

Ontvangst van polaire weersatellieten op 8GHz

JOB DE HAAS / PH4AS

WERKGROEP KUNSTMANEN

Even voorstellen



Even voorstellen

Job PH4AS

Achtergrond: elektrotechniek,
computerbeveiliging, hardware-beveiliging

~10 jaar actief bij werkgroep Kunstmanen

Niet actief als zendamateurbestuurder



Overzicht

- Wat is / wie zijn de Werkgroep Kunstmanen?
- Hoe worden beelden vanuit satellieten verstuurd?
- Hoe ziet een ontvangststation er uit?
- Historische zelfbouw-ontvangers
- De huidige stand van de techniek
- Uitdagingen bij het ontvangen van 8GHz transmissies

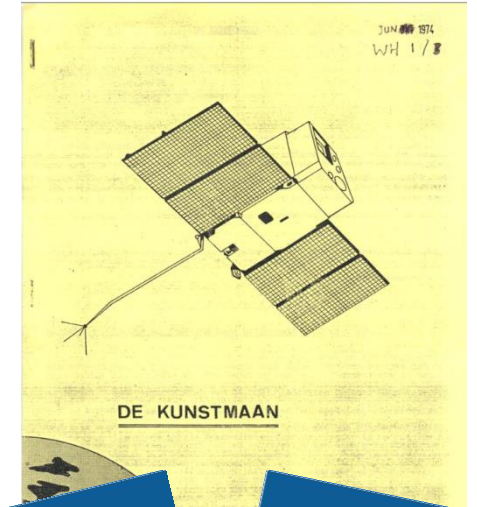
Werkgroep Kunstmanen

Vereniging opgericht in 1973 om
weersatellieten te ontvangen

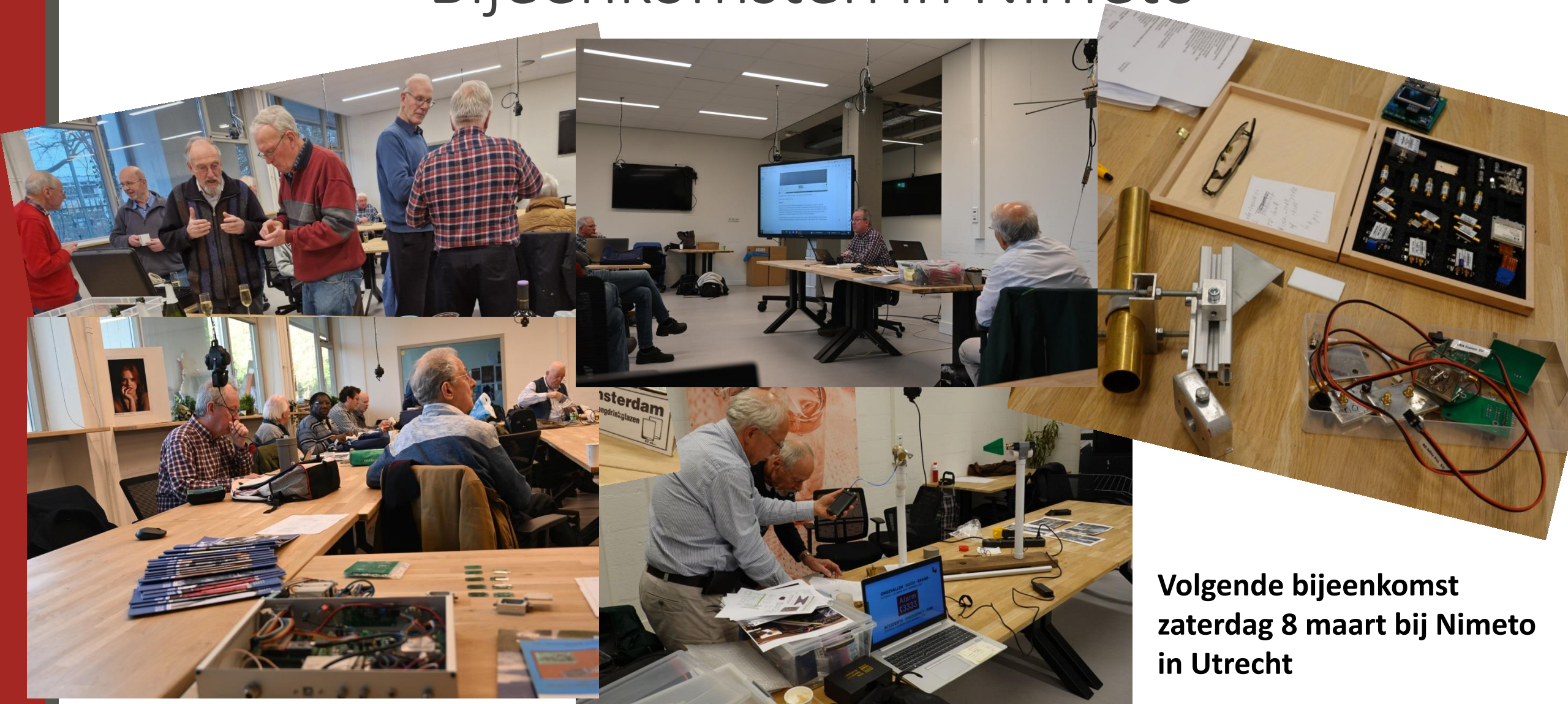
- ~ 100 leden
- 4x per jaar een verenigingsblad
- 5x per jaar een bijeenkomst in Utrecht

<http://www.kunstmanen.net/>
Website is sterk verouderd.

Voornamelijk archief verenigingsblad



Bijeenkomsten in Nimeto



**Volgende bijeenkomst
zaterdag 8 maart bij Nimeto
in Utrecht**

Wat zijn weersatellieten?

Beelden vanuit de ruimte van de aarde:

- Geostationair: 36000 km hoogte
- Polair: ~800 km hoogte

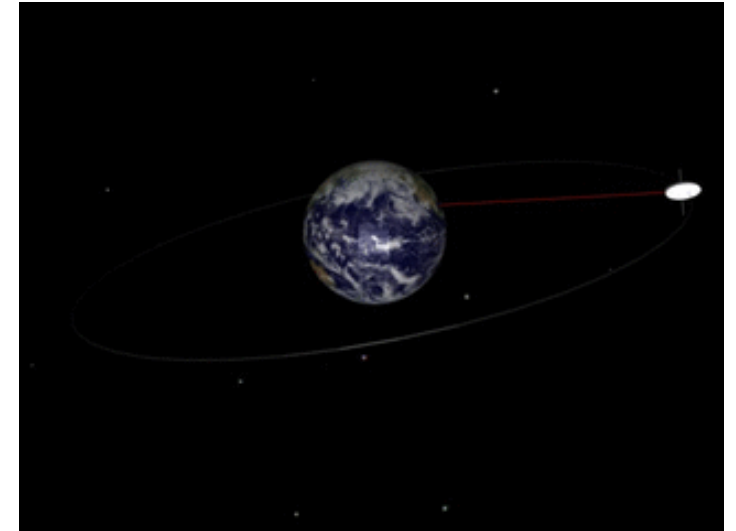
Satelliet 'scant' continue

Zendt naar aarde op verschillende manieren

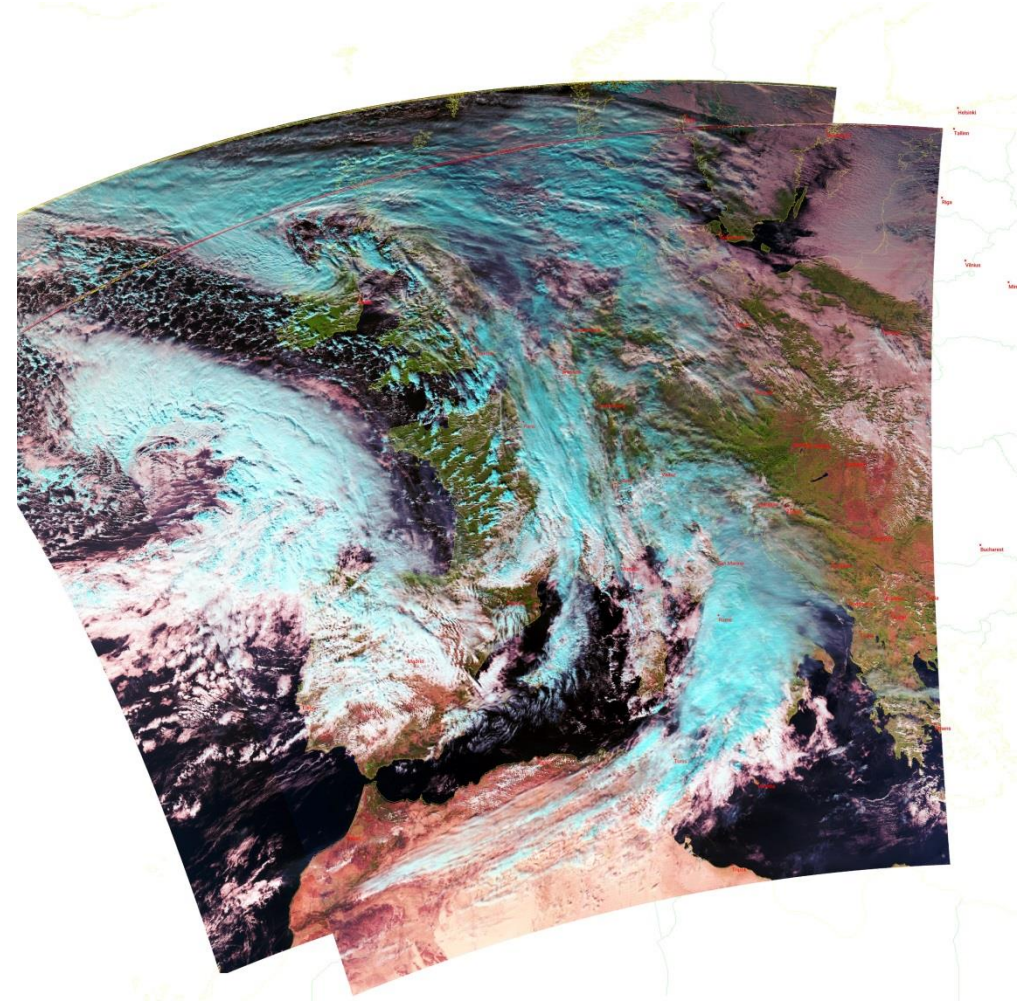
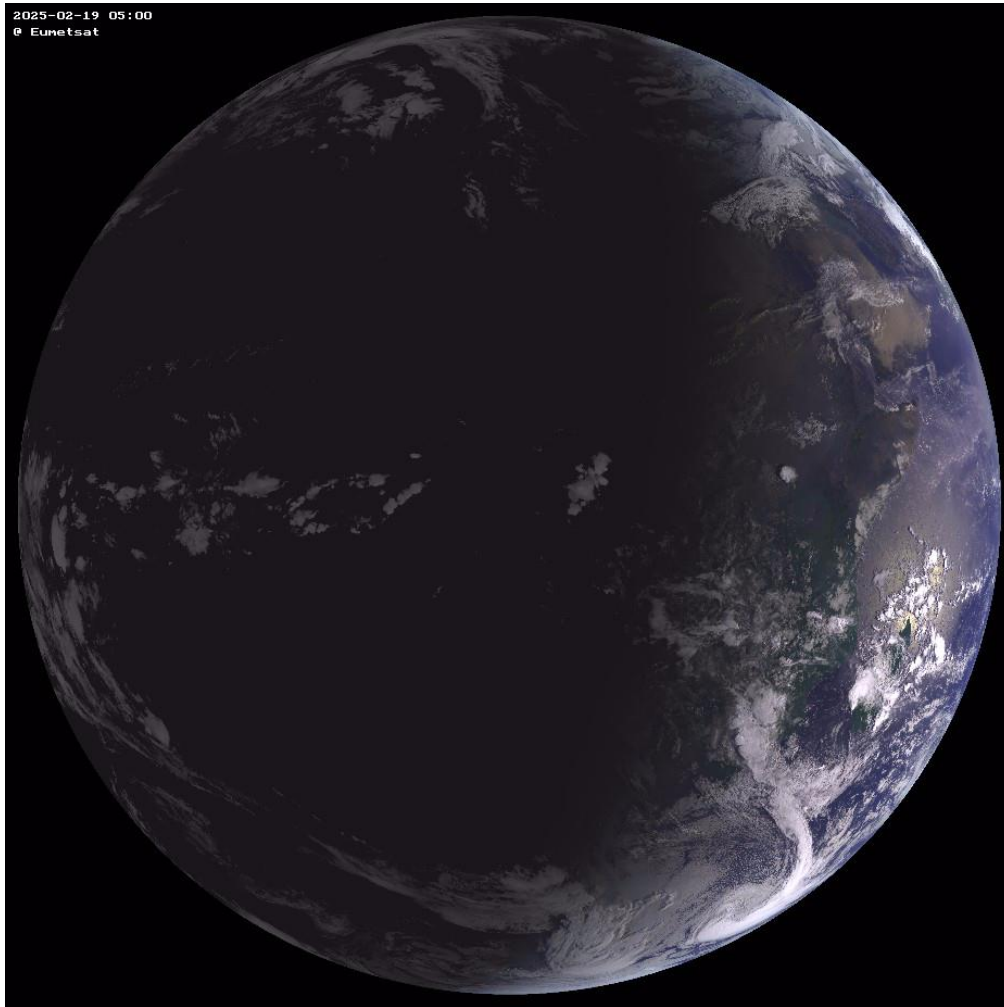
- Direct
- 'Store-forward'

Publiek geld -> geen encryptie

Europees, Amerikaans, Russisch, Chinees



Geostationair versus polair



<https://x.com/redplanet00/status/1719743188468908380>

Welke satellieten zijn er?

Van NOAA-15 uit 1998 tot Meteor M2-4 uit 2024

Polaire satellieten zenden circulair gepolariseerd
De meesten zenden RHCP uit; een enkele LHCP

Naast weersatellieten ook ander soortige observatie
satellieten (zon, andere informatie dan weer)

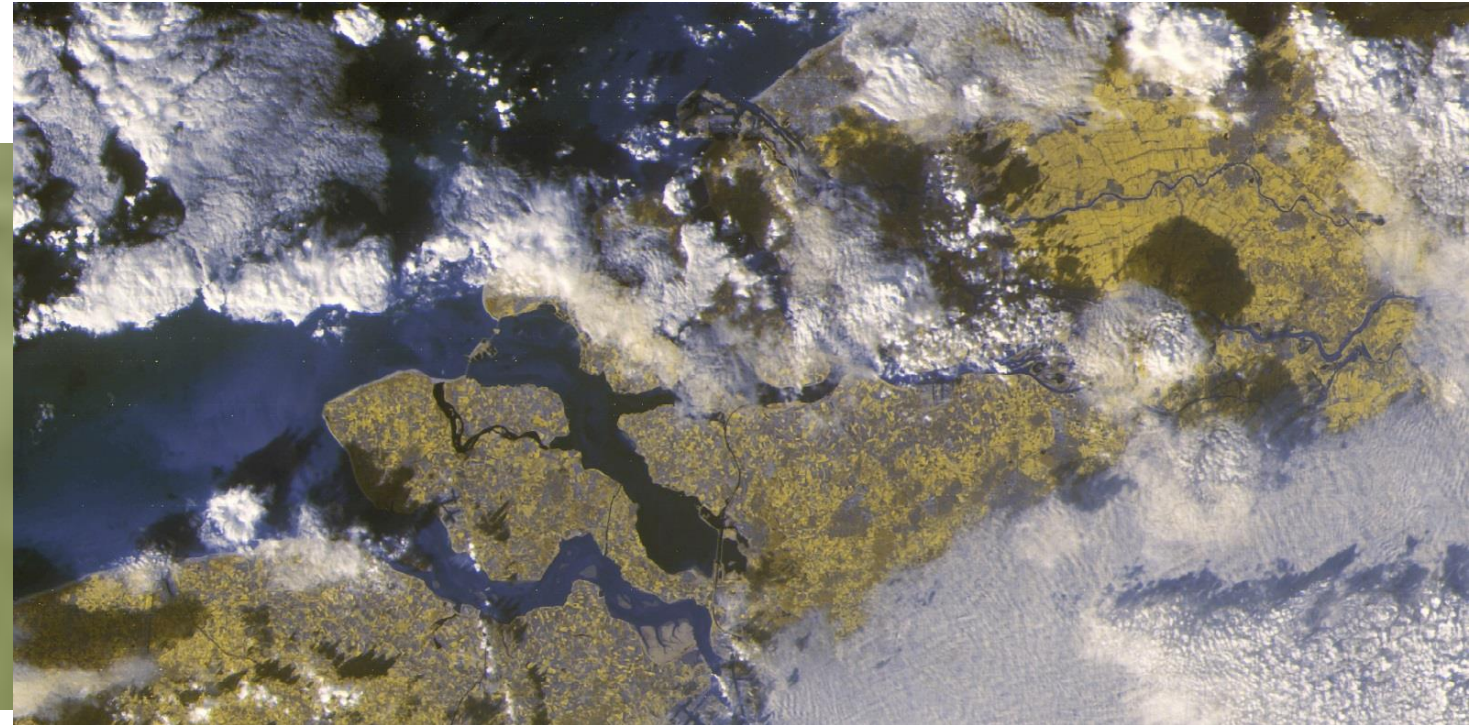
Arne van Belle, 12 December 2024

POLAR	137MHz-band (MHz/Mode)	L-Band (MHz/Mode)	X-Band (MHz)	Remark
NOAA-15	137.620 APT	1702.5 HRPT		Morning/evening, weak/sync problems
NOAA-18	137.9125 APT	1707.0 HRPT		Early morning/afternoon
NOAA-19	137.100 APT	1698.0 HRPT		Afternoon/night
FengYun 3D	-	-	7820	RHCP 30MS/s QPSK
FengYun 3E	-	-	7860	RHCP 38.4MS/s QPSK
FengYun 3F	-	-	7790	LHCP 38.5MS/s QPSK, double FEC3/4
FengYun 3G	-	-	7790	Rain radar on 400km orbit
Metop-B	-	1701.3 AHRPT	7800	2.33 Msym/s / 70Mbps QPSK
Metop-C	-	1701.3 AHRPT	7800	2.33 Msym/s / 70Mbps QPSK
METEOR M N2-2	Off (137.9 LRPT)	Off (1700)	Off	OQPSK72k/MHRPT/GAC dump
METEOR M N2-3	137.9 LRPT	1700 MHRPT	8128/8320	LRPT OQPSK72k/MHRPT/GAC dump
METEOR M N2-4	137.1 LRPT	1700 MHRPT	8128/8320	LRPT OQPSK72k/MHRPT/KMSS
AWS PFM	-	1707 ???	?	RHCP 3.57 Mbps
AQUA	-	-	8160	RHCP 7.5 Mbps no FEC
TERRA	-	-	Off(8212,5)	RHCP 7.5 Mbps no FEC
SUOMI	-	-	7812	RHCP 15 Mbps
NPP(jps)	-	-	-	-
NOAA-20 (jps-1)	-	-	7812	RHCP 15 Mbps FEC 1/2
NOAA-21 (jps-2)	-	-	7812	RHCP 25 Mbps
ARKTIKA-M No1	-	1704 GGAK	7865	RHCP Molniya Orbit RDAS
ARKTIKA-M No2	-	1698 DCP	7865	RHCP MolniyaOrbit RDAS
GEOSTATIONAIR	LRIT/GRB (MHz/Mode)	HRIT/GVAR (MHz/Mode)	X-Band (MHz)	Orbital position/status
MET-12 (MTG-I1)	-	1695.15 HRIT		0.4° W Becoming operational
MET-11 (MSG-4)	-	1695.15 HRIT		9.5° E RapidScanningService
MET-10 (MSG-3)	-	1695.15 HRIT		0° E Operational
MET-9	-	1695.15 HRIT		45.5° E, IODC
GOES-E (no. 16)	1686.6 GRB	1694.1 HRIT		75.2° W via Eumetcast
GOES 17	1686.6 GRB	1694.1 HRIT		104.7° W storage mode
GOES-W.(no 18)	1686.6 GRB	1694.1 HRIT		137.0° W via Eumetcast
GOES 14	1691 LRIT	1685.7 GVAR		105° W, Standby
GOES 13 / EWS-G1	1676 SD	1685.7 GVAR		61.5° E, Now Space Force
GOES 15	-	1685.7 GVAR		135° W storage mode
Elektro-L2	-	1693 GGAK	7500 RDAS	LHCP 14.5° W lower signal level
Elektro-L3	1691 xRIT	1693 GGAK	7500 RDAS	76° E Operational via Eumetcast
Elektro-L4	1691 xRIT	1693 GGAK	7500 RDAS	165.8° E
MTSAT-2	1691 LRIT	1687.1 HRIT		145° E via Eumetcast
Himawari-8	-	-		140.7° E standby
Himawari-9	-	-		140.7° E via HimawariCast
Feng Yun 2G	-	-		105° E
Feng Yun 2H	-	-		79° E
Feng Yun 4A	1697 LRIT	1681 HRIT		99.5° E Operational
Feng Yun 4B	1697 LRIT	1681 HRIT		133° E 7500 MHz X-band
Eutelsat 21B	-	-	7729.5 RHCP	Only for test signals 21.5E
SpainSat	-	-	7749.5 RHCP	Only for test signals 30W
SYRACUSE 3B	-	-	7705 LHCP	Only for test signals 1.1W
SYRACUSE 4B	-	-	7749 LHCP	Only for test signals 6.5W

Alsmaar mooiere beelden



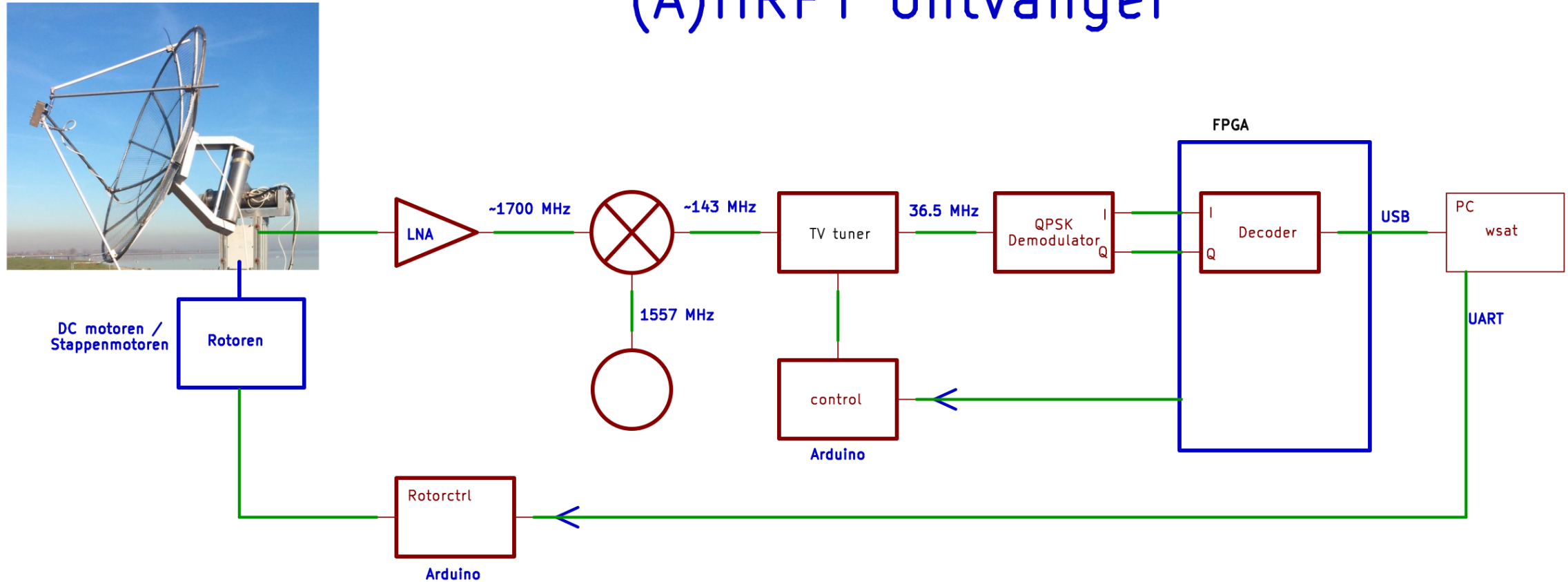
NOAA-19 APT



METEOR M2-4 KMSS (ontvangen door Peter Kooistra)

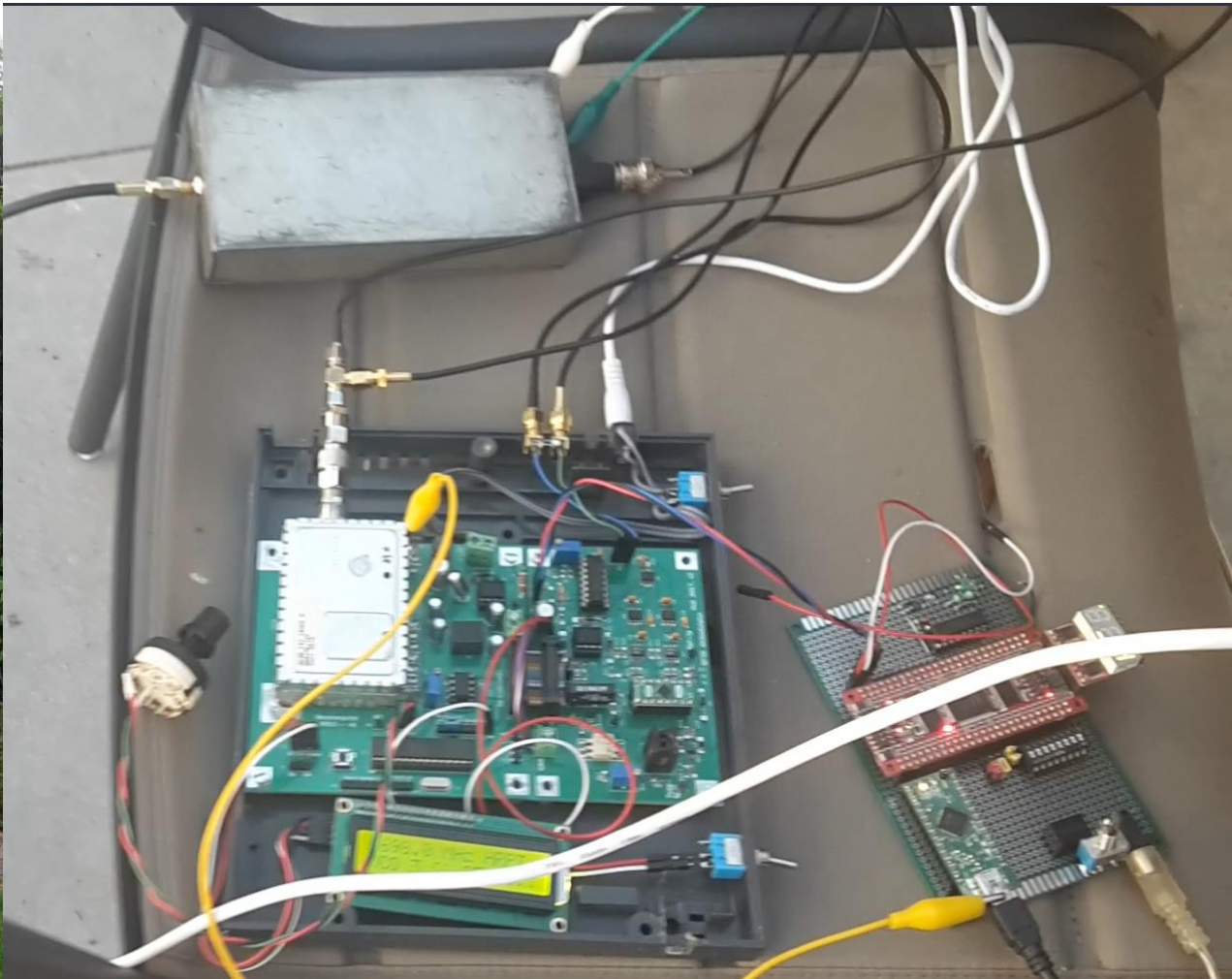
Voorbeeld van een ontvangststation

(A)HRPT ontvanger

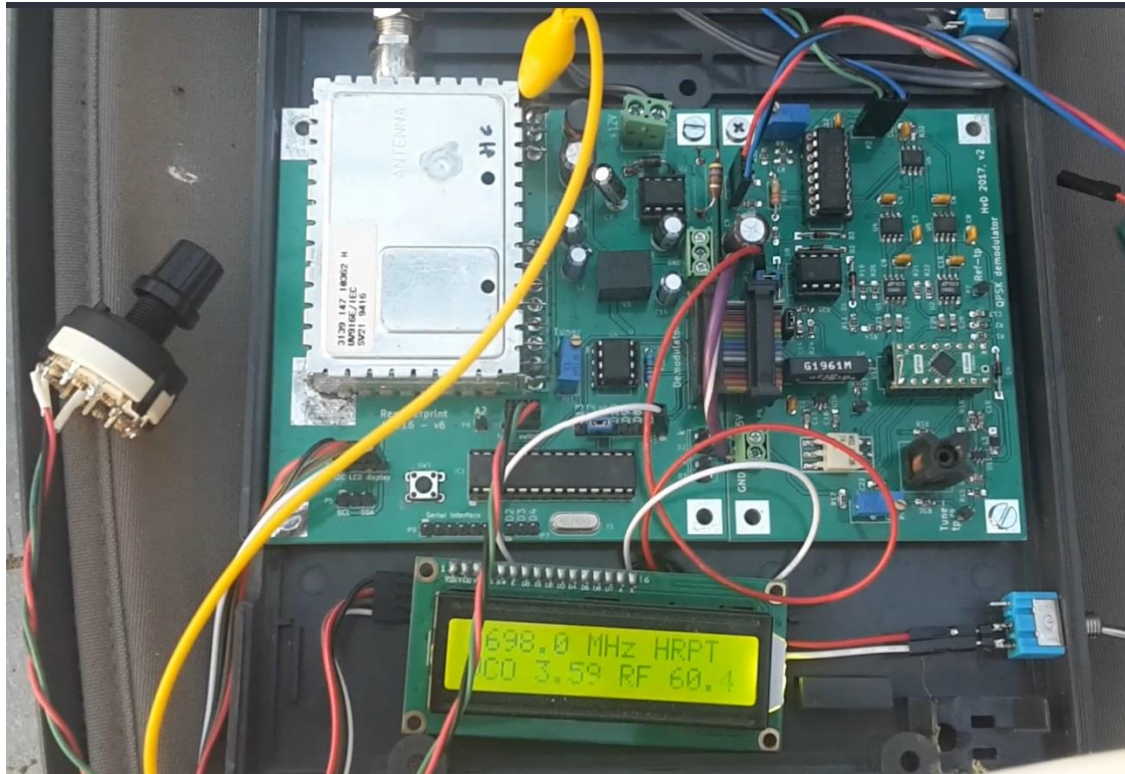




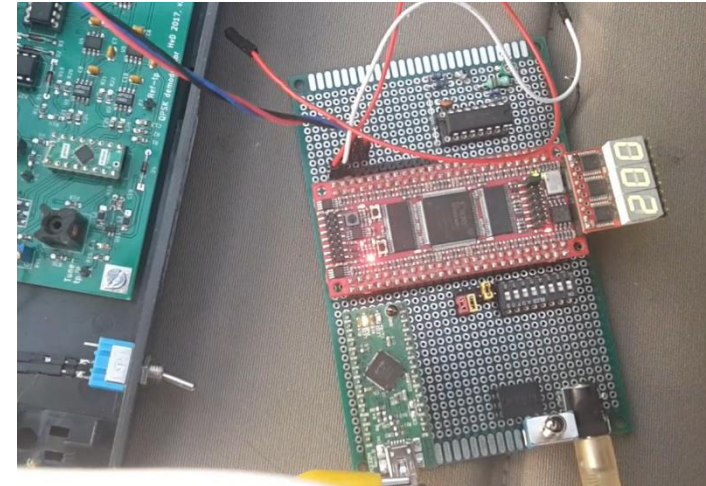
Voorbeeld van een ontvangststation



Voorbeeld van een ontvangststation



Links tuner+controller rechts HRPT/QPSK demodulator



FPGA decoder met USB naar PC



Live beeld tijdens overkomst

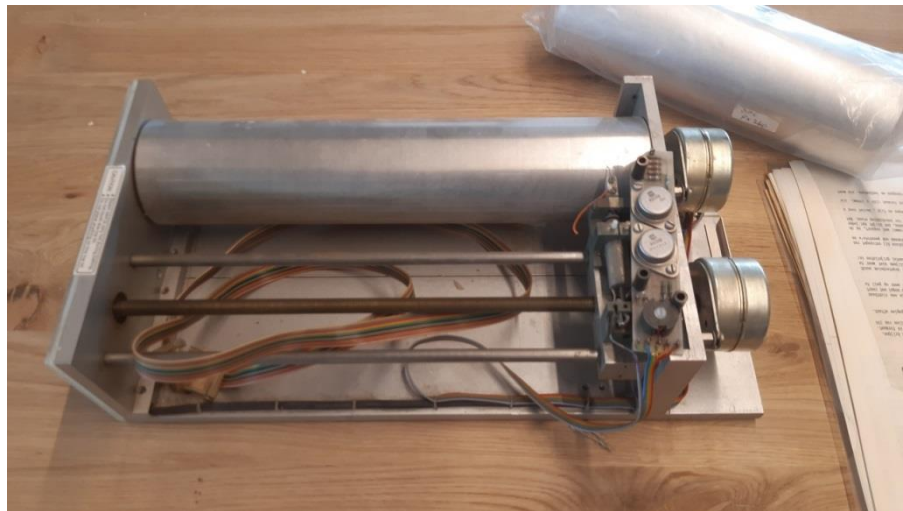
Zelfbouwontvangers

Automatic Picture Transmission APT 137MHz

Sinds 1964. Vanaf 1978 op polaire satellieten

Direct analoog naar warmtegevoelig papier (1980)

Later via hardware ontvanger naar WAV audio en software



<http://www.kunstmanen.net/images/documenten/DemoBeeldtrommel.mp4>



Werkende ontvanger van Ben Groot

1700 MHz ontvanger (A)HRPT

Low-rate Picture Transmission / LRPT

- Opvolger APT op 137 MHz
- QPSK modulatie

High Resolution Picture Transmission / HRPT

- BPSK modulatie
- Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

Advanced High Resolution Picture Transmission / AHRPT

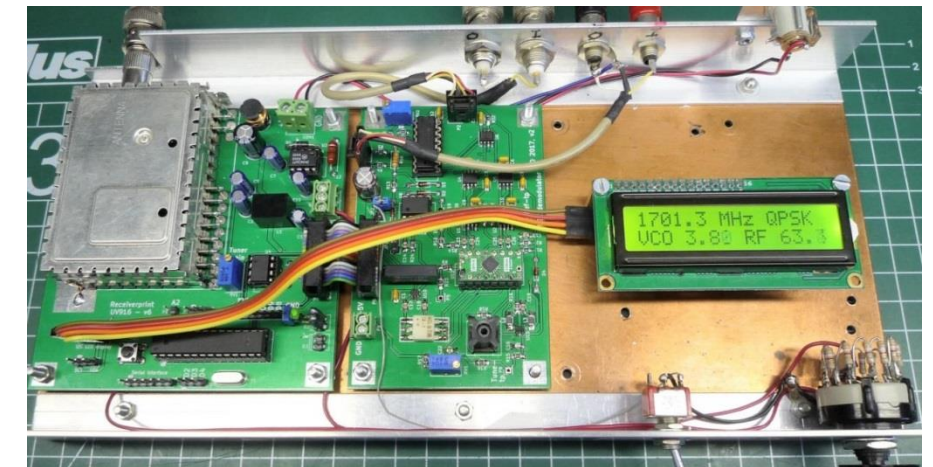
- Flexibeler formaat dan HRPT ondersteunt hogere data-rate
- Overwegend QPSK modulatie, soms BPSK

Hardware ontvanger:

- Helical feed in schotel met rotor
- TV tuner naar 36.5 MHz
- QPSK demodulator in hardware
- IQ data naar Spartan 3 FPGA voor decoderen
- USB verbinding naar PC voor weergeven beeld




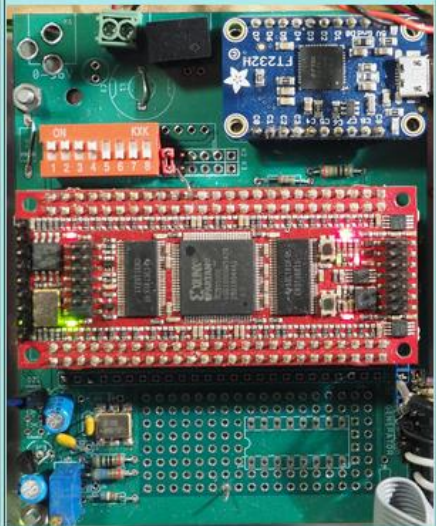
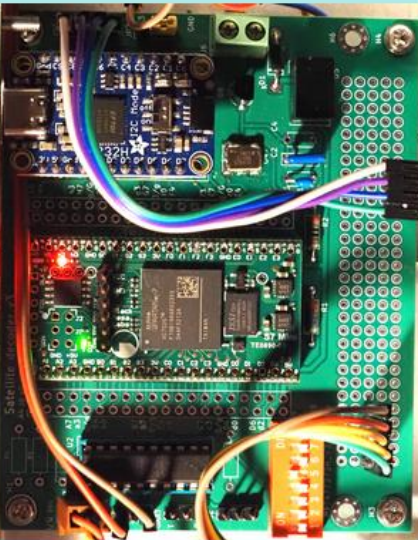



APT HRPT ontvanger 2008



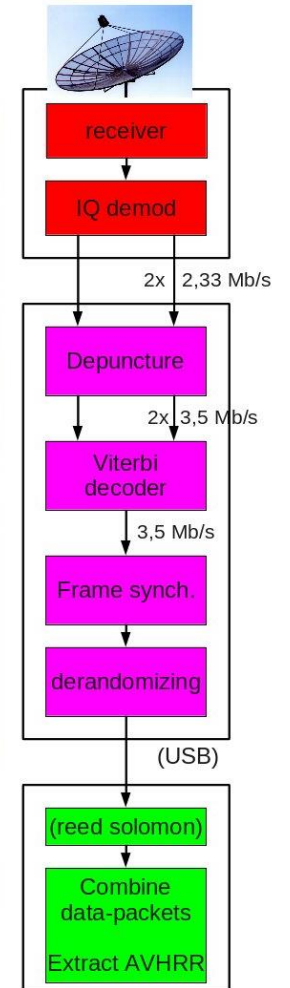
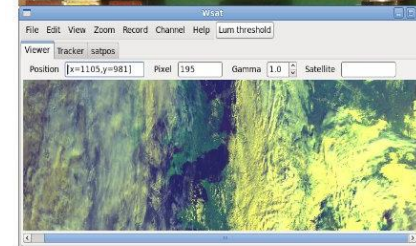
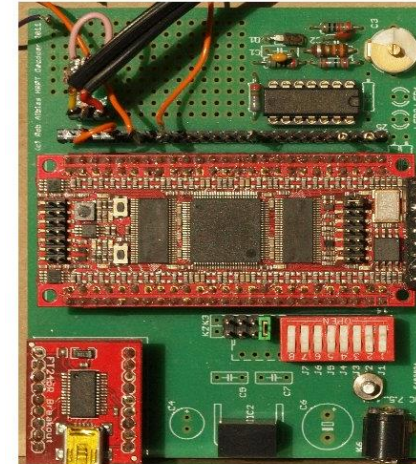
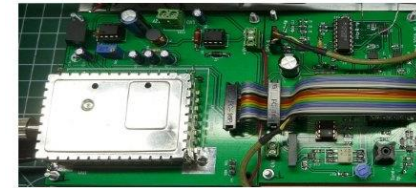
(A)HRPT ontvanger 2017

HRPT decoder geschiedenis

(A)HRPT decoders

<u>1994/1995</u>	<u>2010 (2018,2019)</u>	<u>2023</u>
HRPT, CHRPT, HRI	HRPT, MHRPT, METOP, Fengyun-3A/B/C Aqua, NOAA20/Suomi, NOAA21	HRPT, MHRPT, METOP, Aqua, NOAA20/Suomi, NOAA21 (FY3D)
parallelport	USB	USB
		
		

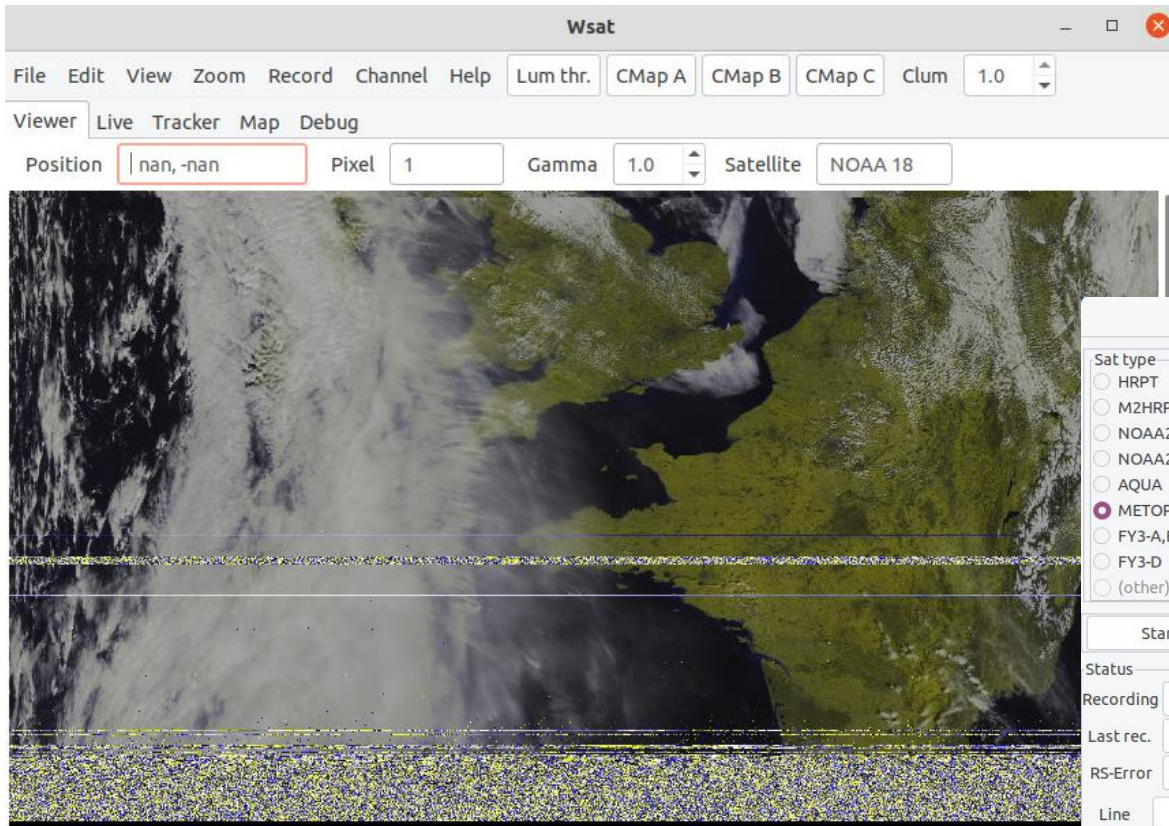
Receiving METOP



http://www.ablas.demon.nl/wsat/hardware/hardware_dec.html

Software: wsat

- Aansturing van zowel FPGA decoder als rotor
- Volledig automatisch opslaan van overkomsten
- Baangegevens (TLE) via internet
- Verwerkt beelddata uit de FPGA decoder



The Record (A)HRPT window contains several sections:

- Sat type:** Radio buttons for HRPT, M2HRPT, NOAA20, NOAA21, AQUA, METOP (selected), FY3-A,B, FY3-D, and (other).
- During record:** A green indicator for RS cor. and a dropdown for Show channel (Chan 2).
- Options:** Checkboxes for Auto-zoom, Auto-shift (checked), Keep aspect, Auto-lum, and Save.
- Buttons:** Start and South bound.
- Status:** Fields for Recording, Last rec., and RS-Error.
- Line:** A field with the value 0 and a Sync checkbox.
- Advanced/Close:** Buttons at the bottom.

Below the Record window, another screenshot shows the Tracker window with a table of satellite passes:

Download Kepler	Satellite	Up time	Max Elev	at	pass	dir	Down at	Freq
	METOP-B	19-02 11:13:57	27.1	11:21:03	W	N->S	11:28:06	1701.3
	METEOR-M2 3	19-02 11:25:29	24.0	11:32:22	W	N->S	11:39:13	1700.0
	FENGYUN 3B	19-02 11:45:24	5.4	11:49:51	W	N->S	11:54:16	1704.5
	METEOR-M2 4	19-02 11:47:41	10.4	11:53:17	E	S->N	11:58:51	1700.0
	NOAA 19	19-02 11:48:51	26.2	11:56:05	W	N->S	12:03:16	1698.0
	NOAA 18	19-02 12:05:55	52.7	12:13:37	W	N->S	12:21:17	1707.0
	METOP-C	19-02 12:07:59	16.8	12:14:26	W	N->S	12:20:50	1701.3
	METOP-B	19-02 12:54:52	6.0	12:59:28	W	N->S	13:04:02	1701.3
	METEOR-M2 3	19-02 13:06:15	5.0	13:10:30	W	N->S	13:14:44	1700.0
	METEOR-M2 4	19-02 13:24:37	44.2	13:32:04	E	S->N	13:39:32	1700.0

Below the table is a zoom control (Zoom 9) and a color-coded bar. Further down are fields for Date (2025-02-19), Time (10:52:34), Minute offset (Add), and Track Sun. A Next pass field shows METOP-B up in 0:21:23 and F = 1701.3 MHz. Other controls include Nr in list (10), Goto storm, Rotor connect, Failed: port 16, and Plot track.

<http://www.ablas.demon.nl/wsats/>

Ontvangen met SDR

Modern: Antenne → LNA → RTL USB dongle → laptop of telefoon



saveitforparts <https://www.youtube.com/watch?v=PFQ6UKulxSo>

Ontvangen met SDR

Alternatief voor volledige zelfbouw

Sneller resultaat

Kosten lopen op voor hogere bandbreedtes

Goede software beschikbaar: SatDump



BladeRF



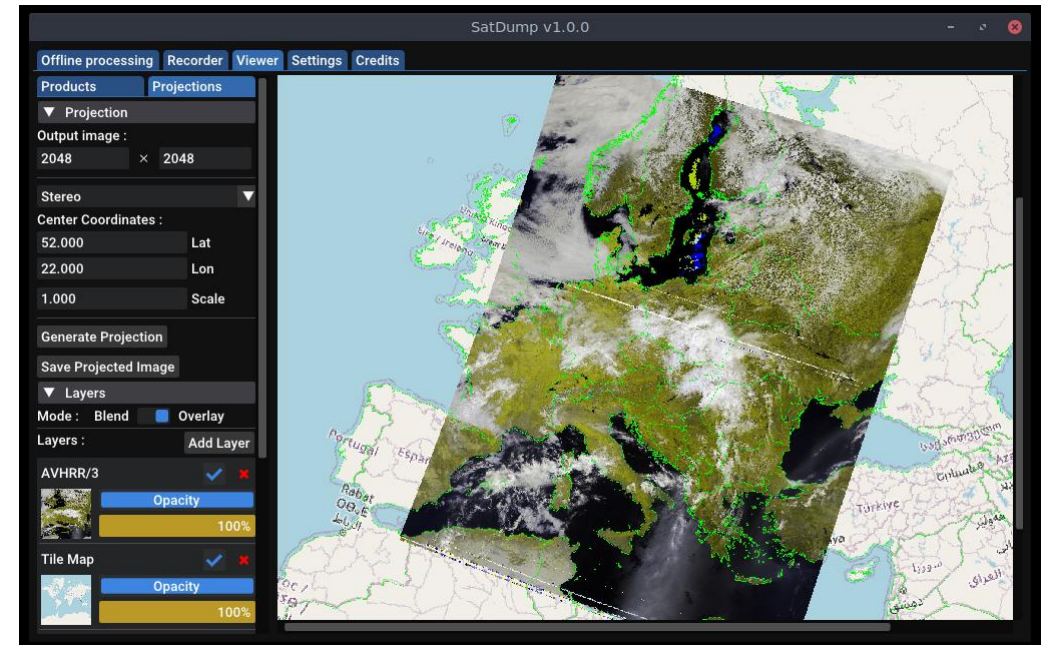
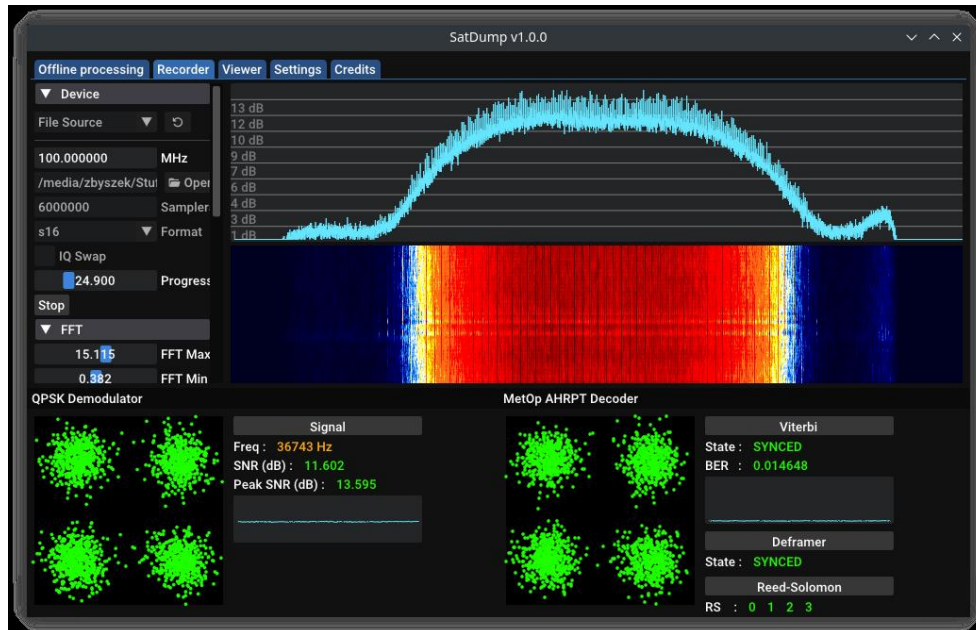
USRP B210



LimeSDR

SatDump

Zowel acquisitie als decoderen en projecteren
Ondersteunt diverse SDRs en vele satellieten



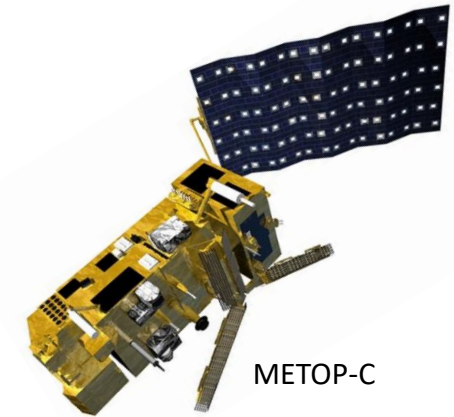
<https://www.satdump.org>

Huidige generatie weersatellieten: 8GHz

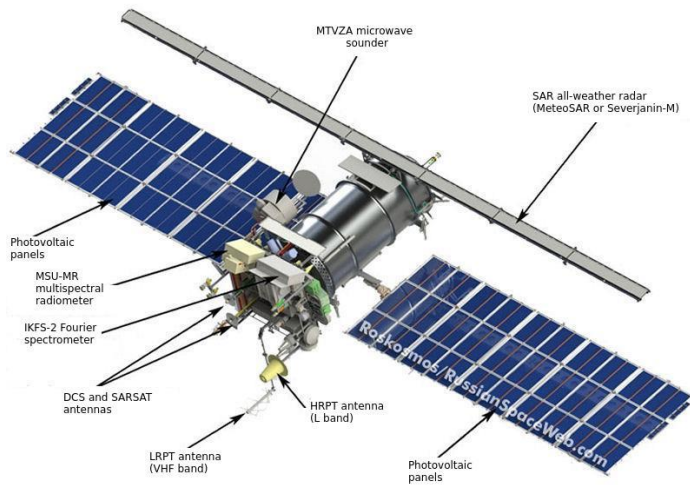
Hogere resolutie in meer banden

Meer data → hogere data rates → meer bandbreedte

→ Hogere zendfrequentie 7800-8200MHz

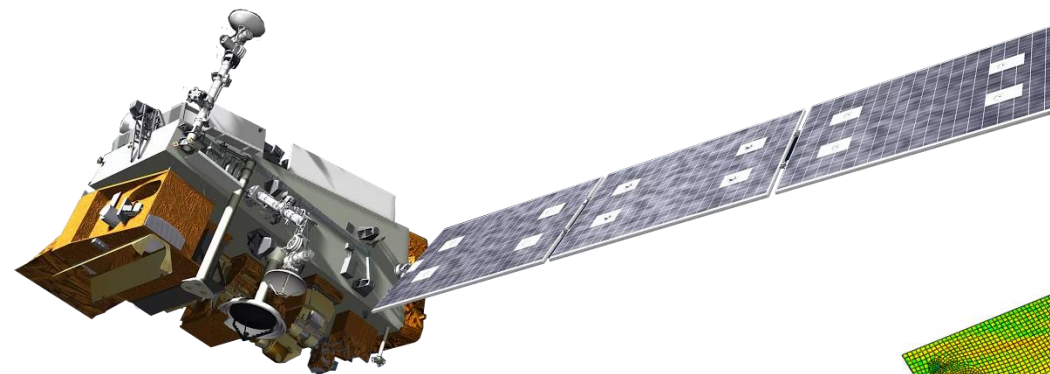


<https://www.eumetsat.int/our-satellites/metop-series>

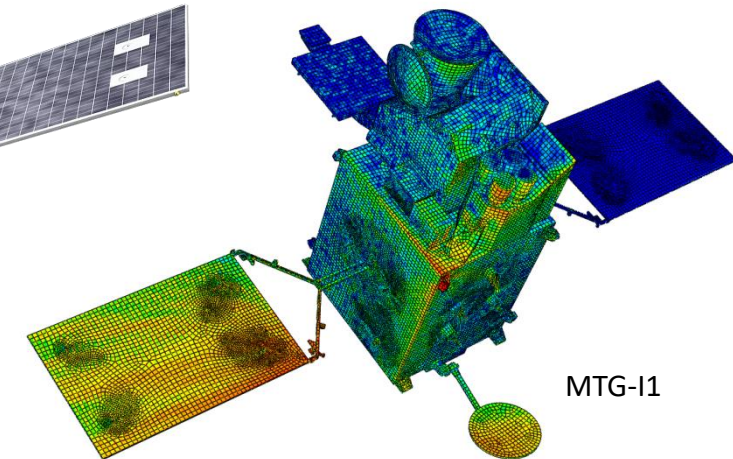


Meteor M2-4

<https://www.a-centauri.com/articoli/meteor-satellite-reception>



<https://science.nasa.gov/toolkits/spacecraft-icons>



https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/07/RF_model_of_MTG-I

Gevolgen voor ontvangststation

Er is meer gain nodig: andere feed, schotel $\geq 1\text{m}$

Grotere schotel en hogere frequentie: kleinere openingshoek

Kleinere openingshoek: nauwkeurigere positionering

Hogere data rate: snellere QPSK demodulator

Schotels

Prime focus maar ook offset schotels

- Goed verkrijgbaar / minder blocking
- Schotelvorm wordt kritischer



Feeds

Feed verschilt tussen type schotels

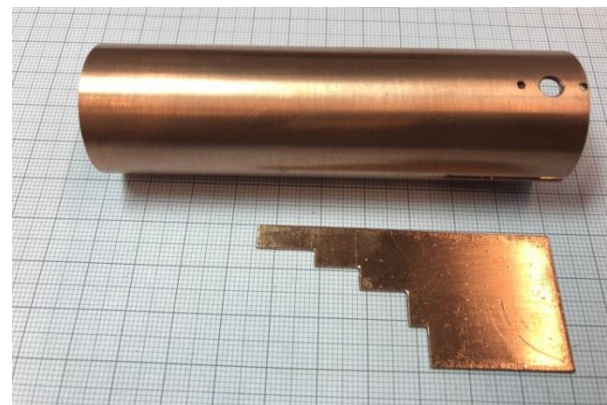
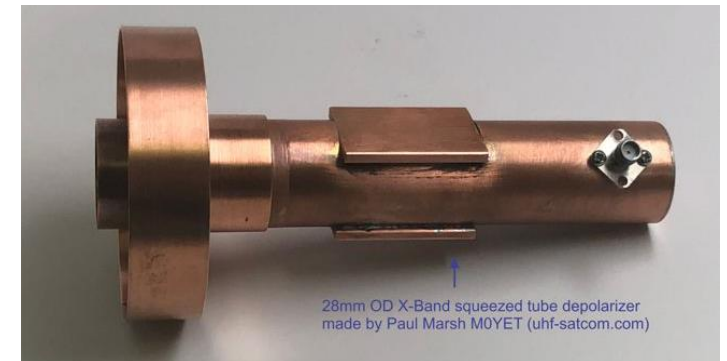
- Dual mode ('potter')
- Corrugated
- Scalar



Polarisatie

Verschillende technieken

- $\frac{1}{4}$ golf coax
- Diëlectrische plaat (slab)
- Squeezed horn
- Polarisatie schroeven
- Septum



Rotor

Grotere schotel en zwaardere feed

Hand-tracking

Azimuth Elevatie of X-Y

Az-El rotor moet sneller kunnen draaien

Meer componenten op beweegbare deel



X-Y rotor met stappenmotoren



Az-El rotor met DC motoren

Elektronica

LNA → Down-conversie

→ Tuner

→ QPSK demodulator

→ FPGA decoder

→ PC (beeldverwerking en projectie)

Testsystemen:

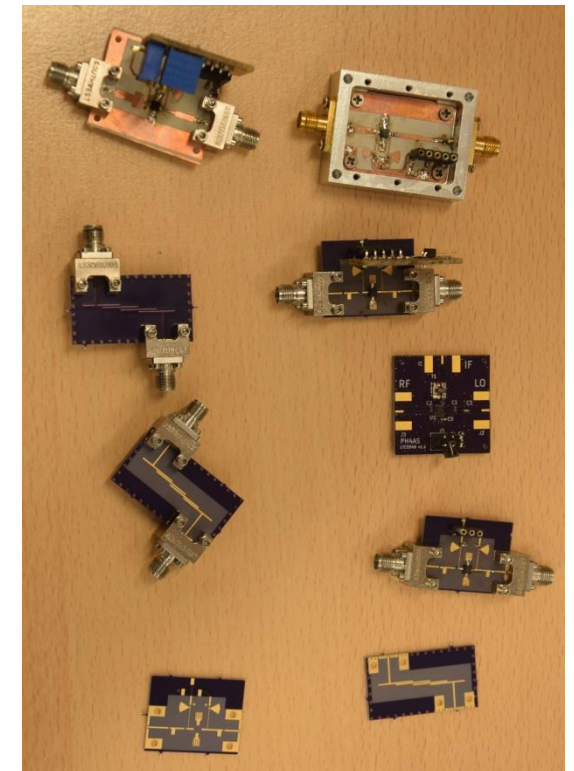
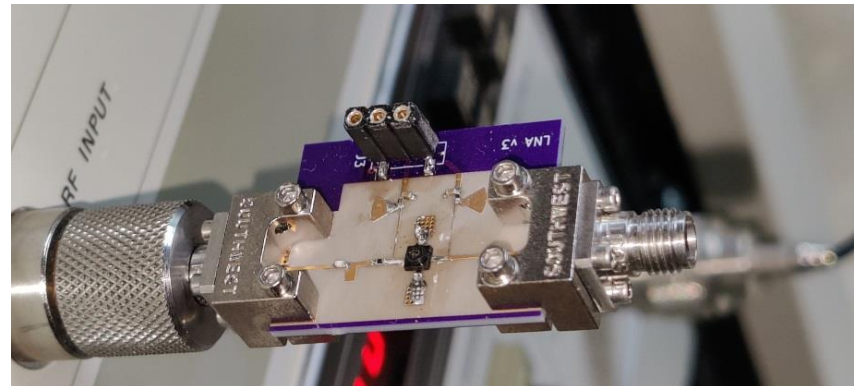
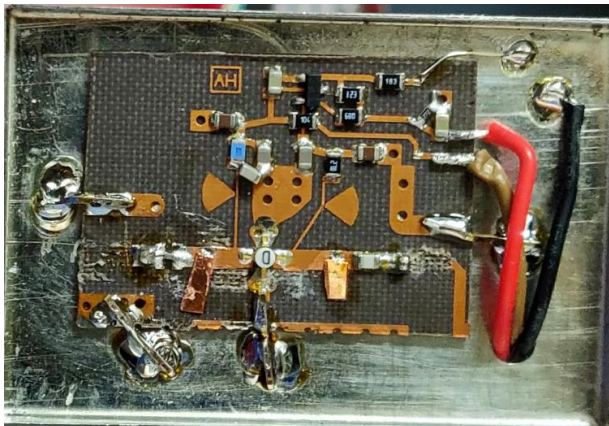
- QPSK data generator
- Modulator
- Up-conversie

LNA

Laag ruisgetal, stabiliteit, voldoende versterking voor mixer

Sat-TV FETs (CE3512K2 etc.)

Surplus handmatig tunen of kant en klare print

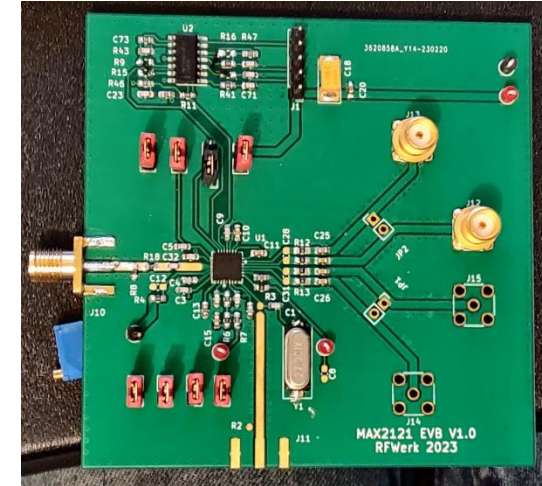
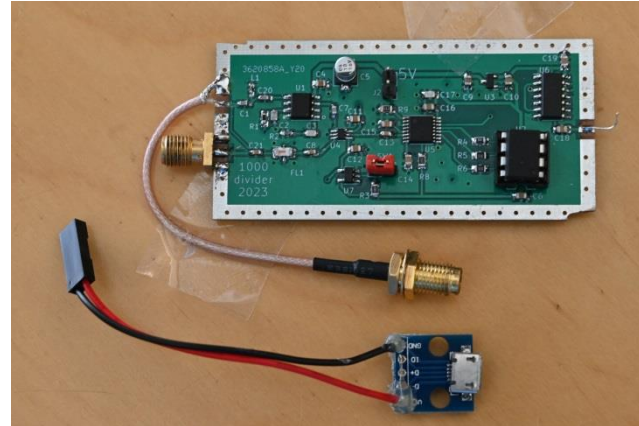


Downconversie / tuner

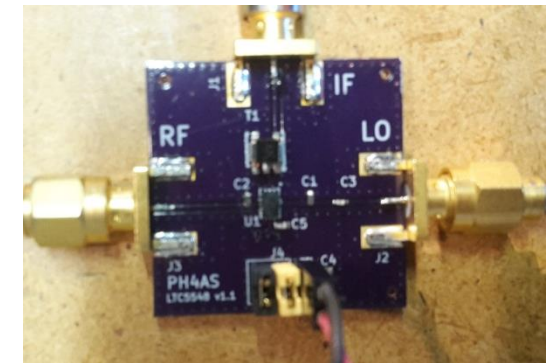
LO: 6500-7000 MHz

Diverse mixers

MAX2323 Tuner

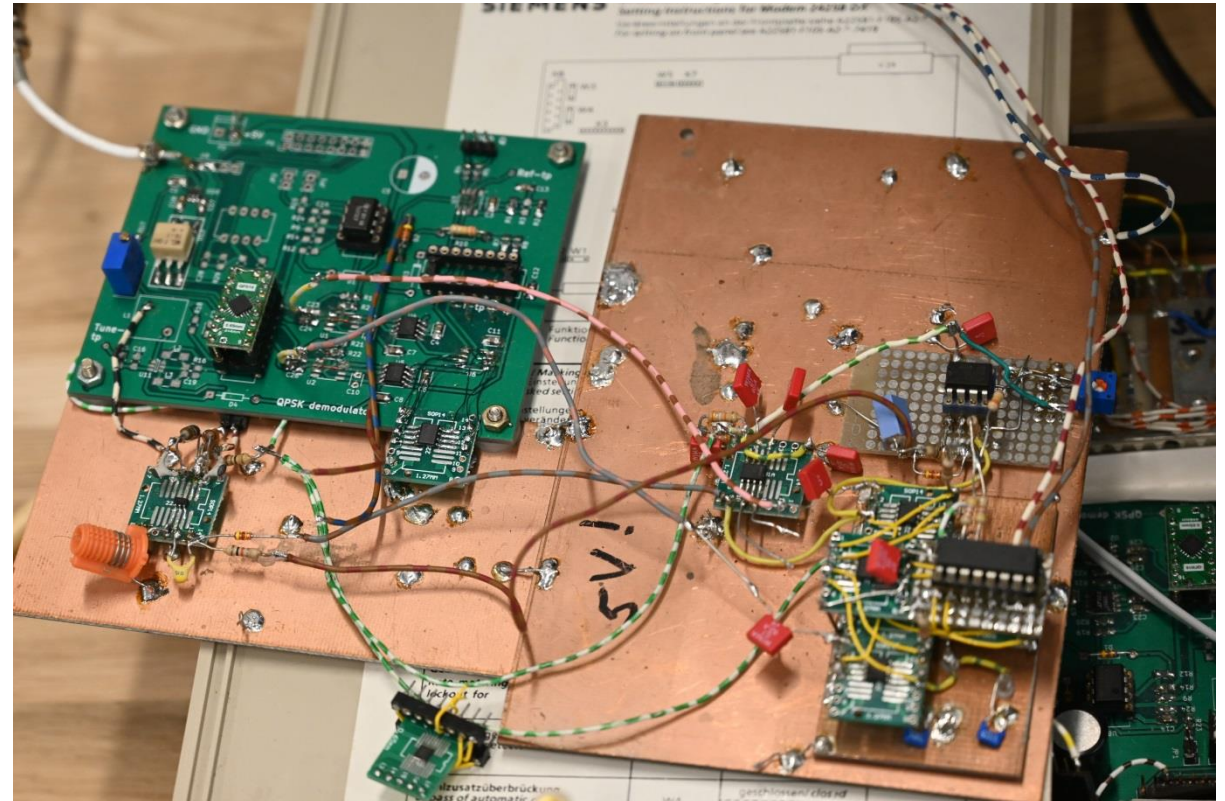
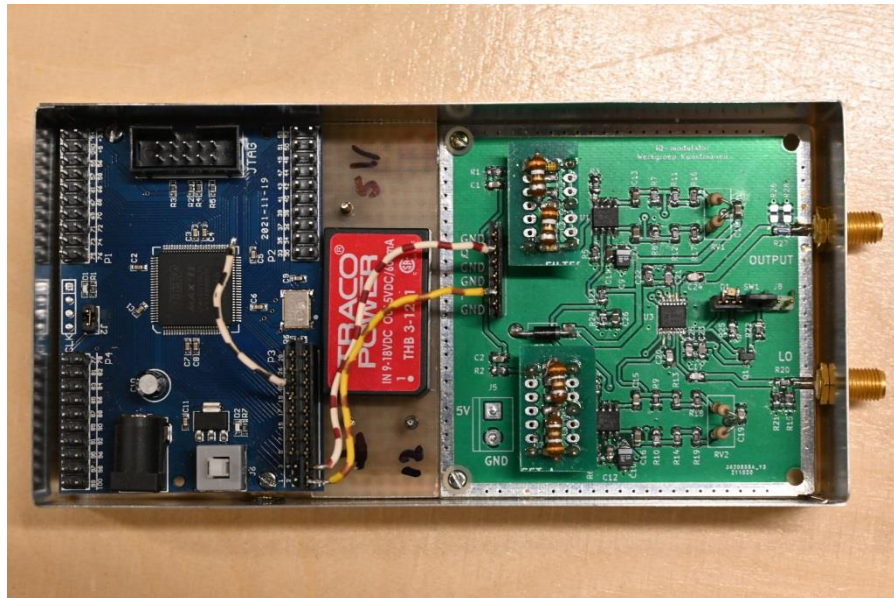


Of: Kuhne LNC 8085
 maar werkgebied 8-8.5GHz
 en hoge LO



Testinstrumenten

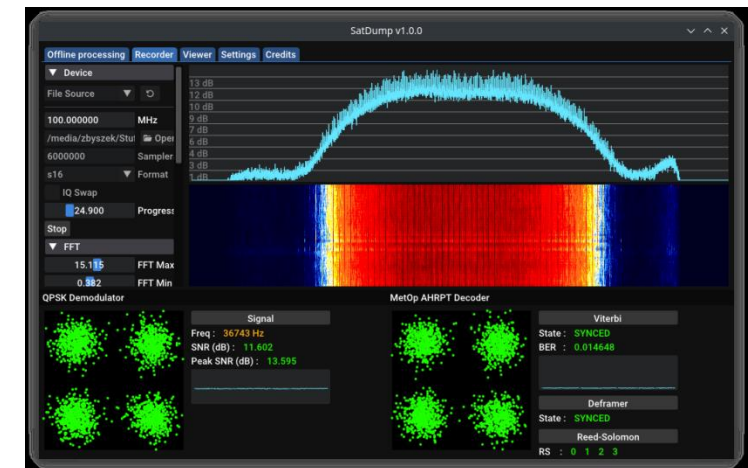
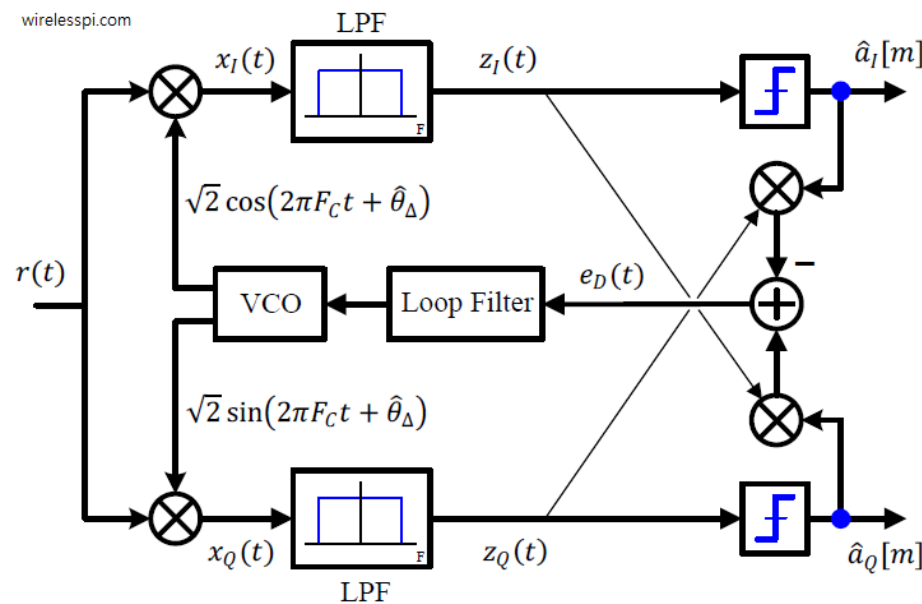
QPSK data generator in CLPD
IQ modulator



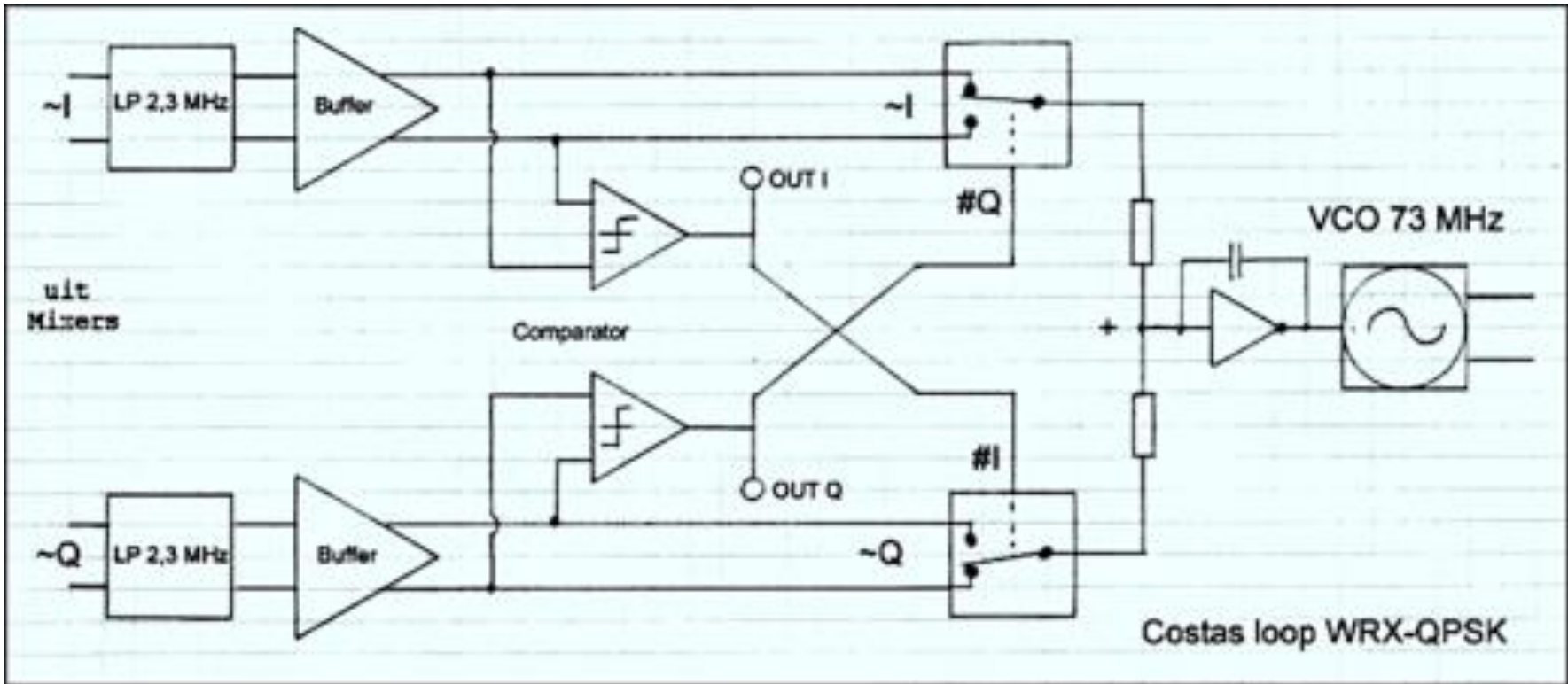
QPSK Demodulatie

QPSK heeft geen carrier toon

Om te synchroniseren wordt variant van een Costas Loop gebruikt



Implementatie QPSK in 1700MHz ontvanger



Een decision-based implementatie met comperatoren en schakelaars

Demodulator uitdagingen voor 8GHz satellieten

Grote datarate variatie: 7.5MS/s – 60MS/s

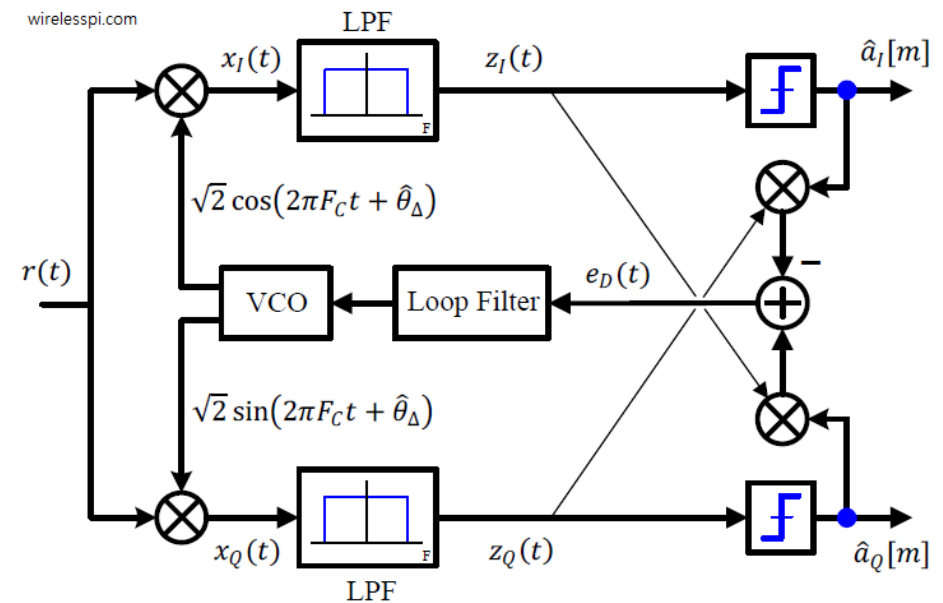
Invloed van de afsnijfrequentie van LPF t.o.v. datarate

- Oplossing: schakelbare filters?

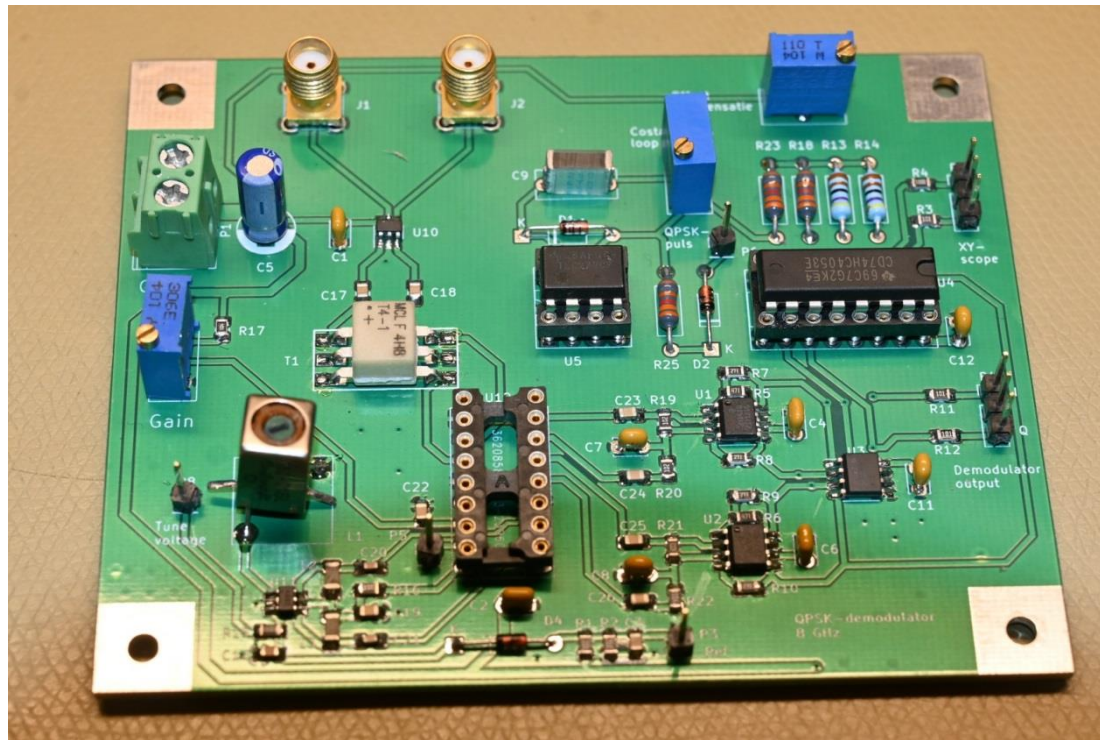
Dopplercorrectie versus vangbereik

Regelbereik van de VCO

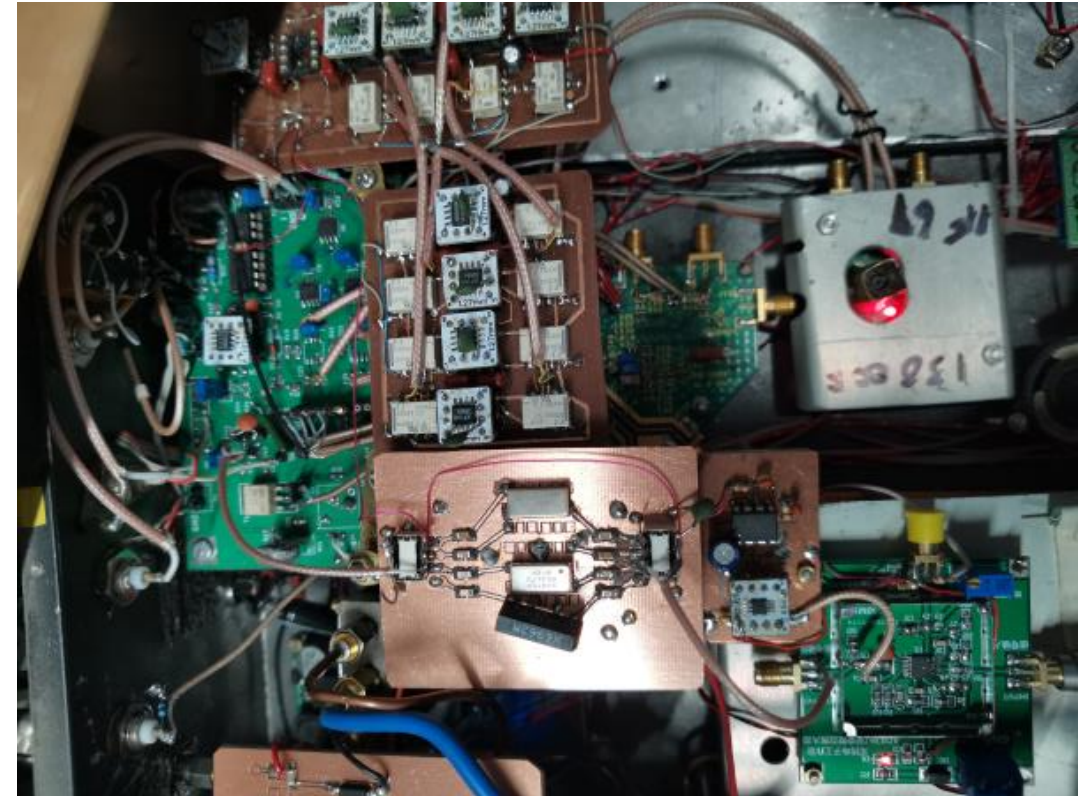
IQ demodulator met voldoende bandbreedte (nu: LT5546 17MHz)



QPSK demodulator prototypes



Variant gebaseerd op 1700 MHz ontvanger



Setup van Mike Still met schakelbare filters

Conclusie

Veel facetten aan het ontvangen van weersatellieten

- Mechanica
- Electronica / microgolf-techniek
- Software / digitale logica

Technische vooruitgang blijft nieuwe uitdagingen brengen

- Hogere data-rates -> hogere frequenties

Hardware QPSK demodulator voor hogere data-rates is voor ons het volgende puzzelstuk

<http://www.kunstmanen.net/>