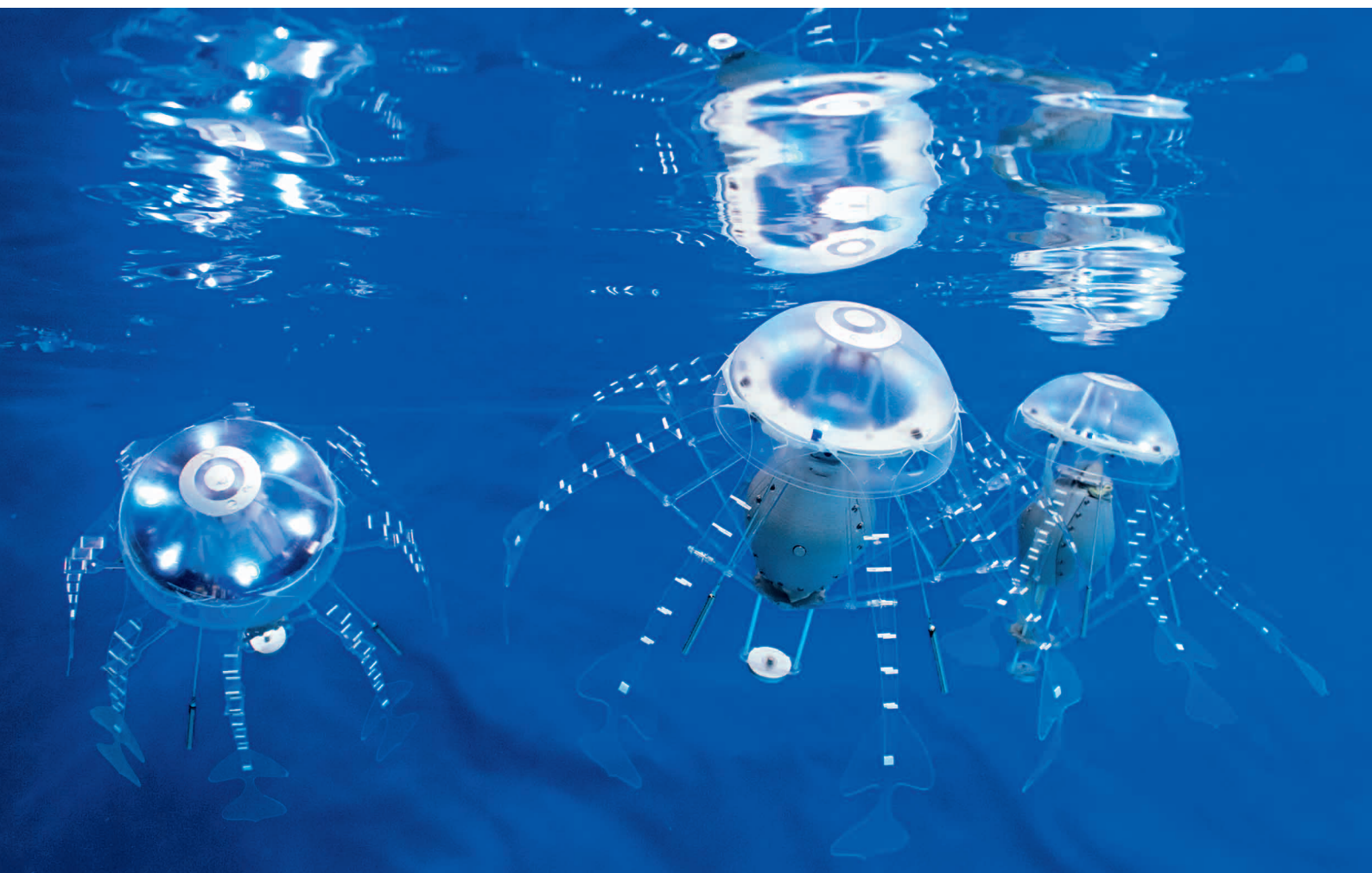


Aquajelly

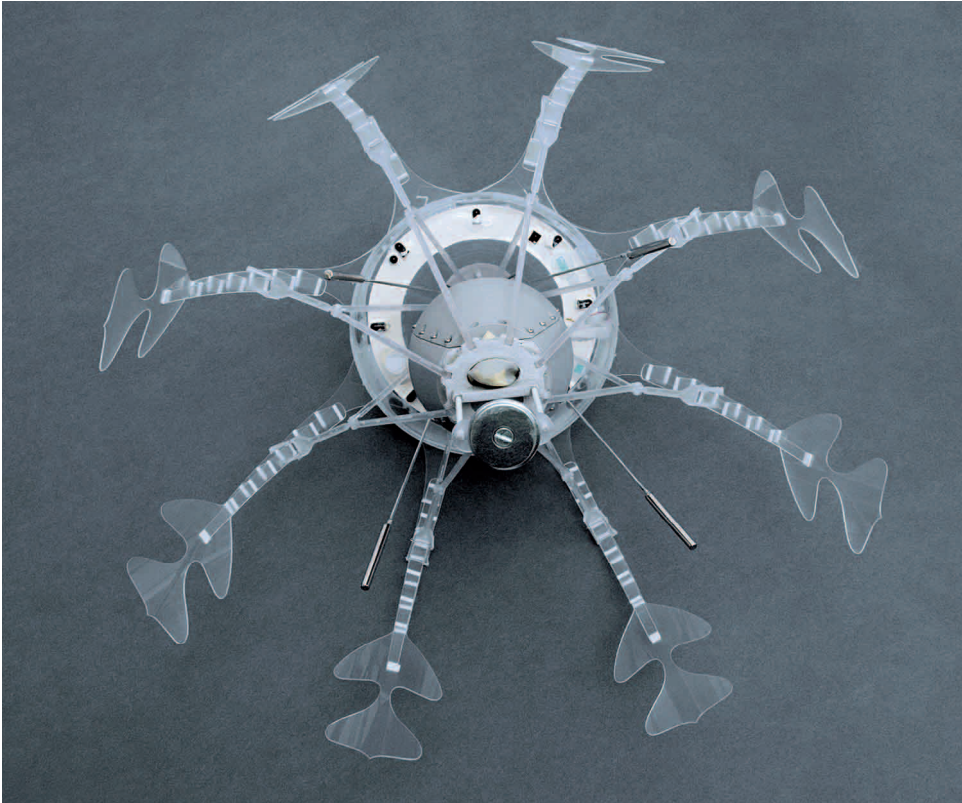
FESTO



Eine künstliche
Qualle mit
elektrischem Antrieb

Info

Eine selbststeuernde, autonome Qualle



Acht Fin Ray® Tentakel werden über Rautengelenke angesteuert

Quallen sind faszinierende Lebewesen, die selbst zu etwa 99% aus Wasser bestehen. Sie haben sich den verschiedensten Umgebungen sowohl im Salz- als auch im Süßwasser über Jahrmillionen effizient angepasst. Der Bau einer künstlichen Qualle kann immer nur als ein Versuch gesehen werden, sich diesen faszinierenden Tieren zu nähern und von ihnen zu lernen.

AquaJelly ist eine künstliche autonome Qualle mit elektrischem Antrieb und einer intelligenten, adaptiven Mechanik, die ein Schwarmverhalten aufweist. AquaJelly besteht aus einer transluzenten Halbkugel, einem zentralen Druckkörper und acht Tentakel, die dem Vortrieb dienen. Die transluzente Halbkugel ist mit einer ringförmigen Steuerplatine mit integrierten Licht-, Druck- und Funksensoren ausgestattet. Ein Prozessor überwacht permanent die Stellung des Antriebssystems. Außerdem befinden sich auf dieser Platine je 8 weiße und 8 blaue LEDs, die zusammen mit den Sensoren die Kommunikation zwischen mehreren AquaJellys ermöglichen. Auf der Außenseite besitzt AquaJelly zwei konzentrische silberne Ringe, auf die eine leitende Metallfarbe aufgebracht wurde. Daran angeschlossen ist die Laderegulation, die die Energieversorgung sicherstellt. Kommt AquaJelly an eine Ladestation, die oberhalb des Wasserbeckens angebracht ist, wird AquaJelly angesaugt und mit Strom versorgt. Die Ladestation selbst besteht aus einem Vakuumsauger ESS von Festo mit integrierten Kontaktpunkten zur Übertragung der Ladeenergie. Zwischen AquaJelly und der Ladestation findet eine Kommunikation statt, die sicherstellt, dass jede Qualle individuell mit der für sie nötigen Energie versorgt wird.

Im Zentrum von AquaJelly befindet sich ein wasserdichter, laser-gesinterter Druckkörper. Dieser enthält im Innern einen zentralen elektrischen Antrieb, die beiden Lithium-Ionen-Polymer-Akkus, die Laderegulation sowie die Servomotoren für die Taumelscheibe. Die Ladezeit beträgt bei vollständiger Entladung ca. 3 Stunden. Der elektrische Antrieb bewegt über zwei Kurbeln je einen Hubteller, der auf der Ober- und Unterseite des Druckkörpers angebracht ist. Diese Kurbeln sind um 60 Grad versetzt zueinander angeordnet. An die Hubteller angeschlossen sind acht Rautengelenke, die die acht Tentakel in eine wellenförmige Bewegung versetzen. Jedes Tentakel ist als Struktur mit Fin Ray Effect® ausgebildet – der Fin Ray Effect® ist eine von der funktionellen Anatomie der Fischflosse abgeleitete Konstruktion. Die Struktur selbst besteht aus einer alternierenden Zug- und Druckflanke, die mit Spanten verbunden ist. Wenn eine Flanke mit Druck beaufschlagt wird, wölbt sich die geometrische Struktur von selbst entgegen der einwirkenden Kraft-richtung. Durch die zeitversetzte Ansteuerung der Tentakel über die Rautengelenke entsteht eine gleichzeitige Wellenbewegung in den acht Tentakel, die den Vortrieb erzeugen. Zusammen sorgen die Tentakel für einen peristaltischen Vortrieb, ähnlich dem des biologischen Vorbildes.

Die Steuerung im dreidimensionalen Raum von AquaJelly erfolgt durch Gewichtsverlagerung. Hierzu wird durch zwei Servomotoren, die im zentralen Druckkörper integriert sind, eine Taumelscheibe angesteuert. Die Taumelscheibe steuert ein vierarmiges Pendel, das in die vier Raumrichtungen ausgelenkt werden kann. Bewegt



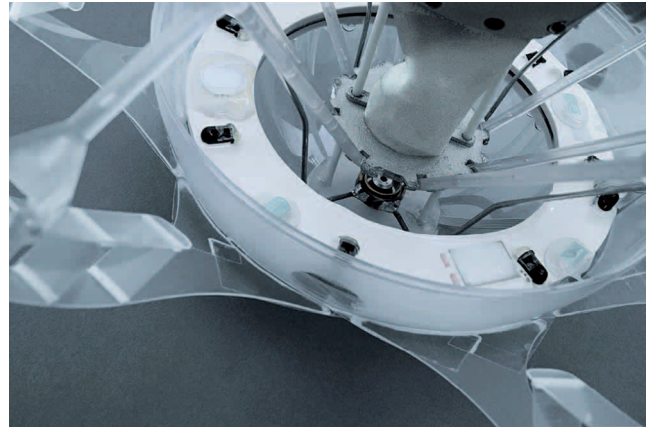
Die Energieübertragung erfolgt über die beiden Kontakte

sich das Pendel in eine Richtung, verändert sich der Schwerpunkt von AquaJelly in diese Richtung – AquaJelly schwimmt nun in die Richtung des ausgelenkten Pendels. So ist es AquaJelly in Kombination mit dem peristaltischen Vortrieb möglich, in jede Raumrichtung zu schwimmen.

Die Sensorik der Qualle besteht aus drei Komponenten, die unterschiedliche Medien nutzen. Sie verfügt über die Möglichkeit, mit Hilfe eines Drucksensors ihre Tiefe im Becken auf wenige Millimeter genau zu bestimmen. Somit ist AquaJelly jederzeit über ihre Position informiert und kann sich innerhalb einer spezifischen Druckzone einpendeln. Auch zur Energieaufnahme nutzt AquaJelly den Drucksensor, da er die einzige Möglichkeit für AquaJelly darstellt, zielgerichtet nach oben zu schwimmen. Zur Kommunikation an der Wasseroberfläche kann AquaJelly den stromsparenden Nahbereichsfunk ZigBee® benutzen, der ihr erlaubt, mit der Ladestation Zustandsdaten auszutauschen und anderen, an der Oberfläche befindlichen AquaJellies zu signalisieren, dass die Ladestation besetzt ist. Hierzu dringen die Funkwellen bis zu einer physikalisch bedingten geringen Tiefe in das Wasser ein, und AquaJelly muss in einem eng eingeschränkten Bereich bestimmen, welche Ladestation sie ansteuert.

Das eigentliche Hauptkommunikationsmedium unter Wasser stellt allerdings das Licht dar. AquaJelly verfügt über elf Infrarot-Leuchtdioden, die auf einem Ring innerhalb ihrer Kuppel angebracht sind. Durch den Öffnungswinkel dieser Dioden von 20° und unter Verwendung gepulster Infrarotsignale kann AquaJelly innerhalb einer nahezu kugelförmigen Struktur um sie herum bis zu einer Entfernung von ca. 80 cm kommunizieren. Somit kann AquaJelly beispielsweise beim Empfang eines Positionssignals einer sich nähernden Qualle rechtzeitig ein Ausweichmanöver einleiten. Zusätzlich zu ihren Umweltsensoren verfügt AquaJelly über eine interne Sensorik, die eine Überwachung ihres Energiezustandes ermöglicht, sowie einen Magnetschalter, der es erlaubt, die Stellung des Antriebssystems zu erfassen.

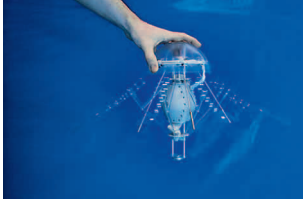
Jede Qualle entscheidet autonom aufgrund ihres Zustands, der beispielsweise vom Ladezustand, Stellung des Antriebs, aber auch der Nachbarschaft einer Qualle zu anderen abhängt, welche Aktion sie ausführt. Das Gesamtverhalten des Schwarms ergibt sich hierbei emergent, d.h. ohne eine festgelegte Steuerung des Gesamtsystems ergibt sich trotzdem – nur durch die geeignete Auswahl einfacher Verhaltensregeln einzelner AquaJellies – ein Gesamtverhalten, das die Anzahl der lebenden Quallen maximiert.



Platine mit LEDs und Infrarot-Leuchtdioden

AquaJelly existiert in einem räumlich eingeschränkten Szenario, das nur über eine limitierte Anzahl an Ladestationen verfügt. Um existieren zu können, ist es für AquaJelly also notwendig, eine möglichst optimale und gleichmäßige Auslastung dieser Ladestationen zu erreichen, um die Anzahl der lebenden Quallen im Schwarm zu maximieren. Um die Existenz des Schwarms im Wasserbecken sicherzustellen, ist es daher zwingend notwendig, den Raum maximal zu nutzen, anderen Quallen also auszuweichen und eine koordinierte Auslastung der Ladestationen zu erreichen. Gleichzeitig kann AquaJelly auch auf äußere Gegebenheiten als Gesamtheit reagieren.

Ein zentraler elektrischer Antrieb, kombiniert mit einer intelligenten adaptiven Mechanik und einer intelligenten autonomen Elektronik, sind als neue Anwendungen bei selbststeuernden Systemen denkbar. Werden viele AquaJellies mit kommunikativen Fähigkeiten ausgestattet, können diese als Schwarm agieren, der sich dann wie ein höher entwickeltes System verhält. Wenn man dieses Prinzip auf die Automation überträgt, kann dies bedeuten, dass viele autonome bzw. teilautonome intelligente Systeme zusammen arbeiten und dadurch große Aufgaben von kleinen Systemen, die gezielt zusammen agieren, gelöst werden.



Technische Daten

1x Mikroprozessor – Kommunikation durch Licht – ATmega168, 8MHz Takt, RAM 1kByte, Flash Memory 16kByte, 512 EEPROM

1x Mikroprozessor – Motorsteuerung – ATmega168, 8MHz Takt, RAM 1kByte, Flash Memory 16kByte, 512 EEPROM

1x Mikroprozessor – Funkkommunikation – ZigBit Modul von Meshnetics, ATmega 1281V RAM 8kByte, Flash Memory 128kByte, EEPROM 4kBytes + Transceiver AT86RF230RF

Die Elektronik wird bei 3,6 V betrieben.
Die Mikroprozessoren kommunizieren untereinander via I2C-Bus

1x Druck- + Temperatursensor Firma: VTI Typ: SCP 1000,
Genauigkeit: < 1mm Wasserhöhe

11x Infrarot-Sende-LEDs, Gesamtsendeleistung ca. 2mW

11 Infrarot-Empfangseinheiten, PCM

1x effiziente und automatische Akkuüberwachung mit integrierter Schutzabschaltung mit Hot Swap® Kontroller – LiPo-Protector Firma: MAXIM Typ: DS 2764; Laderegulierung Firma: Texas Instruments Typ: BQ 24100; Hot Swap® Kontroller Firma: Leneart Technology: Typ LTC4211

1x individuell entworfene Platine, rund

1x Leistungsstufe H-Brücke für Hauptmotor
Firma: STMicroelectronics Typ: L298, Belastbarkeit bis zu 3A

2x Servomotoren zur Richtungssteuerung, die direkt durch Mikroprozessor geregelt werden

1x digitaler 3-Achsen Beschleunigungssensor für 3D Neigungskontrolle, ST Microelectronics, Typ LIS302DL

Akkus: Lithium-Ionen-Polymer-Akkus, 4,2 Volt; 4000 mA Kapazität

Motor: Glockenankermotor, 3 Volt

Getriebe: Vorgesaltetes Planetengetriebe, Übersetzung 1:180

Projektbeteiligte

Projektinitiator:
Dr. Wilfried Stoll, Aufsichtsratsvorsitzender der Festo AG

Mechanische Konzeption und Bau der Quallen:
Rainer und Günther Mugrauer,
Clemens Gebert,
Effekt-Technik GmbH, Schlaitdorf

Autonomie und Schwarmverhalten:
Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart
Professor Dr. rer. nat. habil. Paul Levi,
Dr. rer. nat. Serge Kernbach,
Dipl.-Inform. Frank Schreiber,
Dipl.- Inform. Kristof Jebens

Mechanische Konzeption und Bau der Ladestation,
Prozesstechnik Aquarium:
Uwe Neuhoff, Displaybau, Festo AG & Co. KG
Henry Köllmann, Henry Köllmann Elektrik, Pneumatic, Electronic,
Schwäbisch Gmünd

Projektleiter:
Markus Fischer, Corporate Design
Festo AG & Co. KG

Bau Aquarium:
Walz GmbH, Leinfelden Echterdingen

Grafik:
Atelier Frank, Berlin

Fotos:
Walter Fogel, Angelbachtal

Marken:
Fin Ray Effect® ist eine Marke der Evologics GmbH

Festo AG & Co. KG

Ruiter Straße 82
73734 Esslingen
Germany
Telefon 0711 347-0
Telefax 0711 347-21 55
cc@de.festo.com
www.festo.com/de/bionic