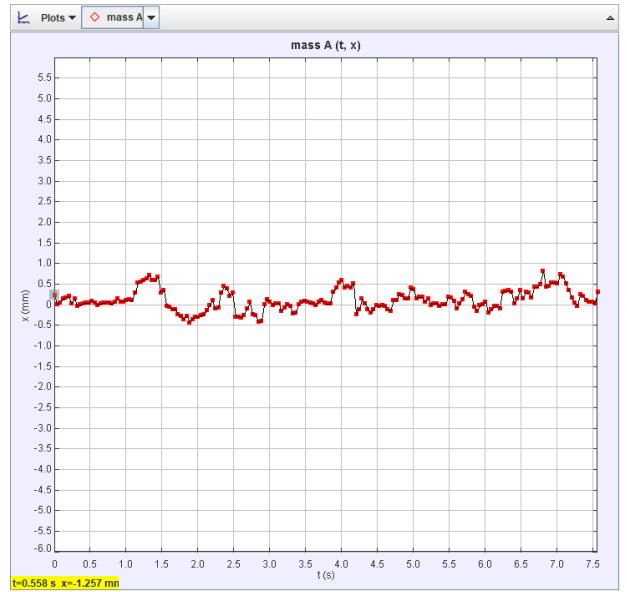
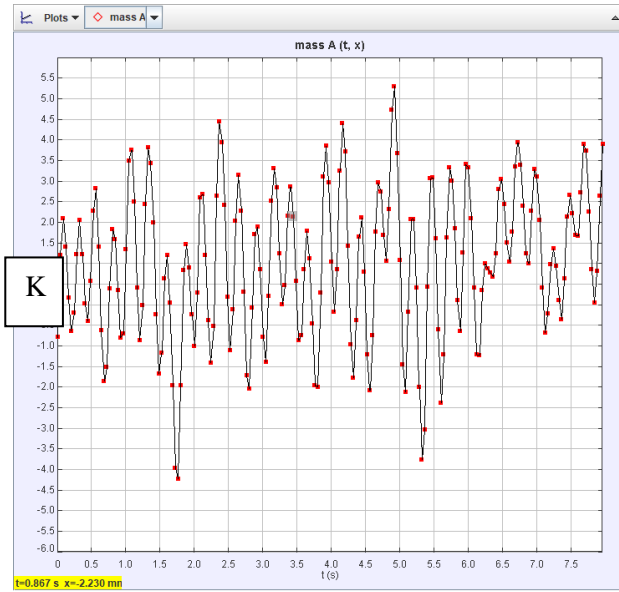


M

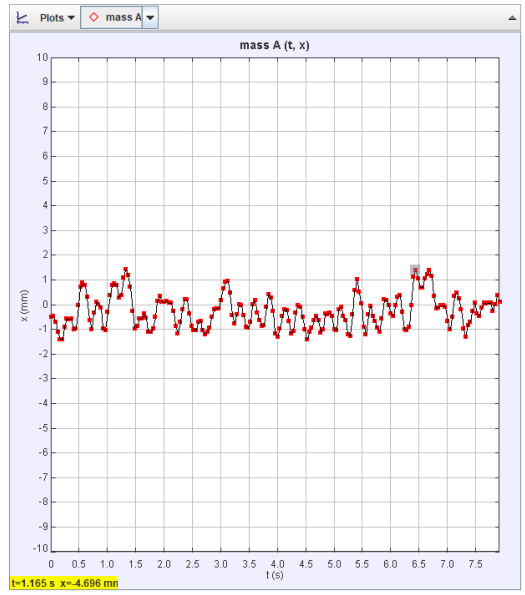
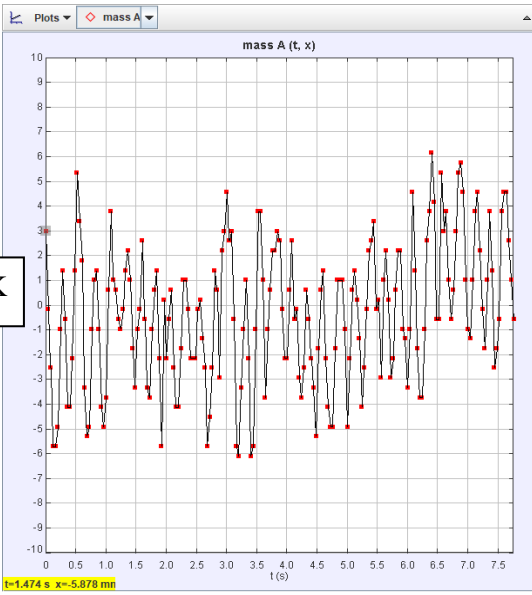


G

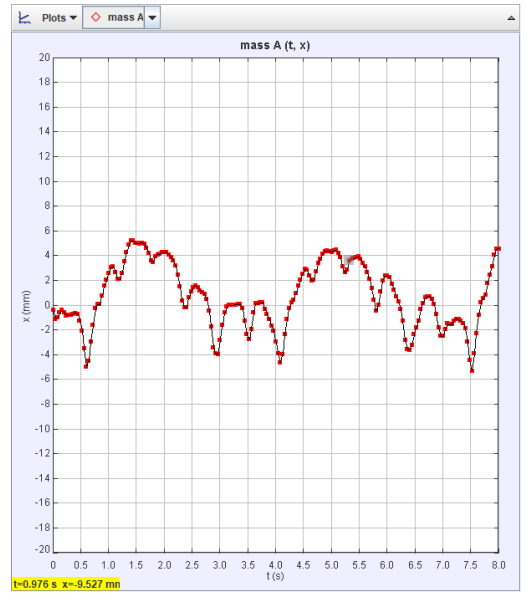
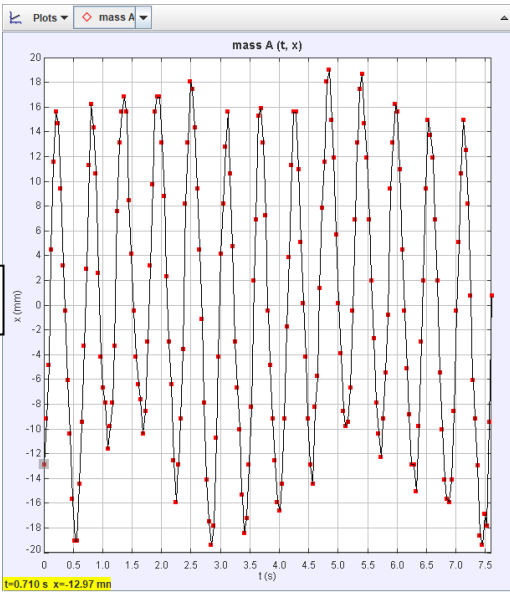




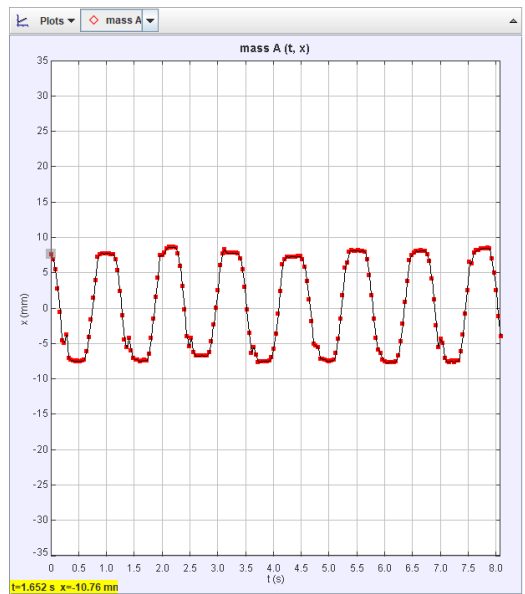
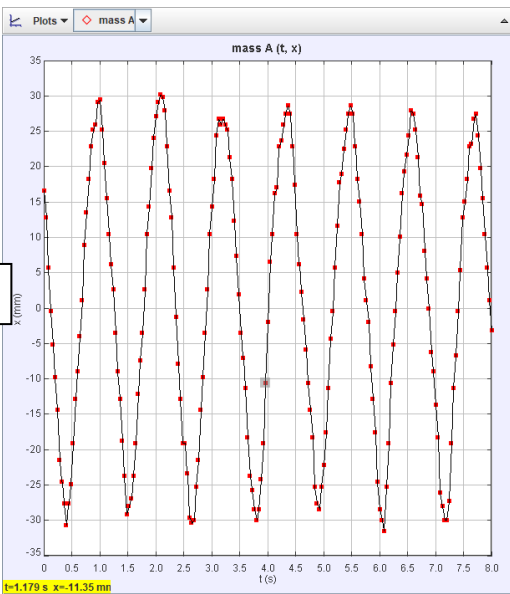
K



M

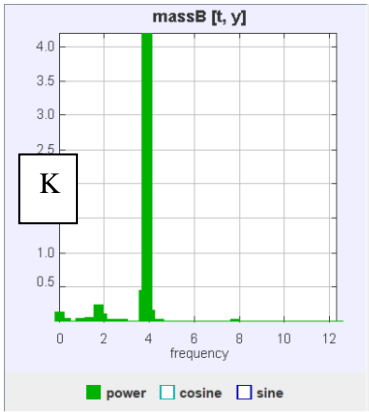


G

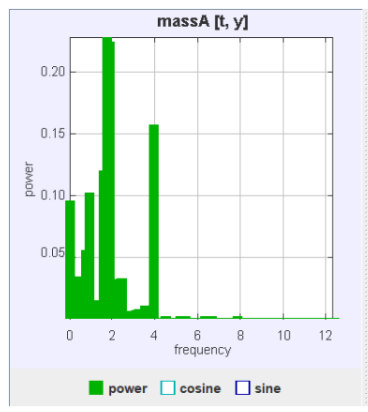


(T,Y)-GRAFIEKEN OMGEVORMD NAAR (I,F)-FOURIERDIAGRAMMEN

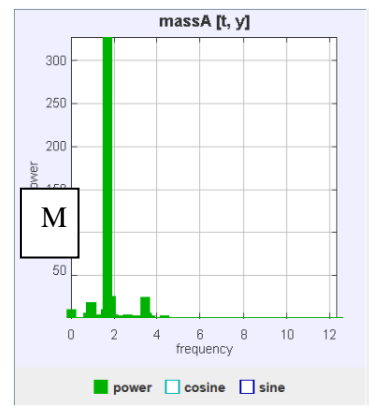
De (t,y)-Grafieken omgevormd naar (I,F)-Fourierdiagrammen



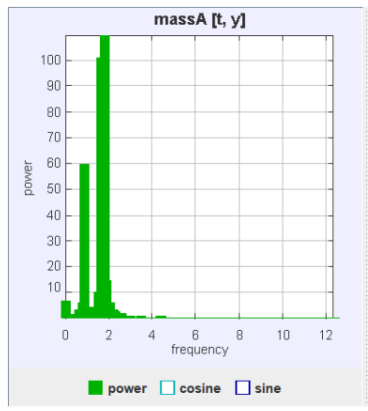
frequency	power	cosine	sine
4.973	1.032E-2	-9.608E-2	-3.300E-2
4.301	1.233E-2	-0.110	-1.467E-2
3.629	1.473E-2	0.121	-1.988E-4
7.796	1.867E-2	-0.136	-1.517E-2
4.167	2.215E-2	-0.149	4.019E-3
2.823	2.227E-2	-0.122	8.542E-2
1.075	2.294E-2	-2.972E-2	0.149
0.134	2.384E-2	0.148	4.564E-2
4.435	2.439E-2	1.675E-2	-0.155
2.285	2.633E-2	8.159E-2	0.140
2.419	2.989E-2	7.224E-2	0.157
0.269	3.888E-2	0.197	-5.801E-3
1.613	4.090E-2	0.138	-0.148
0.941	4.648E-2	0.211	-4.466E-2
1.344	6.497E-2	0.182	0.178
1.882	0.102	-0.243	0.207
0.000	0.135	0.367	-1.984E-2
4.032	0.163	-0.401	-5.282E-2
1.747	0.243	-0.266	0.415
3.763	0.459	0.643	0.214
3.898	4.201	2.021	0.341



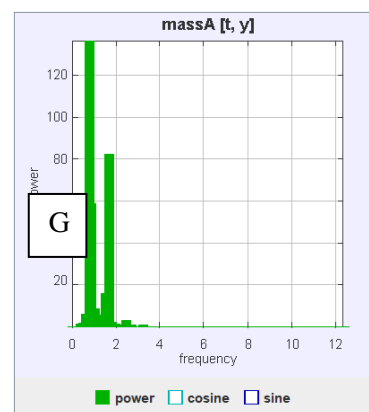
frequency	power	cosine	sine
1.223	5.302E-3	-4.358E-2	5.833E-2
2.853	6.741E-3	-4.781E-2	5.879E-2
3.125	6.733E-3	-7.568E-2	3.195E-2
0.679	7.208E-3	1.305E-2	-8.389E-2
3.261	7.411E-3	1.053E-2	8.544E-2
1.087	9.716E-3	-9.622E-2	2.140E-2
3.533	1.012E-2	-8.656E-2	-5.128E-2
1.359	1.502E-2	9.736E-2	7.443E-2
0.136	1.709E-2	0.110	7.091E-2
0.543	1.938E-2	0.132	-4.495E-2
2.310	2.081E-2	-6.456E-2	0.129
2.038	3.150E-2	-0.165	-6.626E-2
2.446	3.280E-2	-4.048E-2	0.177
0.408	3.367E-2	7.900E-2	-0.166
0.815	5.475E-2	-0.204	-0.115
0.000	9.512E-2	-0.308	1.187E-2
0.951	0.101	0.289	-0.132
1.630	0.119	0.278	-0.205
3.940	0.157	0.278	0.283
1.902	0.224	-0.442	0.169
1.766	0.228	-0.413	0.240



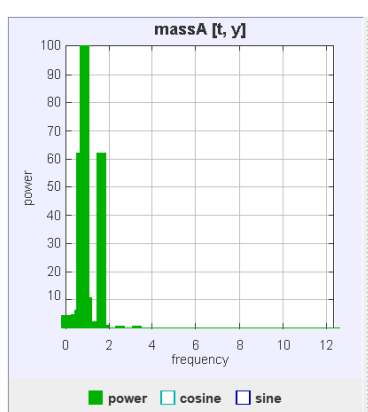
frequency	power	cosine	sine
2.368	1.120	0.803	-0.689
4.342	1.319	-0.288	-1.112
3.684	1.382	-1.138	0.297
1.184	1.714	-1.228	0.453
2.500	1.757	1.134	-0.686
3.289	1.797	0.767	-1.100
2.105	2.094	0.821	-1.192
2.763	2.101	0.791	-1.214
2.895	2.522	1.130	-1.116
1.447	2.591	-1.596	0.210
1.974	3.444	0.959	-1.589
2.632	3.518	1.079	-1.534
1.316	3.574	-1.828	0.484
3.553	6.050	-1.924	1.533
0.789	6.218	1.179	2.197
1.579	9.499	-2.550	1.732
0.000	9.819	-3.132	9.469E-2
0.921	17.47	-2.658	-3.226
3.421	23.96	3.940	-2.904
1.842	24.68	3.324	-3.692
1.711	327.3	-13.83	11.67



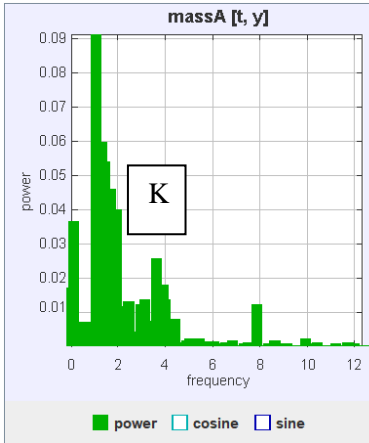
frequency	power	cosine	sine
3.479	0.461	-0.158	-0.660
4.381	0.467	-0.332	-0.597
2.706	0.557	0.141	-0.733
2.964	0.623	-3.258E-2	-0.789
0.515	0.778	-0.517	0.715
0.387	1.546	-1.017	0.715
2.448	1.662	0.197	-1.274
2.577	1.895	-0.148	-1.389
2.320	2.298	0.188	-1.504
1.418	2.706	-1.260	1.057
0.644	3.063	-0.838	1.537
2.191	3.150	0.408	-1.727
1.289	3.951	-1.617	1.156
0.773	5.664	-0.145	2.375
2.062	5.851	0.686	-2.326
0.000	6.797	2.605	0.105
1.546	10.09	-2.416	2.063
1.933	14.27	1.475	-3.478
0.902	59.72	-0.443	-7.715
1.675	101.0	-5.559	8.375
1.804	109.8	5.046	-9.182



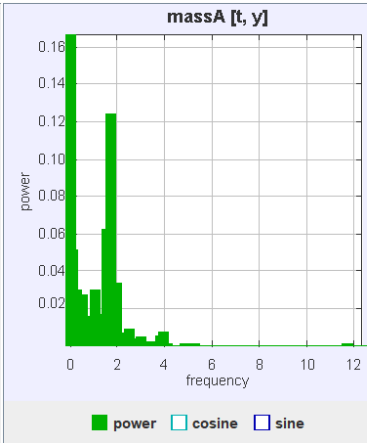
frequency	power	cosine	sine
0.260	0.397	-0.567	0.277
4.036	0.427	0.300	0.581
2.865	0.436	-0.316	0.580
2.214	0.478	-0.211	0.659
2.083	0.632	-0.489	0.627
2.734	0.761	0.139	0.861
3.255	0.993	-0.374	0.924
0.391	1.191	-0.447	-0.996
1.953	1.257	-1.076	0.314
0.521	1.843	-0.705	-1.160
1.823	2.255	-1.160	0.953
2.474	2.758	0.702	1.505
1.172	4.016	1.556	1.263
1.302	5.248	2.059	1.004
1.432	5.873	2.375	0.484
0.651	5.943	-1.588	-1.867
1.042	8.705	2.018	2.153
1.562	15.94	3.922	0.745
0.911	58.85	4.698	6.065
1.693	82.29	-8.950	1.480
0.781	136.6	-6.527	-9.695



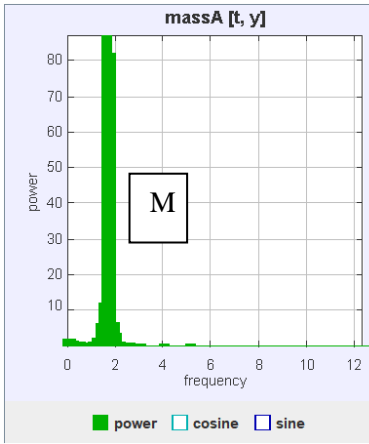
frequency	power	cosine	sine
3.535	0.162	0.311	0.256
2.273	0.191	0.405	0.165
4.167	0.222	0.392	0.261
1.894	0.347	0.549	-0.213
2.525	0.460	9.109E-2	0.672
3.283	0.467	-0.567	-0.381
1.768	0.801	0.337	-0.829
1.515	1.271	0.700	0.884
1.389	1.304	0.568	0.991
0.126	1.594	-1.223	0.313
0.253	1.801	-1.342	-3.181E-2
0.379	2.008	-1.413	-0.106
1.263	2.026	1.179	0.797
1.136	2.174	1.153	0.919
0.000	4.461	2.111	-7.051E-2
0.505	4.920	-2.153	-0.533
0.631	6.626	-2.370	-1.005
1.010	10.82	2.772	1.772
1.641	61.78	1.433	7.728
0.758	61.88	-7.311	-2.905
0.884	100.3	9.110	4.164



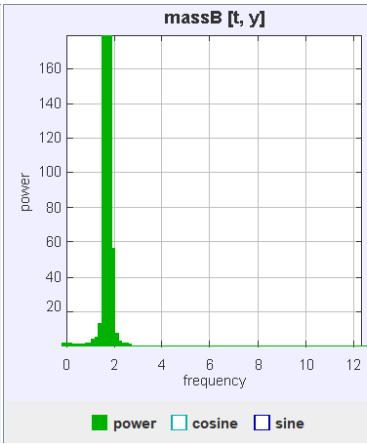
frequency	power	cosine	sine
0.773	6.998E-3	6.029E-2	5.799E-2
3.222	7.485E-3	-7.950E-2	3.414E-2
4.381	7.555E-3	6.123E-2	6.169E-2
2.062	1.178E-2	1.373E-3	-0.109
7.861	1.195E-2	9.761E-2	4.918E-2
2.964	1.199E-2	-7.673E-2	7.813E-2
2.448	1.310E-2	0.108	-3.829E-2
3.995	1.328E-2	5.305E-2	0.102
3.093	1.329E-2	-0.103	5.268E-2
0.000	1.715E-2	-0.127	-3.371E-2
3.866	1.782E-2	1.873E-2	-0.132
3.608	2.566E-2	3.730E-2	-0.156
1.546	2.750E-2	-0.124	0.110
0.129	3.614E-2	0.190	7.527E-3
1.160	3.619E-2	0.129	0.139
1.804	3.961E-2	-0.126	-0.154
1.933	3.978E-2	-0.167	0.109
1.675	4.581E-2	-5.782E-2	0.206
1.418	5.381E-2	0.186	0.138
1.289	5.963E-2	0.178	-0.167
1.031	9.120E-2	0.167	0.252



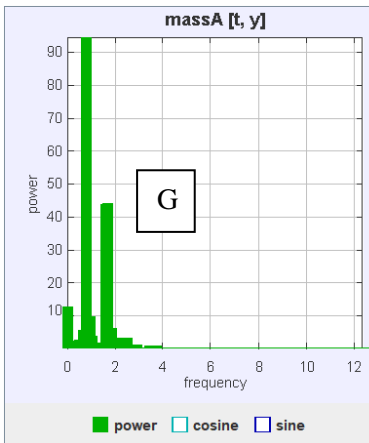
frequency	power	cosine	sine
2.105	4.119E-3	-3.717E-2	-5.232E-2
3.026	4.874E-3	2.149E-2	-6.642E-2
0.921	5.272E-3	3.934E-2	-6.103E-2
3.816	5.433E-3	4.449E-2	-5.877E-2
2.368	6.593E-3	2.687E-3	8.115E-2
3.947	7.710E-3	-5.480E-2	6.861E-2
2.500	9.060E-3	-7.127E-2	-6.310E-2
0.395	9.853E-3	2.720E-3	-9.923E-2
0.658	1.288E-2	2.500E-2	-0.111
1.447	1.441E-2	-0.102	6.304E-2
0.789	1.610E-2	0.118	-4.615E-2
1.184	1.666E-2	0.123	-3.844E-2
0.526	2.743E-2	7.525E-2	-0.148
1.053	2.946E-2	-2.284E-2	0.170
0.263	3.004E-2	-0.155	-7.835E-2
1.842	3.101E-2	0.166	-5.984E-2
1.974	3.399E-2	-0.162	8.886E-2
0.132	5.144E-2	-3.024E-2	-0.225
1.579	6.263E-2	-0.246	4.790E-2
1.711	0.124	0.348	-4.702E-2
0.000	0.167	0.408	1.420E-2



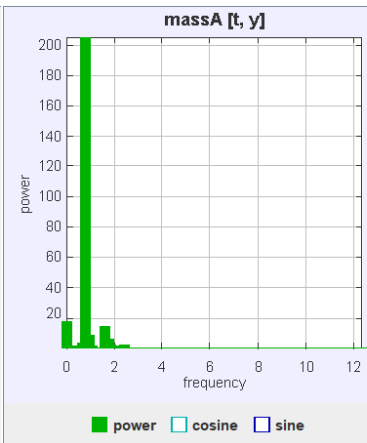
frequency	power	cosine	sine
2.778	0.432	0.447	-0.482
5.139	0.433	-0.256	-0.606
3.056	0.452	0.109	-0.663
2.639	0.757	0.771	-0.403
2.500	0.837	0.461	-0.791
2.361	0.897	0.797	-0.511
0.833	0.900	-0.905	-0.284
0.556	1.028	-0.444	0.912
1.111	1.130	0.381	0.992
0.417	1.134	-1.020	0.306
2.222	1.340	0.970	-0.632
0.278	1.431	-1.119	0.423
0.139	1.880	-1.300	-0.435
0.000	1.940	1.389	9.565E-2
1.250	2.100	-1.070	0.977
2.083	3.437	1.298	-1.324
1.389	6.348	-2.054	1.459
1.944	6.797	2.073	-1.581
1.528	12.23	-2.735	2.180
1.806	82.22	7.436	-5.189
1.667	87.17	-7.220	5.920



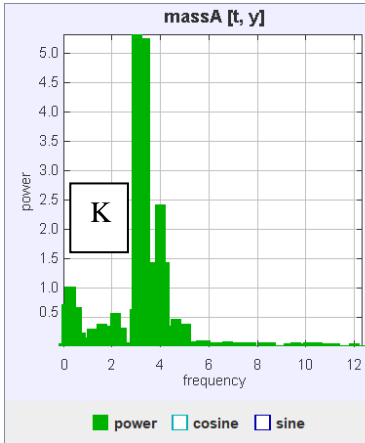
frequency	power	cosine	sine
0.140	0.209	-0.410	-0.201
3.090	0.217	0.456	9.628E-2
2.669	0.239	0.473	0.123
0.702	0.462	0.416	-0.537
0.281	0.614	-0.768	0.158
2.528	0.726	0.852	1.188E-2
0.843	0.799	-0.245	-0.860
0.421	1.161	-1.061	-0.184
0.562	1.260	-0.879	-0.698
2.247	1.276	1.103	0.247
2.388	1.662	1.278	0.171
0.983	1.676	-1.273	-0.235
1.124	1.778	2.279E-2	1.333
0.000	2.012	-1.416	-8.561E-2
2.107	3.263	1.803	-0.113
1.264	4.108	-1.633	1.201
1.404	5.448	-2.170	0.860
1.966	7.349	2.711	1.619E-2
1.545	13.06	-3.556	0.649
1.826	56.58	7.518	-0.221
1.685	179.6	-13.33	1.342



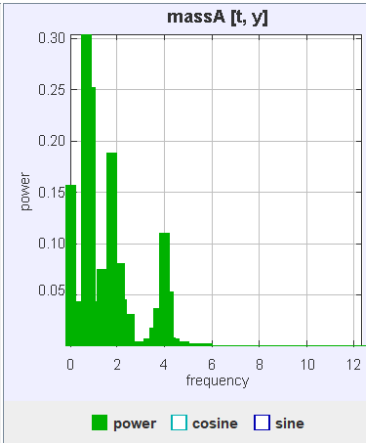
frequency	power	cosine	sine
2.793	0.452	0.185	-0.646
3.457	0.603	-3.424E-2	-0.776
2.926	0.752	5.691E-2	-0.865
2.660	0.815	-0.749	-0.504
0.266	1.465	-1.012	0.663
1.463	1.595	-0.432	1.187
2.128	1.644	0.159	-1.272
0.133	2.216	0.672	1.328
0.532	2.480	-9.046E-2	1.566
1.995	2.650	-0.455	-1.563
2.394	2.867	0.110	-1.690
2.261	3.066	0.155	-1.744
2.527	3.257	-1.776	0.321
1.064	3.480	5.414E-3	-1.865
0.665	5.372	-0.964	2.108
1.862	6.030	-0.143	-2.451
0.931	9.635	0.517	-3.061
0.000	12.40	3.521	6.467E-2
1.596	43.53	-0.186	6.595
1.729	43.99	0.601	-6.605
0.798	94.72	-0.677	9.709



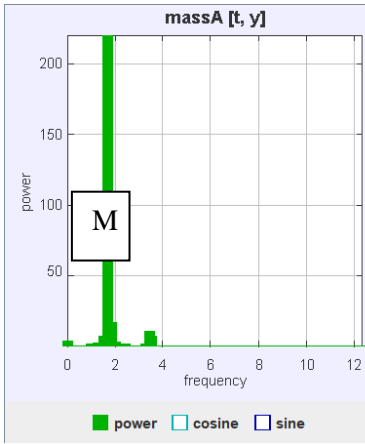
frequency	power	cosine	sine
1.478	0.203	-0.266	0.364
3.360	0.236	-0.486	-1.482E-2
3.091	0.260	0.389	-0.329
3.226	0.343	0.176	-0.558
2.554	0.347	-0.543	0.227
1.210	0.449	0.438	-0.507
0.403	0.491	-0.538	0.449
0.134	0.565	-0.637	0.399
2.285	0.593	0.290	-0.713
0.538	0.818	-0.680	0.597
1.075	0.867	0.901	-0.235
2.016	0.920	0.458	-0.843
0.269	1.589	-1.114	0.590
1.882	1.947	0.423	-1.329
2.419	2.062	0.793	-1.197
0.672	3.806	-1.583	1.140
1.747	6.012	0.906	-2.279
0.941	8.785	2.106	-2.086
1.613	14.27	-0.916	3.665
0.000	17.26	4.155	2.787E-2
0.806	205.4	-10.06	10.20



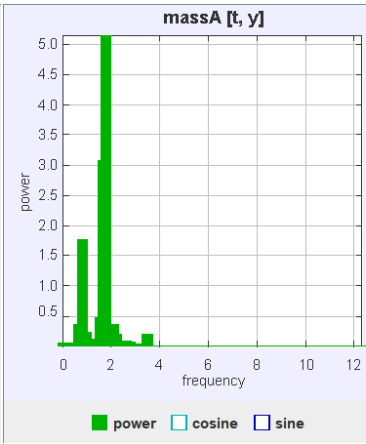
frequency	power	cosine	sine
4.255	0.302	-0.384	-0.394
2.394	0.305	0.398	-0.384
4.388	0.335	-0.114	-0.567
1.729	0.337	0.580	-3.597E-2
4.920	0.350	-0.274	0.524
1.596	0.360	0.329	0.501
5.053	0.362	0.250	0.547
0.399	0.400	-0.311	0.551
4.654	0.442	-0.435	-0.502
2.128	0.546	0.679	-0.290
3.723	0.601	0.217	-0.744
2.926	0.612	-0.782	-1.976E-2
0.532	0.651	0.463	0.661
3.457	0.654	5.430E-2	0.807
0.133	0.690	0.267	-0.787
0.266	1.007	-0.153	0.992
4.122	1.431	-1.148	0.337
3.590	1.439	-1.196	9.002E-2
3.989	2.412	-1.505	-0.383
3.324	5.255	2.245	0.464
3.059	5.323	1.929	1.266



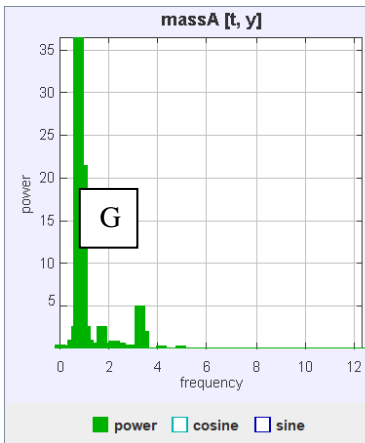
frequency	power	cosine	sine
1.648	1.916E-2	-0.120	-6.862E-2
0.275	2.000E-2	0.130	-5.623E-2
1.099	2.568E-2	-0.137	-8.365E-2
2.335	2.688E-2	0.147	7.332E-2
3.846	2.904E-2	-1.541E-2	0.170
2.473	3.019E-2	-5.559E-4	0.174
0.962	3.061E-2	9.283E-2	-0.148
3.709	3.693E-2	0.186	4.787E-2
0.549	4.203E-2	-0.149	-0.140
0.412	4.354E-2	-0.198	6.480E-2
1.236	4.398E-2	-0.113	-0.176
2.198	4.468E-2	0.202	-6.120E-2
4.121	5.252E-2	7.309E-2	-0.217
1.374	7.412E-2	-8.433E-2	-0.259
1.923	7.734E-2	-0.248	0.127
2.060	8.008E-2	-0.283	1.051E-2
3.984	0.111	1.066E-2	-0.333
0.000	0.157	-0.397	4.067E-3
1.786	0.188	-0.434	2.497E-3
0.824	0.252	-0.501	2.560E-2
0.687	0.304	-0.487	0.260



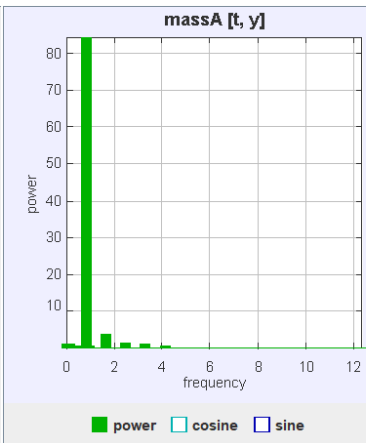
frequency	power	cosine	sine
4.119	0.612	-8.096E-2	-0.778
0.284	0.613	-0.736	0.267
5.256	0.636	-0.767	0.219
3.835	0.657	2.849E-3	-0.811
0.710	0.672	-0.456	0.681
4.545	0.691	0.216	-0.803
3.693	0.797	6.497E-2	-0.890
2.415	1.058	-0.529	-0.882
2.131	1.125	-6.186E-2	-1.059
1.136	1.490	0.583	1.072
3.267	1.506	-0.431	1.149
0.994	1.601	-0.587	1.121
1.420	1.808	-0.427	1.275
1.278	2.042	-0.421	1.366
1.989	3.008	0.304	-1.708
0.000	3.519	1.876	5.737E-3
1.563	7.003	-0.201	2.639
3.551	7.200	0.289	-2.668
3.409	10.94	-0.571	3.257
1.847	16.52	0.709	-4.002
1.705	220.3	-0.340	14.84



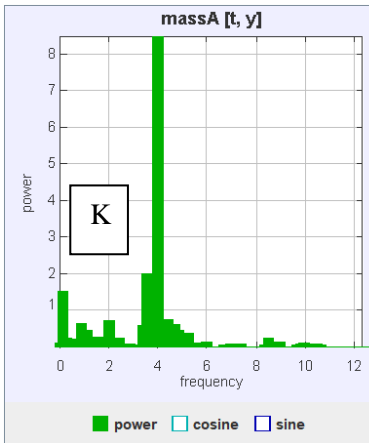
frequency	power	cosine	sine
3.194	2.241E-2	4.871E-2	-0.142
1.250	2.283E-2	-5.045E-2	0.142
0.278	4.806E-2	-0.197	-9.607E-2
2.361	5.306E-2	-0.228	-2.978E-2
0.000	5.380E-2	0.231	-2.377E-2
0.417	5.854E-2	-6.320E-2	-0.234
2.500	6.745E-2	-0.250	7.039E-2
2.778	7.377E-2	-0.158	-0.221
2.639	8.801E-2	-0.295	-2.979E-2
1.389	0.105	-0.245	0.213
1.111	0.119	-0.266	0.221
2.222	0.186	-0.248	0.352
3.472	0.201	0.415	-0.169
0.972	0.225	-0.458	-0.123
0.694	0.345	0.576	-0.116
2.083	0.345	0.159	0.565
1.944	0.355	0.324	0.500
1.528	0.474	-0.698	-4.082E-2
0.833	1.777	1.206	-0.568
1.667	3.082	-1.676	-0.521
1.806	5.156	1.747	1.450



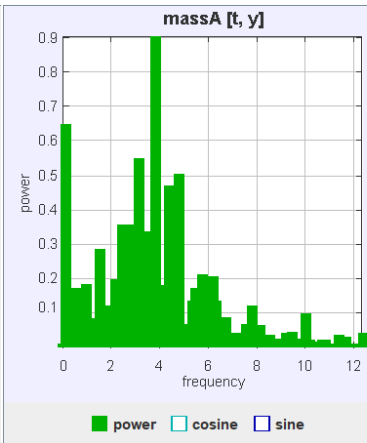
frequency	power	cosine	sine
4.167	0.251	-0.361	-0.347
1.302	0.294	0.321	0.437
2.083	0.306	-0.338	0.437
2.344	0.308	0.298	0.469
2.995	0.342	0.581	6.512E-2
0.000	0.344	0.585	-4.158E-2
1.432	0.377	0.223	0.572
2.865	0.379	0.609	9.056E-2
1.562	0.586	0.748	0.165
1.823	0.647	0.455	0.663
2.474	0.675	-0.821	-2.803E-2
2.214	0.734	0.145	0.844
0.521	0.886	0.231	-0.913
1.172	0.959	2.252E-4	0.979
3.385	1.884	-1.364	0.153
0.651	2.482	9.374E-4	-1.575
1.693	2.525	-0.427	1.530
1.042	2.575	-0.177	1.595
3.255	4.885	2.203	0.178
0.911	21.45	-0.704	4.577
0.781	36.49	1.471	-5.859



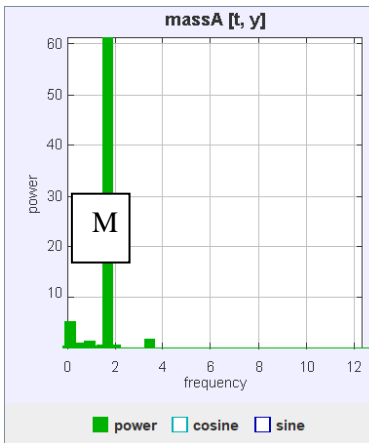
frequency	power	cosine	sine
6.604	3.184E-2	0.152	9.269E-2
1.769	3.232E-2	9.302E-2	0.154
2.358	3.265E-2	8.170E-2	-0.161
2.594	4.229E-2	-0.104	-0.177
1.179	4.723E-2	0.102	-0.192
5.778	0.126	0.233	-0.269
1.297	0.142	3.837E-2	-0.375
1.061	0.188	-0.268	-0.341
4.953	0.240	5.979E-2	0.486
0.354	0.273	-0.521	3.912E-2
0.708	0.305	-0.152	0.531
4.127	0.346	0.567	0.155
0.943	0.426	0.335	-0.560
0.236	0.509	-0.643	-0.309
0.590	0.525	-0.250	-0.680
0.000	1.034	1.017	-1.812E-3
3.302	1.112	-1.052	-6.532E-2
0.118	1.173	-0.746	-0.786
2.476	1.359	1.138	-0.254
1.651	3.725	-8.366E-2	-1.928
0.825	84.33	6.095	6.869



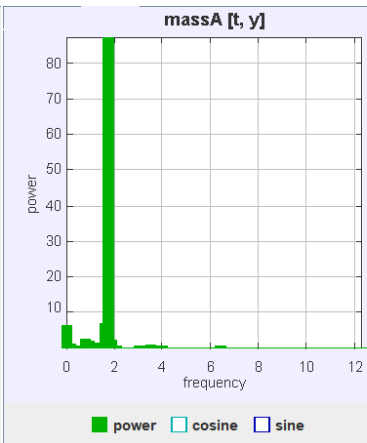
frequency	power	cosine	sine
0.994	0.149	-0.382	-5.689E-2
8.949	0.158	0.381	-0.110
5.114	0.175	-3.974E-2	0.416
0.710	0.210	0.294	-0.351
2.415	0.241	-0.471	-0.136
0.284	0.242	-8.739E-2	0.484
8.523	0.251	-0.487	-0.118
1.563	0.286	-9.643E-2	-0.526
3.693	0.305	8.825E-2	-0.545
5.256	0.374	0.333	-0.513
1.136	0.456	-0.586	-0.336
4.830	0.463	-7.053E-2	-0.677
3.409	0.572	0.706	-0.270
4.687	0.614	0.768	0.155
0.852	0.656	0.780	-0.217
1.989	0.725	-0.663	-0.534
4.403	0.743	-0.791	-0.341
3.835	1.223	-0.112	-1.100
0.142	1.506	-0.749	0.973
3.551	2.016	0.162	-1.410
3.977	8.489	-2.109	2.010



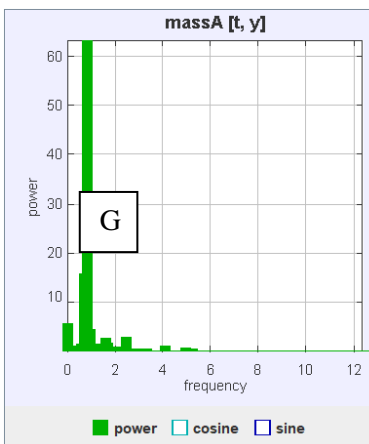
frequency	power	cosine	sine
3.297	0.155	-0.153	0.363
4.121	0.162	0.396	7.665E-2
4.533	0.163	0.278	-0.293
0.412	0.168	0.263	0.314
0.549	0.170	8.049E-2	-0.405
5.495	0.171	0.200	0.363
3.984	0.179	-0.114	-0.407
0.962	0.182	0.389	-0.175
2.747	0.188	-0.433	-8.911E-3
2.198	0.197	-0.412	-0.165
6.181	0.204	-0.184	-0.413
5.789	0.213	0.172	-0.428
1.511	0.286	-0.448	-0.292
3.434	0.334	-0.383	0.433
2.473	0.357	-0.128	-0.584
2.885	0.358	-0.195	-0.566
4.396	0.470	0.242	0.642
4.808	0.503	-0.654	0.276
3.159	0.549	0.669	0.320
0.137	0.648	-0.445	0.671
3.846	0.905	0.951	-3.037E-3



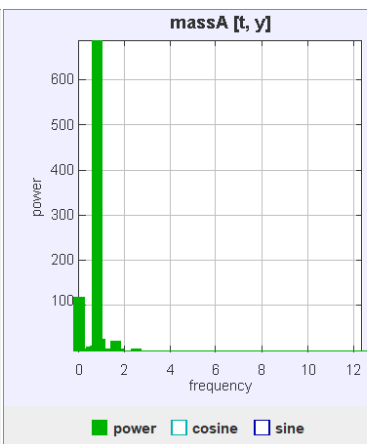
frequency	power	cosine	sine
5.186	0.118	-0.292	-0.180
4.255	0.142	-0.300	0.230
2.128	0.147	4.489E-3	-0.383
2.793	0.149	-0.379	-7.739E-2
5.319	0.162	0.332	0.228
1.064	0.201	-0.437	-9.938E-2
3.590	0.235	-0.474	-0.105
0.266	0.238	0.378	0.309
0.665	0.264	-0.231	0.459
1.197	0.288	0.335	0.419
0.399	0.375	0.374	-0.485
1.596	0.380	0.232	0.571
0.000	0.453	-0.669	-7.651E-2
1.862	0.476	-0.678	-0.130
1.995	0.580	0.115	-0.753
1.463	0.606	-0.339	0.701
0.532	0.980	0.971	0.192
0.931	1.257	0.393	1.050
3.457	1.852	1.151	0.726
0.133	5.083	-1.404	1.764
1.729	61.37	2.450	7.441



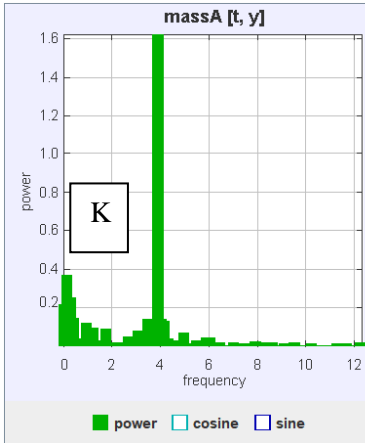
frequency	power	cosine	sine
2.885	0.270	0.168	0.492
4.968	0.286	-1.726E-2	-0.535
6.410	0.356	-0.346	-0.486
0.321	0.368	0.596	0.114
4.006	0.373	0.246	-0.559
3.846	0.445	0.287	-0.602
3.045	0.484	-7.521E-2	-0.691
3.365	0.523	0.405	0.599
1.442	0.534	-2.888E-2	0.730
1.122	0.568	-0.340	-0.673
2.083	0.571	3.522E-2	-0.755
3.686	0.679	-0.226	-0.792
3.526	0.798	0.605	-0.658
0.160	1.295	0.207	-1.119
1.282	1.382	-9.723E-2	-1.172
0.962	1.863	-1.037	-0.887
1.923	2.159	0.327	-1.432
0.801	2.473	0.264	-1.550
0.000	6.293	-2.507	9.672E-2
1.603	6.971	-1.225	2.339
1.763	87.29	2.130	-9.097



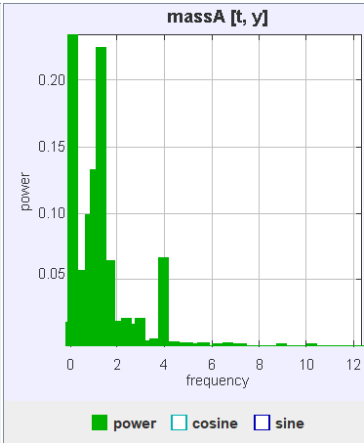
frequency	power	cosine	sine
2.195	0.397	0.331	0.536
2.767	0.469	0.659	0.189
2.004	0.474	0.551	0.412
1.527	0.584	8.044E-2	0.760
4.962	0.744	-0.249	-0.826
2.099	0.791	0.134	0.879
1.908	0.823	-0.131	0.897
1.050	0.992	0.132	0.987
0.668	1.027	0.705	-0.727
0.477	1.073	0.163	-1.023
4.103	1.098	0.924	-0.494
1.145	1.262	0.504	1.004
0.573	1.265	0.874	-0.709
1.240	1.335	-0.516	1.033
1.718	1.663	-0.741	1.055
1.622	2.649	0.912	-1.348
2.481	2.854	-1.402	0.943
0.954	4.345	-0.587	2.000
0.000	5.616	2.370	-1.355E-2
0.763	15.87	1.252	-3.782
0.859	63.32	-1.458	7.823



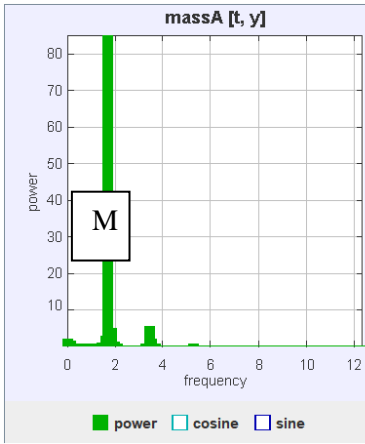
frequency	power	cosine	sine
0.116	0.762	0.448	0.749
2.894	0.877	-0.400	-0.847
1.852	0.899	-0.874	0.367
2.662	0.907	-0.566	-0.766
4.977	1.166	-1.065	0.180
0.231	1.645	0.906	0.907
1.273	1.649	-0.560	-1.155
2.431	1.914	0.992	0.964
1.505	2.063	0.492	-1.350
1.157	2.937	-0.151	-1.707
1.389	2.976	-0.568	-1.629
2.546	3.642	-1.470	-1.217
0.463	3.826	0.345	1.925
1.042	4.486	-0.956	-1.890
1.736	5.310	-1.956	1.218
0.579	9.401	1.327	2.764
0.694	13.45	2.690	2.492
1.620	21.76	1.552	-4.399
0.926	24.75	-2.211	-4.456
0.000	120.7	10.98	0.119
0.810	687.5	16.54	20.35



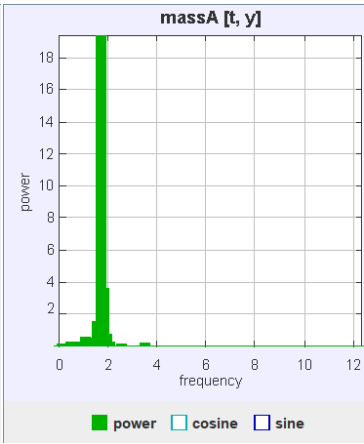
frequency	power	cosine	sine
4.301	3.328E-2	-0.101	-0.152
3.226	3.440E-2	8.692E-2	0.164
6.048	3.835E-2	-4.710E-2	0.190
5.914	4.270E-2	0.154	-0.137
2.688	4.473E-2	0.125	0.170
3.360	4.604E-2	-0.208	-5.398E-2
3.629	6.564E-2	0.253	4.213E-2
4.973	6.584E-2	-0.234	-0.105
3.091	8.122E-2	0.239	0.155
1.747	8.720E-2	0.128	0.266
1.210	9.135E-2	0.234	0.192
0.941	0.115	-0.249	0.231
3.783	0.118	0.183	-0.290
4.167	0.128	-0.348	-7.972E-2
4.032	0.137	-8.085E-2	0.361
3.495	0.140	0.372	3.494E-2
0.403	0.146	-0.320	0.209
0.000	0.212	-0.456	-6.270E-2
0.269	0.252	-0.115	0.489
0.134	0.369	0.404	0.454
3.898	1.624	1.194	0.444



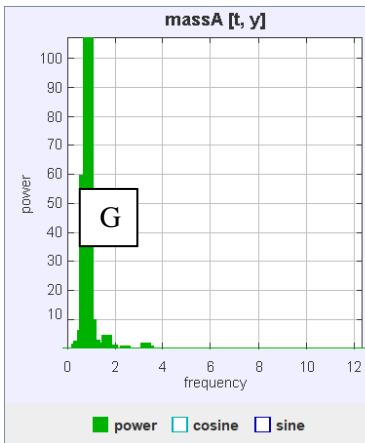
frequency	power	cosine	sine
3.571	5.517E-3	4.559E-2	-5.864E-2
2.500	7.123E-3	-7.096E-2	4.570E-2
1.905	7.145E-3	-4.381E-4	-8.453E-2
1.429	8.155E-3	5.447E-2	-7.203E-2
2.857	8.639E-3	-1.633E-2	-9.150E-2
0.952	1.285E-2	-3.010E-2	0.109
2.024	1.313E-2	-2.490E-3	-0.115
2.619	1.575E-2	5.968E-2	-0.110
0.000	1.800E-2	0.133	1.343E-2
2.143	1.882E-2	9.572E-2	-9.829E-2
2.381	2.069E-2	-0.144	7.348E-3
2.976	2.095E-2	-7.960E-2	-0.121
0.357	2.599E-2	0.146	6.832E-2
1.190	4.392E-2	-8.468E-2	-0.192
0.595	5.647E-2	-0.143	-0.190
1.667	6.382E-2	5.270E-2	0.247
3.929	6.692E-2	-0.234	-0.111
0.833	9.921E-2	0.310	5.632E-2
1.071	0.133	-0.344	0.121
1.310	0.225	-0.213	-0.424
0.119	0.235	0.300	-0.380



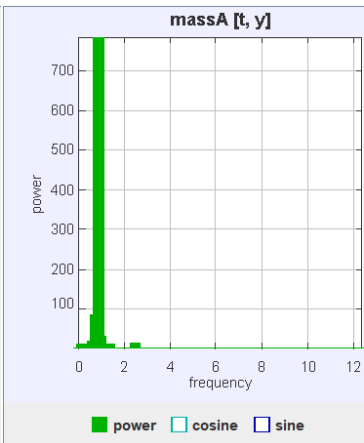
frequency	power	cosine	sine
0.921	0.234	-0.367	-0.315
2.237	0.238	0.461	0.161
1.053	0.247	-0.486	-0.105
1.316	0.292	-0.540	2.457E-2
0.789	0.351	-0.511	-0.299
5.263	0.368	0.602	-7.831E-2
1.184	0.381	-0.617	9.657E-3
2.105	0.381	0.614	6.935E-2
3.289	0.390	7.357E-3	-0.624
0.395	0.462	-0.555	-0.392
0.526	0.566	-0.742	-0.126
3.684	0.578	5.879E-2	0.758
1.447	0.855	-0.890	0.250
1.974	1.010	0.954	-0.316
0.132	1.341	-0.632	-0.970
3.553	1.858	0.687	1.178
0.000	1.935	1.391	9.467E-4
1.579	2.699	-1.614	0.308
1.842	4.796	2.112	-0.581
3.421	5.476	-0.726	-2.225
1.711	85.02	-9.221	1.958E-2



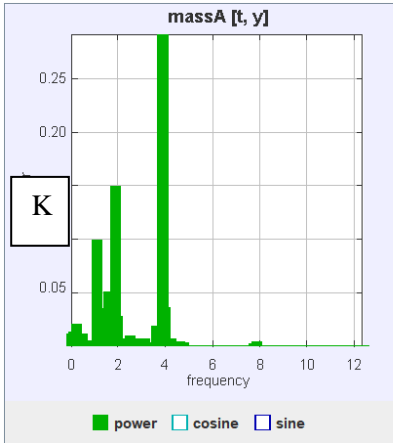
frequency	power	cosine	sine
0.850	4.017E-2	0.195	-4.467E-2
2.306	4.349E-2	-0.112	0.176
2.670	4.604E-2	-0.102	0.189
3.398	5.473E-2	0.202	0.118
2.427	5.795E-2	-1.801E-2	0.240
2.549	8.562E-2	-0.195	0.219
0.121	9.091E-2	0.289	-8.558E-2
1.214	9.376E-2	0.268	-0.148
1.335	0.105	0.282	-0.159
0.243	0.110	0.217	-0.251
0.971	0.111	0.297	-0.152
3.519	0.214	-0.459	6.008E-2
2.063	0.244	-0.357	0.341
0.607	0.247	0.492	6.872E-2
0.485	0.289	0.537	-2.437E-2
1.456	0.497	0.601	-0.369
1.092	0.579	0.661	-0.377
1.942	0.741	-0.691	0.513
1.578	1.593	0.916	-0.868
1.820	3.600	-1.398	1.283
1.699	19.42	3.348	-2.867



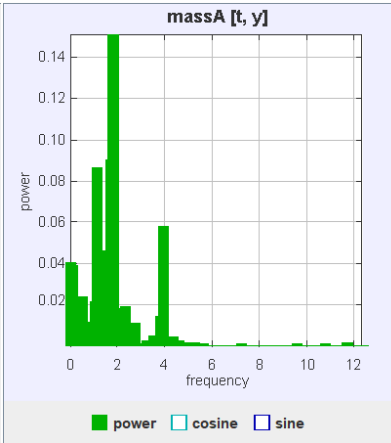
frequency	power	cosine	sine
3.157	0.200	9.702E-2	0.436
4.167	0.204	0.386	-0.233
4.798	0.252	-7.476E-2	0.496
2.020	0.285	0.157	0.510
3.535	0.348	0.373	0.458
2.399	0.504	0.269	0.657
1.515	0.674	0.378	0.729
3.409	0.728	0.615	0.591
1.263	0.828	0.320	0.852
1.894	0.937	0.725	0.641
1.768	1.024	-8.618E-2	1.008
0.379	1.313	-1.096	-0.335
3.283	1.687	-1.255	-0.337
1.389	1.768	0.657	1.156
0.505	2.174	-1.363	-0.563
1.136	2.751	0.998	1.325
1.641	4.385	0.785	1.941
0.631	6.125	-1.339	-2.082
1.010	9.954	1.860	2.548
0.758	59.70	-5.339	-5.585
0.884	107.5	6.832	7.801



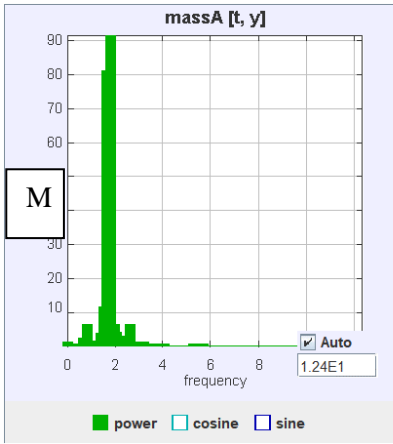
frequency	power	cosine	sine
1.838	0.301	0.276	0.474
2.696	0.324	-0.126	-0.555
0.000	0.352	0.591	-5.730E-2
2.328	0.438	0.195	0.632
2.083	0.482	0.411	0.560
1.716	0.512	0.337	-0.631
2.574	0.616	0.215	-0.755
1.593	0.928	0.963	-4.350E-3
1.471	1.566	0.457	1.165
1.103	5.248	1.598	1.641
0.245	6.695	-2.222	-1.326
1.225	7.230	-1.073	2.465
0.368	8.292	-2.726	0.928
0.490	10.51	-0.918	-3.109
0.123	11.33	-2.974	-1.578
1.348	12.30	2.969	1.867
2.451	14.19	-1.477	3.466
0.613	15.86	-2.587	-3.028
0.980	29.09	4.464	3.027
0.735	85.81	-6.287	-6.803
0.858	786.1	24.57	13.50



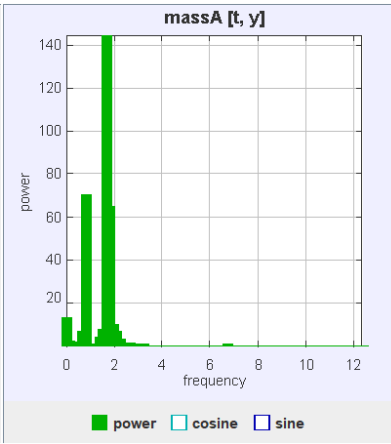
frequency	power	cosine	sine
2.750	6.168E-3	6.973E-2	3.614E-2
2.375	6.187E-3	5.329E-2	5.785E-2
2.125	6.561E-3	2.955E-2	7.542E-2
4.250	6.591E-3	-5.522E-2	-5.952E-2
3.125	6.663E-3	7.524E-2	3.164E-2
2.500	1.010E-2	9.468E-2	-3.370E-2
0.500	1.073E-2	7.498E-3	0.103
0.000	1.127E-2	0.106	7.270E-3
1.500	1.244E-2	-7.277E-2	8.452E-2
1.250	1.285E-2	-8.753E-2	7.203E-2
0.125	1.352E-2	3.053E-2	-0.112
3.625	1.907E-2	0.128	-5.091E-2
0.250	1.951E-2	-6.656E-3	-0.140
2.000	2.759E-2	0.139	-9.117E-2
1.750	3.477E-2	-7.189E-2	-0.172
1.375	3.479E-2	6.366E-2	0.175
4.000	3.595E-2	-0.116	-0.150
1.625	5.084E-2	5.100E-2	0.220
1.125	9.862E-2	-9.599E-2	-0.299
1.875	0.150	0.348	0.170
3.875	0.292	0.310	0.442



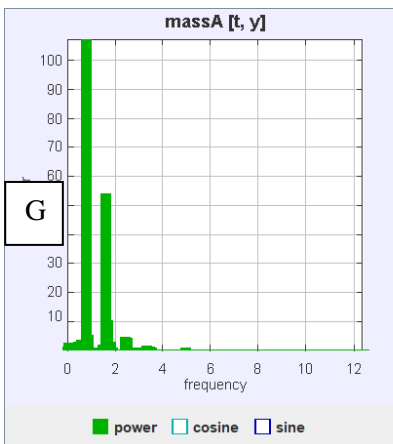
frequency	power	cosine	sine
3.553	5.238E-3	3.539E-2	-6.313E-2
2.237	5.741E-3	-7.455E-2	-1.353E-2
2.632	1.078E-2	6.598E-2	-8.017E-2
2.783	1.079E-2	8.688E-2	-5.727E-2
0.658	1.149E-2	0.107	-4.067E-3
0.263	1.176E-2	7.602E-2	7.735E-2
3.816	1.462E-2	0.109	-5.288E-2
1.974	1.776E-2	-0.126	4.249E-2
2.105	1.817E-2	0.124	5.309E-2
2.368	1.938E-2	0.135	3.272E-2
1.053	2.138E-2	-0.134	-5.831E-2
1.447	2.172E-2	-5.504E-2	0.137
0.526	2.411E-2	5.941E-2	0.143
1.579	3.248E-2	8.855E-2	-0.157
0.132	3.900E-2	3.732E-2	-0.194
0.000	4.039E-2	-0.201	-5.743E-3
1.316	4.569E-2	0.159	-0.143
3.947	5.792E-2	-0.151	0.188
1.184	8.647E-2	0.291	4.479E-2
1.711	9.059E-2	-0.292	-7.339E-2
1.842	0.151	0.363	-0.139



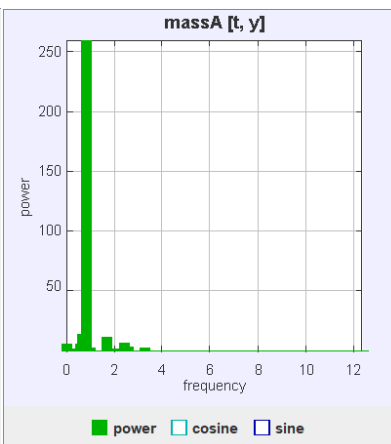
frequency	power	cosine	sine
2.917	0.561	-0.460	-0.591
0.417	0.632	0.701	0.376
2.500	0.805	-0.303	-0.845
1.250	0.891	0.809	0.486
1.111	1.067	0.803	0.650
3.194	1.098	-0.363	-0.983
3.056	1.102	-0.365	-0.984
0.000	1.182	1.082	0.108
2.778	1.282	-0.500	-1.016
0.972	1.603	1.227	-0.314
2.361	1.759	-0.937	-0.939
0.694	2.273	-0.785	1.287
2.222	2.937	-1.297	-1.121
1.389	3.603	0.443	1.846
2.083	4.050	-0.459	-1.959
2.639	6.191	-1.199	-2.180
1.944	6.235	-1.134	-2.225
0.833	6.395	-0.934	2.388
1.528	11.80	1.637	3.019
1.667	81.13	4.449	7.832
1.806	91.71	-4.094	-8.658



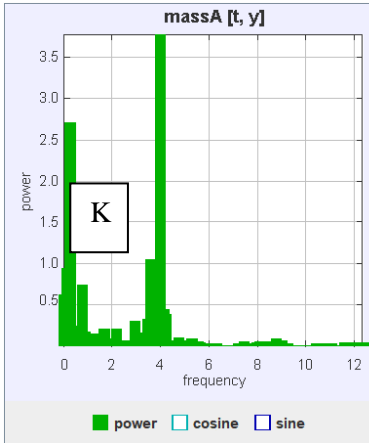
frequency	power	cosine	sine
2.388	0.720	0.284	-0.800
2.949	0.768	-1.317E-2	-0.876
0.281	0.825	-0.492	0.763
2.809	0.902	-0.210	-0.926
0.983	0.977	0.953	0.263
2.528	1.083	0.207	-1.020
1.124	1.089	0.494	0.919
2.669	1.329	-0.891	-0.732
0.562	1.508	-1.144	0.445
0.421	2.162	-1.404	0.437
0.140	2.487	-0.417	1.521
2.247	3.069	0.375	-1.711
1.404	4.036	-0.649	1.901
0.702	7.091	-1.882	1.884
2.107	7.159	0.118	-2.673
1.545	7.400	-0.941	2.552
1.966	10.10	0.424	-3.150
0.000	13.18	3.630	-3.776E-2
1.826	65.22	1.473	-7.940
0.843	70.44	-6.801	4.918
1.685	144.7	-3.148	11.61



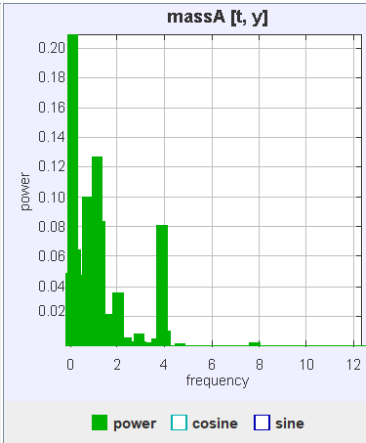
frequency	power	cosine	sine
1.321	0.630	0.160	-0.777
2.642	0.638	0.797	-5.317E-2
1.016	0.655	0.805	-7.703E-2
1.423	0.702	-0.240	-0.803
1.220	0.814	7.960E-2	-0.898
3.455	0.945	0.801	0.550
0.000	1.154	1.073	-3.946E-2
3.354	1.269	0.613	0.945
0.407	1.274	-1.128	-1.034E-2
0.203	1.409	1.170	-0.200
1.524	2.036	-0.711	-1.238
0.102	2.223	-1.490	5.503E-2
0.508	2.596	-1.568	-0.371
1.829	2.625	1.093	1.196
0.610	3.677	-1.887	0.343
2.541	3.846	1.934	0.321
2.439	4.586	-1.945	0.896
0.915	5.285	2.279	-0.299
1.728	10.25	1.291	2.930
1.626	54.32	-1.883	-7.126
0.813	107.5	-10.28	-1.313



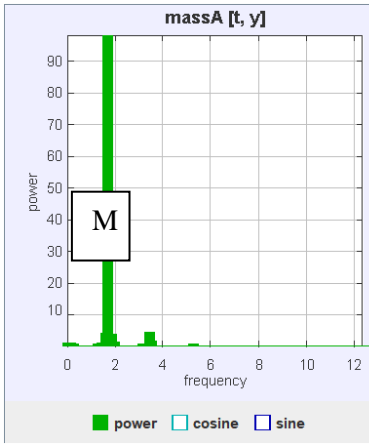
frequency	power	cosine	sine
5.540	3.802E-5	5.449E-3	-2.887E-3
11.93	1.568E-4	4.861E-3	1.154E-2
12.07	1.630E-4	2.163E-4	-1.277E-2
8.239	2.389E-4	-1.217E-2	-9.528E-3
10.37	2.475E-4	2.782E-4	-1.573E-2
10.80	2.685E-4	-7.430E-3	1.460E-2
5.114	2.768E-4	6.997E-3	-1.509E-2
11.79	2.968E-4	-1.663E-2	4.490E-3
12.36	3.354E-4	1.815E-2	2.420E-3
6.108	4.528E-4	-2.118E-2	2.035E-3
7.528	4.613E-4	1.718E-2	-1.290E-2
11.22	4.783E-4	2.126E-2	-5.154E-3
10.51	5.112E-4	7.744E-3	2.124E-2
10.09	5.221E-4	-5.741E-3	2.212E-2
11.08	5.986E-4	1.676E-2	1.782E-2
10.65	6.450E-4	2.523E-2	2.922E-3
9.375	7.070E-4	-2.323E-2	1.294E-2
9.517	7.159E-4	2.639E-2	4.392E-3
8.097	7.205E-4	2.116E-2	-1.652E-2
12.22	8.285E-4	2.346E-2	-1.667E-2
6.818	8.313E-4	7.346E-3	2.788E-2



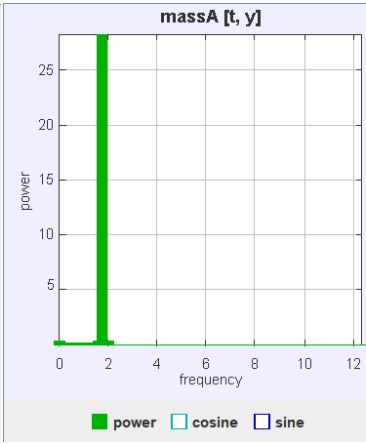
frequency	power	cosine	sine
0.000	0.610	0.781	1.833E-2
0.129	0.945	0.693	-0.681
0.258	2.706	1.113	1.211
0.387	0.240	9.400E-3	0.490
0.515	0.162	-0.101	0.390
0.644	5.641E-2	-0.151	-0.184
0.773	0.740	-0.766	0.392
0.902	0.173	-0.135	-0.393
1.031	6.759E-2	0.234	0.113
1.160	0.135	-0.232	-0.285
1.289	3.661E-2	-6.203E-2	-0.181
1.418	0.139	2.203E-2	0.372
1.546	4.932E-3	-5.738E-2	-4.049E-2
1.675	0.206	-0.325	0.317
1.804	7.785E-2	-0.167	0.224
1.933	4.020E-2	-5.028E-2	-0.194
2.062	4.037E-2	-0.177	-9.529E-2
2.191	0.205	-0.365	0.269
2.320	3.853E-2	8.076E-2	0.179
2.448	6.741E-3	-8.204E-2	3.164E-3
2.577	7.049E-2	7.049E-2	0.256



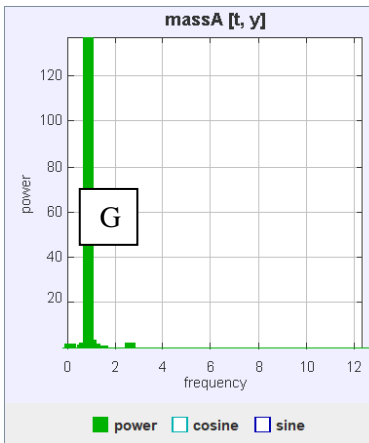
frequency	power	cosine	sine
2.778	2.811E-3	-3.688E-2	-3.810E-2
3.030	3.069E-3	-2.981E-3	-5.532E-2
1.768	3.457E-3	-5.880E-2	6.677E-5
2.273	3.960E-3	4.663E-2	-4.226E-2
3.662	4.860E-3	-2.437E-3	-6.967E-2
2.399	4.936E-3	3.525E-2	6.078E-2
2.904	7.951E-3	-1.904E-2	-8.711E-2
1.515	1.001E-2	1.123E-2	9.939E-2
0.379	1.021E-2	9.236E-2	-4.101E-2
4.040	1.050E-2	-5.454E-4	0.102
1.389	1.936E-2	-9.752E-3	-0.139
1.641	2.095E-2	0.120	8.157E-2
0.505	2.203E-2	-2.289E-2	-0.147
1.010	2.666E-2	4.257E-3	-0.163
2.020	3.537E-2	-1.277E-2	-0.188
0.631	4.741E-2	0.103	0.192
0.000	4.904E-2	0.221	-4.420E-3
0.884	5.352E-2	9.973E-2	0.209
0.253	6.478E-2	0.225	-0.120
3.914	8.065E-2	2.574E-2	-0.283
1.263	8.348E-2	4.465E-2	0.285



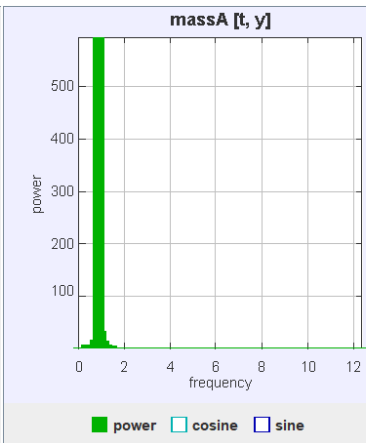
frequency	power	cosine	sine
3.684	0.156	0.192	0.345
4.211	0.177	1.723E-2	0.421
1.184	0.178	-0.354	0.231
2.105	0.210	0.456	-4.495E-2
2.368	0.253	0.289	0.412
0.658	0.257	-0.506	3.897E-2
2.237	0.330	0.510	0.265
5.132	0.374	-0.610	-4.951E-2
1.316	0.414	-0.640	-6.344E-2
3.158	0.498	0.415	-0.571
0.263	0.571	-0.395	-0.644
5.263	0.730	0.827	0.214
0.132	0.818	-0.884	-0.188
0.000	0.843	0.918	1.358E-2
1.447	0.843	-0.898	0.192
1.974	1.256	1.081	-0.296
3.553	1.791	0.532	1.228
1.842	3.766	1.939	7.762E-2
1.579	3.876	-1.963	-0.152
3.421	4.343	-0.496	-2.024
1.711	98.36	-9.918	-7.132E-2



frequency	power	cosine	sine
1.000	2.056E-2	-0.143	5.623E-3
0.625	3.071E-2	-0.132	-0.115
0.250	4.080E-2	1.736E-2	-0.201
2.125	4.483E-2	0.167	-0.130
2.875	4.571E-2	0.210	4.053E-2
2.250	5.096E-2	0.173	-0.145
1.375	5.137E-2	0.135	0.182
0.125	5.869E-2	-0.242	-6.499E-3
0.875	7.137E-2	-0.190	-0.188
2.625	8.439E-2	0.120	0.265
1.500	8.723E-2	-0.242	-0.170
3.500	0.101	-0.217	0.233
0.750	0.120	-0.136	0.319
1.125	0.131	-0.245	-0.267
1.250	0.160	-0.349	-0.195
0.375	0.180	-0.397	0.150
1.875	0.296	0.515	0.176
1.625	0.333	-0.490	-0.306
2.000	0.395	0.313	0.545
0.000	0.398	0.631	-1.043E-2
1.750	28.28	4.876	2.123



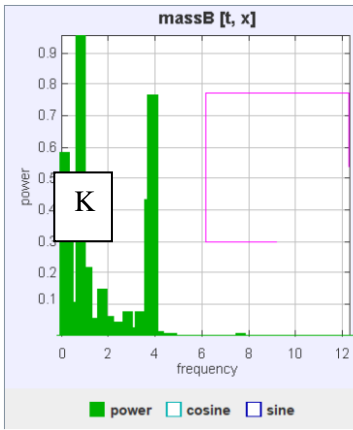
frequency	power	cosine	sine
1.250	0.117	-2.654E-2	-0.341
2.000	0.120	-1.203E-2	-0.347
2.125	0.147	-2.839E-2	-0.382
2.750	0.166	-7.042E-2	0.402
2.375	0.227	-0.204	-0.431
2.250	0.246	-0.378	-0.321
1.875	0.253	-0.503	-1.545E-2
0.375	0.271	-0.240	0.462
0.250	0.302	0.372	0.404
2.500	0.333	-0.262	-0.514
1.625	0.366	7.358E-2	-0.600
0.000	0.444	0.660	8.743E-2
1.375	0.807	-0.268	-0.858
1.500	0.912	-0.148	-0.943
0.625	1.449	-0.837	0.865
1.125	1.690	0.467	-1.213
0.125	2.055	-0.754	1.219
0.750	2.190	0.154	1.472
2.625	2.460	-0.251	-1.548
1.000	3.294	0.255	-1.797
0.875	137.1	-1.296	11.64



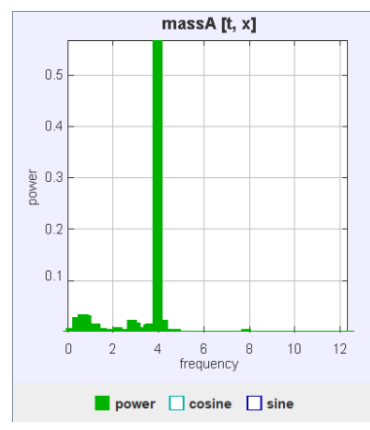
frequency	power	cosine	sine
2.847	0.507	0.513	-0.493
3.589	0.507	-0.708	-7.340E-2
2.228	0.695	0.185	-0.813
1.733	0.875	0.482	-0.802
1.609	0.883	0.199	-0.918
4.455	0.886	-0.533	-0.776
0.124	0.899	-0.870	-0.377
2.475	1.101	-0.379	-0.978
0.248	1.117	-0.714	0.780
2.723	1.155	1.074	-4.807E-2
2.599	1.213	-0.724	-0.830
0.619	2.896	-1.143	1.261
1.361	2.987	0.588	-1.625
1.485	3.229	1.757E-2	-1.797
0.495	3.545	-0.932	1.636
0.371	5.231	-1.617	1.618
1.238	5.379	-0.724	-2.203
1.114	13.40	1.612	-3.287
0.743	15.88	-2.809	2.826
0.990	32.23	1.817	-5.379
0.866	593.2	-11.70	21.36

(T,X)-GRAFIEKEN OMGEVORMD NAAR (I,F)-FOURIERDIAGRAMMEN

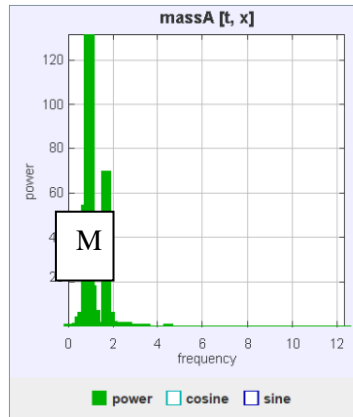
De (t,x)-Grafieken omgevormd naar (I,F)-Fourierdiagrammen



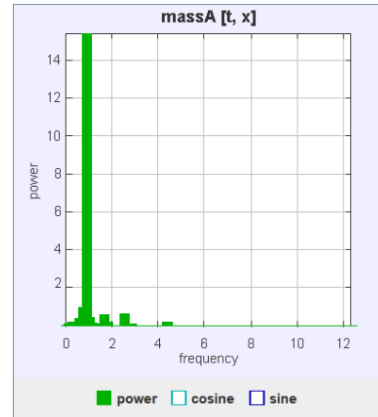
frequency	power	cosine	sine
1.478	2.953E-2	7.957E-2	0.152
1.210	3.410E-2	-0.157	-9.731E-2
1.882	3.420E-2	0.157	9.710E-2
1.613	3.976E-2	-5.122E-2	0.193
2.554	4.113E-2	-0.200	3.281E-2
2.419	4.431E-2	0.115	0.177
1.344	5.323E-2	0.190	0.131
2.016	6.333E-2	0.180	0.176
0.672	6.358E-2	7.477E-2	-0.241
0.941	6.624E-2	-7.613E-2	-0.246
0.403	6.709E-2	-0.169	-0.196
2.823	7.603E-2	-0.275	1.341E-2
3.360	7.872E-2	0.183	0.213
0.538	0.105	-0.164	0.279
1.747	0.150	0.386	-3.101E-2
1.075	0.217	0.448	0.126
0.269	0.319	0.498	0.266
3.763	0.435	-0.113	0.650
0.134	0.584	-0.748	0.155
3.898	0.769	-6.110E-3	0.877
0.806	0.957	0.824	0.528



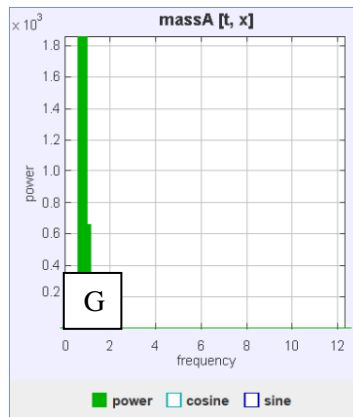
frequency	power	cosine	sine
3.804	4.082E-3	-4.647E-2	4.385E-2
4.755	4.140E-3	1.542E-2	-6.247E-2
3.261	5.476E-3	2.954E-2	6.785E-2
0.136	5.830E-3	7.071E-2	-2.880E-2
1.495	6.588E-3	1.307E-2	8.011E-2
2.174	6.721E-3	2.148E-2	7.912E-2
3.397	7.261E-3	2.743E-2	8.068E-2
1.087	9.351E-3	8.880E-2	-3.827E-2
0.951	9.665E-3	-2.194E-2	-9.583E-2
0.543	1.082E-2	-7.349E-2	7.361E-2
3.533	1.279E-2	3.194E-2	0.108
1.223	1.446E-2	5.529E-2	0.107
3.668	1.463E-2	0.101	6.697E-2
4.076	1.602E-2	-8.130E-2	-9.699E-2
2.989	1.641E-2	4.090E-2	0.121
4.212	2.012E-2	-8.456E-2	-0.114
2.853	2.160E-2	0.146	-2.016E-2
0.408	2.683E-2	-6.371E-2	-0.151
0.815	3.094E-2	0.159	7.431E-2
0.679	3.135E-2	2.268E-2	-0.176
3.940	0.568	-0.296	-0.693



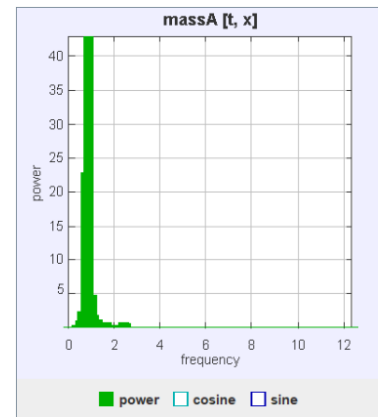
frequency	power	cosine	sine
0.000	0.547	-0.737	6.127E-2
2.500	0.653	-0.113	-0.800
0.263	0.857	0.707	0.597
3.421	0.874	0.312	-0.881
2.237	0.990	-0.595	-0.798
2.105	1.178	-0.730	-0.803
0.395	1.311	0.881	0.732
2.368	1.578	-0.283	-1.224
1.447	1.636	0.379	-1.221
1.579	1.850	1.198	-0.644
1.316	1.932	-0.652	-1.228
2.632	1.954	-0.890	1.078
1.974	2.353	-1.027	-1.139
0.526	4.591	1.342	1.670
1.842	6.383	-2.179	-1.279
0.658	6.518	1.719	1.888
1.184	7.125	-0.368	-2.644
1.053	18.21	-0.716	-4.207
0.789	54.42	2.357	6.991
1.711	69.83	8.299	0.975
0.921	131.5	-3.895	-10.79



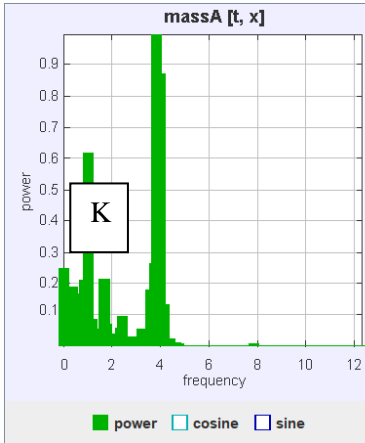
frequency	power	cosine	sine
0.387	3.865E-2	0.114	0.160
2.448	4.077E-2	-0.199	-3.248E-2
2.320	5.732E-2	-0.185	0.152
3.479	5.824E-2	-0.179	-0.162
2.706	6.132E-2	0.247	-2.204E-2
2.835	6.220E-2	0.238	7.511E-2
1.546	7.928E-2	-3.170E-2	-0.280
0.129	8.021E-2	6.636E-2	0.275
0.515	9.021E-2	0.154	0.258
1.289	0.105	5.125E-2	-0.319
1.418	0.113	-1.580E-2	-0.335
1.160	0.129	-0.254	-0.254
0.258	0.197	-0.300	0.327
4.381	0.203	9.783E-2	-0.439
1.804	0.213	-4.682E-2	0.459
0.644	0.372	-0.403	0.458
1.031	0.455	0.369	-0.564
1.675	0.596	-0.131	-0.761
2.577	0.613	-0.732	-0.279
0.773	1.011	-0.576	0.824
0.902	15.43	1.147	-3.757



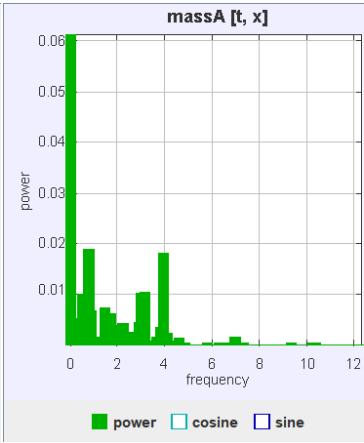
frequency	power	cosine	sine
3.516	1.590	-0.439	-1.182
2.604	2.237	-0.470	-1.420
2.734	2.554	2.446E-2	-1.598
2.083	2.900	-0.180	-1.693
2.214	3.003	0.104	-1.730
2.344	3.062	-0.186	-1.740
2.995	3.341	-0.465	-1.768
1.953	3.960	0.108	-1.987
1.823	3.964	-0.148	-1.985
0.391	7.107	-2.162	1.560
0.130	8.369	-2.614	1.238
0.260	17.49	-3.691	1.967
1.562	18.98	0.272	-4.348
1.432	20.93	0.781	-4.508
1.302	24.66	1.602	-4.700
1.172	44.15	0.760	-6.601
0.521	52.83	-4.425	5.766
1.042	105.8	3.218	-9.768
0.651	113.5	-5.333	9.222
0.911	660.8	8.882	-24.12
0.781	1.860E3	-18.53	38.94



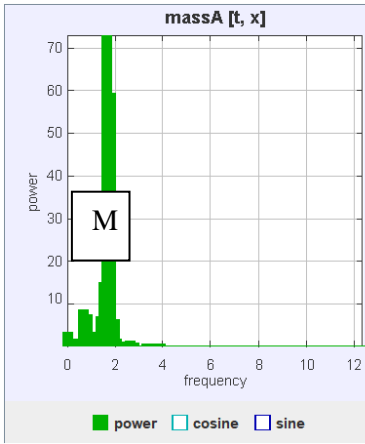
frequency	power	cosine	sine
5.808	8.395E-2	-0.135	-0.256
0.253	8.696E-2	3.815E-2	0.292
4.167	0.134	-2.457E-2	-0.365
0.379	0.185	5.685E-2	0.426
2.020	0.230	-0.173	-0.448
1.894	0.258	-0.192	-0.470
1.768	0.265	-0.252	-0.448
2.273	0.265	-0.262	-0.443
2.146	0.295	-0.198	-0.506
1.515	0.493	-0.208	-0.671
2.525	0.533	0.461	0.566
1.641	0.691	1.682E-2	-0.831
1.389	0.756	-0.151	-0.856
2.399	0.783	-0.441	-0.767
0.505	0.856	0.151	0.913
1.263	1.093	-0.189	-1.028
1.136	1.757	-0.247	-1.302
0.631	2.276	0.250	1.488
1.010	4.838	-0.443	-2.154
0.758	22.90	0.754	4.726
0.884	43.03	-1.085	-6.470



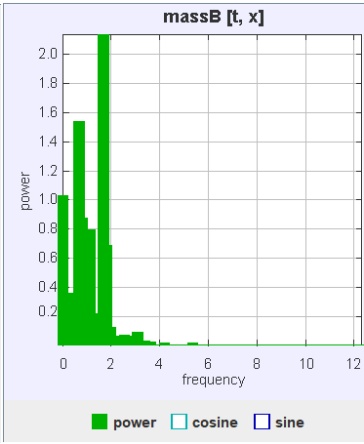
frequency	power	cosine	sine
7.345	4.492E-6	-1.761E-3	-1.179E-3
11.86	9.811E-6	-2.489E-3	1.901E-3
11.60	3.657E-5	-4.029E-3	-4.510E-3
10.31	4.793E-5	6.468E-6	-6.923E-3
9.794	4.936E-5	-2.544E-3	-6.549E-3
9.278	4.945E-5	-6.980E-3	-8.549E-4
11.08	5.224E-5	-7.021E-3	1.713E-3
10.82	5.582E-5	-7.388E-3	1.112E-3
11.21	5.797E-5	-5.696E-3	-5.052E-3
10.05	6.249E-5	-7.304E-3	3.025E-3
7.088	6.315E-5	-7.910E-3	7.661E-4
11.47	6.914E-5	-8.309E-3	-3.187E-4
8.634	9.441E-5	-4.640E-3	8.537E-3
10.95	9.914E-5	-9.738E-3	-2.078E-3
9.021	1.004E-4	-7.465E-3	-6.684E-3
11.73	1.162E-4	-6.137E-4	-1.076E-2
11.98	1.260E-4	-1.027E-2	-4.519E-3
12.11	1.399E-4	-7.195E-3	-9.388E-3
10.18	1.429E-4	-9.727E-3	6.946E-3
7.990	1.432E-4	-8.774E-3	-8.138E-3
8.892	1.619E-4	-9.621E-3	8.325E-3



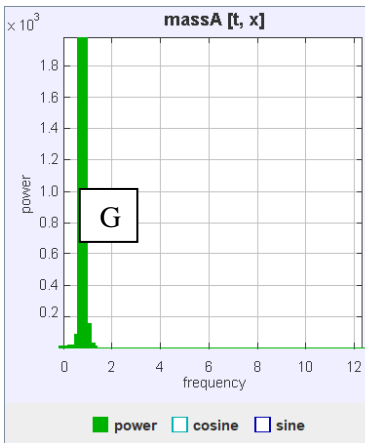
frequency	power	cosine	sine
1.053	1.523E-3	2.442E-2	-3.043E-2
1.316	1.572E-3	-2.609E-2	-2.986E-2
4.079	2.258E-3	-1.127E-3	-4.750E-2
2.500	2.450E-3	7.097E-4	-4.950E-2
1.842	2.546E-3	-2.950E-2	4.093E-2
3.816	3.433E-3	-2.178E-2	5.439E-2
0.395	3.447E-3	5.868E-2	1.898E-3
0.658	3.832E-3	-3.563E-2	5.062E-2
2.105	4.017E-3	1.127E-2	-6.237E-2
2.237	4.282E-3	-6.544E-2	-2.635E-4
2.895	4.511E-3	-5.707E-2	-3.541E-2
0.263	5.215E-3	6.069E-2	3.913E-2
1.711	6.108E-3	-1.383E-2	-7.692E-2
0.921	6.941E-3	-3.353E-2	7.627E-2
1.447	7.393E-3	-2.487E-2	8.231E-2
0.526	1.002E-2	6.130E-2	7.914E-2
3.026	1.032E-2	-0.101	9.713E-3
3.158	1.039E-2	0.100	-1.930E-2
3.947	1.806E-2	8.825E-2	-0.101
0.789	1.889E-2	0.136	-2.032E-2
0.000	6.132E-2	-0.248	1.989E-2



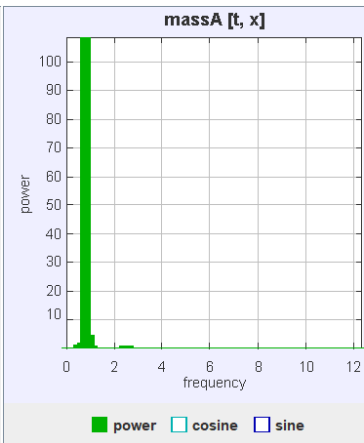
frequency	power	cosine	sine
3.333	0.379	-0.294	-0.541
2.222	0.687	-0.813	-0.162
0.139	0.704	0.636	-0.548
2.778	0.824	-0.819	0.392
0.556	0.868	0.837	0.409
2.500	1.006	-1.000	-7.946E-2
0.417	1.217	0.396	1.030
2.639	1.234	-1.068	0.307
2.083	1.503	-1.208	0.209
0.278	1.582	1.243	-0.191
0.972	1.671	0.757	-1.048
1.250	2.754	1.557	-0.573
0.000	3.167	-1.780	-2.265E-2
1.111	3.267	0.121	-1.803
1.944	6.008	-2.408	0.458
1.389	7.136	2.375	-1.223
0.833	7.235	-1.048	2.477
0.694	8.484	-2.967	0.515
1.528	15.01	3.342	-1.961
1.806	59.40	-7.451	1.971
1.667	72.92	8.169	-2.485



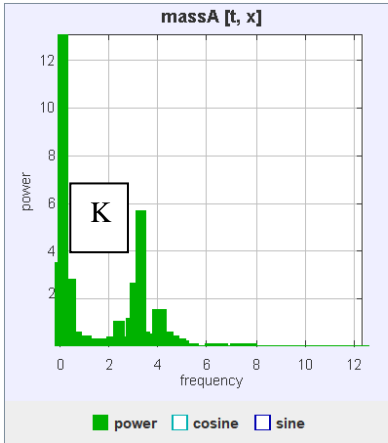
frequency	power	cosine	sine
3.371	2.903E-2	0.168	2.572E-2
2.388	3.726E-2	-0.186	-4.993E-2
1.545	5.084E-2	3.114E-2	0.223
2.107	5.947E-2	-0.240	-4.507E-2
0.562	5.979E-2	-4.009E-2	-0.241
2.809	6.045E-2	0.182	0.166
2.528	6.843E-2	-0.244	9.314E-2
0.281	8.843E-2	0.293	-5.070E-2
3.090	9.082E-2	-9.119E-2	0.287
1.966	0.123	-0.351	-1.402E-2
1.404	0.127	0.315	0.168
0.140	0.212	-0.455	7.015E-2
1.264	0.218	0.221	-0.411
0.983	0.253	-0.492	-0.103
0.421	0.361	-0.284	0.529
1.826	0.683	-0.738	0.372
1.124	0.794	0.991	-1.859E-2
0.843	0.880	-0.885	-0.311
0.000	1.032	-1.016	4.361E-3
0.702	1.540	-1.219	-0.234
1.685	2.142	1.331	-0.608



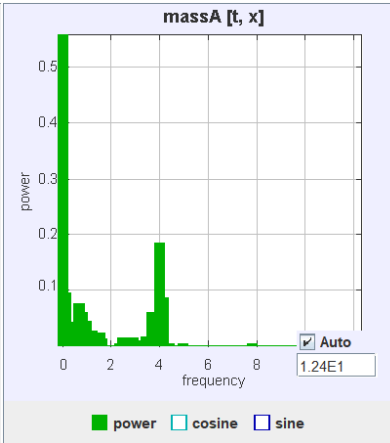
frequency	power	cosine	sine
2.394	0.645	-0.766	-0.239
2.926	0.688	-5.563E-2	0.827
1.995	0.863	-0.643	0.671
2.793	1.011	0.557	0.837
2.261	1.096	-0.553	0.889
1.862	1.220	-0.495	0.987
2.128	1.275	-0.292	1.091
1.596	5.823	-1.931	1.447
1.463	7.098	-2.268	1.398
1.330	7.271	-2.165	1.607
2.527	7.468	1.574	2.234
1.197	9.281	-2.442	1.821
0.000	11.61	3.408	-1.440E-2
0.266	11.64	3.402	0.249
0.133	12.06	3.317	-1.027
0.399	15.73	3.842	-0.984
0.532	21.65	4.549	-0.979
1.064	38.30	-5.100	3.505
0.665	85.77	8.716	-3.131
0.931	158.6	-11.23	5.709
0.798	1.982E3	40.24	-19.06



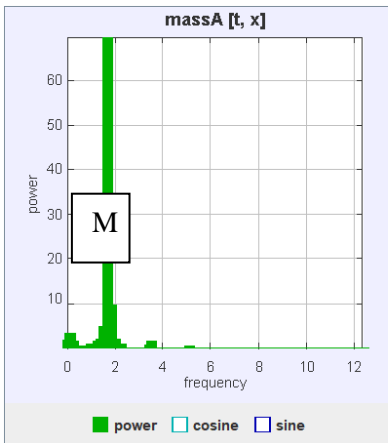
frequency	power	cosine	sine
5.780	1.779E-2	0.111	-7.410E-2
4.301	1.961E-2	0.137	3.009E-2
3.763	2.437E-2	0.153	2.893E-2
3.226	3.106E-2	4.335E-2	0.171
2.823	3.682E-2	7.178E-2	0.178
2.688	3.913E-2	9.233E-2	0.175
1.882	3.985E-2	-0.176	-9.451E-3
0.000	7.159E-2	0.268	-1.858E-3
1.344	7.630E-2	-0.169	-0.218
1.210	0.109	-0.324	-6.306E-2
2.151	0.150	-0.296	-0.250
0.403	0.232	0.458	-0.150
0.269	0.263	0.507	7.756E-2
1.613	0.316	-0.142	-0.544
1.075	0.612	-0.714	-0.321
2.554	0.664	0.616	0.533
2.419	0.738	-0.712	-0.481
0.538	0.881	0.929	0.137
0.672	1.933	1.390	1.929E-2
0.941	4.681	-2.110	-0.477
0.806	108.7	10.30	1.596



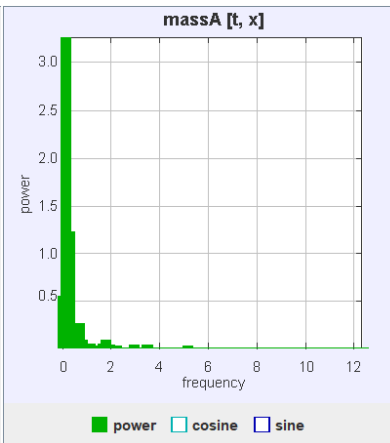
frequency	power	cosine	sine
2.128	0.383	-0.607	-0.120
3.723	0.389	-0.312	-0.540
2.793	0.410	-0.575	0.283
4.654	0.420	-0.366	0.535
0.798	0.460	0.544	-0.405
1.064	0.461	-0.625	0.265
3.590	0.493	0.550	0.437
4.388	0.571	-0.485	0.580
4.255	0.591	-0.540	0.547
0.665	0.592	0.732	-0.236
3.457	0.593	0.761	-0.121
2.394	1.077	-0.926	-0.469
2.926	1.177	-6.663E-2	1.083
3.989	1.497	0.316	1.182
4.122	1.507	0.832	0.903
0.266	2.365	1.239	-0.910
3.059	2.669	0.347	-1.597
0.399	2.818	1.678	-5.032E-2
0.000	3.523	1.875	7.765E-2
3.324	5.675	-0.598	-2.306
0.133	13.10	-2.323	2.775



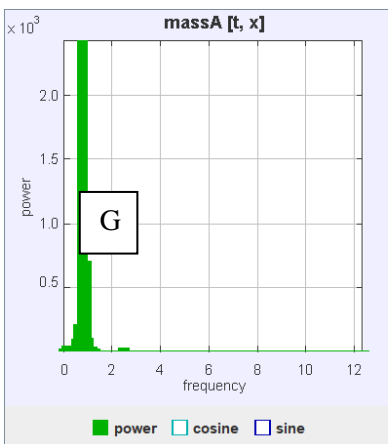
frequency	power	cosine	sine
2.610	5.587E-3	3.010E-3	-7.468E-2
3.297	1.043E-2	-0.102	-3.981E-3
1.374	1.076E-2	2.918E-2	-9.956E-2
1.099	1.128E-2	-3.011E-3	-0.106
1.648	1.241E-2	-0.110	-1.594E-2
2.885	1.332E-2	-0.112	2.800E-2
2.473	1.414E-2	-7.348E-2	-9.350E-2
3.434	1.631E-2	-7.118E-2	-0.106
1.511	2.264E-2	-5.122E-2	-0.141
1.236	2.847E-2	-7.687E-2	-0.150
0.412	3.038E-2	5.295E-2	-0.166
0.549	4.292E-2	-2.155E-2	-0.206
0.962	4.584E-2	9.605E-2	0.191
3.846	5.740E-2	-0.155	-0.183
0.824	5.997E-2	0.191	-0.154
3.709	6.002E-2	-0.243	3.248E-2
0.687	7.529E-2	0.116	-0.249
4.121	8.585E-2	8.723E-2	0.280
0.137	9.591E-2	0.305	5.149E-2
3.984	0.185	0.219	0.370
0.000	0.559	-0.747	-8.623E-3



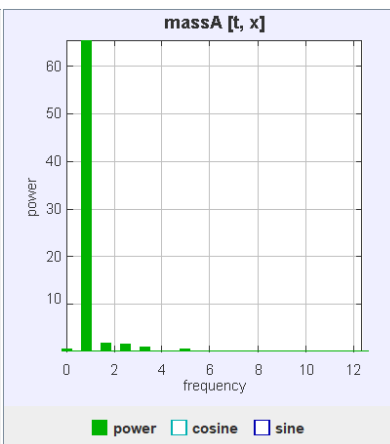
frequency	power	cosine	sine
0.710	0.248	0.464	0.181
2.983	0.249	-0.262	-0.424
2.699	0.265	-0.388	-0.338
0.568	0.265	0.485	-0.173
0.852	0.341	0.527	0.253
5.114	0.372	-0.591	0.149
1.136	0.381	0.612	8.056E-2
0.426	0.429	0.536	-0.376
3.409	0.588	0.723	-0.254
2.273	0.832	-0.603	-0.684
0.994	0.935	0.732	-0.632
3.551	1.391	-1.085	0.463
0.284	1.402	0.676	-0.973
1.278	1.442	1.188	0.174
0.000	1.865	1.362	9.759E-2
1.420	2.026	1.312	-0.552
1.989	2.111	-1.129	-0.915
0.142	3.329	-0.586	-1.728
1.563	4.790	2.135	0.479
1.847	9.743	-3.034	-0.735
1.705	69.76	8.114	1.981



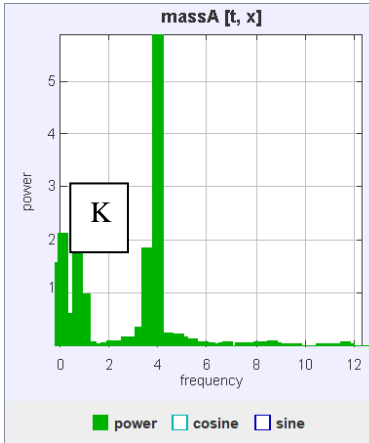
frequency	power	cosine	sine
2.500	1.153E-2	0.107	-9.755E-3
2.778	1.280E-2	0.102	4.808E-2
1.389	1.352E-2	-3.702E-2	0.110
2.222	1.425E-2	7.752E-2	-9.076E-2
5.139	1.474E-2	5.156E-3	0.121
1.528	1.635E-2	-7.505E-2	-0.104
2.083	2.157E-2	2.956E-2	-0.144
3.472	2.763E-2	-7.503E-2	0.148
2.917	3.062E-2	9.353E-3	0.175
1.944	3.071E-2	-0.129	-0.118
0.972	3.548E-2	9.452E-2	0.163
1.667	4.838E-2	0.180	-0.126
1.111	5.097E-2	-3.699E-2	0.223
0.417	5.834E-2	0.219	-0.102
1.806	7.986E-2	-0.264	-0.101
0.833	8.232E-2	-0.204	0.202
0.556	0.158	0.287	-0.275
0.694	0.258	0.275	0.427
0.000	0.548	0.740	8.559E-3
0.278	1.224	0.917	-0.619
0.139	3.269	-0.706	-1.665



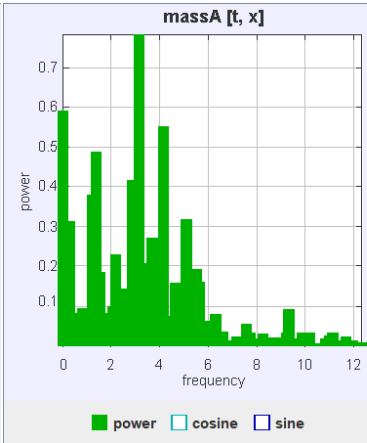
frequency	power	cosine	sine
3.255	1.986	-0.701	-1.223
2.344	2.055	3.668E-2	-1.433
2.083	2.653	1.033	-1.259
2.214	3.368	0.502	-1.765
1.953	3.381	1.153	-1.433
1.823	5.192	1.330	-1.850
1.562	7.950	1.542	-2.360
1.432	8.265	1.817	-2.228
1.693	8.706	2.741	-1.093
0.000	14.97	3.866	0.152
1.302	16.48	2.612	-3.107
2.474	22.39	-2.885	-3.751
1.172	36.68	5.111	-3.250
0.260	38.04	-6.070	1.096
0.391	38.35	-6.068	1.238
0.130	42.82	-6.541	-0.183
0.521	92.38	-9.418	1.918
1.042	98.65	7.921	-5.993
0.651	208.7	-12.93	6.451
0.911	698.4	22.21	-14.32
0.781	2.434E3	-43.94	22.45



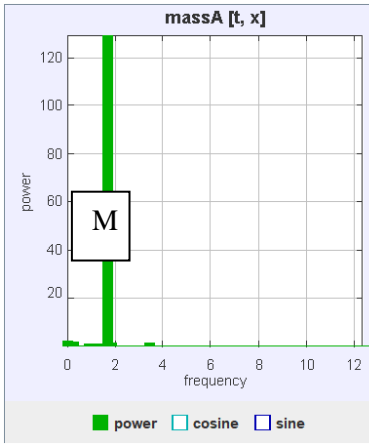
frequency	power	cosine	sine
9.080	1.101E-2	-6.595E-2	8.163E-2
4.245	1.125E-2	-0.102	-2.917E-2
0.118	1.215E-2	-1.074E-2	0.110
1.297	1.615E-2	7.446E-2	0.103
1.061	2.202E-2	0.115	9.344E-2
3.184	2.464E-2	0.157	4.112E-2
7.429	2.782E-2	-0.165	-2.315E-2
8.255	3.278E-2	-0.176	-4.162E-2
2.594	3.321E-2	5.107E-2	-0.175
0.943	4.198E-2	0.157	0.132
1.533	4.301E-2	2.355E-2	0.206
0.708	4.499E-2	-4.993E-2	-0.206
5.778	5.052E-2	-0.171	-0.145
6.604	8.377E-2	-0.154	-0.245
4.127	9.438E-2	0.210	-0.224
4.953	0.314	0.141	-0.542
0.000	0.437	-0.661	-3.360E-3
3.302	1.002	0.999	-5.740E-2
2.476	1.511	-0.631	1.055
1.651	1.719	0.163	1.301
0.825	65.61	-5.886	-5.565



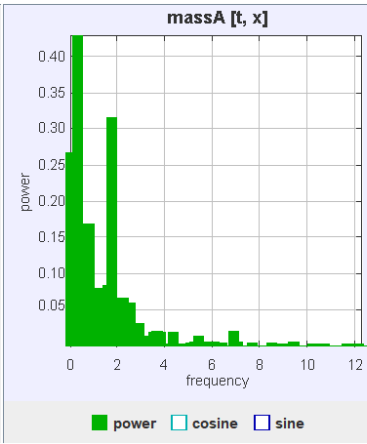
frequency	power	cosine	sine
5.398	0.128	-1.314E-2	0.357
4.687	0.153	0.185	-0.345
4.972	0.162	6.097E-4	0.402
2.699	0.162	0.125	0.383
0.426	0.166	-0.407	-2.806E-2
3.125	0.178	-0.218	0.361
4.830	0.214	-0.457	-7.456E-2
4.261	0.240	0.406	0.274
3.693	0.245	0.254	-0.425
4.403	0.254	-0.248	0.438
3.409	0.301	8.248E-2	-0.543
3.267	0.352	0.316	-0.502
0.568	0.476	0.578	0.377
0.284	0.616	-0.678	0.395
3.835	0.659	-0.801	-0.130
0.994	0.969	-0.984	-1.421E-2
0.000	1.572	-1.254	2.927E-2
3.551	1.865	-1.365	-4.295E-2
0.710	2.086	-1.322	0.582
0.142	2.137	-0.572	1.345
3.977	5.881	0.571	2.357



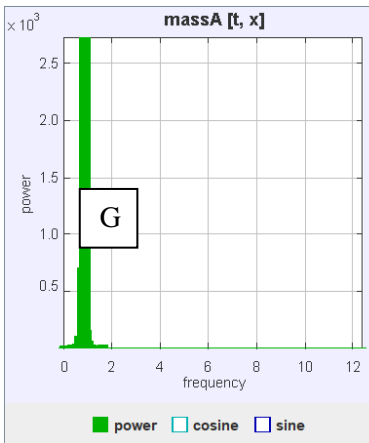
frequency	power	cosine	sine
3.434	9.967E-2	0.316	-2.639E-4
2.060	0.101	0.128	-0.291
2.473	0.144	0.135	-0.354
3.297	0.146	-0.303	-0.233
4.670	0.159	-0.203	0.343
5.632	0.163	-0.225	-0.335
1.511	0.186	0.346	0.257
5.495	0.191	-0.150	-0.411
3.571	0.208	0.455	4.332E-2
2.198	0.228	-0.319	-0.355
3.984	0.270	4.650E-2	-0.518
3.709	0.273	0.372	-0.368
3.022	0.276	0.426	0.308
0.275	0.311	-0.396	0.392
5.082	0.318	-0.262	-0.499
1.236	0.381	0.274	0.553
2.885	0.416	0.557	0.325
1.374	0.487	-0.646	-0.265
4.121	0.552	-0.511	0.539
0.000	0.592	-0.755	-0.146
3.159	0.784	-0.293	0.836



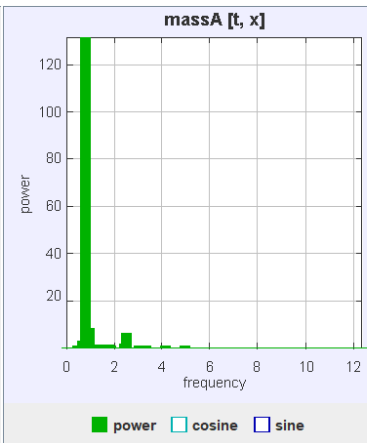
frequency	power	cosine	sine
4.388	0.154	-0.164	0.357
3.059	0.166	-0.390	0.119
2.128	0.174	-0.391	0.145
0.798	0.184	1.759E-2	-0.428
2.660	0.214	-6.315E-2	-0.459
3.723	0.219	0.377	0.277
0.665	0.228	6.167E-2	0.473
1.463	0.231	0.389	0.281
4.122	0.244	-0.474	-0.141
2.527	0.269	-0.518	-2.100E-2
2.394	0.356	0.596	-3.262E-2
5.186	0.421	0.548	0.348
1.995	0.453	-0.449	0.502
0.931	0.591	0.729	0.244
1.330	0.686	0.421	0.713
3.457	1.186	0.848	-0.683
1.862	1.458	-1.164	0.322
0.133	1.832	-0.470	1.270
0.286	1.950	1.255	0.612
0.000	2.360	-1.536	1.560E-2
1.729	129.2	10.95	3.062



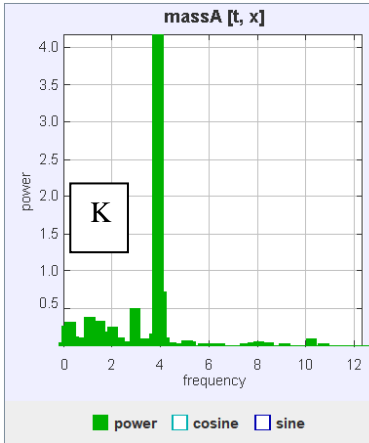
frequency	power	cosine	sine
3.365	1.368E-2	-3.485E-2	-0.112
3.526	1.882E-2	-2.589E-2	0.135
4.327	1.888E-2	0.133	3.629E-2
3.846	1.915E-2	-2.346E-2	-0.136
3.686	2.120E-2	0.141	3.671E-2
6.891	2.135E-2	3.434E-2	0.142
1.122	2.465E-2	0.143	-6.436E-2
2.404	3.022E-2	-4.019E-2	0.169
2.885	3.059E-2	-0.139	-0.106
0.160	4.149E-2	-0.201	3.005E-2
2.564	5.907E-2	-1.461E-2	0.243
1.923	6.130E-2	-0.172	0.178
2.244	6.645E-2	1.806E-2	0.257
0.962	7.585E-2	0.275	-1.826E-3
1.282	8.021E-2	0.227	0.169
1.603	8.302E-2	0.273	9.140E-2
0.481	0.114	-0.259	-0.216
0.801	0.170	-0.129	0.391
0.000	0.267	0.516	-2.176E-2
1.763	0.316	-4.739E-2	0.560
0.321	0.429	0.579	-0.307



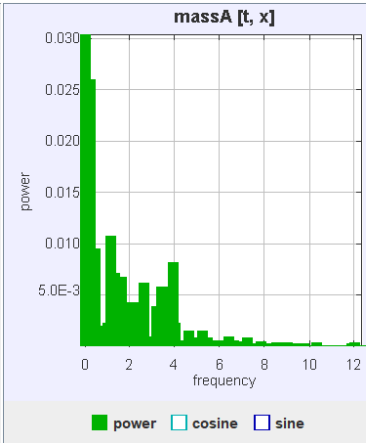
frequency	power	cosine	sine
2.195	1.013	-7.759E-2	-1.004
2.958	1.227	0.653	-0.895
1.908	2.446	0.620	-1.436
1.527	6.352	1.348	-2.130
1.336	6.982	1.388	-2.249
1.431	7.505	1.241	-2.442
2.481	9.928	2.995	0.978
0.191	14.12	-3.593	1.101
9.542E-2	18.16	-4.100	1.163
1.240	18.25	3.070	-2.971
0.286	18.25	-4.078	1.274
0.477	22.08	-4.328	1.830
0.382	23.16	-4.730	0.888
1.145	24.67	3.685	-3.331
1.622	26.63	2.550	-4.486
0.573	38.07	-5.766	2.196
1.050	53.61	5.793	-4.477
0.668	104.9	-8.868	5.125
0.954	152.5	9.967	-7.294
0.763	700.6	-23.03	13.04
0.859	2.734E3	42.76	-30.09



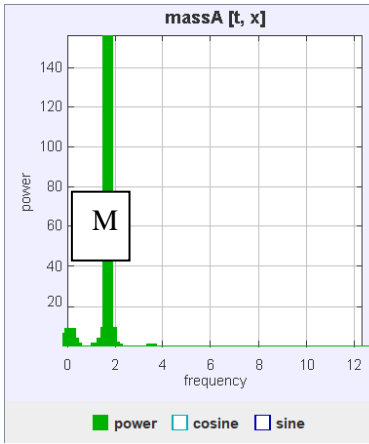
frequency	power	cosine	sine
0.579	0.396	-0.218	-0.591
1.157	0.431	3.771E-2	0.656
1.505	0.432	-6.363E-2	0.654
0.116	0.463	0.680	-3.314E-2
2.662	0.465	-7.158E-2	0.678
1.273	0.515	-0.130	0.706
0.463	0.543	0.737	-1.006E-2
4.977	0.551	0.685	0.285
1.042	0.565	0.121	0.742
3.009	0.694	-1.939E-2	0.833
3.356	0.724	0.748	0.405
1.852	0.733	0.732	0.443
1.620	0.745	-0.774	0.382
4.167	0.821	-0.312	0.851
1.389	1.075	-5.719E-2	1.035
1.736	1.309	0.842	0.775
2.431	1.895	0.597	-1.240
0.694	2.611	-0.756	-1.428
2.546	6.428	-0.472	2.491
0.926	8.362	6.189E-3	2.892
0.810	131.5	-0.216	-11.46



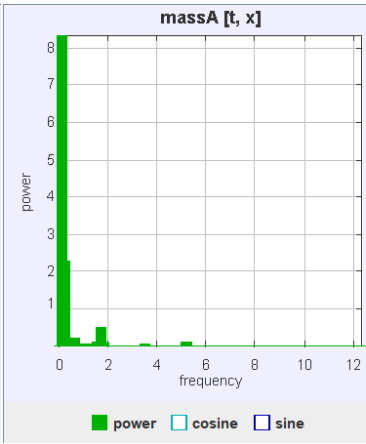
frequency	power	cosine	sine
5.108	7.181E-2	4.353E-2	-0.264
0.672	7.346E-2	-0.234	0.136
3.495	8.385E-2	8.672E-2	-0.276
10.22	8.455E-2	0.291	2.186E-3
3.091	8.952E-2	-0.253	-0.160
2.285	9.859E-2	0.158	0.271
0.806	0.108	-0.242	0.223
4.167	0.114	-4.355E-2	0.336
0.403	0.125	0.322	-0.148
3.763	0.155	-0.361	0.157
1.344	0.190	0.436	-2.057E-3
1.613	0.191	-0.152	-0.410
2.016	0.246	0.165	-0.468
1.210	0.251	-0.308	-0.395
0.134	0.271	0.104	-0.510
0.269	0.318	-0.551	0.121
1.478	0.339	8.097E-3	-0.582
1.075	0.377	-0.562	0.247
2.957	0.497	0.690	0.147
4.032	0.728	0.188	0.833
3.898	4.172	-1.811	-0.946



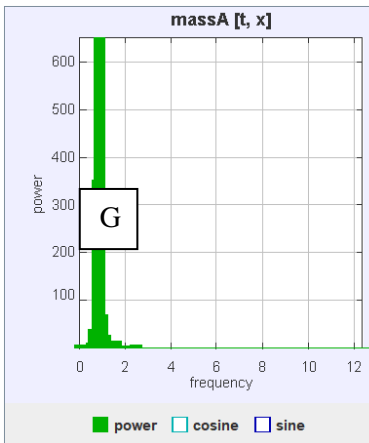
frequency	power	cosine	sine
5.238	1.513E-3	7.453E-3	-3.818E-2
0.595	1.791E-3	2.429E-2	-3.466E-2
3.571	1.811E-3	3.266E-2	2.728E-2
1.548	1.917E-3	-4.292E-2	-8.630E-3
0.714	2.019E-3	4.114E-2	1.806E-2
2.024	2.092E-3	4.323E-2	1.494E-2
4.048	2.159E-3	-1.875E-2	4.251E-2
1.071	2.201E-3	4.147E-2	2.194E-2
3.214	3.872E-3	-6.108E-2	1.186E-2
2.143	4.277E-3	-6.468E-2	9.690E-2
3.452	5.821E-3	-3.683E-2	-6.682E-2
2.619	6.129E-3	7.036E-2	-3.432E-2
1.667	6.767E-3	5.516E-2	-6.103E-2
1.310	7.085E-3	8.414E-2	-2.325E-3
0.119	7.450E-3	8.345E-2	-2.206E-2
0.357	7.994E-3	7.141E-2	-5.380E-2
3.929	8.151E-3	8.982E-2	9.097E-3
0.476	9.543E-3	-8.979E-2	3.849E-2
1.190	1.066E-2	-0.100	2.429E-2
0.238	2.601E-2	-0.113	0.115
0.000	3.048E-2	-0.175	-4.865E-3



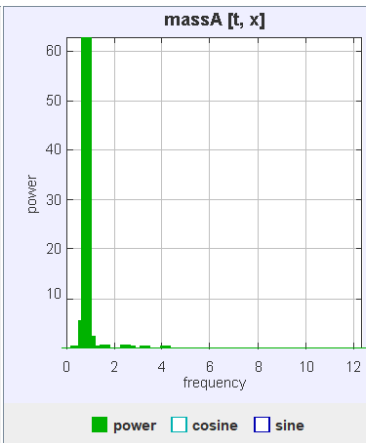
frequency	power	cosine	sine
1.053	0.300	-0.439	0.328
2.500	0.322	-0.176	-0.540
0.921	0.327	-0.214	0.531
0.658	0.345	-0.488	0.328
3.026	0.387	7.444E-2	-0.617
2.895	0.471	-1.355E-2	-0.686
2.237	0.529	0.321	-0.652
0.526	0.600	-0.348	0.692
3.553	0.772	0.444	-0.758
2.105	0.921	0.369	-0.886
0.395	1.266	0.616	0.942
1.184	1.492	-0.315	1.180
1.316	1.736	-0.856	1.002
1.974	2.013	0.615	-1.279
0.263	3.728	-1.319	1.410
1.447	4.028	-1.425	1.414
0.000	6.298	2.510	2.921E-3
0.132	9.160	-2.687	-1.392
1.579	9.439	-1.162	2.844
1.842	9.500	0.318	-3.066
1.711	156.0	-4.842	11.51



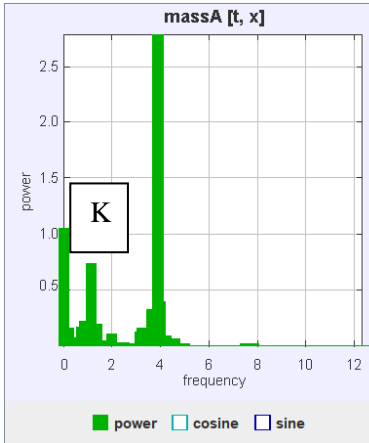
frequency	power	cosine	sine
0.728	8.612E-3	-9.245E-2	8.004E-3
2.184	9.206E-3	6.236E-2	7.291E-2
3.277	1.241E-2	-2.665E-2	0.108
2.063	1.466E-2	0.110	4.971E-2
2.913	1.585E-2	8.959E-2	8.847E-2
1.942	1.710E-2	9.607E-2	8.871E-2
3.398	1.890E-2	-8.489E-2	0.108
0.850	2.355E-2	-1.827E-2	0.152
3.519	3.370E-2	0.156	-9.604E-2
1.456	4.241E-2	9.141E-2	-0.185
1.092	5.026E-2	0.207	-8.521E-2
1.335	5.653E-2	-0.192	-0.141
1.820	8.564E-2	0.280	8.542E-2
5.218	0.105	-2.464E-2	0.323
0.485	0.118	-5.117E-2	0.339
1.578	0.124	-0.266	-0.230
0.364	0.128	0.254	5.138E-2
0.607	0.205	-0.338	0.302
1.699	0.522	-0.666	-0.279
0.243	2.288	-0.232	1.495
0.121	8.338	-2.744	-0.899



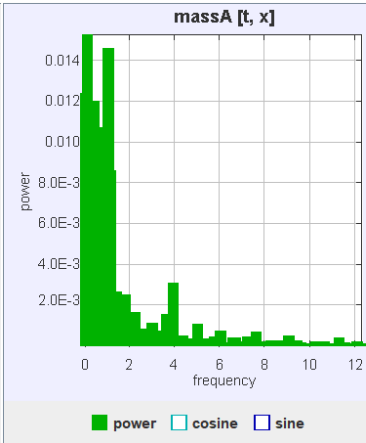
frequency	power	cosine	sine
0.253	2.444	0.927	1.259
0.126	2.524	1.320	0.883
2.020	2.540	-0.270	-1.571
2.146	2.793	-0.540	-1.582
2.273	2.871	-8.340E-2	-1.692
1.768	3.142	-0.113	-1.769
1.894	3.228	-0.579	-1.701
2.399	5.583	9.823E-3	-2.363
2.525	6.805	-2.047	1.617
0.379	7.516	2.010	1.865
0.000	7.613	2.757	0.113
1.515	7.688	-1.274	-2.463
1.389	8.708	-1.614	-2.471
0.505	10.71	1.627	2.840
1.641	13.88	-3.424	-1.468
1.263	15.24	-1.595	-3.563
1.136	25.90	-2.203	-4.588
0.631	38.94	3.628	5.078
1.010	70.99	-3.831	-7.504
0.758	353.0	10.03	15.89
0.884	652.8	-12.61	-22.22



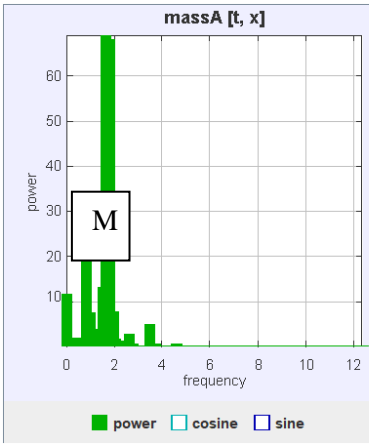
frequency	power	cosine	sine
4.044	7.092E-2	-0.255	-7.790E-2
1.225	7.166E-2	3.699E-2	-0.265
5.760	9.436E-2	-0.273	0.141
2.819	9.922E-2	-0.313	-3.448E-2
2.083	0.107	0.303	-0.121
0.245	0.143	0.257	0.278
0.490	0.156	0.336	0.208
1.348	0.290	-0.157	-0.515
2.696	0.307	-0.514	-0.207
1.471	0.314	-0.378	-0.414
4.167	0.327	0.572	-6.915E-4
0.368	0.359	0.592	9.046E-2
3.309	0.361	-0.598	4.920E-2
2.574	0.409	-0.635	-7.143E-2
0.613	0.427	0.513	0.404
1.103	0.482	-0.484	-0.498
1.593	0.510	-0.401	-0.591
2.451	0.569	0.754	1.081E-2
0.980	2.267	-0.828	-1.257
0.735	5.578	1.529	1.800
0.858	62.85	-4.731	-6.361



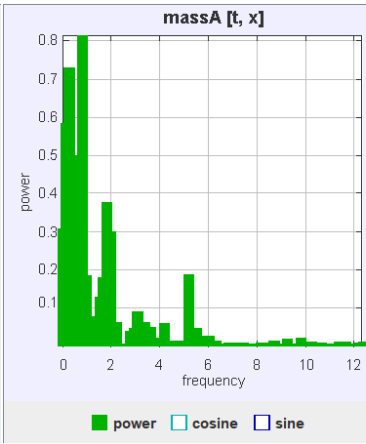
frequency	power	cosine	sine
0.625	4.333E-2	2.280E-2	-0.207
4.375	4.573E-2	-0.208	-4.809E-2
1.250	4.762E-2	0.101	0.193
1.750	5.220E-2	-0.192	0.123
4.625	5.843E-2	-0.182	-0.159
0.500	7.106E-2	-0.126	0.235
3.750	7.490E-2	0.152	-0.228
4.250	8.894E-2	-0.246	-0.168
2.000	0.109	0.294	-0.153
3.125	0.125	0.283	0.211
0.125	0.139	0.141	-0.345
0.250	0.154	0.234	-0.315
3.250	0.164	-0.127	-0.384
0.750	0.174	0.167	-0.382
1.375	0.190	-0.300	-0.317
0.875	0.226	0.475	-1.526E-2
3.625	0.323	0.301	-0.482
4.000	0.397	-0.283	-0.563
1.125	0.742	-0.840	-0.192
0.000	1.049	1.024	1.706E-2
3.875	2.784	0.782	1.474



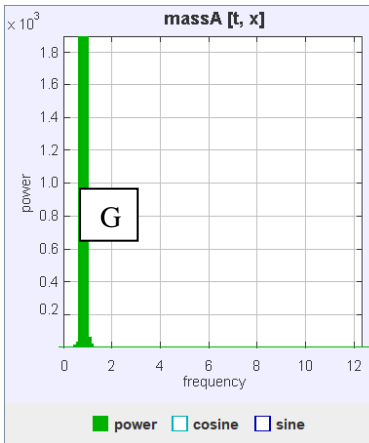
frequency	power	cosine	sine
1.316	8.943E-4	1.428E-2	2.627E-2
1.974	8.999E-4	7.079E-3	-2.915E-2
1.579	1.020E-3	3.184E-2	-2.470E-3
5.000	1.048E-3	-1.024E-2	-3.071E-2
3.026	1.090E-3	-1.190E-2	3.080E-2
3.684	1.531E-3	3.899E-2	3.263E-3
2.237	1.639E-3	4.045E-2	-1.583E-3
1.711	1.688E-3	4.108E-2	4.598E-4
1.842	2.502E-3	-4.760E-2	1.538E-2
1.447	2.666E-3	4.362E-2	2.763E-2
3.947	3.099E-3	-3.871E-3	-5.553E-2
0.263	3.267E-3	5.491E-2	1.586E-2
0.921	5.468E-3	-2.266E-3	7.391E-2
1.184	8.577E-3	-2.738E-2	-8.847E-2
0.789	8.697E-3	8.948E-2	2.627E-2
0.526	9.848E-3	-5.706E-2	-8.120E-2
0.658	1.073E-2	-7.115E-2	-7.528E-2
0.395	1.200E-2	-8.697E-2	-6.660E-2
0.000	1.236E-2	0.111	-9.050E-3
1.053	1.458E-2	-5.453E-2	0.108
0.132	1.529E-2	9.837E-2	-7.493E-2



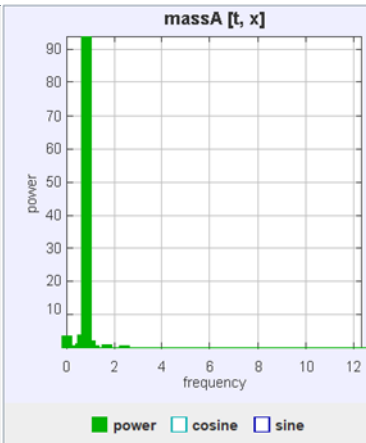
frequency	power	cosine	sine
3.611	0.375	-0.206	0.577
4.583	0.381	4.980E-2	0.615
0.278	0.423	0.536	-0.368
2.500	0.453	-0.163	0.653
2.361	0.503	-0.210	0.678
0.556	0.532	0.382	0.621
2.222	1.263	-0.371	1.061
2.083	1.363	-0.627	0.985
0.417	1.725	0.290	-1.281
1.250	2.382	0.348	-1.504
2.639	2.494	-1.382	0.764
1.111	3.439	1.102	-1.492
1.389	3.756	1.171	-1.544
3.472	4.687	2.061	0.662
0.972	7.316	1.168	-2.439
1.944	7.643	-0.862	2.627
0.000	11.39	-3.375	-2.471E-2
1.528	13.14	1.913	-3.079
0.833	23.79	-2.944	3.889
1.806	68.14	-3.927	7.260
1.667	69.00	3.310	-7.619



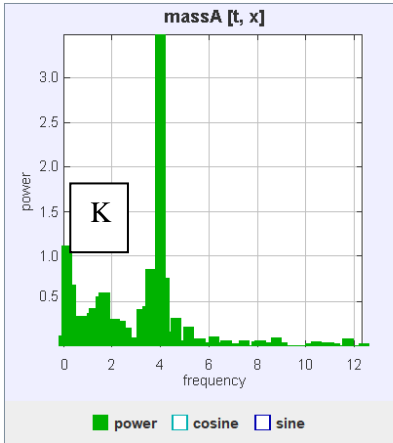
frequency	power	cosine	sine
5.337	4.160E-2	0.201	3.443E-2
2.949	4.583E-2	-4.713E-2	0.209
5.478	4.584E-2	-0.209	-4.474E-2
3.652	5.096E-2	-0.226	-9.226E-3
4.213	5.965E-2	0.237	-5.891E-2
3.371	6.151E-2	-4.750E-2	0.243
2.247	6.296E-2	-0.220	0.121
1.124	7.745E-2	-5.876E-2	0.272
3.090	9.247E-2	-1.656E-2	-0.304
1.545	0.129	-0.316	-0.170
1.685	0.180	5.086E-2	-0.422
0.983	0.184	0.404	-0.143
5.197	0.188	-0.120	0.417
0.702	0.197	-0.350	0.272
1.966	0.299	-0.301	0.456
0.000	0.309	-0.550	8.359E-2
1.826	0.376	-0.199	0.580
0.421	0.499	0.169	-0.686
0.140	0.585	0.491	0.587
0.281	0.730	0.237	-0.821
0.843	0.815	-0.903	-2.314E-2



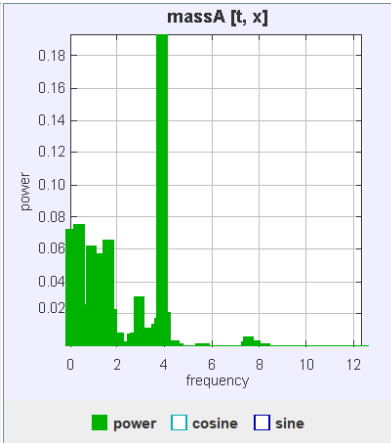
frequency	power	cosine	sine
3.354	1.070	-0.828	-0.620
3.455	1.108	-0.601	-0.864
1.423	1.179	-0.479	-0.974
2.642	1.533	-0.965	-0.776
1.524	1.552	-0.646	-1.065
1.931	1.748	0.658	-1.147
0.305	1.987	0.934	1.055
1.321	2.531	-0.767	-1.394
1.626	3.090	-0.698	-1.613
2.439	4.000	-0.472	1.944
0.407	4.578	1.254	1.734
0.508	4.756	1.567	1.517
0.000	5.039	-2.243	9.733E-2
1.220	5.121	-1.507	-1.688
2.541	5.275	0.328	-2.273
1.118	6.308	-1.325	-2.134
0.610	8.950	1.884	2.324
1.016	19.74	-2.671	-3.551
0.711	32.01	3.687	4.292
0.915	64.27	-4.808	-6.415
0.813	1.897E3	23.44	36.70



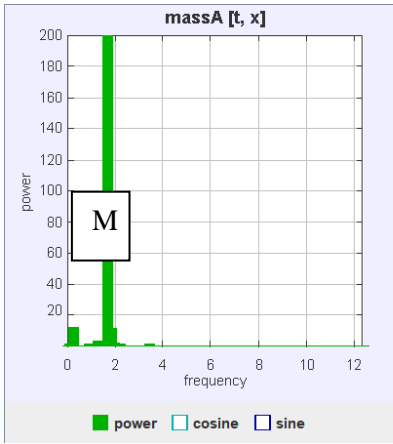
frequency	power	cosine	sine
4.972	4.843E-2	-0.131	0.177
2.699	5.278E-2	6.635E-2	-0.220
5.824	5.534E-2	0.234	2.012E-2
2.131	6.729E-2	0.109	0.235
1.562	8.928E-2	0.156	-0.255
4.119	0.151	7.347E-2	0.382
1.278	0.163	0.364	0.175
1.989	0.185	0.211	0.375
2.273	0.223	0.201	0.427
1.420	0.225	0.315	0.355
0.426	0.265	-0.512	-5.359E-2
2.557	0.278	0.116	-0.514
0.284	0.420	-0.641	-9.290E-2
1.136	0.571	0.666	0.356
2.415	0.613	8.948E-3	0.783
1.705	0.902	0.606	0.731
0.568	1.334	-1.081	-0.407
0.994	1.863	1.246	0.556
0.000	3.439	-1.854	2.217E-2
0.710	3.687	-1.685	-0.921
0.852	93.97	8.655	4.366



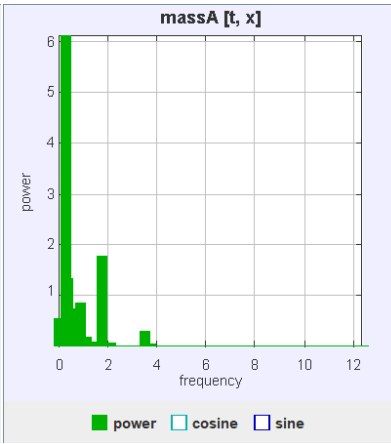
frequency	power	cosine	sine
5.155	0.207	0.160	0.426
1.933	0.223	-7.674E-2	-0.466
2.320	0.278	0.217	-0.481
0.515	0.291	-0.142	-0.520
2.062	0.295	0.419	0.346
4.639	0.313	-5.161E-2	0.557
3.737	0.317	0.474	0.304
0.387	0.332	-0.558	-0.143
0.773	0.337	0.524	0.250
1.160	0.364	-0.578	-0.174
3.222	0.405	-0.462	-0.438
1.289	0.421	0.173	-0.625
3.479	0.446	0.618	-0.252
1.546	0.558	1.151E-3	-0.747
1.675	0.594	0.700	-0.323
0.258	0.684	8.763E-2	-0.822
4.124	0.766	-0.563	0.670
3.866	0.842	0.271	-0.876
3.608	0.856	0.533	-0.756
0.129	1.113	0.725	-0.767
3.995	3.486	-0.778	1.697



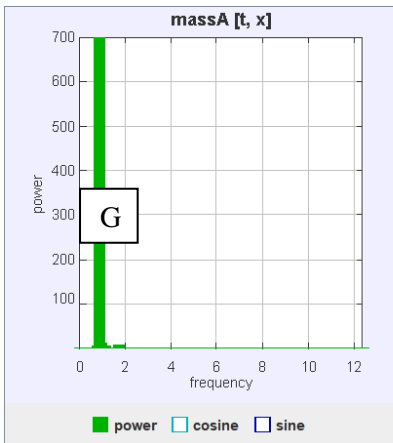
frequency	power	cosine	sine
2.020	8.095E-3	8.221E-2	3.657E-2
2.778	8.097E-3	1.571E-2	-8.860E-2
3.283	1.089E-2	-4.186E-2	-9.559E-2
3.535	1.111E-2	2.617E-2	-0.102
3.662	1.315E-2	0.112	2.398E-2
0.758	1.629E-2	0.111	-6.338E-2
3.788	1.706E-2	-2.968E-2	0.127
4.040	2.081E-2	-4.594E-2	-0.137
1.768	2.256E-2	-0.140	-5.346E-2
0.505	2.537E-2	-0.154	-3.899E-2
2.904	3.103E-2	3.710E-2	-0.172
0.253	3.114E-2	-0.141	-0.106
1.283	4.010E-2	-8.610E-2	-0.181
0.126	4.098E-2	0.202	-1.840E-2
1.515	4.566E-2	0.144	-0.157
1.136	5.739E-2	-0.239	-1.158E-2
0.884	6.199E-2	0.114	-0.221
1.641	6.540E-2	0.243	-7.900E-2
0.000	7.247E-2	-0.269	2.672E-3
0.379	7.529E-2	-0.242	0.129
3.914	0.193	0.221	0.380



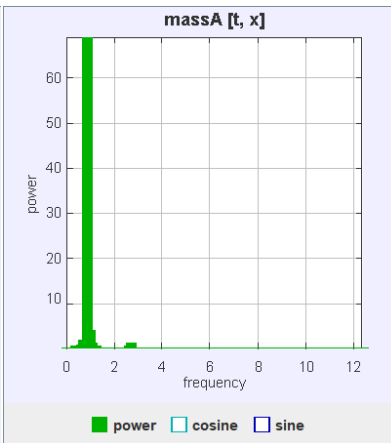
frequency	power	cosine	sine
0.658	0.215	-0.346	0.309
4.474	0.236	0.230	-0.428
0.395	0.270	-8.238E-2	-0.513
3.684	0.289	0.339	-0.417
1.053	0.446	-0.217	0.631
2.368	0.460	0.299	-0.609
3.553	0.498	0.442	-0.550
3.158	0.633	-0.578	-0.547
0.921	0.897	-3.299E-2	0.947
2.237	0.959	0.181	-0.963
3.421	1.112	-1.009	0.307
0.132	1.134	-1.031	-0.267
1.184	1.288	-0.214	1.115
2.105	1.553	4.540E-2	-1.245
1.974	1.697	1.223E-2	-1.303
1.316	3.273	-0.864	1.589
1.579	3.461	-0.270	1.841
1.447	3.797	-1.540	1.190
1.842	11.45	0.631	-3.325
0.263	11.86	-3.070	1.559
1.711	200.2	-3.864	13.61



frequency	power	cosine	sine
5.250	2.308E-2	0.102	-0.112
1.375	2.712E-2	-4.674E-2	0.158
3.750	3.188E-2	-6.162E-2	-0.168
1.625	3.499E-2	0.186	-2.399E-2
2.000	3.567E-2	-0.179	-5.911E-2
1.875	4.063E-2	-9.853E-4	-0.202
1.250	4.184E-2	-0.183	-9.224E-2
2.125	5.000E-2	1.163E-2	-0.223
1.500	8.998E-2	0.246	-0.171
0.750	0.102	0.276	-0.160
1.000	0.113	0.261	-0.211
1.125	0.182	0.384	-0.186
3.500	0.289	5.288E-2	-0.535
0.125	0.391	-0.447	0.438
0.000	0.531	0.729	2.061E-2
0.500	0.646	4.071E-2	-0.803
0.625	0.725	0.838	0.148
0.875	0.848	0.903	0.179
0.375	1.343	0.379	-1.095
1.750	1.769	-0.720	-1.118
0.250	6.121	-1.568	1.914



frequency	power	cosine	sine
4.250	0.196	0.294	0.331
2.000	0.205	4.903E-2	0.450
0.375	0.220	1.463E-2	-0.468
3.000	0.233	0.368	0.312
4.000	0.245	0.318	0.379
2.500	0.350	-0.324	0.495
3.250	0.458	0.311	0.601
1.375	0.488	7.597E-2	0.694
1.625	0.882	-0.281	0.896
2.750	1.058	0.719	0.736
0.500	1.094	0.434	-0.952
0.625	1.350	0.450	-1.071
0.000	1.420	1.188	-9.715E-2
1.500	2.011	-0.159	1.409
1.250	2.372	-0.268	1.517
2.625	2.428	-1.377	0.730
0.750	2.838	0.328	-1.652
1.125	5.207	-0.811	2.133
1.750	5.583	0.880	2.193
1.000	11.32	-0.163	3.361
0.875	700.9	7.078	-25.51



frequency	power	cosine	sine
2.970	7.395E-2	-3.627E-2	0.270
1.856	8.959E-2	0.296	4.264E-2
1.980	9.217E-2	0.220	0.209
1.609	0.110	-0.196	0.268
0.000	0.117	0.341	-3.114E-2
4.455	0.138	-0.218	0.300
0.248	0.160	0.215	-0.338
2.847	0.184	-0.174	0.392
3.589	0.203	0.223	0.392
1.485	0.217	3.067E-2	0.465
0.495	0.221	0.229	-0.411
1.361	0.228	-2.146E-2	0.477
1.238	0.318	-3.865E-2	0.562
0.371	0.416	0.523	-0.377
2.599	0.507	0.546	-0.457
0.619	0.605	0.282	-0.725
2.723	1.321	-0.686	0.922
1.114	1.324	-0.375	1.088
0.743	1.731	0.673	-1.131
0.990	3.963	-0.471	1.934
0.866	69.02	2.507	-7.921

BRONVERMELDING

- ^I i-Boating : Free Marine Navigation Charts & Fishing Maps. (n.d.). <https://fishing-app.gpsnauticalcharts.com/i-boating-fishing-web-app/fishing-marine-charts-navigation.html?title=Sognefjorden+boating+app#12.17/61.0767/5.5064>
- ^{II} Wikipedia-bijdragers. (2020, 1 augustus). Sognefjord. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Sognefjord>
- ^{III} Hakkaart, J.A.; Lancelotti, A.; Østlid, H.; Marazza, R.; Nyhus, K.A. (1993). Culverwell, D.R. (ed.). "Chapter 6: Submerged Floating Tunnels". *Tunneling and Underground Space Technology*. Association International des Tunnels. 8 (2) : 265–285. [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(93\)90096-E](https://doi.org/10.1016/0886-7798(93)90096-E)
- ^{IV} Zhang, K., Xiang, Y., & Du, Y. (2010). Research on tubular segment design of submerged floating tunnel. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.08.023>
- ^V Hemel, M. J., (TU Delft Civil Engineering and Geosciences; TU Delft Hydraulic Engineering) (2019, 22 oktober). *Submerged floating tunnel: The dynamic response due to fluid structure interaction*. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A49f508ae-20a3-4cf4-a99b-e609fa6e2c81>.
- ^{VI} Wikipedia contributors. (2023, 1 december). Ramform Titan. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Ramform_Titan#cite_note-wartsila-1
- ^{VII} Statens vegvesen, Norwegian Public Roads Administration, & Ellevset, O. (2012). Project Overview Coastal Highway Route E39. Geraadpleegd op 27 december 2023, In https://www.vegvesen.no/globalassets/vegprosjekter/utbygging/ferjefrie39/vedlegg/ferjefrie39_summary_english_jan2012.pdf
- ^{VIII} Statens vergessen NPRA (Norwegian Public Roads Administration). (2019). Lønnsomhet for godstransport. In <https://www.vegvesen.no/>. Geraadpleegd op 27 december 2023, van <https://www.vegvesen.no/globalassets/vegprosjekter/utbygging/ferjefrie39/vedlegg/faktaark/lonnsomhet-for-godstransport.pdf>
- ^{IX} Kanie, S. (2010). Feasibility studies on various SFT in Japan and their technological evaluation. *Procedia Engineering*, 4, 13–20. Geraadpleegd op 28 december 2023, van <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705810005011>
- ^X Martinelli, L., Barbella, G., & Feriani, A. (2010). Modeling of Qiandao Lake submerged floating tunnel subject to multi-support seismic input. Geraadpleegd op 28 december 2023, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.08.035>
- ^{XI} Di Pilato, M., Perotti, F., & Fogazzi, P. (2008). 3D dynamic response of submerged floating tunnels under seismic and hydrodynamic excitation. Geraadpleegd op 28 december 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029607001411>

XII ^{xvii} World's first "floating tunnel" proposed in Norway. (2019, 15 februari). NBC News. <https://www.nbcnews.com/mach/science/world-s-first-floating-tunnel-proposed-norway-ncna971581>

XIII Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013, 13 Augustus). Fundamentals of Physics. Google Books. Geraadpleegd op 10 januari 2024, van https://books.google.nl/books/about/Fundamentals_of_Physics.html?id=Hyb-kAwAAQBAJ&redir_esc=y

XIV Henshaw, J. M. (2014). An Equation for Every Occasion: Fifty-Two Formulas and Why They Matter. Google Books. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van https://books.google.nl/books?id=-0ljBAAAQBAJ&pg=PA68&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

XV Ellipses and other conic sections. (z.d.). <https://cseligman.com/text/history/ellipses.htm>

XVI Airfoil Geometries. (2022). In introductiontoaerospaceflightvehicles. <https://doi.org/10.15394/eaglepub.2022.1066.n21>

XVII Wikipedia contributors. (2023a, augustus 16). History of aerodynamics. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_aerodynamics

XVIII Admin. (2022, 24 augustus). Drag Force - Definition, Principle, discovery, formula, FAQs. BYJUS. <https://byjus.com/physics/dragforce/#:~:text=Sir%20George%20Cayley%20is%20known,%E2%80%93weight%2C%20thrust%20and%20lift>

XIX *Sir George Cayley*. (z.d.). <http://aviation-history.com/early/cayley.htm>

XX Zou, P., Ruiter, N., Uijtewaal, W., Chen, X., Peters, D., & Bricker, J. D. (2023). Experimental study of surface roughness effects on hydrodynamic characteristics of a submerged floating tunnel. Applied Ocean Research, 135, 103557. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103557>

XXI Rahman, F. U. (2022, April 18). *Design and construction of submerged floating tunnel*. The Constructor. <https://theconstructor.org/transportation/design-construction-submerged-floating-tunnel/563263/#:~:text=The%20external%20shape%20of%20the,corrosion%20is%20the%20main%20issue>

XXII De Jong, F. (2017, Oktober 14). 3D printen komt in stroomversnelling, Nederland loopt voorop. NOS. <https://nos.nl/artikel/2198019-3d-printen-komt-in-stroomversnelling-nederland-loopt-voorop>

XXIII Wikipedia contributors. (2023, December 18). Dovetail joint. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Dovetail_joint

XXIV Wikipedia contributors. (2023, 22 november). Drag coefficient. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient#/media/File:Hoerner_fluid_dynamic_drag_coefficients.svg

^{XXV} Corporaal, D. (2021, 23 november). *5. Beginselen*.
<https://www.zweefvliegopleiding.be/index.php/de-theorie-opleiding-voor-het-spl/beginselen>

^{XXVI} de Jong, (2012 november 13, p. 16). *theorie_van_het_zweefvliegen_h2_v11 (1).pdf*

^{XXVII} Harish, A., & Harish, A. (2023, December 12). Why the Tacoma Narrows Bridge Collapsed: An Engineering Analysis. SimScale. <https://www.simscale.com/blog/tacoma-narrows-bridge-collapse/>

^{XXVIII} Wikipedia-bijdragers. (2023, June 25). Duivelsdriehoek. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Duivelsdriehoek>

^{XXIX} Lim, H. (2014). Optimum design of a sloping-wall-type wave absorber placed in a sinusoidal propagating wave. *Ocean Engineering*, 88, 588–597. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.03.029>

^{XXX} Tracker video analysis and modeling tool for physics education. (n.d.).
<https://physlets.org/tracker/>

^{XXXI} 3Blue1Brown. (2018, January 26). But what is the Fourier Transform? A visual introduction. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=spUNpyF58BY>

^{XXXII} Norway Trains Map | Norwegian Railway. (z.d.). NORWAY TRAINS.
<https://www.norwaytrains.com/railway-map.html>

^{XXXIII} Wikipedia contributors. (2023d, December 2). Ship stability. Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Ship_stability

^{XXXIV} Schaalproblemen bij het besturen van supertankers | TU Delft Repositories. (z.d.-b). Geraadpleegd op 19 januari 2024, van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:00d504dc-6f7f-47a7-bb0a-6c2e05263520/>

^{XXXV} De Haan, C. (2002b). Modelling van rioelstelsels tijdens water op straat: Metingen in een schaalmodel. TU Delft. Geraadpleegd op 19 januari 2024,
<https://doi.org/10.4121/uuid:04ce735e-9ac0-4ff1-9505-bc1c9119efc7>

^{XXXVI} Wikipedia-bijdragers. (2024, 18 januari). Reynoldsgetal. Wikipedia. Geraadpleegd op 19 januari 2024, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Reynoldsgetal>