



VERRINGERN DES GASVERBRAUCHS

**Betrachtungen zum Energiehaushalt im
Heißluftballon**

**Hilmar Lorenz, Oberägeri
22. Sept. 2012, Campus Sursee**

Zeichen der Zeit: **Gasverbrauch senken**

alle Welt spricht von

- „Grüner“ Umwelt
- CO2 Ausstoß verringern

was spüren wir als Ballonfahrer direkt?

unsere Propangaskosten steigen stetig

Frage: Kann der Gasverbrauch gesenkt werden?

Thema in der Ausbildung der Fahrschüler?



**Gibt es eine
einfache Antwort?**

Was sagen die Fahrlehrer?



**sauber,
möglichst
höhenkonstant
fahren!**



**doch: wie groß ist
der zu erwartende
Effekt wirklich?**

**Auf diese Frage soll
eine Antwort geben
werden**



Übersicht für heute

1

- Einflussgrößen

2

- Berechnung und Hilfsmittel

3

- Tipps



GRUNDLAGEN

Die physikalischen Zusammenhänge der mittels Brenner im Heissluftballon zu deckenden Wärmeleistungsverluste sind bekannt:

- **Die Energiebilanz und die Menge der zuzuführenden Wärme hängt von den Umgebungsbedingungen und dem Fahrzustand ab.**
- **Für die Wärmeleistungsverluste ist primär die Ballonhülle verantwortlich. Sie beeinflusst somit mit ihrer Charakteristik den Gasverbrauch entscheidend.**



DURCH DIE HÜLLE ERFOLGT DIE WÄRMEÜBERTRAGUNG MITTELS:

- **Wärmeübergang vom aufgewärmten Gasraum an die Hülle**
- **Wärmemleitung durch die Hülle**
- **Wärmeübergang von der Hülle an die Aussenumgebung durch**
 - **Konvektion und**
 - **Strahlung**
- **Direkten Gasmassentransport bedingt durch Porösität des Hüllenmaterials**

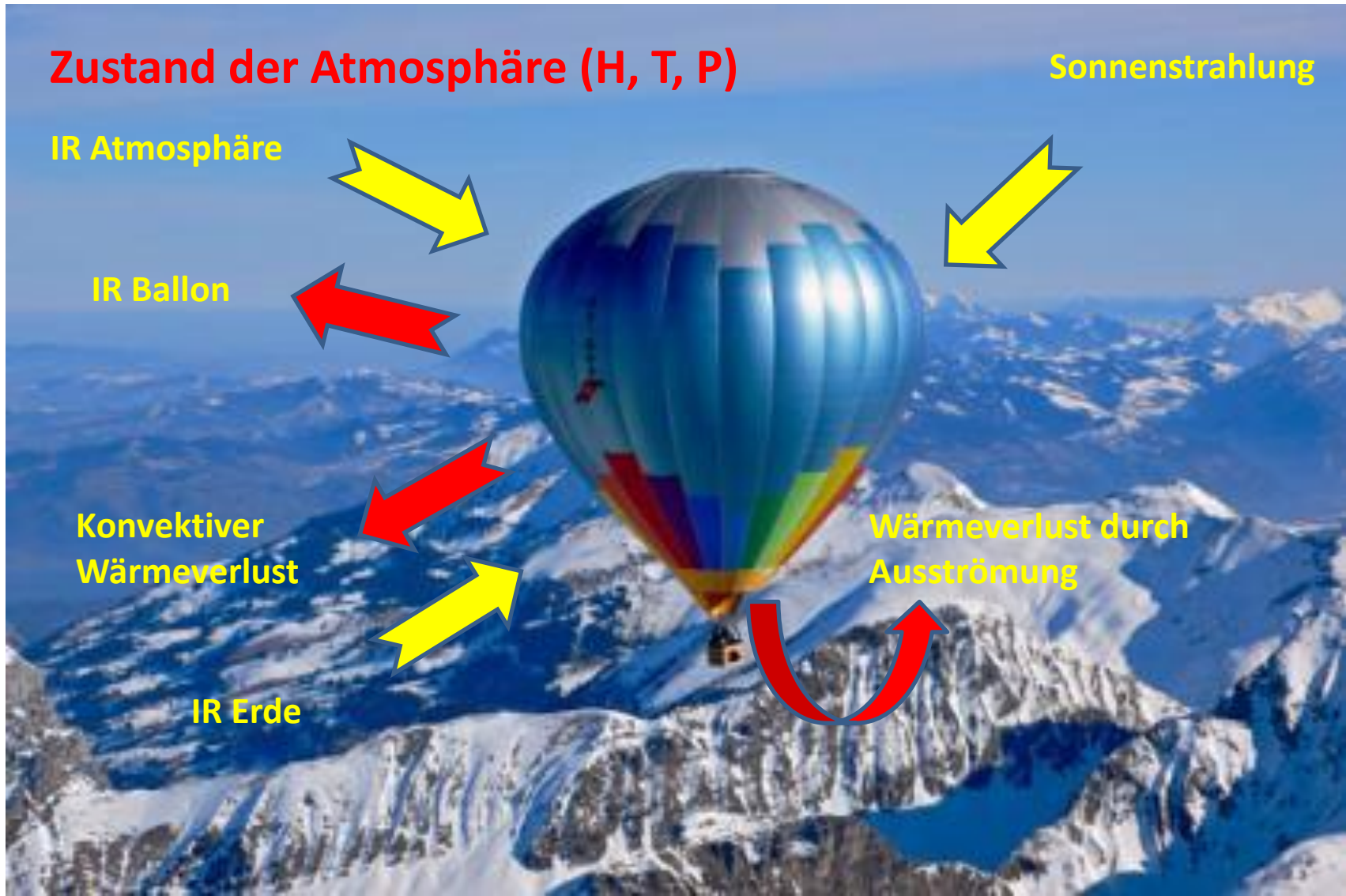


GRUNDLEGENDE ARBEITEN:

- **Ausbildungsmaterial zur theoretischen Prüfung**
- **Jackson and Dichtl , 1977: [The Science and Art of Hot Air Ballooning](#)**
- **Untersuchungen der Aachener Gruppe um Prof. Hallmann , um 1990**
- **Neu: Dr. Bormann, aeroix GmbH in Berlin, z.B.
Martin Wähler: Untersuchung zu isolierenden Ballonhüllen**

Basis: Ballon- und Fahrtverständnis

Welche Größen gehen in unsere Modelle ein?





1. AEROSTATIK

Aerostatik

Details für die Berechnungen

Ansätze für erweiterte Betrachtungen:

The screenshot displays a spreadsheet titled "HB-QND Tragkraftberechnung" with the following data:

| Parameter | Value |
|---------------------------|--|
| Version | 2012 08 18 |
| Starttemperatur | -4 °C |
| Starthöhe | 5000 m |
| Volumen | 8889 m ³ |
| Oberfläche | 1322 m ² |
| Querschnitt | 327 m ² |
| Durchmesser | 20,4 m |
| Preispan | 66,4 M/kg |
| Effektivität Gesamtsystem | 98% |
| HTA | 0,9 |
| Balkenmasse | 6,18·10 ⁶ N/m ³ / m ³ |
| Einwirkkonstante | 0,4 1/m ³ /m |
| Korrektorkonstante | 2,00 Win/K |
| Struktur | 284 kg |
| Propeller | 30 kg |
| Pumpen | 14 kg |
| Propellergruppe | 30 kg |
| Pumpengruppe | 30 kg |
| Pumpenaggregate | 10 kg |
| Leitstruktur | 10 kg |
| Plan | 100 kg |
| Coilroll | 10 kg |
| Summe Gas (ohne Reserve) | 770 kg |
| Gesamtgas | 770 kg |
| L. Speis | 170 kg/m ³ /m ³ |
| Lastmasse min | 682 kg |

- hinter der mittleren Heißlufttemperatur verbirgt sich eine komplexe Warm- und Kaltluftdynamik im Balloninneren
- die Natur kennt keine Standardatmosphäre
- die tatsächliche Masse an Bord zählt

Aerostatik

meteorologische Daten: Standarddruckflächen

Temp 06610 20.09.12 00 UTC Payerne

| | |
|------------------------|--------------------------------|
| FL 050: Wind 60°/10kt | Temperatur/Taupunkt: 3°/0° |
| FL 100: Wind 330°/15kt | Temperatur/Taupunkt: -5°/-30° |
| FL 180: Wind 325°/61kt | Temperatur/Taupunkt: -17°/-47° |
| FL 240: Wind 330°/73kt | Temperatur/Taupunkt: -29°/-47° |
| FL 300: Wind 315°/87kt | Temperatur/Taupunkt: -45°/-63° |
| FL 340: Wind 325°/94kt | Temperatur/Taupunkt: -53°/-66° |
| FL 390: Wind 305°/43kt | Temperatur/Taupunkt: -51°/-69° |

Drucken Hilfe Abbrechen

Produkt
20.09.2012 00:12 UTC

Produkt anzeigen Hilfe Seite aufrufen Abbrechen Zurück

Quelle: DWD PC_met Software

Aerostatik

Tragkraft, Gasverbrauch und Nachtfahrt



Die solare Einstrahlung hat den entscheidenden und wesentlichen Beitrag zur Energiebilanz im Heißluftballon.

Sie ist:

- in ihrem Betrag zeitlich variabel
- in ihrer Wirkung stark von den Stoffeigenschaften der Ballonhülle abhängig.

Deshalb:


Modellierung durch „Ausschalten“ der Sonne überprüfen.

Also: Fahrt durch die Nacht

Aufgabe:



Missionsplanung



**GASVERBRAUCHS- UND
MISSIONSBERECHNUNG
DEMONSTRIEREN**

Tipp für Fahrschüler

Gasmanagement und Fahrprotokoll

| Flaschenmanagement | | | | Zeittabelle | | | |
|--------------------|----------|----------|--------|----------------|-----------|-------------------|--|
| Datum: | 120303 | Ballon: | HB-QND | Pilot: | H. Lorenz | | |
| Flaschennummer | Master 1 | Brenner | Funk | Flaschennummer | 5 | Brenner | |
| Anfang | Ende | Sw | | Anfang | Ende | Sw | |
| 12:15 | 13:09 | 75% vbr. | | | leer | | |
| Flaschennummer | 2 | Brenner | | Flaschennummer | 6 | Brenner | |
| Anfang | Ende | Sw | | Anfang | Ende | Sw | |
| | | Aufrüst | | X | X | | |
| 10 O ₂ | Anfang | | | Anfang | 180 | 11 O ₂ | |
| | Ende | | | Ende | 170 | | |
| Flaschennummer | 3 | Brenner | | Flaschennummer | 7 | Brenner | |
| Anfang | Ende | | | Anfang | Ende | R | |
| X | X | | | 08:42 | 10:06 | | |
| Flaschennummer | Master 4 | Brenner | | Flaschennummer | 8 | Brenner | |
| Anfang | 12:15 | Ende | | Anfang | Ende | R | |
| 12:15 | 14:09 | 10% vbr | | 10:06 | 12:15 | | |

Verständnis bei den Fahrschülern mittels nachvollziehbarer Ergebnisse und dem Vergleich der Fahrteinschätzung mit dem tatsächlichen Gasverbrauch wecken

- Protokoll jeder Fahrt, mit meteorologischen Daten und Einschätzung der Fahrspezifik
- Elektronische Daten sichern
- Verbrauch, An- und Abschlusszeiten festhalten
- Vor einer Fahrt erwarteten Verbrauch abschätzen
- Reserven einrechnen

Im Debriefing:

Aktuelle Ergebnisse mit vergangenen Aufzeichnungen vergleichen!

Aerostatik

Welche Größen sind noch nicht betrachtet?



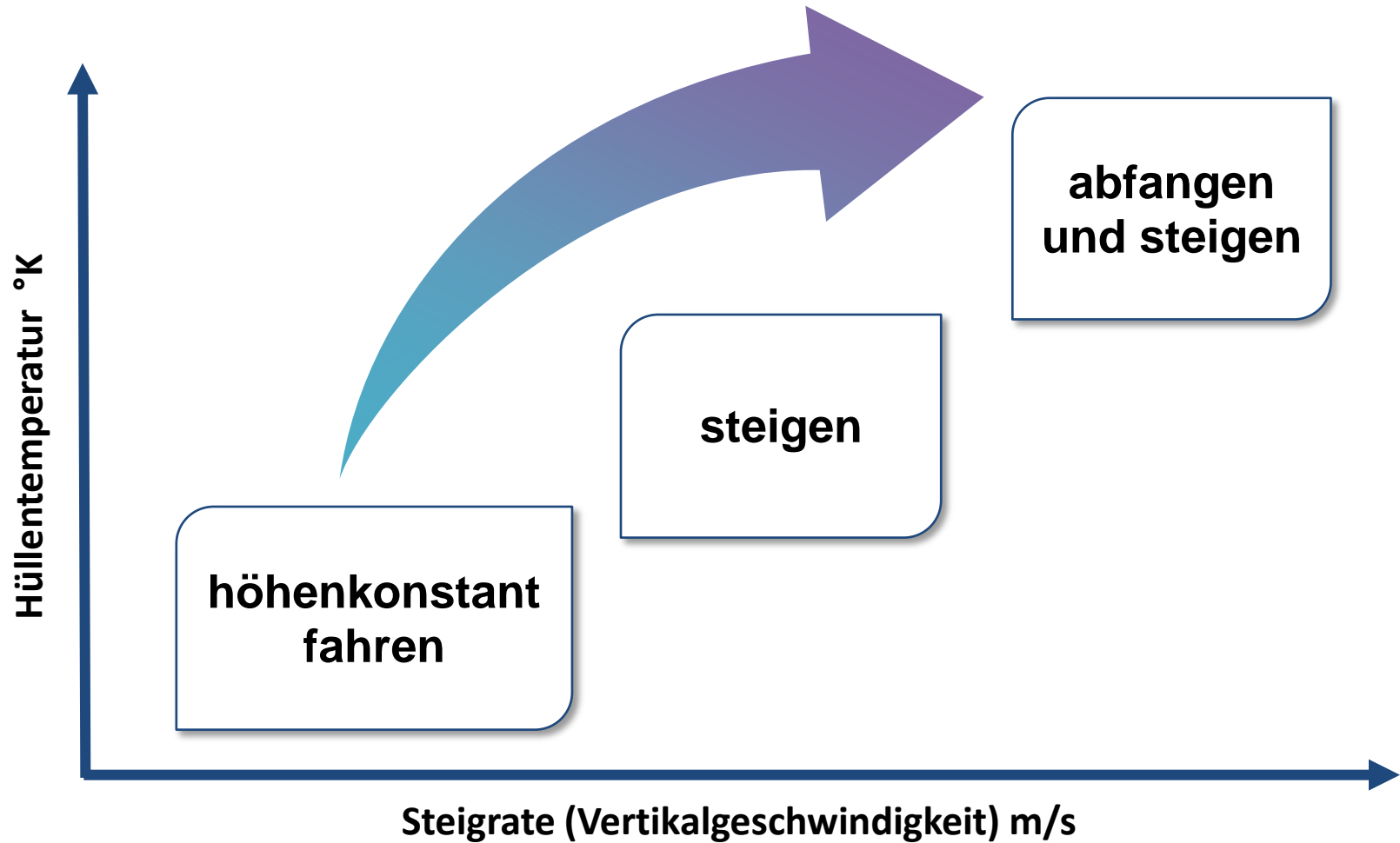
- Luftfeuchtigkeit (ganz wichtig, wird als nächstes eingearbeitet)
- Porosität der Hülle



2. AERODYNAMIK

Aerodynamik

Ballondynamik und Hüllentemperatur



Aerodynamik

Grundlagen einer Brennersteuerung

- Hüllentemperatur ist proportional der Gasdurchflussmenge im Brenner
- Brenndauer und Brennintervall sind variable Größen und müssen geschätzt bzw. bestimmt werden
- Sollhöhen (m) und Sollsteigraten (m/s) sind Vorgaben
- Messungen:
 - Höhe (barometrisch und GPS gestützt)
 - Variometer (nur barometrisch hinreichend genau)
 - Hüllentemperatur (Standard TT34 am Top)

Problem zu lösen:

optimalen Heizzeitpunkt bestimmen

Brennersteuerung

Rechner, Variometer, Steuergerät und GPS im Korb



Brennersteuerung

Steuergerät



Abbildung: So prüft ein aufmerksamer CoPilot die Technik ...

- **Eigenentwicklung**
- **Relaisbasierend und vollständig rechnergesteuert und überwacht**
- **COM Standard, USB angepasst**
- **Manuelle Steuerfunktion von Heiz- und Brennintervall über Timer möglich**
- **12V, NC, + gesteuert**

Brennersteuerung

Rechner GETAC M230



- Intelchipsatz in stoß- und umweltgeschütztem Gehäuse
- 128GB SSD
- Sonnenlichtlesbares Display
- Sekundärbatterie
- COM Port, 2x USB
- 8h Laufzeit
- sehr zuverlässig

Brennersteuerung

Variometer

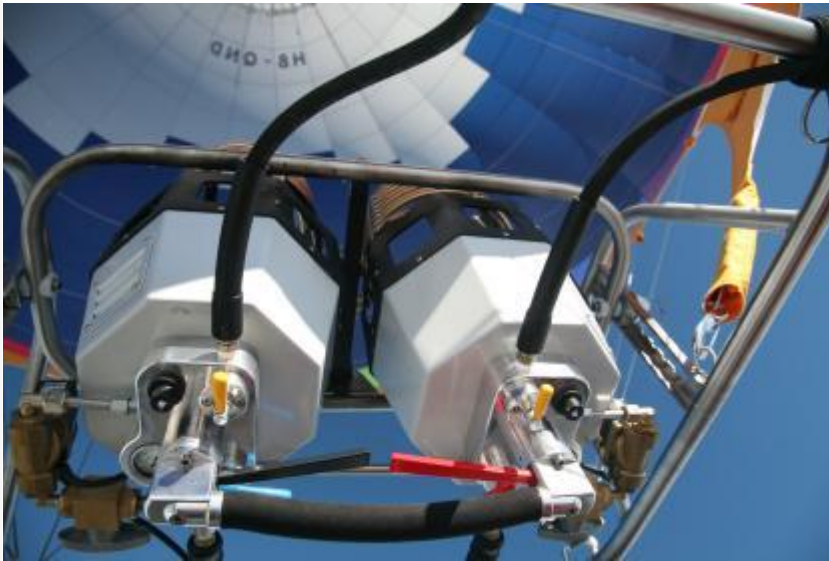


FLYTEC 6040

- Sensor der barometrischen Eingangsdaten
- drahtlose Kommunikation über Bluetooth (einfach aufzubauen und funktioniert zuverlässig)
- FLYSEN Datensatz mit allen wichtigen Werten für die Steuerung dankenswert von FLYTEC AG implementiert
- stabile und genaue barometrische Daten

Brennersteuerung

FB6 Brenner mit Magnetventil



- **Schroeder Fireballon Standardangebot zum FB6**
- **Separat am Gaszufluss an- und abschaltbar**
- **12V Flüssigmedium Magnetventil – Industriestandard**
- **Durchflussmenge hinreichend**
- **Doppelbrenner Funktion möglich**

Brennersteuerung

Software und Algorithmus

- Eingangsgrößen sind verrauschte Messdaten
- Beschleunigung als $\frac{dv}{dt}$ nicht direkt bestimmbar

deshalb Regelalgorithmus erforderlich:

- optimalen Estimator (schätzen)
- fehlerhafte Messungen zu glätten (interpolieren)
- aktuelle Systemzustände filtern und
- zukünftige vorherzusagen (extrapolieren)

Lösung bekannt in der Filter- und Signaltheorie:

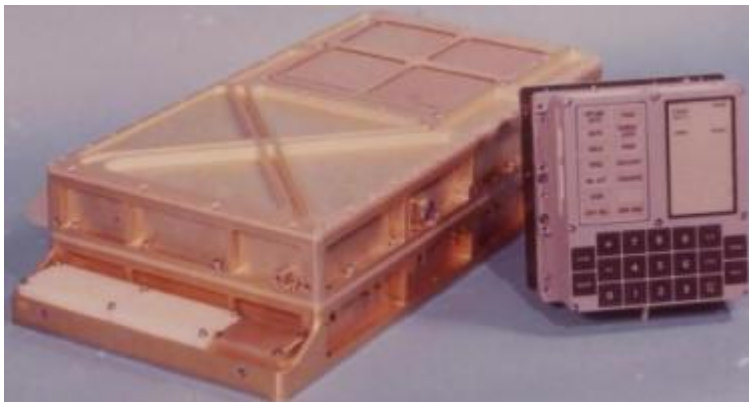
Kalman Filter

Brennersteuerung Software

Kalman Filter



Quelle: <http://www.ethlife.ethz.ch>



Quelle: <http://www.bernd-leitenberger.de/computer-raumfahrt1.shtml>

- 1960 von Rudolf E. Kalman entwickelt
- Grundlegend für Apollo bei Mondlandung
- Implementierung des Algorithmus (Variante EKF) Echtzeitsignalverarbeitung
- Apollo Guidance Computer (AGC)
- Steuerung des Navigationssystems der Mondfähre während der Landephase

Brennersteuerung Software

Kalman Filter

- **Mathematische Modellierung dynamischer Systeme über Differenzialgleichungen im Zeitbereich**
- **Vergangene, verrauschte Systemzustände werden an Hand der statistischen Eigenschaften des Eingangssignals (Varianz als Maß des Signalrauschens) interpoliert**
- **Vorhergesagte Systemzustände des nächsten Zeitschrittes werden im folgenden Takt mit den neuen Messungen verglichen**
- **Die Anpassung und Korrektur der neuen Vorhersage erfolgt auf der Basis einer Minimierung in der Fehlerstatistik – optimaler Schätzalgorithmus**

Brennersteuerung Software

Algorithmus

- Das Kalman Filter (EKF) erlaubt die Modellierung physikalischer Prozesse und die Bestimmung „innerer“ Zustände des Systems, die u.U. einer direktem Messung nicht zugänglich sind (z.B. Heißlufttemperatur)
- Systemzustände implementiert:
 - Höhe
 - Vertikalgeschwindigkeit
 - Beschleunigung
 - Heißlufttemperatur
 - Energieratio (Verhältnis Brenndauer zur Länge des Brennintervalls)

Brennersteuerung Software

Algorithmus

Entscheidend für die Nutzung eines digitalen Filteralgorithmus ist das Setzen der Anfangsbedingungen

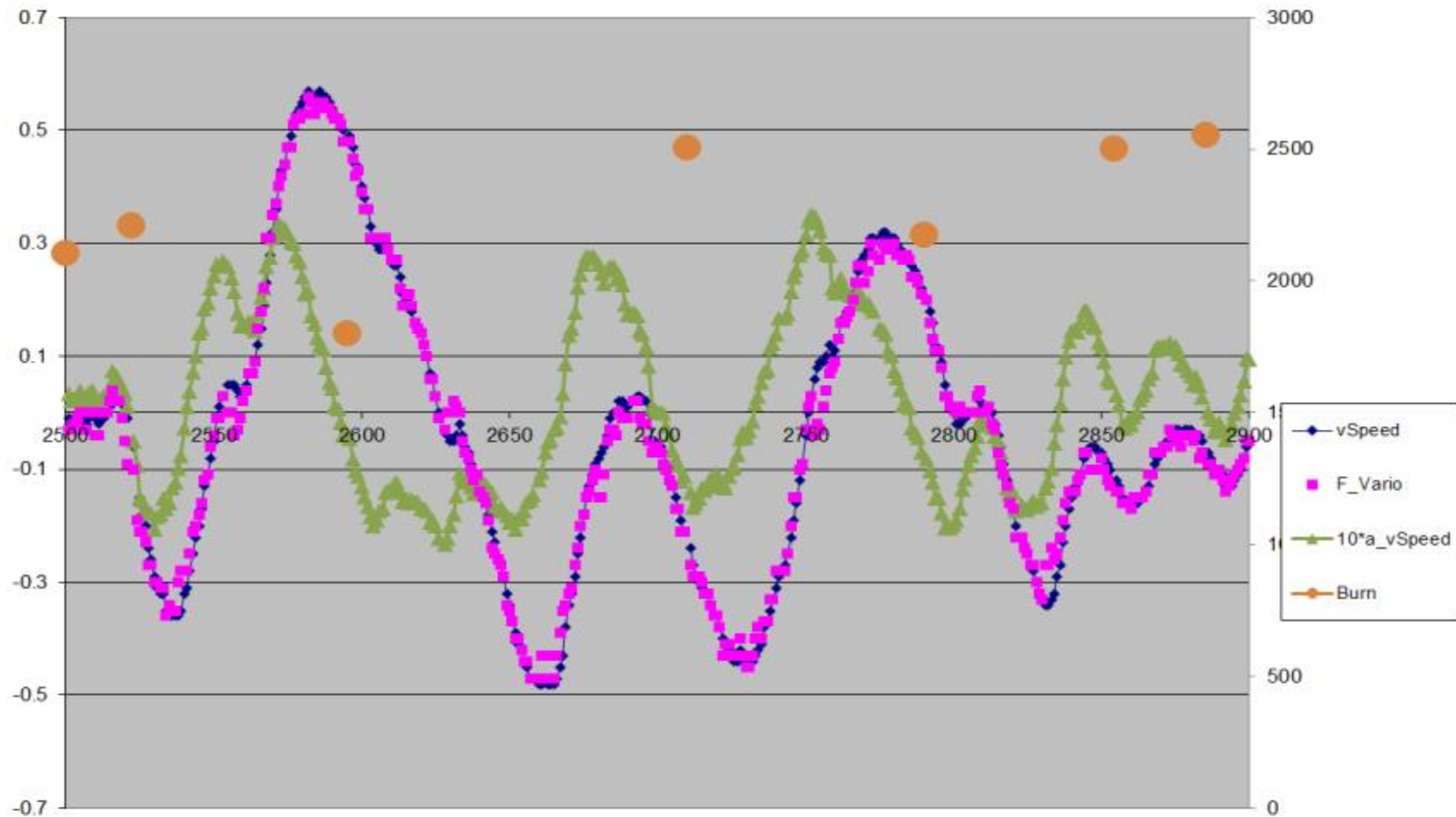
- Jede Ballonfahrt ist durch die herrschenden meteorologischen Bedingungen und Beladungszustände charakterisiert
- Zugrundeliegende Parameter sind komplex und z.T. unbekannt

Lösung: Lernphase

- Manuelle Brennerbedienung über die „ESC Taste“
- Statistische Auswertung der aufgezeichneten manuellen Heizcharakteristik
- Setzen der Anfangswerte für den adaptiven Algorithmus

Brennersteuerung: Fahrverhalten

Variometer, Beschleunigung und Heizparameter



Achsen: x Fahrzeit (s), y links: Steigrate (m/s), y rechts: Brenndauer (ms)



STEUERUNG IN AKTION

Beispiel: Flychart HB-QND 4250 m3



Beispiel: Flychart O-DBC G 2800 m3



Negativbeispiel: HB-QND 4250 m³ ohne Steuerung, MM Trophy, Toggenburg, 2 Personen



Ergebnisse

Verständnis der Fahrtbedingungen, Planung der Ressourcen sowie höhenkonstantes Fahren führt zum

Gas sparen beim Fahren.

Merke:

- **Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) \sim Steigrate $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$**
- **Je 1°C höhere Temperatur als Resultat „dynamischen Fahrens“ erfordert 0.8 bis 1.2 kg/h mehr Propangas!**

Zum Schluss

- es gibt einfache Hilfsmittel zum Gassparen, nicht die Tools entscheiden
- die Sonne macht's
- Fahrtbedingungen abschätzen, Beladungsgrenzen und Reserven beachten
- nicht so viel wie möglich

sondern

wie nötig

und

wie sagte doch schon der Fahrlehrer:

Höhe halten!



Weitere Entwicklung und
Ergebnisse auf



www.hlballon.ch



**Herzlichen Dank und
immer „guet Land“!**



HABEN SIE FRAGEN?