

# Physikalische Grundlagen der 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 gelöst:

**optimalen Heizzeitpunkt bestimmen**

# 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:

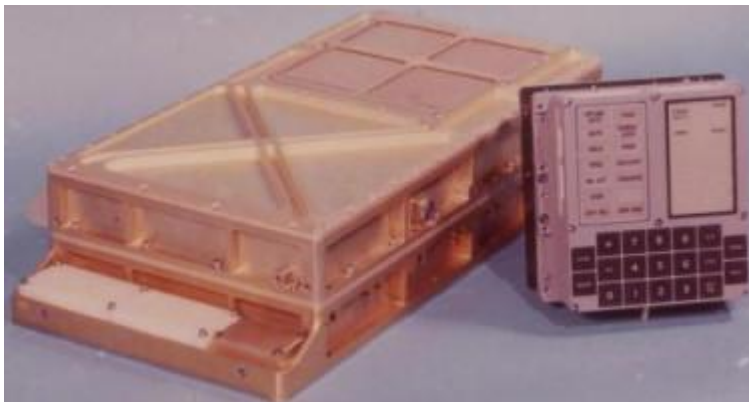
**Kalman Filter**

# 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

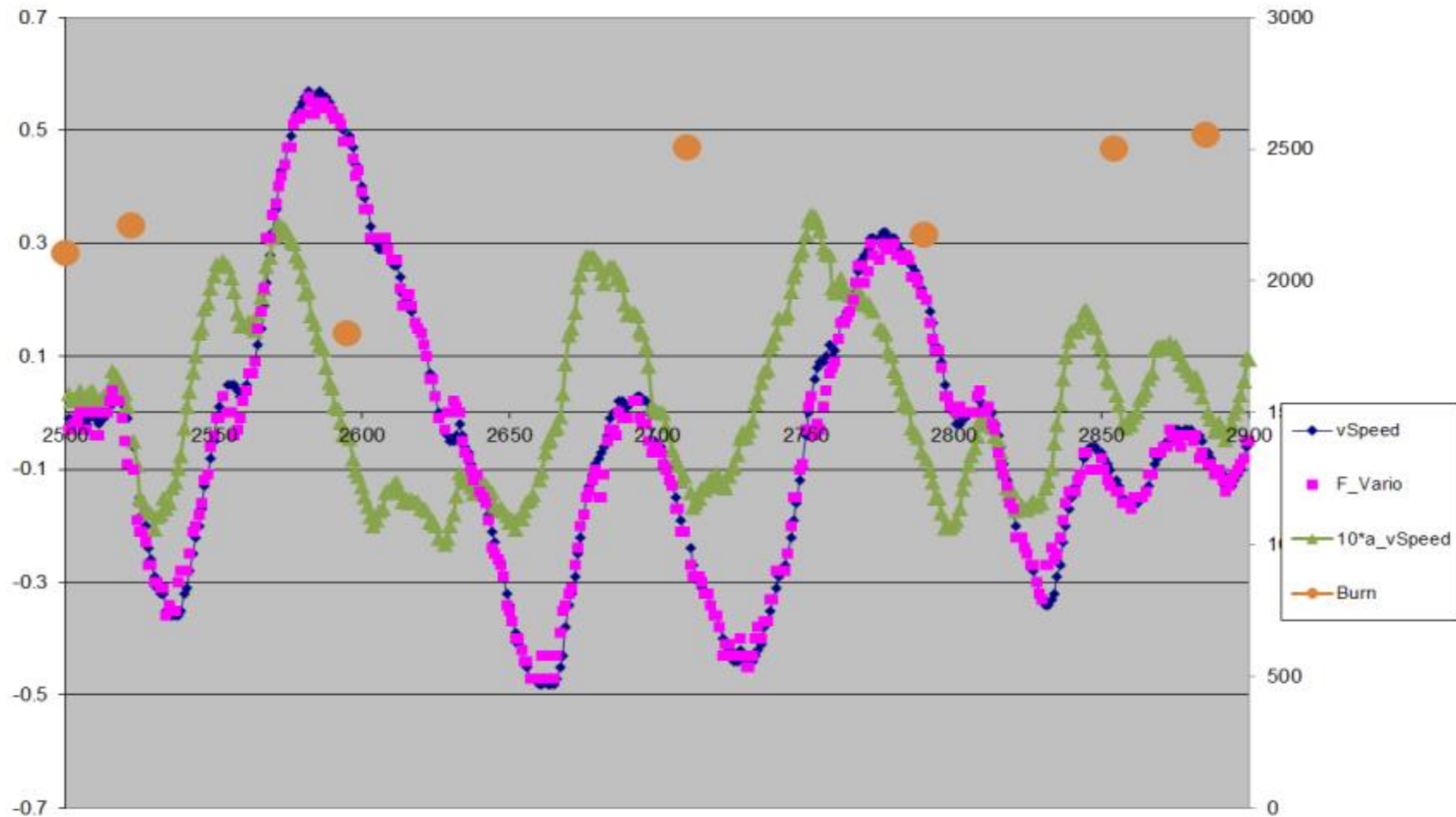
- Jede Ballonfahrt ist durch die herrschenden meteorologischen Bedingungen und Beladungszustände charakterisiert
- Zugrundeliegende Parameter sind komplex und z.T. unbekannt

## 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)