

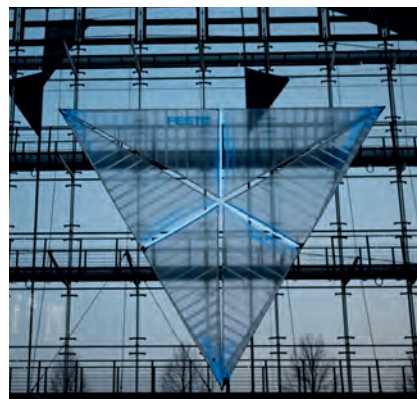
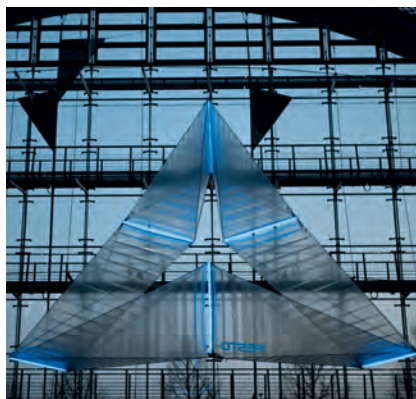
# SmartInversion

**FESTO**



Fortbewegen  
durch  
Umstülpung

# Schwebende Gliederkette mit Inversionsantrieb



SmartInversion ist ein mit Helium gefülltes Flugobjekt, das sich durch seine eigene Umstülpung fortbewegt. Die endlose, rhythmisch pulsierende Umstülpbewegung wird Inversion genannt und verleiht dem Flugmodell seinen Namen. Die intelligente Kombination von extremem Leichtbau, elektrischen Antrieben sowie Steuerungs- und Regelungstechnik macht die unendlich fortbewegende Inversion in der Luft möglich.

## Inversionskinematik nach Paul Schatz

Abgeleitet ist die Form des Flugobjekts vom Würfelgürtel von Paul Schatz. Der Schweizer Künstler und Techniker zerlegte einen Würfel in zwei Sternkörper und einen umstülpbaren Würfelgürtel. Der Würfelgürtel ist ein sechsgliedriger Gelenkring, der aus den beiden Riegelkörpern an den Ecken herausbricht, sich fortwährend umstülpeln lässt und dadurch unterschiedliche Formen annimmt.

Mit dem Würfelgürtel entdeckte Schatz, dass die bislang auf Rotation (Drehung) und Translation (lineare Bewegung) beruhende Getriebelehre durch die Umstülpung um ein Element erweitert werden konnte: die Inversion.

## Impulse für die Automatisierungstechnik

Im Rahmen der Future Concepts ist Festo ständig auf der Suche nach neuen oder noch nicht verbreiteten Bewegungs- und Antriebskonzepten. Im Verbund mit namhaften Hochschulen, Instituten und Entwicklungsfirmen überträgt Festo mathematische und naturwissenschaftliche Vorgänge in die industrielle Anwendung. Mit SmartInversion untersuchen die Ingenieure und Designer nun, wo und wie man die Inversion in der Technik einsetzen könnte.

## Inspiration für neue Antriebskonzepte

Bisher beruht die Lösungsorientierung von Festo auf den mechanischen Prinzipien der Rotation und Translation. Drehantriebe, Stellmotoren sowie pneumatische und elektrische Schwenkantriebe funktionieren nach dem Prinzip der Rotation. Linearachsen und Parallelgreifer sind Beispiele für die translative Kinematik. Diese Morphologie könnte erweitert werden um die Inversion.

Erste Anwendungen der Ideen von Paul Schatz in der Industrie gibt es bereits, zum Beispiel in Innenmischern oder als Oloidmischer zum Belüften und Umwälzen von stehenden Gewässern.



**Effizient:** extremer Leichtbau für optimale Flugeigenschaften



**Intuitiv:** einfachste Bedienung hochkomplexer Prozesse



**Vorbild für das Flugobjekt:** der Würfelgürtel von Paul Schatz

### Schwebender Würfelgürtel

Um den umstülpbaren Würfelgürtel zu erhalten, öffnen sich einer Blume gleich, die drei „Blütenblätter“ der Andockstation. Als mittlerer Teil stößt sich die mit Helium gefüllte Gliederkette vom Sternkörper ab, der als Sockel übrig bleibt.

Das Helium kompensiert die Schwerkraft der Würfelkette und erzeugt so den Auftrieb des Flugobjekts. 2130 Liter Helium werden für etwa 2334 Gramm Auftrieb benötigt, um das Objekt im Luftraum fortzubewegen. Der Vortrieb wird durch die Inversion des Objektes erzeugt und kann somit als Inversionsantrieb bezeichnet werden.

### Leichtbau aus sechs gleichen Prismen

Der Würfelgürtel setzt sich aus sechs gleichen Prismen zusammen. Jedes Prisma ist aus zwei Kohlefaserdruckstäben und vier umlaufenden Kohlefaserkantenstäben aufgebaut, die einen Spannrahmen bilden. Umspannt werden die Kohlefaserstäbe mit einer gasdichten Hüllmembran. Die sechs einzelnen Prismen sind mit Helium gefüllt. In der Hülle halten 14 Schotts die Außenmembran auf Abstand und sorgen so für ein geometrisch exaktes und winkeltreues Prisma.



**Inspirierend:** pulsatorischer Antrieb durch Umstülpung

### Rhythmisches Wechselspiel zwischen Ausdehnen und Einziehen

Die Bewegung des Flugobjekts erfolgt durch pulsatorischen Antrieb. Für die Umstülpung ist das Wechselspiel zwischen Diastole und Systole, also zwischen Ausdehnung und Zusammenziehen in rhythmischer Folge, verantwortlich.

### Zwei Phasen vor, zwei Phasen Pause: Vortrieb durch Inversion

Bei einer ganzen Umdrehung der Inversionsbewegung öffnet sich das Zentrum und stellt sich in Form eines nach unten stehenden Dreiecks dar. Bei weiterer Inversion wird daraus ein Dreieck mit der Spitze nach oben. In diesen beiden Phasen erzeugt der Würfelgürtel Schub und bewegt sich vorwärts.

Danach schließt sich das Dreieck zweimal hintereinander, wobei SmartInversion in beiden Phasen keinen Schub erzeugt und auf der Stelle verharrt. Vergleichbar ist diese Bewegung mit dem peristaltischen Antrieb von Quallen.

### Totenpunktfreie Umstülpung

Um die Gliederkette gestützt umzustülpfen, werden die drei Servostellmotoren durch eine OnBoard-Unit parallel koordiniert. Dabei laufen je nach Phase zwei der Servos vor und ein Servo läuft nach.

In gewissen Phasen aber müssen die Servostellmotoren entgegengesetzt bewegt werden. Dies geschieht indem das mathematische Modell des Würfelgürtels in vier Phasen in der OnBoard-Unit hinterlegt ist, die so die Stellmotoren ansteuert. Eine totenpunktfreie Umstülpung ist gewährleistet, sodass die Inversion in jedem Punkt angefahren werden kann.

### Flugsicherheit durch Condition Monitoring

Während des Flugs werden laufend Daten wie Batterieladezustand und Stromverbrauch erfasst und in Echtzeit überprüft. Das Prinzip der permanenten Diagnose ist für Festo ein Garant für Prozesssicherheit in der Automatisierungstechnik.



**Prozesssicher:** permanente Diagnose in Echtzeit

## Technische Daten

- Kantenlänge: 1,82 m  
Bei größter Auffaltung ca. 4,75 m von Kante zu Kante
- Heliumvolumen: 2,130 m<sup>3</sup>
- Gewicht: 2,334 kg
- Grundstruktur: Kohlefaserrohr mit hoher Steifigkeit
  
- Antriebe: Proportionale Servomotoren
- Batterie: Zweizelliger Lithium-Polymer-Akkumulator 8,4 Volt mit einer Kapazität von 450 mAh  
Steuerung über Funkfernsteuerung, 2,4 GHz, bidirektional
  
- OnBoard-Unit: Prozessor LM3S5749, ARM Cortex
  
- Flugzeit: ca. 15 Minuten

## Paul Schatz

Paul Schatz wurde am 22. Dezember 1898 in Konstanz geboren. Bereits als Zwölfjähriger baute Paul Schatz die großen Flugprototypen in verkleinertem Maßstab mit Balsaholz nach. Nach dem Ersten Weltkrieg wandte Paul Schatz sich zunächst einem Maschinenbaustudium an der TU München und in Hannover zu. Nach seiner Ausbildungszeit als Holzbildhauer widmete er sich ebenso intensiv dem Studium der Anthroposophie Rudolf Steiners und fand aufgrund dieser erneut Zugang zu den Naturwissenschaften und zur Mathematik. Durch eine künstlerische Auseinandersetzung mit Fragen des Raumes und des Tierkreises entdeckte Paul Schatz 1929 die Umstülpbarkeit der Platonischen Körper. Insbesondere der aus diesen Gesetzmäßigkeiten herausgearbeitete umstülpbare Würfel und seine ihm eigene rhythmische Beweglichkeit wurden in Folge Grundlage des gesamten weiteren Wirkens von Paul Schatz.

## Paul Schatz Stiftung und Paul Schatz Gesellschaft e.V.

Die Paul Schatz Stiftung (Sitz in Basel) und der Paul Schatz Gesellschaft e.V. (Sitz in Stuttgart) haben sich zur Aufgabe gemacht, den Nachlass von Paul Schatz der Öffentlichkeit zu erhalten und zugänglich zu machen. In Basel befindet sich das Archiv mit dem schriftlichen, bildhauerischen und technischen Nachlass. Die Deutsche Paul Schatz Gesellschaft fördert die oben beschriebenen Aufgaben und fördert im speziellen Projekte in Deutschland.



→ Film



## Projektbeteiligte

### Projektinitiator:

Dr. Wilfried Stoll, Geschäftsführender Gesellschafter, Festo Holding GmbH

### Projektleiter:

Dipl.-Ing. (FH) Markus Fischer, Festo AG & Co. KG

### Entwurf und Fertigung:

Rainer Mugrauer, Günter Mugrauer, Effekt-Technik GmbH

### Steuerungs- und Regelungstechnik:

Dipl.-Ing. Agalya Jebens, Dipl.-Ing. Kristof Jebens, JNTec GbR

### Wissenschaftliche Betreuung:

Tobias Langscheid, Dr. Oliver Conradt, Dr. Reinhold Salgo, Thomas Heck, Paul Schatz Stiftung

## Festo AG & Co. KG

Rüter Straße 82  
73734 Esslingen  
Deutschland  
Telefon 0711 347-0  
Telefax 0711 347-21 55  
cc@de.festo.com  
www.festo.com/gruppe