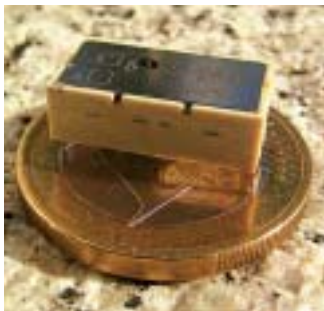


## MODELLE

Kreiselement der Firma Tokin. Dieses Element misst mit einem Piezo die Drehgeschwindigkeit und gibt eine dazu proportionale Spannung aus. ▼



Smartflyer bei der Faszination Modellbau 2004 in Sinsheim

# Mini-Heli-Familie Smartflyer

## Zwei ungewöhnliche Eigenbau-Helis

HARTMUT  
KAAK

Vor drei Jahren begann meine Karriere als Modellflieger mit dem Kauf eines Eco Piccolo von der Firma Ikarus. Es handelt sich hierbei um einen Elektro-Hubschrauber mit 500 mm Hauptrotordurchmesser und ca. 280 g Gewicht. Beinahe zeitgleich besuchte ich die Internetseite von Alexander Van de Rostyne, der hier seinen wesentlich kleineren „Pixel“ vorstellte. Dieser Mikro-Heli faszinierte mich sofort. Doch zunächst einmal wollte ich das Fliegen mit meinem Piccolo erlernen.

Ein Jahr und einige Abstürze später, gehört beim Einsteiger eben dazu, gab das Piccoboard (die zentrale Steuereinheit im Heli) nach einem Crash auf. Der integrierte Piezo-Kreisel war defekt und die von mir durchgeführte Reparatur hielt leider nur für einen Flug. Notgedrungen wurde die Schaltung für den Piezo-Kreisel einfach überbrückt. Somit übernahm das Piccoboard nur noch



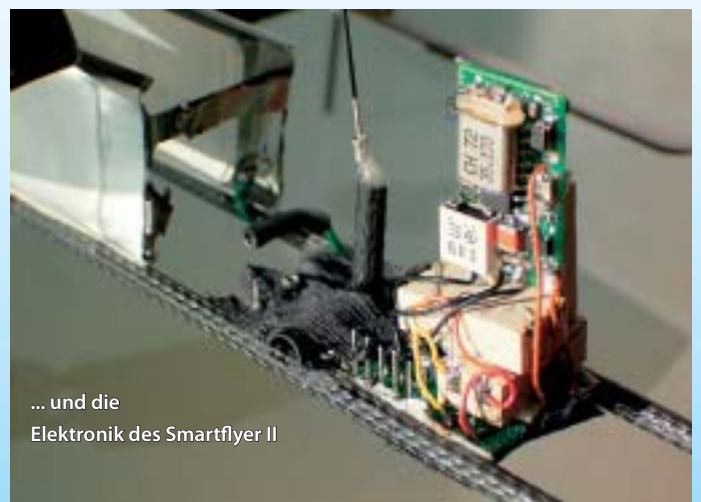
Motor mit Getriebe der Firma WES-Technik (Übersetzung 1:5); Motor wie im Heck des Piccolo und Carbonwelle mit zwei Kugellager

die Funktionen als Drehzahlsteller und Mixer für die Steuerfunktionen. Zur Steuerung der Heckfunktion wurde ein handelsüblicher Mikro-Kreisel zwischen Piccoboard und Empfänger geschaltet.

Durch die Reparaturversuche wurde in mir das Interesse für den Eigenbau einer solchen kompakten Steuereinheit geweckt. Hierzu bot sich der Mikrokontroller AT90LS4433 von Atmel für mich besonders an, da ich dessen Funktion beruflich bereits sehr gut kennen gelernt hatte. Nach einigen Versuchen entstand ein gut funktionierendes System, dessen Hecksteuerung sogar mit einer Heading-Lock-Funktion ausgestattet war. Der damit ausgerüstete Piccolo wurde von mir beim Helipoint Indoor Meeting 2003 in Neuenbürg vorgefliegen. Schon hier weckte die selbstgebaute Steuereinheit bei den anwesenden



Elektronik des Smartflyer ...



... und die Elektronik des Smartflyer II

Piloten teilweise großes Interesse.

Im Februar 2003 erhielt ich dann von einem Bekannten einige Piezo-Elemente der Firma Tokin (Drehgeschwindigkeitssensor der sich auf dem Piccoboard und vielen anderen Kreiseln befindet). So baute ich in meinem Pitch-Piccolo anstelle des Mikro-Kreisels ein Piezo-Element ein, dessen Messdaten über einen Analog-Digital-Wandler direkt in der

CPU auswertbar sind. Dieses System arbeitete über ein halbes Jahr hinweg sehr zuverlässig und fehlerfrei, bis es durch einen kapitalen Absturz des Helis zerstört wurde.

### Überlegungen zur Steuerelektronik

Zeitgleich begann ich mit der Entwicklung eines deutlich kleineren Hubschraubers. Dieser sollte auch



Man erkennt, wie der Propeller über dem Motor befestigt ist. Die Kabel verschwinden direkt in den Rohren.



Vorderer Antrieb des Smartflyer. Bei der Präsentation zur Messe Faszination Modellbau 2004 in Sinsheim zeigte sich, dass die Zuschauer das kleine Modell gar nicht sehen konnten. Also lötete ich am ersten Abend eine helle LED an und am nächsten Tag fielen die Smartflyer deutlich besser auf.



Der Pilot des Smartflyer wurde aus Balsaholz geschnitzt und von innen ausgefräst, so dass die Elektronik in Bauch, Kopf und Sitz verschwindet. Als Vorlage diente eine Playmobil-Figur.



Ein Außenmotor des Smartflyer II. Die Kabel verschwinden direkt in den Rohren. Der Propeller (Heckpropeller des Piccolo) ist mit doppelseitigem Klebeband auf das Zahnrad geklebt.

in sehr kleinen und engen Räumen sicher bewegt werden können, was ich mit einer elektronischen Taumelscheibe realisieren wollte. Für die Stabilisierung bzw. Steuerung der Funktionen Heck, Roll und Nick hatte ich gleich drei Kreisel vorgesehen. Während ein Arbeitskollege von mir eine universal einsetzbare Leiterplatte, bestückt mit drei Kreiseln, vier Drehzahlreglern und dem Mikrokontroller ATmega8 entwarf, begann ich mit der Entwicklung der Software. Nachdem die unbestückten Leiterplatten geliefert wurden, bestückte ich zunächst eine davon so, dass sie mit der entsprechenden Software die Aufgaben eines Piccobords übernehmen konnte. Dieses Board steuert noch heute meinen Pro-Piccolo. Mit den Erkenntnissen, die ich

### Technische Daten Version Smartflyer

- Gewicht: ca. 82 g
- Länge mit Propeller: 370 mm
- Breite mit Propeller: 350 mm
- Antrieb: 4 Motoren (Heckmotor Piccolo)
- Propeller: 2 Carbon 16x12cm und 2 Heckpropeller vom Piccolo
- Rumpf: 5 mm Carbon-Rohr
- Antenne: 0,5 mm Carbon-Stab
- Pilot: Balsaholz
- Akku: 2 LiPo-Zellen 350mAh (Leitwerke)
- Flugzeit: 9 Minuten
- Empfänger: JMP RX5-2.3 (im Kopf vom Piloten)
- Steuerung: Eigenentwicklung mit drei Kreiseln und vier Drehzahlreglern (im Bauch und Sitz vom Piloten)

### Version: Smartflyer II

- Gewicht: ca. 66 g
- Länge mit Propeller: 345 mm
- Breite mit Propeller: 330 mm
- Antrieb: 4 Motoren (Heckmotor Piccolo)
- Propeller: 2 Carbon 16x12cm und 2 Heckpropeller vom Piccolo
- Rumpf: 5 mm und 3,2 mm Carbon-Rohr
- Antenne: 0,5 mm Carbon-Stab
- Pilot: Styropor
- Akku: 2 LiPo-Zellen 310 mAh (Leitwerke)
- Flugzeit: 14 Minuten
- Empfänger: JMP RX5-2.3 (im Piloten)
- Steuerung: Eigenentwicklung mit drei Kreiseln und vier Drehzahlreglern (im Bauch und Sitz vom Piloten)

mit meiner Leiterplatte im Piccolo sammelte, ging ich nun verstärkt an die Entwicklung des kleinen Helis. Nach einigen Rückschlägen entschloss ich mich im November 2003, das System mit der elektronischen Taumelscheibe zunächst nicht weiterzuentwickeln, sondern einen Hubschrauber mit vier Rotoren aufzubauen.

### Der Smartflyer entsteht

Da die universell einsetzbaren Leiterplatten in ausreichender Menge vorhanden waren, musste nur noch die Software entsprechend angepasst werden. Dies war für mich eine reine Fleißarbeit, welche sich aber über mehrere Wochen hinweg zog.

Die Idee mit den vier Rotoren stellte mich dann vor ein größeres Problem. Bei einem Antrieb mit vier Elektromotoren werden zum Drehmomentausgleich jeweils zwei links-, bzw. rechtsdrehende Rotoren benötigt. Nach längerer Suche besorgte ich mir zunächst zwei Carbon-Propeller 16x12 der Firma WES Technik. Diese besaßen den richtigen Durchmesser für meinen Hubschrauber. Eigentlich hatte ich mich schon damit abgefunden, die gegenläufigen Rotoren selber aus Balsaholz herstellen zu müssen. Da kam mir ein glücklicher Umstand zur Hilfe. Ich legte die neu erworbenen Luftschauben zufällig neben dem Heckrotor meines Piccolo ab. Mir fiel auf, dass der Piccolo Heckrotor bei genau gleicher Form und Durchmesser die entgegengesetzte Steigung hatte. Die gegenläufigen Rotoren für mein Projekt waren gefunden! Somit stand das Antriebskonzept für meinen viermotorigen Kleinsthubschrauber, dem Smartflyer, fest: vier Bürstenmotoren, wie die im Heckantrieb des Piccolo, mit je einem Getriebe mit der Übersetzung 1:5 von WES Technik für den Auftrieb und zwei LiPo-Zellen mit 350 mAh zur Energieversorgung.

### Das mechanische Konzept

Nun ging es um das Aussehen meines Fluggerätes. Die einfachste denkbare Form ist ein Quadrat mit an den Ecken angeordneten Antriebsmotoren. Doch dieses Design wollte mir nicht so recht gefallen. Mehrere verschiedene Varianten wurden von mir skizziert und wieder verworfen. Eine mögliche Version wäre, z.B. am Heck zwei nebeneinander angeordnete Antriebe und am Bug zwei hintereinander angeordnete Antriebe zu montieren. Doch schließlich, nach Abwägung aller Vor- und Nachteile, kam ich zu meiner endgültigen Variante. Als Antriebsträger werden zwei CFK-Rohre T-förmig miteinander verbunden. Dabei bildet der T-Querträger das Heck, die Spitze des Längsträgers den Bug. Am Querträger wird jeweils außen und am Verbindungspunkt zum Längsträger ein Antrieb befestigt. Am anderen Ende des Längsträgers wird der vierte Antrieb einzeln befestigt. Diese Anordnung der Antriebe hat den großen Vorteil, dass die Steuerung der einzelnen Antriebe recht einfach zuzuordnen ist.

Nickfunktion: Der linke und der rechte hintere Antrieb laufen mit konstanter Geschwindigkeit, während der vordere Antrieb langsamer und der hintere mittlere

# MODELLE

Antrieb schneller angesteuert wird (vorwärts) oder der hintere langsamer und der vordere schneller (rückwärts).

Rollfunktion: Jeweils der linke oder der rechte Antriebsmotor des hinteren Querträgers läuft langsamer oder schneller.

Heckfunktion: In gleichem Verhältnis, wie der mittlere Motor langsamer oder schneller wird, laufen die beiden äußeren Antriebsmotoren gleichzeitig schneller oder langsamer, so dass das Drehmoment nicht mehr ausgeglichen ist, jedoch der Auftrieb am hinteren Querträger gleich bleibt.

Pitchfunktion: Alle Motoren laufen gleichmäßig langsamer oder schneller.

Als Landegestell dienen die verlängerten Antriebswellen der Motoren. Die schwierigsten Arbeiten an der Mechanik waren das exakt winkeltreue Verkleben der Carbon-Rohre und das Verlegen der Kabel.

## Die ersten Flugversuche

Nachdem die Elektronik befestigt und die Software in den Prozessor geladen war, konnten die ersten Tests beginnen. Zunächst schaltete ich die Kreisel ab und hielt das Modell in der Hand fest. Auf diese Weise testete ich die Reaktion der einzelnen Motoren auf meine Steuerbefehle. Da dieser Test zu meiner Zufriedenheit verlief, stellte ich das Modell, immer noch mit abgeschalteten Kreiseln, auf den glatten Boden und gab langsam Gas. Es wurde spürbar leichter, bis es schließlich den Boden verließ und sich schlagartig auf den Rücken legte. Dies geschah so schnell, dass eine Gegenreaktion nicht möglich war. Also schaltete ich für den folgenden Versuch die Kreisel wieder zu. Jetzt hob das Modell langsam ab und behielt halbwegs seine Fluglage. Allerdings bewegte es sich sehr mehr oder weniger unkontrolliert in geringer Höhe durch das Zimmer. Nach einigen Stunden Arbeit an der Software war auch dieses Problem behoben. Mit Ausnahme einer leichten Auf- und Abbewegung des vorderen Antriebes war ich in der Lage, das Modell kontrolliert durch die Luft zu bewegen. Ich fertigte noch schnell eine Pilotenfigur



**Auf Grund seiner geringen Größe passt der Smartflyer II locker auf die FMT. Gewichtsbilanz: die FMT wiegt 355 g, der Smartflyer II nur 66 g!**

aus Balsaholz, um dem Modell ein pfiffigeres Aussehen zu geben. Gleichzeitig war so die Fluglage auf „größere“ Entfernungen besser zu erkennen. In diesem Zustand wurde nun der Smartflyer von mir beim Helipoint Indoor Meeting 2004 in Neuenbürg vorgefliegen.

Nach diesem Treffen optimierte ich die Software nochmals: Die wesentlichste Änderung bestand darin, dass ich den Regelzyklus von 8 ms auf 1 ms anhebte. Nach einigen weiteren Versuchen mit der Reglerabstimmung ergab sich das gute Flugverhalten von heute. Zudem kürzte ich die Carbon-Rohre und befestigte den hinteren, mittleren Propeller über dem Antrieb, so dass sich die hinteren Propeller überschneiden.

Der Smartflyer mit seinem jetzigen Aussehen bringt ein Abfluggewicht von 82 g auf die Waage. Dies war mir eindeutig zu schwer. Es galt zu analysieren, an welchen Punkten Gewicht eingespart werden könnte. Ich kam zu folgendem Ergebnis: Die Pilotenfigur aus Balsaholz war zu schwer. Durch die vorgegebene Anordnung der elektronischen Komponenten waren die Kabel sehr lang. Es wurde zu viel Klebstoff benutzt. Die Akkus waren noch zu schwer. Aus diesen Erkenntnissen heraus beschloss ich, einen zweiten, deutlich leichteren Smartflyer zu bauen.

## Der Smartflyer II entsteht

Die oben genannten Erkenntnisse wurden im Smartflyer II voll umgesetzt. Die Pilotenfigur wurde aus deutlich leichterem Styropor gefertigt. Des Weiteren beschaffte ich mir um 5 g leichtere Akkus mit nunmehr 310 mAh Kapazität, ebenfalls von WES Technik. Diese

Zellen liefern einen ausreichenden Strom und die kleinere Kapazität wird durch das niedrigere Gewicht ausgeglichen. Die Akkus wurden zentral befestigt, was der Schwerpunktlage zugute kam und damit zu einer wesentlich höheren Wendigkeit des Modells führte. Auch die Elektronik wurde gedreht und anders platziert, wodurch sich, in Verbindung mit der Anordnung der Akkus, die Wege für die Kabelführung stark verkürzten. Eine weitere Gewichtsreduzierung wurde durch das Abisolieren des Plus-Kabels erreicht. Nicht zuletzt sparte ich bei den Verklebungen an jedem Tropfen Klebstoff. All diese Maßnahmen erbrachten eine Gewichtsreduzierung von 82 g auf 66 g.

Erstaunlicherweise machten diese Veränderungen den Smartflyer II zunächst einmal fast unfliegar. Offensichtlich hat die Gewichtsverteilung einen entscheidenden Einfluss auf das Flugverhalten des Modells. Doch auch diese Hürde wurde durch einen erneuten Abgleich der Regelparameter in der Software genommen. Die Flugeigenschaften des Smartflyers werden hauptsächlich durch die Software bestimmt. Die Mechanik gerät lediglich bei sehr extremen Flugmanövern, wie z.B. schlagartigen Lastwechseln oder schnellen Pirouetten, an ihre Grenzen. Ansonsten ist die Fluglage sehr stabil. Es ist weder ein Aufbäumen noch ein Bodeneffekt erkennbar. Im Prinzip lässt er sich wie ein ganz normaler Modellhubschrauber steuern. Gewöhnungsbedürftig ist die Startphase, da sich die Kreisel zuerst einregeln müssen. Doch auch dieser Übergang musste durch eine Änderung der Software zu entschärfen bzw. zu beseitigen

sein. Mit etwas Übung ist es sehr einfach den Smartflyer auf engstem Raum zu bewegen. Für mich ist es kein Problem, den Smartflyer durch offene Fenster und Türen oder ein enges Treppenhaus zu fliegen

## Technik des Smartflyer II

Die Akkus wurden mit Tesafilm an den Rohren befestigt. Als Einschalter dient ein Pin eines IC-Sockels, der an einem kurzen Kabel befestigt ist und in den entsprechenden Stift gesteckt werden muss. Für die Antenne musste ich ein kleines Podest machen, um zu verhindern, dass sie mit dem hinteren Propeller kollidiert. Auf diesem Podest befindet sich ein Pin von einem IC-Sockel, in den die Antenne gesteckt werden kann. Die Antenne selbst besteht aus einem 0,5-mm-Carbonstab. Um einen sicheren Kontakt zu erzielen, habe ich das Ende etwas abgeschmirgelt und mit Leitlack bestrichen. Auf der Leiterplatte befinden sich die drei Kreisel. Die Leiterplatte selbst wurde mit doppelseitigem Klebeband an den Rohren befestigt und mit schwarzem Papier verkleidet.

## Ein möglicher Verkauf der Smartflyer

Die reinen Materialkosten für meinen Smartflyer II belaufen sich auf ca. 500,- Euro. Hinzu kämen noch weitere Kosten für die Weiterentwicklung, CE-Prüfung, Fertigungskosten usw. Aus diesen Gründen würde ein Preisgefüge entstehen, das den möglichen Käuferkreis wohl stark einschränken würde. Es wird also vermutlich bei Einzelstücken für meinen persönlichen Gebrauch bleiben.

## Wie geht es weiter?

Inzwischen wurden der „Pixelito“ und der „Proxflyer“ mit einem Gewicht von 6,9 g vorgestellt. Dies spornt mich an, auch meinen Smartflyer noch deutlich leichter zu machen. Die 6,9 g kann ich wohl nicht unterbieten, aber ein Fluggewicht von ca. 15 g halte ich für realisierbar. So hoffe ich, nach der Lösung einiger Probleme, das Gewicht unter 20 g drücken zu können. Das Ergebnis wäre dann der Smartflyer III, den ich gerne bis Weihnachten 2004 flugbereit hätte.