



Onder water speuren naar blauwalg, terroristen en zeemijnen. Een koud kunstje voor de robotrog die studenten luchtvaart- en ruimtevaarttechniek (L&R) ontwikkelen.

\*MAAIKE MULLER

"Dit is ons beestje", zegt L&R-student Alwin Wilken. Hij wijst in de grote kist die hij net heeft geopend. Erin ligt een glimmend zwart gevaarte met een blauw rokje aan. De robotrog.

"Het is een op de natuur geïnspireerd onderwater-sensorplatform", vertelt Wilken. Hij is een van de studenten die Galatea, zoals de robotrog heet, ontwikkelden. In de buik van de robot kunnen sensoren worden geplaatst om onder water te speuren naar bijvoorbeeld mijnen.

Voor de voortbeweging stapten de ontwerpers af van de standaard voortstuwing door propellers. Zoals een rog zwemt door rustig met de zijkanen van zijn platte lichaam te golven, zo moet ook de robotrog vooruit. Of, zoals Wilkens teamgenoot Remco Jutte het verwoordt: "Hij duwt met een golfbeweging water naar achteren, waardoor hij zelf naar voren beweegt."

Het prototype van het achtkoppige studententeam heeft zijn eerste zwemlessen inmiddels gehad. "Eerst ging hij nog af en toe scheef", vertelt Jutte. "Maar door op de juiste plekken lood in de romp te leggen, kan hij nu goed recht zwemmen." Vóór de eerste duik in de sleeptank van maritieme techniek, hadden de studenten er al anderhalf jaar denk- en testwerk op zitten.

## Goud

"Onderwaterrobots zijn hot", zegt aard-observatieprofessor Dick Simons van L&R. Daarom gaf hij in 2007, samen met universitair docent Hans van der Marel, twee groepen studenten de opdracht een havenbewakingssysteem te ontwerpen. Dat systeem moest bestaan uit een zwerm autonome, onbemande onderzeebootjes die allemaal een klein stukje haven bekijken en hun informatie naar een boei sturen. Op de kant krijgt iemand met de informatie van de boeien een beeld van de hele haven. "Ieder robotje afzonderlijk kan niet zoveel, maar met zijn allen kunnen ze een haven beschermen tegen terroristen."

Hij vond het concept van een groep studenten interessant. Hij wijst op een tekening van een wat logge voorloper van Galatea. "Die rog kan op de bodem gaan liggen om energie te sparen. Waar een propeller al snel aan troep of waterplanten zou blijven hangen, wappert de robot twee keer met zijn vinnen en hij kan weer zwemmen." Simons ging kijken of hij een team bij elkaar kon krijgen om een robot te gaan maken. Het idee van havenbeveiliging liet hij even links liggen; dan was

een hele zwerm nodig. "Met eentje kun je al goed uit de voeten", aldus Simons. "Ik dacht goud in handen te hebben. En daar zijn we nu dichtbij, denk ik."

Met zijn snelheid van een tot twee meter per seconde wint de robotrog het niet van bestaande onderwaterrobots. Maar hij heeft grote voordelen, vertellen Jutte en Wilken. Ze laten een film-pje zien van Galatea waarop hij rustig en stabiel door het water zweeft. "Dat is precies wat hem nuttig maakt voor inspecties onder water", zegt Wilken. "Bovendien is hij heel wendbaar. Hij zwemt zonder problemen een rondje om zijn as."

## Lege doos

Die eigenschappen maken dat de Koninklijke Marine, Rijkswaterstaat en Fugro al interesse toonden in Galatea. "Het aantal toepassingen is enorm", zegt Simons. De robotrog moet een 'lege doos' worden, waar verschillende sensoren in kunnen. "Een simpele camera, een sonarsysteem of een chemische sensor bijvoorbeeld", somt Simons op. "Inspecties die nu met schepen vol dure apparatuur en bemanning worden uitgevoerd, kunnen straks wellicht een stuk goedkoper en efficiënter met onze robots."

Met de geluidsgolven van een sonar kan de robotrog de Marine helpen bij de opsporing van de vele zeemijnen die na de Tweede Wereldoorlog op de bodem

van de Noordzee zijn blijven liggen. Ook kan hij met sonar de bodem van een rivier in kaart brengen. Zo weet Rijkswaterstaat waar ze moet baggeren om de rivieren bevaarbaar te houden.

"En de visserij heeft interesse", zegt Simons. "Je kunt uit de eigenschappen van de waterbodem afleiden waar bepaalde vissen hun habitat hebben."

Een robotrog met een chemische sensor kan voor Rijkswaterstaat de groei van blauwalg in zomerse recreatieplassen in kaart brengen. En met een camera kan hij driehonderd meter onder de zeespiegel pijpleidingen inspecteren voor Fugro. "Ik kreeg onlangs ook een telefoontje van de douane of de robotrog niet zou kunnen helpen drugs op te sporen. Die zitten soms aan de buitenkant van een boot geplakt", voegt Simons toe.

Simons zoekt een financier om Galatea komend jaar voor één van de vele toepassingen werkend te krijgen. "Als we dat bewijzen, kunnen we de markt op." De studenten van het Galatea-team denken na over het opzetten van een bedrijf om de robotrog straks te verkopen. Maar ze moeten nog veel testen en onderzoeken voordat hun eerste prototype een verkoopbare rog wordt.

# ROBOTROG ALS SPEURHOND

## Constructie van de romp

De rompvorm **1** is gebaseerd op het rolroer van een vliegtuig. Deze vleugelvorm combineert een lage weerstand in water met voldoende ruimte in de romp om alle subsystemen en sensoren kwijt te kunnen. De romp is gemaakt van vezelversterkte kunststof (glasvezel met epoxyhars) rondom een kern van PVC-schuim.

## Lood op de bodem

De lichtgewicht romp met een volume van 65 liter maakt het mogelijk dat de robot zware sensoren kan dragen en toch onder water blijft zweven. In het huidige prototype zonder sensoren is het laadvermogen gecompenseerd door 12 kg lood **2** op de bodem te leggen. Het lood brengt de robot precies in balans zodat hij keurig rechttuit kan zwemmen.

## Sturen met vinnen

Door de frequentie of amplitude van de golven in de vinnen te variëren, ontstaat een ongelijke stuwkracht **3** waardoor de robotrog een gekromde baan maakt **4**. Door de stuwkrachten tegengesteld te maken (de ene golf vooruit, de andere golf achteruit), draait de rog op zijn plaats rond.

## Galatea

De onderwaterrobot is vernoemd naar een zeenimf uit de Griekse mythologie. Galatea was de dochter van de zeegod Nereus.

## Staartvlakken

De staartvlakken zijn niet bedoeld voor de voortstuwing maar functioneren als roer. Door de stand van beide vlakken te veranderen, duikt de robotrog naar de bodem of naar het wateroppervlak **5**. Een ongelijke stand van de vlakken zorgt dat de rog om zijn lengteas gaat rollen **6**. De staartvlakken moeten relatief groot zijn omdat de opgewekte stuurkracht evenredig is met het oppervlak en het kwadraat van de (lage) voortbewegingssnelheid. Elk staartvlak wordt individueel aangedreven door een aparte servomotor **7**.

## Vervolgonderzoek

Galatea is een succesvol 'proof of concept' gebleken. De studenten richten zich nu op analyse van de stroming rond de vinnen, om de voortstuwing te optimaliseren. Dat doen ze met computermodellen en windtunneltesten. Verder moet de robot autonoom een voorgeprogrammeerde baan kunnen afleggen en zijn al diverse constructieve verbeteringen bedacht. Zo wordt elke ribbe van de vin nu nog aangedreven door een aparte servomotor. Door één servomotor te gebruiken die via een nokkenas alle ribben aandrijft, kan de motorefficiëntie aanzienlijk worden verbeterd.

## Controle op afstand

Een controller **8** zorgt voor communicatie met de piloot op de kant en regelt de aansturing van de servomotoren. De data-uitwisseling met de piloot verloopt via een kabel of een draadloos modem **9**. Dit modem bestaat uit twee spoelen rondom een staaf **10** die als ontvanger fungeert (12 kg per staaf), een ring **11** als zender (2 kg) en een elektronica-eenheid. Omdat het onderwatermodem zwaar en groot is en de signaaloverdracht slecht en traag verloopt (2,5 s vertraging tussen zenden en ontvangst) wordt nog niet draadloos gesteld.

## Onderwaterinspectie

Een camera in de neus van Galatea kan de zeebodem inspecteren, bijvoorbeeld de ligging van kabels of controleren dat er geen pakketten drugs worden gesmokkeld aan de buitenkant van een scheepsromp.

## 'Hij zwemt zonder problemen een rondje om zijn as'

## Zwembeweging van een rog

Aan beide kanten van de robotrog liggen zeventien servomotoren **13** (hoeksnelheid 300 graden/s, maximale statische belasting 2,4 Nm) die samen een vin (63 cm x 10 cm) aandrijven. Elke motor zwaait tussen twee uiterste posities heen en weer en drijft zo een arm **14** aan die buiten de robot een zwaaiende beweging maakt. De 17 armen bewegen zo na elkaar dat een sinusvormige golf naar achter (of naar voren) loopt. De armen zijn met elkaar verbonden door een katoenen vin **15**. Als de vin met de golfbeweging een watermassa naar achteren duwt, beweegt de robot naar voren. De robot zet zich af tegen het water **16**. Als de sinusgolf naar voren loopt, beweegt de robot naar achteren.

## Maximale voortstuwingskracht **16**

Uit een statische krachtmeting blijkt dat de grootste voortstuwingskracht wordt opgewekt als de golfvorm in de vin 1,5 sinus omvat. De voortstuwingskracht stijgt als de amplitude van de vin toeneemt. Bij een zwaai-frequentie van circa 1 Hz (maximale zwaaihoek veertig graden), is de totale voortstuwingskracht van de robot 2 N.

## Wervelingen

In de watermassa tussen de vinnen ontstaat een draaiende beweging. Aan het einde van de vin wordt deze werveling **17** ('vortex') voor een extra afzetkracht. Zulke wervelingen (door drukverschillen rondom de bewegende vin) ontstaan ook aan de zijkanen van de vin, maar de resulterende krachten heffen elkaar op over de totale lengte van de vin.

## Zijwaarts

Een vlakke klapperende vin zorgt dat de rog opzij beweegt.

## Galatea Prototype

**Afmetingen LxBxH**  
120 x 80 x 18 cm

**Volume**  
65 liter

**Topsnelheid**  
30 - 40 cm/s

## Batterijen **12**

De servomotoren worden van elektriciteit voorzien door zes batterjeeenheden (totale capaciteit 540 Wh). Het verbruikte motorvermogen (bij een snelheid van 30/40 cm/s) is circa 240 Watt. De batterijen gaan circa vijf uur mee.

## Testen waterkwaliteit

Een robotrog met een chemische sensor kan voor Rijkswaterstaat de groei van blauwalg in zomerse recreatieplassen in kaart brengen.