

# DE NATUURKUNDIGE WERKING VAN KITESURFEN



Daan Leeflang  
Dominic van Noort

L.K. Anthoni

**DECEMBER**  
**2017**

Lichamelijk  
Opvoeding &  
Natuurkunde

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	3
<b>H1 Inleiding</b>	
1.1 Termen	4
1.2 Boards	4
1.3 Kites	5
1.4 Windvenster	6
1.5 Hoofdvraag en deelvragen van het onderzoek	7
1.6 Werkwijze	7
1.7 Relevantie en Context van het onderzoek	10
<b>H2 Deelvraag 1: het krachtenspel</b>	
2.1 De wind	12
2.2 De krachtbron/motor: de vlieger	14
2.3 Wat voor trekkracht is er nodig om te varen?	19
2.4 Hoe blijft de kitesurfer met deze krachten in balans?	23
2.5 Hoe kan de kitesurfer in een andere richting varen dan hij getrokken wordt door de vlieger?	27
2.6 Het volledige krachtenplaatje	28
2.7 Springen	29
<b>H3 Deelvraag 2: Krachtbelasting</b>	
3.1 Inleiding	31
3.2 Verwachting	31
3.3 Resultaten	33
3.4 Conclusie	37
<b>H4 Deelvraag 3: Krachtverhoudingen</b>	
4.1 Verschillende boards	38
4.2 Verwachting	41
4.3 Resultaten	42
4.4 Conclusie	45
<b>H5 Eindconclusie</b>	46
<b>H6 Discussie en Reflectie</b>	48
<b>H7 Samenvatting</b>	50
<b>H8 Literatuurlijst</b>	51
<b>H9 Bijlagen</b>	52
<b>H10 Logboek</b>	84

## Voorwoord

Wij hebben met veel plezier gewerkt aan ons profiel werkstuk met de titel “De Natuurkundige Werking van het Kitesurfen”. Hierbij willen wij een aantal mensen bedanken die ons geholpen hebben bij het vinden van de juiste informatie:

- Stephan van den Berg, Olympisch kampioen windsurfen en eigenaar van een surfshop in Hoorn bedanken wij voor het ons te woord staan en het meedenken over de mogelijkheden voor het verwezenlijken van dit pws.
- Frank Schoenmaker, eigenaar van NSize en medeontwikkelaar van een kitesimulator in samenwerking met de TU Delft, voor het meedenken en feedback geven op onderdelen van het pws.
- Dokter Fransesco Feletti, Ravenna, Italië. Extreme Sports Medicine specialist en redacteur van het leerboek Extreme Sports Medicine 2016. Hij is lid van het “International Extreme Sports Medicine Congress, Boulder, Co, USA en ambassadeur van dat congres in Europa. Hij heeft 20 jaar ervaring in risicovolle sporten als onder andere windsurfer en kitesurfer. Hij heeft meegedacht over de vraagstelling en verdere toepassingen. Wij danken hem voor zijn waardevolle feedback.
- Sjoerd de Bruijn, docent biomechanica van de faculteit bewegingswetenschappen van de VU. Wij bedanken hem voor de feedback en voor zijn visie op de onderzoeksresultaten.
- Dean Freedberg, product ontwerper bij het kitesurfmerk Airush, het materiaal waarmee wij het onderzoek uitgevoerd hebben. Wij bedanken hem voor informatie over onder andere de breeksterkte van de lijnen.
- Stijn de Bondt, onderzoeker van de Universiteit van Antwerpen, die zich bezig heeft gehouden met het ontwerpen van een meetsysteem om krachten op de vliegerlijnen te kunnen meten en uitlezen. Wij bedanken hem voor het ter beschikking stellen van informatie uit zijn onderzoek.
- Lina Lundgren, auteur van het artikel “Biomechanics of Extreme Sports-a Kite surfing Scenario”. Wij danken haar voor het meedenken over de opzet van ons onderzoek.
- Maarten Leeftang, Daan zijn vader voor het ondersteunen bij de uitvoering van de experimenten.
- Coen Loermans, docent Natuurkunde op het Haarlemmermeer Lyceum, voor de begeleiding bij het tot stand komen van dit profiel werkstuk.
- Koen Anthoni, docent Lichamelijke Opvoeding op het Haarlemmermeer Lyceum, voor de begeleiding bij het tot stand komen van dit profiel werkstuk.

Bij de uitvoering van het onderzoek zijn we tegen veel praktische problemen aangelopen, die we met hulp van experts hebben kunnen oplossen. Onze bevindingen hebben ons duidelijk gemaakt dat er nog veel winst te behalen is en wij zijn zo enthousiast geworden, dat we hier graag in de toekomst mee verder willen gaan.

# Hoofdstuk 1: Inleiding

*Kitesurfen is een watersport waarbij de beoefenaar met behulp van een board op het water vaart bekrachtigd door een kite-vlieger 25 meter in de lucht. De kite is bevestigd aan het lichaam. Bij het kitesurfen kunnen snelheden van 60 km/u, en sprongen van bijna 30 meter hoog worden behaald. In 2012 is het aantal kitesurfers door de ISAF (International Sailing Federation) en de IKA (International Kiteboarding Association) geschat op 1.5 miljoen.*

## 1.1 Termen

Allereerst is het belangrijk de meest voorkomende termen en uitrustingsonderdelen binnen de kitesurfcultuur op een rij te zetten, zodat het verslag direct goed kan worden begrepen.

*Downwind:* Met de wind mee, alles wat zich met de wind mee bevindt.

*Upwind:* Alles wat zich bevindt tegen de wind in.

*Kite:* De vlieger waaruit een kitesurfer zijn beweging haalt.

*Kiteboard:* Het board dat de kitesurfer gebruikt om op te varen.

*Footstraps:* De voetbindingen die ervoor zorgen dat de kitesurfer niet van zijn board afglijdt.

*Harnas:* Het middelstuk om het lichaam waarmee de kite aan de kite vastzit.

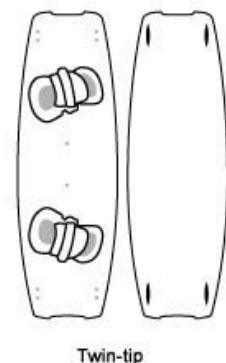
*Bar:* Het 'stuur' van de kite.

*Kiter/Kitesurfer/Surfer:* hiermee wordt de persoon aangeduid die de kitesurf sport beoefent.

## 1.2 Boards

### 1.2.1 Twin-tip

De twin-tip (afbeelding 1) is het meest gebruikte board door kitesurfers. Dit type board heeft twee gelijke kanten en kan dus in beide richtingen gevaren worden, waardoor het populair is onder kitesurfers van alle niveaus. Aan het board zijn twee voetstukken bevestigd wat ervoor zorgt dat de kitesurfer vast zit aan zijn board. Daarbij zijn aan beide kanten twee kleine vinnen geplaatst voor stabiliteit tijdens het varen.

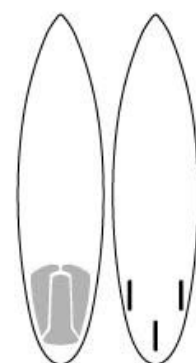


Twin-tip

Afbeelding 1: Twin-tip

### 1.2.2 Surfboard

Het kitesurfboard (afbeelding 2) is simpel gezegd een golfsurfboard aangepast aan de kitesurf sport. De bedoeling is dat er op golven wordt gevaren, met als ondersteuning de kite. Opvallend aan het board is dat deze geen voetstukken heeft. Door de jaren heen is het model zo ontwikkeld dat deze 'voetstraps' weg zijn gehaald. Dit zorgt voor een heel andere kite-ervaring. Verder zitten er op het board, net als op een ordinair surfboard, drie vinnen aan de achterkant voor stabiliteit. Het surfboard heeft één voorkant en kan door zijn grote drijfvermogen en hydrodynamische vorm makkelijker golven pakken dan andere kiteboards.

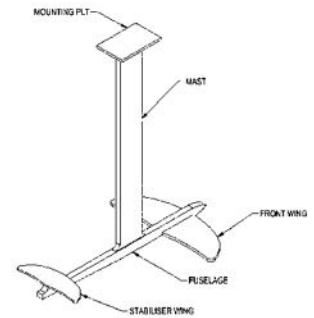


Surf (wave riding)

Afbeelding 2: Surfboard

### 1.2.3 Hydrofoil

De grootste nieuwkomer van de sport is het hydrofoilkiteboard. In dit model ligt de nadruk echter niet op het board zelf, maar op de constructie hieronder (Afbeelding 3). Onder het board zitten een soort vleugels die door middel van een natuurkundig fenomeen het board omhoog forceren. Hierdoor ervaart het board tijdens het varen veel minder weerstand dan gewoonlijk, waardoor er bij veel minder krachtige wind al kan worden gekitesurft.



Afbeelding 3: hydrofoilconstructie

### 1.3 Kites

Afhankelijk van de windsnelheid worden er verschillende maten kites gebruikt. Het meest frequent zijn de maten variërend tussen 5m<sup>2</sup> en 16m<sup>2</sup>, dit is ook afhankelijk van het gewicht van de beoefenaar. Grotere kites genereren meer kracht dan kleinere, maar zijn ook minder wendbaar. In afbeelding 4 zijn de belangrijkste termen met betrekking tot de kite te zien.



Afbeelding 4: Termen Kite



Afbeelding 5: Bow Kite

#### 1.3.1 Bow

De bow kite (afbeelding 5) is de meest logische keuze voor beginners. Een bow-kite is opblaasbaar in de 'leading edge' en in de 'struts', wat ervoor zorgt dat deze makkelijk is te re-launchen\* nadat deze in het water is geland. De bow-kite is te herkennen door de 'wing tips' die wat naar achteren zijn gericht. Dit heeft als resultaat dat de kite voorspelbaar, stabiel en snel te besturen is.

#### 1.3.2 C-vorm

Deze kites hebben een C-vorm (Afbeelding 6), en zijn in de besturing sneller dan een bow-kite, maar minder stabiel en lastiger om uit het water te re-launchen\*. De C-vorm kite is een populaire keuze onder professionals door de wendbaarheid, snelheid en explosieve kracht.



Afbeelding 6: C-vorm Kite



Afbeelding 7: Hybride kite

#### 1.3.3 Hybride

Hybride kites (Afbeelding 7) worden veel verkocht, omdat dit een combinatie is van de Bow- en de C-kite. In deze combinatie komen de beste eigenschappen van beide kites naar voren, en is dus erg populair.

\*Een kite opnieuw de lucht in sturen wanneer deze in het water gevallen is.

### 1.3.4 Foil

Een foil-kite (Afbeelding 8) hoef je niet op te pompen en is gebaseerd op een parachute. De kite heeft luchtcompartimenten die zich vullen met lucht op het moment dat de vlieger omhoog gaat. Dit geeft de stevigheid die de andere soorten kites krijgen bij het oppompen ervan. De foil-kite is vaak lichter dan andere kites waardoor ze al met weinig wind omhooggaan.



Afbeelding 8: Foil kite

## 1.4 Windvenster

Een van de meest belangrijke stukken theorie bij het kitesurfen is het windvenster (afbeelding 9). De plaats van de kite in het vliegtraject geeft aan hoeveel kracht de kiter op dat moment ondervindt.

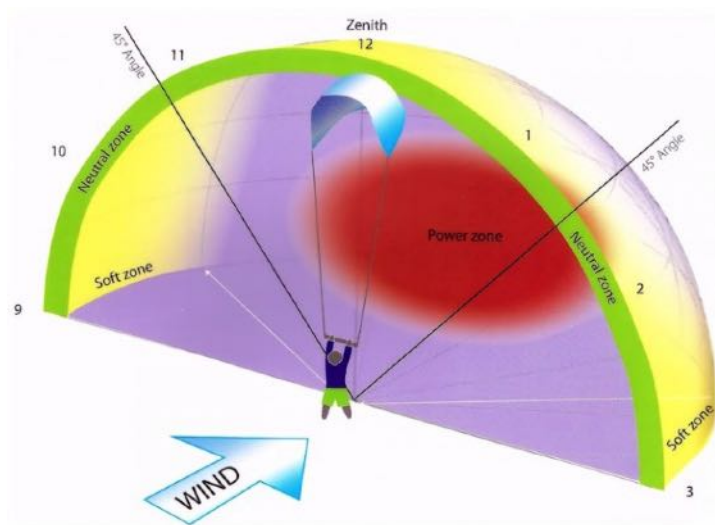
Het windvenster is een vierde van een driedimensionale bol, die zich benedenwinds van jou bevindt. De lengte van je lijnen bepaalt hoe groot deze bol is. Hoe langer je lijn, hoe groter de straal van het windvenster.

Het windrooster is op te delen in drie zones:

**Neutral zone:** Hier kan de kite stil blijven hangen zonder een grote kracht uit te oefenen op het lichaam van de kiter. Deze zone bevindt zich aan de randen van de bol met een groene kleur.

**Soft zone:** Hier krijgt de kite meer kracht. De kite kan hier niet stil blijven hangen, maar moet er doorheen vliegen. In de figuur is deze zone aangegeven met een gele kleur en bevindt zich meer benedenwinds van de neutrale zone.

**Powerzone:** Dit is het meest krachtige gebied in het venster. De kite kan hier niet stil staan, je kan er alleen doorheen vliegen. Dit levert de grootste kracht op het lichaam op, en je kunt jezelf hiermee mee laten slepen door de kite.



Afbeelding 9: windvenster

## 1.5 Hoofdvraag en deelvragen van het onderzoek

### 1.5.1 Hoofdvraag:

Wat is de belasting waar de kitesurfer mee te maken krijgt bij gebruik van verschillende type kiteboards?

### 1.5.2 Deelvragen:

1. Wat voor krachten brengt de vlieger over op een kitesurfer?

- De wind
- Krachtbron
- Wat voor trekkracht is nodig om te varen?
- Hoe blijft de kitesurfer met deze krachten, die inwerken op verschillende punten in balans?
- Hoe kan je een andere richting in varen dan dat de trekkracht je heentrekt?
- Sprongen

2. Wat zijn de meest belastende momenten tijdens het varen?

- Hypothese
- Resultaten
- Hypothese
- Conclusie

3. Hoe verhoudt zich de krachtbelasting op de kitesurfer tussen de disciplines twin-tip/ surfboard/ hydrofoil varen bij gelijke weersomstandigheden?

- Boards
- Hypothese
- Resultaten
- Conclusie

## 1.6 Werkwijze

### *Het experiment*

#### *Verschillende soorten metingen*

Om alle de krachten te vergelijken met elkaar moet de trekkracht bij verschillende boardtypes en manoeuvres op de kitesurfer gemeten worden. Er is een poging ondernomen om een hydrofoilboard te maken. De bedoeling om een hydrofoil systeem middels 3D print te maken, bleek te duur. Daarom wordt gebruik gemaakt van de twin-tip en het surfboard. De eigenschappen van het varen met beide type boards worden vergeleken voor wat betreft:

1. Een waterstart;
2. Koers upwind;
3. Koers downwind;
4. Springen.

Met het surfboard wordt echter niet gesprongen dus wordt deze meting achter wege gelaten.

## Werkopstelling

Om deze krachten te meten moeten vooraf een aantal dingen aangeschaft worden. Verder moet het experiment goed voorbereid worden zodat iedereen precies weet wat gedaan moet worden. Om goed voorbereid te zijn, zijn delen van de proef al eerder gedaan zodat alles vlekkeloos kon verlopen.

### Krachtsmeters

Bij het experiment zijn verschillende soorten materialen en gegevens nodig. Ten eerste is er een krachtmeter aangeschaft (type: G&G®). Deze kan krachten meten tot 300 kg (bijna 3000 Newton). Het was echter moeilijk om hiervoor een goede plek te vinden in het systeem. Eerst is geprobeerd de krachtmeter tussen de bar en de kitesurfer te plaatsen. Deze opzet is te zien in afbeelding 10.



Afbeelding 10

Het Probleem hier was echter dat de kitesurfer niet meer goed bij zijn bar kon. Hierbij was de bar telkens aangetrokken en stalde de vlieger vaak. Daarom is de krachtmeter, na lang nadenken, geplaatst tussen de bar en de vlieger op de plek van een stuk powerlijn. Het stukje powerlijn moest hierbij eerst verwijderd worden en hier is de krachtmeter dus in geplaatst.

De stuurlijnen zullen echter ook krachten overbrengen op de kiter en daarom is deze krachtmeter niet genoeg.

Om de krachten op de bar te bepalen zijn twee kofferwegers aangeschaft. Deze zijn echter niet goed te plaatsen tussen de bar en de vlieger en daarom is er een tweede bar gemaakt. Aan de twee uiteinden van deze tweede bar zitten de twee kofferwegers die verbonden zijn met de echte bar. Er wordt dus gestuurd met de tweede

bar en hierbij kunnen de krachten links en rechts op de bar afgelezen worden. Dit is te zien in afbeelding 11.



Afbeelding 11

Deze drie krachtmeters zijn echter niet waterdicht en kunnen niet achteraf uitgelezen worden. Daarom is er een waterdichte zak omheen gedaan. Ook is er op de krachtmeter een Gopro filmcamera bevestigd die alle krachtveranderingen kan vastleggen. Door een gebrek aan filmcamera's zijn de krachten op de bar echter minder goed uitgelezen. Daarom kunnen er bij de barkrachten grote meetonzekerheden optreden.

Een moeilijkheid in het onderzoek is echter dat de camera's synchroon moeten lopen zodat de beelden aan elkaar gerelateerd kunnen worden.

### *Vlag*

Om de drie koersen goed uit te zetten, zodat de kitesurfer steeds met dezelfde richting voer, is er gebruik gemaakt van een vlag. Om dezelfde koers te varen bij de twee boards is door de mensen op de kant de vlag precies zo neergezet dat de kitesurfer eenzelfde koers voer (afbeelding 12). Precieze koersrichting is daarbij gemeten met behulp van een elektronisch kompas.

### *Hoek van de vlieger*

Om de hoek van de vlieger precies te bepalen in 3D moet eerst de horizontale hoek bepaald worden en daarna de verticale hoek. Doordat de Gopro's wijdhoek camera hebben en de vlieger natuurlijk in de lucht hangt, is de horizontale hoek van de vlieger erg lastig te bepalen met een camera. Daarom is op het board van de surfer een halve gradenboog vastgemaakt (afbeelding 13). Hiermee kan de surfer zelf de horizontale hoek aflezen en dit is een stuk preciezer dan met een camera.

De verticale hoek van de vlieger kan echter wel makkelijker bepaald worden met een fotocamera. Hierbij is een foto gemaakt van het land, recht waar de surfer naartoe is gevaren. De hoek is hierbij bepaald op grond van de foto die gemaakt is, waarbij de horizon als horizontaallijn wordt beschouwd. Dit geeft best een meetonzekerheid maar die is niet makkelijk op een precieze manier te bepalen.



Afbeeldingen 12, 13, 14

### *Drifthoek*

Doordat een kitesurfer nooit alle trekkracht van de vlieger kan opvangen in de vorm van weerstand, zal de vaarrichting niet gelijk zijn aan de boardrichting. De surfer drift als het ware met de wind mee. Om de weerstandskracht goed te tekenen moeten de drifthoek, de hoek tussen de board en vaarrichting, bepaald worden. Dit is gedaan door een laserlampje te projecteren op de voorkant van het board (afbeelding 14) Deze staat dus gericht in de boardrichting. Van de kant kan de boardrichting dus makkelijk bepaald worden. De vaarrichting is de richting die tussen de boei en de vlag staat en met deze gegevens kan de drifthoek dus bepaald worden.

### *Hoek van het board*

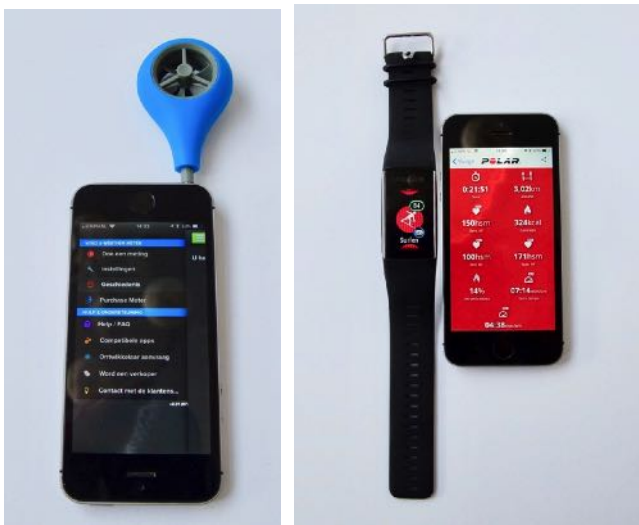
Om de hydrodynamische kracht goed te tekenen moet de hoek bepaald worden van het board. Dit is gedaan met dezelfde foto van de hoogte hoek van de vlieger.

### *Vliegerbeweging*

Bij de verschillende koersen staat de kite vast op een bepaalde positie. Bij een waterstart en bij sprongen moet de vlieger echter van richting veranderd worden. Om de krachten te vergelijken met de vliegerbewegingen moet er dus een film gemaakt worden van voor of achter de surfer. Dit is gedaan met een camera vanaf het strand.

### *Windrichting en windkracht*

Voor een aantal formules is de windkracht nodig. Deze is berekend met een windmeter die op een iPhone gemonteerd is. De app die hierbij hoort geeft ook de windrichting in graden nauwkeurig zodat de werkelijke wind bepaald kan worden. De windmeter is te zien in afbeelding 15.



Afbeeldingen 15 en 16

### *Snelheid*

Om de vaarwind te bepalen wordt een Polar A370 horloge gebruikt om de vaarsnelheid te bepalen. Dit levert namelijk een vaarwind op tegengesteld aan de vaarrichting (afbeelding 16).

### *Verdere gegevens*

Om ook de zwaartekracht van de vlieger en de kitesurfer te berekenen zijn de massa's van elke vlieger, de bar en lijnen, de boards en van de kitesurfer in wetsuit bepaald. Deze zijn vooraf berekent zodat alle gegevens snel verwerkt konden worden en de krachtenplaatjes netjes ingevuld konden worden (Bijlage 3 t/m 9)

## **1.7 Relevantie en Context van het onderzoek**

Kitesurfen wordt gezien als een extreme sport met hoog risico. Omdat de kiter blootgesteld wordt aan grote krachten kan de sport leiden tot gezondheidsschade. Je leest af en toe in de media incidenten die plaatsvinden bij het kitesurfen. Vaak zijn het beginners en vaak spelen de incidenten zich af op het land. Soms is er helaas sprake van dodelijke afloop. Het is daarom belangrijk dat de risico's zo objectief mogelijk in kaart gebracht worden en dat de gegevens gebruikt kunnen worden om de sport zo veilig mogelijk te maken. Inzicht in krachten waaraan de kitesurfer blootgesteld wordt bij het beoefenen van de verschillende kite disciplines is daarbij essentieel. Kitesurfsystemen bevatten geen krachtmeters en er is weinig onderzoek gedaan op het gebied van krachtbelasting op

de kitesurfer. Het lijkt technisch haalbaar en betaalbaar om krachtmeters in te bouwen op kitesurf lijnen (powerlijnen en stuurlijnen). Toepassingen kunnen velerlei zijn. Te denken valt aan:

- Inbouwen van krachtsysteem met safety systeem, waarbij bijvoorbeeld les kiter automatisch ontkoppelt bij krachten die groter worden dan ingestelde maximale krachtbelasting. Dit zou kunnen voorkomen dat beginners, die krachten nog niet in de hand hebben over strand voortgesleept worden door de kite en daarbij ernstige verwondingen oplopen.
- Feedback voor ervaren kitesurfers, welke naast filmbeelden gebruikt kan worden om snel progressie te maken.
- Gebruik door ontwerpers van kites, zodat ze tijdens vaarcondities kunnen testen of de kite zich gedraagt zoals verwacht en bedoelt.
- Data verzamelen voor het zo realistisch mogelijk maken van een kite simulator.
- Inzicht in precieze krachtbelasting maakt duidelijk hoe een kitesurfer zich het beste kan voorbereiden op belastingen tijdens het beoefenen van zijn sport. Het geeft ook inzicht in welke delen van het lichaam het meest belast worden en dus het meest getraind dienen te worden. Dean Freedberg, ontwerper bij Airush opperde dat het ook interessant is om de drukbelasting op de kiter te meten door druksensoren te plaatsen tussen rug en harnas van de kiter. Dit hebben wij in ons profielwerkstuk buiten beschouwing gelaten.

Uit het vooronderzoek is gebleken dat er nog niet zo'n systeem op de markt is. Een onderzoeker van de Universiteit van Antwerpen is bezig met het ontwikkelen van zo'n systeem en het bedrijf Mutiny heeft een test gedaan met analoge krachtmeters, echter daar is verder nog niets over gepubliceerd.

## Hoofdstuk 2: deelvraag 1: Het krachtenspel

Wat voor krachten brengt de vlieger over op een kitesurfer?

### 2.1 De wind

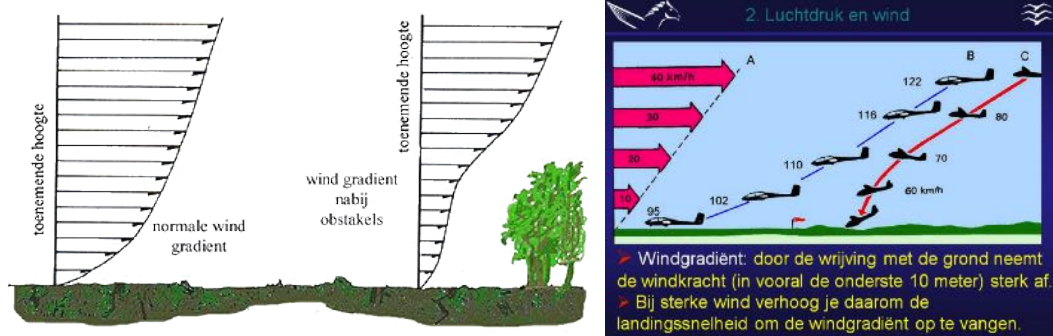
Bft	Benaming	Gemiddelde wind-snelheid				Kenmerken
		m/s	knopen	km/u	mi/u	
0	Windstil	<0.2	< 1	< 1	< 1	Rook stijgt (recht) omhoog
1	Zwak	0.3 - 1.5	1 - 3	1 - 5	1 - 3	Rookpluimen geven richting aan
2	Zwak	1.6 - 3.3	4 - 6	6 - 11	4 - 7	Bladeren ritselen
3	Matig	3.4 - 5.4	7 - 10	12 - 19	8 - 12	Bladeren en twijgen voortduren in beweging
4	Matig	5.5 - 7.9	11 - 16	20 - 28	13 - 18	Stof en papier dwarrelen op
5	Vrij krachtig	8.0 - 10.7	17 - 21	29 - 38	19 - 24	Takken maken zwaaiende bewegingen
6	Krachtig	10.8 - 13.8	22 - 27	39 - 49	25 - 31	Grote takken bewegen
7	Hard	13.9 - 17.1	28 - 33	50 - 61	32 - 38	Bomen bewegen
8	Stormachtig	17.2 - 20.7	34 - 40	62 - 74	39 - 46	Twijgen breken af
9	Storm	20.8 - 24.4	41 - 47	75 - 88	47 - 54	Takken breken af. Dakpannen waaien weg
10	Zware storm	24.5 - 28.4	48 - 55	89 - 102	55 - 63	Bomen worden ontworteld
11	Zeer zware storm	28.5 - 32.6	56 - 63	102 - 117	64 - 74	Uitgebreide schade aan bossen en gebouwen
12	Orkaan	>32.6	>63	>117	>74	Niets blijft meer overeind

Afbeelding 17: windkracht tabel

### De windrichting en de windkracht

De wind waait vanuit een bepaalde richting die te bepalen is met behulp van een windmeter. Daarnaast heeft de wind een bepaalde snelheid waarmee de luchtmoleculen door de lucht reizen.

Bij de grond ondervindt de luchtmassa wrijving, waardoor deze wordt afgeremd. Dit maakt dat de windsnelheid laag bij de grond lager is dan hogerop. Indien er geen obstakels zijn op de grond dan kan er, met behulp van de windgradiënt curve, voorspeld worden hoe sterk de wind hogerop is.



Afbeelding 18 en 19: windgradiënt

Vandaar dat langere lijnen kite ook handig zijn omdat je in hogere luchtlagen kan komen met de kite. Hier is de windsnelheid hoger en kan er dus meer kracht gegenereerd worden door de kite.

Wanneer je met een vlieger stil staat, dan komen de luchtmoleculen vanuit de richting waar de wind vandaan waait tegen de vlieger aan. Dit is de ware wind of werkelijke wind.

Wanneer een surfer vaart gebeurt er nog iets: Er wordt zelf wind gemaakt omdat de surfer door zijn verplaatsing tegen luchtmassa aanbotst. Is het windstil en steek je je arm uit het raam van de auto op de snelweg, dan ervaar je een enorme windkracht.

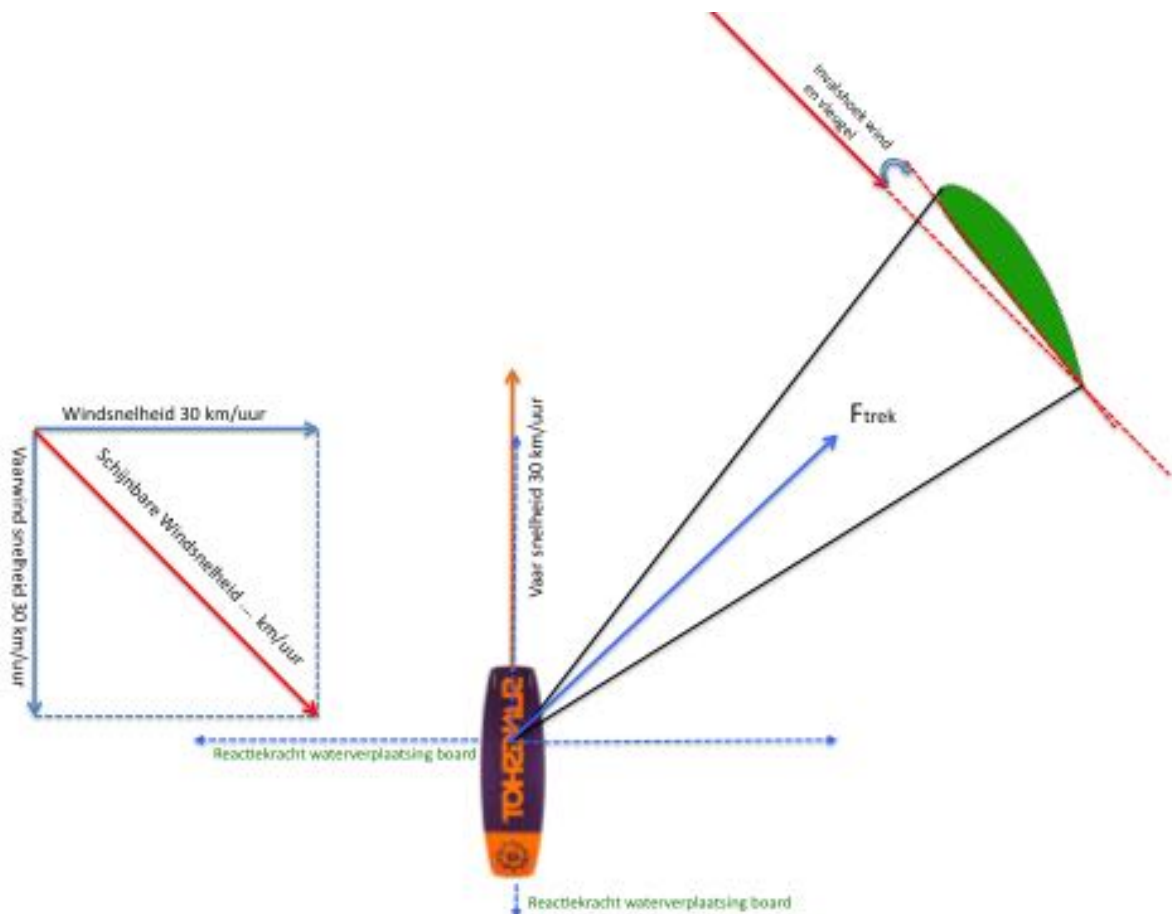
De snelheid (en dus kracht) van deze vaarwind (geïnduceerde wind) is gelijk aan de snelheid waarmee je beweegt en tegengesteld aan de richting waarin je verplaatst.

Beweeg je je voort loodrecht op de werkelijke windrichting waarbij de windkracht bijvoorbeeld 30km/uur is (kleine windkracht 5) en heb je een vaarsnelheid loodrecht op de wind van 30 km/uur (vaarsnelheden kitters tussen 20-60 km/uur en wereldrecord is 103km/uur), dan heb je dus een windvector tegen je vaarrichting in en één loodrecht op de vaarrichting. De resulterende kracht van deze twee vectoren is dan de schijnbare wind. De schijnbare wind (die dus de trekkracht op de vlieger genereert) komt dan dus vanaf 45 graden schuin achter je.

Voor de kiter is dit van belang, omdat hij het meeste trekkracht uit zijn vlieger haalt bij bepaalde koersen, wanneer de lift-drag verhouding optimaal is. Drag stuurt je daarbij met de wind mee en lift is de trekkracht daar loodrecht op. *Hier wordt later op ingegaan.*

Dit betekent dus dat je vlieger in de ideale positie moet staan ten opzichte van de schijnbare wind.

Deze theorie wordt verder uitgelegd aan de hand van het volgende voorbeeld (afbeelding 20).



Afbeelding 20

Neemt de snelheid van de kiter en dus ook van zijn vlieger nog toe, dan zal de vaarwind component toenemen en de schijnbare wind dus nog meer van voren komen. Dat maakt dat de ideale vliegerpositie moet worden aangepast. Dat kan door de vlieger wat meer richting twaalf uur te verplaatsen, maar theoretisch ook door de bar wat aan te trekken waardoor de invalshoek aangepast wordt.

De vlieger zal al automatisch van positie veranderen omdat de weerstand toeneemt en de lift afneemt omdat de ideale lifthoek verloren gaat.

Kites zijn zo ontworpen dat ze met de bar in het midden de ideale invalshoek hebben. Wanneer de bar losgelaten wordt, dan wordt de invalshoek te klein en verdwijnt de ideale lift/drag verhouding. Wordt de bar aangetrokken, dan komt er meer drag in ten opzichte van lift.

## 2.2 De krachtbron/motor: de vlieger

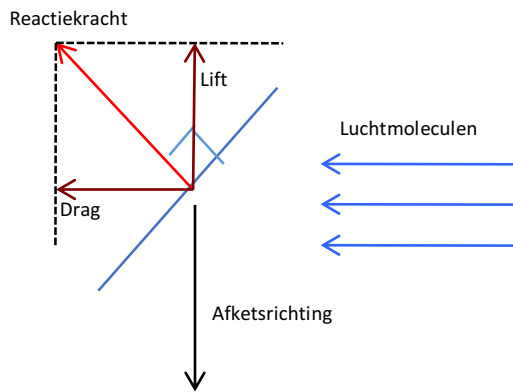
Kitesurfen is een sport waarbij de kiter voortgetrokken wordt over het water door de wind. In tegenstelling tot andere boardsporten, zoals waterskiën en wake boarden, is er sprake van een continue veranderende aandrijvingskracht, zowel qua richting waarin deze kracht trekt, als ook in sterkte (windvlagen en mate van weerstand die veranderen wanneer vlieger van positie en vorm veranderd) waarmee je voortgetrokken wordt. De motor die voor de voortstuwende kracht zorgt bij het kitesurfen is een vlieger.

Hoe zorgt een kiter nu dat hij de door de vlieger gegenereerde power zo optimaal mogelijk kan gebruiken om te varen in diverse richtingen en om zo hoog mogelijk te springen?

### ***Hoe vliegt een vlieger?***

#### ***Weerstand***

Wanneer er wind waait, worden de luchtmoleculen met een zekere snelheid (afhankelijk van de windkracht en de wrijving die de luchtkolom ondervindt) voortgedreven. Wanneer de moleculen tegen een object botsen en afketsen, dan ontstaat er een duwkracht. In het geval van een vlieger waartegen de lucht aanbotst betekent dat, dat deze "weggeduwd" wordt door het bombardement aan luchtdeeltjes. Wanneer de vlieger echter op zijn plaats wordt gehouden door middel van lijnen, dan ontstaat er een weerstandkracht. Afhankelijk van de hoek die de vlieger maakt ten opzichte van de windrichting wordt die weerstand kracht meer naar boven gericht en ontstaat er een situatie waarin de vlieger de lucht in gaat. Een grotere vlieger en hardere wind zorgt voor een grotere hoeveelheid luchtdeeltjes die tegen het doek aan botsen. Dit zorgt dan voor een grotere weerstand en daarom ook een grotere kracht en spanning op de vliegerlijnen. De weerstandskracht die nu ontstaat is loodrecht op het oppervlak waar de luchtmoleculen tegenaan botsen. Deze kracht kan dan weer ontbonden worden in een kracht verticaal en horizontaal. De kracht verticaal wordt de lift kracht ( $F_{lift}$ ) genoemd en de kracht horizontaal de drag kracht ( $F_{drag}$ ). Het ontbinden van deze krachten is te zien in afbeelding 21. Lift is per definitie de kracht die loodrecht staat op de windkracht en drag de kracht die evenwijdig staat hieraan.



Afbeelding 21

Deze door de wind veroorzaakte krachten op de vlieger worden de aerodynamische krachten genoemd.

### ***Alle krachten op de vlieger***

Bij het krachtenevenwicht dat hier nu ontstaat behoren de volgende krachten:

- De zwaartekracht  $F_z$  van de vlieger en de lijnen samen verticaal gericht;
- De Trekkkracht  $F_{\text{trek}}$  op de lijnen;
- Weerstandskracht  $F_w$  die de vlieger met de wind mee duwt ontbonden in drag en lift.

Al deze krachten zijn in Newton (N).

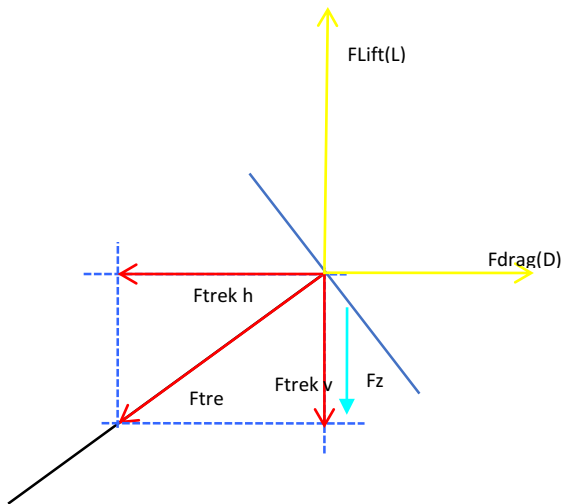
De trekkkracht op de lijnen kan worden ontbonden in een trekkkracht verticaal ( $F_{\text{trek } v}$ ) gericht en een trekkkracht horizontaal ( $F_{\text{trek } h}$ ) gericht. Volgens de eerste wet van Newton (de traagheidswet) zullen de krachten, wanneer de vlieger stilstaat, bij elkaar 0 zijn. Ze heffen elkaar op en er ontstaat dus een evenwicht. Er geldt dus:

$$F_{\text{trek } v} + F_z - F_{\text{lift}} = 0;$$

$$F_{\text{trek } h} + F_{\text{drag}} = 0$$

De krachten werken echter nu niet allemaal in op hetzelfde punt. De zwaartekracht werkt in op het zwaartepunt terwijl de andere krachten inwerken op het drukpunt wat hoger ligt. Het evenwicht dat ontstaat bij de 1-lijnsvlieger is te zien in afbeelding 22.

Hierbij is de vector van de lift ( $F_{\text{lift}}$ ) dus gelijk aan de vector van  $F_z$  en  $F_{\text{trek } v}$  bij elkaar en tegengesteld gericht. Ook is de vector van de drag ( $F_{\text{drag}}$ ) gelijk aan de vector van  $F_{\text{trek } h}$  en tegengesteld gericht.



Afbeelding 22

Wanneer een 1-lijnsvlieger groot genoeg gemaakt wordt, dan is het in principe mogelijk om ermee te varen. Het probleem is echter dat er bij de 1-lijnsvlieger geen mogelijkheid is om de richting van de trekkracht te veranderen. Daarom werden meerlijnsvliegers ontwikkeld zoals 2,4 en 5-lijnsvlieger.

### **Bestuurbare kites**

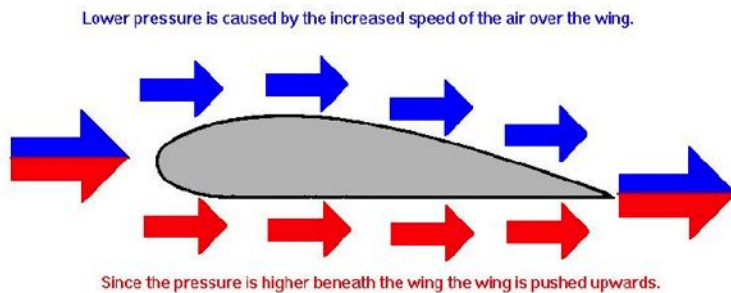
#### *2-lijns*

In tegenstelling tot een één-lijn vlieger kan bij een 2 lijns-vlieger gelukkig ook de richting beïnvloeden waarin je door de kite wordt voortgetrokken. Hierbij kan de afketshoek van de luchtmoleculen naar links en rechts aangepast worden waardoor er een reactiekracht opzij ontstaat. Echter het is met een 2 lijns-vlieger niet mogelijk om de invalshoek van de vlieger te veranderen. Hiermee kunnen plotselinge windvlagen en windverminderingen opgevangen worden door de vliegerhoek ten opzichte van de invallende wind te vergroten of te verkleinen. Bij het vergroten van de hoek zal een groter vliegeroppervlak luchtmoleculen kunnen weerkaatsen, waardoor de kracht groter wordt dan bij het verkleinen van de hoek.

#### *4-lijns*

#### De kracht door het Bernoulli-effect

Bij moderne kites speelt er nog een principe mee dat maakt dat de vlieger een tweede soort kracht ondervindt: de kracht door Bernoulli  $F_b$ , welke loodrecht staat op de vlieger. De meest efficiënte vorm om lift te creëren is de vliegtuigvleugel. Het ontwerp van de kites is afgekeken van deze vorm. Lift ontstaat doordat de luchtstroomsnelheid over de bovenkant en onderkant van de vleugel verschilt. Lucht moleculen die via de langere weg bovenlangs de vlieger stromen gaan sneller en waaieren dus meer uit, hetgeen zorgt voor relatieve onderdruk ten opzichte van de lucht die onderlangs de vleugel stroomt. Dit zorgt voor lift. Dit principe staat bekend als het Bernoulli effect. Een voorbeeld van Bernoulli effect is te zien in afbeelding 23.



Afbeelding 23

Deze liftkracht die ontstaat ten gevolge van het Bernoulli effect kan berekend worden met de volgende formule:

$$F_b = C_b \cdot A \cdot \rho \cdot (v^2/2)$$

Hierin is:

- $F_b$  de Bernoulli kracht in newton;
- $C_b$  de Bernoulli coëfficiënt  $C_b$  zonder eenheid;
- $A$  de oppervlakte van het scherm in  $m^2$ ;
- $\rho$  de luchtdichtheid in  $kg/m^3$ ;
- $V$  de windsnelheid in  $m/s$ .

Om de lift coëfficiënt te berekenen kan gebruik gemaakt worden van de volgende formule:

$$C_b = 2 \cdot \pi \cdot a$$

Hierin is  $a$  de angle of attack (hoek tussen invallende luchtmoleculen en vliegerdoek) in graden.

De optimale vorm om lift te creëren is nog steeds niet gevonden. Het probleem wat de bouwers hadden, was dat er in tegenstelling tot een vliegtuigvleugel, de structuur zo ontworpen moet worden dat de vlieger ook weer opgelaten kan worden wanneer deze in het water valt.

In tegenstelling tot meeste door vleugel voortgedreven voertuigen, die vooral te maken hebben met wind die van voren komt, heeft de motor van de kitesurfer (de vlieger), de mogelijkheid om van links naar rechts door het windraam te bewegen en zelfs te roteren (zelfs tot onder zijn verankeringspunt). Vanuit aerodynamisch oogpunt een unieke uitdaging.

### Het sturen van de kite

Wanneer een surfer aan de rechterkant van de bar trekt dan zal de vlieger naar rechts bewegen. Maar hoe komt dit nu?

Wanneer aan de rechter stuurlijn getrokken wordt, dan zal de vlieger aan deze kant meer in de wind getrokken worden. Aan deze kant wordt de weerstand dus groter. Omdat de vlieger aan deze kant vol in de wind komt te staan, staat de reactiekracht aan die kant van de vlieger bijna horizontaal gericht. Er is dus weinig lift en erg veel drag. Aan de linker kant verandert de invalshoek echter niet. De drag/lift verhouding blijft gelijk. De vlieger zal dus aan de rechterkant naar beneden zakken.

Wanneer aan de rechter stuurlijn getrokken wordt zal de rechterkant van de vlieger de luchtmoleculen anders afketsen. De deeltjes zullen meer naar links worden afgeketst waardoor een reactiekracht ontstaat die naar rechts gericht is. De vlieger beweegt dus naar rechts (afbeelding 24).



Afbeelding 24

Ook het Bernoulli effect speelt bij het sturen van de vlieger een rol. Wanneer aan de rechter stuurlijn getrokken wordt, dan zal de rechter kant van de vlieger meer in de wind komen te staan. De lucht zal door deze verandering van invalshoek moeilijker over de vlieger bewegen. Hierdoor zal er een kleinere onderdruk ontstaan aan de bovenkant waardoor de lift door Bernoulli wegvalt. Aan de linkerkant van de vlieger is dit echter niet het geval. De vlieger zal dus naar rechts gaan bewegen.

De vlieger kan nu tot bijna 90 graden ten opzichte van de wind gestuurd worden. In de praktijk gebeurt dit echter nooit zo ver omdat loodrecht op de wind te weinig kracht is om te varen. Dit is omdat het oppervlak wat luchtmoleculen afketst daar zo klein is. De plekken waar de vlieger allemaal naartoe gestuurd kan worden wordt het windraam genoemd. Het windraam staat loodrecht op de windrichting.

Dit is het statische windraam want op deze plekken kan de vlieger alleen komen als de bestuurder stilstaat. Als een surfer vaart dan zal het statische windraam veranderen. Dit komt doordat er geïnduceerde wind ontstaat bij een bepaalde vaarsnelheid. Zoals in de vorige paragraaf besproken is, zal er dus een schijnbare wind ontstaan. Hierbij ontstaat een schijnbaar windraam wat ook wel het dynamische windraam genoemd kan worden. Dit windraam staat loodrecht op de schijnbare windrichting en daarom zal de vlieger bij het varen op andere plekken komen dan wanneer de bestuurder stilstaat.

#### Invalshoek van wind ten opzichte van het kitescherm.

Een vlieger die via lijnen verbonden is met de kitesurfer zorgt zoals beschreven voor een aantal krachten:

- Een weerstandskracht ten gevolge van de tegen de kite aanbotsende luchtdeeltjes
- Bernoulli kracht ten gevolge van de onderdruk die boven de vleugel ontstaat.
- Een trekkracht op de vliegerlijnen.
- Een zwaartekracht ten gevolge van het gewicht van de vlieger.

Wanneer de vlieger met gelijke lijnlengte opgelaten wordt, zal deze tot rust komen downwind op 12 uur, net als de 1-lijnsvlieger. Hoeveel drag en lift de vlieger op dat moment produceert hangt af van

de windkracht, de grote van het scherm, de design/vorm van het scherm, gewicht van het scherm en de hoek die het scherm maakt ten opzichte van de invallende wind.

Neemt de hoek toe, dan botsen er meer luchtdeeltjes per tijdseenheid tegen het doek en zal de drag groter zijn. Afhankelijk van de hoek is de weerstand kracht ook anders gericht. Bij vergroten van de hoek die de vlieger maakt ten opzichte van de wind (angle of attack) zal ook de lift dus veranderen.

Het veranderen van de angle of attack kan de kitesurfer beïnvloeden door het sturen met de bar. Aan de bar zitten links en rechts de achterlijnen bevestigd. Trek je aan beiden even hard (bar naar je toe), dan neemt de hoek wat toe en dus de weerstand en tractie op de lijnen. Zo kan een kiter bijvoorbeeld windvlagen makkelijk opvangen door de invalshoek van het scherm te veranderen (te verkleinen). Uitdaging voor kitters is om de invalshoek altijd passend te houden bij de benodigde kracht en richting die nodig is om te varen (en daarbij de vlieger in de lucht te houden).

## 2.3 Wat voor trekkracht is er nodig om te varen?

### 2.3.1 Inleiding

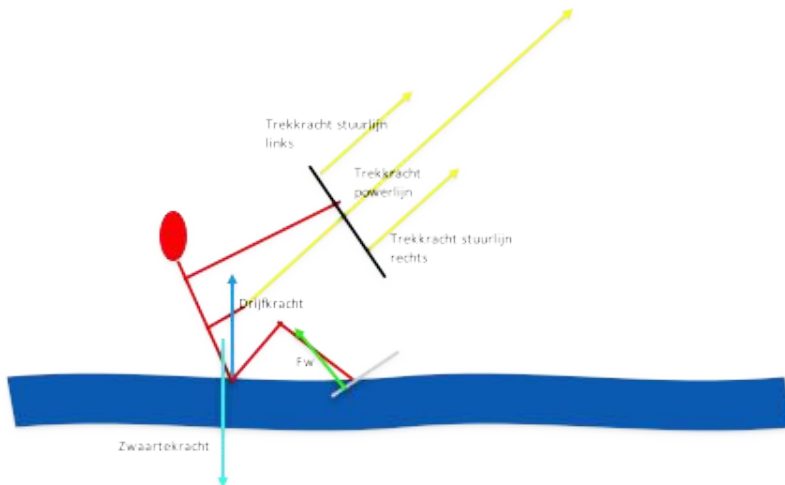
Het drijfvermogen van een twin-tip is maar zo'n 10 kg. De surfer weegt echter meer. Er zijn dus opwaartse krachten nodig om krachten naar beneden te compenseren. Deze krachten worden gegenereerd door de vlieger en door reactiekracht van de watermoleculen die ontstaat bij een bepaalde snelheid. Als de opwaartse en neerwaartse krachten gelijk zijn, dan kan er gevaren worden. Dit is ook de reden dat een surfer met een surfboard met een zachtere wind kan varen dan met een twin-tip want het drijfvermogen van een surfboard 40 kg en is dus vele malen groter.

### 2.3.2 De krachten op de kitesurfer

Net als op de vlieger, staan er ook krachten op de surfer. Wanneer de surfer in het water ligt, staan de volgende krachten op de surfer:

- Een zwaartekracht  $F_z$  van de surfer en het board samen naar beneden. Het aangrijpingspunt is het zwaartepunt. De zwaartekracht is te berekenen door middel van de volgende formule:  
$$F_z = m * g$$
  
Hierin is  $m$  de massa in kg en  $g$  de gravitatieversnelling in  $m/s^2$ .
- Een drijfkracht  $F_{drijf}$  loodrecht op het board van de surfer en omhooggericht. Dit omdat het board een bepaald drijfvermogen heeft.
- Nog een drijfkracht van de surfer omhooggericht. De zwaartekracht is groter dan de drijfkracht en trekkracht samen dus er moet nog een extra kracht omhoog staan die de zwaartekracht tegenwerkt.
- Een trekkracht  $F_{trek}$  op de surfer van de vlieger en deze staat gericht naar de vlieger toe. Deze is te meten door middel van krachtmeters.
- Een kleine weerstandskracht  $F_{hydro}$  die ontstaat doordat het water afgeketst wordt. Deze is echter heel klein omdat de snelheid voor aanvang van de start miniem is.

Deze krachten zijn allen in Newton (N) en zijn te zien in afbeelding 25.



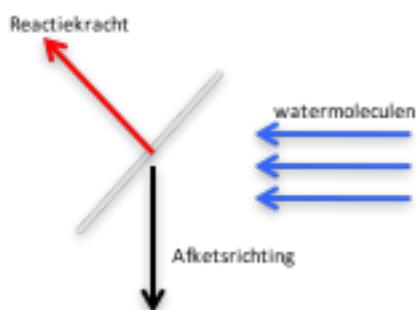
Afbeelding 25

### 2.3.3 Hydrodynamische krachten

Op een kitesurfboard staan tijdens het varen een aantal hydrodynamische krachten. Deze krachten worden verdeeld in de weerstand van het water langs het surfboard ( $F_{Hydro,s}$ ) en een weerstand van het water langs de vinnen ( $F_{Hydro,v}$ ). De werking van deze krachten zijn precies hetzelfde als de aerodynamische krachten.

Bij een waterstart staat het board altijd in een hoek met het water. Dit is nodig om een extra reactiekracht naar boven te genereren, zodat alle krachten naar beneden kunnen worden opgeheven. Wanneer de vlieger de surfer dan naar voren trekt zal het water tegen het board afketsen naar beneden. Hierbij ontstaat er dan een kracht loodrecht op het board omhooggericht. Hierdoor wordt de surfer dus bij een bepaalde kracht omhoog over het board getrokken. Daarom is het dus ook belangrijk dat het surfboard in een hoek staat met het water want anders zullen de watermoleculen nooit naar beneden afketsen.

Dit principe is te zien in afbeelding 26.



Afbeelding 26

Ook bij de vinnen werkt dit zo. Alleen doordat de vinnen loodrecht staan op het board zal de hydrodynamische kracht op de vinnen anders gericht zijn. Door het kleine oppervlak van de vinnen ten opzichte van het stromende water zal deze kracht bij de twin-tip, in vergelijking met het surfboard en hydrofoel, echter erg klein zijn en daarom kunnen in de praktijk de weerstandskrachten op de vinnen van de twin-tip verwaarloosd worden.

De grootte van de hydrodynamische kracht is moeilijk te bepalen. In een krachtenevenwicht kan deze bepaald worden wanneer alle andere krachten bekend zijn.

### **2.3.4 Waterstart**

Om te starten vanuit stilstand moet een waterstart gemaakt worden. Hierbij ligt de surfer stil in het water en wordt de vlieger diep het windraam ingestuurd om extra kracht te genereren. Zoals net gezegd heeft de surfer opwaartse krachten nodig om alle krachten naar beneden op te heffen. De krachten die bij het insturen dus omhoog werken zijn:

- De drijfkraft  $F_{\text{drijf}}$  loodrecht op het board van de surfer omhooggericht;
- De trekkracht  $F_{\text{trek}}$  van de vlieger gericht naar de vlieger;
- De reactiekracht  $F_{\text{hydro}}$  van het water loodrecht op het board van de surfer omhooggericht.

Deze krachten hebben te maken met het stabiliteitsevenwicht (het evenwicht in zijwaartse richting) Dit wordt uitgelegd in de volgende paragraaf.

### **2.3.5 Koersen varen**

Wanneer de surfer gaat varen komt er een extra kracht bij: De weerstandskracht  $F_w$  van het water. Het aangrijpingspunt van deze is de achterkant van het board dat op de waterspiegel ligt en is gericht tegen de vaarrichting in.

Om deze weerstandskracht nu te berekenen kan gebruik gemaakt worden van de volgende formule:

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho_w * v^2 * A * C$$

Met de volgende variabelen:

- $\rho_w$  de dichtheid van het water in  $\text{kg/m}^3$
- $v$  de snelheid van de kitesurfer in  $\text{m/s}$
- $A$  het wrijvingsoppervlak van het surfboard in  $\text{m}^2$
- $C$  de weerstandscoefficiënt van de plank zonder eenheid

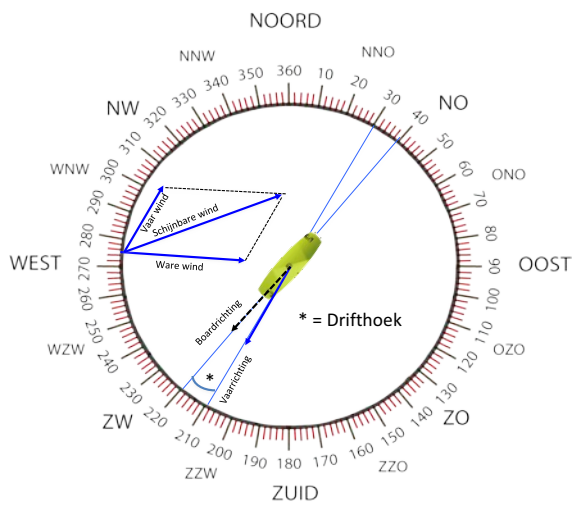
Hierbij geldt voor  $C$  de volgende formule:

$$C = 0.074 * (\rho_w * l * v / \eta)^{-0.2}$$

Hierin is  $l$  de lengte van het surfboard en  $\eta$  de dynamische viscositeit van water in  $\text{Pa}\cdot\text{s}$ . De dynamische viscositeit van water hangt af van de temperatuur van het water. Deze temperatuur bedraagt ongeveer  $10^\circ\text{C}$  en hierbij hoort een dynamische viscositeit van  $0.0013060 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Om de krachten nu goed in verhouding te kunnen tekenen moet de drifthoek bepaald worden. Wanneer een kitesurfer vaart zal hij proberen om alle trekkracht van de vlieger op te vangen zodat hij zo min mogelijk met de wind mee getrokken wordt. Toch zal hij deze krachten nooit allemaal kunnen opvangen en daarom zal de boardrichting niet gelijk zijn aan de vaarrichting. De hoek die hier tussen staat, staat bekend als de drifthoek. De drifthoek is te zien in afbeelding 27.

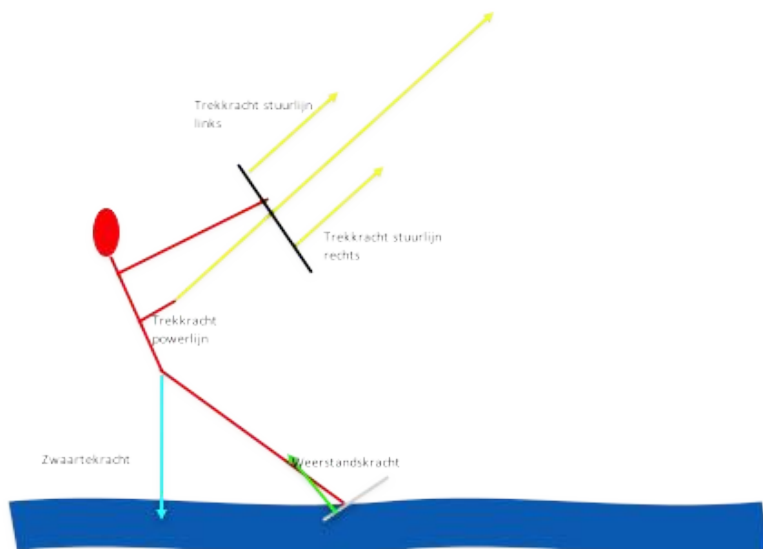
### Krachten in het horizontale vlak en overige meetgegevens



Afbeelding 27

Doordat het board niet in een erg grote hoek staat met het water, zal het water niet erg veel afgebogen worden. Echter door de hogere snelheden zal er per tijdseenheid veel water verplaatst worden en kan de weerstandskracht dus toenemen.

De krachten bij het varen van verschillende koersen kunnen nu in één figuur getekend worden. Dit is te zien in afbeelding 28. Omdat dit een zijaanzicht is, is de weerstandskracht tegen de vaarrichting in niet te zien.



Afbeelding 28

## 2.4 Hoe blijft de kitesurfer met deze krachten in balans?

### 2.4.1 Inleiding

In de twee vorige hoofdstukken zijn alle krachten besproken die nodig zijn om het evenwicht op te stellen. Er moet een snelheidsevenwicht gecreëerd worden: een evenwicht van alle krachten in voor- en achterwaartse richting en er moet een stabiliteitsevenwicht gecreëerd worden: een evenwicht van alle krachten en momenten in de zijwaartse richting. Het stabiliteitsevenwicht ontstaat omdat alle krachten niet op dezelfde plekken inwerken. Oftewel, de aangrijpingspunten zijn verschillend. Hierbij ontstaan momenten die draaien om een draaipunt. De momenten met de klok mee moeten de momenten tegen de klok in opheffen zodat er een stabiliteitsevenwicht ontstaat.

### 2.4.2 Momenten

Zoals hiervoor besproken werken er dus verschillende krachten in op de kitesurfer maar elk met een ander aangrijpingspunt. De zwaartekracht  $F_z$  werkt in vanuit het zwaartepunt, de trekkracht  $F_{\text{trek}}$  werkt in op het harnas en op de bar van de kitesurfer en de wrijvingskracht  $F_w$  werkt in op het centrum van het board dat onder water ligt.

Wanneer de snelheid 0 is of bij een constante snelheid zijn de krachten in evenwicht. Bij een versnelling zal er echter een resulterende kracht zijn in de richting van de versnelling. Deze kracht kan berekend worden met de formule:

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

Hierin is  $F_{\text{res}}$  de resulterende kracht in Newton(N),

$m$  de massa in kilogram (kg) en

$a$  de versnelling in  $\text{m/s}^2$

Bij de momenten is er een rotatie om een draaipunt. De krachten kunnen nu niet bij elkaar opgeteld worden omdat de krachten op verschillende afstand van het draaipunt zitten. Om de momenten dan te berekenen kan gebruikt gemaakt worden van de volgende formule:

$$M = F \cdot l$$

Hierin is:  $M$  is het moment in  $\text{N}\cdot\text{m}$

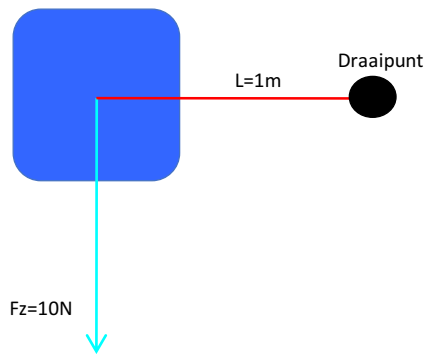
$F$  de kracht in Newton (N)

$l$  de lengte van de arm loodrecht op de kracht in meter (m).

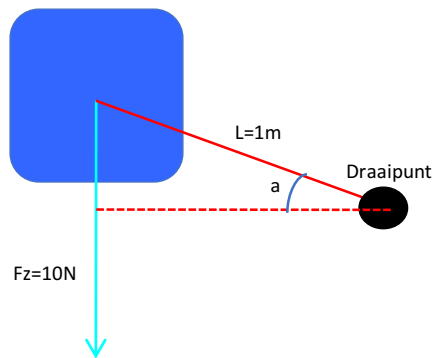
Het onduidelijke in de formule is de lengte. Deze moet namelijk loodrecht op vector van de kracht staan anders geldt de formule niet. Dit zal uitgelegd worden met twee voorbeelden.

In de eerste instantie in afbeelding 29 staat er een zwaartekracht naar beneden. Het aangrijpingspunt van de kracht staat precies op de hoogte van het draaipunt. Daarom kan het moment berekend worden door de lengte te vermenigvuldigen met de kracht. Oftewel het moment is  $10 \cdot 1 = 10 \text{ N}\cdot\text{m}$ .

In afbeelding 30 staat het aangrijpingspunt echter niet op de hoogte van het draaipunt. Om nu de kracht te berekenen moet de kracht vermenigvuldigd worden de lengte, en deze weer vermenigvuldigd worden met de cosinus van  $a$ . Dit geeft dan een moment van:  $10 \cdot 1 \cdot \cos(a) \text{ N}\cdot\text{m}$ .



Afbeelding 29



Afbeelding 30

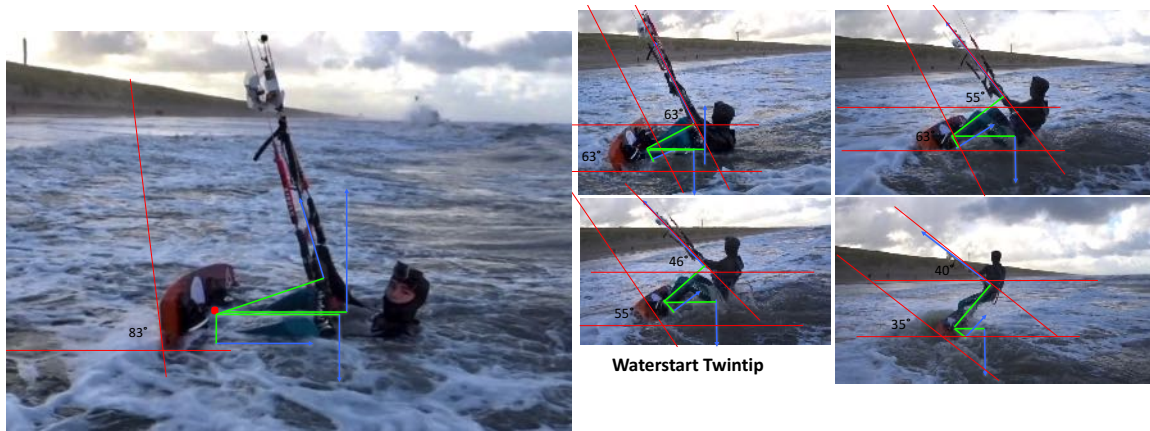
Bij het kitesurfen werkt het hetzelfde. Hier is het draaipunt een lijn van het board dat precies op de waterspiegel ligt (afbeelding 31). De weerstandskracht werkt in op het centrum van het deel van het board dat onder water ligt. De werk arm zal dus erg klein zijn en daarom wordt dit moment dus niet erg groot. De zwaartekracht en de trekkracht werken echter wel in op grotere afstand van het draaipunt. Daarom zullen deze krachten voor een groter moment zorgen.



Afbeelding 31

### 2.4.3 Waterstart

De krachten op de kitesurfer die bij een waterstart ontstaan zijn te zien in afbeelding 32 en 33. Hierbij zijn de krachtvectoren blauw, de werkarmen met groen en de hoeken met rood aangegeven.



Afbeelding 32: uitgangssituatie en afbeelding 33: de 4 fasen van de waterstart

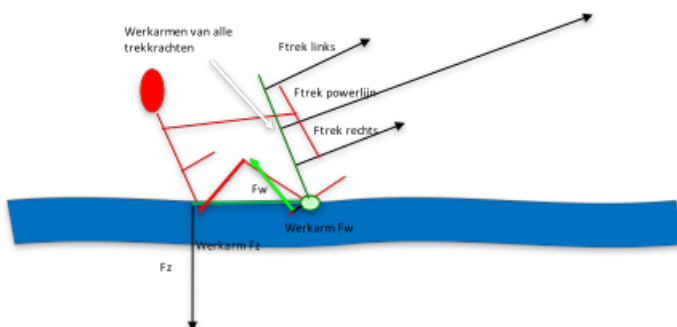
Zoals gezegd in het vorige hoofdstuk heeft de waterstart te maken met het stabiliteitsevenwicht in plaats van het snelheidsevenwicht. Ook geldt er dat het draaipunt een lijn op het board is dat op de waterspiegel ligt. Bij een waterstart ligt deze ongeveer op het midden van het board. Het oppervlak van het board onder water is dus aardig groot waardoor de hydrodynamische kracht ook groot wordt. Het aangrijpingspunt van de drijfkracht van het board hetzelfde als van de hydrodynamische kracht. Daarom worden deze krachten vaak samengenomen. Echter de drijfkracht op de in het water liggende kiter heeft een andere oorsprong.

Bij een waterstart moeten de momenten van de trekkrachten, het moment van de hydrodynamische kracht en het Moment van de drijfkracht bij elkaar groter zijn dan het moment van de zwaartekracht. Een waterstart is immers een versnelling dus de momenten zijn niet in evenwicht. Er geldt dus inderdaad dat:

$$\text{Moment van } F_{\text{trek tot}} + \text{Moment van } F_{\text{weerstand}} + \text{Moment van } F_{\text{drijf}} > \text{Moment van } F_z$$

$$F_{\text{trek tot}} = F_{\text{trek powerlijn}} + F_{\text{trek stuurlijn links}} + F_{\text{trek stuurlijn rechts}}$$

Om de momenten van deze krachten te bepalen moet voor elke kracht een werk arm getekend worden die loodrecht staat op de kracht die hierbij hoort. Deze werkarmen zijn weergegeven in afbeelding 34. De drijfkracht bij een twin-tip is ongeveer 100 N en bij een surfboard 400 N.



Afbeelding 34

## 2.4.4 Koersen

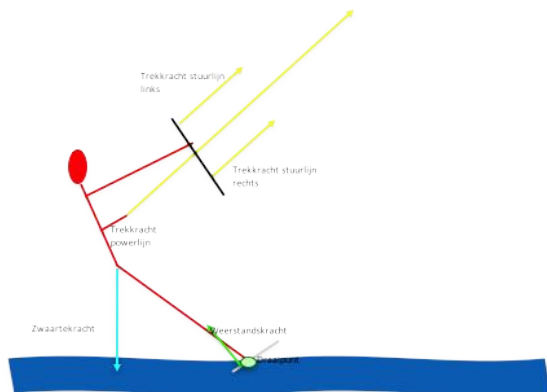
Na een waterstart zal er een bepaalde richting gekozen worden waar in gevaren wordt. Hier zal er een stabiliteitsevenwicht ontstaan omdat de kitesurfer niet of nauwelijks meer om het draaipunt beweegt.

Wanneer een kitesurfer nu met constante snelheid vaart zal hij zich niet al te veel om het draaipunt bewegen. De surfer staat stabiel en dit betekent dat de momenten dus in evenwicht moeten zijn met elkaar. Het moment van de trekkracht en de weerstandskracht moet het moment van de zwaartekracht dus opheffen.

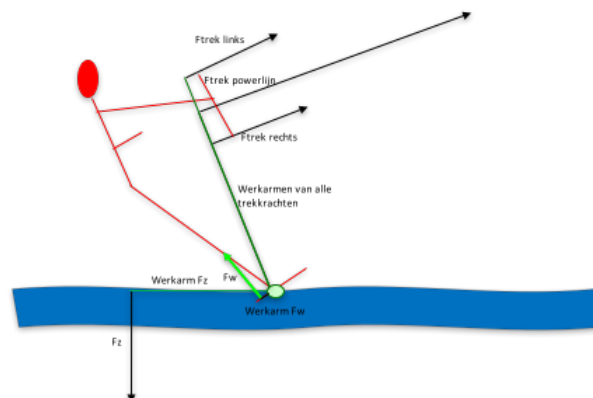
Het krachtenoverzicht van deze krachten is te zien in afbeelding 35. Hier is te zien dat vooral de trekkracht van de vlieger en de zwaartekracht voor een moment zorgen. De trekkrachten en weerstandskracht hebben momenten om het draaipunt met de klok mee en de zwaartekracht heeft een moment om het draaipunt tegen de klok in. Deze moeten dus inderdaad gelijk zijn. Er geldt hier:

$$\text{Moment van } F_{\text{trek tot}} + \text{Moment van } F_{\text{weerstand}} = \text{Moment van } F_z$$

Om de momenten van deze krachten te bepalen moet voor elke kracht een werk arm getekend worden die loodrecht staat op de kracht die hierbij hoort. Deze werkarmen zijn weergegeven in afbeelding 36.



Afbeelding 35



Afbeelding 36

Er is te zien dat de werkarmen van de trekkrachten evenwijdig lopen. Dit is zo omdat de trekkrachten elk naar de vlieger gericht staan en dus evenwijdig aan elkaar lopen.

Deze theorie kan nu in de praktijk toegepast worden bij verklaren van de waterstart en evenwichtsstabiliteit tijdens het koersvaren.

Om een waterstart te maken moet het moment van zwaartekracht opgeheven worden door het moment van de drie trekkrachten en het moment van de hydrodynamische kracht. Wanneer het moment van de zwaartekracht zo klein mogelijk gehouden kan worden, zal er dus ook een kleinere trekkracht nodig zijn om de kitesurfer uit het water te trekken.

Aan de formule is te zien dat het moment verkleint kan worden door of de werk arm te verkleinen of de kracht te verkleinen. De zwaartekracht kan hier natuurlijk niet verkleind worden dus zal de werk arm verkort moeten worden.

De zwaartekracht werkt in op het zwaartepunt van de kitesurfer. Wanneer dit zwaartepunt dichterbij het draaipunt gebracht kan worden, wordt het moment dus kleiner en zal de trekkracht om een waterstart te maken dus ook kleiner zijn. Dit kan gedaan worden door knieën gebogen te houden. Er geldt dus ook dat een langere werk arm behorende bij de zwaartekracht, dus een grotere trekkracht nodig heeft. De kitesurfer in afbeelding 37 zal dus ook een grotere trekkracht nodig hebben om zijn zwaartekracht te compenseren tijdens het varen van deze aan de windse koers.

Doordat de wind niet constant is zal de trekkracht nooit helemaal gelijk zijn. De momenten van de trekkrachten zullen dus ook steeds verschillen. Om het moment van de zwaartekracht toch op te heffen bij veranderingen in de wind (windvlagen) kan de bar aangetrokken of weggeduwd worden. De kitesurfer zal hier tijdens het varen de hele tijd mee te maken hebben. De uitdaging is dus om de momenten de hele tijd in evenwicht te houden zodat er een stabiliteitsevenwicht behouden kan worden.



Afbeelding 37

## **2.5 Hoe kan de kitesurfer in een andere richting varen dan hij getrokken wordt door de vlieger?**

### ***2.5.1 Inleiding***

Een kitesurfer gaat bij voldoende wind en een goede windrichting naar bijvoorbeeld de zee om te kitesurfen. De bedoeling is in de meeste gevallen (tenzij je een tocht maakt) wel dat er niet teruggelopen moet worden na een sessie. Om op dezelfde plek te blijven moet dus halve wind en soms ook zelfs tegen de wind in gevaren worden. De kitesurfer vaart nu dus in een andere richting dan waarin hij getrokken wordt door de vlieger. Hoe is dit dan eigenlijk mogelijk? Om dit goed uit te leggen wordt eerst uitgelegd over wat er precies gebeurt bij de waterstart en vervolgens wat er gebeurt bij het varen van een bepaalde koers. Ook wordt het hele krachtenspel in één krachtenplaatje verwerkt.

### ***2.5.2 Het krachtenspel***

#### ***Waterstart***

Zoals eerder uitgelegd heeft de waterstart met name te maken met de momenten. De momenten omhoog moeten gelijk zijn aan de momenten naar beneden zodat de kitesurfer boven zijn board kan komen te staan.

Bij een waterstart ligt het board van de surfer loodrecht op de wind. De vlieger wordt van twaalf uur ingestuurd naar links of rechts en de surfer wordt uit het water getrokken. Het moment dat de kitesurfer uit het water getrokken wordt, zal hij in de richting gaan van de trekkracht. Daarna zal hij zijn voorste voet strekken, zijn board kanten, en meer naar achter gaan hangen zodat er een weerstandskracht ontstaat. Deze weerstand ontstaat door de hydrodynamische kracht. Het water botst tegen het board en wordt afgeketst waardoor er een reactiekracht loodrecht op het board ontstaat. Wanneer het board niet loodrecht op de tractiekracht staat (door strekken voorste been), zal de richting van de reactiekracht leiden tot een vaarrichting anders dan de trekkrachtrichting. Hoe

meer het board gekant wordt, hoe groter de hoek tussen vaarrichting en trekkracht richting zal toenemen.

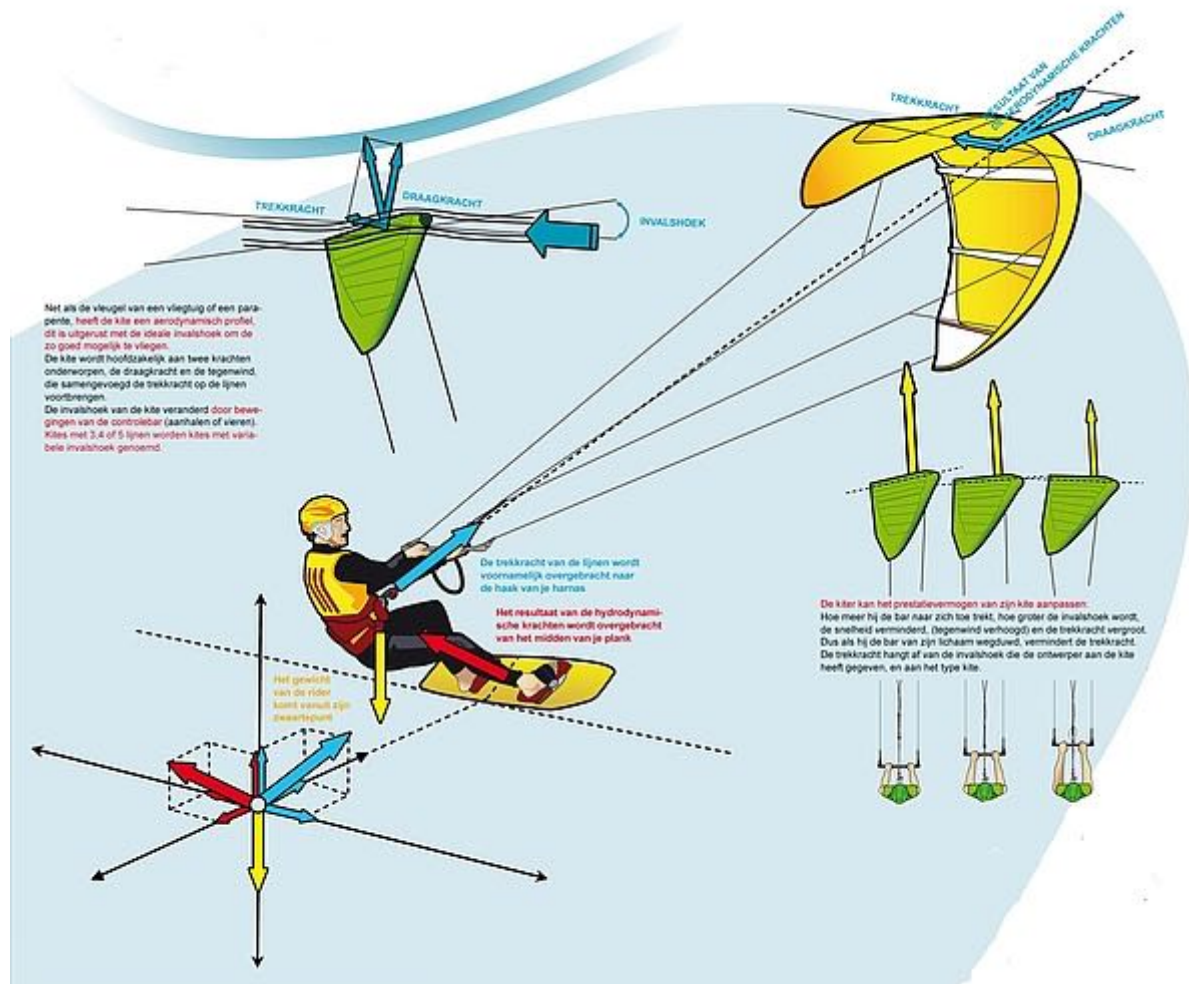
### Koers

Na waterstart ontstaat een bepaalde koers met constante snelheid waarbij alle krachten in evenwicht staan. De component van de trekkracht loodrecht op de vaarrichting moet dus helemaal worden opgeheven om in dezelfde koers te blijven varen als in het voorbeeld bij de waterstart.

Om tegen de wind in te varen zal de kitesurfer nog een grotere hoek maken met het board ten opzichte van het water. Dit komt omdat er bij koersen tegen de wind in, waarschijnlijk een erg grote trekkracht op de surfer staat en hierdoor de weerstandskracht ook erg groot moet zijn.

## 2.6 Het volledige krachtenplaatje

In voorgaande tekst, zijn alle krachten besproken die op de vlieger en de surfer staan. Voor de duidelijkheid wordt het hele krachtenspel nog één keer herhaalt in een krachtenplaatje. Dit is te zien in afbeelding 38.



Afbeelding 38

## 2.7 Springen

### 2.7.1 Hoe spring je?

Om een wat grotere kick te beleven tijdens het varen kan er ook gesprongen worden. Maar hoe werkt dit nou? Om te springen moet er eerst met een constante snelheid gevaren worden met de vlieger op tien uur. Dan wordt de vlieger naar twaalf uur (of zelfs verder) gestuurd, en direct daarna moet het board upwind ingestuurd worden (in tegengestelde richting als waar de vlieger naar toe stuurt) en afgezet worden en de bar dient aangetrokken worden. De voorwaartse snelheid wordt dan omgezet in hoogte. Voor het landen moet de vlieger net voor de landing weer ingestuurd worden naar tien uur zodat de landing zachter is. Om hoger te springen moet er harder gevaren worden met een grotere vlieger. Ook golven kunnen gebruikt worden als schans om nog hoger te komen. De hoogste sprongen staan nu ongeveer op bijna 30 meter.

### 2.7.2 De natuurkundige werking

Om te kunnen springen moet, zoals net gezegd, eerst snelheid gemaakt worden. Hierbij ontstaat er een snelheids- en stabiliteitsevenwicht (afbeelding 39)



Afbeelding 39



Afbeelding 40

Nu wordt de vlieger naar 12 uur gestuurd verplaatst de richting van de trekkracht tegen de vaarrichting in. Het evenwicht is weg (afbeelding 40)



Afbeelding 41



Afbeelding 42

Het board wordt nu scherp upwind gestuurd om de kracht op de lijnen te houden (afbeelding 41). Te zien is dat de hydrodynamische kracht die loodrecht op het board omhoog wijst nu sterk toeneemt en ook in de richting van de vlieger wijst. De achterste voet zet nu af voor de sprong om nog een

extra kracht omhoog mee te geven. Er is te zien dat er dus drie krachten omhoog staan die de zwaartekracht tegen werken: De trekkracht, hydrodynamische kracht en een bepaalde spierkracht. Deze krachten bij elkaar verticaal omhoog gericht zullen groter moeten zijn dan de zwaartekracht om te kunnen springen.

Na dit moment zal de kitesurfer door de lucht vliegen. In deze situatie vallen de hydrodynamische en spierkracht dus weg. De trekkracht is minder groot dan de zwaartekracht waardoor de kitesurfer vertraagt en uiteindelijk weer zal dalen. Deze vertraging is te berekenen met de eerder gegeven formule:

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

Omdat de vlieger de kitesurfer ook voorwaarts trekt zal er in een sprong ook een afstand horizontaal worden afgelegd. Er wordt nu als het ware een boog om de vlieger gemaakt (afbeelding 42).

Bij de landing moet de verticale snelheid minder worden zodat de kitesurfer zachter kan landen (afbeelding 43). Door de vlieger in te sturen zal de verticale snelheid afnemen en de horizontale snelheid toenemen. Daarom kan er bij de landing ook een loop gemaakt worden. Hierbij maakt de vlieger een salto die een grote kracht naar voren geeft. Dit zorgt voor een nog zachtere landing en wordt daarom ook veel gebruikt.



Afbeelding 43

Om nu dus te kunnen springen hoeft er geen grotere trekkracht te zijn dan de zwaartekracht. Dit komt doordat de hydrodynamische kracht en de spierkracht bij de afzet ook meetellen. De zwaartekracht zal hierna echter wel groter zijn. Dit heeft dus niet als gevolg dat de kitesurfer direct zal dalen want hij zal eerst afremmen.

## Hoofdstuk 3: deelvraag 2: Krachtbelasting

### Wat zijn de meest belastende momenten tijdens het varen?

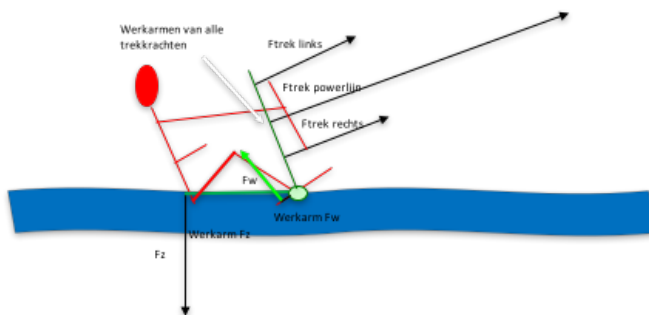
#### 3.1 Inleiding

Wanneer een kitesurfer een sessie begint zal er eerst een waterstart gemaakt moeten worden. Daarna kunnen er verschillende koersen gevaren worden: downwindse koersen (van de wind af), halvwindse (loodrecht op de windrichting) koersen en upwindse koersen (naar de wind toe). Tot slot kan er ook nog gesprongen worden. Deze verschillende momenten tijdens het varen hebben elk een bijbehorende krachtbelasting. Maar welke kracht zal het grootst zijn en dus het meest belasten? In deze deelvraag zullen eerst de verwachtingen beschreven worden. Vervolgens zullen resultaten van het experiment weergegeven worden. Tot slot zullen er conclusies getrokken worden of de verwachtingen overeenkomen met de resultaten.

#### 3.2 Verwachtingen

##### 3.2.1 Waterstart

Bij de waterstart ligt de kitesurfer in het water en beweegt door een kleine trekkracht langzaam naar voren. Om te gaan varen moet de surfer uit het water getrokken worden en dit heeft alleen te maken afbeelding 44.



Afbeelding 44

Ook is uitgelegd dat het Moment van de zwaartekracht gelijk moet zijn aan het Moment van de trekkrachten en het Moment van de weerstandskracht. Om de kracht nu ongeveer te berekenen moet de trekkracht berekend worden die zou moeten ontstaan wanneer de kitesurfer net uit het water getrokken is. De drijfkracht van de kitesurfer zelf is dan compleet weg en hierdoor zal de trekkracht het grootst moeten zijn.

De trekkracht die nu bij de waterstart hoort is moeilijk te bepalen. Wanneer het mogelijk was om de hydrodynamische kracht te meten, kon de trekkracht bepaald worden aan de hand van momenten. Het moment wat de zwaartekracht tegenwerkt moet namelijk groter zijn als de zwaartekracht zelf. De krachten die nu naar boven gericht staan zijn de hydrodynamische kracht, drijfkracht en trekkracht. Ook deze moeten verticaal omhoog even groot zijn als verticaal naar beneden. De kracht die er nu ontstaat kan dus niet bepaald worden maar wel geschat. Hierbij wordt de hydrodynamische kracht op 100 N geschat zodat de trekkracht berekend kan worden.

Deze berekening is te zien in **BIJLAGE 1**.

Er komt hier een trekkracht uit van 370 N

### 3.2.2 Koersen

Na de waterstart zal de kitesurfer in een bepaalde richting gaan varen. De kitesurfer kan verschillende koersen kiezen. Downwind, Halve wind of upwind. Bij upwind varen zal de kitesurfer tegen de wind in varen. Dit doet hij door zijn board te kanten zodat er een grotere weerstand ontstaat in de richting van de trekkracht van de vlieger. Daardoor zal er een grotere spanning op de vliegerlijnen ontstaan. De grotere spanning kan dus verklaard worden doordat het oppervlak van het board onder water groter is bij een upwindse koers dan een downwindse koers.

Daarom zal de upwindse koers een grotere trekkracht moeten hebben om deze weerstand op te vangen. Er wordt dus aangenomen dat de grootste trekkracht zal ontstaan bij een koers upwind. Hoe groot deze trekkracht is, kan ook weer bepaald worden met de Momenten die werken op de kitesurfer. Bij koersen vaart de kitesurfer met constante snelheid en is er een stabiliteitsevenwicht. Dit betekent dat:

$$\text{Moment van } F_{\text{trek tot}} + \text{Moment van } F_w + \text{Moment } F_d = \text{Moment van } F_z$$

Doordat ook hier de hydrodynamische kracht niet bekend is zal er weer een kracht geschat worden. De hydrodynamische kracht bij een koers upwind zal door de vaarsnelheid een stuk groter zijn dan bij de waterstart. De hoek die het board maakt met het water is erg groot en hierdoor worden er veel watermoleculen afgeketst. De hydrodynamische kracht zal nu dus geschat worden op 300 N.

De berekening van de trekkracht die ontstaat bij een koers upwind is te zien in **BIJLAGE 2**.

De trekkracht bij een koers upwind zou nu dan dus 403,6 N bedragen.

### 3.2.3 Sprongen

Door bij een bepaalde koers de vlieger naar 12 uur te sturen en het board de wind in te gooien kan de voorwaartse snelheid van de kitesurfer worden omgezet in hoogte: de kitesurfer springt. Om zo hoog mogelijk te springen moet er zo hard mogelijk gevaren worden zodat er een hele grote voorwaartse snelheid volledig omgezet kan worden in snelheid omhoog. De trekkracht zal op het moment vlak voor de sprong dus erg groot zijn omdat door het snel upwind sturen van het board in tegengestelde richting als de  $F_{\text{trek}}$  (de vlieger wordt immers al weer teruggestuurd) een groot deel van de voorwaartse snelheid in een hele korte tijd zal verdwijnen. Deze trekkracht is echter niet te berekenen aan de hand van het stabiliteitsevenwicht. Daarom kan deze kracht alleen geschat worden. Verwacht wordt dat de trekkracht bij een sprong een stuk groter wordt dan bij koersen upwind en bij de waterstart. Dit komt omdat de snelheid in een hele korte tijd wordt omgezet naar een voorwaartse snelheid van 0. Hierbij zou de spanning op de lijnen erg groot kunnen worden. Verder wordt de bar hier ook helemaal aangetrokken. Dit zorgt ervoor dat er meer luchtmoleculen op de vlieger botsen en hierdoor zou er dus een grotere  $T_{\text{trek totaal}}$  moeten ontstaan. Hoe groot deze kracht werkelijk is, is moeilijk te zeggen.

### 3.2.4 Conclusie

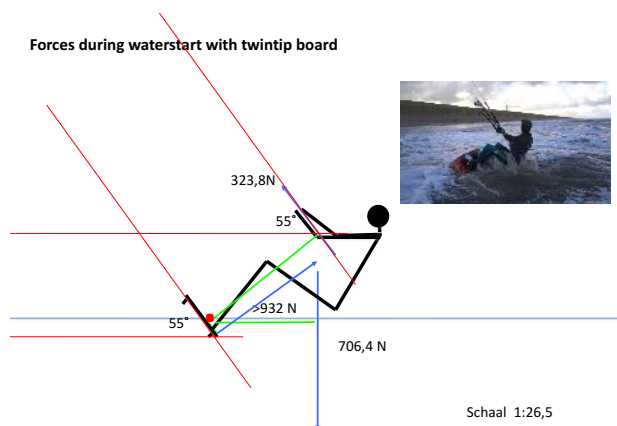
De trekkracht net voor een sprong zou dus het grootst moeten worden. Verder zal de kracht van een waterstart daarna het grootst zijn en de tot slot de kracht bij upwindse koersen. Daaronder zitten natuurlijk nog downwindse koersen waarbij waarschijnlijk een hele kleine trekkracht ontstaat.

### 3.3 Resultaten

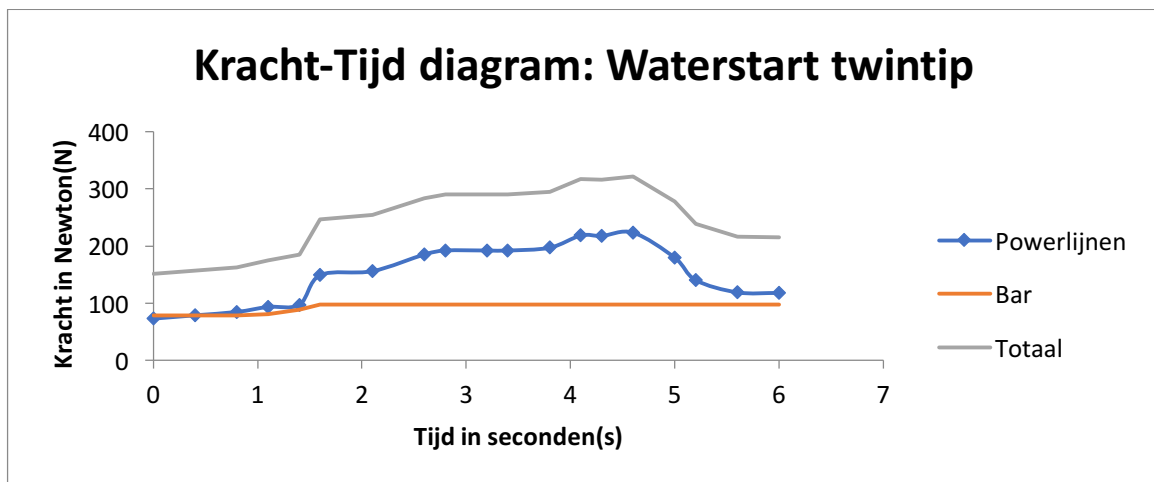
Om te kijken of de verwachtingen ook inderdaad kloppen zijn verschillende metingen gedaan op het water met twin-tip board en surfboard bij een waterstart, twee koersen en bij sprongen zijn krachtmetingen gedaan. In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de metingen uitgewerkt worden in grafieken en zullen de andere krachten op het board en de kitesurfer ontbonden worden.

#### 3.3.1 Waterstart

Bij de waterstart zijn verschillende krachtmetingen gedaan zodat de gemiddelde kracht zo goed mogelijk bepaald kon worden. De richting van de weerstandskracht en de drijfkracht van het board samen is te zien in afbeelding 45. De krachten die gemeten zijn bij de waterstart zijn uitgezet kracht-tijd diagram en deze is te zien in afbeelding 46. Er is goed te zien dat de krachten langzaam oplopen en daarna weer afnemen.



Afbeelding 45



Afbeelding 46

Wanneer de surfer in het water ligt heerst er een evenwicht waarbij het drijfvermogen van de kitesurfer zelf ook meetelt. Bij een waterstart loopt de trekkracht dan op totdat de kitesurfer helemaal uit het water getrokken is. De trekkracht is op dat moment het grootst omdat de drijfkracht van de kitesurfer helemaal verdwenen is. Naarmate de snelheid toeneemt zal de trekkracht afnemen

omdat de hydrodynamische kracht groter wordt. Er worden immers meer waterdeeltjes afgeketst bij een hogere snelheid. De krachten komen door de constante snelheid in evenwicht en de kitesurfer vaart weg.

De totale kracht waar de kitesurfer nu aan blootgesteld wordt bij een waterstart bedraagt 323,8N. Hierbij zijn de barkrachten 100 N en de kracht op de powerlijnen dus 223,8 N. Deze krachten, met de drijfkracht en hydrodynamische kracht vormen samen de krachten die de zwaartekracht tegenwerken.

Met deze gegevens kan nu de hydrodynamische kracht ongeveer bepaald worden (**BIJLAGE 3**). Er komen hier echter wel grote meetonzekerheden bij kijken. Dit komt omdat de werk arm van de hydrodynamische kracht en drijfkracht moeilijk te bepalen is. Een enkele centimeter verkeerd kan al voor een verschil in kracht zorgen van 100 N.

Om deze kracht te controleren kan er nog gekeken worden of de krachten verticaal omhoog even groot of groter zijn als de zwaartekracht. De krachten recht omhoog zijn de componenten van de weerstandskracht, drijfkracht en trekkracht. De componenten zijn bepaald met behulp van de hoek van het board en de lijnen. Deze berekeningen zijn ook te vinden in **BIJLAGE 3**.

Bij deze meting komt de kitesurfer bij een tijd van ongeveer 3,2 seconden uit het water. De barkrachten lopen op van een kracht van ongeveer 80 N naar 100 N. Daarna blijft de kracht gelijk omdat er na een waterstart eerst een stukje met de wind mee gevaren wordt. Daarna kan een koers upwind aangehouden worden en kunnen de barkrachten wel groter worden.



Afbeelding 47: afgelezen kracht op de powerlijnen direct nadat de kiter uit het water getrokken is

### **3.3.2 Koersen**

#### *Koers upwind*

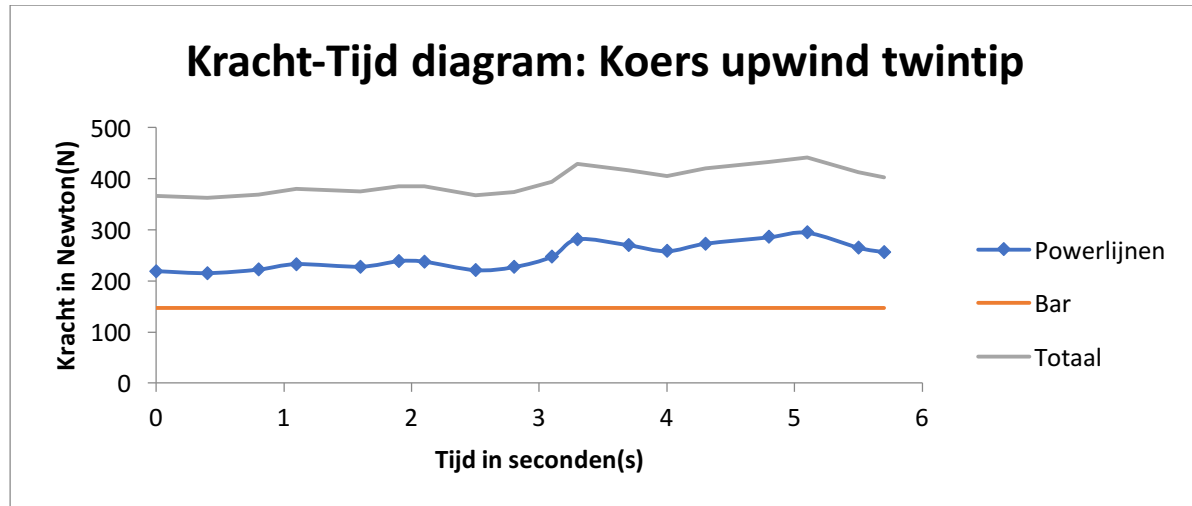
Ook de trekkrachten van de koers upwind zijn uitgezet in een grafiek. Er is duidelijk te zien dat de trekkracht erg verschilt. Dit komt doordat de kitesurfer bij windvlagen erg naar voren drift. De drifthoek bij een koers upwind is dus groot maar zoals net gezegd drift het board niet constant naar voren.

Wanneer er bij een harde vlaag naar voren gedrift wordt, zal de trekkracht echter niet groter worden. De kracht van de vlieger wordt namelijk meer omgezet in snelheid achter de vlieger aan.

Hierdoor neemt de spanning ten opzichte van de vlieger af waardoor de trekkracht dus afneemt. Deze onregelmatigheid van krachten zijn goed zichtbaar in afbeelding 48.

Uit de grafiek komt een maximale kracht van 441,5 N

Deze kracht komt inderdaad goed overeen met de verwachte krachten.



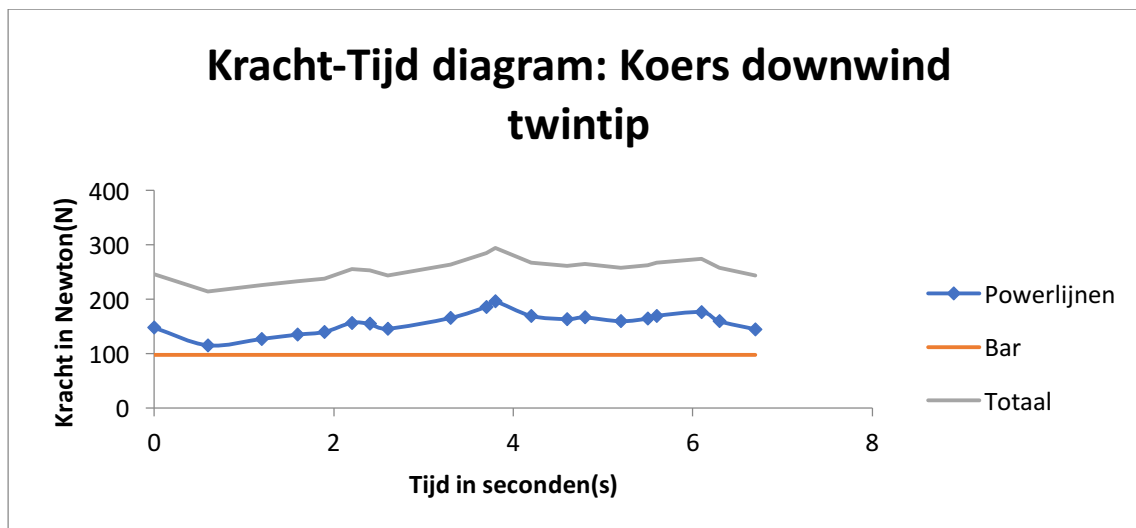
Afbeelding 48

De uitwerkingen van de koers upwind met Twin-tip zijn te zien in **BIJLAGE 7**.

#### *Koers downwind*

De trekkrachten van de koers downwind zijn, op grond van de metingen (Afbeelding 49), een stuk kleiner. Dit komt, zoals hiervoor gezegd, doordat de trekkracht voor een groot deel wordt omgezet in snelheid. Het board hoeft namelijk nauwelijks gekant te worden om koers te houden. Bij een koers downwind zal de hydrodynamische kracht ook een stuk kleiner zijn. De hoek van het board met het water is erg klein dus er worden weinig waterdeeltjes afgeketst. Er wordt door deze kleine hoek weinig druk gecreëerd.

Verder staat de kitesurfer bij een koers downwind bijna boven zijn board. Dit zorgt ervoor dat de werk arm van de zwaartekracht erg klein wordt. De krachten die dit op moeten heffen zullen dus ook niet groot worden door het kleine moment van de zwaartekracht.



Afbeelding 49

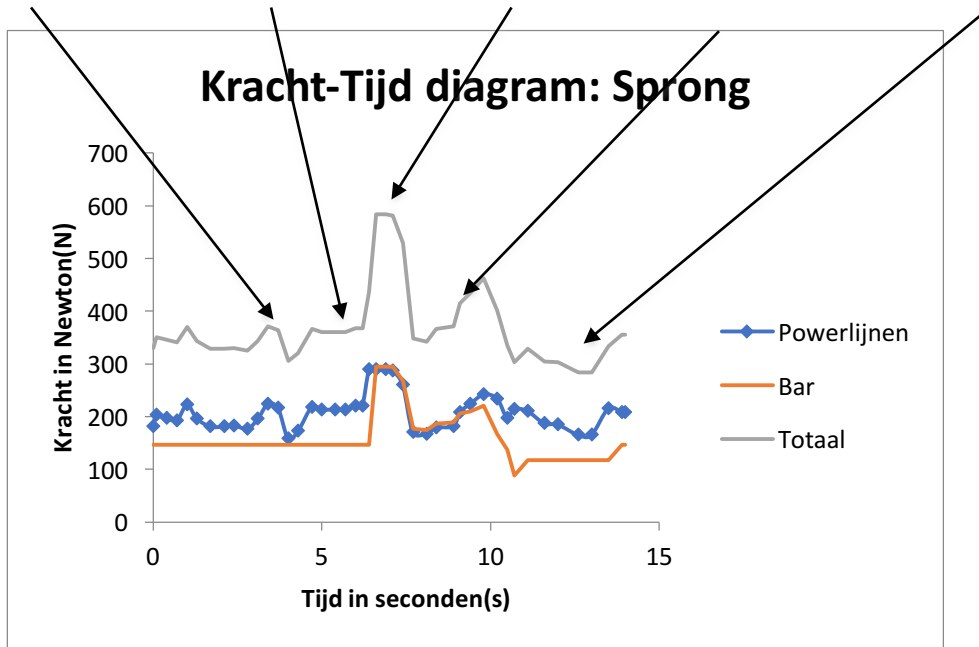
De maximale kracht die hier nu dus ontstaat bedraagt 294,4N

De uitwerkingen van deze koers zijn te vinden in **BIJLAGE 5**.

### 3.3.3 Sprongen

Bij sprongen worden de krachten inderdaad erg groot. Dit is te zien in afbeelding 50. Er is te zien dat er eerst niet een hele grote trekkracht is. De kitesurfer vaart downwind om snelheid te maken en de trekkrachten die hierbij horen zijn niet erg groot. De snelheid die hierbij hoort bedraagt ongeveer 40 km/uur. Deze snelheid door het insturen van het board in tegengestelde richting als de trekkracht van de vlieger is in een zeer korte tijd sterk afgenomen waardoor de trekkracht in de lijnen plots erg groot wordt. Dit wordt op dat moment nog versterkt doordat de kiter de bar volledig aantrekt.

De zwaartekracht en drijfkracht blijven gelijk terwijl de trekkracht en hydrodynamische kracht erg groot worden. Er ontstaat dus een resulterende kracht omhoog. Wanneer de kitesurfer in de lucht hangt is er geen drijfkracht en hydrodynamische kracht meer. De zwaartekracht overheerst waardoor de kitesurfer afremt in snelheid omhoog. Dit gebeurt totdat de kitesurfer weer is neergekomen. Vlak voor de landing wordt de vlieger echter ingestuurd om zachter te landen. Daarom neemt de kracht hier weer even toe. Bij de grafiek staan afbeeldingen die bij de bepaalde tijden horen in de grafiek.



Afbeelding 50

De grotere kracht die hier ontstaat komt met name door de grotere barkrachten. Deze zijn namelijk twee keer zo groot dan bij een koers upwind.

De uitwerkingen van het springen zijn te vinden in **BIJLAGE 9**.

### 3.4 Conclusie

De trekkracht die ontstaat vlak voor een sprongen en net in de lucht zijn dus het grootst en bedragen tot wel 600 N. Dit komt doordat vooral de barkrachten erg groot worden bij een sprong omdat de bar hier volledig wordt aangetrokken. Verder wordt de trekkracht bij een koers upwind tot wel 400 N. Dit komt doordat er in een heel andere richting gevaren wordt als dat de trekkracht staat. De weerstandskracht moet deze trekkracht, ontbonden in de richting van de wind, volledig opvangen en daarom is deze kracht dus ook groot. Bij een koers downwind worden de krachten maximaal 300 N. Hier wordt de trekkracht volledig omgezet in snelheid achter de vlieger aan. Omdat de trekkracht kleiner is dan bij upwindse koersen zal het moment van de zwaartekracht om balans te houden dus ook kleiner zijn. De kitesurfer zal dus minder hoeven te hangen en staat rechter boven zijn board. Tot slot worden ook de krachten bij de waterstart niet veel groter dan 300 N. Dit komt doordat de kitesurfer zich erg klein maakt zodat de werk armen van de krachten klein zijn. Een kleinere werk arm heeft ook een kleinere kracht nodig en daarom wordt de trekkracht ook hier niet erg groot. Wat erg opvalt is dat de krachten bij de sprong niet groter zijn geworden dan de zwaartekracht. Dit komt doordat er bij plotseling insturen van het board in upwindse richting en het aantrekken van de bar plots een resultante kracht omhooggericht staat.

## Hoofdstuk 4: deelvraag 3: Krachtverhoudingen

Hoe verhoudt zich de krachtbelasting op de kitesurfer tussen de disciplines twin-tip/ surfboard/ hydrofoil varen bij gelijke weersomstandigheden?

Hoe verhoudt zich de krachtenbelasting op de kitesurfer tussen verschillende type boards? Elk soort board kent andere eigenschappen, deze diversiteit beïnvloedt de hoeveelheid krachten die nodig zijn tijdens de sport. Hoe deze verschillen zich tot elkaar verhouden wordt in deze deelvraag onderzocht.

### 4.1 Verschillende boards

*De eigenschappen van verschillende soorten boards resulteren in andere krachtverhoudingen. Hieronder zijn de belangrijkste kenmerken van de gebruikte boards gegeven.*

#### 4.1.1 Twin-tip

De moderne twin-tip is gemaakt van een houten kern. Het board heeft een drijfvermogen van ongeveer 10 kg en is enigszins hol om het water onder het board door te geleiden. Bij de hoeken van het board zijn vinnen geplaatst om te zorgen dat het board grip blijft houden op het water. Het board heeft afmetingen van tussen de 110 en 140 cm lang en tussen de 36 en 42 cm breed.

#### 4.1.2 Surfboard

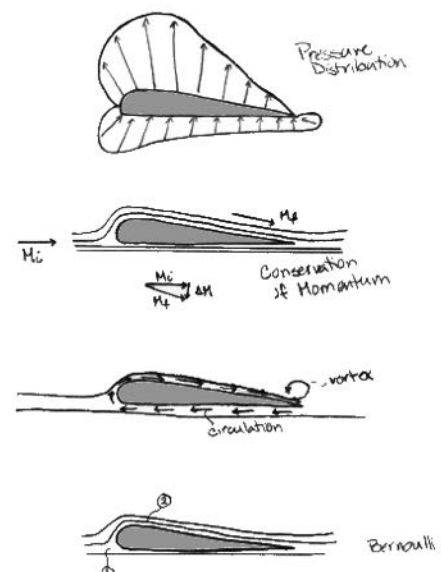
Het surfboard is gemaakt van foam wat zorgt voor een relatief licht board. Het board heeft een drijfvermogen van ongeveer 60 kg en het oppervlak is vaak groter dan die van een twin-tip, het board is namelijk tussen de 150 en 180 cm lang en ongeveer even breed. De vorm van het board is hydrodynamischer ingesteld wat zorgt voor een vloeiendere manier van varen in vergelijking met de twin-tip.

#### 4.1.3 Hydrofoil

De werking van een hydrofoil heeft een extra dimensie ten opzichte van een 'normale' twin-tip. Het gaat hier namelijk vooral om de opwaartse kracht die het board genereert. Doordat het board dan omhoog gaat ondervindt deze geen weerstand met het water.

#### Constateringen

Bij een lage snelheid ligt het board op het water en is de hydrofoil helemaal onder water. Op het moment dat het systeem snelheid genereert, creëert de hydrofoil 'lift', oftewel opwaartse kracht (afbeelding 51). Als deze snelheid dusdanig toeneemt, produceert de lift genoeg kracht dat het systeem omhoog gaat. In tegenstelling tot een normaal board, die meer weerstand ervaart op het moment dat er meer kracht op het board staat, ervaart de hydrofoil juist minder. Dit komt omdat het board alleen nog maar weerstand met het water ondervindt op de rand van de mast en bij de vleugels onder water.

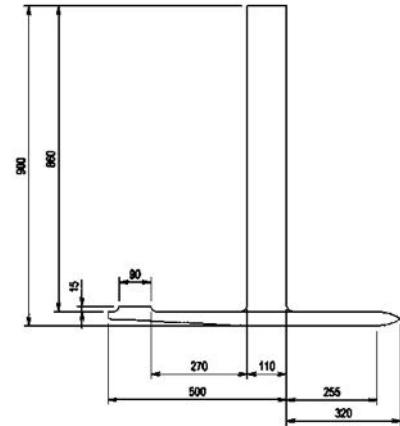


Afbeelding 51

## Verklarende theorieën

Door de vorm van de onderwatervleugels (afbeelding 52) vindt er een natuurkundig fenomeen plaats. Zodra de snelheid van het systeem toeneemt zal er water rond deze vleugels gaan lopen. Doordat het water boven de vleugel meer afstand moet afleggen dan onder de vleugel, ontstaat er onderdruk boven de vleugel. Dit zorgt ervoor dat het systeem omhoog wordt gedrukt: lift. De kracht van dit fenomeen neemt toe op het moment dat de snelheid toeneemt, omdat de onderdruk dan groter wordt.

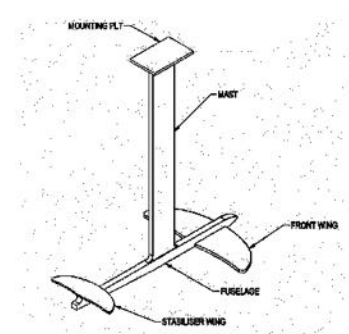
Deze kracht wordt versterkt door nog een natuurkundig proces dat plaatsvindt. Het water dat namelijk over de vleugel is gegaan wordt door de zuigkracht die het systeem ontwikkeld weer teruggetrokken. Dit zorgt voor een groter verschil in snelheid onder en boven de vleugel, dus meer druk, en dus meer lift.



## Productie van een hydrofoil

**Doordat de prijs van een hydrofoil heel hoog ligt, is geprobeerd zelf een hydrofoil board te maken. Om een idee van aanpak te krijgen, heeft een interview met Stephan van den Berg plaatsgevonden. In dit interview is uitgelegd hoe de productie het best kan worden aangepakt.**

Stephan van den Berg is een voormalig Nederlands windsurfer. Nadat hij vier jaar achter elkaar wereldkampioen werd, won Van den Berg goud op de olympische spelen in 1984. De afgelopen 25 jaar runt hij samen met zijn broers een watersportzaak in Hoorn.



Afbeelding 52

## Het ontwerp

### Het board

Omdat het board voornamelijk boven het water zweeft, is de grootte niet zo belangrijk. Wat er echter wel toe doet, wat betreft het board, is het drijfvermogen van de plank en de stijfheid. Het board mag namelijk niet buigen omdat dit leidt tot instabiliteit van de kiter.

Na dit advies is gekozen een board te maken van triplex in de vorm geïnspireerd op een twin-tip.

### De mast

De mast moet het sterkst zijn, aangezien niet de krachten van het water de meeste impact hebben, maar het raken van de grond tijdens het varen. Daarbij moet de mast sterk zijn omdat deze niet mag buigen bij het sturen van het board, ook dit zorgt voor instabiliteit en daarbij gebrek aan controle. De ideale lengte van de mast is 60 centimeter.

Om de kosten laag te houden is geprobeerd de mast te maken van 3d geprint materiaal.

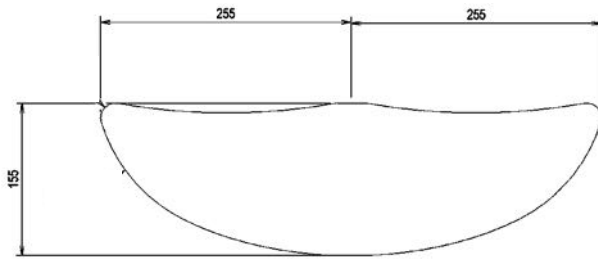


Afbeelding 53: doorsnede van de mast

### De vleugels en fuselage

De vleugels (afbeelding 54) en fuselage (afbeelding 55) staan onder de minste kracht, maar zijn evenmin belangrijk voor het ontwerp. Vooral de vleugels spelen in op natuurkundige processen die ervoor zorgen dat het kiteboard opwaartse kracht ervaart. Hierdoor bepalen deze onderdelen of het ontwerp uiteindelijk

werkt. Het materiaal van de vleugels en fuselage kan vrijwel alles zijn wat zijn vorm behoudt onder druk.



Afbeelding 54: vleugelontwerp

Afbeelding 55: fuselage ontwerp

### De uitvoering

Nadat er een schets was gemaakt van de mast en fuselage is deze geconverteerd naar een .stl bestand, het meest conventionele bestand van 3D-renders (afbeelding 56, 57, 58). Deze is verstuurd naar de FDM 3D-printer in Hoofddorp van een bedrijfje genaamd Creera. Een FDM printer is de meest gebruikte type printer die plastic laagje voor laagje op elkaar stapelt. Hier bleek dat, door de dunne stukken van de mast, de render beter kon worden geprint door een SSL printer, een speciale printer waarbij er extra ondersteuning wordt gebruikt. Omdat de prijzen daardoor snel oplopen naar boven de €500,00 is geprobeerd een 1:8 model te maken met de FDM printer in Hoofddorp. De resultaten hiervan kunnen worden gebruikt in een vervolgonderzoek gericht op de productie van een kiteboard.



Afbeeldingen 56, 57, 58

## 4.2 Verwachting

De verschillen tussen de boards zijn te wijten aan drie verschillende dingen. Ten eerste is het drijfvermogen verschillend. Een twin-tip heeft een drijfvermogen van zo'n 10 kg terwijl een surfboard een drijfvermogen heeft van zo'n 40/50 kg. Bij een hydrofoil verschilt dit sterk omdat op een hydrofoil vin alle boards passen. Er zijn hydrofoils met een soort twin-tip

board erop (afbeelding 59) maar er zijn ook hydrofoils met een groot surfboard erop (Afbeelding 60).



Afbeelding 59



Afbeelding 60

Hier wordt uitgegaan van een hydrofoil met een surfboard erop. Ten tweede varen de boards verschillend. Een twin-tip vaart grotendeels in het water en bij snelle down windse koersen kan deze gaan planeren. Een surfboard vaart op het water door het grote drijfvermogen. Een hydrofoil vaart zelfs boven het water door het net uitgelegde bernoulli effect wat optreedt. Ten derde zorgen de vinnen van het surfboard en van met name de hydrofoil voor een grotere hydrodynamische kracht en dit heeft ook invloed op de kracht.

De verwachtingen op het verschil in krachten kan nu beredeneerd worden aan de hand van deze verschillen tussen de boards.

#### **4.2.1 Waterstart**

Bij de waterstart heeft de manier van varen niet te maken met de grootte van de kracht. Wel speelt het drijfvermogen en de grootte van de hydrodynamische kracht een grote rol. Bij een grotere drijfkracht en hydrodynamische kracht is er een kleinere trekkracht nodig om de zwaartekracht tegen te gaan zodat het Moment wat de kitesurfer omhoogtrekt groter is dan het Moment wat de kitesurfer naar beneden trekt. Ook is de werk arm van de hydrodynamische kracht groter doordat de vinnen groter zijn. Ook dit zorgt voor een groter Moment wat de kitesurfer omhoogtrekt en daarom is er een kleinere trekkracht nodig van de kitesurfer.

De trekkracht kan vooraf echter niet precies bepaald worden. Wel wordt verwacht dat de kitesurfer op een twin-tip de grootste trekkracht nodig heeft om uit het water te komen. Daarna volgt eerst het surfboard en ten slotte de hydrofoil. Ze hebben beide wel ongeveer dezelfde drijfkracht maar de hydrofoil heeft door het grotere oppervlak onderwater een grotere hydrodynamische kracht met grotere werk arm waardoor er maar een kleinere trekkracht nodig is om het Moment van de zwaartekracht tegen te gaan.

#### **4.2.2 Koersen**

Bij de verschillende koersen heeft ook de manier van varen invloed op het verschil in kracht. Het surfboard en de hydrofoil varen beide op of boven het water. Hierdoor is de weerstandskracht tegen de vaarrichting in bij deze boards kleiner. Zeker de hydrofoil heeft een veel kleinere weerstandskracht doordat het oppervlak onderwater erg klein is. De mast

en de vinnen bij de hydrofoil hebben een perfecte hydrodynamische vorm. Dit is te zien aan de volgende formule:

$$F_w = \frac{1}{2} * p_w * v^2 * A * C$$

Hierbij is de oppervlakte onder water (A) dus kleiner bij het surfboard en de hydrofoil en dit zorgt inderdaad voor een kleinere wrijvingskracht.

Hierbij is er dus een grotere kracht bij de twin-tip dan bij de andere boards. De hydrofoil zou ook hier wederom een kleinere kracht nodig moeten hebben.

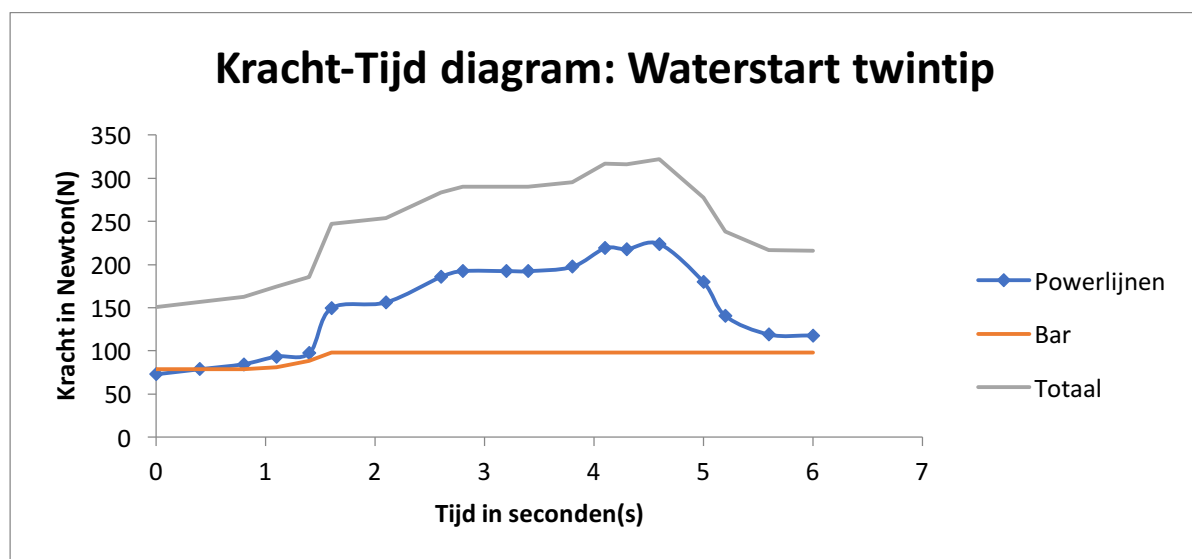
Zeker bij een koers downwind zou dit erg goed te zien moeten zijn.

### 4.3 Resultaten

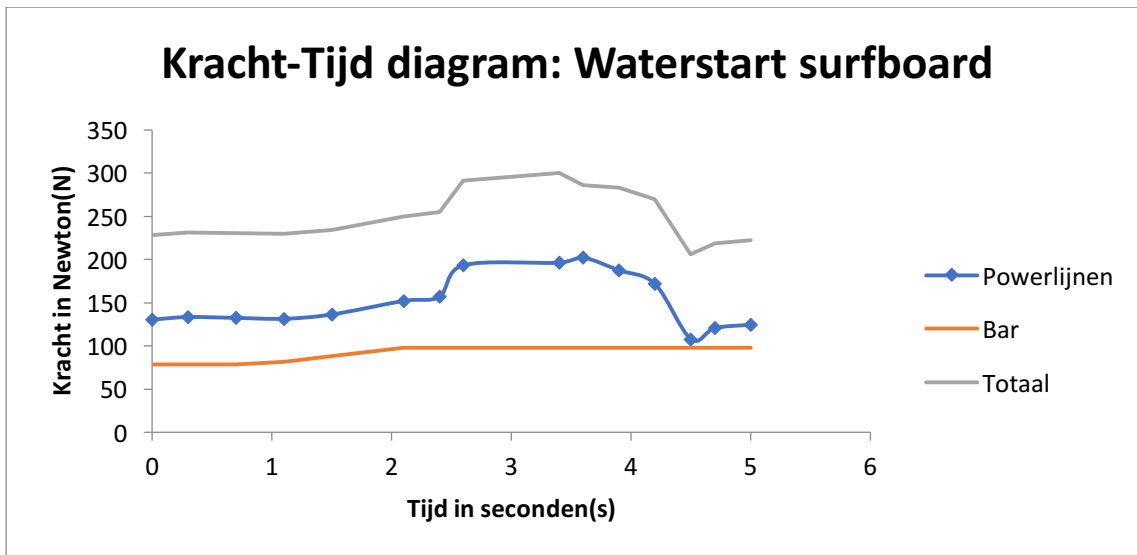
Ook hier zijn, om te kijken of de hypothesen inderdaad klopten, metingen gedaan. Hierbij zijn grafieken gemaakt die vergeleken kunnen worden met elkaar. Doordat er geen hydrofoil gebruikt kon worden zal hier alleen de twin-tip met het surfboard vergeleken worden. De verwachting voor de krachten die een kitesurfer ondervindt wanneer hij op een hydrofoil vaart zijn te lezen in de vorige paragraaf.

#### 4.3.1 Waterstart

De grafieken die horen bij de waterstart zijn te zien in afbeelding 61 en 62. De uitwerkingen van de waterstarts zijn te zien in **BIJLAGEN 3 en 4**.



Afbeelding 61



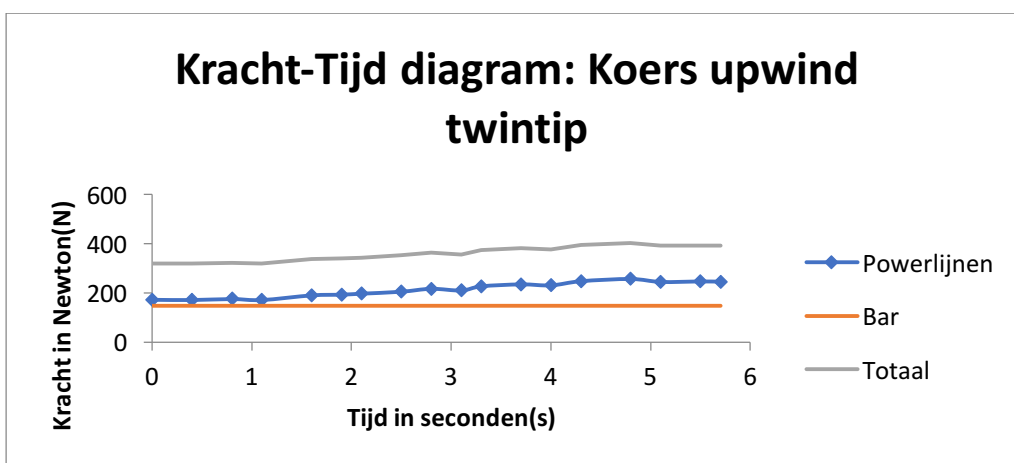
Afbeelding 62

Hierbij komt de kitesurfer los van het water bij een tijd van ongeveer 3,4 seconden. Te zien is dat de maximale kracht bij de waterstart van de twin-tip inderdaad groter is dan die van het surfboard. De kracht loopt bij de twin-tip hierna echter wel op tot hoger dan de kracht bij het surfboard. Dit komt doordat de kracht bij een waterstart bij het surfboard sneller wordt omgezet in snelheid. Een twin-tip wordt loodrecht tegen de wind in gehouden en er wordt pas snelheid gemaakt wanneer het voorste been gestrekt wordt. Bij het surfboard is er echter maar 1 kant waar naartoe gevaren kan worden. Daarom zal het surfboard, zonder dat de kitesurfer zijn voorste voet strekt, gelijk in de richting gaan varen bij de waterstart. Er wordt dus ook meer hoogte verloren (downwind gevaren) bij een waterstart met een surfboard.

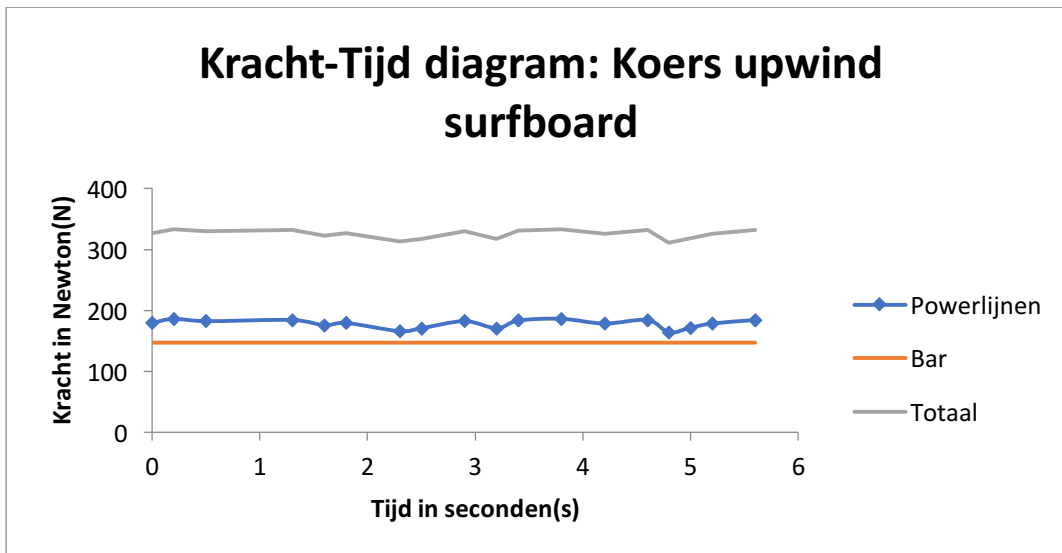
#### 4.3.2 Koersen

##### *Koers upwind*

De grafieken die horen bij een upwindse koers zijn te zien in afbeelding 63 voor de twin-tip en afbeelding 64 voor het surfboard.



Afbeelding 63



Afbeelding 64

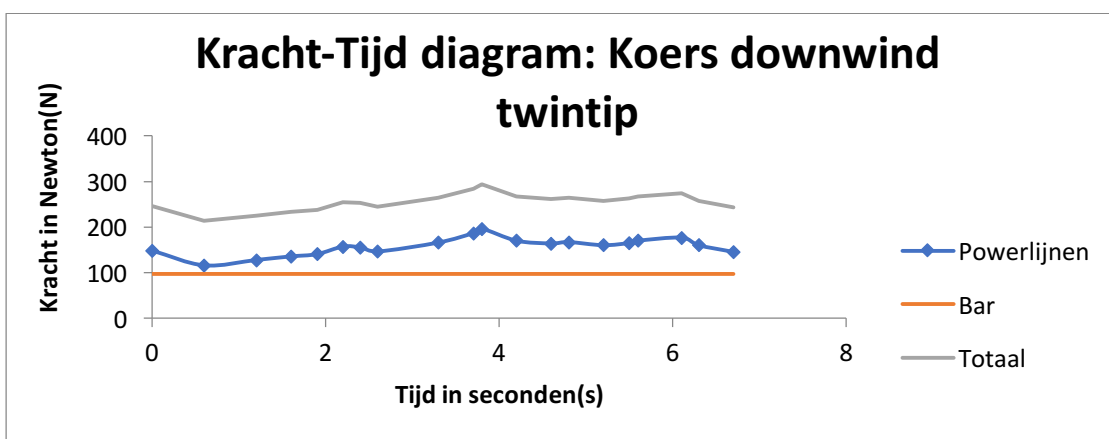
Bij de twin-tip is een maximale kracht gemeten van 441,5 N terwijl dit bij het surfboard maar een kracht was van 333,4 N. Deze koersen zijn uitgewerkt in **BIJLAGEN 7 en 8**.

Wanneer je de krachtbelasting tussen varen met een surfboard en een twin-tip vergelijkt, is er een duidelijk verschil te zien. Dit komt doordat het drijfvermogen van een surfboard een stuk groter is in vergelijking met het drijfvermogen van een twin-tip en omdat het surfboard grotere vinnen heeft.

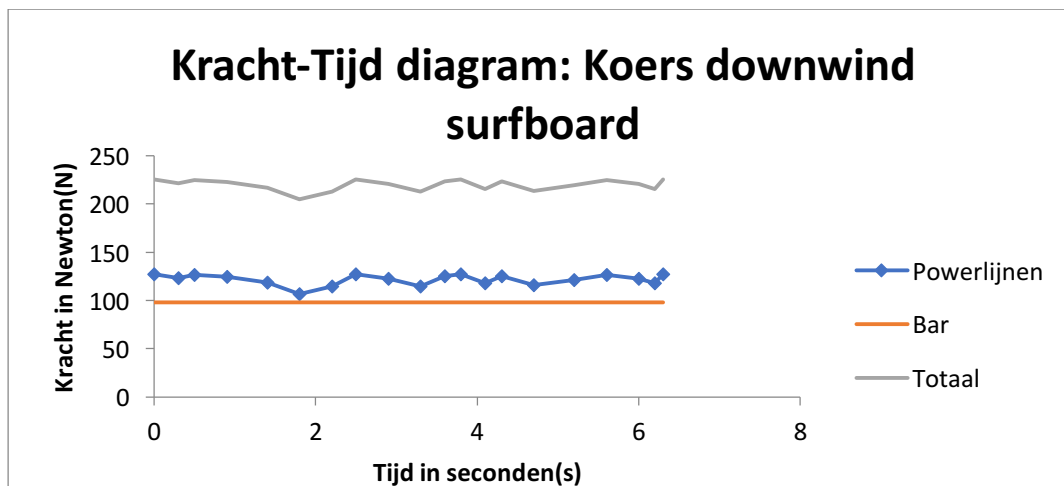
Bij een twin-tip zijn, door de grote hoek die het board met het water maakt, vaak maar twee vinnen in het water. Deze zijn daarnaast een stuk kleiner dan de drie vinnen die een surfboard heeft en die alle 3 bij het varen onder de waterspiegel blijven. De hydrodynamische kracht van de vinnen is hier dus een stuk groter dan bij een twin-tip en hierdoor is een kleinere trekkracht nodig.

*Koers downwind.*

De grafieken bij de Down windse koersen horen zijn te zien in afbeelding 65 en 66 en in de **BIJLAGEN 5 en 6** zijn de uitwerkingen van deze koersen te zien.



Afbeelding 65



Afbeelding 66

Bij het surfboard komt er bij deze koers een maximale kracht uit van 225,7 N. Bij de twin-tip is deze kracht 294,4 N en dus een heel stuk groter. Ook dit heeft, zoals uitgelegd bij de koers upwind, te maken met het drijfvermogen en de grotere vinnen. Bij een koers downwind is de hoek van het board echter een stuk kleiner dan bij de koers upwind. Hierdoor staan bij de twin-tip nu alle vinnen in het water en dit zorgt voor een kleiner verschil van de hydrodynamische krachten. Het drijfvermogen speelt hier echter wel een grote rol en daarom zijn de trekkrachten bij het surfboard een stuk kleiner.

#### 4.4 Conclusie

Bij elke koers en de waterstart is er dus te zien dat de krachtbelasting bij het surfboard een stuk kleiner is. Dit heeft te maken met het verschil in vinnen, drijfvermogen en manier van varen. Verwacht wordt dat de krachten bij de hydrofoel nog kleiner zijn door de enorme vin onderwater.

## Hoofdstuk 5: Eindconclusie

In dit PWS hebben we getracht een antwoord te vinden op de vraag: “Wat is de belasting waar de kitesurfer mee te maken krijgt bij gebruik van verschillende type kiteboards?”. Wij zijn begonnen met het zoeken naar bronnen en experts die ons konden helpen met de opzet van het onderzoek. Op het internet was niet veel te vinden over dit onderwerp en informatie over systemen om krachten te meten die de kite genereert is zeer beperkt en nog niet commercieel verkrijgbaar. Het is ons uiteindelijk gelukt om met behulp van betaalbare krachtmeters, metingen te verrichten tijdens het varen, zowel voor krachten tijdens de waterstart, het varen van verschillende koersen en het springen.

### ***Deelvraag 1: Wat voor krachten brengt de vlieger over op een kitesurfer?***

De vlieger levert trekkrachten op die kunnen oplopen tot zo'n 600 N voor een kitesurfer van zo'n 72kg gewicht die kiest voor een vlieger passend bij de heersende windkracht. Meeste kracht wordt overgebracht via de powerlijnen op het harnas van de kitesurfer. Daarnaast wordt een deel via de bar overgebracht op de armen. De richting en grootte van deze trekkracht kan enorm variëren en dat stelt eisen aan de kitesurfer. Deze kan door middel van het sturen van de vlieger, aantrekken of van zich af duwen van de bar, de trekkracht beïnvloeden. Bij het varen kan de kiter ervoor zorgen dat hij in een andere richting voortgetrokken, dan de richting die de trekkracht van de kite op hem uitoefent. Hoe meer hij richting de wind vaart, hoe meer weerstand hij moet bewerkstelligen om te voorkomen dat hij in de richting van de vlieger wordt getrokken. Hij probeert als het ware de snelheid van de vlieger af te remmen en dat levert grotere trekkrachten op. Doordat de resulterende trekkracht leidt tot versnelling zal er ook een hydrodynamische kracht ontstaan tijdens het varen. Dit is nodig om te kunnen varen op een board met minder drijfvermogen dan het lichaamsgewicht van de kitesurfer. Voor het in balans kunnen varen bij de grote en wisselende trekkrachten die de kite kan produceren, is het van belang dat de momenten in evenwicht blijven. Dit kan de kiter doen door zoals genoemd de bar te verplaatsen, de vlieger te sturen naar een andere positie in het windraam, door zijn zwaartepunt te verplaatsen en door de weerstand van het board te verminderen of te vermeerderen door het board minder of meer te kanten. Wanneer bij een maximale werkarm van de zwaartekracht de trekkracht van de kite toeneemt, dan kan de kitesurfer alleen in balans blijven door de boardweerstand te verminderen door middel van het minder “kanten van het board”. Nadeel hiervan is dat het met te grote trekkrachten dus niet meer zal lukken om upwind te varen. Keuze van de juiste vlieger, passend bij gewicht en ervaring van de kiter en bij de windkracht is dus van essentieel belang.

### ***Deelvraag 2: Wat zijn de meest belastende momenten tijdens het varen?***

Uit het onderzoek komt naar voren dat de krachtbelasting tijdens de waterstart enorm meevalt. Dit is te verklaren omdat er voor de start een krachtenevenwicht bestaat waarbij opwaartse krachten (drijfkracht en  $F_{\text{trek}}$  veroorzaakt door de vlieger) in balans zijn met de naar beneden gerichte kracht ( $F_z$ ). Tot onze verbazing viel de krachtbelasting tijdens de waterstart mee. Bij het koersvaren is de krachtbelasting het grootst tijdens upwindse koersen. Dit is te verklaren omdat voor het varen van deze koersen gevaren moet worden met een grote boardhoek ten opzichte van het water, om te voorkomen dat het board in de richting van de trekkracht van de kite drift. Dit veroorzaakt hoge  $F_{\text{trek}}$  en veel benodigde spierkracht om het board in de juiste hoek te houden ten opzichte van het water. De belasting bij downwindse koersen viel enorm mee.

Wij hadden vooraf verwacht dat de trekkracht tijdens het springen enorm hoog zou kunnen oplopen op het moment van de afzet. De trekkrachten die wij gemeten hebben op de powerlijnen waren nauwelijks hoger dan tijdens het varen van upwindse koers. Verschil is wel dat door het aantrekken van de bar, de krachten op de armen en dus de trekkracht op de stuurlijnen van de vlieger enorm toenemen. Dat maakt dat tijdens de afzet van een sprong wij de hoogste krachtbelasting hebben gemeten.

**Deelvraag 3: Hoe verhoudt zich de krachtbelasting op de kitesurfer tussen de disciplines twin-tip/ surfboard/ hydrofoil varen bij gelijke weersomstandigheden?**

Helaas is het niet binnen de beschikbare tijd niet gelukt om een hydrofoil board te maken en te betrekken bij het onderzoek. De kosten waren voor ons op dit moment helaas te hoog. De vergelijking tussen twin-tip en surfboard liet zien dat de krachtbelasting bij het gebruik van de twin-tip in vergelijkbare condities hoger was dan bij het varen met een surfboard. Dit heeft hoogstwaarschijnlijk te maken met het grotere drijfvermogen en de andere soort en grotere vinnen. Deze leiden tot verschillen in balansevenwicht en in benodigde board hoek ten opzichte van de waterspiegel voor het voorkomen van te veel drift, zodat ook upwindse koersen gevaren kunnen worden. Meer drijfvermogen leidt er ook toe dat al bij minder wind gevaren kan worden met een surfboard.



Afbeelding 67: sprong met twin-tip board waarbij goed het dubbel barsysteem, de 3 krachtmeters en de laserlamp zichtbaar zijn

## Hoofdstuk 6: Discussie en reflectie

De conclusies passen voor het grootste deel bij onze verwachtingen. Wat opvallend is, is dat de krachtbelasting tijdens de waterstart lager was dan wij aanvankelijk hadden verwacht. De meetresultaten hiervan zijn betrouwbaar omdat we de krachten op de powerlijnen continue konden aflezen door deze te filmen met een Gopro camera die op de krachtmeter gemonteerd was. Bij de krachten op de bar waren we afhankelijk van het aflezen van de digitale display tijdens het varen. Echter de krachten op het barsysteem konden we goed inschatten en zijn tijdens de waterstart laag.

Verder hadden wij verwacht dat de gemeten kracht bij de afzet van een hoge sprong hoger zouden zijn dan het gewicht van de kiter en zijn uitrusting. Diverse kitters waren hier ook van overtuigd. Navraag bij deskundigen doen ons echter vermoeden dat de gemeten krachten op de powerlijnen en de ingeschatte krachten op de bar tezamen onder het gewicht van de kiter en zijn uitrusting kunnen blijven. Dat zie je ook al bij kleine sprongetjes die de kitesurfer maakt bij het keren van zijn vaarrichting. Hierbij blijven de krachten op de kitesurfer beperkt. Het zijn vooral de aanvaarsnelheid en de techniek van de kitesurfer die maken hoe hoog er gesprongen kan worden. Omdat de digitale krachtmeter slechts 3 tot 5 keer per seconde verspringt van afleesbare waarde, is het mogelijk dat er vlak voor de afzet een grotere korte piek in trekkracht ontstaat.

Het is gelukt om een krachtmeter waterdicht in te bouwen in een bestaand kitesurfsysteem. Het visueel aflezen van de kleine krachtmeters die wij bevestigd hadden via een extra bar is niet ideaal. Het zou mooi zijn om een systeem te ontwerpen waarbij er betaalbare krachtmeters op de powerlijnen en stuurlijnen gezet kunnen worden van bestaande kitesystemen. Een onderzoeker van de Universiteit van Antwerpen is hiermee bezig, echter er bestaat nog niet een commercieel beschikbaar en dus ook betaalbaar systeem, waarbij de data geregistreerd worden en ook makkelijk uitgelezen kunnen worden, waarna ze synchroon met filmbeelden van de kitesurf actie bestudeerd kunnen worden. Wij hopen na het beëindigen van dit pws door te kunnen gaan met het ontwikkelen van zo'n systeem en in de toekomst een vervolgonderzoek te doen. Het lijkt er tot nu toe op dat commerciële bedrijven hier nog weinig interesse voor hebben. Vanuit het oogpunt om deze dan beschikbare data aan te wenden om de sport veiliger te maken (op krachtbelasting instelbaar safety systeem voor beginners en eventueel gevorderden, hulp bij het snel onderkennen van verkeerde keuze vliegerformaat) en om sneller te kunnen leren (kitesimulator, directe feedback filmbeelden en krachten), lijkt het door ontwikkelen van een zo'n systeem zeer interessant. Wij zijn daarbij ook zeer benieuwd naar de krachten waaraan professionele kitters blootgesteld worden die meedoen met bijvoorbeeld de Redbull Megaloop Challenge en King of the Air. In dat kader is het ook interessant om met behulp van een acceleratiemeter versnellingen en vertragingen tijdens de verschillende fasen van een mega sprong te meten. Daarbij moet vanzelfsprekend het systeem wel blijven voldoen aan de gestelde eisen (breeksterkte van de powerlijnen en de stuurlijnen die bij het door ons gebruikte systeem respectievelijk 400kg per powerlijn en 200kg per stuurlijn betreffen).

Omdat er sprake is van enorm veel variabelen is het het meest betrouwbaar om metingen te verrichten onder ideale omstandigheden: geen windvlagen, geen getijde stromingen, geen/ weinig golfslag en een rustige locatie. Helaas troffen wij deze condities niet in de beschikbare periode en dat maakt dat de waarden meer fluctueren ten gevolge van de snel wisselende omstandigheden.

Blessures die de kiter op kan lopen ten gevolge van de krachtbelasting tijdens het kitesurfen hebben we niet meegenomen in dit pws. Hier bestaat een beperkte hoeveelheid literatuur over, echter het lijkt ons wel interessant om te onderzoeken hoe verschillende soorten harnessen waarmee gevaren kan worden de krachtbelasting weten te verdelen over een groter lichaamsoppervlak. Dit zou kunnen door het gebruik maken van druk loadcells tussen pak en harnas, waarmee drukbelasting in kaart kan

worden gebracht. Daarnaast is het interessant hoe groot het risico een kiter loopt op ernstig letsel wanneer hij/zij zich goed voorbereid en geen onnodige risico's neemt.

Kitesurfen wordt ook wel beschreven als een "planeer sport", daarbij vaart de kitesurfer op de door hem zelf veroorzaakte boeggolf. In dit PWS hebben wij dit mechanisme niet opgenomen in de onderzoeksvraag.

Wij zijn verder geïnteresseerd geraakt in de vraag of het mogelijk is om op goedkope wijze met behulp van 3D printer een hydrofoil systeem te maken. Dit omdat deze systemen zeer prijzig zijn. Van experts hebben wij begrepen dat het mogelijk zou moeten zijn om hydrofoil vinnen te scannen en 3D te printen. De goedkoopste manier om een stevige mast en fuselage te verkrijgen is het kopen van een commercieel beschikbare set. Na onderzoek is het ons duidelijk geworden dat een commercieel verkrijgbare fuselage en mast zo'n 150-200 Euro moet kosten. Het laten maken van een 3D scan blijkt van de vinnen blijkt nog prijzig te zijn (+/- 300 Euro), echter het laten printen van zo'n scan is relatief goedkoop (afhankelijk van het gebruikte materiaal). Helaas waren de totale kosten voor ons op dit moment te hoog om dit te realiseren. Hopelijk lukt dat ons in de toekomst.



Afbeelding 68: November 2017: data verzamelen op het strand van Langevelderslag

## Hoofdstuk 7: Samenvatting

Wij hebben getracht om antwoord te vinden op de vraag: “Wat is de belasting waar de kitesurfer mee te maken krijgt bij gebruik van verschillende type kiteboards?” Dit omdat wij denken dat het in kaart brengen van de krachtbelasting op de kitesurfer kan helpen om de sport nog veiliger te maken en om sneller progressie in de sport te kunnen maken.

Na het bestuderen van bestaande literatuur werd het ons duidelijk dat er nog weinig over dit onderwerp geschreven is. Wij hebben geprobeerd om een meetsysteem te maken waarmee het mogelijk zou zijn om tijdens het varen en springen, de trekkracht te meten die de vlieger produceert. Hierbij hebben wij feedback mogen ontvangen van wetenschappers met expertise op dit gebied en van professionele beoefenaars van de sport. Dit is uiteindelijk gelukt en wij hebben een antwoord kunnen vinden op onze vraagstelling. Het is ons duidelijk geworden dat het zeer complex is om het krachtenspel betrouwbaar in beeld te brengen en wij hopen dat we na het afronden van dit pws door kunnen gaan om een beter meetsysteem te ontwikkelen en naast metingen met twin-tip en surfboard, ook metingen met een hydrofoil te kunnen doen. Wij hebben getracht om het pws zo te schrijven dat het voor eenieder die weinig kennis heeft van natuurkunde en kitesurfen te begrijpen is. Het is een zeer fascinerende sport, waarbij aerodynamica en hydrodynamica hand in hand gaan.



Afbeelding 69: November 2017: Verzamelen van data met het dubbele barsysteem voorzien van krachtmeters.

## Hoofdstuk 8: Literatuurlijst

### Bronnen

- Airush Kite Manual (deelvraag 1 en 2)
- Bergen CJA, Commandeur J, Weber RI, Haverkamp D, Breederveld R. Windsurfing versus Kitesurfing: Injuries at the North Seas over a 2-year period. World Journal of Orthopedics 2016;7(12):814-820 (deelvraag 2)
- Bourgois JG, Boone J, Callewaert M, Tipton MJ, Tallir IB. Biomechanical and Physiological Demands of Kitesurfing and Epidemiology of Injury among Kitesurfers. Sports Med. Okt 2013;1-12. (deelvraag 2)
- Feletti F. Kitesport Medicine, presentation. (deelvraag 2 en 3)
- Lundgren L, Olandersson S, Hilliges M, Osvalder A. Biomechanics of Extreme Sports- a Kite Surf Scenario. (deelvraag 2 en werkwijze)
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/shortk.html>, NASA, informatie over hoe kites werken, (deelvraag 1)

### Boeken

- Cobb R. De Vlieger en Kitegids 2007. (deelvraag 1, 3)
- Feletti A. Extreme Sports Medicine. Springer 2016. Hoofdstuk Kitesurfing (deelvraag 1 en 3)
- Gratwick A. The Kiteboarding Manual. 2015. (deelvraag 1 en 3)
- Hoefnagels JP. Het Zeilboek, de nieuwe leidraad voor zeilers. 3<sup>e</sup> druk (deelvraag 1)
- Kamp van der S. Kitesurf Handboek. 2015 (deelvraag 1 en 3)
- Lotscher. Voler en Parapent. 2002.(deelvraag 1)
- Ruijter de B. Parapente: schermvliegen in theorie en praktijk. 1997. (deelvraag 1)

### Contacten (alle deelvragen)

- Berg van der S. Owner surfshop Hoorn en voormalig olympisch kampioen Windsurfen.
- Bruijn de, Sjoerd. Bewegingswetenschappen VU Amsterdam.
- Feletti, A. MD. Editor of Extreme Sports Medicine hoofdstuk kitesurfing en onderzoeker Politechnio Milano. Meedenken over onderzoek en mogelijkheden.
- Freedberg D. Product designer at Airush Info maximum forces on airush lines.
- Lundgren, Lina. Auteur artikel Kitesurfen.
- Marien van Rijswijk, Henk Maas weegschalen. S Loadcell specialist.
- Schoemaker, Frank. Mede bedenker van Kitesurf Simulator samen met TU Delft.
- Windt de Kevin. Promotie Universiteit van Antwerpen op meten van krachten op kitesurfers.



Afbeelding 70: November 2017: Leerboek waarin hoofdstuk over Kitesurfen geschreven door Fransesco Feletti

## Hoofdstuk 9: Bijlagen

### Bijlage 1:

Het moment van  $F_{\text{hydro}}$  is:

$$M F_w = 100 * 0,1 = 10 \text{ N*m}$$

$$M F_{\text{drijf}} = 100 * 0,1 = 10 \text{ N*m}$$

$$M F_z = 706 * 0.5 = 353 \text{ N*m}$$

Verder is de werk arm van de trekkracht zo'n 0,8 m

Oftewel:

Moment van  $F_{\text{trek}}$  totaal + Moment van  $F_w$  + Moment  $F_{\text{drijf}}$  = Moment van  $F_z$

$$0,9X + 10 + 10 = 353 \rightarrow X = 370 \text{ N}$$

### Bijlage 2:

*Het moment van  $F_{\text{hydro}}$  is:*

$$M F_w = 300 * 0.05 = 15 \text{ N*m}$$

*Het moment van  $F_{\text{drijf}}$  wordt, door de kleinere werk arm, 2 keer zo klein en bedraagt 5 N\*m*

*De kracht van  $F_z$  blijft hetzelfde alleen de werk arm verandert.*

$$M F_z = 706 * 0.6 = 423,6 \text{ N*m}$$

*Verder is de werk arm van de trekkracht nu zo'n 1.0 meter.*

*Oftewel:*

Moment van  $F_{\text{trek}}$  totaal + Moment van  $F_w$  + Moment  $F_{\text{drijf}}$  = Moment van  $F_z$

$$1.0X + 15 + 5 = 423,6 \rightarrow X = 403,6 \text{ N}$$

Bijlage 3:

<b>Datum</b>	<b>26/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>01</b>
<b>Titel</b>	<b>Waterstart Twintip</b>		



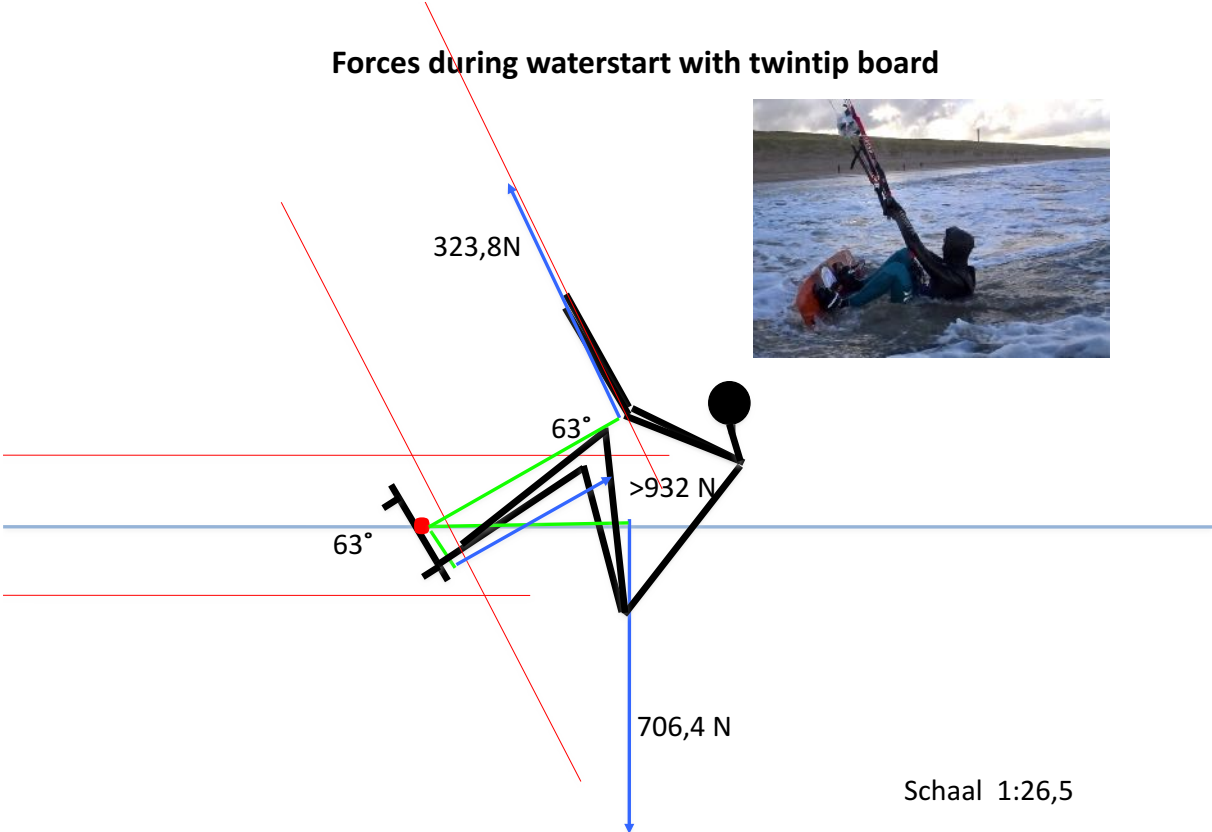
<b>Twintip</b>	X
<b>Surfboard</b>	
<b>Hydrofoil</b>	

<b>Windrichting</b>	<b>275°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>90°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>37,4 km/uur</b>	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>63 °</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>275°</b>	<b>Trekkraft Li Bar</b>	<b>49,1 N</b>
<b>Boordrichting</b>	<b>5°</b>	<b>Trekkraft Re Bar</b>	<b>49,1 N</b>
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>0 km/uur</b>	<b>Trekkraft Powerlijnen</b>	<b>225,6 N</b>
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>83-55° (63 °)</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>323,8 N</b>
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019,4 hPa</b>

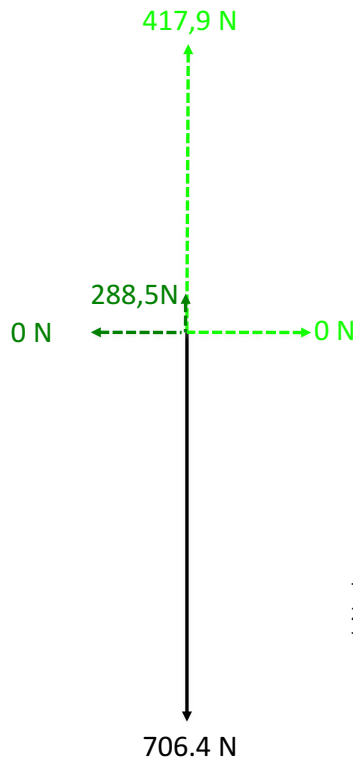
Thuis in te vallen data:

<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>

**Forces during waterstart with twintip board**



**Krachten in het verticale vlak loodrecht op de boardrichting**

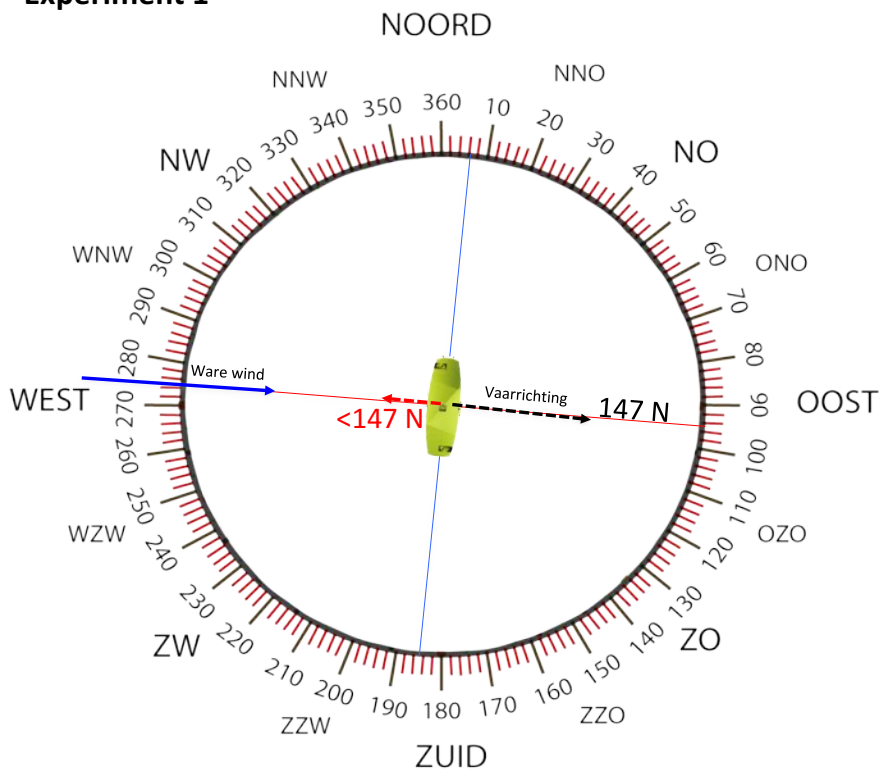


$$706,4 = 72 \times 9,81$$

$$288,5 = \sin(63^\circ) \times 323,8$$

$$706,4 = 288,5 + 533,7$$

**Krachten in het horizontale vlak en overige meetgegevens waterstart Twintip. Experiment 1**



De hydrodynamische weerstandskracht vector in horizontale vlak is onbekend. Er is geen sprake van equilibrium. Versnelling zou berekend kunnen worden.

$$147 = \cos(63^\circ) \times 323,8$$

<b>Waterstart twintip</b>			
Tijd(s)	Powerlijn(N)	Bar(N)	Totaal(N)
0	72,594	78,48	151,074
0,4	78,48	78,48	156,96
0,8	84,366	78,48	162,846
1,1	93,195	81,423	174,618
1,4	97,119	88,29	185,409
1,6	149,112	98,1	247,212
2,1	155,979	98,1	254,079
2,6	185,409	98,1	283,509
2,8	192,276	98,1	290,376
3,2	192,276	98,1	290,376
3,4	192,276	98,1	290,376
3,8	197,181	98,1	295,281
4,1	218,763	98,1	316,863
4,3	217,782	98,1	315,882
4,6	223,668	98,1	323,787
5	179,523	98,1	277,623
5,2	140,283	98,1	238,383
5,6	118,701	98,1	216,801
6	117,72	98,1	215,82

Bijlage 4:

<b>Datum</b>	<b>26/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>02</b>
<b>Titel</b>	<b>Waterstart Surfboard</b>		



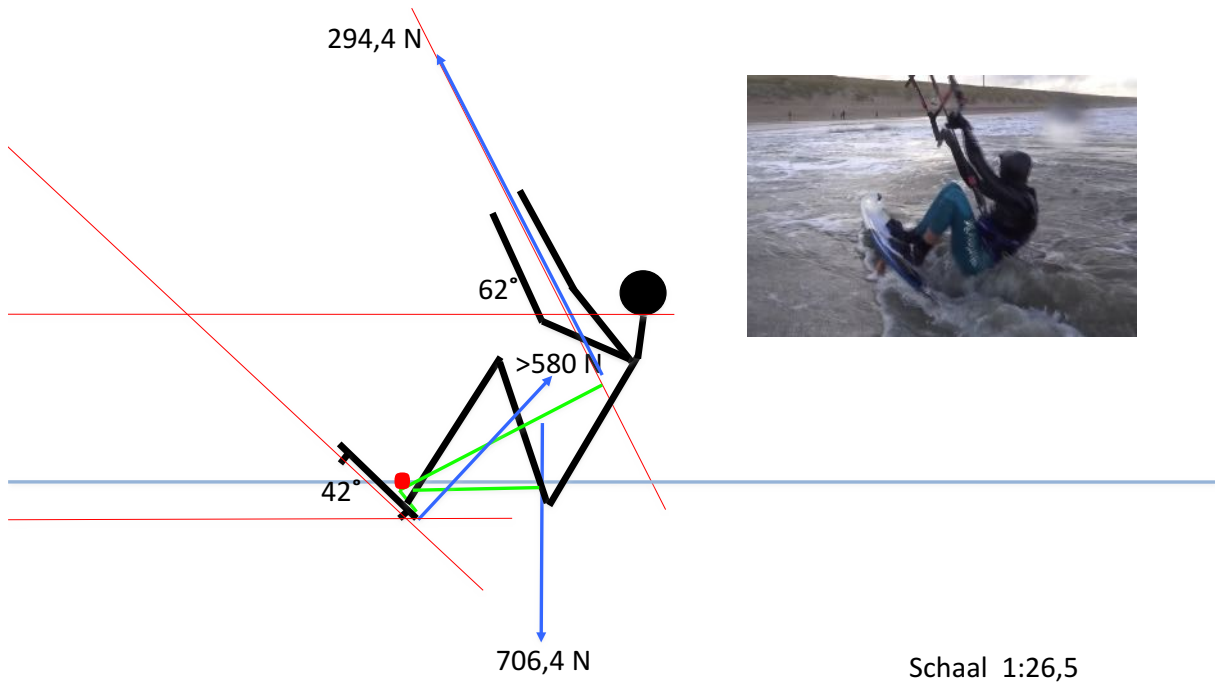
<b>Twintip</b>	
<b>Surfboard</b>	X
<b>Hydrofoil</b>	

<b>Windrichting</b>	<b>275°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>90°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>37,4 km/uur</b>	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>62°</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>275°</b>	<b>Trekkraft Li Bar</b>	<b>49,1 N</b>
<b>Boordrichting</b>	<b>5°</b>	<b>Trekkraft Re Bar</b>	<b>49,1 N</b>
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>0 km/uur</b>	<b>Trekkraft Powerlijnen</b>	<b>196,2 N</b>
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>42°</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>294,4 N</b>
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019,4 hPa</b>

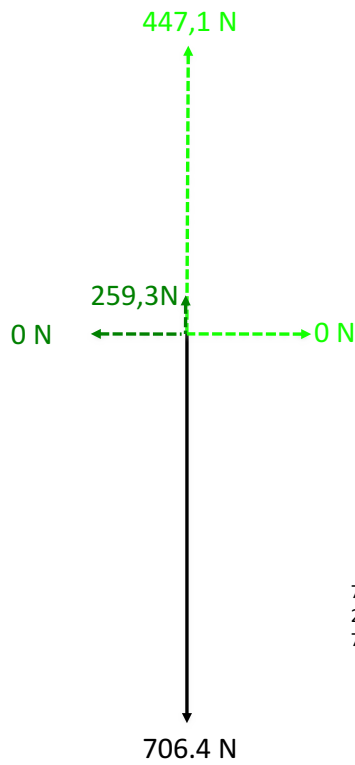
Thuis in te vallen data:

<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>

### Krachten tijdens waterstart met surfboard board



### Krachten in het verticale vlak in boardrichting

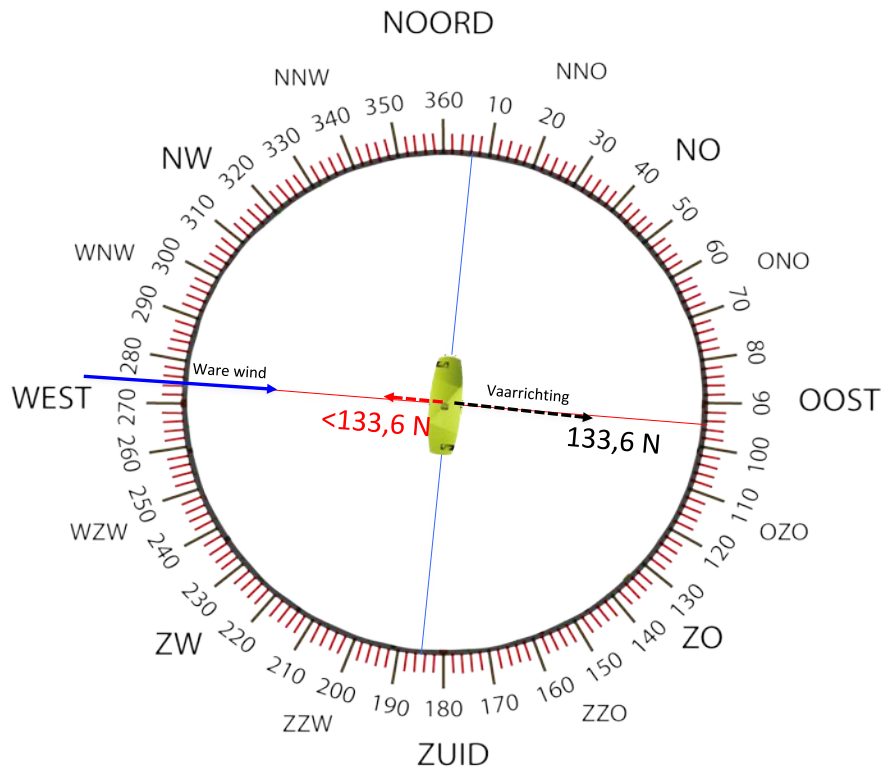


$$706,4 = 72 \times 9,81$$

$$259,3 = \sin(63^\circ) \times 294,4$$

$$706,4 = 259,3 + 447,1$$

## Krachten in het horizontale vlak en overige meetgegevens waterstart Surfboard.



De hydrodynamische weerstandskracht vector in horizontale vlak is onbekend. Er is geen sprake van equilibrium. Versnelling zou berekend kunnen worden.

$$133,6 = \cos(63^\circ) \times 294,4$$

Waterstart surfboard			
Tijd(s)	Powerline(N)	Bar(N)	Totaal(N)
0	130,473	78,48	228,573
0,3	133,416	78,48	231,516
0,7	132,435	78,48	230,535
1,1	131,454	81,423	229,554
1,5	136,359	88,29	234,459
2,1	152,055	98,1	250,155
2,4	156,96	98,1	255,06
2,6	193,257	98,1	291,357
3,4	196,2	98,1	294,428
3,6	202,086	98,1	286,452
3,9	187,371	98,1	283,509
4,2	171,675	98,1	269,775
4,5	107,91	98,1	206,01
4,7	120,663	98,1	218,763
5	124,587	98,1	222,687

Bijlage 5:

<b>Datum</b>	<b>26/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>03</b>
<b>Titel</b>	<b>Koersvaren in equilibrium: koers 1 twintip, Downwind</b>		

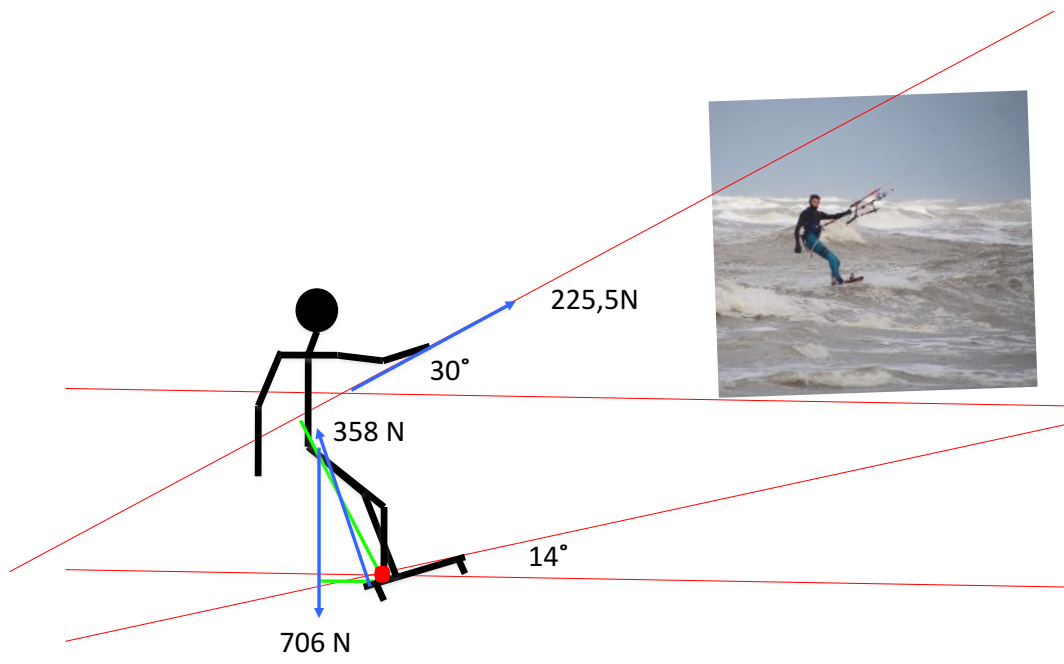


<b>Twintip</b>	X
<b>Surfboard</b>	
<b>Hydrofoil</b>	

<b>Windrichting</b>	<b>280°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>130°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>37,4 km/uur</b>	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>30°</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>181°</b>	<b>Trekkracht Li Bar</b>	<b>49,1 N</b>
<b>Boordrichting</b>	<b>183°</b>	<b>Trekkracht Re Bar</b>	<b>49,1 N</b>
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>30,2 km/uur</b>	<b>Trekkracht Powerlijnen</b>	<b>196,2 N</b>
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>14°</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>294,4 N</b>
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019.4 hPa</b>

Thuis in te vallen data:

<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>



Schaal 1:37,5

$$706 = 72 \times 9,81$$

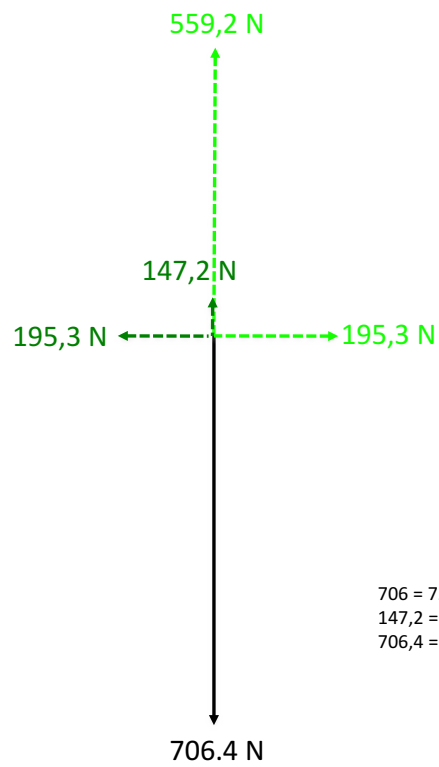
$$225,5 = 195,3 / \cos(30^\circ)$$

$$706 \times 0,9 = 635,4$$

$$225,5 \times 2,5 = 563,8$$

$$358 \times 0,2 = 71,6$$

**Krachten in het verticale vlak loodrecht op de boardrichting**

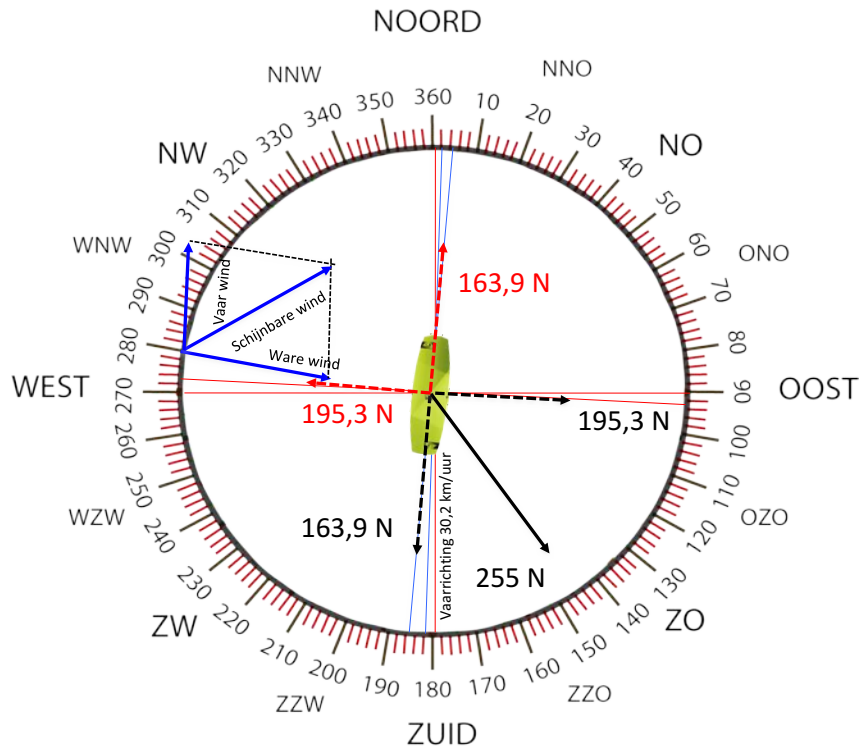


$$706 = 72 \times 9,81$$

$$147,2 = \sin(30^\circ) \times 294,4$$

$$706,4 = 147,2 + 559,2$$

## Krachten in het horizontale vlak en overige meetgegevens



$$255 = \text{Cos}(30^\circ) \times 294,4$$

$$195,3 = \text{Cos}(40^\circ) \times 255$$

$$163,9 = \text{Sin}(40^\circ) \times 255$$

Downwindse koers twintip			
Tijd(s)	Powerlijn(N)	Bar(N)	Totaal(N)
0	148,131	98,1	246,231
0,6	115,758	98,1	213,858
1,2	127,53	98,1	225,63
1,6	135,378	98,1	233,478
1,9	140,283	98,1	238,383
2,2	156,96	98,1	255,06
2,4	154,998	98,1	253,098
2,6	146,169	98,1	244,269
3,3	165,789	98,1	263,889
3,7	186,39	98,1	284,49
3,8	196,2	98,1	294,3
4,2	169,713	98,1	267,813
4,6	163,827	98,1	261,927
4,8	166,77	98,1	264,87
5,2	159,903	98,1	258,003
5,5	164,808	98,1	262,908
5,6	169,713	98,1	267,813
6,1	176,58	98,1	274,68
6,3	159,903	98,1	258,003
6,7	145,188	98,1	243,288

Bijlage 6:

<b>Datum</b>	<b>26/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>04</b>
<b>Titel</b>	<b>Koersvaren in equilibrium: koers 1 Surfboard Downwind</b>		

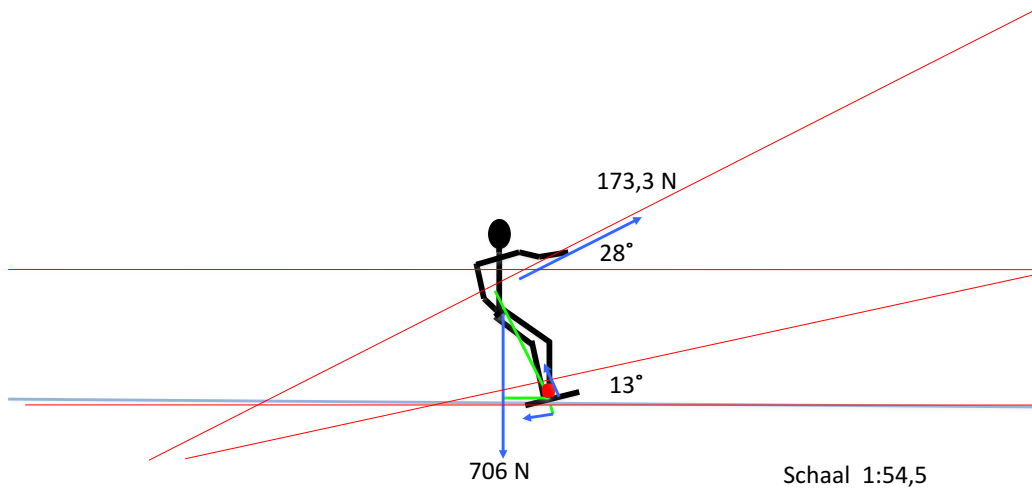


<b>Twintip</b>	
<b>Surfboard</b>	X
<b>Hydrofoil</b>	

<b>Windrichting</b>	<b>280°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>130°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>37,4 km/uur</b>	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>28°</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>181°</b>	<b>Trekkraft Li Bar</b>	<b>49,1 N</b>
<b>Boordrichting</b>	<b>183°</b>	<b>Trekkraft Re Bar</b>	<b>49,1 N</b>
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>21 km/uur</b>	<b>Trekkraft Powerlijnen</b>	<b>127,5 N</b>
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>13°</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>225,7 N</b>
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019.4 hPa</b>

Thuis in te vallen data:

<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>



Schaal 1:54,5

$$706 = 72 \times 9,81$$

$$173,3 = 153 / \cos(28^\circ)$$

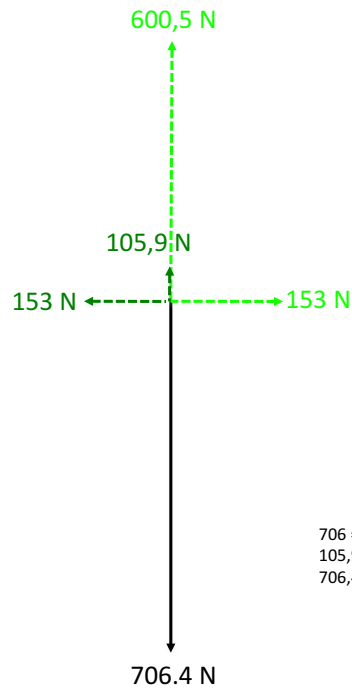
$$706 \times 0,7 = 494,2$$

$$173,3 \times 2 = 346,6$$

$$738 \times 0,2 = 147,6$$

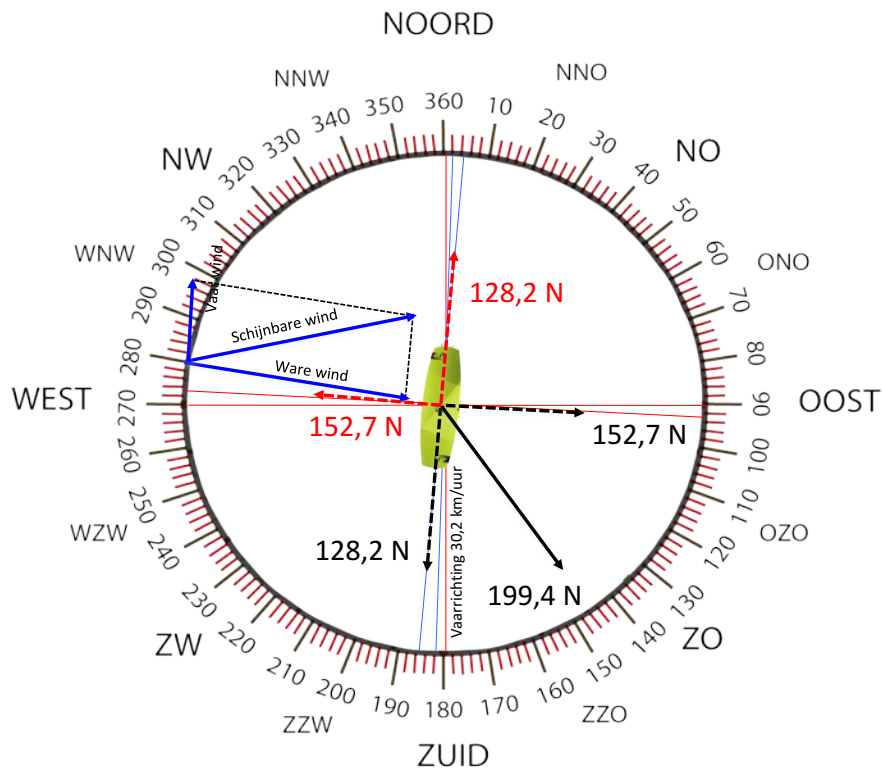


**Krachten in het verticale vlak loodrecht op de boardrichting**



$706 = 72 \times 9,81$   
 $105,9 = \sin(28^\circ) \times 225,7$   
 $706,4 = 105,9 + 600,5$

**Krachten in het horizontale vlak en overige meetgegevens**



$199,4 = \cos(28^\circ) \times 225,7$   
 $152,7 = \cos(40^\circ) \times 199,4$   
 $128,2 = \sin(40^\circ) \times 199,4$

Downwindse koers Surfboard			
Tijd(s)	Powerlijn(N)	Bar(N)	Totaal(N)
0	127,53	98,1	225,63
0,3	123,606	98,1	221,706
0,5	126,549	98,1	224,649
0,9	124,587	98,1	222,687
1,4	118,701	98,1	216,801
1,8	106,929	98,1	205,029
2,2	114,777	98,1	212,877
2,5	127,53	98,1	225,63
2,9	122,625	98,1	220,725
3,3	114,777	98,1	212,877
3,6	125,568	98,1	223,668
3,8	127,53	98,1	225,63
4,1	117,72	98,1	215,82
4,3	125,568	98,1	223,668
4,7	115,758	98,1	213,858
5,2	121,644	98,1	219,744
5,6	126,549	98,1	224,649
6	122,625	98,1	220,725
6,2	117,72	98,1	215,82
6,3	127,53	98,1	225,63

Bijlage 7:

<b>Datum</b>	<b>26/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>05</b>
<b>Titel</b>	<b>Koersvaren in equilibrium: koers 2 Upwind</b>		



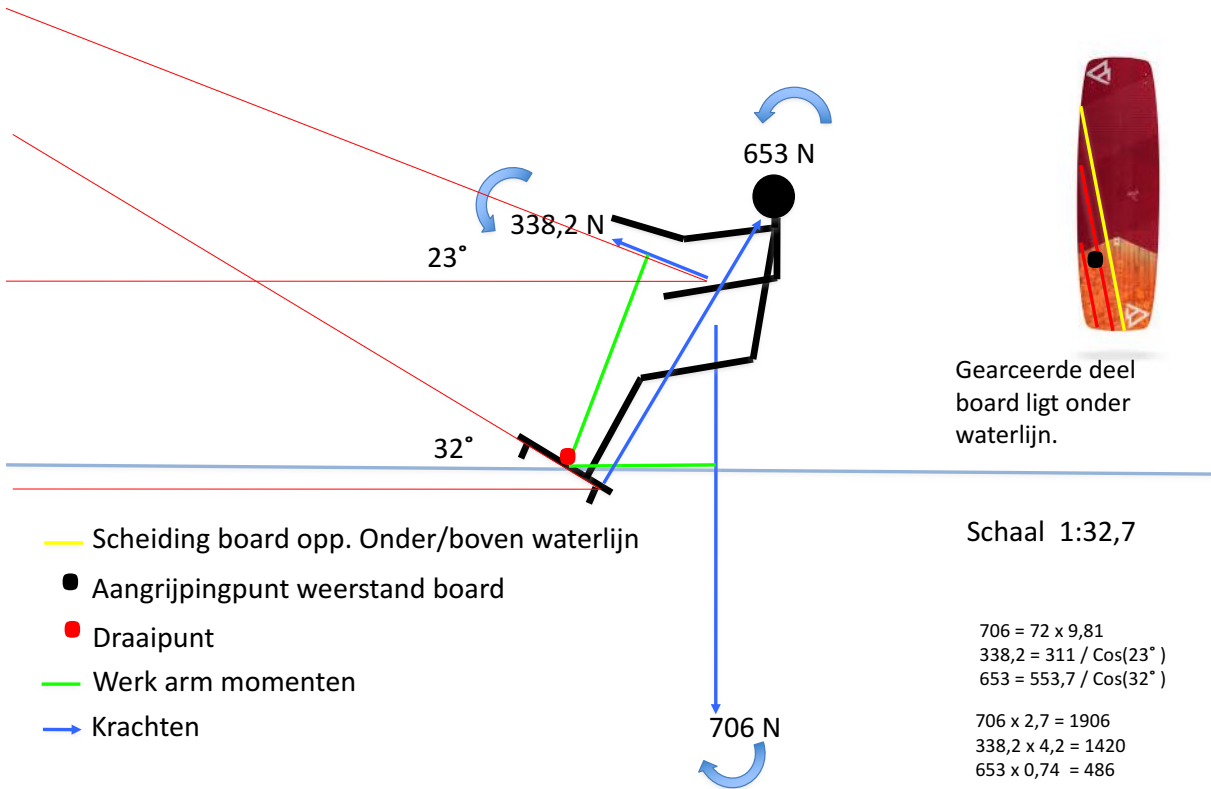
<b>Twintip</b>	X
<b>Surfboard</b>	
<b>Hydrofoil</b>	

<b>Windrichting</b>	<b>275°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>130°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>37,4 km/uur</b>	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>23°</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>210°</b>	<b>Trekkraft Li Bar</b>	<b>68,7 N</b>
<b>Boordrichting</b>	<b>224°</b>	<b>Trekkraft Re Bar</b>	<b>68,7 N</b>
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>25,2 km/uur</b>	<b>Trekkraft Powerlijnen</b>	<b>304,1 N</b>
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>32°</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>441.5 N</b>
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019.4 hPa</b>

Thuis in te vallen data:

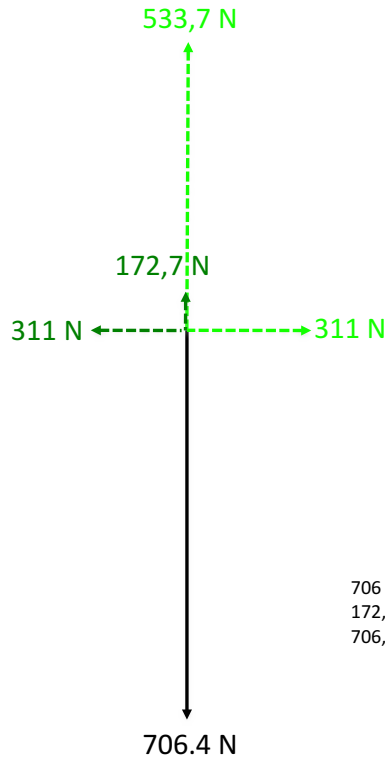
<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>

Balans evenwicht van de kiter in verticale vlak, loodrecht op het board



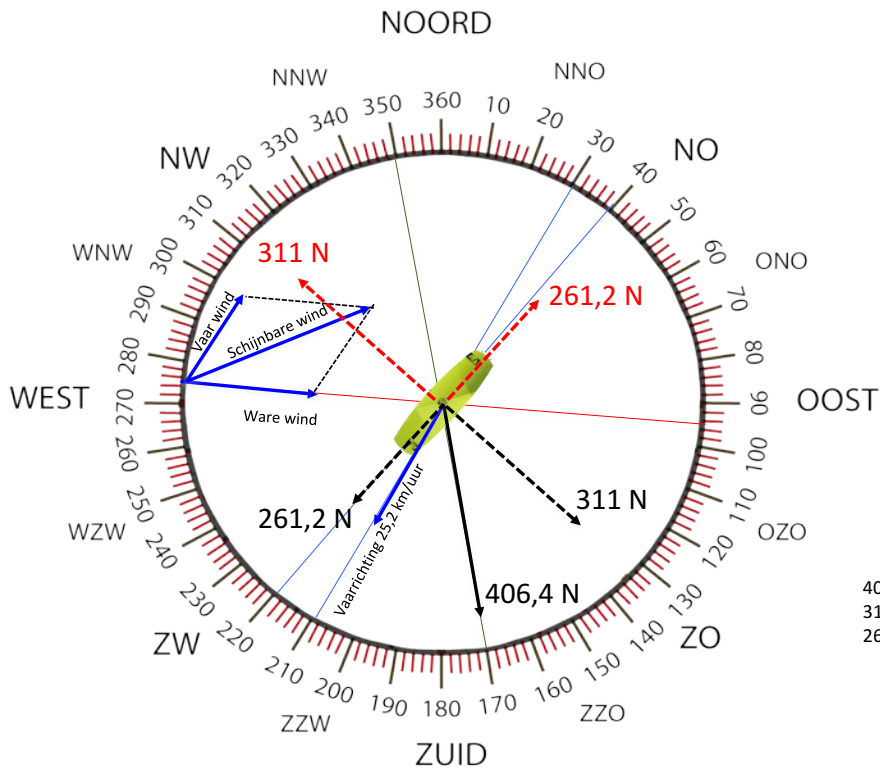
Schaal: 1:26

**Krachten in het verticale vlak loodrecht op de boardrichting**



$706 = 72 \times 9,81$   
 $172,7 = \sin(23^\circ) \times 441,5$   
 $706,4 = 172,7 + 533,7$

**Krachten in het horizontale vlak en overige meetgegevens**



$406,4 = \cos(23^\circ) \times 441,5$   
 $311 = \cos(40^\circ) \times 406,4$   
 $261 = \sin(40^\circ) \times 406,4$

<b>Upwind twintip</b>			
Tijd(s)	Powerlijn(N)	Bar(N)	Totaal(N)
0	218,763	147,15	365,913
0,4	214,839	147,15	361,989
0,8	221,706	147,15	368,856
1,1	232,497	147,15	379,647
1,6	227,592	147,15	374,742
1,9	238,383	147,15	385,533
2,1	237,402	147,15	384,552
2,5	220,725	147,15	367,875
2,8	226,611	147,15	373,761
3,1	247,212	147,15	394,362
3,3	281,547	147,15	428,697
3,7	269,775	147,15	416,925
4	258,003	147,15	405,153
4,3	272,718	147,15	419,868
4,8	285,471	147,15	432,621
5,1	294,3	147,15	441,45
5,5	264,87	147,15	412,02
5,7	256,041	147,15	403,191

Bijlage 8:

<b>Datum</b>	<b>26/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>06</b>
<b>Titel</b>	<b>Koersvaren in equilibrium: koers 2 upwind</b>		

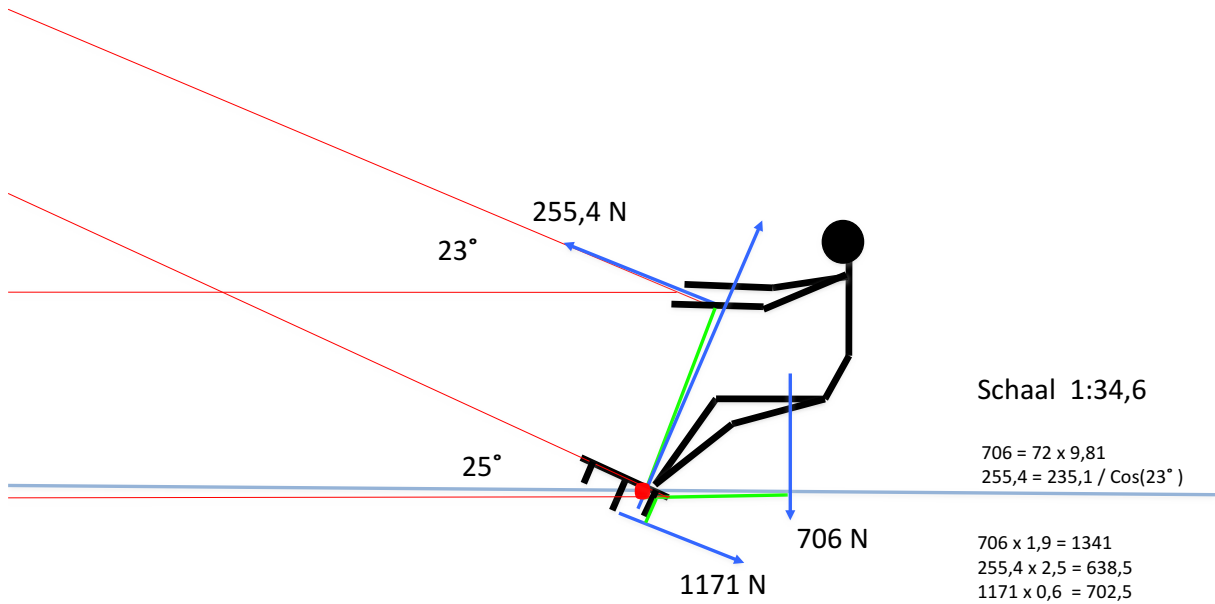


<b>Twintip</b>	
<b>Surfboard</b>	X
<b>Hydrofoil</b>	

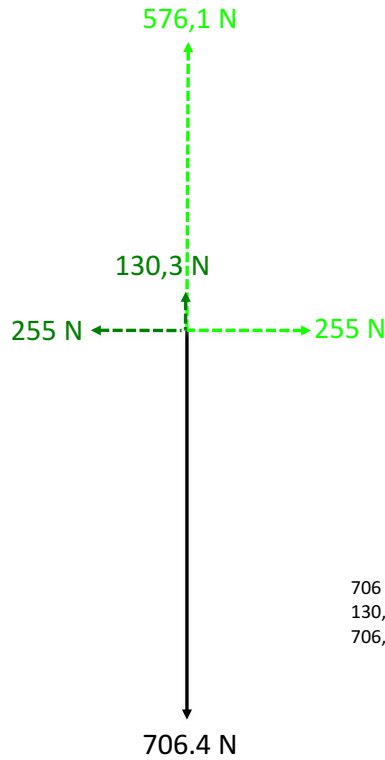
<b>Windrichting</b>	<b>275°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>130°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>37,4 km/uur</b>	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>23°</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>210°</b>	<b>Trekkraft Li Bar</b>	<b>68,7 N</b>
<b>Boardrichting</b>	<b>224°</b>	<b>Trekkraft Re Bar</b>	<b>68,7 N</b>
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>24 km/uur</b>	<b>Trekkraft Powerlijnen</b>	<b>196,2 N</b>
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>25 °</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>333,4 N</b>
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019.4 hPa</b>

Thuis in te vallen data:

<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>

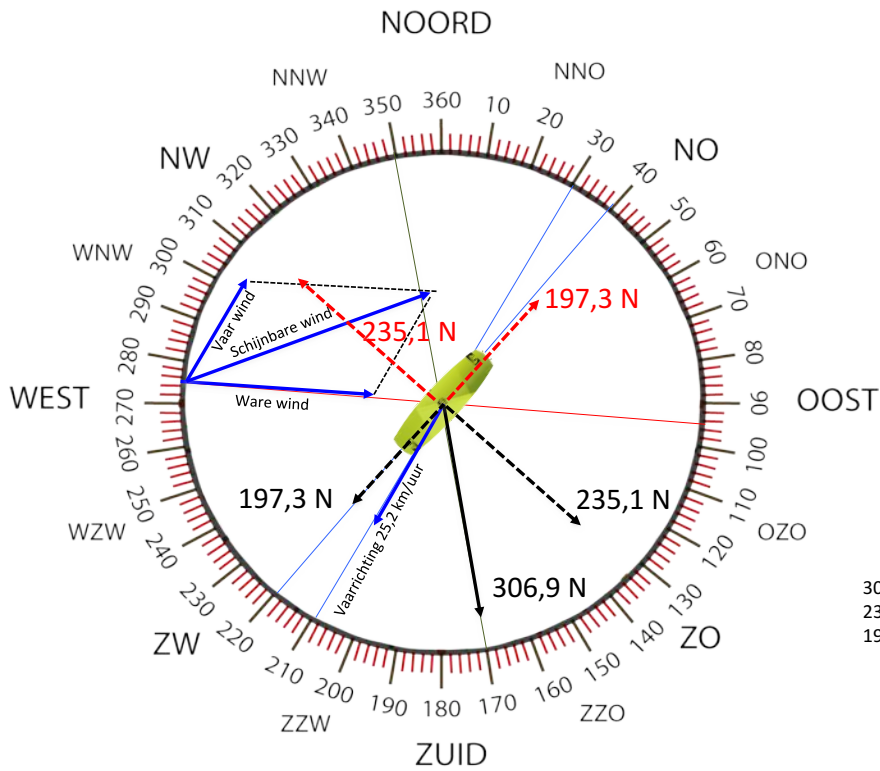


**Krachten in het verticale vlak loodrecht op de boardrichting**



$706 = 72 \times 9,81$   
 $130,3 = \sin(23^\circ) \times 333,4$   
 $706,4 = 130,3 + 576,1$

**Krachten in het horizontale vlak en overige meetgegevens**



$306,9 = \cos(23^\circ) \times 333,4$   
 $235,1 = \cos(40^\circ) \times 306,9$   
 $197,3 = \sin(40^\circ) \times 306,9$

<b>Upwind Surfboard</b>			
Tijd(s)	Powerline(N)	Bar(N)	Totaal(N)
0	179,523	147,15	326,673
0,2	186,39	147,15	333,43
0,5	182,466	147,15	329,616
1,3	184,428	147,15	331,578
1,6	175,599	147,15	322,749
1,8	179,523	147,15	326,673
2,3	165,789	147,15	312,939
2,5	170,694	147,15	317,844
2,9	182,466	147,15	329,616
3,2	170,694	147,15	317,844
3,4	183,447	147,15	330,597
3,8	186,39	147,15	333,54
4,2	178,542	147,15	325,692
4,6	184,428	147,15	331,578
4,8	163,827	147,15	310,977
5	171,675	147,15	318,825
5,2	178,542	147,15	325,692
5,6	184,428	147,15	331,578

Bijlage 9:

<b>Datum</b>	<b>28/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>07</b>
<b>Titel</b>	<b>Fase 1 sprong: snelheid maken</b>		



<b>Twintip</b>	X
<b>Surfboard</b>	
<b>Hydrofoil</b>	

<b>Windrichting</b>	<b>256°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>130°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>32 km/uur</b>	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>23°</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>355°</b>	<b>Trekkraft Li Bar</b>	<b>68,7 N</b>
<b>Boordrichting</b>	<b>350°</b>	<b>Trekkraft Re Bar</b>	<b>68,7 N</b>
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>30 km/uur</b>	<b>Trekkraft Powerlijnen</b>	<b>215,8 N</b>
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>25°</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>353,2 N</b>
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019.4 hPa</b>

Thuis in te vallen data:

<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>

<b>Datum</b>	<b>28/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>07</b>
<b>Titel</b>	<b>Fase 2 sprong: vlieger insturen</b>		



<b>Twintip</b>	X
<b>Surfboard</b>	
<b>Hydrofoil</b>	

<b>Windrichting</b>	<b>256°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>&lt;90°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>32</b> km/uur	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>?°</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>355°</b>	<b>Trekkraft Li Bar</b>	<b>49,1</b> N
<b>Boordrichting</b>	<b>350°</b>	<b>Trekkraft Re Bar</b>	<b>68,7</b> N
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>?</b> km/uur	<b>Trekkraft Powerlijnen</b>	<b>210,9</b> N
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>25°</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>328,7</b> N
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019.4</b> hPa

Thuis in te vallen data:

<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>

Datum	28/11/2017	Test nummer	07
Titel	Fase 3 sprong: board upwind sturen		



Twintip	X
Surfboard	
Hydrofoil	

Windrichting	256°	Richting F trek tov Board (0-180°)	190°
Windsnelheid	32 km/uur	Richting F trek in verticale vlak (0-90°)	?°
Vaarrichting	181°	Trekkraft Li Bar	49,1 N
Boordrichting	270°	Trekkraft Re Bar	68,7 N
Vaarsnelheid	? km/uur	Trekkraft Powerlijnen	293,3 N
Hoek board tov waterspiegel	?°	Totaal F trek	411,1 N
Watertemp (°C)	10°C	Barometerdruk	1019.4 hPa

Thuis in te vallen data:

Type Vlieger:	Airush DNA	Maat:	10m <sup>2</sup>
Gewicht kite:	3,2 kg	Gewicht kiter + uitrusting	68,1 kg
Gewicht Bar:	1,2 kg	Gewicht board	3,9 kg

<b>Datum</b>	<b>28/11/2017</b>	<b>Test nummer</b>	<b>07</b>
<b>Titel</b>	<b>Fase 4 sprong: Bar aantrekken en afzet</b>		



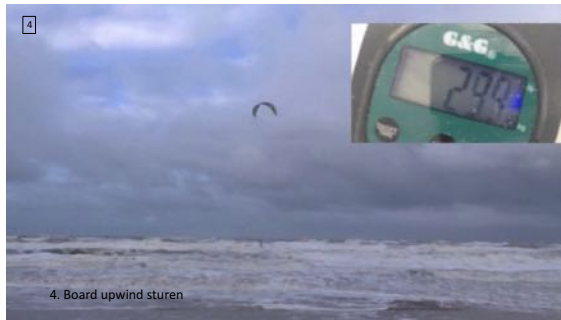
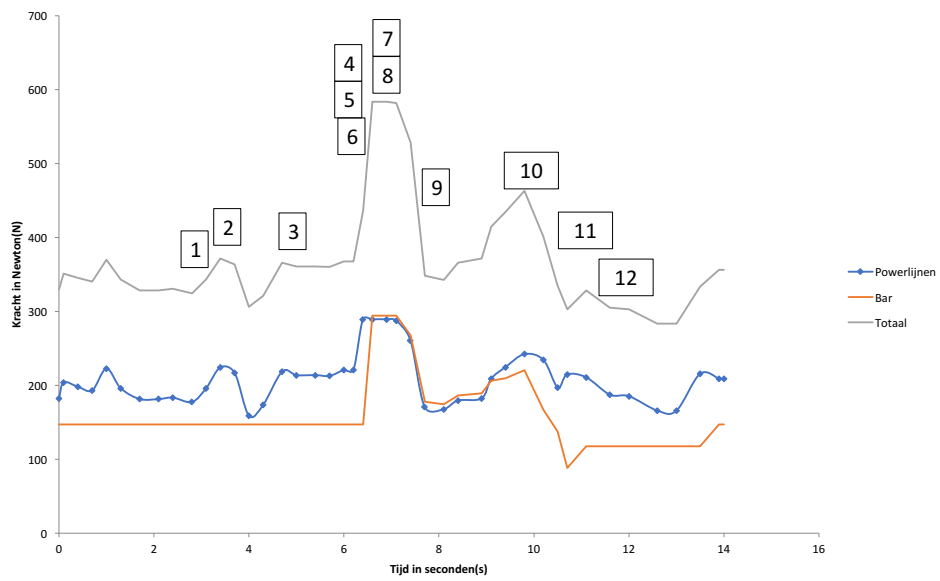
<b>Twintip</b>	X
<b>Surfboard</b>	
<b>Hydrofoil</b>	

<b>Windrichting</b>	<b>256°</b>	<b>Richting F trek tov Board (0-180°)</b>	<b>190°</b>
<b>Windsnelheid</b>	<b>32</b> km/uur	<b>Richting F trek in verticale vlak (0-90°)</b>	<b>?°</b>
<b>Vaarrichting</b>	<b>181°</b>	<b>Trekkraft Li Bar</b>	<b>147,1</b> N
<b>Boordrichting</b>	<b>270°</b>	<b>Trekkraft Re Bar</b>	<b>147,1</b> N
<b>Vaarsnelheid</b>	<b>?</b> km/uur	<b>Trekkraft Powerlijnen</b>	<b>293,3</b> N
<b>Hoek board tov waterspiegel</b>	<b>?°</b>	<b>Totaal F trek</b>	<b>587,5</b> N
<b>Watertemp (°C)</b>	<b>10°C</b>	<b>Barometerdruk</b>	<b>1019.4</b> hPa

Thuis in te vallen data:

<b>Type Vlieger:</b>	<b>Airush DNA</b>	<b>Maat:</b>	<b>10m<sup>2</sup></b>
<b>Gewicht kite:</b>	<b>3,2 kg</b>	<b>Gewicht kiter + uitrusting</b>	<b>68,1 kg</b>
<b>Gewicht Bar:</b>	<b>1,2 kg</b>	<b>Gewicht board</b>	<b>3,9 kg</b>

### Kracht-Tijd diagram: Sprong





## Bijlage 10: Voorbeelden correspondentie

Van: Dean Freedberg  
Onderwerp: Forces from the kite  
Datum: 26 september 2017 14:58:22 CEST  
Aan: Daan@tacticalmedicine.nl

Hey Daan

My name is Dean, I am one of the product designers at Airush and currently involved in the development of the harnesses.

Nice to meet you.

We are actually doing quite a lot of harness development at the moment.

Due to diverse nature of the sport; riding styles, conditions, different types of harnesses etc. there is not a single way to determine the forces of the kite on the rider. Currently in development we do component stress testing to make sure each component can withstand the forces from the kites and the elements in which the gear is subject to.

By the looks of your email address you are heading down the medical engineering path, is this correct?

I would suggest taking 2 harnesses, for example a hardback and a normal waist harness, building in a newton meter into the interior of the harness to determine the forces happening between your body and the actual harness. This is where most of the strain on your body is taking place, not really between the hook and chicken loop as this force is dependent on gusts, kite control and too many other varying factors.

### **To give you an idea of maximum forces.**

- 1) The front lines are designed to 400kg's of force per line.
- 2) The Back lines are designed to take 200kg's of force per line.
- 3) Your spreader hook is designed to take over 300KG's of force when fixed.

I would be interested to hear you findings and let me know what else I could probably help you with.

Cheers

Dean

Please consider the following points:

- a. The range of forces is around the the weight of each kiter...
- b. To choose the best kite size in each condition is quite easy. It is not necessary any instrumentation. What is more problematic is to predict the behaviour of the wind....

In addition, each participant has his/her preferences in terms of lift...

- c. There are two fields of more interest in my opinion in this sport:

The creation of a simulator (we are currently on this and you could join our group..)

The movement analysis. If you want to do some tests together I could provide you with a special garment which includes wearable sensors.

Fransesco

Hi Daan,

Om te beginnen is het een mooie start. Ik weet niet hoe ver je het wilt vereenvoudigen om het nog beheersbaar te maken, maar gezien de hoeveelheid krachten die je meeneemt lijkt me dat je een compleet plaatje wilt schetsen. (Zo compleet heb ik hem overigens nooit gemaakt om mee te rekenen, dus misschien wordt het te lastig als je het zo gedetailleerd wilt hebben).

Even twee dingen die je goed in de gaten moet houden;

### **2d vs 3d**

Je hebt een dwarsdoorsnede gemaakt door de kitesurfer heen (door het sagitale vlak). Dit maakt het lastig, omdat je bijvoorbeeld de bar nu vertikaal getekend hebt, terwijl die eerder horizontaal gebruikt wordt. Dit maakt het ook lastig om het hydrodynamische gedeelte goed uit te tekenen. Precies waar het juist interessant is :).

Voor de kite is het dus ook lastig om voor mij nu precies in te zien wat de richting van FBern en Fw is.

### **Assenstelsel**

Als tweede puntje zou je een assenstelsel in kunnen richten, zodat je het jezelf straks eenvoudiger maakt met rekenen. Omdat het geheel "3d" is en je juist door de hoekverschillen kan verklaren waarom je upwind kan varen bijvoorbeeld, is het uitwerken hiervan al best lastig.

Neem als kracht (of illustreer) ook duidelijk de windrichting.

### **Vereenvoudiging**

Daarnaast zou ik de kitekrachten vereenvoudigen (tenzij je juist hierop wilt focussen). Illustreer de wind, en maak daar een logisch resulterende kracht component van op basis van je observaties en metingen. Begin daarnaast ook met de kite op een vaste positie en stand (relatief ten op zichte van de kiter). Er gebeurt namelijk teveel om dit uit te rekenen en te verklaren.

Korte uitleg waarom; Kite vervormt juist bij het draaien, luchtweerstand is (denk ik) niet significant, Bernoulli krachten uitrekenen van een onbekend en variabel profiel is een flinke klus en misschien ook niet eens zo heel boeiend. Want het is alleen de "lift" component van de vlieger. De meeste kracht van de vlieger die jij op je lijnen voelt is inderdaad het botsen van de lucht op het doek.

Ik hoop dat je hiermee weer een stuk verder komt!

Succes!

Frank



← → 2/11

debondt\_bolletjes render.jpg

|| ✕

Krachtmeet systeem ontworpen door Stijn de Bondt, onderzoeker aan de Universiteit van Antwerpen

## Hoofdstuk 10: Logboek

Datum	Omschrijving	Naam	Gespendeerde tijd
28-12-2017   14:00	Uitwerken deelvraag 2 en verder uitzoeken van foto en filmmateriaal	Daan	4 uur
Reflectie:	Na thuiskomst ben ik verder gegaan met de uitwerking van deelvraag 2 en met het uitzoeken van de foto en filmmateriaal. Het uitzoeken van de filmpjes was deze keer veel makkelijker omdat we er extra op gelet hadden dat de verschillende camera's synchroon liepen. Downloaden en bewerken van het filmmateriaal kost helaas heel veel tijd en ging trager dan dat ik aanvankelijk bedacht had. Ik ben een goed stuk verder gekomen met deelvraag 2		
17-12-2017   15:30	Afronden van pws	Daan	2 uur en 30 min
Reflectie:	Ik heb nog een keer het hele werkstuk van A tot Z bekeken en daarna uitgeprint en in een mooie map gestopt. Ik ben blij dat we net voor de deadline alles goed op papier hebben.		
16-12-2017   10:00	Schrijven van een korte samenvatting en het verder uitwerken van de inhoudsopgave en nummering. Daarnaast gecontroleerd op spellingsfouten.	Daan	8 uur en 30 min
Reflectie:	Nu eindelijk de laatste loodjes. Als het goed is staat nu het alles op papier en kunnen we het werkstuk afmaken en inleveren. We hebben veel film en fotomateriaal en dat is zeer leuk om te kunnen gaan gebruiken bij een presentatie. Ik ben van plan om na het afronden van het werkstuk me verder te verdiepen in deze materie. Hopelijk lukt het op korte termijn een hydrofoil te laten printen, zodat ik in de toekomst ook daar wat onderzoek naar zou kunnen doen. Ik vind het een zeer interessant onderwerp. Stephan van den Berg heeft aangeboden dat we daarvoor een set met vinnen kunnen lenen om deze te laten 3D scannen.		
15-12-2017   16:00	Het maken van het voorwoord en de bijlagen	Daan	4 uur en 30 min

Reflectie:	Vandaag ben ik bezig geweest met een voorwoord te schrijven waarin wij alle mensen bedanken die een bijdrage hebben geleverd aan ons pws. Daarnaast heb ik de Bijlagen met resultaten van het onderzoek afgerond. Nu nog een inhoudsopgave, een samenvatting en nummering. Het schiet nu gelukkig op. Blij dat we bijna klaar zijn, want de deadline is in zicht. Uiteindelijk levert dit laatste stuk toch meer werk op dan dat ik verwacht had.		
13-12-2017   15:30	Contact opgenomen met bedrijf gespecialiseerd in 3D-printen.	Dominic	2 uur en 30 min
Reflectie:	Veel moeite in conversatie met meneer gestoken. Hij verwacht dat de printer die hij gebruikt niet geschikt is voor het model dat is gemaakt door mij. Na aandringen zei hij dat hij toch ging proberen om dit model uit te printen. Daarna niets meer van meneer vernomen.		
10-12-2017   09:00	Model afgemaakt en geperfectioneerd.	Dominic	5 uur en 30 min
Reflectie:	Het model voldoet nu. Het is een schaalmodel van 1:8. Het was een heel leuk proces dit te maken en ik heb ervan genoten.		
10-12-2017   08:00	Eindconclusie geschreven	Daan	5 uur
Reflectie:	Ik heb me vandaag beziggehouden met het schrijven van een eindconclusie en ik heb normaal bekeken in de handleiding behorende bij het profielwerkstuk, wat voor eisen daaraan gesteld worden. Ik heb verder een hoofdstuk geschreven over discussie en reflectie. Dat laatste vind ik erg leuk omdat ik naar aanleiding van de ideeën opgedaan bij het maken van het pws nieuwe onderwerpen en vragen heb bedacht die ik graag in de toekomst nog eens wil bekijken. Ik kreeg verder van Sjoerd de Bruijn van de VU bewegingswetenschappen feedback op onze visie op het krachtenplaatje. Helaas heeft hij voor de kerst geen tijd meer om er uitgebreid naar te kijken, maar zijn eerste indruk was goed. Daar ben ik blij om.		
09-12-2017   15:00	Aanpassingen maken aan deelvraag 3	Daan	3 uur en 30 min
Reflectie:	Ik ben vandaag een aantal uren bezig geweest met het aanpassen van deelvraag 3: krachtsverhoudingen en het schrijven van verwachtingen, resultaten en conclusie.		
06-12-2017   16:00	Deelvraag 3 afgemaakt	Dominic	6 uur

Reflectie:	Ging erg goed, verschillende boarden vergeleken		
05-12-2017   19:00	Aan deelvraag 3 gewerkt	Dominic	4 uur
Reflectie:	Ging erg goed, bijna klaar met het schrijven van de deelvraag. Proberen het board te produceren.		
03-12-2017   10:00	Uitwerken deelvraag 2 en grafieken voor klein deel aangepast	Daan	4 uur
Reflectie:	Ik ben vandaag bezig geweest met het verder uitwerken van deelvraag 2 en heb deze af kunnen ronden. Ik heb de grafieken van Dominic hier en daar nog iets aangepast en opgenomen in het hoofdstuk. Het schiet nu lekker op. Er gaat meer werk in zitten dan dat ik aanvankelijk had gedacht. Niet erg, want ik vind het enorm interessant.		
02-12-2017   10:00	Grafieken gemaakt van de gemeten resultaten tijdens het varen.	Dominic	4 uur en 30 min
Reflectie:	Was best pittig, er moesten veel momenten die geregistreerd waren op de video omgezet worden in een grafiek. Dit kostte meer tijd dan afhankelijk gedacht. Uiteindelijk wel gelukt		
30-11-2017   12:00	Gewerkt aan deelvraag, onderscheid gemaakt tussen de krachten bij verschillende boards en hoe dit werkt.	Dominic	1 uur
Reflectie:	Gaat prima, zit wel veel tijd in denktijd hoe je een duidelijk werkstuk maakt.		
30-11-2017   08:30	Gestuurde stukken van Daan in document gezet, globaal gekeken naar eventuele typfouten en deze verbeterd.	Dominic	2 uur en 30 min
Reflectie:	Ging prima, zoals het er nu uitziet hebben we alle deelvragen voor het eind van de week af, en kunnen we ons daarna focussen op de conclusie, voorwoord etc.		
28-11-2017   15:30	Deelvraag 3: 'hoe verhoudt zich de krachtbelasting tussen de disciplines twin-tip/surfboard/hydrofoil', hierover zijn de verwachtingen geschreven en de inleiding van de deelvraag.	Dominic	3 uur
Reflectie:	Ging best goed, Daan zet de dag erop alle resultaten op een usb stick zodat ik deze kan verwerken in het onderzoek.		
28-11-2017   09:00	Metingen gedaan op het strand: Hierbij is de krachtmeter real-time gefilmd naast de bewegingen van Daan op het water. Ook zijn de krachten op de bar gemeten en zijn er foto's gemaakt om bepaalde processen te verduidelijken.	Dominic	5 uur

Reflectie:	Ging onwijs goed, alles was goed voorbereid en uitgevoerd. Valt eigenlijk niks negatiefs over te zeggen.		
28-11-2017   09:00	2e keer metingen verricht op strand samen met Dominic	Daan	4 uur
Reflectie:	Vanochtend Dominic opgehaald om samen metingen te gaan doen op het strand. Het waaide iets minder en dus hebben we met een grotere vlieger gevaren. Het lukte gelukkig om de nog ontbrekende data te verkrijgen. Hier was ik erg blij mee, want nu zijn we niet meer afhankelijk van de weersverwachting en kunnen we het pws gaan afmaken. Pak van mijn hart.		
26-11-2017   16:00	Start gemaakt met uitwerking van deelvraag 2: krachtbelasting	Daan	4 uur
Reflectie:	Ik ben direct in de middag begonnen met een start te maken met de uitwerking van de deelvraag 2. Verder ben ik bezig geweest met het uitzoeken van foto en filmmateriaal. Dit was erg lastig omdat de camera's waarmee we filmde voor een deel niet geheel synchroon hadden gelopen. Door het bestuderen van de beelden is het gelukt om de krachtdata synchroon te laten lopen met de filmbeelden van het kitesurfen.		
26-11-2017   10:30	Metingen gedaan aan het strand waarbij veel informatie gewonnen is.	Daan	4 uur en 30 min
Reflectie:	Vandaag ben ik met familie naar het strand gegaan om metingen te doen. Het was heel koud en de wind was helaas de hele week al erg vlagerig. De windverwachting is niet goed en we komen in tijdnood als we nu niet gaan meten. Vandaar dat we geprobeerd hebben om de meeste metingen te gaan doen. We liepen er tegenaan dat er erg veel tegelijkertijd gemeten moet worden. Helaas bleek bij thuiskomst dat de krachtmeter tijdens de waterstart en de sprong niet goed geregistreerd had. Verder wel veel bruikbare informatie mee naar huis genomen en het zal heel veel werk opleveren om de krachtmetingen en de filmbeelden uit te zoeken en te synchroniseren. Ik ben in ieder geval blij dat we nu de eerste data binnen hebben en ik een start kan maken met het uitwerken van deelvraag 2: krachtbelasting.		
25-11-2017   15:30	Geschreven aan profielwerkstuk, proberen zo veel mogelijk in één document te zetten.	Dominic	3 uur en 30 min

Reflectie:	Ging best goed, nu wachten tot de metingen zijn gedaan en dan kunnen de overige deelvragen ook worden gemaakt.		
16-11-2017   13:30	Verder geschreven aan deelvraag 3 voorafgaand aan gesprek met anthoni	Dominic	1 uur
Reflectie:	gaat prima		
16-11-2017   11:30	Schrijven van aanpak 3d printen	Dominic	1 uur en 30 min
Reflectie:	Het ging goed, probeer contact te leggen met 3d print bedrijven		
16-11-2017   09:00	verder schrijven deelvraag 3	Dominic	2 uur
Reflectie:	Niet te moeilijk, beginnen met schetsen erin te zetten		
16-11-2017   07:30	Verder schrijven deelvraag 3	Dominic	1 uur
Reflectie:	Duidelijk de voorbereiding geschreven		
15-11-2017   16:00	Verder schrijven aan deelvraag 3	Dominic	3 uur en 30 min
Reflectie:	Wel goed te doen, beetje zoekend naar de juiste structuur		
13-11-2017   19:00	Geprobeerd te formuleren hoe een hydrofoilboard werkt in deelvraag 3.	Dominic	3 uur
Reflectie:	Dit was erg lastig, en ik heb besloten hulp in te schakelen van mr. Loermans om de twee belangrijke vergelijkingen te verduidelijken.		
12-11-2017   08:30	Verder schrijven deelvraag 3: hoe maak je een kiteboard. In dit stuk gefocust op wat het plan is met betrekking tot het board maken.	Dominic	3 uur
Reflectie:	Creëerde overzicht over wat er al is gedaan.		
11-11-2017   09:00	Schrijven deelvraag 3: hoe maak je een kitesurfboard.	Dominic	3 uur en 30 min
Reflectie:	Smooth as butter		
10-11-2017   16:00	Opzet werkstuk gemaakt waarin alle bestanden kunnen worden geplaatst, samen met voorblad al een opmaak bepaald. Hierdoor kan alles er zo in worden gezet, met uiteraard wat bijschaven	Dominic	2 uur
Reflectie:	Voor de opmaak is gekozen voor een simpel en duidelijke lettertype en voorblad.		
27-10-2017   09:30	Mensen gevraagd en zelf goed nagedacht over hoe de krachtmeter nu geplaatst moet worden. Hij is vervolgens geplaatst tussen de bar en de vlieger waarbij een stuk van de powerlijnen is weggehaald. Voor dit stuk lijn is de krachtmeter in de plaats gekomen.	Daan	1 uur en 30 min
Reflectie:	Ging erg goed. Dit zou moeten lukken. Het enige probleem is dat er nog geen manieren zijn om de barkrachten ook goed te meten.		

25-10-2017   14:30	Het krachtsysteem getest op het land. Verder de krachten gemeten aan een paal om een beetje een idee te krijgen wat de krachten zouden kunnen worden. Verder veel foto's gemaakt van dit proces.	Daan	2 uur
Reflectie:	Het was niet erg geslaagd omdat ik niet goed bij de bar (het stuur) kwam en hierdoor de vlieger dus niet goed kon sturen. Hierdoor was de bar steeds aangetrokken en hierdoor stalde hij steeds. Daarom moet er nu een andere manier gevonden worden om de krachtmeter te plaatsen en goed te kunnen sturen.		
21-10-2017   13:00	Ik ben bezig geweest met het inbouwen van de krachtmeter achter de bar. Het systeem moet nu eerst worden getest op het land om te kijken of het werkt.	Daan	1 uur
Reflectie:	Het vastmaken van de krachtmeter was niet erg moeilijk. Wel was het moeilijk om de krachtmeter goed waterdicht te maken.		
15-10-2017   14:30	Na bespreking van bevindingen van Daan, die gebundeld waren in een map, een duidelijke opzet gemaakt van het werkstuk. Nu duidelijk een opbouw van het werkstuk, namelijk in drie deelvragen: -De werking van alle krachten op zowel de kitesurfer als de kitevlieger en de toepassing hiervan. *De Theorie* -De praktische waardes van deze krachten na metingen op het strand dmv een krachtmeter tussen pak en vlieger. *De Praktijk* -De toepassing van deze bevindingen in de vorm van het maken van een 3d geprint board. *De Toepassing*	Dominic	2 uur en 30 min
Reflectie:	Deze samenkomst was erg rustgevend in mijn hoofd, omdat ik nu duidelijk weet waar we aan toe zijn. Bovendien is het fijn om te zien dat er nu een definitieve structuur in het geheel zit, die ook echt toegepast kan worden. Complimenten naar Daan voor zijn nu al diepgaande onderzoek.		
15-10-2017   14:00	Afgesproken met Dominic om af te stemmen	Daan	2 uur en 30 min
Reflectie:	Ik heb samen met Dominic afgesproken, waarbij wij alle deelvragen nog een keer hebben doorgenomen en hierbij heb ik het hele krachtenspel aan hem uitgelegd zodat we van elkaar op de hoogte zijn wat we schrijven en hoe. Dit was erg verhelderend.		

09-10-2017   12:00	Vragen gesteld over deelvraag 1: Het krachtenspel in het daltonuur bij meneer Loermans	Daan	30 min
Reflectie:	Ik heb in het daltonuur gevraagd aan meneer Loermans over deelvraag 1. Hierbij heb ik gevraagd of alle krachten goed getekend waren en hoe de krachten ontbonden moesten worden. De krachten waren gelukkig goed getekend en het ontbinden kon op verschillende manieren.		
08-10-2017   08:30	Afsluiting schrijven deelvraag 1: het varen in andere richting dan richting van de trekkracht die de kite op de kiter uitoefent en het maken van sprongen.	Daan	9 uur
Reflectie:	Ik heb de krachtmeter getest in de tuin en heb de werk armen gemeten om te bekijken of de formules kloppen. Ik heb hiervan foto's gemaakt om op te kunnen nemen in het pws. Daarna heb ik laatste 2 paragrafen geschreven van de eerste deelvraag. Vooral het stukje over springen vond ik super interessant. Hier komen bijna alle aspecten die te maken hebben met kracht, snelheid en balans aan de orde. Mijn bedoeling is om met het meetsysteem sprongen te gaan maken waarbij we alle fasen van een sprong en de bijbehorende krachten in beeld kunnen brengen. Ik heb via Frank Schoenmaker een tip gekregen dat er op internet 1 filmpje is terug te vinden van firma Mutiny waarop krachtmeting met behulp van analoge meters te zien is tijdens het varen. Ik ben blij dat het uitwerken van deze zeer uitgebreide deelvraag nu afgerond is.		
07-10-2017   09:00	Voortgang uitwerken deelvraag 1: de balanskrachten	Daan	9 uur
Reflectie:	Het is meer werk dan ik mij bij voorbaat had bedacht. Ik ben nu bezig geweest met de krachten die ervoor zorgen dat een kitesurfer tijdens het varen in balans blijft. Dit is een vrij complexe materie. Het is zeer moeilijk om precieze aangrijpingspunten van de verschillende krachtvectoren te beschrijven. Dit maakt dat ik veel moest opzoeken en navragen om een duidelijk beeld te krijgen.		
06-10-2017   15:00	Uitwerken deelvraag 1: voortgang tekstschrijven over benodigde trekkracht om te varen.	Daan	4 uur

Reflectie:	Ik heb mij op deze vrijdag beziggehouden met het uitwerken van de nodige trekkracht om te varen. Ik merk dat er in het uitwerken van deelvraag 1 heel veel tijd gaat zitten. Dit komt omdat hier de hele theoretische onderbouwing op een begrijpelijke wijze moet worden beschreven voor de lezer van dit PWS. Ik vind dit onderwerp zeer interessant, echter ik kijk al met veel zin uit naar het gaan verzamelen van meetgegevens op zee.		
05-10-2017   19:00	Uitwerken deelvraag 1;	Daan	3 uur en 30 min
Reflectie:	Ik heb de informatie over de krachtbron "de vlieger" uitgewerkt. Ik vond het erg leuk om meer te leren over de werking van de vlieger. Ik heb mij daar ondanks dat kitesurfen mijn grote hobby is, nooit eerder in verdiept. Het is erg interessant en ik snap nu een aantal zaken die tijdens het kiten gebeuren. Het is erg leuk om bezig te zijn met mijn hobby en de verklaring van hoe kitesurfen precies werkt. Ik ben er 's avonds lang mee doorgegaan uit interesse.		
03-10-2017   16:00	Begonnen met het uitwerken/ schrijven van deelvraag 1: het krachtenspel	Daan	5 uur en 30 min
Reflectie:	Ik ben begonnen met het uitwerken van "de wind". Ik heb gepoogd om de tekst voor iedere lezer zo pakkend mogelijk op te schrijven en heb duidelijke afbeeldingen gezocht bij de tekst. Voor het schrijven van dit stuk moest ik mij extra verdiepen in de werking van de ware wind, vaarwind en schijnbare wind. Hiervoor heb ik gebruik gemaakt van een aantal boeken en informatie op websites. Dit ging lekker, maar was wel erg tijdrovend.		
28-09-2017   16:30	Nagedacht over de opzet van het pws en veel informatie opgezocht op internet. Wat opvalt is dat het moeilijk is om er veel over te schrijven en dat de maak van de hydrofoil erg dur kan worden. Hierdoor is er verder nagedacht over de natuurkundige werking van het kitesurfen zelf en zijn hier deelvragen over bedacht.	Daan	2 uur en 30 min
Reflectie:	Ging erg goed, nieuwe deelvragen zijn naar mijn mening interessant en er is veel over te schrijven.		

28-08-2017   12:00	Begonnen met opzet. Eerste stappen richting contact met Stefan vd Berg. Begonnen met opzetten vragenlijst voor Stefan. Globaal inlezen in verschillende boarden.	Dominic	3 uur
Reflectie:	Ging best goed, is nu even afwachten hoe het uitpakt		
28-08-2017   12:00	Begonnen met opzet. Eerste stappen richting contact met Stefan vd Berg. Begonnen met opzetten vragenlijst voor Stefan. Globaal inlezen in verschillende boarden.	Daan	3 uur
Reflectie:	Ik heb gebruik gemaakt van een handig leerboek over kitesurfen waar erg veel instond over alle type boards en hier was ik dus ook erg blij mee. De vragenlijst was nog best moeilijk te maken.		
20-09-2017   08:30	Interview Stephan vd Berg. Opties besproken mbt vorm en materialen. Samples laten zien + productieproces.  Thuis alles uitgewerkt en besproken	Daan	7 uur
Reflectie:	Veel duidelijkheid gekregen. Er is erg veel uitgelegd door Stephan.		
20-09-2017   08:30	Interview Stephan vd Berg. Opties besproken mbt vorm en materialen. Samples laten zien + productieproces.  Thuis alles uitgewerkt en besproken.	Dominic	7 uur
Reflectie:	Ging eigenlijk heel goed, VD Berg was erg behulpzaam en wist veel over zijn sport te vertellen. Fijn van de vader van Daan dat hij ons kon brengen.		
17-09-2017   11:30	Stephan van den Berg vragenlijst afgemaakt. Verder alle krachten ontbonden en veel informatie over de natuurkundige werking op internet gezocht. Nagedacht over wat de grootste kracht is op het board: waterstart, upwind, landen sprong.	Daan	3 uur en 30 min
Reflectie:	Uit ervaringen werd al verwacht dat de grootste trekkracht ontstond bij een sprong. Dit was echter moeilijk te verwoorden.		
16-09-2017   09:00	Literatuur bestuderen en het nadenken over het plan van aanpak.	Daan	8 uur en 30 min

Reflectie:	Ik ben vandaag doorgegaan met het bestuderen van de leerboeken. Via een Zweedse onderzoeker die een artikel heeft geschreven over kitesurfen heb ik nog wat informatie kunnen krijgen over het meten van krachten die door de kite worden uitgeoefend op de kitesurfer.		
09-09-2017   10:30	Vragenlijst afgemaakt en datum afgesproken met Stephan.	Dominic	1 uur
Reflectie:	Ging voorspoedig, Stephan is erg supportive en vindt het idee leuk.		
09-09-2017   10:30	Vragenlijst afgemaakt, datum afgesproken met Stephan om hem te bezoeken, natuurlijke werking hydrofoil opgezocht.	Daan	1 uur
Reflectie:	Over de telefoon gesproken met Stephan van den Berg. Hij maakte een aardige indruk en wilde ons graag helpen en daar zijn we daarom ook erg blij mee.		
06-09-2017   08:30	Inleiding schrijven, opzet van het werkstuk, vragenlijst Stephan van den Berg	Daan	6 uur
Reflectie:	Er is uitgelegd wat kitesurfen precies is en dit is nog moeilijker te verwoorden dan verwacht. Daarom is er al uitgelegd aan de hand van afbeeldingen zodat de lezer een beter beeld krijgt.		
06-09-2017   08:30	Inleiding schrijven, opzet van het werkstuk, vragenlijst Stephan van den Berg	Dominic	6 uur
Reflectie:	Ging wel goed, inleiding was nog lastig omdat er ook informatie in moet die de proef inleidt. Dit moet nog worden gedaan dus hier werd beetje tegen aangelopen. Vragenlijst ging wel goed, we hebben nu ruimte in ons hoofd voor het interview.		
03-09-2017   08:30	Literatuur zoeken, contacten leggen. Veel gebruik gemaakt van leerboeken en websites.	Daan	9 uur
Reflectie:	Ik heb een aantal leerboeken gevonden over dit onderwerp en ben deze gaan bestuderen over wat er bekend is over het onderwerp wat wij voor ogen hadden. Ik heb contact kunnen leggen met een aantal mensen met specifieke kennis op dit gebied. Dit heeft veel helderheid gebracht bij het afperken van het onderwerp en bij bekijken hoe we tot een krachtmeet systeem zouden kunnen komen, wat werkzaam is tijdens vaar manoeuvres.		

28-08-2017   12:00	Begonnen met opzet. Eerste stappen richting contact met Stefan vd Berg. Begonnen met opzetten vragenlijst voor Stefan. Globaal inlezen in verschillende boarden.	Dominic	3 uur
Reflectie:	Ging best goed, is nu even afwachten hoe het uitpakt		
28-08-2017   12:00	Begonnen met opzet. Eerste stappen richting contact met Stefan vd Berg. Begonnen met opzetten vragenlijst voor Stefan. Globaal inlezen in verschillende boarden.	Daan	3 uur
Reflectie:	Ik heb gebruik gemaakt van een handig leerboek over kitesurfen waar erg veel instond over alle type boards en hier was ik dus ook erg blij mee. De vragenlijst was nog best moeilijk te maken.		
13-07-2017   11:00	Plan van aanpak schrijven -Tijdspad -Taakverdeling -Hoofdvragen + voorlopige dv -Oriëntatie op bronnen	Dominic	2 uur en 30 min
Reflectie:	Dit ging er voortvarend, hoop dat we bij de planning blijven en dit project goed afronden.		
13-07-2017   11:00	Plan van aanpak schrijven -Tijdspad -Taakverdeling -Hoofdvragen + voorlopige dv -Oriëntatie op bronnen	Daan	2 uur en 30 min
Reflectie:	Het is erg handig om een tijdspad met taakverdeling te maken zodat we goede afspraken hebben wanneer wat afgemaakt moet zijn.		
12-05-2017   13:00	Deelvragen beter formuleren. Hoofdvraag en deelvragen laten zien.	Dominic	1 uur en 30 min
Reflectie:	Is erg tegengevallen om tot een goede formulering te komen van deelvragen, gelukkig worden we goed geholpen door begeleiders.		
12-05-2017   13:00	Deelvragen beter formuleren. Hoofdvraag en deelvragen laten zien.	Daan	1 uur en 30 min
Reflectie:	Hoofd en deelvragen zijn grotendeels bedacht en daar ben ik erg blij mee.		
10-05-2017   12:00	Info opzoeken en onderzoeksvraag bedenken.	Dominic	2 uur en 30 min

Reflectie:	Ging vlot, maar blijft lastig om tot een echt goed idee te komen.		
10-05-2017   12:00	Info opzoeken en onderzoeksvraag bedenken.	Daan	2 uur en 30 min
Reflectie:	Het is erg lastig om een goede onderzoeksvraag te bedenken met passende deelvragen		
09-05-2017   09:00	Vorbereiding PWS dmv voorlichtingen van docenten. Dhr Lingbeek heeft uitgelegd waaruit het PWS bestaat en hoe je eraan moet werken, dhr Klaver heeft oude profielwerkstukken gegeven om te laten zien hoe dit nagekeken wordt en waar de meeste fouten in worden gemaakt en dhr Anthoni heeft laten zien wat voor verschillende onderzoeken je kan doen.	Daan	4 uur en 30 min
Reflectie:	Het is leerzaam en vermakend.		
09-05-2017   09:00	Vorbereiding PWS dmv voorlichtingen van docenten. Dhr Lingbeek heeft uitgelegd waaruit het PWS bestaat en hoe je eraan moet werken, dhr Klaver heeft oude profielwerkstukken gegeven om te laten zien hoe dit nagekeken wordt en waar de meeste fouten in worden gemaakt en dhr Anthoni heeft laten zien wat voor verschillende onderzoeken je kan doen.	Dominic	4 uur en 30 min
Reflectie:	Fijn dat dit werd uitgelegd, heb erg veel aan Klaver, Lingbeek en Anthoni gehad		
09-03-2017   11:00	Presentaties bekeken 6vwo leerlingen die net hun PWS afhadden.	Dominic	2 uur en 30 min
Reflectie:	Ik ben blij met de tips die we gekregen hebben		
<b>Totale gependeerde tijd:</b>		<b>Daan</b>	<b>134 uur en 30 min</b>
		<b>Dominic</b>	<b>91 uur</b>