



UNIVERSITY  
OF OSLO

# Cassini-Huygens: Hvordan 300 mill USD nesten ble bortkastet?

Sverre Holm

2004



UNIVERSITY  
OF OSLO

# Cassini

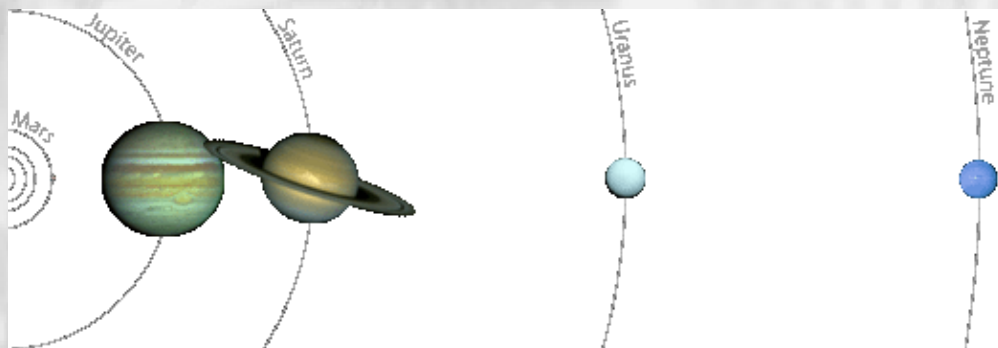
- Okt 1997- største interplanetære ferd
- 2,7 milliarder USD
- Cassini: NASA
- Huygens: ESA \$300





# Saturn

- Saturn: neststørste planet – mindre tetthet enn vann
- 31 måner: Titan størst (>Merkur & >månen)



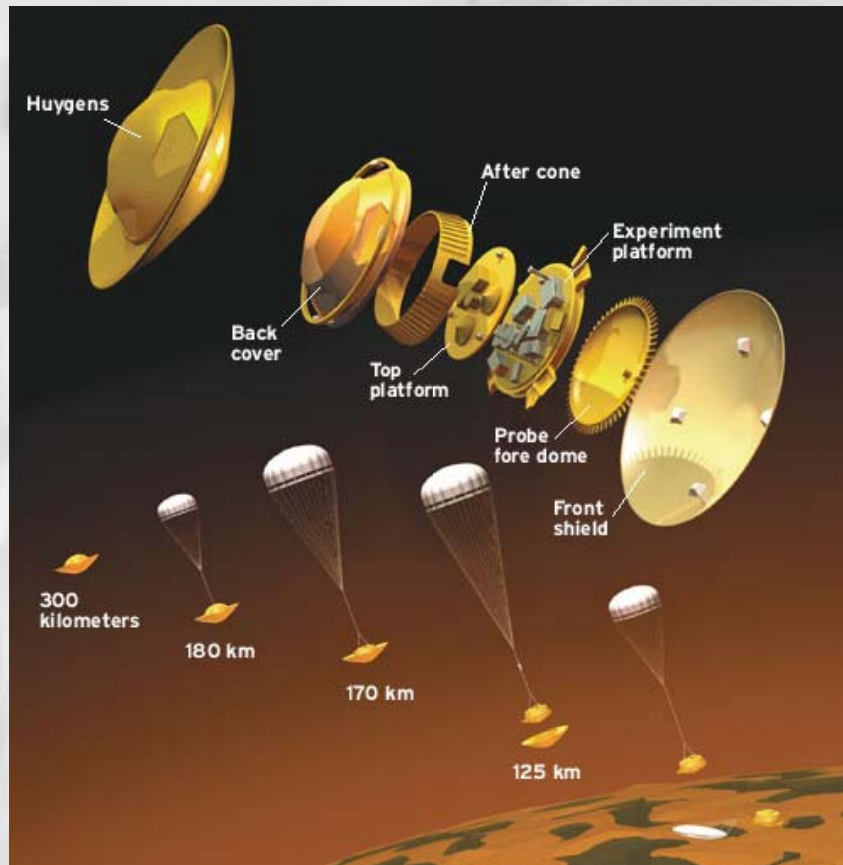


# Highlights of the Saturn Tour

- 74 Orbits of Saturn
- 45 Close flybys of Titan
- 8 close "targeted" flybys of other satellites:
  - 3 close flybys of Enceladus
  - Phoebe
  - Hyperion
  - Dione
  - Rhea
  - Iapetus
- 30 additional satellite flybys at distances less than 100,000 kilometers
- Many Saturn and Ring occultation opportunities
- One "Titan 180 degree" transfer
- One high inclination sequence



# Huygens nedstigning



- Starter med 21 000 km/hr
- Mister fart til 1440 km/h ved 180 km høyde
- Pilotfallskjerm for så å dra ut 8.3 m diameter hovedfallskjerm
- Så kastes frontskjoldet av og målingene begynner.
- Maks batteri for 2.5 timer, så erstattes hovedfallskjerm etter 15 minutter med en 3 meters
- Hastighet i det den når bakken: ca 20 km/h.



# Kommunikasjon Huygens – jorda

- Dobbel S-bånd link til Cassini (2.04 & 2.09 GHz)
- Demodulasjon og lagring på Cassini, senere videresending til jorda
- Relativ hastighet opp til 21000 km/h



# Weak Signal Acquisition

- ESA Contract 8060/88/NL/JG(SC)
- A study with purpose to develop a breadboard acquisition system with performance characteristics matched to Huygens-Cassini communications link.
- Informasjonskontroll Asker 1989-1990
- Prosjektleder: S. Holm, Matlab simulator A. Nysæter, hardware: R. Eisenträger, DSP software: S. Sæther



# Weak Signal Acquisition

- Studerte, testet, og **valgte:**
  - **Fourier – periodogram**
  - AR
  - **Prinicipal Component AR**
  - **Minimum variance (Capon)**
  - DFT-AFC
  - ARMA
  - Adaptive Line Enhancer







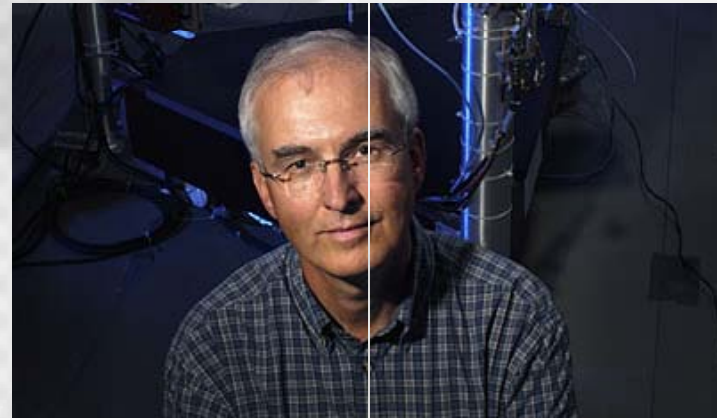
# Problem

- Kritisk designfeil i telemetrisystemet.
- Konsekvens: umulig å dekode data fra proben – 7 års reise til ingen nytte.
- Hadde forkastet forslag om “full-up high-fidelity test” av radiolinken fordi det betød at man måtte skru fra hverandre deler av kommunikasjonssystemet.



# Testing

- Boris Smeds (SE, 26 år i ESA)
- Fikk i oppdrag å lage en test basert på å sende signal fra jorda mot Cassini
- Skulle etterlikne Cassinis signal under landing.





# Enkel eller fullstendig test?

- Opprinnelig plan: sende en umodulert bærebølge med amplitudevariasjon og Doppler.
- Smeds insisterte på å gjøre det skikkelig og simulere alt inkludert telemetridata.
- Ble først forkastet, men til slutt akseptert selv om ingen trodde det var bryet verdt.



# Testresultat

- Sendte data – respons 48 minutter senere – Huygens var i asteroidebeltet.
- Oppdaget raskt at noe var galt og at det var følsomt for Dopplerskift



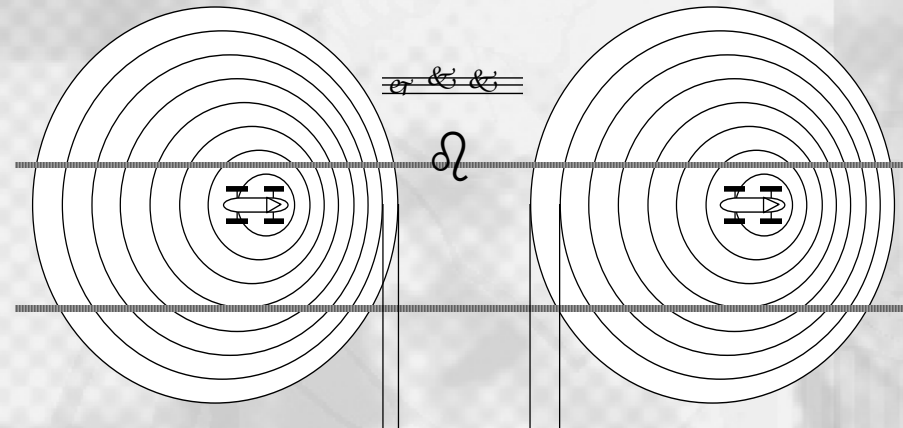
# Årsak

- Alenia Spazio SpA, hadde tatt hensyn til Doppler-skift
- Men Doppler-skift påvirker også dataene: data ville gå ut av synkronisering.
- Ikke oppdaget i noen design review, hverken hos Alenio Spazio, ESA eller NASA.



# Dopplereffekt: frekvens

- $z=v/c =$   
 $5500/3e8=18.3333e-6$
- Dopplerskift:  $f_D/f_0 =$   
 $[(1+z)/(1-z)]^{0.5}-1 \approx z$
- Eksakt:  $18.3330e-6$
- 2090 MHz  $\rightarrow$   
2090.03832 MHz



$$1/(1+x) \approx 1-x, x \ll 1$$

$$(1+x)^{0.5} \approx 1+0.5x, x \ll 1$$



# Tidskompresjon pga Doppler

- Antall perioder fra  $t=0\dots T$ , utsendt:  
$$N=f_0 * T/2\pi$$
- Antall perioder mottatt:  $N=(f_0+f_D)*T_D/2\pi$
- Tidskompresjon:  $T_D/T = (1+z)^{-1} \approx 1-z$
- Datarate øker med  $(1+z) \Rightarrow$   
 $8192*(1+18.3333e-6) = 8192 + 0.150 \text{ bps}$
- Kan dette være et problem?





# Epost fra Boris Smeds, ESA/ESOC, 4. nov 2004:

- Dina beräkningar är korrekta. Mottagaren har inga problem med carrier (2 GHz) eller subcarrier (131072 Hz).
- Problemet är att bitconditionern är designad som en first order PLL och hade implementerats med för lite förstärkning.
- Data är kodade concatenated ( convolutional + Reed Solomon ) så att symbol rate är 16384 sps.
- Loop BW är beroende av signal level ( $E_s/N_0$ ), bit-transition density, dessutom reducerades loop gain med en faktor 2 när signalnivån kom över en viss nivå. (vid  $E/N_0 = 9$  och 15 dB.)
- Resultatet var bit-slippage (phase error större än 90 grader) och data loss redan vid en offset på c:a **8 ppm** och  $E_s/N_0 = 9$  dB.



# Dopplereffekt - Lorentz

- Tidsdilatasjon fra Lorentz-transformasjon:  
 $T_D/T_0 = [1 - z^2]^{0.5} \approx 1 - 0.5z^2$
- Tilnærmet:  $1 - 0.168e-9$
- Datarate blir:  $8192 / (1 - 0.5z^2) =$   
 $8192 + 1.377e-6$  bps
- Et enda mindre problem

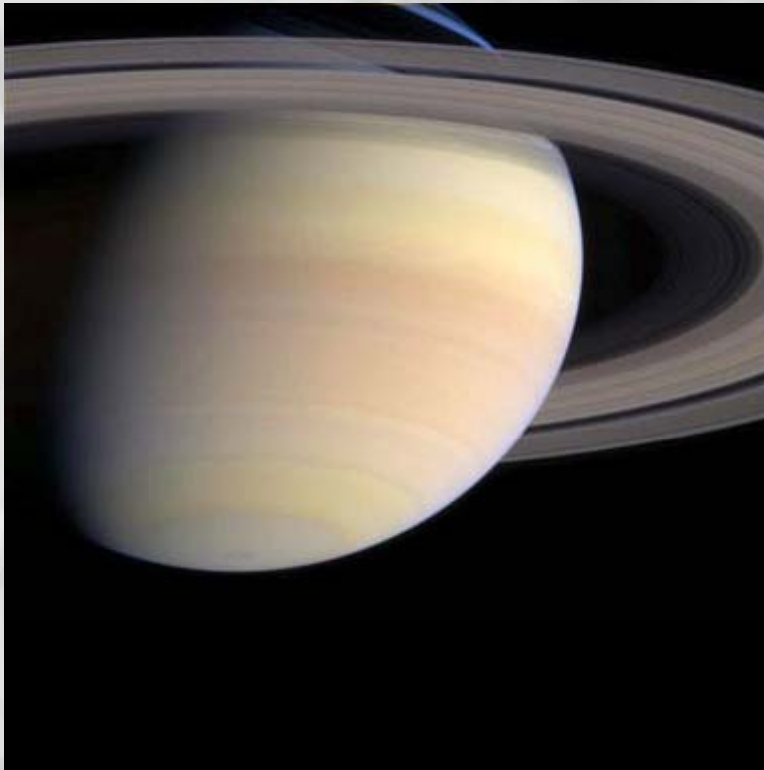


# Fiks

- Endring av Cassinis bane
- Cassini vil være mye lenger fra Titan når Huygens går ned.
- Probens bevegelse omtrent vinkelrett på siktlinjens mot Huygens i stedet for å være langs den.
- Landingen på Titan utsettes fra november til utsendelse 24 desember og landing 14 januar 2005.



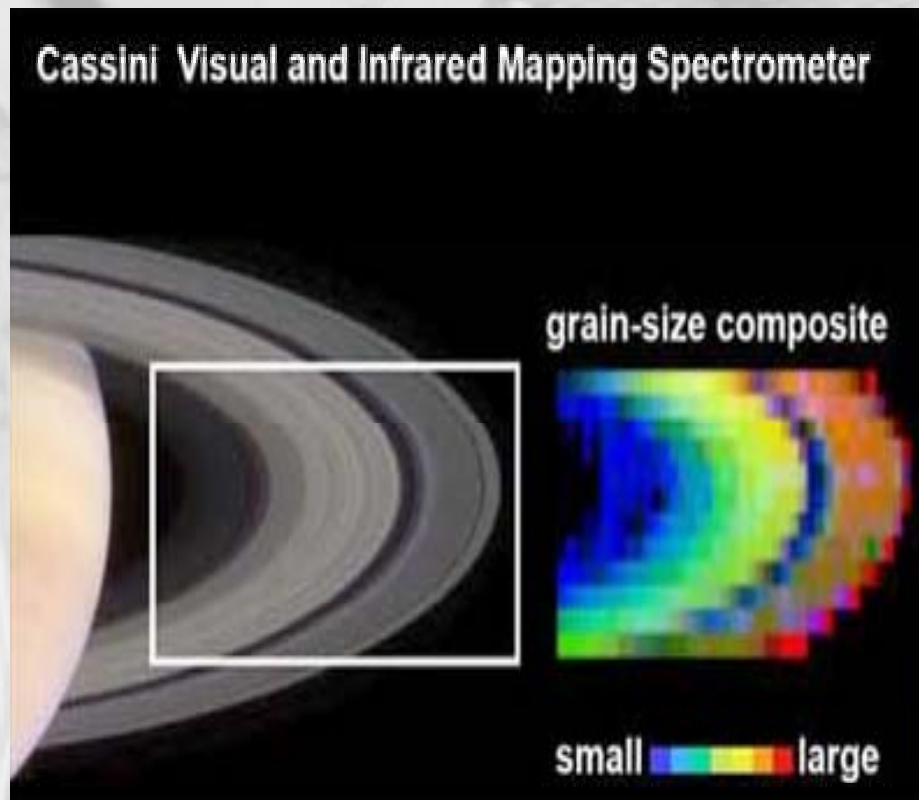
# Ny ring



- Professor Carl Murray, from the University of London, says the new ring lies close to the orbit of one of Saturn's smaller moons, Atlas.
- The ring, which is about 306 kilometres wide, is interposed between two other rings designated A and F.
- The images were taken after the Cassini-Huygens project, jointly launched by Europe and the United States, went into orbit around Saturn on July 1.



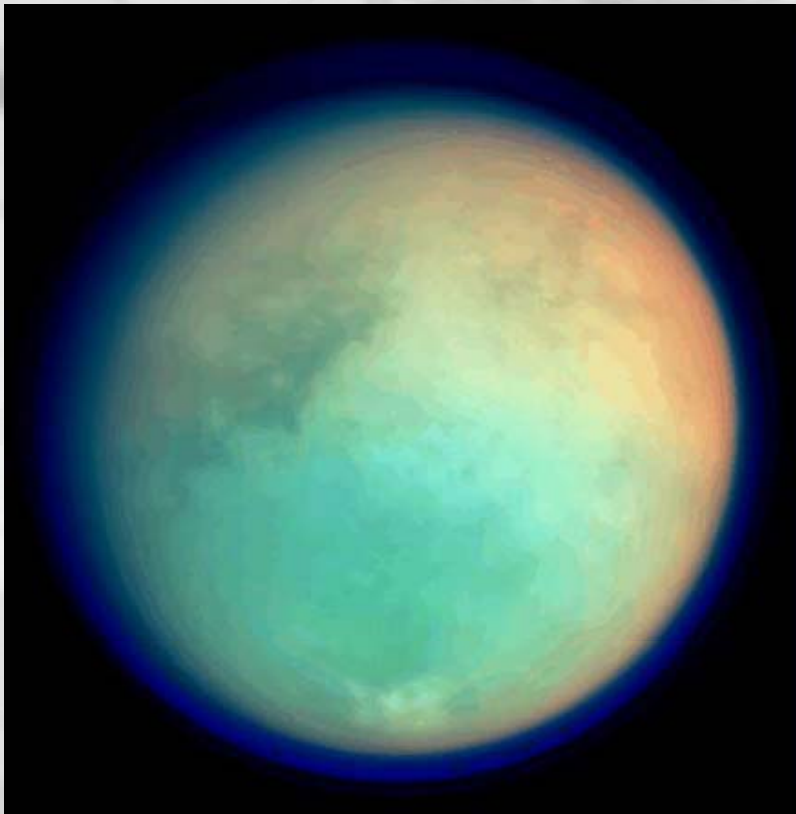
“In just two days, our ideas about the rings have been expanded tremendously”



- Saturn's Cassini Division: the large gap between the A and B rings.
- While Saturn's rings are almost exclusively composed of water ice, new findings show the Cassini Division contains relatively more "dirt" than ice.
- Further, the particles between the rings.
- These dark particles refuel the theory that the rings might be the remnants of a moon.



# Titan letter på sløret



- Titan i ultrafiolette og infrarøde bølgelengder, men fargene er falske.
- Rødt og grønt representerer infrarøde bølgelengder og viser områder der atmosfærisk metan absorberer lys.
- Fargene viser en lysere (rødere) nordlig halvkule).
- Blått representerer ultrafiolette bølgelengder og viser den høye atmosfæren og lagene med dis. Oppløsningen er 6,4 kilometer per piksel.
- Titan er omtrent like gammel som Jorda, men forskerne tror at kulda ute ved Saturn har bevart månen i sin opprinnelige tilstand. Temperaturen blir sjelden varmere enn minus 180 grader.