

# Die Ballonfahrt ist barometrisch bestimmt

**Computerunterstütztes Ballonfahren** Verschiedene Versuche und die Erkenntnis daraus



Bild: Markus Bittkofer

Das Magnetventil am Brenner der Firma SCHROEDER Fire Balloons (links unten im Bild) steuert vom Rechner bestimmt die Propangaszuführung adaptiv nach dem berechneten Energiebedarf, um die vorgegebene Fahrhöhe zu halten oder mit gewünschter Sollsteigrate anzufahren. | La valve électromagnétique du brûleur de la société SCHROEDER Fire Balloons (en bas à gauche dans l'image) commandée par le processeur détermine l'amenée de propane adaptée au besoin énergétique calculé, afin de maintenir la hauteur de vol prescrite ou d'approcher avec le taux de montée de consigne désiré.

**Der Traum, eine Art «Autopilot» im Heissluftballon einsetzen zu können, ist alt. Es gibt unzählige Projekte zu diesem Thema, aber in der Praxis funktionierende Systeme sind eher rar.** Der Heissluftballon ist mit seiner auf dem Auftriebsprinzip beruhenden Wirkungsweise physikalisch einfach zu modellieren. Aber Materialeigenschaften der Ballonhülle, meteorologische Bedingungen und nicht zuletzt die solare Einstrahlung machen das System hochgradig nichtlinear und somit nur schwer rechnerisch bestimm- und vorhersehbar. Damit kommen elektronische Steuerungen schnell an ihre Grenzen.

## «Durchfallen» und «Überschiessen» vermeiden

Übergibt man die Steuerung der Brennerimpulse einem Computer, so stellt sich nach kurzer Zeit heraus, dass ein Heissluftballon ein ganz schön störrisches Gefährt ist. Im ausgeglichenen Fahren funktioniert, was der Computer errechnet, aber irgendwann beginnt der Ballon zu fallen und kein Rechenprogramm und keine Steuerung fängt ihn ohne ein «Überschiessen» und damit vorprogrammierte Instabilitäten wieder auf. Begonnen haben wir – Angelika und Hilmar Lorenz – mit einfachen analogen Reglungen, wobei aber auch GPS-Daten und sogar digitale Kopplungen von zwei GPS-Geräten keinen signifikanten Fortschritt brachten.

## Bei Mondlandung verwendeter Algorithmus weist den Weg

Die eigentliche Herausforderung scheint zu sein, dem Computer die Kunst des erfahrenen Ballonpiloten im vorausschauenden, situationsbestimmten Heizen «beizubringen». Geniale Ideen zur Lösung dieser Aufgabe wurden lange vor dem Computerzeitalter von Prof. Rudolf E. Kalman in den 60er Jahren entwickelt. Wie kaum eine andere mathematische Theorie überzeugte der von ihm entwickelte Algorithmus bei den Mondlandungen im Apollo-Programm mit Praxistauglichkeit. Er zählt bis zum heutigen Tag in der Raumfahrt, Aerodynamik und der Lösung von komplexen Steuerungsaufgaben zum leistungsfähigsten Werkzeug der Techniker und Programmierer. Trotzdem erreichten wir über die «Kalman-Schätzung», also die Vorausberechnung der dynamischen Zustandswerte des Heissluftballons – insbesondere der vertikalen Beschleunigung –, keine befriedigenden Fahrresultate. Die Vermutung lag nahe, dass das Messprinzip verändert werden müsste.

## Signal aus verrauschten Daten

Der Heissluftballon soll mit Hilfe des Computers eine bestimmte Höhe halten oder diese mit vorgegebener Steig- oder Sinkrate anfahren. Damit kennen wir die barometrischen Werte beziehungsweise könnten die erwartete zeitliche Änderung vorausberechnen. So liesse sich an das anknüpfen, was Kalman korrekt beweisen konnte: Aus stark verrauschten Messdaten lässt sich durchaus ein schwaches Signal filtern,

solange man die statischen Eigenschaften des Messensors kennt. Empfindliche Drucksensoren liefern, was bei auf GPS basierenden Werten in der geforderten Genauigkeit nicht direkt möglich ist, da diese mit systematischen Fehlern behaftet sind. In den ausgereiften Geräten der Firma FLYTEC AG messen diese mit ausreichender Präzision und geben «digital» die Daten statistisch sauber aus. Mit dem doppelten Konzept der Prädiktion und Rauschminderung in den barometrischen Messwerten gelang der Durchbruch.

### Steuerrechner lernt vom Piloten

Bleibt noch das Problem der Anfangsbedingungen bei wechselnden Beladungszuständen und unterschiedlichen meteorologischen Verhältnissen zu lösen. Diese Aufgabe bewältigt unser Steuercomputer über eine «Lernphase». Der Brenner wird über ein Magnetventil in der Propangaszuführung vom Rechner aus gesteuert. Nach dem Start betätigt der Pilot für einen kurzen Zeitraum den Brenner «fernbedient» und fährt den Ballon über die Computertastatur. Aus diesen Daten errechnet das System statistisch und situationsbedingt den Energiebedarf. Dieser wird über die Hüllentemperatur des Ballons abgeglichen. Mit der Übergabe der Steuerung an den Rechner bestimmt das Programm dann anhand der Vorgabewerte «Höhe» und «Sollsteigrate» die notwendige Heizzeit und den nächsten Heizzeitpunkt. Von nun an sind die Länge der Brennerstösse und die Intervallzeit variabel und werden adaptiv ermittelt. Da der Computer die zugeführte Energiemenge über die realisierte Heizzeit kennt und daraus den Energiebedarf eines notwendigen «fahr-dynamischen» Manövers berechnet, wird «Überschiessen oder «Durchfallen» vermieden.

### Erneut bestätigt: Ballonfahrt ist barometrisch bestimmt

Die rauschmindernde Auswertung barometrischer Daten führte zu einer funktionierenden elektronischen Steuerung im Ballonkorb. Mit seinen elegant geführten mathematischen Schlussfolgerungen konnte Prof. Kalman im Zürcher Hörsaal wohl nicht vorhersehen, dass seine Theorie bei der Verwirklichung eines rechnergestützten Brennersystems ein grundlegendes Prinzip der Aerodynamik wiederum ein-drucksvoll belegen wird: Die Ballonfahrt ist barometrisch bestimmt.

Hilmar Lorenz



Bild: Markus Büttikofer



Bild: Hilmar Lorenz

**Oben:** Steuerrechner im Einsatz während der Ballonfahrt am 7. März 2015 von Luzern ins Wallis. Das FLYTEC 6040 (links oben im Bild) liefert über Bluetooth gekoppelt die barometrischen Daten und die Hüllentemperatur an das Steuerprogramm. Der Rechner kontrolliert die Fahrt, bietet zusätzliche Sicherheit und trägt zur Verringerung des Gasverbrauches in der Faszination Ballonfahrt bei.

**Unten:** «SensBox» der FLYTEC AG und Steuerungsrechner mit Software zur Brennersteuerung während einer Fahrt in der Zentralschweiz. Vorgeben werden Höhe und Sollsteigrate. Im rechten Teil auf dem PC-Display sind Richtung und Geschwindigkeit über die Höhe dargestellt. Damit ist es leicht, fahrtaktische Entscheidungen zu treffen und «gesteuert» optimale Luftschichten anzufahren.

En haut: Processeur en engagement lors du vol en ballon le 7 mars 2015 de Lucerne vers le Valais. Couplé par Bluetooth, le FLYTEC 6040 (en haut à gauche dans l'image) transmet les données barométriques et la température de l'enveloppe au programme de commande. Le processeur contrôle le vol, apporte une sécurité supplémentaire et contribue à réduire la consommation de gaz dans l'aérostation. En bas: «SensBox» de FLYTEC AG et processeur de commande avec logiciel de commande de brûleur lors d'un vol en Suisse centrale.

### News aus dem SBAV

Der SBAV verfügt über neue deutsch- und französischsprachige Flyer zur Ballonfahrt. Diese können unter [www.sbav.ch](http://www.sbav.ch) → service → werbematerial heruntergeladen respektive über [info@sbav.ch](mailto:info@sbav.ch) bestellt werden. Ausserdem besteht die Möglichkeit, vier Stellwände (Rollups) zu den Themen «Pilot werden», «Ablauf einer Heissluftballonfahrt», «Der Heissluftballon» und «Der Gasballon» für diverse Gelegenheiten auszuleihen. Auch diese Stellwände sind auf Deutsch und Französisch vorhanden. Neben Rollups und Flyern hat der SBAV neu auch zwei Ballonanhänger mit jeweils einem ausgemusterten Heissluftballon (Korb, Brenner, Hülle) ausgerüstet. Auch die Anhänger können für diverse Anlässe ausgeliehen werden. **René Louis**  
[www.sbav.ch](http://www.sbav.ch)